

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA



**EVALUACIÓN DE UNA MÁQUINA TRILLADORA ESTACIONARIA
PARA EL PROCESAMIENTO DE LA SEMILLA DE HIGUERILLA
(*RICINUS COMUNIS*)**

Por:

JUAN PABLO GRIMALDO GARCÍA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2014

EVALUACIÓN DE UNA MÁQUINA TRILLADORA ESTACIONARIA
PARA EL PROCESAMIENTO DE LA SEMILLA DE HIGUERILLA
(*RICINUS COMUNIS*)

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA



**EVALUACIÓN DE UNA MÁQUINA TRILLADORA ESTACIONARIA
PARA EL PROCESAMIENTO DE LA SEMILLA DE HIGUERILLA
(*RICINUS COMUNIS*)**

Por:

JUAN PABLO GRIMALDO GARCÍA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA.

EVALUACIÓN DE UNA MÁQUINA TRILLADORA ESTACIONARIA
PARA EL PROCESAMIENTO DE LA SEMILLA DE HIGUERILLA
(RICINUS COMUNIS)

Por:

JUAN PABLO GRIMALDO GARCÍA

TESIS

QUE SOMETE A CONSIDERACIÓN DE H. JURADO EXAMINADOR
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

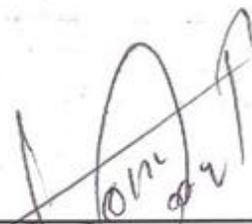
Aprobado por:



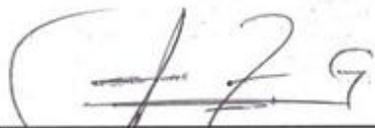
Dr. Martin Cadena Zapata
Asesor principal



MC. Ramón Jiménez Regalado
Co-Director Externo



Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"
MC. Tomás Gaytán Muñiz
Coasesor



MC. Luis Rodríguez Gutiérrez
Coordinador de la División de Ingeniería
Coordinación de Ingeniería



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Junio de 2014

Este proyecto es el final del camino recorrido a lo largo de mis años de carrera.

AGRADECIMIENTOS.

A Dios Nuestro Señor. Por darme la vida y la oportunidad de vivirla con las personas que puso en mi camino, conociendo entre estas a gente buena y generosa... Gracias por las bendiciones que he recibido.

A la Virgen de Guadalupe. Por haber escuchado todas mis plegarias y poder llegar a esta parte del camino en el cual ahora me encuentro, por la familia que me dio, por eso y mucho más... Gracias.

*A mi inolvidable **ALMA TERRA MATER**. Por haberme brindado la oportunidad de estudiar en sus aulas, darme asistencia en su comedor e internado y de alcanzar esta tan importante meta en mi vida, siempre estaré agradecido y en deuda por todo lo que esta noble institución me ha dado.*

*Al departamento de **Maquinaria Agrícola**. Por contribuir con mi formación profesional. Y a todo su personal tanto administrativo como académico por compartir sus conocimientos y tiempo conmigo.*

Agradezco principalmente a mis asesores de Tesis y a las personas que actualmente puedo llamar Amigos.

Porque me enseñaron a ver dónde los demás no ven,

Porque me enseñaron a caminar dónde los demás dudan en caminar,

Porque me dieron seguridad al sembrar,

Porque hoy cosecho lo que me enseñaron,

Porque hoy el agradecimiento es poco

A quien un día la vida les brindó la gracia de ser lo que son.

Al Dr. Martín Cadena Zapata. Por compartir sus conocimientos, asesoría, experiencia y su valiosa participación en este proyecto.

Al Dr. Ramón Jiménez Regalado. Por brindarme la oportunidad de realizar las prácticas profesionales e integrarme a su proyecto.

Al Ing. Carlos Ramos Veliz. Por preocuparse de mi formación profesional como maestro y amigo y por hacerme ver nuestro entorno con una visión diferente.

Al M.C Pedro Carrillo López. Por todos sus consejos y ayuda incondicional y sobre todo por su amistad brindada.

Al Ing. Enrique Mandujano Álvarez. Por sus recomendaciones y apoyo otorgado durante mi formación y más que nada por su amistad.

Ala Dra. Alma Velia Ayala Garay. Por su valiosa amistad, consejos, regaños y por darme la oportunidad de estar en su equipo de trabajo, contribuyendo a mi formación profesional.

Y por último pero no menos importante quiero hacer mención y agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT). Por el apoyo otorgado al proyecto denominado: Diseño construcción, adaptación y/o evaluación de maquinaria y equipo para la cosecha y procesamiento de la semilla de Higuierilla (Ricinus Communis) y las prácticas agrícolas relacionadas con la cosecha, y por lo tanto a la investigación y desarrollo de este trabajo final.

He de agradecer también el buen trato, apoyo y ayuda recibida por parte del personal del INIFAP especialmente a las del CENEMA, (Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola) durante mis Prácticas Profesionales (Claudia, Anaí, Cástulo, José Manuel, Marco, Juanita, Margarito y técnicos de taller) ya que tuve el gusto de conocerlas y convivir con ellas.

A todas las personas que creyeron en mí brindando siempre motivos para luchar y seguir adelante y de una u otra forma colaboraron en la realización del presente trabajo.

*Sinceramente
Juan Pablo Grimaldo García.*

DEDICATORIA.

Con mucho amor, cariño, respeto y orgullo a mis padres y familia.

Sra. Eufrocina García León.

Le agradezco madre por el gran amor que he recibido, por sus cuidados y preocupaciones sin importar las decisiones que he tomado en mi vida siempre ha confiado en mí y me ha apoyado en todos los aspectos y por eso le dedico este trabajo con cariño, admiración y respeto.

Sr. Benjamín Grimaldo Bertadillo.

Gracias padre por el ejemplo de trabajo, honradez y disciplina que siempre inculcaste en mí y gracias a su apoyo y consejos he llegado a culminar una meta más en mi vida.

Como testimonio de cariño y eterno agradecimiento por mi existencia, valores morales y formación profesional. Porque sin escatimar el esfuerzo alguno han sacrificado gran parte de su vida para formarme, porque nunca podre pagar todos sus desvelos ni con las riquezas más grandes del mundo.

Por lo que soy y por todo el tiempo que les robe pensando en mí....gracias con amor y respeto a mis Abuelos.

Sra. Ma. Tránsito Bertadillo Torres (†). Ya que gracias a sus consejos y regaños aprendí a diferenciar las grandes cosas de la vida, Dios la tenga con bien.

Sr. Pedro Grimaldo Chávez.

Muchas gracias a usted ya que con su dedicación y amor por el trabajo hacia la tierra me mostro lo bello que es el campo así aprendiendo y llevando con orgullo los valores de humildad y respeto.

Sra. Francisca León Villegas.

Agradezco por sus enseñanzas ya que desde niño sembró en mí el valor de enfrentar nuevos retos, gracias por confiar en mí por eso y más.

A mis Hermanos.

Fabiola, San Juana, Noé, Ricardo, Adrián, Rubén y Gabriela. Por sus consejos, apoyo, motivación y buenos deseos ya que juntos hemos compartido momentos buenos y malos, gracias por confiar en mí.

A mi sobrina.

Nataly Guadalupe. Porque con su sonrisa, juegos y travesuras da alegría y felicidad en nuestro hogar.

A mis Tíos.

Yolanda, Flora, Wenceslao, Pedro, Antonio, Martín, Francisco, Octavio, Rosa María, Juan José, Rogelio, Ma. Guadalupe, Jaime, Héctor y Marcos, Esperanza, Ramón, Gonzalo, José y Lorena. Por sus consejos y apoyo durante esta etapa de mi formación profesional.

Con cariño a mis tías Yolanda, Flora, Rosa María y Ma. Guadalupe por depositar su confianza y brindarme su apoyo en todo momento.

Especialmente a mi tío Héctor. Por siempre creer en mí, contar con su apoyo y motivarme para seguir adelante a pesar de las trabas que nos pone la vida.

