



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN
PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL UNIDAD OAXACA

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y
APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES
(INGENIERÍA DE PROCESOS)

**DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA DE CORTE POR
IMPACTO SOBRE EL *AGAVE ANGUSTIFOLIA* HAW**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA

ARMANDO JOSÉ JOSÉ

DIRECTORES

DR. MAGDALENO CABALLERO CABALLERO

DR. LUIS HÉCTOR HERNÁNDEZ GÓMEZ

Santa Cruz Xoxocotlán, Oax., diciembre de 2008

Dedicatorias

A mi familia:

A mi madre Celia José Zacarías,
a mi hermano Hermenegildo José Jiménez,
por su apoyo incondicional y gran sacrificio, y
a la nueva integrante de la familia Leslie José Zárate.

A la familia Antón Guzmán:

Numila Guzmán Pérez,
Tabata Evelyn Anton Guzmán y
Deesire Anton Guzmán, por su amistad y apoyo.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico brindado en el transcurso de estos estudios.

Al Instituto Politécnico Nacional, por brindarme el apoyo económico como becario PIFI.

Al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional IPN Unidad Oaxaca porque a través de éste puede realizar estudios de Maestría.

Al apoyo recibido en el Centro de Servicios de Alta Tecnología de UPAEP, para el desarrollo de este trabajo.

A la Sociedad de Producción Rural, S.P.R. de R.I. Productores de Maguey, Mezcal y Miel de Agave “Duuba Naaxi” de la comunidad de San Juan Guelavía, Tlacolula, Oaxaca, por haber facilitado sus instalaciones y proporcionar materia prima para realizar los ensayos mecánicos.

A la microempresa Cosme-Hernández de San Baltasar Guelavila, Tlacolula Oaxaca, por facilitar sus instalaciones y proporcionar materia prima.

Al M en C. Luis Silva Santos, por su gran apoyo y darme la oportunidad de participar y ser becario PIFI en su proyecto de investigación: “Caracterización de las propiedades físico-mecánicas y reología del agave mezcalero angustifolia Haw con fines de uso industrial” SIP: 20070023 y 20080311.

A mis directores de tesis: al Dr. Magdaleno Caballero Caballero y al Dr. Luis Héctor Hernández Gómez, que con sus asesorías, sugerencias y comentarios, fue posible la conclusión de este trabajo.

Al comité revisor, integrado por Dr. Magdaleno Caballero Caballero, Dr. Luis Héctor Hernández Gómez, Dr. Guillermo Manuel Urriolagoitia Calderón, Dr. Andrés Pech Pérez y Dr. Salvador I. Belmonte Jiménez, por sus sugerencias y recomendaciones.

Al M en C. Baldomero Zarate Nicolás, por su amistad y apoyo incondicional.

Al Ing. Vicente de Jesús Ríos Olivera por su amistad y apoyo incondicional.

Al M en C. Fidel Diego Nava, por su amistad y por permitirme ocupar un espacio en su área de trabajo.

Al M en C. Manuel Alonso Gutiérrez y a la Ing. Dulce María del Rosario Montaña Hernández, por el acceso y apoyo en la realización de pruebas en el Laboratorio de Agua.

Agradecimientos

Al Laboratorio de Tecnologías adecuadas, a cargo del Ing. José Luis Montes Bernabé, quien me asesoró y apoyó en la construcción de prototipos. También agradezco al Ing. Cayetano Serrano Blanco por las sus experiencias y asesorías brindadas

A Isaí López Hernández, Rey Fernando García Méndez, José Luis Montes Bernabé y Carlos Inocencio Cortes Martínez que con su amistad, apoyo y comentarios valiosos se llegó a la conclusión de esta tesis.

A Tabata Evelyn Anton Guzmán por su cariño, amistad y por ser parte fundamental de mi vida.

A María Yescas León, por su amistad, apoyo incondicional y me permitió conocer a parte de su familia.

A Sandra Basurto Martínez por su gran amistad y apoyo incondicional en la realización de esta tesis.

Al apoyo de los compañeros de servicio social y residencia profesional: Sandra, Elizabeth, Gabriel, Christian, Bartolomé, Alberto, Faustino, Erick, Román, Jesús. David y Armando, por su amistad y gran apoyo.

También expreso mis agradecimientos al personal docente y administrativo del CIIDIR IPN Unidad Oaxaca, a mis compañeros de generación y demás amigos, de quienes recibí apoyo, comentarios y críticas valiosas.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez el día 03 del mes diciembre de año 2008, el (la) que suscribe **José José Armando** alumno (a) del Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES** con número de registro **B061462**, adscrito al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Luis Héctor Hernández Gómez y del Dr. Magdaleno Caballero Caballero y cede los derechos del trabajo titulado: “**Determinación de la energía de corte por impacto sobre el *Agave angustifolia* Haw**”, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección **Calle Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca**, e-mail: posgradoax@ipn.mx ó jozoyno@hotmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.



JOSÉ JOSÉ ARMANDO





SIP-14

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO

ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez siendo las 13:00 horas del día 03 del mes de diciembre del 2008 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del **Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR-OAXACA)** para examinar la tesis de grado titulada: "Determinación de la energía de corte por impacto sobre el *Agave angustifolia* Haw".

Presentada por el alumno:

José	José	Armando
Apellido paterno	materno	nombre(s)

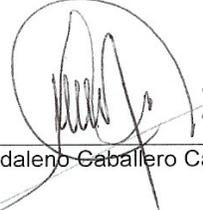
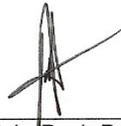
Con registro:

B	0	6	1	4	6	2
---	---	---	---	---	---	---

aspirante al grado de: **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES**

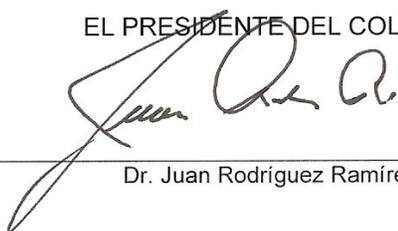
Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA
 Directores de tesis:

 _____ Dr. Luis Héctor Hernández Gómez	 _____ Dr. Magdaleno Caballero Caballero
 _____ Dr. Andrés Pech Pérez	 _____ Dr. Salvador Belmonte Jiménez



 Dr. Guillermo Manuel Urriolagoitia Calderón

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO


 Dr. Juan Rodríguez Ramírez



Resumen.

EL Estado de Oaxaca, es el principal productor de *Agave angustifolia* Haw; con lo cual se obtiene únicamente mezcal y en los últimos años la miel de agave. Por lo cual dentro del proyecto de investigación "Caracterización de las propiedades físico-mecánicas y reología del agave mezcalero angustifolia haw con fines de uso industrial" SIP: 20070023 y 20080311; se investiga para un aprovechamiento integral del agave, además de una mecanización de los procesos. Para generar propuestas de solución es necesario caracterizar la materia prima; por tal motivo con este trabajo de investigación se aporta a la generación de conocimientos sobre la energía requerida de la piña de agave para su seccionado. Para determinar dichas energías se realizaron de impacto tipo Charpy sobre probetas de agave con sección transversal rectangular; las dimensiones de las probetas fueron de acuerdo a la norma ASTM-D6110 para plástico. Se debe aclarar que la norma solamente sirvió para obtener las probetas; debido a que no existe una norma para realizar ensayos mecánicos sobre el agave. De los datos obtenidos en los ensayos se hizo una comparación de medias con análisis de varianza de un solo factor y un análisis por el método Kruskal-Wallis. Estos métodos mostraron de que entre los estratos existen diferencias significativas; dichas diferencias radican entre los estratos: para probetas con fibras perpendiculares a la sección transversal; estratos 2-3 y 1-3. Para probetas con fibras paralelas a la sección transversal; estratos 1-2 y 2-3. Para el corazón hubo diferencias entre las secciones 1-5, 1-6, 1-7, 2-5, 2-7 y 3-7.

Abstract.

The State of Oaxaca, is the largest producer of *Agave angustifolia* Haw, which is obtained only mezcal and recent years honey agave. Therefore within the research project "Caracterización de las propiedades físico-mecánicas y reología del agave mezcalero *angustifolia* haw con fines de uso industrial" SIP: 20070023 and 20080311; is investigated for an integrated agave, in addition to mechanization of the processes. To generate proposals solution is necessary to characterize the raw material, for such reason for this research work is contributing to the generation of knowledge about the energy required for the pineapple agave for Cutter. To determine such energies were kind of impact on Charpy test agave with rectangular cross-section, the dimensions of the test were according to ASTM-D6110 for plastic. It should be clarified that the standard only served to get the test, since no standard exists for mechanical testing on the agave. Of data obtained in the tests was a mean comparison with analysis of variance of a single factor, and an analysis by the Kruskal-Wallis method. These methods showed that among the strata there are significant differences, and these differences lie between the layers: to test fiber perpendicular to the cross-section; strata 2-3 and 1-3. To test tubes with fiber parallel to the cross-section; strata 1-2 and 2-3. For the heart, there were differences between the Sections 1-5, 1-6, 1-7, 2-5, 2-7 and 3-7.

Contenido

Resumen.	5
Abstract.	8
Índice de figuras.	11
Índice de tablas.....	12
Introducción.	13
Planteamiento del problema.	16
Justificación.	20
Objetivos.	22
Objetivo General.	23
Objetivos Específicos.	23
Hipótesis.	24
Capítulo 1. Generalidades sobre propiedades físicas y mecánicas en materiales biológicos.	26
1.1. Propiedades físicas.	26
1.2. Propiedades mecánicas.	28
1.2.1. Comportamiento fuerza-deformación.	29
1.2.2. Modulo de elasticidad.	30
1.2.3. Esfuerzo de corte.	31
1.2.4. Histéresis.	32
1.2.5. Resistencia a la tensión.	33
1.2.6. Resistencia a la compresión.	34
1.2.7. Resistencia al corte.	35
1.2.8. Resistencia al impacto.	36
Capítulo 2. Marco teórico.	38
2.1. Resistencia al impacto.	39
2.3.1. Determinación de la energía de corte.	44
2.3.2. Determinación de la fuerza.	44

2.3.3. Determinación de la velocidad antes del impacto.-----	45
2.3.4. Determinación del tiempo.-----	45
Capitulo 3. Metodología.-----	47
3.1. Desarrollo metodológico.-----	48
3.2. Recolección de material.-----	48
3.3. Características físicas de la piña de agave y de las pencas.-----	49
3.4. Extracción de probetas y ensayos de impacto.-----	49
3.5. Contenido de humedad.-----	52
3.6. Determinación del tamaño de muestra.-----	53
Capitulo 4. Resultados.-----	57
4.1. Recolección de material.-----	58
4.2. Características físicas de la piña de agave y de las pencas.-----	59
4.3. Extracción de probetas.-----	62
4.4. Análisis de datos de ensayos de impacto.-----	63
4.4.1. Análisis de datos para probetas con fibras perpendiculares a la sección transversal.-----	65
4.4.2. Análisis de datos para probetas con fibras paralelas a la sección transversal.-----	69
4.4.3. Análisis de datos para probetas extraídas del corazón.-----	72
4.5. Contenido de humedad.-----	75
Conclusiones.-----	77
Referencias.-----	79
Anexos.-----	83

Índice de figuras.

Figura 1. Preparación del agave para el horneado -----	18
Figura 2. Curva típica de fuerza-deformación de un material biológico -----	30
Figura 3. Corte de un punzón-----	32
Figura 4. Diagramas esfuerzo-deformación unitaria del acero estructural, hule y maíz	33
Figura 5. Diagrama de cuerpo libre de resistencia al corte -----	35
Figura 6. Dispositivos tipo caída libre -----	42
Figura 7. Esquema de recorrido del martillo -----	44
Figura 8. Nomenclatura de la penca de agave-----	49
Figura 9. Orientación de fibras de las probetas; perpendiculares y paralelas -----	50
Figura 10. Prototipo extractor de probetas cúbicas -----	50
Figura 11. Dimensiones de las probetas de acuerdo a la norma ASTM D6110 -----	51
Figura 12. Sierras cinta para extracción de probetas -----	51
Figura 13. Péndulo para ensayo de impacto Charpy-----	52
Figura 14. Montaje de probeta en las mordazas y ensayo Charpy-----	52
Figura 15. Estratos de la piña de agave -----	54
Figura 16. Mediciones del Agave angustifolia Haw -----	58
Figura 17. Cosecha y transporte del Agave angustifolia Haw -----	58
Figura 18. Corte de las hojas -----	59
Figura 19. Mediciones de la piña de agave -----	59
Figura 20. Medición de dimensiones de las pencas -----	60
Figura 21. Mediciones del corazón de agave -----	61
Figura 22. Obtención de probetas para ensayos de impacto -----	62
Figura 23. Grafica de error -----	66
Figura 24. Grafica de medias de energía de los tres estratos -----	67
Figura 25. Gráfica de contenido de humedad de los estratos 1 y 2 -----	76

Índice de tablas

Tabla 1. Destino de las exportaciones de mezcal-----	17
Tabla 2. Distribución de pencas en los estratos-----	54
Tabla 3. Diámetro de la piña a diferentes alturas -----	60
Tabla 4. Dimensiones de las pencas -----	60
Tabla 5 (Continuación). Dimensiones de las pencas-----	61
Tabla 6. Energía de impacto a probetas con fibras perpendiculares a la sección transversal -----	63
Tabla 7. Energía de impacto a probetas con fibras paralelas a la sección transversal -	64
Tabla 8. Energía de impacto a probetas extraídas del corazón del agave -----	64
Tabla 9. Pruebas de normalidad-----	66
Tabla 10. Prueba de homogeneidad de varianzas-----	67
Tabla 11. ANOVA. Energía de corte Fibras-Perpendiculres -----	67
Tabla 12. Comparación Scheffé entre estratos -----	68
Tabla 13. Coeficientes de los contrastes -----	68
Tabla 14. Pruebas para los contrastes-----	68
Tabla 15. Pruebas de normalidad -----	69
Tabla 16. Rangos promedios de los estratos-----	70
Tabla 17. Prueba de Kruskal-Wallis Estadísticos de contraste-----	70
Tabla 18. Diferencias teóricas entre estratos-----	71
Tabla 19. Diferencia de rangos promedios-----	71
Tabla 20. Pruebas de normalidad de las secciones del corazón -----	72
Tabla 21. Rangos promedios de las secciones -----	73
Tabla 22. Prueba de Kruskal-Wallis Estadísticos de contraste(a,b)-----	73
Tabla 23. Diferencias teóricas entre secciones -----	73
Tabla 24. Diferencia de rangos promedios-----	74
Tabla 25. Contenido de humedad en el estrato 1 -----	75
Tabla 26. Contenido de humedad en el estrato 2 -----	76

Introducción.

Introducción.

De las 30 diferentes especies de agave en Oaxaca (Palma, 1991; Espinosa, 2002), el *Agave angustifolia* Haw es la especie que ha merecido la máxima atención de los productores, debido a que producen piñas de mayor tamaño y concentración de azúcares, propias para la adecuada y rentable producción de mezcal (Robles, 2006); siendo esta variedad una materia prima para la economía de los productores de la región del mezcal, consecuentemente para el Estado de Oaxaca.

Sin embargo, no existen estudios para el aprovechamiento integral del agave; por lo cual uno de los objetivos del proyecto de investigación al que pertenece esta tesis, es el aprovechamiento integral. Con lo cual se propone aprovechar las hojas, la piña de agave y después de la obtención de mezcal aprovechar el bagazo, además de la propuesta de hacer eficiente los procesos, por medio de la mecanización.

Por lo cual este tesis contribuye con una parte de la caracterización mecánica del agave; debido a que se carece de estudios acerca de la energía de corte para el seccionado del *Agave angustifolia* Haw; existen trabajos que reportan sobre la determinación de energía de corte en materiales poliméricos (Pettarin, 2002; Ortega, 2005; Matos, 2006); materiales compuestos (Gonzalez; Müssig, 2006) y en metales (Rittel, 2002; Chao y Ortega, 2005; Kikuchi, 2007). Además, existen evaluaciones que reportan sobre la determinación de energía de corte en productos similares, tal es el caso de: Cykler (1951), que evaluó con un péndulo Charpy la energía necesaria para eliminar las coronas de los frutos de piña, variedad Cayena lisa; Salokhe (1999), determinó la resistencia al corte de los tallos de la piña; Prasad y Gupta (1975), trabajaron en la estimación de los valores óptimos de algunas variables que intervienen en el proceso de corte de tallos de maíz, utilizando un aparato de pruebas de corte por impacto tipo péndulo; Chattopadhyay y Pandey (1999), determinaron la resistencia al corte a los tallos de sorgo; Jekendra (1999), estudió el corte del tallo del maíz y del sorgo, evaluando la resistencia al corte, diámetro del tallo y contenido de humedad; Godeša (2004), realizó pruebas al tallo de la papa, analizó la resistencia al corte y la

velocidad de corte; Yiljep y Mohammed (2005), realizaron pruebas al tallo del sorgo, analizando la velocidad del cuchillo, energía de corte requerida y la eficiencia de corte.

Esta tesis se presenta en cuatro capítulos comprendiendo los siguientes puntos. En el capítulo uno se inicia con las generalidades; que incluye la descripción de algunas propiedades físicas y mecánicas de los productos biológicos. En el capítulo dos se describe la teoría sobre el corte por impacto, presentando los diferentes tipos de pruebas de impacto sobre estos productos. En el capítulo tres se muestran los pasos seguidos para la determinación de la energía de corte por impacto; iniciando con la recolección de la materia prima; después se continúa con la determinación de las dimensiones geométricas de la piña de agave; enseguida se hace la descripción para la extracción de la probeta; finalmente se hace la descripción de las pruebas de impacto y de contenido de humedad. De igual manera en este capítulo se muestra la determinación del número de muestras. En el capítulo cuatro se presentan los resultados obtenidos de las pruebas de impacto; haciendo un análisis sobre una comparación de valores medios de cada uno de los estratos con el fin de obtener si existe alguna diferencia significativa entre los estratos; además de saber entre que estratos existe esas diferencias significativas. Posteriormente se generan las conclusiones y recomendaciones para trabajos futuros.

Planteamiento del problema.

Planteamiento del problema.

La industria del mezcal ha sido la principal actividad del Estado de Oaxaca, la cual genera empleos y divisas que genera por las exportaciones a algunos países de América, Asia y Europa. En la tabla 1 se muestran los principales mercados de exportación del mezcal.

Tabla 1. Destino de las exportaciones de mezcal

América	Europa	Asia
Argentina	Alemania	Hong Kong
Bolivia	España	Japón
Canadá	Francia	Taiwán
Colombia	Grecia	Turquía
Chile	Italia	
Ecuador	Países Bajos	
El Salvador	Portugal	
EUA	Reino Unido	
Guatemala	Suecia	
Honduras	Suiza	
Panamá		
Paraguay		
Perú		
Uruguay		
Venezuela		

Fuente: Banco Nacional de Comercio Exterior (BANCOMEXT).

Los productores han exportado más de 4 millones de litros de mezcal en el mercado internacional en el año 2000, alcanzando con esto una buena posición en el mercado internacional (Silva, 2001). Con lo cual se genera un beneficio económico en la región del mezcal de Oaxaca¹, generando aproximadamente 79 millones 900 mil dólares. De igual manera los productores han generado ingresos con el mercado nacional, el consumo nacional en el año 2000 fue de 3 millones 700 mil litros, siendo el 44% de la producción total, equivalente a 8 millones 400 mil litros y los 56% restantes fue para exportación.

Sin embargo, no todos los productores tienen las mismas oportunidades para tomar algún lugar en los mercados, debido a que los procesos para la obtención del mezcal

¹ De acuerdo al Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial, la región del mezcal en el Estado de Oaxaca comprende los distritos de: Sola de Vega, Miahuatlán, Yautepec, Tlacolula, Ocotlán, Ejutla de Crespo, y Zimatlán

son manuales y lentos; el proceso artesanal para la elaboración del mezcal sigue las siguientes operaciones: horneado, seccionado, molienda, fermentación y destilación; en este proceso se emplean 21 días de trabajo con rendimiento de 12.7 kg de agave para producir un litro de mezcal (Silva, 2001). Además de lo expuesto anteriormente, los productores no realizan el aprovechamiento integral de la planta de agave, generando desperdicios como son las hojas y el bagazo; los cuales son tirados en los campos. Esto en gran parte se debe a que no existen estudios para su aprovechamiento con lo cual se podrían generar propuestas de diversificación, pero para hacer ésto, es necesario la caracterización del *Agave angustifolia* Haw; además, como menciona Jekendra (1999); Kabas (2005) y Eşref y Seyed (2007), es necesario conocer las propiedades físicas y mecánicas, por lo que son de importancia para el diseño de máquinas para la cosecha, el transporte, la limpieza, la recolección y el almacenaje.

Un proceso de gran importancia para la producción de mezcal, es el partido y seccionado de las piñas de agave; actualmente el seccionado en verde, se realiza por medios manuales, con hachas y machetes, lo que implica tiempo, esfuerzo de los trabajadores y sobre todo costos de producción; además esto se refleja en la etapa de cocción ya que esta etapa se lleva a cabo en 72 horas aproximadamente y 48 horas más para la extracción del horno, el producto que se obtiene presenta una cocción irregular, esto se debe a que el agave es seccionado solo en 4 partes, como se muestra en la figura 1.



Figura 1. Preparación del agave para el horneado

Para proponer diseños de alguna máquina que pudiera facilitar estos trabajos, es necesaria la caracterización de la materia prima. El principio de corte utilizado en los palenques, es el principio de corte por impacto, por lo cual se necesita realizar estudios de energías de corte por impacto sobre el *Agave angustifolia* Haw.

En la actualidad este estudio se carece, por lo cual con esta investigación se quiere conocer la energía de corte para el seccionado del *Agave angustifolia* Haw en verde en sus diferentes partes o niveles². De acuerdo a lo anterior surgen las preguntas de investigación: ¿Cuánta energía se requiere para realizar el corte del agave? ¿Existe diferencia de energía de corte en los niveles del *Agave angustifolia* Haw?

² Se le llama nivel al grupo de hojas que crecen al mismo tiempo alrededor de la piña.

Justificación.

Justificación.

El Estado de Oaxaca es donde se localiza el 50% de la producción nacional de agave, aproximadamente 10 000 hectáreas (FAO, 1994), de las cuales dependen directa e indirectamente 25 000 familias; como ejemplo se tiene a la organización duba naxxi productores de mezcal de la comunidad de San Juan Guelavía ubicada en el distrito de Tlacolula. Esta organización tiene sembrados aproximadamente 39 100 plantas de agave, de las cuales, 1 200 tienen 8 años de edad listos para su aprovechamiento; 6000 con 6 años de edad y la máxima preocupación está en los agaves que tienen 3 años de edad que asciende a 25 000 plantas de agave, debido a que sus palenques tienen un capacidad para procesar de 3 a 4 toneladas de piña (Caballero, 2007). Si en promedio un agave pesa 80 kg, dentro de 5 años los productores tendrán 2 000 toneladas de piñas de agave rebasando la capacidad de producción de los palenques; generando con esto sobreproducción. De acuerdo a esto, los productores buscan la tecnificación de sus procesos, con la posibilidad de adquisición de maquinarias.

Por tal motivo, con este estudio se hará un análisis de la energía de corte por impacto del *Agave angustifolia* Haw y de esta manera se aportará la generación de conocimientos sobre la energía necesaria para realizar el seccionado de dicho agave. Los datos que se obtengan en esta investigación se podrán utilizar dentro del proyecto de investigación: “Caracterización de las propiedades físico-mecánicas y reología del agave mezcalero angustifolia haw con fines de uso industrial” SIP: 20070023 y 20080311. Principalmente en la generación de modelados sobre el comportamiento del agave bajo cargas de impacto, además de tener referencia para el cálculo de la potencia que requerirá alguna máquina para procesar el agave por medio de corte por impacto.

Objetivos.

Objetivo General.

Determinar la energía potencial que absorben las probetas de agave con las pruebas de impacto en tres secciones diferentes de la planta y con dos orientaciones de fibras para conocer la variabilidad entre las diferentes partes del agave.

Objetivos Específicos.

- Determinar la energía de corte del *Agave angustifolia* Haw con un péndulo de impacto tipo Charpy en los diferentes niveles de la piña.
- Analizar las energías entre estratos los estratos para conocer si existe alguna diferencia y si es significativa.

Hipótesis.

Hipótesis.

El agave presenta una mayor resistencia a las cargas por impacto en dirección transversal de las fibras a la herramienta de corte, por lo cual requiere mayor energía de corte.

No existe diferencia de las energías de corte por impacto entre los diferentes estratos de cada una de las orientaciones de fibra.

Al menos uno de los estratos requiere mayor energía de corte por impacto de cada una de las orientaciones de fibra.

Capitulo 1. Generalidades sobre propiedades físicas y mecánicas en materiales biológicos.

En este capítulo se describe algunas propiedades físicas y mecánicas de los productos biológicos, mostrando la importancia de estas propiedades.

1.1. Propiedades físicas.

Cuando las propiedades físicas de granos, semillas, frutas y hortalizas, huevos, forraje, y fibras son estudiadas, ya sea a granel o unidades individuales, es importante tener un estimado de peso, esfericidad, redondez, tamaño, volumen, forma, área, densidad, porosidad, coeficiente de fricción estática en contra de diferentes materiales, ángulo y reposo y otras características físicas que pueden ser considerados como parámetros de ingeniería. En muchos problemas asociados con el diseño de una máquina específica o análisis del comportamiento del producto manipulado, la forma y tamaño son inseparables en un objeto físico. La primera debe ser medida en función de algunos parámetros dimensionales del objeto (Mohsenin, 1986).

Uno de los parámetros importantes del diseño para transportar material sólido por aire o agua es la suposición de la forma del material. Las estimaciones precisas del área frontal y los diámetros relacionados son esenciales para la determinación de velocidad, coeficiente de arrastre y el número Reynolds.

La forma y tamaño es también importante en los problemas de distribución de esfuerzos en el material bajo carga, en separación electrostática de semillas y granos, en la reflexión ligera y la evaluación de color, y en el desarrollo de tamaño y maquinaria para clasificar.

La esfericidad es definida como la proporción del área de superficie de una esfera, el cual tiene el mismo volumen que el sólido, para el área de superficie de un sólido. Redondez de un sólido es una medida del filo de sus esquinas y es definida como la proporción del área más grande proyectada de un objeto en su posición natural del menor círculo circunscrito. Mohsenin (1986), menciona algunos métodos para determinar la esfericidad y redondez.

El conocimiento de densidad y gravedad específica de productos agrícolas es necesario para el cálculo de la difusión térmica en los problemas de transferencia de calor, en

determinar el número Reynolds, en el manejo neumático e hidráulico del material, en separar el producto de materiales indeseables y en predecir la estructura física y composición química.

El color de la superficie y la apariencia de los productos agrícolas son características físicas valiosas para separación selectiva en el campo como el manejo y el procesado. En la cosecha selectiva de frutas y verduras y en ordenar y la clasificación después de la cosecha y durante el almacenamiento, los productos deseables pueden ser seleccionados con base al color y apariencia. Aquí las características ligeras de reflexión del producto es la propiedad física importante que debe ser conocer antes de que el equipo pueda ser diseñado para separación y ordenando o clasificación. Sin embargo, la forma irregular y el color poco uniforme del objeto. Con ciertas características de reflectancia que ocurren en sólo uno o dos regiones estrechas del espectro presenta problemas que requieren instrumentación y técnicas especiales.

La forma irregular y naturaleza porosa de muchos productos agrícolas presentan problemas difíciles en las medidas de volumen y de densidad. Tales técnicas simples como el desplazamiento de agua pueden dar como resultado errores apreciables si el agua puede penetrar dentro del material o si el material es muy pequeño en el tamaño, como semillas pequeñas. Un ejemplo difícil en esta área ha sido la evaluación de densidad del forraje.

1.2. Propiedades mecánicas.

Las propiedades mecánicas de los materiales biológicos, se dice que se asemeja a los materiales viscoelásticos, sin embargo el comportamiento de los materiales biológicos son impredecibles. Debido a la imprevisibilidad de su comportamiento biológico, se propone que un mínimo de veinte especímenes deben ser probados para cada muestra para determinar resultados concluyentes.

Las propiedades mecánicas se definen como aquellas que se relacionan con el comportamiento de los materiales, cuando se aplican fuerzas; están representadas por las características de esfuerzo-deformación bajo cargas estáticas y dinámicas. El comportamiento mecánico de un material, por ejemplo un fruto o tallo, puede determinarse de dos maneras: sensorialmente, es decir, tocando, aplastando, etc., que es el sistema utilizado tradicionalmente, pero que tiene la evidente desventaja de la subjetividad del individuo que la realiza; la otra forma es físicamente, es decir, en su reacción a la aplicación de fuerzas. Este sistema es objetivo, independiente del individuo. Este estudio físico del comportamiento mecánico es el que se denomina reología. Ésta es por lo tanto una rama de la Física, y se define como la ciencia que estudia la deformación y el flujo de la materia. Así, se llaman propiedades reológicas de los materiales, a aquellas propiedades mecánicas que resultan en deformación y flujo en el material (Mohsenin, 1986).

Los estudios de estas propiedades son los siguientes:

1.2.1. Comportamiento fuerza-deformación.

La curva de fuerza-deformación es un grafica con valores de deformación como las abscisas y los valores de fuerza como las ordenadas. Esta curva se puede obtener por compresión del material, generalmente se utiliza una máquina universal Instron. De acuerdo con Mohsenin (1970), en un producto agrícola que posee el mismo comportamiento lineal de un material estructural, como se observa en la figura 2, el

denominado punto Y, dentro del diagrama fuerza-deformación, es el punto de biofluencia en el cual ocurre un incremento en la deformación con un decrecimiento o ningún cambio en la fuerza (Buitrago, 2004)

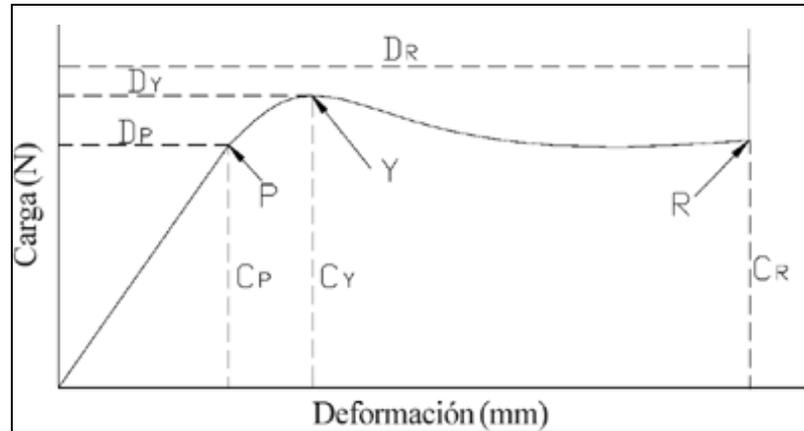


Figura 2. Curva típica de fuerza-deformación de un material biológico

Para Mohsenin (1970), en muchos materiales biológicos, la presencia de este punto indica que hay una ruptura celular en la estructura interna del material. El término biofluencia es propuesto para materiales biológicos con el fin de diferenciar este fenómeno del punto de fluencia en materiales estructurales. La biofluencia puede ocurrir en cualquier punto más allá del punto P, donde la curva se aparta de su tendencia lineal. Puede decirse que el punto de biofluencia corresponde a fallas en la microestructura, mientras que el punto de ruptura R, corresponde a fallas en la macroestructura de la muestra como son: magulladuras, cortes, agrietamientos, fracturas y otros, el cual ocurre después de que se ha sobrepasado el punto de biofluencia.

De la misma manera que ocurre en los materiales estructurales, cuando un material biológico es dúctil, se refiere a la capacidad de soportar largas deformaciones antes de romperse; pero si es un material biológico frágil su deformación es pequeña antes de llegar al punto de ruptura.

1.2.2. Modulo de elasticidad.

El modulo de elasticidad es una medida objetiva usada para indicar la firmeza de los materiales biológicos, uno de los principales atributos de calidad para exportación de algunas frutas como el melón (Menezes et al., 2000). Existen diferentes métodos para obtener estas propiedades mecánicas de los productos agrícolas. Uno de estas pruebas es por la carga de un espécimen cilíndrico entre dos platos planos por debajo del punto de biocedencia. Para el cálculo del módulo de elasticidad aparente se utiliza la ecuación 1 definida por Mohsenin (1986) para cuerpos esféricos comprimidos en plato plano.

$$E = \frac{0.531F(1-n^2)}{D^{3/2}} \left(\frac{4}{d}\right)^{1/2} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

E = módulo de elasticidad aparente, kgf m⁻²

F = fuerza de compresión aplicada sobre el producto, kgf

D = deformación en dirección de la fuerza F, m

n = coeficiente de Poisson. Adimensional igual a 0,4

d = diámetro equivalente del producto en m, siendo $d = (d_1 d_2 d_3)^{1/3}$

d1, d2, y d3 son tres diámetros mutuamente perpendiculares de la fruta en m

1.2.3. Esfuerzo de corte.

Los esfuerzos de corte actúan paralelamente al plano de corte y son el resultado de fuerzas paralelas pero opuestas actuando a través de los centroides de las secciones de los materiales. El esfuerzo de corte de un punzón como se observa en la figura 3, se puede calcular usando la ecuación 2 dada por Poorman.

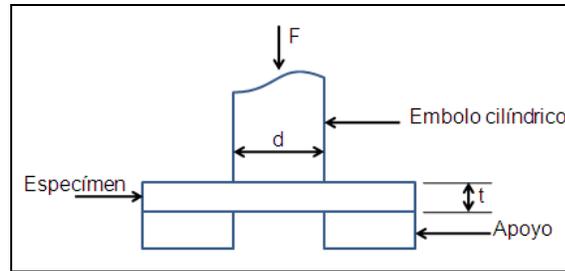


Figura 3. Corte de un punzón

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{F}{dt\pi} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

τ = esfuerzo de corte

F= fuerza de compresión sobre el embolo cilíndrico

A= área de corte

d= diámetro del embolo cilíndrico

t= espesor del espécimen

1.2.4. Histéresis.

Mohsenin (1986) define la histéresis como la diferencia entre el trabajo de compresión y el trabajo de retracción. Mohsenin y Ghlich propusieron que la fuerza y la energía que causa daños a un producto por carga estática se pueden predecir a partir de la histéresis. Posteriormente Mohsenin Hizo hincapié en que la histéresis es una medida de la capacidad del material para absorber y almacenar energía sin que se deforme más allá de su punto de biocedencia y además mencionó que a menor histéresis, el producto es más elástico.

Dos propiedades mecánicas, la capacidad de energía y el por ciento la elasticidad de un material, puede ser obtenido a partir de la histéresis. Ambos se definen como las razones de carga y descarga de valores medidos a partir de la histéresis.

Dentro de la resistencia de materiales se manejan muchos parámetros para caracterizar el comportamiento mecánico de un material, tales como las resistencias al corte, a la tensión, a la compresión, al impacto, los módulos de rigidez y de elasticidad, la dureza y los coeficientes de fricción estáticos y dinámicos, basados todos ellos en unas propiedades más básicas del material, como lo son su composición y densidad.

1.2.5. Resistencia a la tensión.

Los ensayos de tensión no se han utilizado extensivamente con materiales de frutas y hortalizas, las razones de estos es que es muy difícil de la muestras para los ensayos. Sin embargo, los ensayos de tensión se han utilizado en materiales vegetales para intentar explicar factores tales como el deslizamiento de la piel en cerezas y el agrietamiento en las patatas durante la manipulación.

La resistencia a la tensión es la oposición de las fuerzas que actúan sobre el material dirigidas hacia afuera del plano en el cual actúan. Este parámetro indica los límites de esfuerzos a los que se pueden someter los materiales sin que sufran deformaciones plásticas ni fracturas o fallas. Para conocer este parámetro se realizan ensayos de tensión en los que se aplican cargas a probetas del material por analizar y se miden las variaciones de deformación generadas por el incremento del esfuerzo y entonces se puede generar un diagrama esfuerzo – deformación ($\sigma - \epsilon$). En la figura 4 se muestran los diagramas $\sigma - \epsilon$ de un acero estructural, del hule y del maíz (Sitkei, 1986).

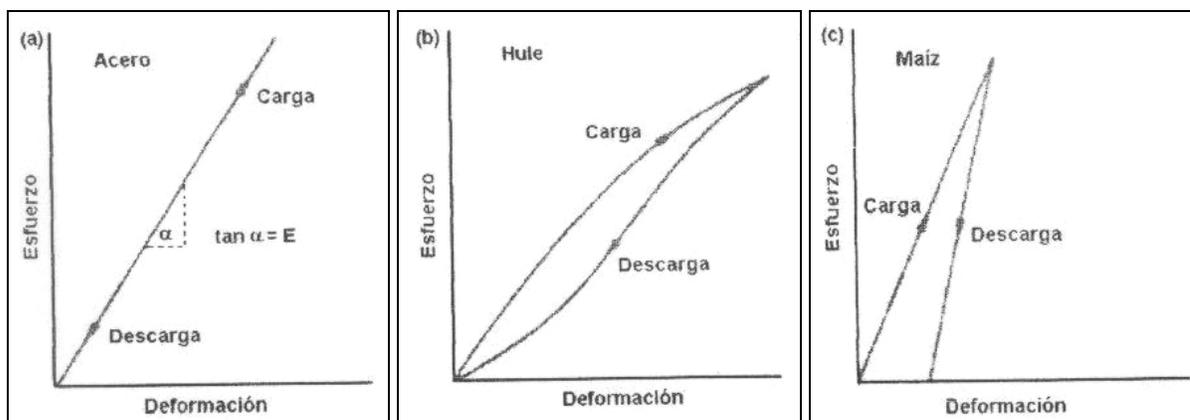


Figura 4. Diagramas esfuerzo-deformación unitaria de: a) acero estructural, b) hule y c) maíz

- a) Acero estructural: comportamiento según el sólido de Hook.
- b) Hule: comportamiento no descrito por las leyes de Hook; tiende a regresar a su estado original.
- c) Maíz: material que no se rige por las leyes de Hook; sufre deformaciones residuales después de retirar la carga.

Los dos indicadores de la resistencia a la tensión son el esfuerzo de cedencia o de fluencia a la tensión, σ_{YP}^T , y el esfuerzo último de tensión, σ_U^T . El primero indica a qué esfuerzo se genera una deformación plástica o permanente en el material debido a las cargas tensoras y se obtiene dividiendo la carga de cedencia (P_{YP}^T) observada durante el ensayo de tensión entre el área transversal de la probeta. El segundo indicador indica el esfuerzo al que ocurre la falla de fractura por tensión y se obtiene de igual manera, solo que se utiliza la carga última observada durante el ensayo (P_U^T) (Timoshenko, 1961).