*Sinceramente
Juan Pablo Grimaldo García.*

TABLA DE CONTENIDO

<i>AGRADECIMIENTOS</i>	v
<i>DEDICATORIA</i>	viii
RESUMEN.....	v
SUMMARY	vi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES.	3
1.2 OBJETIVO.	4
1.3 HIPOTESIS.....	4
II. REVISION DE LITERATURA.....	5
2.1 GENERALIDADES.....	5
2.2 TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN.	6
2.2.1 Preparación del terreno.....	6
2.2.2 Labranza convencional.....	7
2.2.3 Labranza mínima.....	7
2.3 SIEMBRA.....	7
2.4 COSECHA.....	8
2.5 MANEJO DE LA POST-COSECHA.	9
2.6 DESCASCARARADO.....	10
2.7 BIODIESEL.	11
2.8 PROCEDIMIENTO PARA EVALUACIÓN DE TRILLADORAS.....	12
2.8.1 Alcance.	12
2.8.2 Definiciones.....	12
2.8.3 Procedimiento de prueba.	13
2.8.4 Pruebas de durabilidad.....	13
2.8.5 Informe.	13
III. MATERIALES Y METODOS.....	15
3.1 DEFINICIÓN DE TERMINOS.....	15
3.2 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN.	16

3.2.1	Definición de evaluación.	16
3.2.2	Ubicación.	16
3.2.3	Dimensionamiento general de la máquina.	17
3.2.4	Masa de la máquina.	17
3.3	PRUEBAS SIN CARGA DEL PROTOTIPO (VACÍO).	18
3.4	PRUEBAS CON MATERIAL DE TRABAJO (CON CARGA).	18
3.5	METODOLOGÍA DE PRUEBA DEL PROTOTIPO.	19
3.6	ESTUDIO DE LAS CONDICIONES DEL CULTIVO.	20
3.6.1	Nombre y variedad del cultivo.	20
3.6.2	Dimensiones de la semilla y capsula.	20
3.6.3	Contenido de humedad de la capsula.	21
3.6.4	Porcentaje de semilla dañada.	21
3.7	PRUEBA DE CALIDAD.	22
3.8	PRUEBA DE DESEMPEÑO.	22
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.	25
4.1	Dimensionamiento general de la máquina.	25
4.1	Estudio de las condiciones del cultivo.	25
4.2	Nombre y variedad del cultivo.	26
4.3	Dimensiones de la semilla y capsula.	26
4.4	Contenido de humedad de la capsula.	26
4.5	Porcentaje de semilla dañada.	27
5.	PRUEBA DE CALIDAD.	29
6.	PRUEBA DE DESEMPEÑO.	30
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	33
VI.	LITERATURA CITADA.	34
VII.	ANEXOS	39
	ANEXO A.1. Fuerza necesaria para el desprendimiento de capsulas de higuera.	39
	ANEXO A.2. Estudio de las condiciones del cultivo.	41

INDICE DE CUADROS.

Cuadro 1. Especificaciones Generales de la Trilladora.	25
Cuadro 2. Características promedio de la capsula y la semilla.	26
Cuadro 3. Fuerza necesaria para el desprendimiento de capsulas.	26
Cuadro 4. Resultados de prueba a diferente velocidad de rotación.	27
Cuadro 5. Condiciones del proceso de trilla.	30
Cuadro 6. Parámetros de prueba de desempeño.	31
Cuadro 7. Clasificación de valores por salidas de la máquina.	31
Cuadro 8. Resultado final de prueba.	31
Cuadro 9. Fuerza necesaria para el desprendimiento del fruto de higuera y contenido de humedad de las capsulas.	40
Cuadro 10. Resultados de prueba en 1 planta.	42

INDICE DE FIGURAS.

Figura 1. <i>Trilladora Manual (“Hold-on”)</i>	14
Figura 2. <i>Trilladora completa (“Thorow-in”)</i>	14
Figura 3. Maquina a evaluar con función de trilla y limpieza de Higuierilla.	24
Figura 4. Representación del porcentaje de humedad VS peso aplicado.	27
Figura 5. Representación del daño de semilla desde 60 hasta 150 rpm.	28
Figura 6. Salida principal de la semilla tomada frontalmente al momento de la prueba.	29
Figura 7. Alimentación a la maquina trilladora.	30
Figura 8. Representación gráfica de resultados totales de la prueba.....	32
Figura 9. Balines utilizados en la prueba de desprendimiento.	39
Figura 10. Horno de secado utilizado en la prueba.	40
Figura 11. Bascula.	40
Figura 12. Determinación de la fuerza necesaria para desprender los frutos de higuierilla	41
Figura 13. Correlación entre humedad y peso.	42

RESUMEN.

Con la presente investigación se hará una aportación al proyecto *Diseño, Construcción, Adaptación y/o Evaluación de Maquinaria y Equipo para la Cosecha y Procesamiento de la Semilla de Higuierilla (Ricinus Communis) y las Prácticas Agrícolas Relacionadas con la Cosecha*, esta investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola (CENEMA) el cual se encuentra ubicado en Campo Experimental Valle de México, Km. 18.5 Carretera México-Lechería, CP. 56230, Texcoco, Edo. de México, Tel. (595) 9546672 / 95 44616. Y con la información obtenida sugerir recomendaciones a futuras generaciones.

Como parte del proyecto se realizó la evaluación de una maquina estacionaria con la función de trilla y limpieza de esta semilla (*Ricinus Communis*) dicha maquina se ensambló en el taller del CENEMA quedando en condiciones óptimas para realizar las pruebas necesarias para su evaluación.

Ya que hasta el momento la trilla y descascare de la higuierilla, en nuestro país se realiza de forma manual, utilizando gran cantidad de mano de obra, por lo que existe una baja productividad en la realización de esta labor, aspecto que debe mejorarse en el futuro por la gran demanda de este producto para la producción de biodiesel.

El nivel de daños producido en la semilla durante la evaluación fue menor a 5 % con una capacidad de trillado de 97.716 kg en un tiempo de 16.49 minutos y con un nivel de limpieza de 36.17 kg. Se recomienda la modificación del material de construcción tanto del cóncavo como del convexo para reducir el nivel de daños además se recomienda adaptar en el sistema de limpieza de un ventilador. Además de poner guardas en las bandas para evitar accidentes.

Palabras clave: evaluación, higuierilla, maquina.

SUMMARY

With this research will make a contribution to the project “Design construction, adaptation and / or evaluation of Machinery and Equipment for Harvesting and Processing Seed Castor (*Ricinus Communis*) and Agricultural Practices in Relation to Harvest”, this research was made in the National Center of Standardization of Agricultural Machinery (CENEMA), which is located in Campo Experimental Valle de Mexico, Km. 18.5 Carretera México-Lechería, CP. 56230, Texcoco, Edo. de México, Tel. (595) 9546672 / 95 44616. With the information obtained suggest recommendations *advices* for future generations.

Part of Project consists in the evaluation of a stationary machine with a stationary threshing and cleaning function of this seed (*Ricinus Communis*) this machine was assembled in the workshop of CENEMA running in top condition to perform the necessary tests for evaluation.

As far in our country, threshing and flaking of *Ricinus Communis* is done manually, using large amount of labor, so there is low productivity in carrying out this work and this should be improved in the future by the high demand for this product for the production of biodiesel.

The level of damage produced in the seed during the evaluation was less than 5% with a capacity of 97,716 kg beaten in a time of 16.49 minutes with a cleanliness level of 36.17 kg. Modification of the construction material of both concave and convex to reduce the level of damage is also recommended adapt the cleaning system of a fan is recommended. Besides putting guards on the wings to prevent accidents.

Keywords: evaluation, castor, machine.

I. INTRODUCCIÓN.

La Higuierilla (*Ricinus Communis L.*) es una planta de la familia *Euphorbiaceae* (igual que la yuca). Se caracteriza por el alto contenido de aceite en sus semillas (hasta un 50% en peso), el cual es de gran versatilidad en la industria oleoquímica y de gran importancia en la producción de biodiesel, solo o en mezcla como aditivo con otros aceites o grasas de menor calidad.

Esta planta es muy conocida en nuestro medio y casi podría decirse que crece espontáneamente en todos los climas, por lo que la mayoría de las personas piensan que es una maleza y no necesita mayores cuidados si se establece como cultivo. Tal vez, esta premisa ha hecho que en la actualidad, cuando se habla de biocombustibles y biodiesel a partir de higuierilla, las personas hagan un cálculo rápido de: baja inversión en el cultivo, gran demanda por el aceite con buenos precios; por lo tanto, grandes ganancias.

Cuando una planta silvestre o espontanea, como la higuierilla, es sometida al estrés de la domesticación para cultivarla, aparecen muchos problemas que solo a través de la investigación agrícola sistemática y multidisciplinaria, podemos entender y proponer alternativas de solución. (Navas, 2009)

El cultivo de la higuierilla se ha extendido en el mundo y su aceite es el único en la naturaleza que es soluble en alcohol, el más denso y viscoso de todos, por eso, tiene un amplio mercado por los múltiples usos en diversas industrias que fomenta: automotriz, farmacéutica, cosmetología, química, fertilizantes, pesticidas, aeronáutica, médica, energética, etc. (Mejía, 2000).

La producción mundial de higuierilla en los últimos diez años, ha sido incrementada de 1.371.000 t de grano en el 2000 a 1.481.000 t de grano en el 2009; de las cuales, India, participó en este último año, con el 74%, seguido por China y Brasil, con un 12,8 y 6,1%, respectivamente. Así mismo, en los últimos 25 años, ha sido

evidenciado un aumento del consumo de aceite de higuera, al pasar de 400.000 t de aceite en 1985, a 610.000 t de aceite, en el 2010 (Severino *et al.*, 2012b).

La cosecha de esta planta se inicia normalmente a los 120 días, cuando las variedades son precoces y a los 150 días en las más tardías. En las variedades cuyo fruto no se abre (indehiscente), la cosecha se hace cuando todos los frutos están secos, por lo que la mayoría de las veces se hace una sola recolección (Savy Filho *et al.*, 2007 citado por Fanan, *et al.*, 2009). La cosechadora típica de granos, sirve para cosechar este cultivo con simples ajustes y cambio en la velocidad del cilindro (Schoenleber y Bouse, 1964; Hussain *et al.*, 1980).