1.2.6. Resistencia a la compresión.

Es la oposición de las fuerzas que actúan sobre el material dirigidas hacia el plano en el cual actúan. Mediante este método es posible determinar la resistencia a la compresión (Nm^{-2}) del material; su importancia radica en que los daños mecánicos en un material biológico son producto de cargas compresivas y ha sido esta problemática, probablemente, una de las principales razones para coleccionar más datos para ensayos de compresión que para los ensayos de tensión (Mohsenin, 1970).

Los ensayos de compresión han sido más ampliamente investigados para materiales de hortalizas y frutas que los ensayos de tensión, posiblemente a la mayor facilidad de llevar a cabo dichos ensayos. La presencia de celdas de aire dentro de muchas frutas y hortalizas tienen un efecto significativo en el resultado de dichos ensayos. Sharma & Mohsenin (1970) llevaron a cabo ensayos de compresión en manzanas, y Finney y may (1967) trabajaron con patatas. Más recientemente Tu, Baerdemaeker, Deltour y Barys (1996) utilizaron ensayos de compresión en manzanas como un método de

control del ensayo de textura en su investigaciones dentro de técnicas de impulso acústico.

1.2.7. Resistencia al corte.

Es la oposición a la componente de la tensión tangencial al plano en el cual actúan las fuerzas. El corte de un material de origen biológico es un proceso muy común en la agricultura, horticultura, y a nivel forestal, también es muy usado en el procesamiento de materia prima para el área industrial. La importancia para los profesionales que trabajan en áreas con actividades que involucran actividades de corte en materia-les biológicos (entre ellos el ingeniero agrícola), es la necesidad de conocer la estructura y las propiedades del material para entender su comportamiento cuando es sometido a este tipo de pruebas.

En la figura 5-a se muestra un elemento que está cargado axialmente a tensión y se ha seccionado con un plano inclinado a un ángulo θ . En la figura 5-b está el diagrama de cuerpo libre del elemento a la izquierda del corte. Si descomponemos a la fuerza P de manera que una de sus componentes sea perpendicular a la superficie del corte, A_0 , y la otra sea tangente a esta Figura 5-c, obtendremos una fuerza normal, N , que al actuar sobre la superficie del corte genera un esfuerzo normal σ figura 5-d, y una segunda fuerza tangencial, P_T , que al actuar sobre la misma superficie genere un esfuerzo cortante τ . Las expresiones que definen a los esfuerzos presentes se muestran en la ecuación 3 y 4.

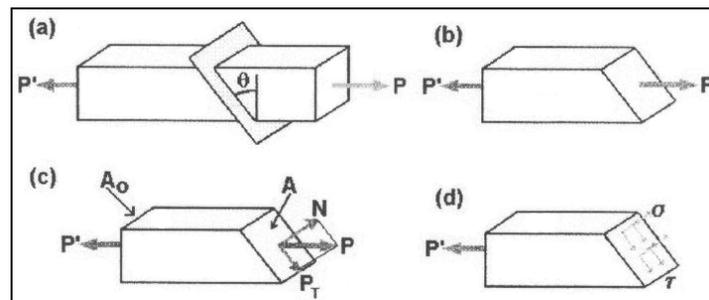


Figura 5. a) Seccionamiento de un elemento cargado a tensión. (b) Diagrama de cuerpo libre. c) Descomposición de la carga en fuerzas normal y tangencial. d) Esfuerzos generados por N y P_T .

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$\tau = \frac{P_T}{A_0} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde: A es el área de la sección sobre la que actúan N y P_T , mientras que A_0 es el área de la sección transversal del elemento.

De lo anterior se desprenden las siguientes expresiones para las fuerzas normal y tangencial: $N = P \cos \theta$; y $P_T = P \sin \theta$.

Por otro lado, el área del corte está definida por la ecuación 5 y al sustituir esta expresión en la ecuación 3 y ecuación 4; se obtienen la ecuación 6 y ecuación 7.

$$A = \frac{A_0}{\cos \theta} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$\sigma = \left(\frac{P}{A_0} \right) \cos^2 \theta \quad \text{Ecuación 6}$$

$$\tau = \left(\frac{P}{A} \right) \sin \theta \cos \theta \quad \text{Ecuación 7}$$

De las expresiones anteriores se observa que cuando θ vale 0° , el valor de σ es máximo y el de τ , cero. Cuando θ vale 45° el valor de τ será máximo, y cuando vale 90° ambos esfuerzos son nulos.

1.2.8. Resistencia al impacto.

El concepto de impacto es diferenciado del caso de una rápida carga estática por el hecho de que las fuerzas creadas por la colisión son ejercidas y removidas en un periodo corto de tiempo es a lo que se denomina duración del impacto, y que la colisión

produce una onda de esfuerzo el cual viaja fuera de la región de contacto (Mohsenin, 1986).

En la teoría del impacto se toman ciertas consideraciones análogas a la teoría de la mecánica de vibraciones naturales de los cuerpos. Algunas de estas suposiciones son que al analizar la frecuencia natural de un sistema simple masa–resorte: la masa del cuerpo es despreciable; las deformaciones internas de la masa en sí son despreciables; y se desprecia el amortiguamiento.

El tercer punto implica que no se pierde contacto por fricción entre el cuerpo que cae y la barra guía, por lo que toda la energía cinética de la masa en caída libre se transformará en energía de deformación elástica absorbida por el cuerpo (resorte). En este instante se generan el máximo esfuerzo y la máxima deformación.

Existen otros métodos evaluativos más comunes que consisten en someter probetas de ciertas dimensiones al impacto de un péndulo pesado. Estas pruebas son las *Charpy* e *Izod*. El principio de ambas es el mismo; la variante radica en la geometría de las probetas que se utilizan. El principio se explica en el capítulo 2, y consiste en lo siguiente: si se levanta el péndulo hasta una altura h_1 y se deja caer libremente, éste bajará y volverá a subir a una altura menor, h_2 , por efectos de rozamiento en el apoyo de giro y por resistencia al avance; esta última altura será alcanzada siempre y cuando la altura inicial sea h_1 y no haya otras fuerzas que actúen en el sistema; es, además, una medida de la energía cinética alcanzada por el péndulo en su trayecto. La prueba consiste en colocar una probeta sujeta a una base de manera que interfiera en la trayectoria del péndulo. Al liberar el péndulo, éste se impactará sobre la probeta y le generará una fractura (o deformación, dependiendo de las propiedades del material), perdiendo parte de su energía cinética, por lo que la altura final alcanzada será h_3 , menor a h_2 . De esta manera se determina la carga necesaria para hacer fallar por impacto al material. El montaje de las barras para las pruebas Charpy se hacen de tal manera que se comporte como una viga simplemente apoyada.

Capítulo 2. Marco teórico.

2.1. Resistencia al impacto.

Para describir el comportamiento mecánico de los materiales dependiendo de las condiciones de ensayo (carga cíclica, carga constante, deformación constante o velocidad de deformación constante), geometría de la probeta y modo de sollicitación mecánica, se distinguen dos grandes tipos de ensayos: estáticos y dinámicos. En los estáticos se incluyen: tracción, compresión, flexión en tres puntos y fractura, mientras que entre los segundos se encuentran: fatiga, impacto, fluencia (creep) (Cuadrado, 2007).

La resistencia al impacto se define la como la energía absorbida por el material por unidad de área (Cuadrado, 2007). El corte de un material de origen biológico es un proceso muy común en la agricultura, horticultura y a nivel forestal, también es muy usado para el área industrial. El corte se puede definir como el proceso mecánico de dividir un cuerpo sólido a lo largo de una línea usando herramienta de corte (Persson, 1987). Mohsenin (1986) considera al corte como un daño y lo define como la penetración de un elemento punzante en el producto sin que se produzca un efecto significativo de aplastamiento. Por otra parte, Dowling (1998) señala que el corte de un material sólido puede considerarse como una propiedad mecánica del material, donde ocurre una separación en dos o más partes bajo la acción de un determinado esfuerzo. Yiljep (2005) dice que el corte por impacto se realiza por un elemento de corte sobre el producto; dicho elemento va dotado de una gran energía cinética. No necesariamente se requiere la presencia de una contracuchilla, en algunos equipos la incorporan para incrementar la calidad del trabajo. El corte con un solo elemento puede ser llamado impacto puro, haciendo que dependa principalmente de la velocidad. Para diseñar una máquina de corte no es suficiente conocer la energía requerida, el proceso de corte también depende de las propiedades físicas y reológicas del material, y de la fuerza que actúa sobre él para realizar el proceso de corte. Después de la madurez fisiológica, las propiedades mecánicas de los productos agrícolas cambian al secarse debido a la reducción en contenido de humedad y a los cambios físicos (Noble, 2000), por lo tanto, la resistencia de corte aumenta al disminuir la humedad (Jekendra, 1999). De acuerdo a esto, las propiedades físicas y mecánicas de los productos agrícolas es de gran

importancia en el diseño o mejora de máquinas de cosecha, separación y limpieza de los productos. Por lo tanto, es necesario determinarse las características físicas en función de diversos factores tales como contenido de humedad y variedad (Eşref; Seyed ,2007).

Rowden y Tabor (1954) citados por Mohsenin (1986) dividen el choque de impacto de dos cuerpos en cuatro fases:

1. Deformación elástica inicial, es decir, totalmente recuperable, durante la cual la región de contacto será deformada elásticamente y se recobraría completamente sin que quede deformación residual.
2. Aparición de la deformación plástica durante la cual la presión media excede la presión dinámica admitida del material y la deformación resultante no se recobrará completamente.
3. Deformación únicamente plástica, durante la cual la deformación plásticas-elástica a la plástica completamente hasta que la presión disminuya debajo de la presión dinámica admitida.
4. Rebote elástico, producido por la liberación de la energía potencial elástica del producto.

Las bases teóricas fueron propuestas por St. Venant, quien propuso la teoría ondulatoria del impacto, basada en la velocidad de propagación de las ondas en el interior del cuerpo y Hertz quien introdujo el fenómeno de contacto para cuerpos elásticos. St Venant sugiere que el periodo total de colisión es determinado por el tiempo requerido por una onda producida por compresión estática para recorrer continuamente al solido; de acuerdo a la ecuación 8.

$$t = \frac{2L}{v} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

t = tiempo; s

L = longitud del cuerpo, m

V = velocidad del cuerpo, ms^{-1}

Existen diferentes pruebas que se utilizan para investigaciones de fenómenos de impacto en vegetales. Entre los distintos métodos utilizados para ensayar en el laboratorio y reproducir el fenómeno en condiciones controladas, podemos destacar:

- Caída libre de frutos sobre superficies duras o acolchonadas (Kunce et al, 1975, citado por Mohsenin, 1976).
- Caída libre de una masa sobre el fruto o fragmentos del mismo, por ejemplo, cilindro metálico, bloque metálico conducido por alambres, esfera metálica (Chen et al, 1984, Mohsenin, 1986).
- Impacto producido por un péndulo simple o compuesto sobre el material (Jindal y Mohsenin, 1976; Fluck y Ahmed, 1973).
- Impacto producido por un émbolo impulsado por un resorte u otro mecanismo (Holt y School, 1977, Mohsenin, 1986).

De los métodos mencionados anteriormente, los tres primeros son los más utilizados y a su vez pueden ser clasificados en dos grupos: pruebas de impacto de caída libre y con impactador. Existe otra clasificación en base a como se encuentre el fruto; cuando el fruto se encuentra en movimiento, entre el inicio y el final del impacto, existe una transferencia de momento entre él mismo y la superficie impactada y por lo tanto solo se aplica la fuerza en un punto. Cuando el fruto se encuentra estático, la transferencia de momento se realiza sobre él mismo, pasa por la masa impactante, por consiguiente la fuerza se aplica en el punto de impacto y en el de apoyo.

Existe una diferencia en el movimiento de cuerpos rígidos entre las pruebas de caída libre, las del péndulo y masa impactadora. En el caso de caída libre, todos los elementos de los objetos cayendo tienen la misma velocidad. Después del inicio del impacto, la velocidad de la partícula es reducida en el proceso de transferencia de momentum. En cambio, un material estacionario sujeto a impacto de una masa de caída libre o péndulo, la partícula no tiene velocidad en el comienzo del impacto. En caída libre solamente se genera una fuerza de contacto, en tanto que la masa impactada o péndulo, se generan dos fuerzas de contacto, una entre la masa que impacta y la superficie en la cual el material descansa.

2. Duración del impacto, es el tiempo entre el comienzo y el final del contacto, en segundos.
3. Fuerza máxima, es la fuerza máxima durante el impacto mostrada sobre el diagrama fuerza-tiempo, en Newton.
4. Impulso, es la integral de la fuerza a lo largo del tiempo. Esto es equivalente al área bajo la curva fuerza-tiempo. El área se mide del trazo del osciloscopio usando un planímetro.
5. Momento inicial, es el momento de caída libre del producto al inicio del impacto.
6. Volumen de la magulladura, es el volumen de los tejidos dañados dado en cm^3 .

2.3. Dispositivo para la determinación de la energía tipo Charpy.

Un péndulo ofrece un medio de estudio del comportamiento del impacto en materiales agrícolas. Los ensayos de impacto miden la energía requerida para romper una probeta por una carga dinámica aplicada (Fong, 2004). En este caso se utiliza una probeta entallada y es ensayada a flexión en 3 puntos. Un péndulo, como se observa en la figura 7, cae sobre el dorso de la probeta y la parte. La diferencia entre la altura inicial del péndulo h_1 y la final tras el impacto h_2 permite medir la energía absorbida en el proceso de fracturar la probeta (Echeverría, 2003), así como también, la fuerza, la velocidad y el tiempo. Los tipos de fracturas que se pueden presentar en estas pruebas son: fractura completa, es cuando la probeta se separa en dos piezas; la fractura bisagra, fractura incompleta de forma que las dos partes de la probeta están unidas solamente por un lámina periférica; y sin fractura, casos en que la no aparece fractura y la probeta esta solamente torcida y deformada.

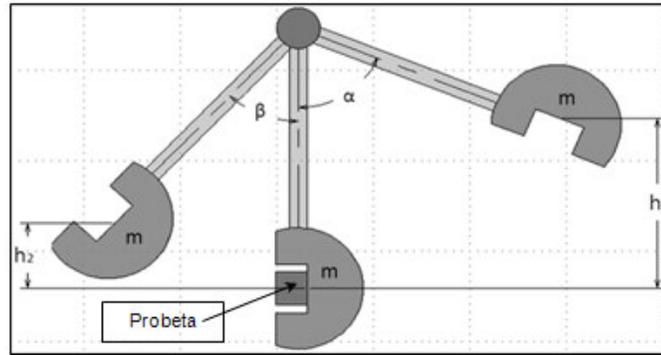


Figura 7. Esquema de recorrido del martillo

2.3.1. Determinación de la energía de corte.

La masa (m), la cual se encuentra acoplada al extremo del péndulo de longitud (l), se deja caer desde una altura (h_1), mediante la cual se controla la velocidad de aplicación de la carga en el momento del impacto. La energía absorbida (E) por la probeta para producir su fractura, se determina a través de la diferencia de energía potencial del péndulo antes y después del impacto. Una vez conocido el ángulo inicial de aplicación de la carga (θ) y el ángulo final (β) que se eleva el péndulo después de la rotura completa de la probeta, se calcula la energía mediante la ecuación 9 (Echeverria, 2003; Yiljep, 2005; ortega, 2006; Cuadrado, 2007).

$$E = mgl [\cos(\beta) - \cos(\theta)] \quad \text{Ecuación 9}$$

2.3.2. Determinación de la fuerza.

Para realizar el cálculo de la fuerza se parte de la teoría de trabajo y energía, de esta manera se muestra la ecuación de trabajo en la ecuación 10.

$$T = Fd \quad \text{Ecuación 10}$$

La distancia d en este caso es equivalente a l de la ecuación 9, por lo tanto despejando d de la ecuación 10 y sustituyendo en la ecuación 9, para después despejar la fuerza F , la ecuación 11 muestra la ecuación final.

$$F = mg [\cos(\beta) - \cos(\theta)] \quad \text{Ecuación 11}$$

2.3.3. Determinación de la velocidad antes del impacto.

En la posición inicial del martillo del péndulo de impacto tiene una energía potencial $E_p = mgh_1$ (donde m =masa; g =gravedad; h_1 =altura inicial). Al caer esta energía potencial se convierte en energía cinética $E_c = mv^2/2$, por la ley de la conservación de la energía, igualamos las dos expresiones y de esta manera despejamos la velocidad como se muestra en la ecuación 12 y 13 (Jaramillo, 2003).

$$mgh = \frac{mv^2}{2} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$v = \sqrt{2gh} \quad \text{Ecuación 13}$$

2.3.4. Determinación del tiempo.

Si el evento es un movimiento circular uniformemente acelerado, se puede obtener el tiempo que dura el evento hasta que el brazo pendular hace contacto con la probeta. Primero se calcula la velocidad angular, como se muestra en la ecuación 14.

$$v = r\omega \rightarrow \omega = \frac{v}{r} \quad \text{Ecuación 14}$$

Después se calcula la aceleración angular, de acuerdo a la ecuación 15.

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha(\theta - \theta_0) \rightarrow \alpha = \frac{\omega^2}{2\theta} \quad \text{Ecuación 15}$$

θ , es el ángulo que recorre el brazo del péndulo desde la posición inicial hasta el momento del impacto dado en radianes. Con los datos obtenidos en la ecuación 14 y

15, se calcula el tiempo del evento hasta que la probeta se fractura por medio de la ecuación 16.

$$t = \frac{\omega}{\alpha}$$

Ecuación 16

Capítulo 3. Metodología.

En este capítulo se muestra la obtención del material en estudio, extracción de probetas y descripción de los ensayos realizados, como son de impacto y contenido de humedad. También se presenta como se llevó a cabo el diseño de experimentos y el método para analizar los resultados.

3.1. Desarrollo metodológico.

El estudio se llevó a cabo en tres lugares diferentes, primeramente en dos comunidades de la región del mezcal, San Juan Guelavía y San Baltasar Guelavila pertenecientes al distrito de Tlacolula, Oaxaca; en estas comunidades se hicieron levantamiento técnico de datos sobre el agave en estudio. Después en el laboratorio de tecnologías adecuadas del CIIDIR Oaxaca se determinaron las dimensiones geométricas y la extracción de algunas probetas. Posteriormente se realizaron los ensayos de impacto en el laboratorio del Centro de Servicios de Alta Tecnología de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (CESAT-UPAEP), finalmente se realizaron las pruebas de contenido de humedad en el laboratorio de análisis de agua del CIIDIR Oaxaca.

3.2. Recolección de material.

Se seleccionó un agave de la comunidad de San Juan Guelavía, Tlacolula, Oaxaca; localizada a una distancia aproximada de 39 km de la capital de Oaxaca, a 1600 metros sobre el nivel del mar. Se seleccionó un agave de la variedad angustifolia Haw en el campo de cultivo de la “Sociedad de Producción Rural, S.P.R. de R.I. Productores de Maguey, Mezcal y Miel de agave Duuba Naaxi”. Los criterios para seleccionar el agave fueron: edad, dimensiones de la planta y la piña.