La demanda de combustible en el sector de transporte ha alcanzado volúmenes tan grandes en casi todos los países del mundo que sus emisiones, causantes del efecto invernadero, se han convertido en uno de los principales problemas de la actualidad (CIEMAT 2006; Roder, Alexander 2001). Por esta razón, además del agotamiento de los combustibles fósiles y el incumplimiento de los compromisos de reducciones de CO₂, nace la necesidad de minimizar el consumo de energía primaria y fortalecer el desarrollo de fuentes energéticas renovables (Durán, 2009).

El biodiesel se caracteriza por ser no tóxico, biodegradable, libre de azufre, compuestos aromáticos y comparado con el petrodiesel, las emisiones de CO, material particulado e hidrocarburos policíclicos de nitrógeno en la combustión del biodiesel son bajas (Rojas, *et al.*, 2009).

Por todo lo anterior, se hace necesario generar información científica, que aporte a la toma de decisiones, con respecto a la maquinaria a emplear para la siembra, así como a su proceso de descascarado de la semilla de higuera; y como su calidad puede ser afectada por los diversos ambientes y formas de recolección y procesamiento, en la presente investigación se tomó en cuenta desde el desarrollo de la planta así como el diseño de una máquina capaz de realizar dos funciones a la vez trilla y limpieza.

1.1 ANTECEDENTES.

El sector agrícola del país es completamente dependiente del diesel para su propulsión y en cierta medida para el uso de energía estacionaria. El aumento de la mecanización agrícola en la agricultura genera la necesidad de consumir mayores cantidades de diesel. Muchos combustibles alternativos como biogás, etanol y aceites vegetales se han evaluado como un sustituto parcial o total de combustible diesel. El biodiesel se puede utilizar directamente en motores diesel como combustible, debido a que su valor calórico y viscosidad son similares a los del diesel. La tecnología de producción, recolección, extracción del aceite vegetal de las semillas de los cultivos, es muy conocida en la actualidad, pero existen deficiencia y problemas para el manejo de cultivos nuevos, es por ello que surge la necesidad de desarrollar maquinaria adecuada. Existe un gran interés por los aceites no comestibles provenientes de higuera (Kalbande and Vikhe, 2008).

Tradicionalmente la higuera se siembra en un surco superficial mediante la apertura de una cama con un plantador de tipo Lister o puede ser en camas bajas, por donde corre agua en los surcos. Por otra parte, las semillas de ricino (higuera) son grandes y lentas para germinar, la aparición de plántulas tardan de 7 a 14 días; requieren tierra húmeda durante un período más largo que el maíz o el algodón y son sembradas de 6.3 a 7.6 cm de profundidad dependiendo de la textura y condición del suelo. Las cosechadoras tienen 4 filas y utilizan cepillos giratorios para quitar las cápsulas de las plantas, siendo las condiciones favorables para esta operación la velocidad baja de 8 km.h⁻¹ con humedad relativa inferior al 40 % y contenido de humedad en la semilla de 6 % o menor (Brigham, 1993).

Para todas las labores del cultivo puede y debe emplearse maquinaria agrícola. Para la siembra puede usarse la sembradora de maíz, pero la más propicia es la de maní, ya que permite un mejor manejo de las semillas, es decir, no la parte ni la maltrata.

Para el descascare existen diversas maquinas entre las cuales están las fabricadas por las casas Turner y Boardman de los Estados Unidos, de alta capacidad y gran eficiencia, pues son diseñadas especialmente para las variedades mejoradas que en este país comúnmente se siembran (Zuleta, 1965).

Debido a los problemas ambientales mundiales, cambio climático, agotamiento de fuentes fósiles y a la alta demanda de biodiesel actualmente a nivel nacional e internacional es urgente incentivar la mecanización de la cosecha de higuierilla, energía alternativa renovable contribuyendo a la reducción del efecto invernadero y a la vez diversificar la matriz energética nacional.

Además de ser competitivos en este cultivo cuya cosecha manual es muy costosa y demorada, por lo tanto se esperan alcanzar varios objetivos entre ellos el siguiente:

1.2 OBJETIVO.

Evaluar una máquina con la función de trilla y limpieza de la semilla de higuierilla.

1.3 HIPOTESIS.

A partir de la tecnología de trilla de otros cultivos, será posible adaptar una maquina con la función de trilla y limpieza de la semilla de higuierilla.

II. REVISION DE LITERATURA.

2.1 GENERALIDADES.

Mejía, (2007), Menciona que la higuerrilla también llamada palma cristi, castor, higuera infernal, tertago, higuerrita, ricino, es un arbusto que crece silvestre en la mayor parte de las regiones tropicales. Sus semillas son venenosas por lo cual no son consumidas directamente sino que son prensadas y sometidas a extracción por solventes para obtener aceite y torta.

El aceite no es considerado normalmente como comestible, sin embargo posee múltiples usos:

- Refinado tiene uso farmacéutico.
- En bruto se usa como emulsificante para desinfectantes del hogar, industria y pesticidas.
- Modificado se emplea como aceite hidráulico, disolvente de pinturas, impregnación de tintura para textiles y cuero, fusión de ceras naturales y químicas así como en la fabricación de polímeros.

La torta de higuerrilla no se utiliza como alimento animal debido a la presencia de toxinas y de sustancias alergénicas. Su empleo se limita especialmente en aplicaciones de fertilizantes orgánicos. El cultivo de la higuerrilla se ha extendido en el mundo y su aceite tiene amplio mercado por los múltiples usos y las diversas industrias que fomenta.

El creciente desarrollo de la aviación y el constante empleo de motores de altas revoluciones, le dan gran demanda al aceite como lubricante por su gran densidad, porque conserva su viscosidad a diferentes temperaturas y porque solo se congela a los 10°C bajo cero. Solís, *et al.*, (2011), Señala que ante problemas ambientales mundiales como el cambio climático y el agotamiento de fuentes fósiles de energía

es imprescindible impulsar la investigación, desarrollo e innovación de energías renovables para reducir el efecto invernadero y para diversificar la matriz energética nacional que en México depende en más de 90% de recursos no renovables como el petróleo y el gas.

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) cuenta con colectas de higuera de los estados de Jalisco, Chiapas, Guanajuato, Veracruz, Oaxaca, Michoacán, Guerrero, Morelos y Yucatán, que constituyen la base para la obtención de materiales elite (Zamarripa, 2011). *R. communis* es una planta de hábito anual o perenne de acuerdo a las condiciones ambientales. La planta es de porte alto, a veces algo arbustiva, de color verde claro a azul grisáceo, en ocasiones rojiza, con tallo erecto que mide hasta 6 m de altura (Vibrans, 2009).

El tamaño de planta tiende a ser mayor en climas tropicales y tierras fértiles, los genotipos enanos son de gran interés económico porque facilitarían la cosecha mecanizada (Rzedowski, 2001).

2.2 TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN.

2.2.1 Preparación del terreno.

De acuerdo con González, *et al.*, (2011), La Higuera se produce bien en diferentes sistemas de labranza. A continuación se describen los principales sistemas de labranza que se pueden utilizar en la siembra comercial de esta oleaginosa, de los cuales el productor puede elegir el que mejor se ajuste a su tipo de suelo, topografía y cultivo anterior. Márquez, *et al.*, (2001), Menciona que la preparación del suelo, conocida como labranza busca crear condiciones favorables para el buen desarrollo de los cultivos, es decir, para la germinación de las semillas, el crecimiento de las raíces y plantas, y en la mayoría de los casos, para la formación del fruto; además puede ayudar a incrementar significativamente la producción.

La labranza convencional y la labranza mínima son los principales sistemas que se sugieren.

2.2.2 Labranza convencional.

Este sistema de labranza se basa en dos actividades principales, barbecho y rastreo.

Barbecho. Consiste en voltear la capa arable del suelo mediante la utilización de arado de discos o de rejas. Esta práctica permite la oxigenación y exposición al sol de las capas profundas del horizonte A de 0 a 30 centímetros. Con esta labor se destruyen en buena medida los estados inmaduros de los insectos-plaga; además, ayuda a controlar alguna maleza, sobre todo las perennes como el zacate Johnson, al exponer los rizomas a las partes soleadas y secas del terreno.

Rastreo. Es una práctica necesaria para homogeneizar el suelo, pulverizar residuos orgánicos y afinar la capa arable; el número de pasos de rastra dependerá de las condiciones del suelo, del cultivo anterior y de la capacidad del equipo a utilizar.

Surcado. El surcado puede efectuarse con maquinaria agrícola o yunta, a una separación entre surcos de 0.7 m en la asociación Maíz-Higuerilla y de 1.4 m en el sistema de unicultivo; es decir, solo Higuerilla.

2.2.3 Labranza mínima.

En este sistema, el laboreo puede o no considerar la incorporación de residuos del cultivo anterior. Consiste en realizar uno, dos o tres pasos de rastra, dependiendo de las condiciones del suelo, del cultivo anterior y de la capacidad del equipo a utilizar. Cuando se deja sobre la superficie del suelo el 30 % de los residuos de la cosecha anterior, como mínimo, se está practicando por definición, labranza de conservación.