En campo se tomaron las medidas generales del agave, para esto se utilizó una cinta métrica de nylon con un rango de medida de 0 a 30 m y una precisión de 1 cm, y un flexómetro metálico con un rango de medida de 0 a 5 m y una precisión de 1 mm. Con lo cual se obtuvieron: la altura total de la planta, el diámetro total y la altura del quiote. Para el cosecho del agave; como primer paso se cortaron algunas hojas de la parte baja del agave, con el propósito de despejar el área para la manipulación de la barreta, herramienta con la cual se hizo extracción del agave. Después se extrajo el agave desde la raíz y se transportó a las instalaciones del CIIDIR Oaxaca.

3.3. Características físicas de la piña de agave y de las pencas.

Para poder determinar las características físicas de la piña de agave y de las pencas fue necesario cortar las hojas del agave, para esta actividad se utilizó un machete.

Después del corte de las hojas se obtuvieron las dimensiones de la piña de agave, para esto se utilizó cinta métrica de nylon, flexómetro metálico, escuadra metálica plana de aluminio con un rango de 0 a 60 cm y precisión de 1 cm, y medidor de alturas de columna sencilla con vernier con un rango de 0-30 cm y precisión de 0.02 mm.

Posteriormente se extrajeron las pencas y se clasificaron de acuerdo al nivel en la que se encontraban en la piña, el conteo de los niveles se hizo desde la base de la piña hasta la base del qurote. Después se midió el largo, alto y ancho de la penca de acuerdo a la nomenclatura que se me muestra en la figura 8, en donde a es el nivel a la que se encuentra la penca y b es el número de penca dentro del nivel.

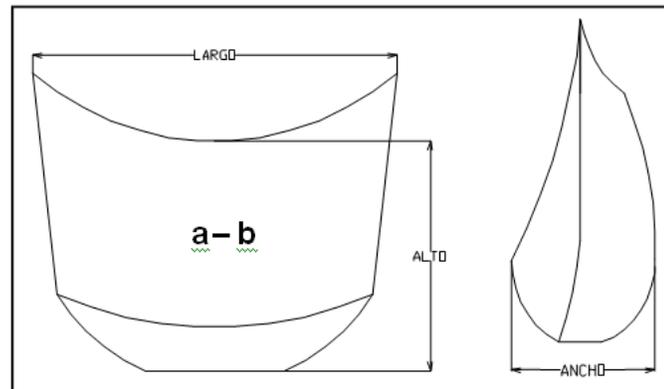


Figura 8. Nomenclatura de la penca de agave

Finalmente, se midió el corazón del agave con lo cual se determinó la altura total y diámetro máximo.

3.4. Extracción de probetas y ensayos de impacto.

Para realizar el ensayo de impacto fue necesario obtener probetas de sección transversal cuadrada con dos orientaciones de fibras; una con fibras perpendiculares y

la otra con fibras paralelas a la sección transversal, como se muestra en la figura 9.

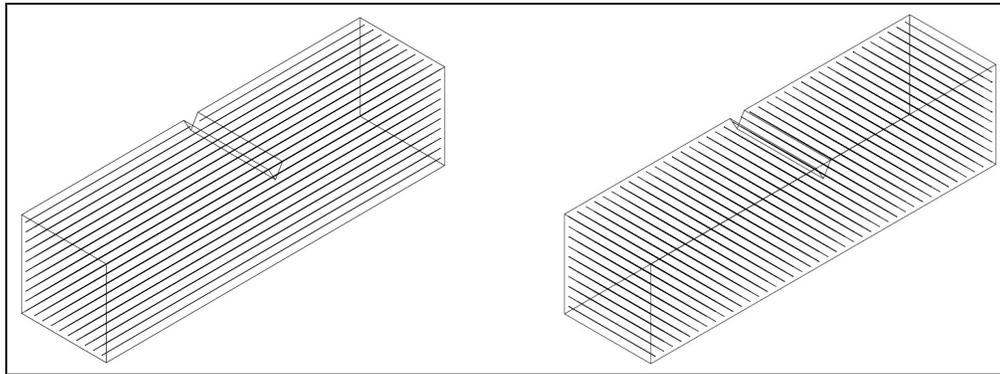


Figura 9. Orientación de fibras de las probetas; perpendiculares y paralelas

La extracción de las probetas se hizo en dos fases; la primera fase consistió en aproximar a las dimensiones finales de la probeta, para eso fue necesario el diseño y construcción de una máquina, el diseño de ésta se basó en la máquina de sierra circular para carpintero.

La configuración del prototipo se muestra en la figura 10. En el anexo 2 se muestran las partes y dimensiones del prototipo.

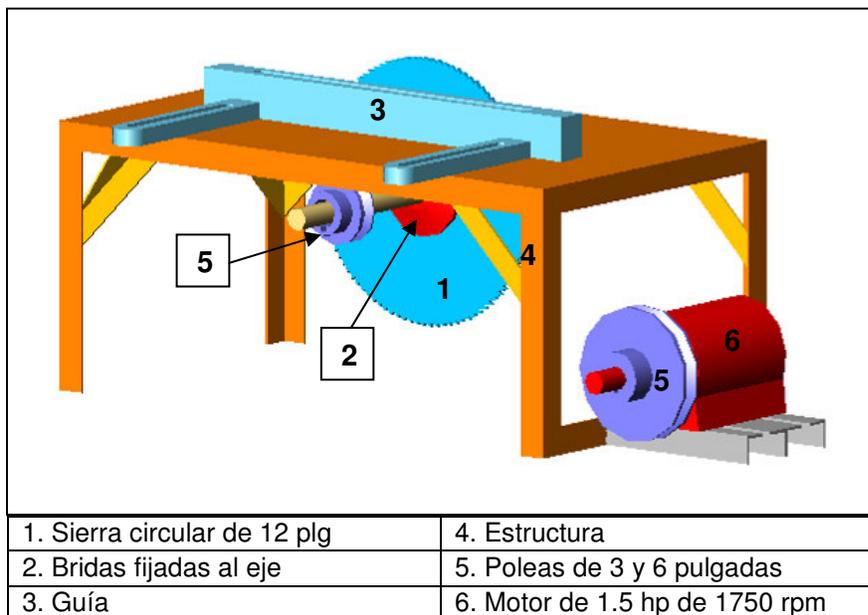


Figura 10. Prototipo extractor de probetas cúbicas

La segunda fase fue extraer las probetas con dimensiones de 127 mm de largo y 12.70 mm x 6.36 mm en la sección transversal, de acuerdo a lo que marca la norma ASTM D6110, como se muestra en la Figura 11.

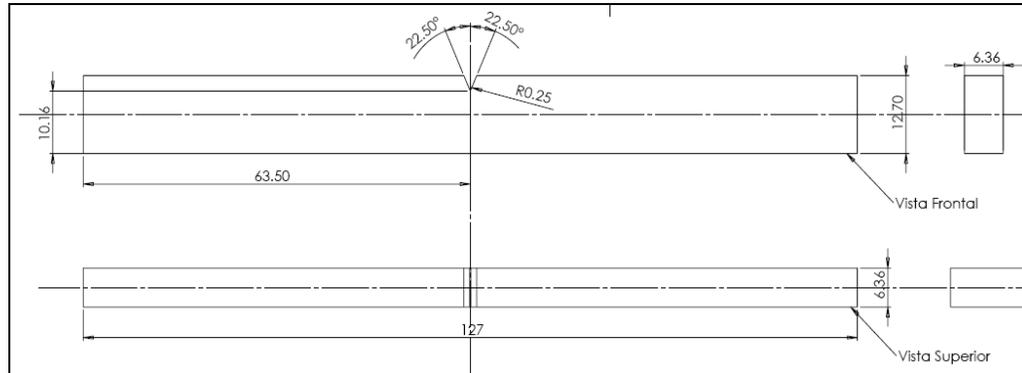


Figura 11. Dimensiones de las probetas de acuerdo a la norma ASTM D6110

Los equipos utilizados para la extracción de probetas fueron dos sierras cinta, marca Performax y Craftsman, una se encuentra en la CESAT-UPAEP y la otra en el CIIDIR-Oaxaca respectivamente, como se observa en la figura 12.



Figura 12. Sierras cinta para extracción de probetas

El ensayo de impacto se realizó en la CESAT-UPAPEP en donde cuentan con un péndulo para ensayos de impacto marca Zwick/Roell modelo 5113.300 2005, mostrado en la figura 13, calibrado por el Centro Nacional de Metrología (CENAM). El péndulo trabaja con un ángulo inicial de 160°, con longitud de brazo de 225 mm a una velocidad de impacto de 2.93 m/s. Los resultados se muestran en pantalla, debido a que es digital.



Figura 13. Péndulo para ensayo de impacto Charpy

Para iniciar con los ensayos es necesario calibrar el equipo, por lo cual después de encender el equipo, se procede a la corrección de fricción, para esto se hace un ensayo sin carga, en pantalla se muestra un valor en Joule. En la función de ensayo se introduce el valor antes mencionado. Se procede a realizar otro ensayo sin carga, el valor obtenido deberá ser cercano a 0.0 J. Posteriormente se inicia con el ensayo, primero se miden la sección transversal de la probeta, esos valores se introducen en el equipo. Enseguida se monta la probeta en las mordazas como se muestra en la figura 14-a. Posteriormente se libera el seguro para que el percutor actúe sobre la probeta y se procede al registro de datos como se muestra en la figura 14-b. El ensayo se realizó a 25°C y a 50% de humedad relativa.

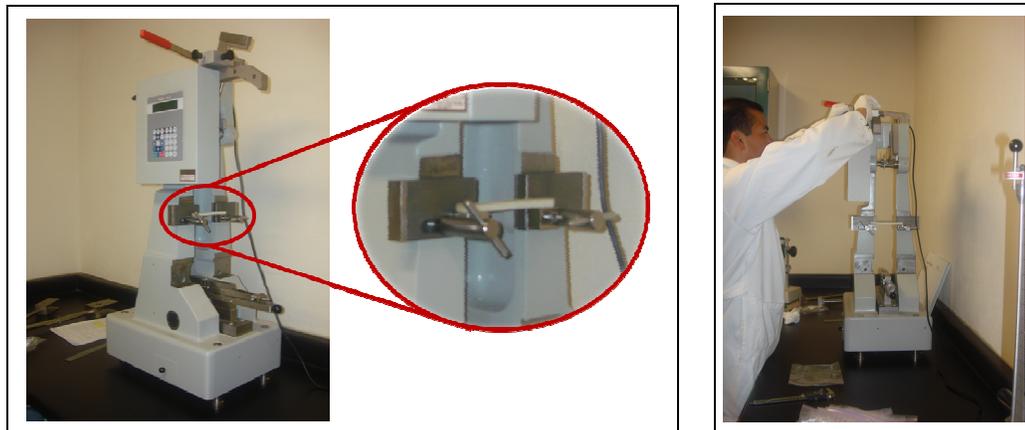


Figura 14. a) Montaje de probeta en las mordazas; b) Ensayo Charpy.

3.5. Contenido de humedad.

El contenido de humedad se determinó en las muestras sobre las que se ensayaron por impacto; las cuales después de realizar el ensayo se almacenaron dentro de dos bolsas con cierre hermético, una bolsa contenía a la probeta y la otra contenía a todas las probetas del estrato; de igual manera se hicieron para los demás estratos. Finalmente se depositaron dentro de un recipiente para su transporte.

El contenido de humedad se realizó en el laboratorio de análisis de agua en las instalaciones del CIIDIR Oaxaca. Para esta práctica se utilizó la Norma Oficial Mexicana NOM-116-SSA1-1994. Los materiales y equipos utilizados fueron los siguientes: un desecador con placa; sílica gel con indicador; agua destilada; gasa; cápsulas de aluminio con tapa; varillas de vidrio y pinzas para crisol; balanza analítica con $\pm 0,1$ mg de sensibilidad y estufa con termostato.

El contenido de humedad en la muestra se calculó con la ecuación 17 expresada en por ciento:

$$\text{Humedad en \%} = \frac{M_2 - M_3}{M_2 - M_1} \times 100 \quad \text{Ecuación 17}$$

En donde:

M_1 = Peso de la cápsula con gasa (g)

M_2 = Peso de la cápsula con gasa más muestra húmeda (g)

M_3 = Peso de la cápsula con gasa más muestra seca (g)

3.6. Determinación del tamaño de muestra.

Lohr (1999) propone diferentes métodos para la selección del tamaño de muestra, entre las cuales se encuentran: muestra aleatoria simple, muestra estratificada y muestra por conglomerados. Una muestra aleatoria simple es la forma más sencilla de realizar un muestreo probabilístico; se obtiene una muestra aleatoria simple de tamaño n cuando cualquier subconjunto posible de n unidades en la población tiene la misma probabilidad de ser seleccionada para componer la muestra. En una muestra aleatoria

estratificada, la población se divide en subgrupos llamados *estratos*; al llevar a cabo esta división, se extrae una muestra aleatoria simple de cada estrato la cual se elige de manera independiente. En una muestra por conglomerados, las unidades de observación que componen una población se reúne en unidades de muestreo de mayor tamaño, llamadas *conglomerados*. Los tres métodos implican la selección aleatoria de las unidades que formaran parte de la muestra. En una muestra aleatoria simple, las propias unidades de observación se eligen al azar de los elementos que componen la población; en una muestra estratificada, se escogen al azar las unidades de observación dentro de cada estrato; en una muestra por conglomerados, los conglomerados se eligen al azar entre toda la población.

En el caso de esta investigación se hizo un muestreo por el método de *muestra aleatoria estratificada*, ya que nuestro objetivo fue analizar en tres secciones diferentes (estratos) la energía de corte por impacto del *Agave angustifolia* Haw, como se muestra en la figura 15.

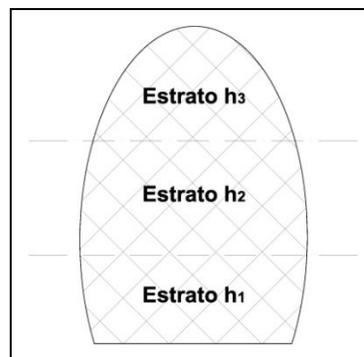


Figura 15. Estratos de la piña de agave

De la figura anterior se observa la división de la población de N unidades de muestreo en H estratos, con N_h unidades de muestreo en el estrato h . En este caso el total de las unidades de muestreo fue de $N=120$ pencas en $H=3$; distribuidos en los diferentes estratos como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Distribución de pencas en los estratos

Estrato	Numero de pencas
---------	------------------

h_1	$N_1=54$
h_2	$N_2=36$
h_3	$N_3=26$

Para determinar el número de la muestra se utilizó la ecuación 18:

$$n = \frac{Nz^2 pq}{E^2(N-1) + z^2 pq} \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

z = Valor de la variable aleatoria estandarizada para $\alpha/2$, correspondiente a un nivel de confianza o seguridad $(1 - \alpha)$.

E = Precisión que se desea para el estudio o Error máximo de estimación.

p = Idea del valor aproximado de la proporción poblacional. En caso de no tener dicha información se utiliza el valor $p = 0.5$ (50%).

q = El valor del complemento de p , se calcula con: $q = 1 - p$.

Los valores utilizados para este estudio fueron los siguientes:

$$N = 120$$

$$z = 1.645 \text{ (90\%)}$$

$$E = 0.1 \text{ (10\%)}$$

$$p = 0.5$$

$$q = 1 - p = 0.5$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación 18, se obtiene el número de muestra total.

$$n = \frac{120(1.645)^2(0.5)(0.5)}{(0.1)^2(120-1) + (1.645)^2(0.5)(0.5)} = 43.49$$

Redondeando el valor obtenido, se tiene $n=44$.

Por medio de una asignación proporcional, se determinó el número de observaciones en cada estrato, debido a que la cantidad de unidades en la muestra y en cada estrato

es proporcional al tamaño del propio estrato, para este caso se utilizó la ecuación 19, con la cual se obtuvo el número de muestras para cada estrato.

$$n_h = \frac{n \cdot N_h}{N} \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde:

n_h = Tamaño de la muestra en el estrato h.

n = Tamaño total de la muestra extraída.

N_h = Subpoblación en el estrato h.

N = Población.

Sustituyendo los valores en la ecuación 19 se obtienen los siguientes valores:

Para el estrato 1:

$$n_1 = \frac{44(54)}{120} = 19.8$$

Para el estrato 2:

$$n_2 = \frac{44(36)}{120} = 13.2$$

Para el estrato 3:

$$n_3 = \frac{44(26)}{120} = 9.53$$

De esta manera se tuvo la asignación proporcional del número de observaciones en los estratos. Para h_1 ; $n=20$, h_2 ; $n=14$ y h_3 ; $n=10$.

Capítulo 4. Resultados.

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de acuerdo a la metodología. Se presenta la recolección de la materia prima, algunas de sus características físicas, la extracción de probetas para el ensayo de impacto, los datos obtenidos de los ensayos de impacto y el análisis de los datos por medio de comparación de medias por ANOVA de un solo factor y por el método Kruskal-Wallis y Dunn.

4.1. Recolección de material.

El agave que se observa en la figura 16 fue el utilizado para realizar los ensayos de impacto, en campo se tomaron las dimensiones generales, con estas mediciones se obtuvo: la altura total de 2.25 m, el diámetro de 4.16 m y la altura del qurote de 1.50 m.



Figura 16. Mediciones del Agave angustifolia Haw

Para cosechar el agave; como primer paso se cortaron algunas hojas de la parte baja del agave, con el propósito de despejar el área para la manipulación de la barreta, herramienta con la cual se hizo extracción del agave. Después se extrajo el agave desde la raíz y se transportó a las instalaciones del CIIDIR Oaxaca, como se muestra en la figura 17.



Figura 17. Cosecha y transporte del Agave angustifolia Haw

4.2. Características físicas de la piña de agave y de las pencas.

Para poder determinar las características físicas de la piña de agave y de las pencas fue necesario cortar las hojas del agave como se muestra en la figura 18, para esta actividad se utilizó un machete.



Figura 18. Corte de las hojas

Después del corte de las hojas se obtuvieron las dimensiones de la piña de agave, para esto se utilizó cinta métrica de nylon, flexómetro metálico, escuadra metálica plana de aluminio con un rango de 0 a 60 cm y precisión de 1 cm, y medidor de alturas de columna sencilla con vernier con un rango de 0-30 cm y precisión de 0.02 mm, como se muestra en la figura 19. De estas mediciones se obtuvo los siguientes valores: la altura total de la piña midió 75 cm, los diámetros a diferentes alturas se presentan en la tabla 3.



Figura 19. Mediciones de la piña de agave

Tabla 3. Diámetro de la piña a diferentes alturas

Altura de medición (cm)	Diámetro (cm)
12.5	192
25.0	217
37.5	215
50.0	176
62.5	176
75.0	14.48

Posteriormente se extrajeron las pencas y se clasificaron de acuerdo al estrato en la que se encontraban, el conteo de los estratos se hace desde la base de la piña hasta la base del qurote. Después se midió el largo, alto y ancho de algunas pencas como se observa en la figura 20, de acuerdo a la nomenclatura que se me muestra en la figura 8 del capítulo anterior.