2.3 SIEMBRA.

La época de siembra influye en el rendimiento y calidad de las semillas de higuerilla. De acuerdo a Távora (1982), en áreas de poca precipitación las siembras deben ser realizadas después del inicio de las lluvias, mientras que en áreas de alta precipitación la siembra debe ser realizada al final del temporal. La profundidad de

siembra de la semilla es de 2 a 3 cm dentro de la capa húmeda del suelo, no es conveniente sembrar a más profundidad debido a que se retarda la emergencia de la plántula y se corre el riesgo de que se ahogue la semilla. Después de la emergencia de las plantas se debe realizar un raleo dejando una planta por sitio.

Weiss (1983), Señala que la semilla de higuera puede presentar un determinado grado de latencia o dormancia. La impermeabilidad de la cáscara puede restringir la entrada de agua o dificultar el intercambio de gases (oxígeno necesario para la germinación o dióxido de carbono producido durante la respiración celular). Por lo tanto, la germinación puede no producirse o resultar retrasada, incluso cuando la semilla cuenta con condiciones favorables de humedad, aireación y temperatura. Rocha (1986), Enfatiza en destacar que la emergencia de las plántulas puede ocurrir entre 8 y 12 días después de la siembra, y que depende de factores ambientales, tales como la temperatura y la humedad del suelo.

2.4 COSECHA.

Ramos, *et al.*, (1952), Menciona que a los 100, 120 o 150 días de sembrada la semilla, según la variedad, puede hacerse la recolección. Rico, *et al.*, (2011), Reporta que la cosecha se hace manualmente con tijeras podadoras para cortar el racimo por su base, en el punto de unión a la rama. Estos se llevan rápidamente al área de secado donde se exponen a los rayos directos del sol sobre un plástico o piso de cemento, para completar el proceso de secado.

De acuerdo con Ribeiro (1966), el corte de frutos debe realizarse cuando el 70 % del racimo esté seco, ya que la cosecha con la mayoría de los frutos verdes, puede afectar el contenido y la calidad del aceite. Beltrao y Silva (1999), citan que lo ideal es realizar la cosecha escalonada, siguiendo el orden en el que los racimos empiezan a madurar.

Investigadores en el cultivo de higuera del INIFAP consideran que una buena variedad de higuera debe presentar uniformidad en la fructificación y maduración permitiendo que la actividad de cosecha sea posible realizarla con un mínimo de pases.

González, *et al.*, (2011), Señala que la cosecha mecanizada requiere variedades enanas y uniformes tanto en crecimiento como en ramificaciones, con cápsulas indehiscentes y las hojas deben eliminarse ya sea natural o artificialmente con defoliantes como paracuat y la trilladora a utilizar puede ser la misma que se utiliza para la cosecha de granos pequeños, solo se requiere hacer ajustes en el cóncavo, en el aire y en las zarandas.

2.5 MANEJO DE LA POST-COSECHA.

De acuerdo con García, *et al.*, (2012), El beneficiado de la higuerrilla puede ser manual o mecanizada y tiene tres etapas básicas: secado, separación, limpieza y ensacado de las semillas. El secado puede ser natural o mediante secadoras. La separación a través de la máquina descascaradora y la limpieza puede ser manual (aventado) o por abanicos mecánicos.

Secado. Una vez recolectados los racimos en campo, para el secado se distribuyen en una capa menor a los 15 cm de espesor y expuestos directamente al sol. De preferencia deben de secarse sobre piso de cemento ya que tiene la capacidad de absorber la humedad. Las lonas no son muy recomendables dado que no tienen esta característica por lo que se pueden tener problemas de calentamiento si no hay movimiento continuo de los frutos. El tiempo de secado depende de las condiciones ambientales pero debe concluir cuando la humedad de los frutos sea del 10 %.

Desgrane y Limpieza. Rico, *et al.*, (2011), Cuando la cosecha se realiza en forma mecanizada, la trilladora desgrana y limpia la semilla. Cuando la cosecha es manual y la variedad es dehiscente un gran porcentaje de las cápsulas se desgranar en el proceso, el resto, una vez separados los raquis, es necesario desgranarlos manualmente, las cápsulas que quedan cerradas pueden abrirse de la siguiente manera: se ponen las cápsulas que no abrieron en un costal y posteriormente se golpean contra el suelo (evitar pisos de cemento) de manera que el golpe las abra, también puede utilizarse varas para lograr la salida del grano de la capsula. La limpieza de la semilla se realiza con el uso de ventiladores.

Si la variedad es indehisciente, la separación de la semilla es mediante una maquina descascaradora y la limpieza es con el uso de ventiladores.

Almacenamiento. La semilla se debe envasar en sacos limpios, cuando tenga una humedad de 10 % y se debe almacenar en lugares seguros, secos y ventilados.

2.6 DESCASCARARADO.

El Instituto de Investigaciones Tecnológicas desarrollo una maquina mediante una adaptación del sistema de las descerezadoras de café para ser utilizada por los cultivadores pequeños (Trujillo, *et al.*, 1962). De estas máquinas se hicieron dos tipos:

- a) Descascaradoras de accionamiento manual con capacidad aproximada de 15 a 20 kilos por hora;
- b) Descascaradora separadora con accionamiento mediante un motor de gasolina de 3 hp y con una capacidad de 50 a 75 Kg/hora. Zuleta, (1965), Cita que en los Estados Unidos existen máquinas para la cosecha que no se conocen aun en el país como la Boardman Castor Been Harvester.

Calero, *et al.*, (1974), Señala que el descascarado para las variedades indehiscentes debe hacerse a máquina; para el efecto se dispone de descascaradoras de distintas marcas como “Turner”, “Boardman” y “Copeland”, de gran eficiencia y rendimiento. En cambio en las variedades dehiscentes se descascaran manualmente con el secamiento; luego es necesario limpiar bien la semilla, sea por un ventilador o en su defecto a mano. Franco, *et al.*, (2008), Afirma que las variedades indehiscentes, requieren de máquinas descascaradoras, lo mismo que aquellos cultivos de grandes extensiones donde el proceso manual resulta ineficiente y costoso.

2.7 BIODIESEL.

Como energía alternativa a partir de la semilla de Higuierilla (*Ricinus Communis L.*), principalmente en México. Se denomina Biodiesel al producto resultante de la reacción química entre los ácidos grasos (transesterificación), principalmente de los aceites vegetales y alcoholes como el metanol o el etanol. El biodiesel sustituye como combustible limpio y renovable a los derivados del petróleo, concretamente al diesel con ventajas ecológicas reduciendo la emisión de gases de invernadero.

Foidl *et al.*, (1996), Cita que una tonelada de biodiesel, evita la producción de 2.5 toneladas de dióxido de carbono, reduce significativamente las emisiones de dióxido de azufre del diesel, evitando la lluvia ácida y puede producirse a partir de una gran variedad de cultivos oleaginosos, de grasas animales y de aceites y grasas recicladas. El biodiesel producido a partir de *Ricinus Communis L.* es técnicamente viable aunque no se tiene experiencia a nivel nacional y poca a nivel internacional se utiliza en cualquier motor de combustión interna por compresión, principalmente en los países que quieren revertir la dependencia a los combustibles fósiles.

Los biocombustibles son una alternativa para contrarrestar los daños ocasionados al ambiente por el uso de los combustibles fósiles (Labrousse, 1998; Durham y Wood, 2002), así como para el desarrollo de zonas rurales al establecer cultivos bioenergéticos y utilizar este biocombustible en la maquinaria de los productores, o en la generación de electricidad para su consumo.

Costa, *et al.*, (2010), Reporta que la transesterificación de aceites vegetales con alcoholes de cadena corta se ha constituido como el proceso más utilizado para la producción de biodiesel, que al lado de la producción de etanol, son las fórmulas de energía renovables más desarrolladas a nivel mundial. En este proceso, una mezcla de esteres de etilo o metilo de ácidos grasos se obtienen por la transesterificación de triglicéridos con etanol o metanol respectivamente, cuya posterior mezcla con petrodiesel constituye uno de los combustibles actualmente en uso en los motores de combustión interna (Coviello, *et al.*, 2008).

Olaoye, (2000), Señala que algunos científicos han trabajado en las propiedades físicas y mecánicas de semillas oleaginosas, sin embargo, se ha observado que el enfoque más racional para el diseño de maquinaria agrícola, equipo e instalaciones que se enmarca en la teoría debe estar enfocado sobre todo en las propiedades físicas de los productos y los efectos de estos para la generación de maquinaria, instalaciones y en la operación, puesto que las características darán las condiciones adecuadas y factores a cuidar para ayudar a la mecanización de los cultivos y diseño de la tecnología.

2.8 PROCEDIMIENTO PARA EVALUACIÓN DE TRILLADORAS.

El término “prueba” es normalmente usado en conexión con un análisis del comportamiento de una maquina comparado con estándares bien definidos bajo condiciones ideales y repetibles (Johnson, 1985).

En el contraste “evaluación” es la medición del rendimiento de la maquina bajo las condiciones reales.