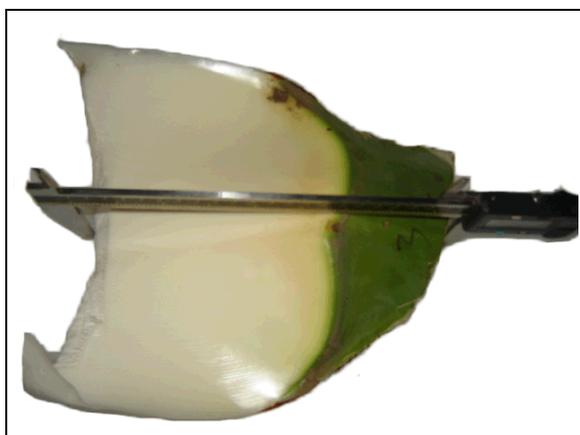


Figura 20. Medición de dimensiones de las pencas

Los datos obtenidos se muestran en la tabla 4:

Tabla 4. Dimensiones de las pencas

Orden	Nomenclatura	Largo (mm)	Alto (mm)	Ancho (mm)
1	1.1.2	181.58	119.06	51.17
2	1.2.2	176.18	128.22	57.23
3	1.3.2	166.93	147.32	52.48
4	1.4.2	175.61	141.07	57.14
5	1.5.2	177.96	124.48	54.34
6	1.6.2	182.45	123.71	58.54
7	1.7.2	171.32	151.52	67.81
8	1.8.2	204.00	142.58	71.42

Tabla 4 (Continuación). Dimensiones de las pencas

Orden	Nomenclatura	Largo (mm)	Alto (mm)	Ancho (mm)
9	1.9.2	197.11	161.72	67.99
10	1.10.2	221.72	169.37	70.46
11	1.11.2	223.28	165.64	75.83
12	1.12.2	217.99	158.17	73.71
13	1.13.2	219.20	151.46	74.75
14	1.14.2	216.52	157.40	80.43
15	1.15.2	215.49	160.45	86.06
16	1.16.2	217.42	173.82	83.99
17	1.17.2	229.64	136.09	79.56
18	1.18.2	239.15	133.53	72.91
19	2.1.3	229.20	166.69	89.99
20	2.2.3	227.12	180.58	91.93
21	2.3.3	227.65	173.19	88.89
22	2.4.3	229.65	165.63	82.96
23	2.5.3	234.86	195.46	87.87
24	2.6.3	229.62	196.56	92.25
25	2.7.3	223.69	193.93	93.44
26	2.8.3	221.96	198.74	90.19
27	2.9.3	213.94	180.11	95.23
28	2.10.3	231.17	204.11	88.84
29	2.11.3	234.50	211.95	102.72
30	2.12.3	223.33	206.43	101.15
31	3.1.1	232.54	210.02	104.11
32	3.2.1	227.93	204.39	106.03
33	3.3.1	224.40	214.76	111.81
34	3.4.1	207.63	224.06	111.74
35	3.5.1	212.22	217.50	103.00
36	3.6.1	198.70	222.41	100.29
37	3.7.1	190.38	190.24	109.28
38	3.8.1	172.94	188.02	93.81
39	3.9.1	161.28	201.71	89.15
Promedio		209.95	174.15	83.85

Para terminar, se midió el corazón del agave como se muestra en la figura 21 en donde se obtuvo una altura de 49 cm.



Figura 21. Mediciones del corazón de agave

4.3. Extracción de probetas.

Para esta etapa se utilizaron dos máquinas, en la primera se hicieron cortes de las pencas cercanas a la dimensión de las probetas, debido a que el área de corte de la sierra cinta no era suficiente para cortar una penca entera, Se obtuvo dos tipos de probetas con diferentes orientaciones de probetas: perpendicular y paralela a la sección transversal como se muestra en la figura 22. También se le hicieron muescas a las probetas, esto se realizó con una lima para joyero de 60° a una profundidad aproximada de 2 mm.

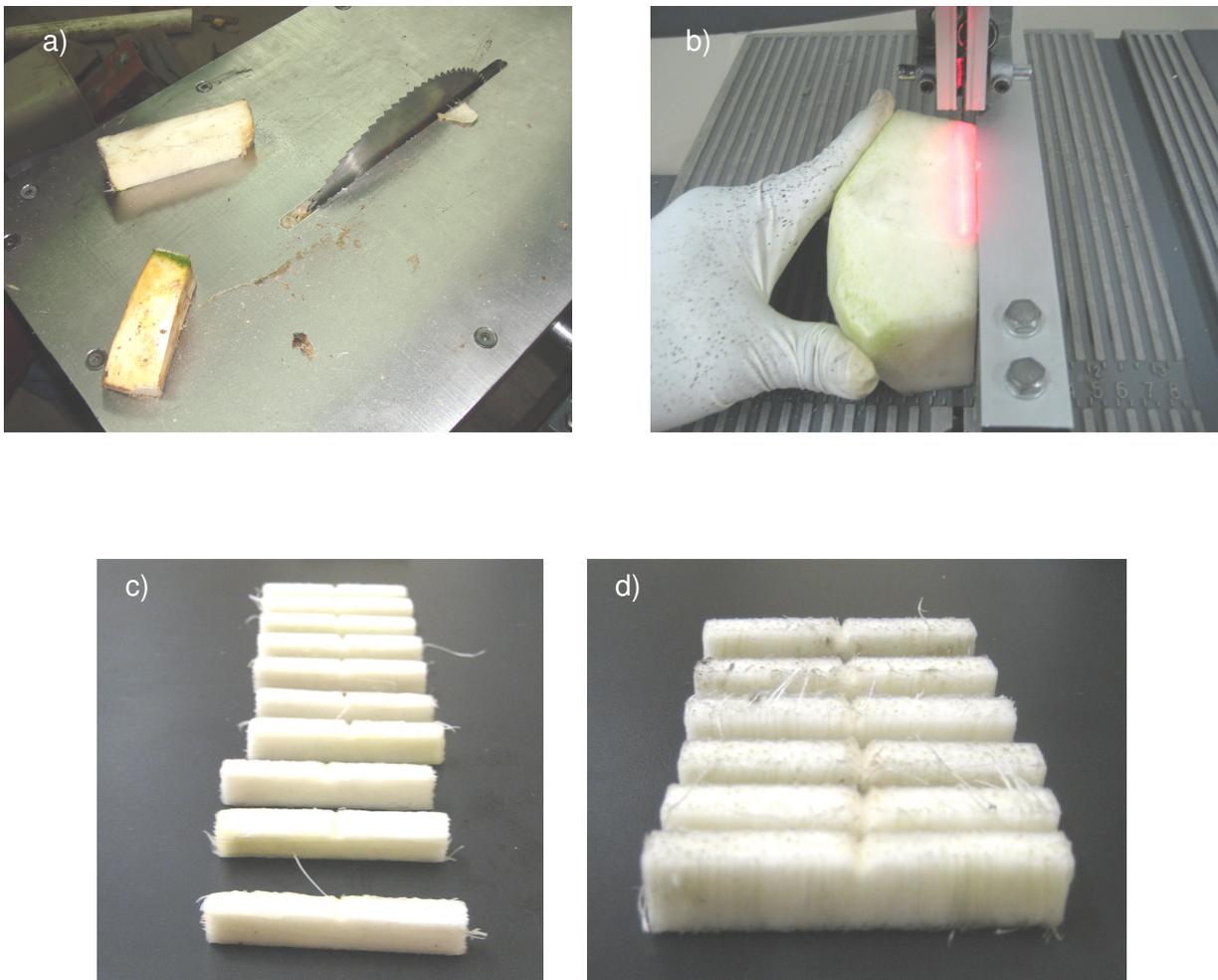


Figura 22. a) Corte de probetas con sierra circular; b) Corte de probetas con sierra cinta; c) Probetas con orientaciones perpendiculares a la sección transversal; d) Probetas con orientaciones paralelas a la sección transversal.

4.4. Análisis de datos de ensayos de impacto.

Posteriormente a la extracción de las probetas se realizó el ensayo de impacto, iniciando con las probetas con fibras perpendiculares a la sección transversal de las tres secciones; enseguida se realizaron los ensayos de impacto sobre las probetas con fibras paralelas a la sección transversal. Con estos ensayos se obtuvo los datos de energía de impacto por unidad de área de cada estrato y con sus orientaciones de fibras; la tabla de resultados se muestra en la tabla 5 y tabla 6; de igual manera en la tabla 7, se presenta los resultados de la energía de impacto del corazón del agave.

Tabla 5. Energía de impacto a probetas con fibras perpendiculares a la sección transversal

Cantidad de muestras	Energía (kJ/m ²)		
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3
1	6.1	5.4	7.9
2	5.4	7.2	4.9
3	7.0	7.5	7.9
4	6.2	3.0	11.1
5	7.8	5.3	5.0
6	5.9	5.9	7.1
7	5.7	4.7	6.5
8	8.0	4.5	9.0
9	3.3	5.6	7.6
10	2.9	6.0	5.9
11	4.0	7.0	-
12	8.9	5.1	-
13	6.1	6.2	-
14	3.1	2.6	-
15	6.2	-	-
16	8.8	-	-
17	5.6	-	-
18	6.4	-	-
19	5.9	-	-
20	5.7	-	-
Suma	119	76	72.9
Valor medio	5.950	5.429	7.290
n _k	20	14	10
Media aritmética de todos los valores			6.223
Número total de los resultados			44

Tabla 6. Energía de impacto a probetas con fibras paralelas a la sección transversal

Cantidad de muestras	Energía (kJ/m ²)		
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3
1	0.6	0.3	0.4
2	0.5	0.4	0.5
3	0.5	0.4	0.6
4	0.5	0.4	0.6
5	0.5	0.4	0.6
6	0.5	0.5	0.5
7	0.5	0.4	0.5
8	0.6	0.5	0.6
9	0.6	0.4	0.5
10	0.6	0.4	0.6
11	0.5	0.4	-
12	0.5	0.4	-
13	0.5	0.3	-
14	0.4	0.4	-
15	0.5	-	-
16	0.5	-	-
17	0.4	-	-
18	0.6	-	-
19	0.6	-	-
20	0.6	-	-
Suma	10.5	5.6	5.4
Valor medio	0.525	0.400	0.540
n _k	20	14	10
Media aritmética de todos los valores	0.488		
Número total de los resultados	44		

Tabla 7. Energía de impacto a probetas extraídas del corazón del agave

Cantidad de muestras	Energía (kJ/m ²)						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
1	0.3	0.6	0.7	0.6	0.7	0.7	1.1
2	0.3	0.5	0.7	0.7	0.7	0.8	1.6
3	0.4	0.3	1.1	0.8	1.1	0.9	1.0
4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.6	0.7	1.0
5	0.4	0.4	0.6	0.7	1.1	0.6	1.1
6	0.6	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	1.1
Suma	2.4	2.7	4.2	4.2	5.0	4.5	6.9
Valor medio	0.40	0.45	0.70	0.70	0.83	0.75	1.15
n _k	6	6	6	6	6	6	6
Media aritmética de todos los valores	0.712						
Número total de los resultados	42						

Para el análisis de estos datos, se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 15.0 para Windows. Se hizo la comparación de medias de los estratos, con el método de ANOVA de un solo factor.

Para realizar el ANOVA se plantearon dos hipótesis, la hipótesis nula y la alterna; la hipótesis nula (H_0) menciona que las medias de los tres estratos son iguales; y la hipótesis alterna (H_1) menciona que al menos una de las medias es diferente.

$$H_0 : \mu_{est1} = \mu_{est2} = \mu_{est3}$$

H_1 : *Al menos una media de los estratos es diferente*

Si sig < 0.10 entonces rechazar la H_0

Si sig > 0.10 entonces no rechazar la H_0

Con el objeto de saber si era factible realizar el ANOVA, primeramente se hicieron pruebas de normalidad y homogeneidad para cada orientación de fibras. En este caso se utilizaron las hipótesis de normalidad y así como también las reglas de decisión:

H_0 : Los datos de energía de impacto se distribuyen de manera normal en cada estrato.

H_1 : Los datos de energía de impacto no se distribuyen de manera normal en cada estrato.

Si sig < 0.10 entonces rechazar la H_0

Si sig > 0.10 entonces no rechazar la H_0

4.4.1. Análisis de datos para probetas con fibras perpendiculares a la sección transversal.

Se inició con la tabla 5; SPSS dio como resultado la tabla 8, en donde se observan datos de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk; para este caso se utilizó el segundo, debido a que las muestras son menores a 50. La significancia observada de los estratos fue mayor al nivel de significancia, por lo cual se concluyó que las energías se distribuyen en forma normal en cada estrato. Con esto se cumplió el primer requisito para poder utilizar el ANOVA.

Tabla 8. Pruebas de normalidad

Estratos del agave		Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Energía de corte Fib-Per	Estrato 1	.173	20	.119	.932	20	.168
	Estrato 2	.123	14	.200(*)	.948	14	.534
	Estrato 3	.173	10	.200(*)	.948	10	.647

*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Enseguida se hizo la prueba de homogeneidad de varianzas; primeramente se hizo una observación de la grafica de error mostrada en la figura 23, en donde se observó que las medias y sus desviaciones son muy similares, el estrato 3 parece ser el más disperso y el estrato 2 el menos disperso. Gráficamente se observó homogeneidad, pero para tener mayor seguridad fue necesario realizar una prueba estadística denominada prueba de Levene.

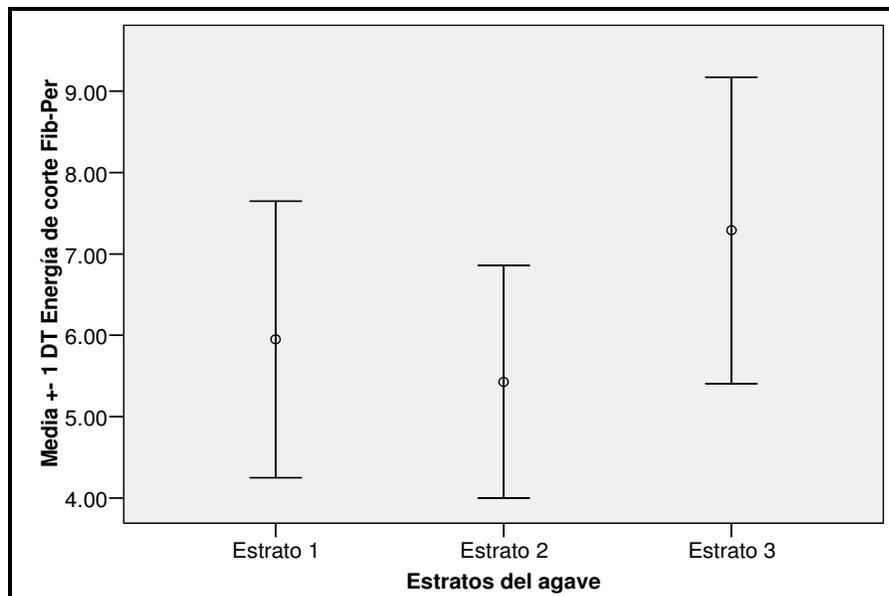


Figura 23. Grafica de error

La tabla 9 muestra la prueba de Levene, en donde se observó que sig. es mayor que el nivel de significancia, por lo cual no se rechazó la hipótesis de homegenidad, concluyendo que los tres estratos tienen varianzas homogéneas.

Tabla 9. Prueba de homogeneidad de varianzas

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
.306	2	41	.738

Como se cumplieron los dos requisitos: normalidad y homogeneidad de varianzas, se hizo el análisis de varianza, en la tabla 10 se muestra que Sig. es menor que el nivel de significancia de tal manera que se rechazó la hipótesis nula, por lo cual se concluye que al menos una de las medias de los estratos es diferente.

Tabla 10. ANOVA Energía de corte Fibras-Perpendiculares

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	20.917	2	10.458	3.793	.031
Intra-grupos	113.048	41	2.757		
Total	133.964	43			

Se realizó también una prueba denominada *post hoc*, con el fin de saber cuál de las medias es diferente, primeramente se observó la grafica de medias mostrado en la figura 24, la cual nos muestra que la en donde se necesita menor energía es en el estrato 2 y más energía en el estrato 3.

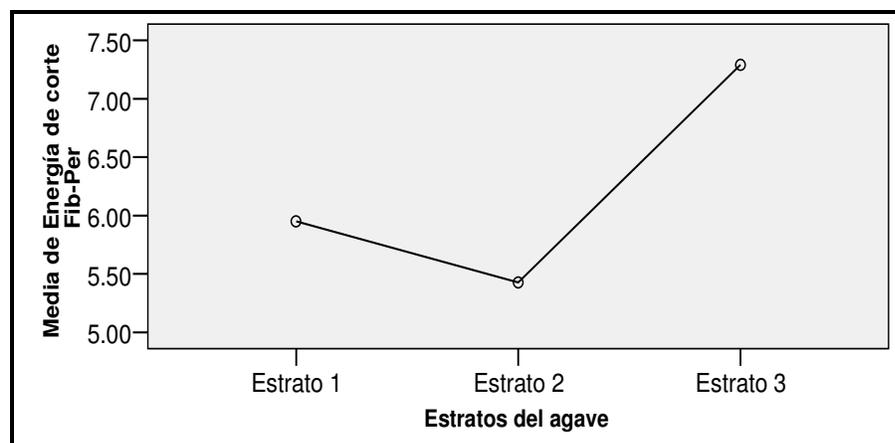


Figura 24. Grafica de medias de energía de los tres estratos

Para saber en donde se encuentra la significancia de esas diferencias se aplicó la prueba *post hoc*; asumiendo que existen varianzas iguales se utilizó Scheffé. La tabla

11, muestra las comparaciones en donde se observó que la diferencia significativa se encuentra entre el estrato 2 y 3.

Tabla 11. Comparación Scheffé entre estratos

	Sig.		
	(J) Estratos del agave		
(I) Estratos del agave	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3
Estrato 1		.669	.127
Estrato 2	.669		.034
Estrato 3	.127	.034	

También se hizo una prueba de contrastes para los tres estratos asumiendo que existe igualdad de varianzas. El contraste 1 fue entre el estrato 2 y 3, obteniendo que si es significativa la energía de corte; en el contraste 2, entre el estrato 1 y 2, se obtuvo que no hay diferencia significativa; finalmente en el contraste 3, se obtuvo que si hay significancia, aunque en menor significancia que en el primer contraste. La tabla 12 muestra los coeficientes de contrastes y la tabla 13 muestra la prueba para los contrastes de los tres estratos.

Tabla 12. Coeficientes de los contrastes

Contraste	Estratos del agave		
	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3
1	0	1	-1
2	1	-1	0
3	1	0	-1

Tabla 13. Pruebas para los contrastes

	Contraste	Valor del contraste	Error típico	t	gl	Sig. (bilateral)
Asumiendo igualdad de varianzas	1	-1.8614	.68751	2.707	41	.010
	2	.5214	.57863	.901	41	.373
	3	-1.3400	.64311	2.084	41	.043
No asumiendo igualdad de varianzas	1	-1.8614	.70654	2.635	16.050	.018
	2	.5214	.53812	.969	30.814	.340
	3	-1.3400	.70547	1.899	16.525	.075

4.4.2. Análisis de datos para probetas con fibras paralelas a la sección transversal.

Continuando con el análisis de los datos de la tabla 6, para saber si era posible realizar ANOVA, se procedió a realizar la prueba de normalidad, dando como resultado que sig es menor que el nivel de significancia, como se observa en la tabla 14. Debido a esto, no se pudo realizar el ANOVA ya que los datos de energía de impacto no se distribuyen de manera normal en los estratos.