Secuencia para realizar las pruebas y evaluación de las trilladoras; De acuerdo al libro *“Principios y Prácticas de Pruebas y Evaluación de Máquinas y Equipos Agrícolas”*. Por (Smith, *et al.*, 1994).

La secuencia en la prueba y evaluación de las trilladoras, permite caracterizar el desempeño de la maquina en forma adecuada, el cambio en el orden de las pruebas ocasiona que los resultados que se obtengan sean alterados.

2.8.1 Alcance.

2.8.2 Definiciones.

- a) Clasificación de las trilladoras.
- b) Descripción de la trilladora.
- c) Contenido de humedad.
- d) Relación grano/paja.
- e) Tamaño de los granos.

- f) Daños de los granos.

2.8.3 Procedimiento de prueba.

- a) Maquina a probar.
- b) Condiciones del cultivo.
- c) Equipo para mediciones.
- d) Medición de potencia.
- e) Pesaje.
- f) Pruebas preliminares.
- g) Prueba de rendimiento.

2.8.4 Pruebas de durabilidad.

2.8.5 Informe.

- | | |
|--|---|
| a) Diagrama/fotografía. | m) Elevador. |
| b) Breve descripción. | n) Sistema de transporte. |
| c) Especificaciones. | o) Dispositivo de seguridad. |
| d) Dimensiones generales. | p) Capacidad de trabajo. |
| e) Peso. | q) Resultados de las pruebas de rendimiento. |
| f) Fuente de potencia. | r) Cultivo. |
| g) Sistema de transmisión de potencia. | s) Resumen de los resultados de la prueba. |
| h) Sistema de alimentación. | t) Reparaciones y ajustes durante la pruebas. |
| i) Cilindro o tambor trillador. | u) Comentarios y observaciones. |
| j) Cóncavo. | |
| k) Harnero/criba. | |
| l) Soplador. | |

Principio del funcionamiento de las trilladoras y su clasificación, las espigas de las plantas se introducen al tambor de la trilladora mientras que el tallo es sostenido por el operador o mecánicamente.

Trilladora Manual (“Hold-on”)

- 1) Cilindro trillador.
- 2) Dientes trilladores.
- 3) Mesa de alimentación.
- 4) Cóncavo.
- 5) Ventilador.
- 6) Salida de granos.
- 7) Salida de grano inmaduro.
- 8) Salida de barcia.
- 9) Tapa.

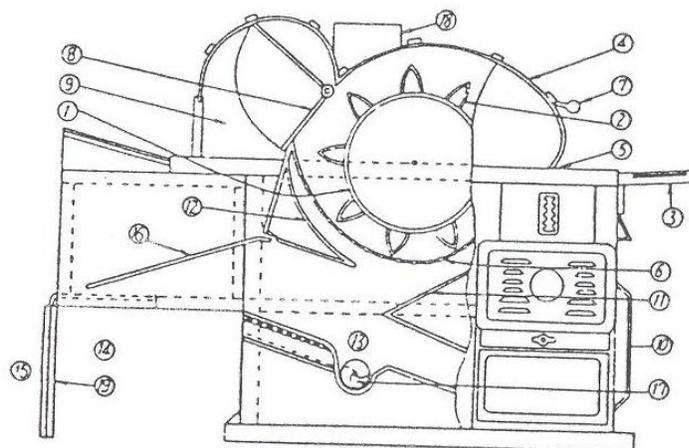


Figura 1. Trilladora Manual (“Hold-on”).

Fuente: RNAM, 1983.

Trilladora completa (“Thorow-in”).

- 1) Tolva de alimentación.
- 2) Motor eléctrico.
- 3) Ventilador.
- 4) Cóncavo.
- 5) Salida de barcia.
- 6) Salida de paja.
- 7) Barras de trilla.
- 8) Cilindro.
- 9) Cóncavo.

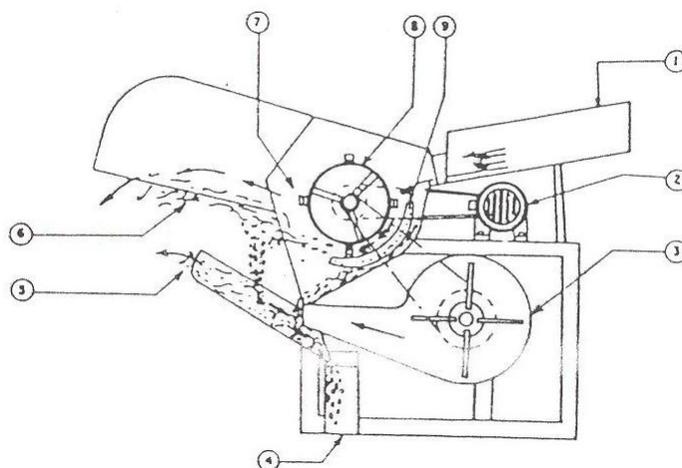


Figura 2. Trilladora completa (“Thorow-in”).

Fuente: RNAM, 1983.

III. MATERIALES Y METODOS.

El trillado es la primera operación de la cosecha para separar el grano. Esto generalmente es laborioso, y la cosecha en la temporada de lluvias introducido por el doble o multicultivo tendría el peligro de deteriorar la calidad del grano, si el cultivo no es trillado en un tiempo corto. La escasa labor temporal y reducido tiempo tiene inevitablemente forzados a granjeros para volver a trilladores mecánicos de grano.

3.1 DEFINICIÓN DE TERMINOS.

Las siguientes definiciones se aplicaran en este proceso.

- a) Grano entero: grano maduro no quebrado.
- b) Grano dañado: el grano trillado que es parcialmente y totalmente roto y dañado.
- c) Grano trillado: grano entero adjunto a la paja después de trillar.
- d) Cascarilla del grano: la paja estando descascarada que usualmente pasa por el cóncavo y cilindro trillador antes de salir.
- e) Material foráneo: otro material inorgánico y orgánico que incluye grano de arena, grava, arcilla, lodo, ficha de metal, cascarilla de grano y paja, maleza, semillas de maleza y de otros granos.
- f) Relación de grano: relación del grano cosechado del cultivo por el peso bajo el mismo contenido de humedad de la paja como el grano.
- g) Grano disperso: granos caídos fuera de la trilladora.
- h) Grano mezclado: material completo recibido en la salida principal del grano el cual incluye grano completo, grano dañado y material foráneo.
- i) Velocidad optima de alimentación: la velocidad máxima de alimentación a la que trilla razonable eficientemente y puede obtenerse la limpieza.
- j) Capacidad de procesamiento (rendimiento): peso del grano (entero y dañado) recibido por hora a la salida principal del grano.

- k) Eficiencia de trilla: es la relación de los pesos entre el grano trillado recibido en todas las salidas con respecto al grano total introducido, expresado en porciento.
- l) Eficiencia de limpieza: es la relación entre los pesos del grano completo con respecto al grano mezclado en la salida principal del grano, expresado en porciento.
- m) Salida principal del grano: salida donde se colecta el grano trillado.
- n) Salida de la paja: salida donde la paja trillada es expulsada.
- o) Salida de la cascarilla de grano: la salida donde la cascarilla del grano es separada por los sopladores o el tamiz la caída del grano afuera es forzada a través del cóncavo. Hay algunas máquinas que no tienen tal salida por la falta del dispositivo separador.

3.2 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN.

3.2.1 Definición de evaluación.

El término evaluación involucra el análisis del comportamiento de una máquina bajo condiciones agrícolas reales. El propósito es obtener información de la misma bajo las condiciones del medio para el cual fue diseñada y que varía continuamente (Iglesias, *et al.*, 1999, citado por Girón, 2010).

3.2.2 Ubicación.

Para poder llevar a cabo la evaluación de la máquina, se apoyó de las instalaciones del Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola (CENEMA), institución que se ubica en el km. 18.5 carretera México-Lechería, entre las coordenadas 19° 30' Latitud Norte y 98° 53' de Longitud Oeste, a una altura de 2300 msnm.

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo usando materiales y herramientas con las que cuenta el laboratorio de pruebas (CENEMA), y al apoyo otorgado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT).

3.2.3 Dimensionamiento general de la máquina.

Se hacen conocer las dimensiones generales de la máquina trilladora de Higuierilla para saber el volumen ocupado por la misma. Las dimensiones de interés son: altura, ancho y largo.

El material y equipo necesario para hacer el dimensionamiento de la maquina son: Flexometro, regla milimétrica, plomada, marcadores, cinta adhesiva, nivel, escuadras, hilo para marcar (chocla) y material de oficina.

Teniendo dichas herramientas, se recurre a la siguiente metodología:

- a) Colocar la máquina en una superficie uniforme y nivelada.
- b) Ubicar los puntos más alejados de la máquina.
- c) Marcar los puntos más alejados, con ayuda de la plomada, colocando cinta adhesiva en la superficie del piso para determinar el largo (L) y ancho (A) de la máquina. Para la anchura A, se consideran las posiciones extremas del sistema dosificador.
- d) La altura se determina con el punto más alto (H) de la máquina.
- e) Realizar las mediciones necesarias con el flexómetro.