Tabla 14. Pruebas de normalidad

Estratos del agave		Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Energía de corte Fib-Par	Estrato 1	.302	20	.000	.780	20	.000
	Estrato 2	.357	14	.000	.735	14	.001
	Estrato 3	.305	10	.009	.781	10	.008

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Para el análisis de estos datos, se utilizó Kruskal-Wallis. La hipótesis utilizada, así como la regla de decisión se muestra a continuación:

$$H_0 : \mu_{est1} = \mu_{est2} = \mu_{est3}$$

H_1 : Al menos una media de los estratos es diferente

Si sig < 0.10 entonces rechazar la H_0

Si sig > 0.10 entonces no rechazar la H_0

La tabla 15 muestra los rangos promedios de energía de los estratos y la

tabla 16 muestra la prueba de Kruskal-Wallis en donde se observa que la significancia es menor que el nivel de significancia por lo cual se rechaza la H_0 , de esta manera se concluye que al menos una de las medias de los estratos es diferente. Estas tablas se obtuvieron del SPSS.

Tabla 15. Rangos promedios de los estratos

Estratos del agave		N	Rango promedio
Energía de corte Fib-Par	Estrato 1	20	27.58
	Estrato 2	14	10.07
	Estrato 3	10	29.75
	Total	44	

Tabla 16. Prueba de Kruskal-Wallis Estadísticos de contraste

	Energía de corte Fib-Par
Chi-cuadrado	21.652
gl	2
Sig. asintót.	.000

a Prueba de Kruskal-Wallis

b Variable de agrupación: Estratos del agave

Para saber en donde hay significancia de energía entre los estratos, se utiliza la prueba Dunn, el cálculo para esta prueba se realizó manualmente con la ayuda de Excel 2007, debido a que Kruskal-Wallis y el SPSS no tienen dicha prueba.

Como primer paso fue calcular el α ajustado, con la ecuación 20 mostrada a continuación:

$$\alpha = \frac{\alpha}{K(K-1)} = \frac{0.10}{3(3-1)} = 0.0167 \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde:

α = nivel de significancia

K = es el número de grupos en este caso el numero de estratos

El segundo paso fue calcular la $Z_{1-\alpha}$, para determinar este valor se hizo primeramente la diferencia de $1 - \alpha$ dando un valor de 0.983, posteriormente con la ayuda de Excel e introduciendo la siguiente formula se obtuvo la $Z_{1-\alpha}$.

$$Z_{1-\alpha} = \text{DISTR.NORM.ESTAND.INV}(0.983) = 2.128$$

El tercer paso fue calcular una diferencia teórica Δ_{ij} en función de $Z_{1-\alpha}$. De la ecuación 21 que se muestra a continuación se obtiene la diferencia teórica.

$$\Delta_{ij} = Z_{1-\alpha} \sqrt{\frac{N(N+1)}{12} \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}$$

Ecuación 21

En donde: N es la suma total de energía de los tres estratos y $n_{i,j}$ es la suma total de energía de cada estrato. Al realizar la suma de energía de los tres estratos dio como resultado $N = 21.5$. La tabla 17 muestra los valores de $n_{i,j}$ para cada estrato y reemplazando valores en la ecuación 21 en Excel, se obtuvo las diferencias entre parejas.

Tabla 17. Diferencias teóricas entre estratos

	n_j	10.5	5.6	5.4
n_i		Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3
10.5	Estrato 1		7.07009088	7.154969
5.6	Estrato 2	7.0700909		8.1490348
5.4	Estrato 3	7.154969	8.14903476	

Como último paso, se calculó el valor absoluto de las diferencias observadas de los rangos promedios, esos valores se muestran en la tabla 15. De acuerdo a la regla de decisión la cual menciona que: $si |\bar{R}_i - \bar{R}_j| > \Delta_{ij}$; entonces la diferencia es significativa. Los valores obtenidos con Excel se muestran en la tabla 18. Se aplicó la regla de decisión con lo cual se obtuvo que en donde existen diferencias significativas es entre el estrato 1 y 2; así mismo también entre los estratos 2 y 3, en los estratos 1 y 3 no se observó diferencia significativa.

Tabla 18. Diferencia de rangos promedios

	R_j	27.58	10.07	29.75
R_i		Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3
27.58	Estrato 1		17.51	2.17
10.07	Estrato 2	17.51		19.68
29.75	Estrato 3	2.17	19.68	

4.4.3. Análisis de datos para probetas extraídas del corazón.

Para el análisis de los datos del corazón, se utilizó también Kruskal-Wallis debido a que tampoco hubo normalidad de los datos, la tabla 19 muestra que la sección 1, 3 y 7 son menores que el nivel de significancia 0.10, por lo cual no existe normalidad. De igual manera se observó a Shapiro-Wilk debido a que el número de muestras fueron menores a 50.

Tabla 19. Pruebas de normalidad de las secciones del corazón

Secciones de los cortes	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
Energía de corte del corazon	Sección 1	.333	6	.036	.814	6	.078
	Sección 2	.183	6	.200(*)	.960	6	.820
	Sección 3	.333	6	.036	.812	6	.075
	Sección 4	.333	6	.036	.827	6	.101
	Sección 5	.231	6	.200(*)	.840	6	.129
	Sección 6	.183	6	.200(*)	.960	6	.820
	Sección 7	.421	6	.001	.672	6	.003

* Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a Corrección de la significación de Lilliefors

La hipótesis utilizada, así como la regla de decisión se muestra a continuación:

$$H_0 : \mu_{est1} = \mu_{est2} = \mu_{est3}$$

$H_1 : Al menos una media de los estratos es diferente$

Si sig < 0.10 entonces rechazar la H_0

Si sig > 0.10 entonces no rechazar la H_0

La tabla 20 muestra los rangos promedios de energía de las secciones y la tabla 21 muestra la prueba de Kruskal-Wallis en donde se observa que la significancia es menor que el nivel de significancia por lo cual se rechaza la H_0 , de esta manera se concluye que al menos una de las medias de los estratos es diferente. Estas tablas se obtuvieron del SPSS.

Tabla 20. Rangos promedios de las secciones

	Secciones de los cortes	N	Rango promedio
Energía de corte del corazón	Sección 1	6	6.17
	Sección 2	6	8.17
	Sección 3	6	20.92
	Sección 4	6	23.25
	Sección 5	6	28.25
	Sección 6	6	26.00
	Sección 7	6	37.75
	Total	42	

Tabla 21. Prueba de Kruskal-Wallis Estadísticos de contraste(a,b)

	Energía de corte del corazón
Chi-cuadrado	30.476
gl	6
Sig. asintót.	.000

a Prueba de Kruskal-Wallis

b Variable de agrupación: Secciones de los cortes

Se hicieron los cálculos de la prueba Dunn siguiendo los 4 pasos obteniendo los siguientes valores: $\alpha = 0.00238$; $Z_{1-\alpha} = 2.822$. Los datos de la diferencia teórica Δ_{ij} se presentan en la tabla 22.

Tabla 22. Diferencias teóricas entre secciones

	n_j	2.4	2.7	4.2	4.2	5.0	4.5	6.9
n_i		Sección 1	Sección 2	Sección 3	Sección 4	Sección 5	Sección 6	Sección 7
2.4	Sección 1		21.973	20.042	20.042	19.450	19.797	18.561
2.7	Sección 2	21.973		19.320	19.320	18.706	19.066	17.780
4.2	Sección 3	20.042	19.320		17.092	16.394	16.804	15.329
4.2	Sección 4	20.042	19.320	17.092		16.394	16.804	15.329
5.0	Sección 5	19.450	18.706	16.394	16.394		16.094	14.546
4.5	Sección 6	19.797	19.066	16.804	16.804	16.094		15.008
6.9	Sección 7	18.561	17.780	15.329	15.329	14.546	15.008	

Finalmente se calculó el valor absoluto de las diferencias observadas de los rangos promedios, se utilizó la regla de decisión $si |\bar{R}_i - \bar{R}_j| > \Delta_{ij}$; entonces la diferencia es significativa, las parejas entre secciones en donde se presenta diferencias significativas es: entre las secciones 1 y 5, 1 y 6, 1 y 7, 2 y 5, 2 y 7 finalmente entre las secciones 3 y 7 como se observa en la tabla 23.

Tabla 23. Diferencia de rangos promedios

	R_i	6.17	8.17	20.92	23.25	28.25	26	37.75
R_i		Sección 1	Sección 2	Sección 3	Sección 4	Sección 5	Sección 6	Sección 7
6.17	Sección 1		2	14.75	17.08	22.08	19.83	31.58
8.17	Sección 2	2		12.75	15.08	20.08	17.83	29.58
20.92	Sección 3	14.75	12.75		2.33	7.33	5.08	16.83
23.25	Sección 4	17.08	15.08	2.33		5	2.75	14.5
28.25	Sección 5	22.08	20.08	7.33	5		2.25	9.5
26	Sección 6	19.83	17.83	5.08	2.75	2.25		11.75
37.75	Sección 7	31.58	29.58	16.83	14.5	9.5	11.75	

4.5. Contenido de humedad.

Para determinar el contenido de humedad se realizaron ensayos de los estratos 1 y 2. Esta práctica se llevó a cabo en el laboratorio de análisis de agua del CIIDIR Oaxaca; la temperatura promedio del laboratorio fue de 22 °C con 50% de humedad relativa.

Con base a la Norma Oficial Mexicana NOM-116-SSA1-1994, se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en las tablas 24 y 25. Los resultados del estrato 1 se muestra en la tabla 24, en donde se observa el promedio de 62.48%.

Tabla 24. Contenido de humedad en el estrato 1

Número	Masa 1 (gr)	Masa 2 (gr)	Masa 3 (gr)	Contenido de Humedad (%)
1	32.8640	36.1018	33.9856	65.3592
2	33.3022	37.4404	34.6898	66.4684
3	27.8586	31.5024	29.1841	63.6231
4	29.7632	32.8457	31.0200	59.2279
5	29.2308	32.4909	30.4756	61.8171
6	34.8067	38.3308	36.2050	60.3218
7	28.8957	33.0335	30.2428	67.4441
8	30.4018	33.9187	31.7542	61.5457
9	37.2297	41.2508	38.7670	61.7692
10	29.9877	33.0967	31.1794	61.6693
11	30.8787	34.2383	32.1694	61.5817
12	29.5048	33.2940	31.0711	58.6641
13	31.8197	35.5556	33.0443	67.2208
14	30.6947	34.3406	32.1207	60.8876
15	29.8448	33.7200	31.2427	63.9270
16	31.9180	35.1256	33.1654	61.1111
17	36.0673	39.7498	37.5247	60.4236
18	32.5617	36.2636	34.0547	59.6694
19	35.7808	38.8612	36.8726	64.5566
Promedio				62.4888

En la tabla 25 se muestran los resultados del estrato 2. El promedio de contenido de humedad para este estrato fue del 65.16%

Tabla 25. Contenido de humedad en el estrato 2

Número	Masa 1 (gr)	Masa 2 (gr)	Masa 3 (gr)	Contenido de humedad (%)
1	34.8066	38.0227	35.9177	65.4519
2	29.8453	34.9162	31.5960	65.4756
3	30.4216	34.9398	31.9666	65.8050
4	32.8647	37.3506	34.4144	65.4540
5	30.6957	34.9309	32.0721	67.5009
6	29.0249	33.2321	30.5273	64.2898
7	29.7639	34.1530	31.1357	68.7453
8	31.7933	35.9478	33.2673	64.5204
9	31.1381	36.0996	32.9774	62.9285
10	32.5624	37.5279	34.2195	66.6277
11	37.0737	41.8222	39.0097	59.2292
12	39.8195	44.9235	41.4017	69.0008
13	40.8759	45.7069	42.7084	62.0679
Promedio				65.1613

De acuerdo a los resultados obtenidos y a la grafica de promedios del contenido de humedad, la figura 25 muestra que en el estrato 1 tiene menor contenido de humedad que el estrato 2.

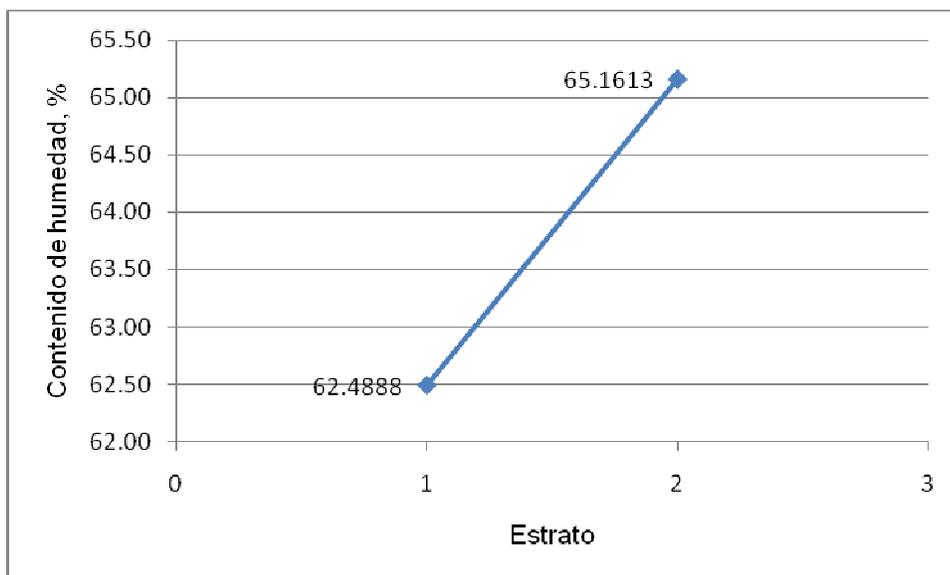


Figura 25. Gráfica de contenido de humedad de los estratos 1 y 2

Conclusiones.

Conclusiones.

Con los ensayos de impacto realizados con las probetas de agave se pudo obtener un parámetro como es la energía requerida por las probetas.

Las comparaciones realizadas entre estratos muestran que si existen diferencias significativas entre estratos; de igual manera se pudo obtener que las diferencias existentes para las probetas perpendiculares en los estratos 2-3 y 1-3. Para probetas con fibras paralelas las diferencias existen entre los estratos 1-2 y 2-3.

De igual manera el análisis estadístico para las secciones del corazón, mostraron que existen una diferencia significativa entre las secciones 1-5, 1-6, 1-7, 2-5, 2-7 y 3-7.

De esta manera se sabe que para realizar el corte por impacto se deben de tener en consideración la energía de corte en cada una de las secciones.

Con la determinación del contenido de humedad en los estratos 1 y 2, se concluye que la energía de corte necesaria depende del contenido de humedad; ya que en el estrato 1 el contenido de humedad fue del 62.48%, tomando como energía crítica las que se obtuvieron con fibras perpendiculares a la sección transversal con una energía de corte de 5.950 kJ/m². En el estrato 2 se obtuvo 65.16% de contenido de humedad y 5.429 kJ/m². Por lo cual se puede decir que a menor contenido de humedad se necesitará mayor energía de corte

Referencias.

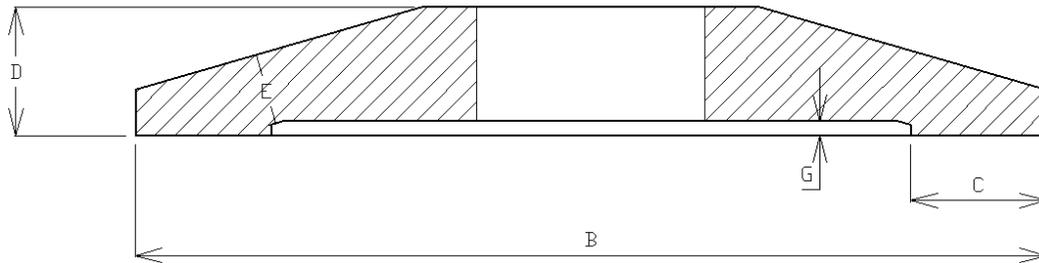
- Caballero, M., (2007) "Tecnología para una planta híbrida productora de mezcal y miel de agave *angustifolia Haw*" conferencia dictada durante las *III Jornadas Politécnicas de investigación 2007*. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-IPN-OAXACA), 14-15 de noviembre de 2007.
- Chao, Y; Ward, J. y Sands R., (2005) "Charpy impact energy, fracture toughness and ductile-brittle transition temperature of dual-phase 590 steel". *Materials & Design*. Vol. 28, pp. 551-557.
- Chattopadhyay, P. y Pandey, K., (1999) "Mechanical properties of sorghum stalk in relation to quasi-static deformation". *Journal Agricultural Engineering Research*. Vol. 73, pp. 199-206.
- Cuadrado, T. y Abraham, G., (2007) *Propiedades mecánicas de Biomateriales*. Instituto de Investigación en Ciencia y Tecnología de Materiales (INTEMA). Mar de Plata, Argentina.
- Cykler, J., (1951) "Energy requirement for shearing pineapple". *Journal Agricultural Engineering*.
- Dowling, N., (1998). *Mechanical behavior of materials: Engineering methods for deformation, fracture and fatigue*. Second edition. Prentice Hall, New Jersey.
- Echeverria, R., (2003) *Fractura de materiales*. Facultad de ingeniería, laboratorio de ensayos no destructivos. Universidad Nacional del Comahue.
- Espinosa, H., (2002) *La materia prima para producir el mezcal oaxaqueño: catálogo de la diversidad de agaves*. Oaxaca, Méx.: SAGARPA-INIFAP.
- Eşref, H., (2007). "Moisture-dependent physical properties of white speckled red kidney bean grains". *Journal of Food Engineering*. Vol.82, pp. 209–216.
- FAO, (2004) *El consumo de leña en la producción de mezcal. El caso de Santiago Matatlán, Oaxaca*.
- Fluck, R. y Ahmed, E., (1973). *Impact testing of fruits and vegetables*. ASAE pp. 660-666.
- Fong, S., (2004) *Evaluation impact strength on particulate reinforced (25% and 33%) vinyl ester composite cured under microwave conditions*. University of Southern Queensland, Faculty of Engineering and Surveying. pp. 46.
- Gipsy, T. y Gustavo, V., (2005) "Rheology for the food industry". *Journal of Food Engineering*. Vol. 67, pp. 147–156.
- Godeša, T., (2004). "Determination of minimal cutting speed by flailing potato vines". *Acta agriculturae slovenica*. Vol. 83 num. 1, pp. 137-146.
- Gonzalez, C. y Ansell, M, "Mechanical properties of henequen fibre and epoxy resin composite material". *Department of Mechanical Engineering, University of Bath, UK*.
- Jaramillo, H. y Ruiz, A., (2003) "Análisis y simulación de la prueba de impacto tipo Charpy mediante elementos finitos". *Scientia Et Technica*. Num. 21, pp. 89-94.
- Jekendra, Y., (1999) "Physical and rheological properties of forage crops with reference to cutting". *Archivos de zootecnia*. Vol. 48 num. 181, pp. 75-78.
- Jindal, V. y Mohsenin, N., (1976). *Analysis simple pendulum impacting device for determining dynamic strength of selected food materials*. Asae pp. 766-770.