3.2.4 Masa de la máquina.

Determinar la masa de la máquina para saber el peso que ha de cargarse para los posibles traslados. En el CENEMA se cuenta con una báscula con capacidad de 5 toneladas y en ella se montará la máquina.

Muchas veces, las pruebas de fábrica se llevan a cabo en bancos y laboratorios especializados que permiten obtener grandes volúmenes de información en tiempos reducidos. Tanto en estos casos, como durante las evaluaciones en condiciones reales, se permiten aplicar metodologías especiales y hacer muestreos experimentales que posibiliten detectar los defectos y fallas en el funcionamiento de las máquinas, las que pueden ser solucionadas modificando o cambiando el diseño de piezas y mecanismos, durante el mismo proceso de pruebas.

3.3 PRUEBAS SIN CARGA DEL PROTOTIPO (VACÍO).

Esta prueba se refiere a poner en funcionamiento la máquina durante periodos de tiempo determinados sin material de trabajo. La finalidad de esta prueba es verificar el funcionamiento de las partes en movimiento, y realizar las regulaciones necesarias.

Antes de realizar la prueba verificar lo siguiente:

- a) Verificar que todos los elementos de sujeción, tales como tornillos, opresores, etc. Estén apretados correctamente.
- b) Verificar que las chumaceras estén bien sujetadas al chasis y debidamente engrasadas.
- c) Checar que las poleas y catarinas de los mecanismos en movimiento estén bien alineadas.
- d) Comprobar que la tensión de la banda de transmisión sea la adecuada.
- e) Cerciorarse de que no existan objetos extraños que pudieran dañar las partes en movimiento y/o provocar un accidente.

Durante el funcionamiento se debe de estar observando que todos los componentes trabajen adecuadamente, y se reparan inmediatamente las averías que surjan.

Al término de la prueba se obtuvieron resultados satisfactorios por lo que se procedió a realizar pruebas con material de trabajo.

3.4 PRUEBAS CON MATERIAL DE TRABAJO (CON CARGA).

Durante esta etapa se evalúa el desempeño de la máquina, interactuando sobre las capsulas (Higuerilla). Se comprueba si la máquina cumple con el objetivo de trilla y limpieza sin provocarle demasiado daño mecánico a la semilla.

Durante esta etapa se reparan las averías más comunes y se mejoran los procesos de construcción, hasta que las pruebas resulten satisfactorias y entonces pasar a la etapa de la evaluación.

3.5 METODOLOGÍA DE PRUEBA DEL PROTOTIPO.

Dentro de los índices fundamentales de explotación de la maquina trilladora de Higuierilla, se pueden citar los siguientes:

- a) Calidad del trabajo: daño mecánico de la semilla, porcentaje de semilla trillada y porcentaje de pérdidas.
- b) Productividad (rendimiento): la cantidad de semilla trillada por hora de trabajo.
- c) Consumo de energía (combustible).

Para determinar la abertura del cóncavo, primeramente se hace un muestreo de las dimensiones (propiedades físico-mecánicas) de la semilla de higuierilla más común en la región para la cual será apta la maquina trilladora:

- a) Se realiza una serie de mediciones a 100 semillas (Largo, Ancho y Alto).
- b) Determinar la media (\bar{x}) de los valores mediante:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}$$

Dónde:

- X_i = Magnitud de cada una de las observaciones;
- n = Número de observaciones.

Con estos valores podremos hacer ajustes al sistema de trilla, es decir dar espaciamiento entre el cilindro trillador y cóncavo (espaciamientos máximos y mínimos recomendados para la semilla de higuera).

3.6 ESTUDIO DE LAS CONDICIONES DEL CULTIVO.

Es uno de los factores más importantes que afectan el desempeño de las máquinas. Es por ello que para realizar pruebas donde se midan parámetros que pretendan evaluar el desempeño de la máquina, deben de conocerse las características iniciales del cultivo antes de realizar las pruebas.

Las variables de observación y /o medición son:

1. Nombre y variedad del cultivo.
2. Dimensiones de la semilla y capsula.
3. Contenido de humedad de la capsula.
4. Porcentaje de semilla dañada.

3.6.1 Nombre y variedad del cultivo.

El nombre de la variedad debe de obtenerse directamente del responsable de la producción de higuera, preferentemente la variedad debe ser común en la región.

3.6.2 Dimensiones de la semilla y capsula.

Para determinar las dimensiones de la semilla se escogen de manera aleatoria 100 semillas y utilizando un vernier con valor de división de un milímetro se mide el diámetro y la longitud de las mismas (Iglesias, *et al.*, 1999). Para ello se toman cinco muestras de 25 ramificaciones. Determinar el promedio, el coeficiente de variación y la desviación estándar según la metodología propuesta por Canavos, (1990) e Infante y Zárate, (2000). Relativamente se hace el mismo procedimiento para la determinación de las dimensiones de la capsula.

3.6.3 Contenido de humedad de la capsula.

Es importante conocer la humedad de la capsula en su totalidad, ya que es la humedad que se tendrá al momento de las pruebas. Se colectan cinco muestras al azar de cinco plantas del cultivo, para esto se deben de tomar cinco capsulas por cada muestra, pesar estas muestras y someterlas a un horno de secado a una temperatura de 80 °C a 100 °C, durante 12 horas (Ochoa *et al.*, 2003), posteriormente volver a pesar las muestras para obtener el peso seco.

Por último se calcula el porcentaje de humedad con la siguiente fórmula:

$$Hs = \frac{W1 - W2}{W1} * 100$$

Dónde:

- **Hs** = Contenido de humedad, %
- **W1** = Masa de la muestra húmeda, g
- **W2** = Masa de la muestra seca, g

3.6.4 Porcentaje de semilla dañada.

Para obtener este parámetro se realizaron pruebas a diferentes revoluciones con el motivo de poder comparar el porcentaje de la semilla dañada a la salida, así influyendo en la calibración de la máquina para una prueba de campo.

El cálculo del porcentaje de semillas dañadas se calcula con la siguiente fórmula:

$$\% S.D = \frac{M_{sd}}{M_{se} + M_{sd}} * 100$$

Dónde:

- **S.D** = Semilla Dañada, %
- **M_{sd}** = Masa de la Semilla Dañada, g
- **M_{se}** = Masa de la Semilla Entera, g

3.7 PRUEBA DE CALIDAD.

El objetivo de la prueba de calidad, es determinar la calidad de trabajo de la maquina trilladora. Los principales parámetros a determinar son:

- a) Porcentaje de semilla en buen estado a la salida principal.
- b) El daño mecánico de la semilla.

a) Porcentaje de semilla en buen estado a la salida principal.

Se establece de tal manera que el mecanismo de cilindro y cóncavo no ocasionen ningún tipo de daño a la semilla.

b) Daño mecánico de la semilla.

Después de las pruebas se cuantifica en peso el total de la semilla entera en la salida principal para posteriormente hacer la calibración de cilindro trillador y cóncavo.

Para la realización de la prueba de calidad se hace funcionar la máquina trilladora para realizar los ajustes necesarios. Como primer punto se revisan que las bandas, tengan la tensión adecuada, para que no exista patinaje en las poleas. Así mismo se revisa que las poleas y catarinas estén alineadas horizontalmente y verticalmente. Por último se determinan cada uno de los parámetros indicados.

3.8 PRUEBA DE DESEMPEÑO.

La medición del desempeño es de vital importancia y debe ser efectuada bajo condiciones controladas para obtener datos confiables sobre la máquina, tal como capacidad de trabajo, calidad de trabajo adaptabilidad a diferentes tipos de cultivo en comparación con métodos locales esto debe efectuarse bajo las condiciones

recomendadas por el fabricante pero puede también incluir otras pruebas bajo otras condiciones.

Desde el análisis de muestreo y tiempo de muestreo, velocidad de alimentación, rendimiento de la trilladora, recuperación de trilla, eficiencia de trilla, eficiencia de limpieza, en la salida principal del grano, relación del grano dañado, la pérdida del grano se calcula como se indica a continuación:

$$\color{red}{\oplus} \text{ Total de la semilla que ingresa: } \mathbf{A = B + C + D}$$

A: Total de la semilla que ingresa por unidad de tiempo por peso.

B: Peso de la semilla trillada (entera y semilla dañada) por unidad de tiempo colectado en la salida principal de la semilla.

C: Peso de la semilla trillada (entera y semilla dañada) por unidad de tiempo colectado en todas las salidas excepto por la salida principal de la semilla.

$$\color{red}{\oplus} \text{ Porcentaje de la semilla dañada en todas las salidas = } \mathbf{(E/A) * 100}$$

E: Cantidad de la semilla dañada colectado en todas las salidas por unidad de tiempo.

$$\color{red}{\oplus} \text{ Porcentaje de semilla soplada = } \mathbf{(F/A) * 100}$$

F: Cantidad de semilla colectada entera en la salida de la cascarilla de la semilla y paja por unidad de tiempo.

$$\color{red}{\oplus} \text{ Porcentaje de semilla perdida = } \mathbf{(G/A) * 100}$$

G: Peso de la semilla entera, semilla dañada y semilla no trillada por unidad de tiempo en la salida de la cascarilla de la semilla y salida de la paja.

$$\color{red}{\oplus} \text{ Porcentaje de semilla no trillada = } \mathbf{(H/A) * 100}$$

H: Peso de la semilla no trillada por unidad de tiempo en todas las salidas.

$$\color{red}{\oplus} \text{ Eficiencia de trilla = } \mathbf{100 - \text{porcentaje de la semilla no trillada, \%}}$$

✚ Eficiencia de semilla limpia, % = $(I/J) * 100$

I: Peso de semilla entera por unidad de tiempo en la principal salida de la semilla.