- Kabas, O.; Ozmerzi, A. y Akinci, I., (2005) "Physical properties of cactus pear (*Opuntia ficus india* L.) grown wild in Turkey". *Journal of Food Engineering*. Vol. 73, pp. 198-202.
- Kikuchi, H., (2007) "Development of apparatus for magnetic measurements of Charpy impact test pieces". *Materials Processing Technology*. Vol. 181, pp. 190-193.
- Lohr, Sharon L., (1999) *Muestreo: diseño y análisis*. Mexico, Thompson
- Matos, M.; et al., (2006) "Propiedades mecánicas y comportamiento a fractura de un polipropileno homopolímero comparado con un copolímero de impacto grado comercial". *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*. Vol. 25 num 2, pp 31-45.
- Mohsenin, N., (1986) *Physical properties of plant and animal materials. Structure physical characteristics mechanical properties. Second Revised*. New York: Gordon and Breach Science Publications.
- Montgomery, D., (2004) *Diseño y análisis de experimentos*. Grupo Editorial Iberoamericana. México.
- Müssig, J, (2006) "Influence of fineness, stiffness and load-displacement characteristics of natural fibres on the properties of natural fibre-reinforced polymers". *Journal of Natural Fibers*. Vol. 3(1), pp. 59-80.
- Noble S.; Brown R. y Davidson V., (2000) "Development of a maize breakage test method using a commercial food processor. *Journal Agricultural Engineering*. Vol. 77(4), pp. 385-390.
- NOM-070-SCFI-1994. Bebidas alcohólicas-mezcal-especificaciones.
- Ortega, Y., (2005) "Pruebas de impacto: ensayo Charpy". *Revista Mexicana de Física*. Vol. 52 num. 1, pp. 51-57.
- Palma, F de J., (1991) *El género Agave L. y su distribución en el estado de Oaxaca*. Tesis Licenciatura (Biologo)-UNAM, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala.
- Persson, S., (1987) *Mechanics of cutting plant material*. American Society of Agricultural Engineering. ASAE Technical Editor.
- Petarrin, V., (2002) "Análisis de la información de ensayos de impacto instrumentados sobre materiales poliméricos". *Asociación Argentina de Materiales*. ISSN 1668-4788.
- Prasad J., Gupta C. P. (1975). "Mechanical properties of maize stalk as related to harvesting". *Journal Agricultural Engineering Research*. Vol. 20, pp.79-87.
- Rittel, D., et al., (2002) "On testing of Charpy specimens using the one-point bend impact technique". *Experimental mechanics*. Vol. 42 num. 3, pp. 247-252.
- Robles, M de L., (2006) *Análisis prospectivo del potencial micorrizico y la respuesta a la inoculación con hongos de micorriza arbuscular del maguey mezcalero (Agave angustifolia Haw.)*. Tesis de maestría. Oaxaca. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-IPN-OAXACA).
- Salokhe, V. y Roy, P., (1999). "Development of a power tiller-drawn pineapple plant dressing machine". *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. Vol. 30(2), pp. 59-62.

- Seyed, M., et al., (2007) "Physical properties of pistachio nut and its kernel as a function of moisture content and variety. Part II. Gravimetical properties". *Journal of Food Engineering*. Vol. 81, pp. 218–225.
- Silva, L. y Caballero, M., (2001) Informe técnico del proceso de fabricación del mezcal de Oaxaca. México: IPN-CIIDIR Oaxaca.
- Steffe, J., (1992) Rheological methods in food process engineering. Freeman Press: East Lansing.
- Yiljep, Y. y Mohammed U., (2005) "Effect of knife velocity on cutting energy and efficiency during impact cutting of sorghum stalk". *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal Manuscript PM 05 004*. Vol. 7, pp. 1-10.

Anexos.

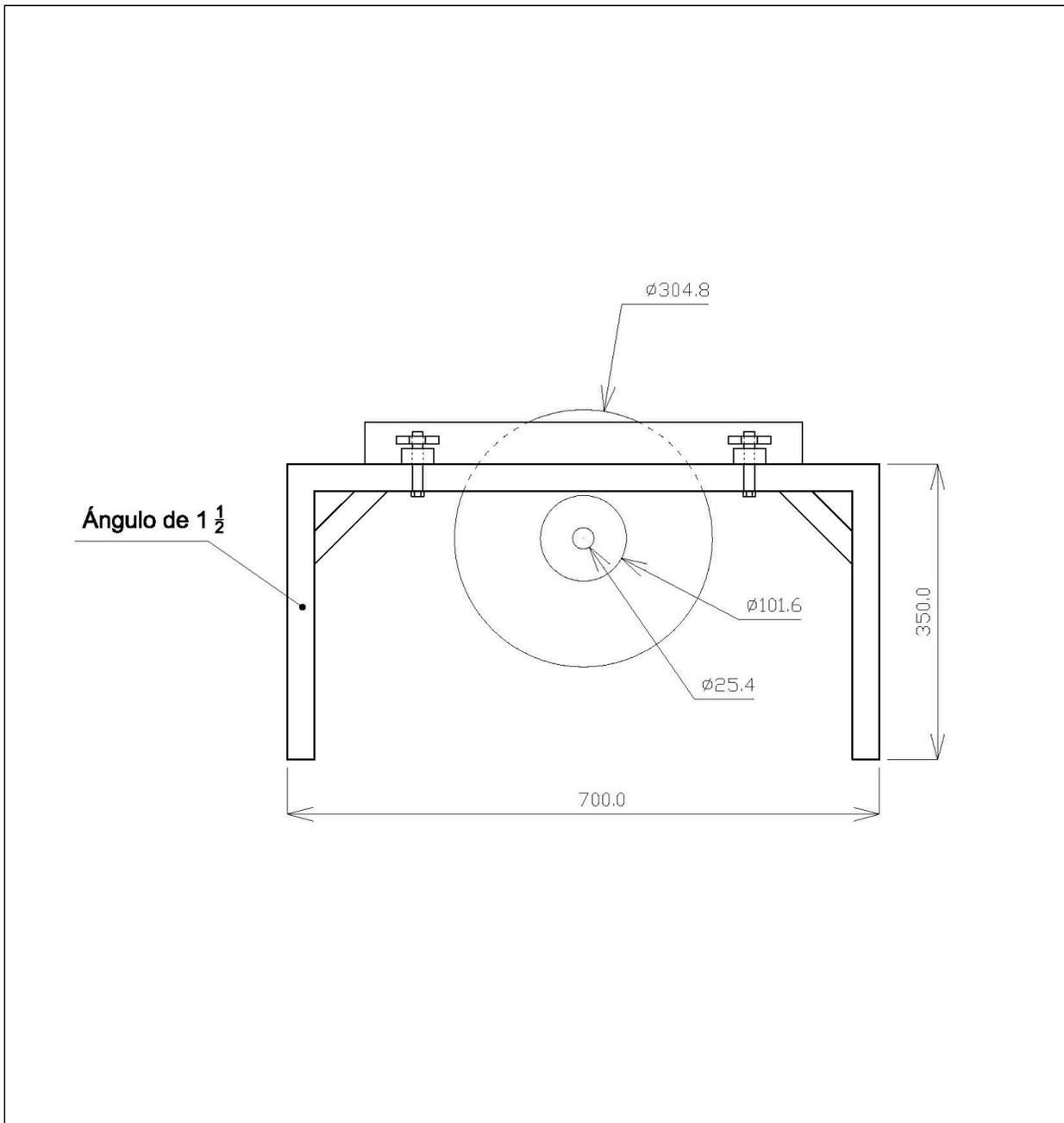
Anexo 1. Dimensiones para brida.



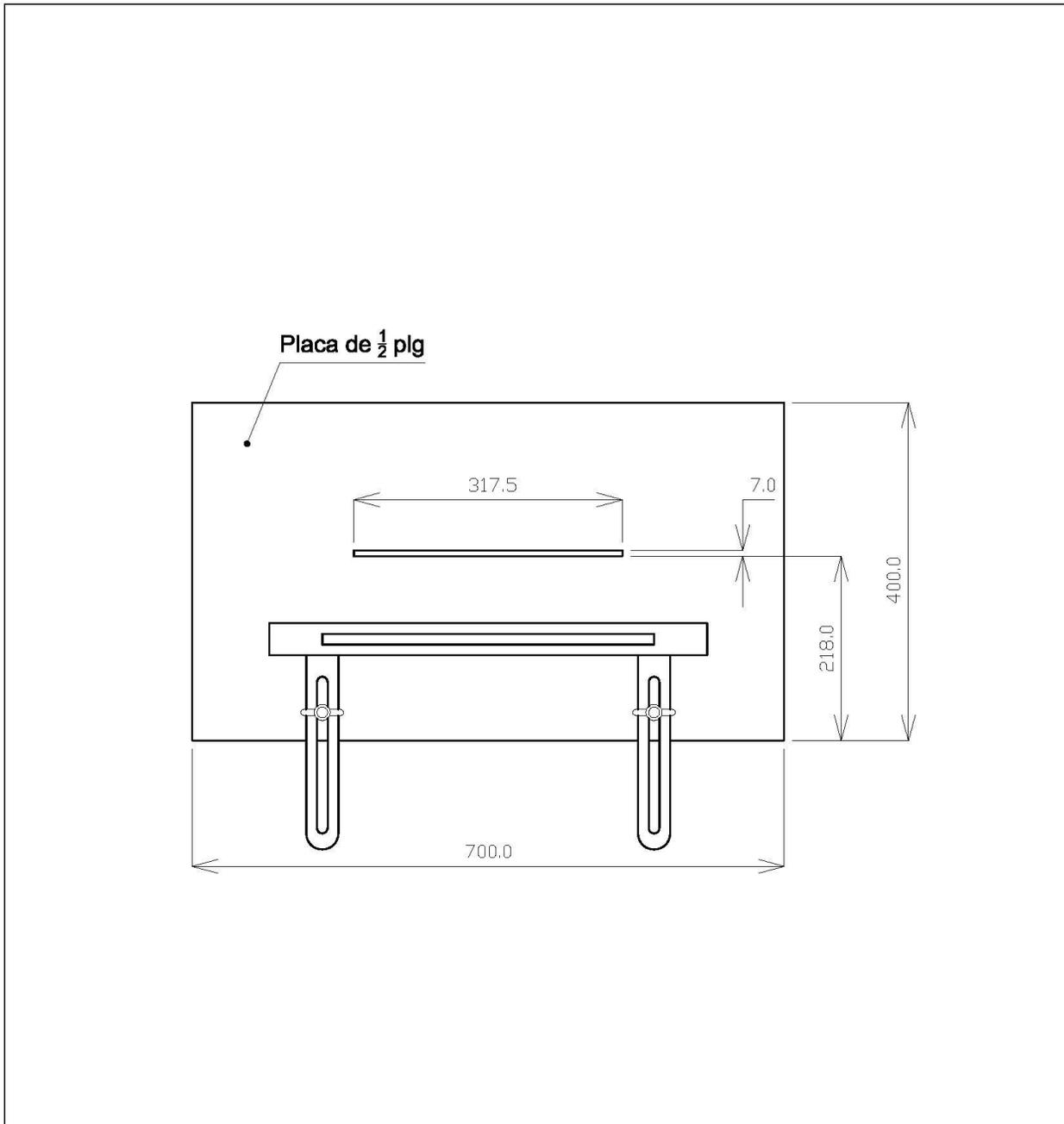
MINIMUM DIMENSIONS FOR STRAIGHT RELIEVED FLANGES						
A ¹ Diameter of wheel	B Minimum outside diameter of flanges	C Radial width of bearing surface		D Minimum thickness of flange at bore	E Minimum thickness of flange at edge of recess	G (Recess)
		Maximum	Minimum			
Inches	Inches	Inches	Inches	Inches	Inches	Inches
1	3/6	1/16	1/8	1/16	1/16	1/16
2	3/4	1/8	3/16	1/8	3/32	1/16
3	1	1/8	3/16	3/16	3/32	1/16
4	1 3/8	1/8	3/16	3/16	1/8	1/16
5	1 3/4	3/16	1/4	1/4	1/8	1/16
6	2	1/4	1/2	3/8	3/16	1/16
7	2 1/2	1/4	1/2	3/8	3/16	1/16
8	3	1/4	1/2	3/8	3/16	1/16
10	3 1/2	5/16	5/8	3/8	1/4	1/16
12	4	5/16	5/8	1/2	5/16	1/16
14	4 1/2	3/8	3/4	1/2	5/16	1/16
16	5 1/2	1/2	1	1/2	5/16	1/16
18	6	1/2	1	5/8	3/8	1/16
20	7	5/8	1 1/4	5/8	3/8	1/16
22	7 1/2	5/8	1 1/4	5/8	7/16	1/16
24	8	3/4	1 1/4	5/8	7/16	1/16
26	8 1/2	3/4	1 1/4	5/8	1/2	1/16
28	10	7/8	1 1/2	3/4	1/2	1/16
30	10	7/8	1 1/2	3/4	5/8	1/16
36	12	1	2	7/8	3/4	1/16
42	14	1	2	7/8	3/4	1/16
48	16	1 1/4	2	1 1/8	1	1/16
60	20	1 1/4	2	1 1/4	1 1/8	1/16
72	24	1 1/2	2 1/2	1 3/8	1 1/4	1/16

¹Flanges for wheels under 2 inches diameter may be unrelieved and shall be maintained flat and true.

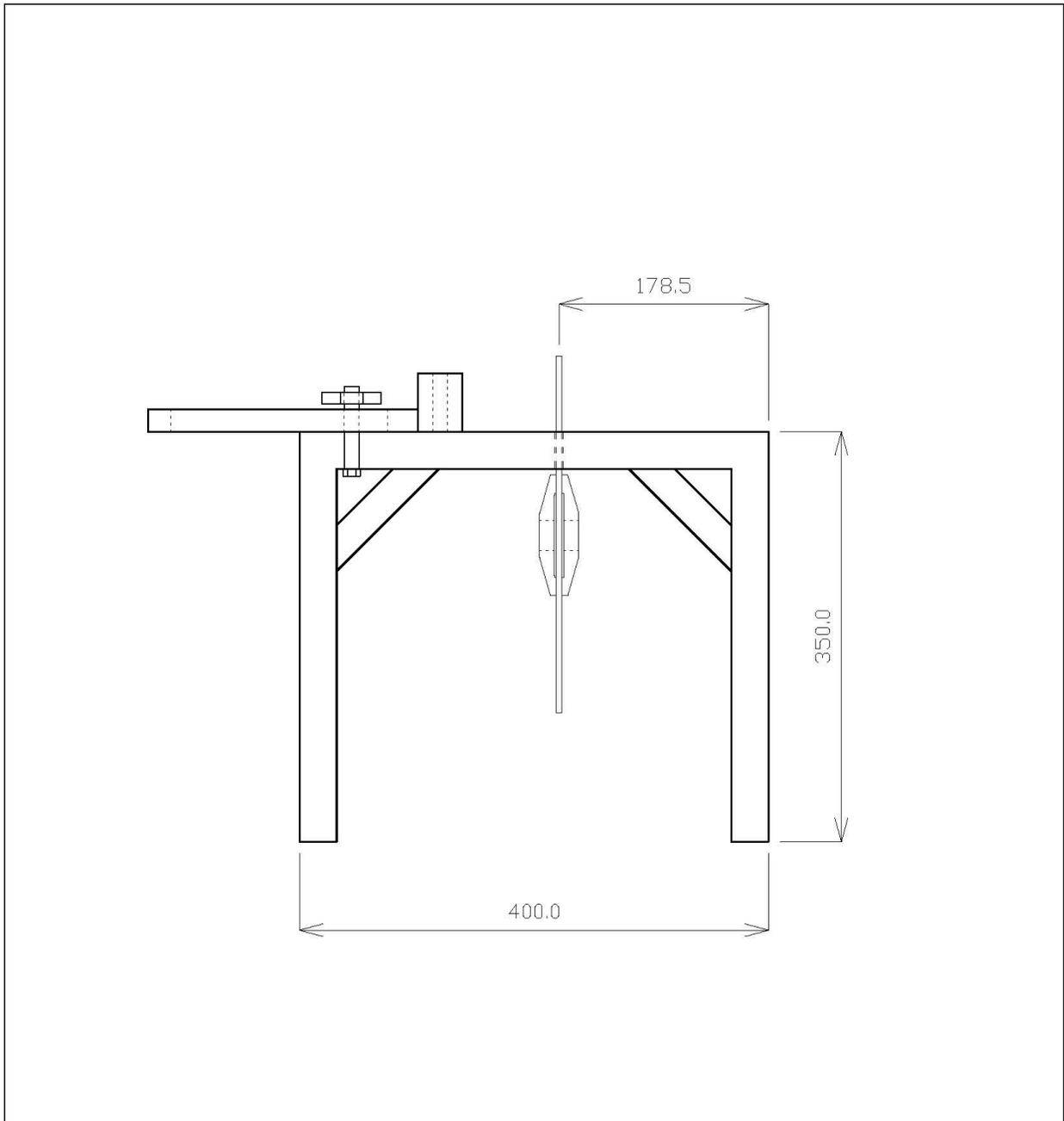
Anexo 2. Partes y dimensiones de la máquina cortadora de probetas de agave.



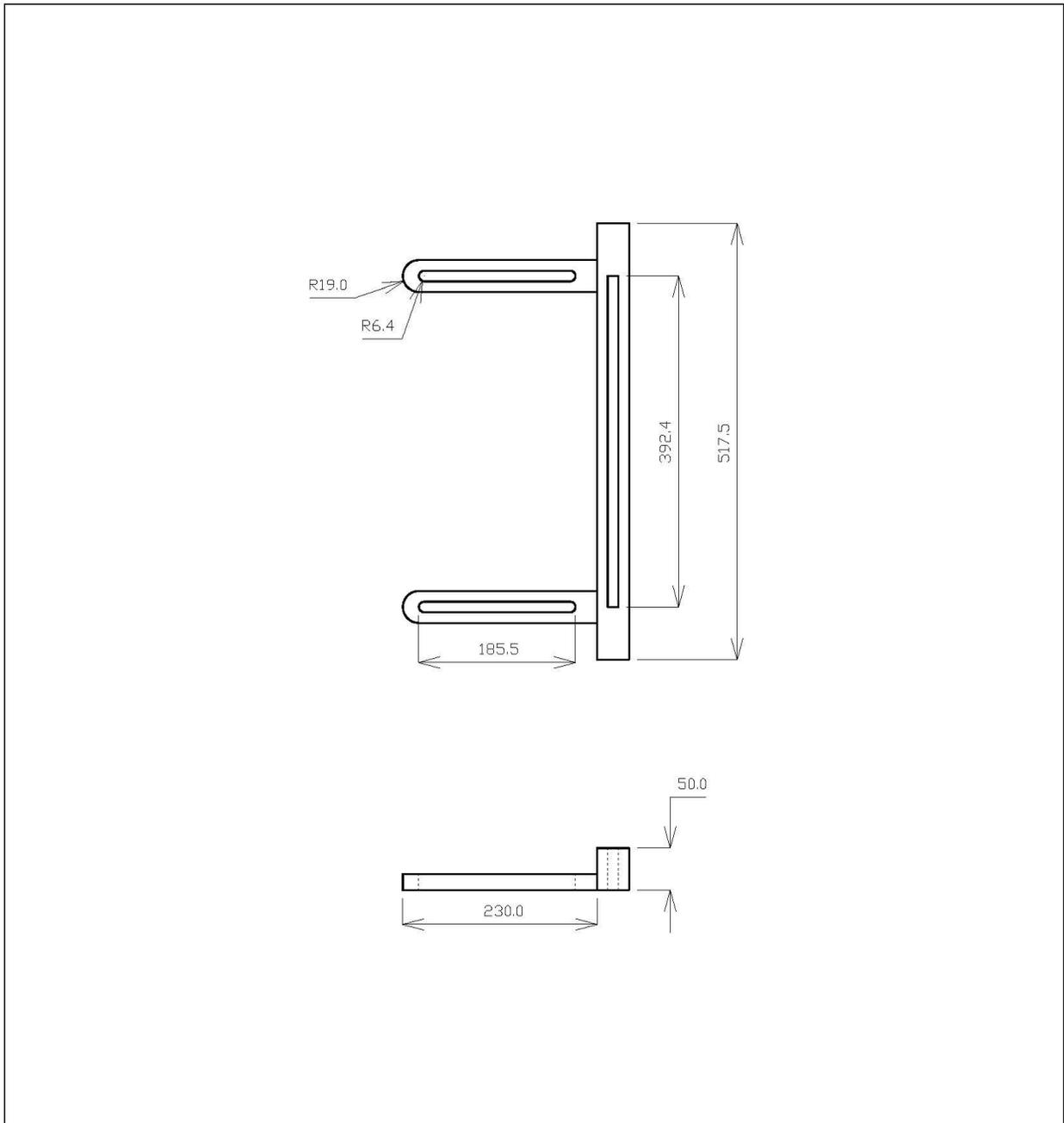
Esc: s/e	CIIDIR OAXACA-IPN	Diseño: Armando J. J., José Luis M. B.
Acot: mm	Diseño y construcción de una máquina cortadora de probetas de agave	Revisó: M en C. Luis Silva Santos
	Vista frontal	Dibujo: A.J.J.
		Lamina: 01