J: Peso del material entero por unidad de tiempo en la salida principal.



Figura 3. Maquina a evaluar con función de trilla y limpieza de Higuierilla.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.

4.1 Dimensionamiento general de la máquina.

Se realizó una verificación de la estructura de la maquina así obteniendo especificaciones generales al igual que las dimensiones de interés para dimensionamiento: Altura, Largo y Ancho entre ellas su masa que se obtuvo mediante una báscula electrónica de aproximadamente 5 toneladas de capacidad.

Cuadro 1. Especificaciones Generales de la Trilladora.

1. Características de la máquina.	Maquina estacionaria con motor independiente de 13 hp
2. Dimensiones de la máquina, (Largo, Ancho y Alto, en m)	Largo 3.66, ancho 2.023 y alto 1.78
3. Peso de la máquina, (kg)	700
4. Fuente de potencia, (kW)	Motor 188FE, Marca Swissmex
5. Altura de descarga del grano para el encostado (Tolva/Salida directa)	30 cm
6. Diámetro y largo del cilindro trillador.	Largo 1.10 m y Diámetro 57 cm
7. Distancia entre cóncavo y cilindro trillador	1 cm
8. Distancia entre dedos en el cilindro trillador	10 cm entre cada dedo y en extremos iniciando con medidas 0.5, 3 y 6 cm
9. Número de hileras de dedos en el cilindro trillador	6
10. Dimensiones de las cribas (L x A)	1.62 m por 0.610 m
11. Diámetro de orificios de la criba superior	Orificios tipo rectangular, Largo 2 cm, Ancho 1.5 mm
12. Diámetro de orificios de la criba inferior	Orificios tipo rectangular, Largo 3 cm, Ancho 0.5 mm

4.1 Estudio de las condiciones del cultivo.

Las pruebas fueron realizadas dentro de las instalaciones del INIFAP estableciéndose una parcela con este cultivo, Higuierilla (*Ricinus Communis*) con el propósito de conocer, analizar tanto su crecimiento como desarrollo, sus necesidades, obteniendo de esta forma material para las pruebas, ya en laboratorio se estudiaron los parámetros como masa y humedad de las capsulas de higuierilla.

4.2 Nombre y variedad del cultivo.

Durante las pruebas se utilizó material cosechado en la parcela que se estableció en las instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones forestales Agrícolas y Pecuarias, Texcoco Estado de México, la variedad denominada “Guanajuato 1”.

4.3 Dimensiones de la semilla y capsula.

Conocer el tamaño de la semilla y dimensiones de la capsula es muy importante, ya que permite tener un perfecto funcionamiento del sistema, evitando el daño mecánico que pueda provocar el cóncavo y cilindro trillador. Se tomaron 100 semillas de forma aleatoria determinando Largo, Ancho y Alto obteniendo los siguientes valores.

Cuadro 2. Características promedio de la capsula y la semilla.

Cápsula	
1. Diámetro longitudinal	25 mm
2. Diámetro transversal	23 mm
3. Masa de una cápsula	2 g
Semilla	
4. Largo	15 mm
5. Ancho	9 mm
6. Alto	7 mm
7. Masa de una semilla	0.4 g

4.4 Contenido de humedad de la capsula.

Para obtener el contenido de humedad a la vez se realizó una prueba para conocer la fuerza de desprendimiento de la capsula de higuera de su racimo tanto horizontal como verticalmente, comparando de esta manera peso aplicado en diferentes alturas del racimo y porcentaje de humedad.

Cuadro 3. Fuerza necesaria para el desprendimiento de capsulas.

Racimo	Prueba No.	Ubicación del peso aplicado a la Planta			
		Parte Inferior	Parte Media	Parte Superior	Media
Fuerza (Newton)	1	0.70	0.76	0.86	0.77
	2	0.69	0.71	0.83	0.74
	3	0.60	0.70	0.82	0.70
	4	0.52	0.61	0.79	0.64
	5	0.49	0.58	0.62	0.56

Como se observa en el cuadro 3, la fuerza necesaria para el desprendimiento de las capsulas de higuerrilla varió de 0.49 N a 0.86 N. en las diferentes repeticiones de las pruebas. Se observó que, en general, las capsulas inferiores de cada racimo opusieron más resistencia al desprendimiento mientras que las superiores opusieron menos resistencia y esto se debe a que el contenido de humedad es más alto en las capsulas superiores esto afectándonos en el proceso de trilla.

El contenido de humedad varió de 2.37 a 4.38 % con un promedio de 2.99 % humedad.

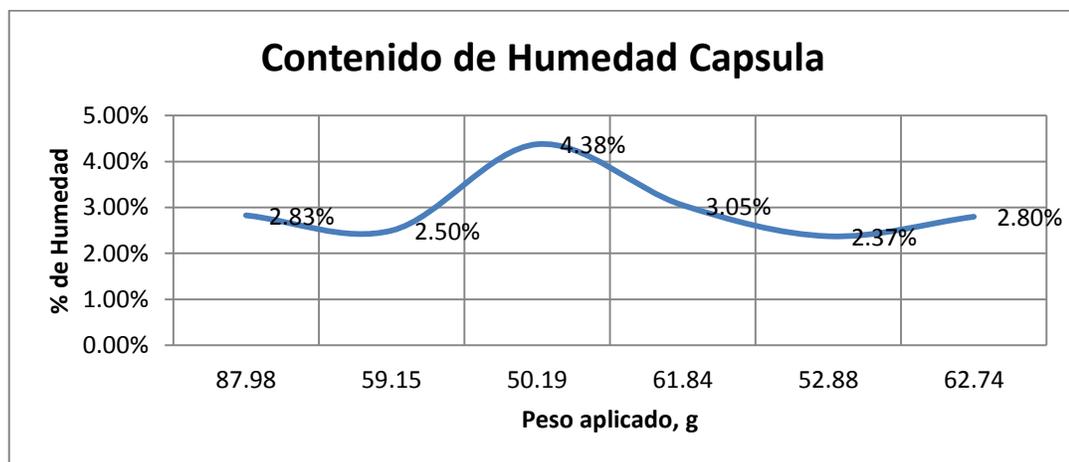


Figura 4. Representación del porcentaje de humedad VS peso aplicado.

4.5 Porcentaje de semilla dañada.

Este parámetro se relacionó con la calibración de la maquina por lo que se hicieron una serie de pruebas a diferente velocidad de rotación del cilindro trillador, así pudiendo comparar el daño y probar la maquina trilladora a la velocidad de rotación más adecuada.

Cuadro 4. Resultados de prueba a diferente velocidad de rotación.

Velocidad Rotación (rpm)	Semilla Entera (gr)	Semilla Dañada (gr)	Gajos no trillados (gr)	% Daño	% Entera	% Gajos no trillados
60	476	53	70	10.02%	89.98%	11.69%
70	442	53	63	10.71%	89.29%	11.29%
80	452	70	72	13.41%	86.59%	12.12%

90	421	74	37	14.95%	85.05%	6.95%
100	405	75	57	15.63%	84.38%	10.61%
120	411	71	44	14.73%	85.27%	8.37%
150	436	88	41	16.79%	83.21%	7.26%

Con los resultados obtenidos podemos observar la velocidad de rotación más apta para recomendar en la trilla de la semilla de higuerrilla en esta forma mecanizada es a 70 RPM, esta serie de pruebas se realizó en laboratorio bajo condiciones controladas con 1.5 kilogramos de material.

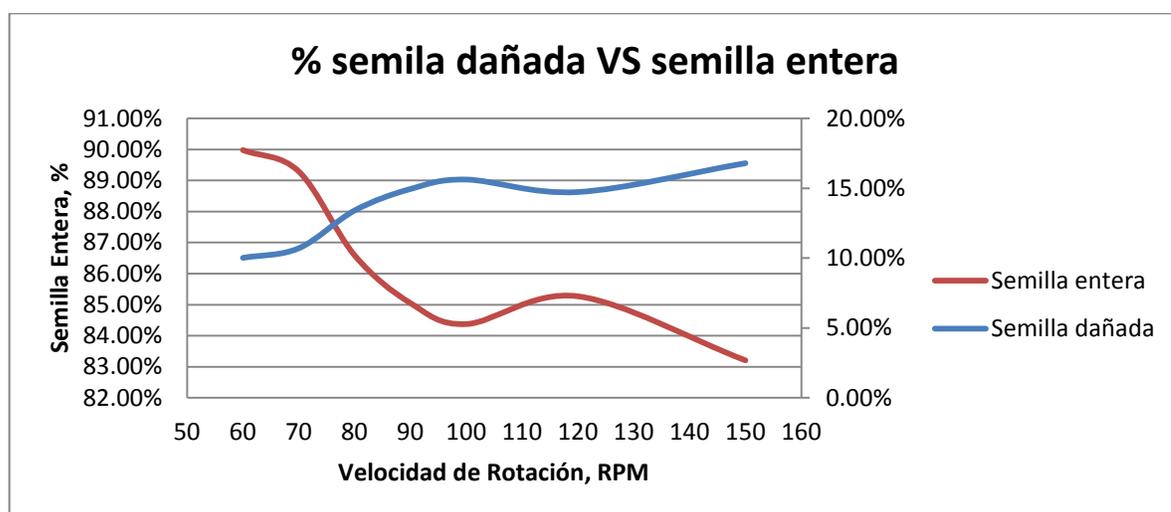


Figura 5. Representación del daño de semilla desde 60 hasta 150 rpm.