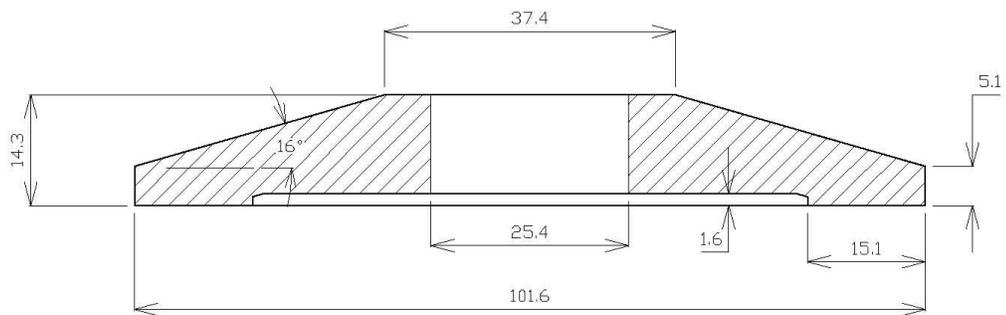
Esc: s/e	CIIDIR OAXACA-IPN	Diseño: Armando J. J., José Luis M. B.
Acot: mm	Diseño y construcción de una máquina cortadora de probetas de agave	Revisó: M en C. Luis Silva Santos
	Vista Superior	Dibujo: A.J.J.
		Lamina: 02



Esc: s/e	CIIDIR OAXACA-IPN	Diseño: Armando J. J., José Luis M. B.
Acot: mm	Diseño y construcción de una máquina cortadora de probetas de agave	Revisó: M en C. Luis Silva Santos
	Vista lateral	Dibujo: A.J.J.
		Lamina: 03



Esc: s/e	CIIDIR OAXACA-IPN	Diseño: Armando J. J., José Luis M. B.
Acot: mm	Diseño y construcción de una máquina cortadora de probetas de agave	Revisó: M en C. Luis Silva Santos
	Guía	Dibujo: A.J.J.
		Lamina: 04



Esc: s/e	CIIDIR OAXACA-IPN	Diseño: Armando J. J., José Luis M. B.
Acot: mm	Diseño y construcción de una máquina cortadora de probetas de agave	Revisó: M en C. Luis Silva Santos
	Brida	Dibujo: A.J.J.
		Lamina: 05

Anexo 3. Visitas a instituciones en búsqueda del péndulo de impacto.

Se hicieron visitas a diferentes instituciones en búsqueda del péndulo de impacto. En la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) Azcapotzalco y Ticomán. El laboratorio de pruebas destructivas de la ESIME Azcapotzalco, cuenta con un péndulo marca Amsler para pruebas de impacto en madera, esta máquina requiere probetas con una longitud de 24 cm, como se observa en la figura 16. Teniendo en cuenta que la probeta más larga que se obtuvo fue de 12.78 cm, no fue posible realizar las pruebas en el péndulo Amsler.



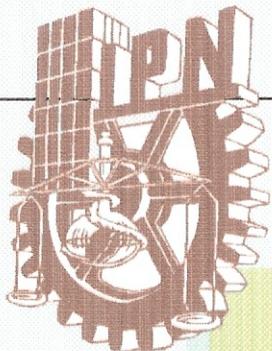
Máquina para ensayos de impacto Amsler y dimensión requerida de probetas

El laboratorio de pruebas destructivas de la ESIME Ticomán, cuenta con un péndulo de impacto marca Otto Wopert Werke, con claro de 4.014 cm y el cual necesita una longitud de probeta de 7 a 10 cm como se muestra en la figura 17; con una sección transversal requerida de 1x1 cm, válido para metales, madera y cerámica de acuerdo a la norma ASTM-A36, ASTM-D143, ASTM-E23 y DIN 50115. Pero la limitante fue la masa del péndulo debido a que tiene un peso de 19 kg.



Máquina para ensayos de impacto Otto Wopert Werke y mordaza

Anexo 4. Participación a congresos institucionales, nacionales e internacionales.



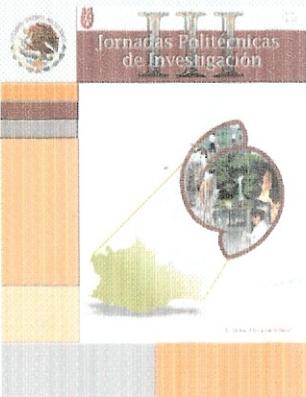
Instituto Politécnico Nacional

Centro Interdisciplinario de Investigación para
el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca

Otorga la presente

CONSTANCIA

CIIDIR
OAXACA



A: JOSÉ-JOSÉ A., LÓPEZ-HERNÁNDEZ I.,
SILVA-SANTOS L., CABALLERO-CABALLERO M.

Por su participación con el cartel

**DISEÑO DE ELEMENTOS DEL SISTEMA SECCIONADOR DE
AGAVE EN VERDE (ANGUSTIFOLIA HAW).**

*En las III Jornadas Politécnicas de Investigación 2007 del
14 al 15 de noviembre*

Sta. Cruz Xoxocotlán, Oaxaca 14 de noviembre de 2007

Dra. María del Rosario Arnaud Viñas
Directora



CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACION PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
C.I.I.D.I.R.
UNIDAD OAXACA
IPN

SEMIS

**CENTRO DE BACHILLERATO TECNOLÓGICO
industrial y de servicios No. 248**

Otorga el presente

RECONOCIMIENTO

Al

Ing. Armando José José

Por su participación en la “14^a Semana Nacional de Ciencia y Tecnología” con la ponencia Motivación del Estudiante de Bachillerato para La Ciencia y la Tecnología celebrada el día miércoles 24 de octubre en las instalaciones del plantel.


M.C. JOSÉ MANUEL ORTIZ VELASCO
DIRECTOR



S.E.P.
CENTRO DE BACHILLERATO
TECNOLÓGICO INDUSTRIAL
Y DE SERVICIOS No. 248
Clave: 20DCT0019T
DIRECCIÓN

Zimatlán de Álvarez, Oax.

Zimatlán de Álvarez, Oaxaca.



**CENTRO DE BACHILLERATO TECNOLÓGICO
Agropecuario No. 203**



SAN LORENZO CACAOTEPEC, ETLA, OAX.

DEPENDENCIA: D. G. E. T. A.

SECCION: C.B.T.a. No.203

MESA: DIRECCION

NUMERO DE OFICIO: /07-09

EXPEDIENTE:

ASUNTO: CONSTANCIA.

A QUIEN CORRESPONDA:

La que suscribe, C. Arq. Raquel de Lilia Ortiz Medrano, Directora del Centro de Bachillerato Tecnológico agropecuario No. 203, de esta comunidad:

HACE CONSTAR

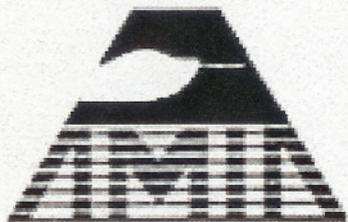
Que el C. ING. ARMANDO JOSÉ JOSÉ, catedrático del centro interdisciplinario de investigación para el desarrollo integral regional, impartió la Conferencia "LA CIENCIA Y TECNOLOGÍA Y SU IMPACTO EN EL DESARROLLO REGIONAL", a nuestros alumnos de esta Institución Educativa, durante el día 23 de octubre de 2007; con motivo de la 14ª. Semana Nacional de la Ciencia y Tecnología que se está llevando a cabo en este plantel durante los días del 22 al 26 del presente.

Se extiende la presente, a petición del interesado y para los efectos legales que al mismo convengan, en la población de San Lorenzo Cacaotepec, Etlá, Oax., del día veintitrés de octubre del año dos mil siete.

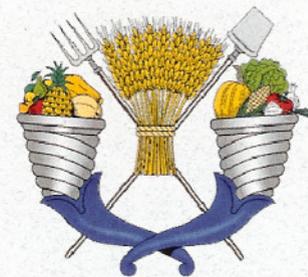


ATENTAMENTE

RAQUEL DE LILIA ORTIZ MEDRANO
DIRECTORA DEL PLANTEL



La Asociación Mexicana de Ingeniería Agrícola y la Universidad Autónoma Chapingo



Otorgan el presente

Diploma

A los C. Ing. Rey Fdo. García Méndez
Magdaleno Caballero Caballero
Luis Silva Santos
Isai López Hernández
José José Armando
Carlos I Cortes Martínez
J. Luis Montes Bernabé

En reconocimiento por su participación con la ponencia:

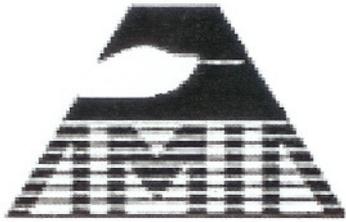
**“EVALUACIÓN DEL PROCESO TRADICIONAL PARA
DESFIBRAR HOJAS DE AGAVE ANGUSTIFOLIA HAW.”**,

del XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola, celebrado los días 24,25 y 26 de septiembre de 2008.

“Enseñar la explotación de la tierra, no la del hombre”

M. C. Blanca Elizabeth de la Peña Casas
PRESIDENTE DE LA AMIA

Dr. Carlos Alberto Villaseñor Perea
DIRECTOR DEL DIMA



La Asociación Mexicana de Ingeniería Agrícola Y la Universidad Autónoma Chapingó



Otorgan el presente

Diploma

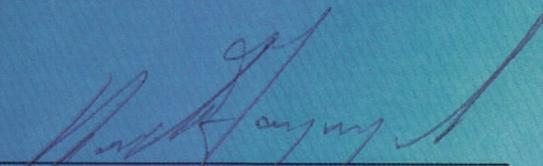
A los C. Magdaleno Caballero Caballero
Luis Silva Santos
Carlos Inocencio Cortés Martínez
Isaí López Hernández
José José Armando
Montes Bernabé Jose Luis
Rey Fernando García Méndez

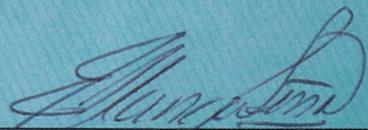
En reconocimiento por su participación con la conferencia:

**“METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN VOLUMÉTRICA DEL BAGAZO RESIDUAL EN LA
INDUSTRIA MEZCALERA DEL ESTADO DE OAXACA”,**

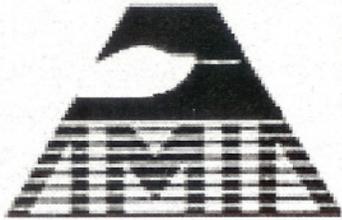
del XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola, celebrado los días 24,25 y 26 de septiembre de 2008.

“Enseñar la explotación de la tierra, no la del hombre”

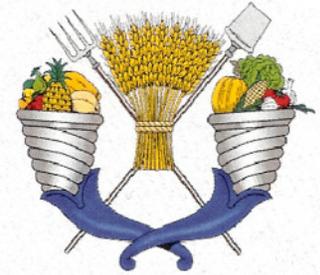

Dr. Héctor Lozoya Saldaña
DIRECTOR GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO


M. C. Blanca Elizabeth de la Peña Casas
PRESIDENTE DE LA AMIA


Dr. Carlos Alberto Villaseñor Perea
DIRECTOR DEL DIMA



La Asociación Mexicana de Ingeniería Agrícola Y la Universidad Autónoma Chapingo



Otorgan el presente

Diploma

A los C. Magdaleno Caballero Caballero
Luis Silva Santos
Isaí López Hernández
Armando José José
Carlos I. Cortés Martínez.
Jose Luis Montes Barnabé
Rey Fernando García Méndez

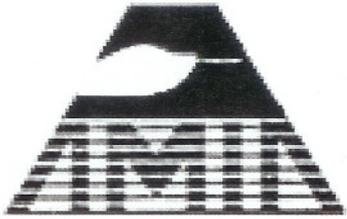
En reconocimiento por su participación con la conferencia:
"ENSAYO PARA APROVECHAR EL BAGAZO DE AGAVE ANGUSTIFOLIA HAW
EN LA MEJORA DE ADOBE COMPACTADO",

del XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola, celebrado los días 24,25 y 26 de septiembre de 2008.

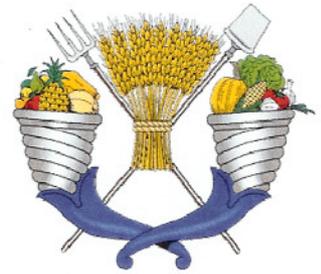
"Enseñar la explotación de la tierra, no la del hombre"

M.C. Blanca Elizabeth de la Peña Casas
PRESIDENTE DE LA AMIA

Dr. Carlos Alberto Villaseñor Perea
DIRECTOR DEL DIMA



La Asociación Mexicana de Ingeniería Agrícola Y la Universidad Autónoma Chapingó



Otorgan el presente

Diploma

A los C. *Magdaleno Caballero Caballero*
Luis Silva Santos
José José Armando

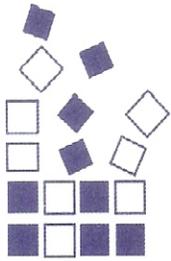
En reconocimiento por su participación con la conferencia:
“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA SECCIONADORA DE AGAVE VERDE”,
del XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola, celebrado los días 24,25 y 26 de septiembre de 2008.

“Enseñar la explotación de la tierra, no la del hombre”

Dr. Héctor Lozoya Saldaña
DIRECTOR GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

M. C. Blanca Elizabeth de la Peña Casas
PRESIDENTE DE LA AMIA

Dr. Carlos Alberto Villaseñor Perea
DIRECTOR DEL DIMA



SOCIEDAD MEXICANA
DE MATERIALES A.C.

Sociedad Mexicana de Materiales A.C.

August 2008

MESA DIRECTIVA

DR. JUAN MÉNDEZ NONELL
PRESIDENTE

DR. ROMEO DE COSS
VICEPRESIDENTE

DR. ENRIQUE SANSORES CUEVAS
SECRETARIO

DR. JORGE LÓPEZ CUEVAS
TESORERO

DR. LUIS FUENTES COBAS
VOCAL REGIÓN NORTE

DR. JESÚS BARRETO
VOCAL REGIÓN OCCIDENTE

DRA. INÉS REICH
VOCAL REGIÓN SUR

DR. GERARDO MARTÍNEZ
VOCAL REGIÓN CENTRO

DR. ARMANDO SALINAS
VOCAL REGIÓN ORIENTE

DRA. OLIVIA GRAEVE
VOCAL ESTADOS UNIDOS

TO WHOM IT MAY CONCERN

This is to confirm that **Carlos Cortes-Martínez, Isaí López-Hernández, Armando José-José, Rey Fernando García-Méndez, José Luis Montes-Bernabé** presented the contribution:

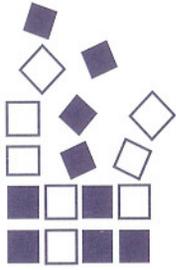
EXTRACTION, PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE FIBERS OF AGAVE ANGUSTIFOLIA HAW WASTE PULP

In the **Materials Characterization** Symposium at the XVII International Materials Research Congress held in Cancun, Mexico.

Sincerely,

DR. JUAN MÉNDEZ NONELL
President





SOCIEDAD MEXICANA
DE MATERIALES A.C.

Sociedad Mexicana de Materiales A.C.

August 2008

MESA DIRECTIVA

DR. JUAN MÉNDEZ NONELL
PRESIDENTE

DR. ROMEO DE COSS
VICEPRESIDENTE

DR. ENRIQUE SANSORES CUEVAS
SECRETARIO

DR. JORGE LÓPEZ CUEVAS
TESORERO

DR. LUIS FUENTES COBAS
VOCAL REGIÓN NORTE

DR. JESÚS BARRETO
VOCAL REGIÓN OCCIDENTE

DRA. INÉS REICH
VOCAL REGIÓN SUR

DR. GERARDO MARTÍNEZ
VOCAL REGIÓN CENTRO

DR. ARMANDO SALINAS
VOCAL REGIÓN ORIENTE

DRA. OLIVIA GRAEVE
VOCAL ESTADOS UNIDOS

TO WHOM IT MAY CONCERN

This is to confirm that **Isaí López-Hernández, Carlos Cortes-Martínez, Armando José-José, Rey Fernando García-Méndez, José Luis Montes-Bernabé** presented the contribution:

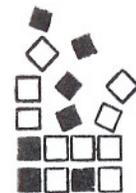
RESISTENCIA A LA TENSIÓN EN FIBRAS OBTENIDAS DEL AGAVE ANGUSTIFOLIA HAW EN FUNCIÓN DE SU UBICACIÓN EN LA PLANTA

In the **Materials Characterization** Symposium at the XVII International Materials Research Congress held in Cancun, Mexico.

Sincerely,

DR. JUAN MÉNDEZ NONELL
President

Sociedad Mexicana de Materiales A.C.



SOCIEDAD MEXICANA
DE MATERIALES A.C.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



**5º CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA Y DE SISTEMAS**

OTORGA EL PRESENTE

DIPLOMA

A:

MAGDALENO CABALLERO CABALLERO
LUIS SILVA SANTOS
ARMANDO JOSÉ JOSÉ

POR SU PARTICIPACIÓN CON LA PONENCIA

***“Desarrollo Tecnológico de un Prototipo de Molino
de Rodillos para Agave angustifolia Haw”***

México, D.F., 10 al 14 de noviembre de 2008

DR. JAIME ROBLES GARCIA
Jefe de la Sección de Estudios de Posgrado
e Investigación de la ESIME

M. EN C. JESÚS REYES GARCÍA
Director de la ESIME Unidad Zacatenco



SECRETARÍA
DE
EDUCACIÓN PÚBLICA

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



**5º CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA Y DE SISTEMAS**

OTORGA EL PRESENTE

DIPLOMA

A:

**ARMANDO JOSÉ JOSÉ
ISAI LOPEZ HERNANDEZ
CARLOS INOCENCIO CORTES MARTINEZ
REY F. GARCÍA MÉNDEZ
JOSÉ LUIS MONTES BERNABÉ**

POR SU PARTICIPACIÓN CON LA PONENCIA

*“Desarrollo Tecnológico de un Molino Desgarrador
de Nopal”*

México, D.F., 10 al 14 de noviembre de 2008

DR. JAIME ROBLES GARCIA
Jefe de la Sección de Estudios de Posgrado
e Investigación de la ESIME

M. EN C. JESÚS REYES GARCÍA
Director de la ESIME Unidad Zacatenco