Al final de las pruebas, se le hicieron una serie de ajustes al cilindro trillador y cóncavo esto para reducir el daño a un porcentaje inferior al que se obtuvo.

Como ajuste al cóncavo se cambió en la entrada del material la lámina de criba por nylamid adaptando la forma de la misma, pero disminuyendo su dureza evitando daño mecánico, enseguida se le adapto a los dedos del cilindro trillador unas tiras de hule con un soporte de metal, aclarando que el cilindro consta de seis hilera y solo se le hizo la adaptación a tres de ellas de forma intercalada.

5. PRUEBA DE CALIDAD.

En esta prueba se indica si se cumple o no la actividad para la cual fue diseñada la máquina tanto en rendimiento como en su sistema de limpieza, los principales parámetros considerados son:

Porcentaje de semilla en buen estado a la salida principal = 36.17 % del total de material alimentado = 97.716 kg, con un 55.95 kg, de cantidad de esquilmo (paja) y el daño mecánico de la semilla fue de 4.21 %. (Véase figura 8)



Figura 6. Salida principal de la semilla tomada frontalmente al momento de la prueba.

En esta prueba de calidad, aparte de obtener los parámetros antes mencionados se hace una revisión de la estructura general de la maquina como: revisión de bandas,

poleas, catarinas, cribas, sistema de ventilación y a su vez que la velocidad de rotación sea la adecuada antes de comenzar la siguiente prueba.



Figura 7. Alimentación a la maquina trilladora.

La prueba fue realizada a una velocidad de rotación de 70 RPM y con un total de 97.716 kg de material equivalente al 100 %.

6. PRUEBA DE DESEMPEÑO.

Esta prueba indica la productividad real de la máquina diseñada, así como detectar algunas de las fallas mecánicas que pueda sufrir durante el tiempo de trabajo.

Cuadro 5. Condiciones del proceso de trilla.

1. Abertura del cóncavo.	1 cm
2. Peso de cápsulas por trillar	± 100 kg
3. Tiempo de trillado	16.49 min
4. Velocidad del cilindro trillador	70 rpm

Cuadro 6. Parámetros de prueba de desempeño.

I.	Tiempo efectivo de trabajo.	16.49 min
II.	Tiempo de llenado de la tolva.	45 seg
III.	Tiempo para descarga de la tolva.	1.55 min
IV.	Consumo de combustible.	75 ml

Los datos se clasificaron acorde a las salidas de material de la maquina trilladora, así evaluando el rendimiento de la misma en cada una de ellas (Cuadro 7).

Cuadro 7. Clasificación de valores por salidas de la máquina.

PRIMERA CRIBA				
Semilla Entera	Semilla Dañada	Capsulas no trilladas	Gajos no trillados	Cantidad de esquilmos
3.741%	0.292%	0.046%	2.345%	3.171%
SEGUNDA CRIBA				
Semilla Entera	Semilla Dañada	Capsulas no trilladas	Gajos no trillados	Cantidad de esquilmos
0.592%	0.039%	0.0%	0.018%	1.103%
ROTOR DE TRES ASPAS				
Semilla Entera	Semilla Dañada	Capsulas no trilladas	Gajos no trillados	Cantidad de esquilmos
0.644%	0.127%	0.063%	0.459%	2.647%
SALIDA PRINCIPAL DE SEMILLA				
Semilla Entera	Semilla Dañada	Capsulas no trilladas	Gajos no trillados	Cantidad de esquilmos
30.370%	3.654%	0.013%	0.266%	47.747%

Cuadro 8. Resultado final de prueba.

Resultado final de la prueba	Velocidad de Rotación 70 RPM	Semilla Entera, %	36.17
		Semilla Dañada, %	4.21
		Capsulas no Trilladas, %	0.12
		Gajos no Trillados, %	3.16
		Cantidad de Esquileo, %	55.95
		Perdida de Material, %	0.38
		Total	100 %

El cuadro 8 muestra el resultado final de los parámetros considerados para la evaluación de la trilladora.

En la figura 8 podemos observar como hay una mejora bastante notoria en comparación con las pruebas al momento de hacer la calibración de la maquina mostrada en el cuadro 4 y figura 5, la semilla dañada se redujo significativamente de 10.71 % al 4.21 % esto gracias a los ajustes que se hicieron al cilindro trillador y cóncavo después de la prueba con material de trabajo (con carga). Cabe mencionar que el peso del material para la prueba fue de 97.716 kg esto equivalente al 100 % con solo una pérdida de material al momento de alimentación del 0.38 %.

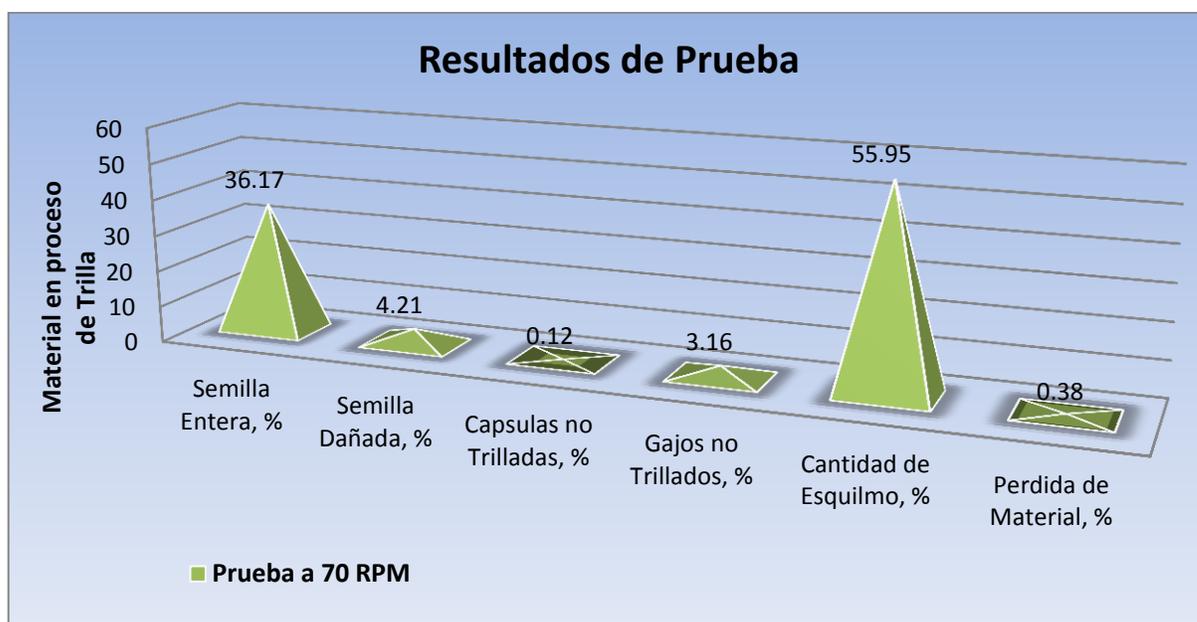


Figura 8. Representación gráfica de resultados totales de la prueba.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

1. Se realizó una evaluación preliminar de la maquina estacionaria con función de trilla y limpieza de la semilla de higuera, para conocer su estatus y aportar elementos justificados para la mejora de la misma.
2. El nivel de daños presentado en la semilla durante esta fase de evaluación fue de 4.21 % con 97.716 kg de material.
3. El cóncavo de dicha maquina produjo daño en la semilla como cortes directos en el proceso de trilla, sustituyendo una parte del cóncavo por material Nylamid.
4. Adaptación de tiras de hule soportadas por metal y sujetas con tornillos a los dedos del cilindro trillador debidamente intercaladas en seis hileras, haciendo de esta forma menos denso y más rugoso el material, obteniendo menor cantidad de daño.
5. Se generó un informe de fallas más comunes y desgaste de piezas en la máquina, además de obtener tiempos reales del proceso de trilla tanto en condiciones controladas (laboratorio) como en campo.
6. El tiempo de descarga del material una vez que la tolva es vaciada, es decir el material que queda entre cilindro trillador, cóncavo y cribas es de 1 minuto con 56 segundos.
7. Se recomienda adaptar en el sistema de limpieza un ventilador, a una velocidad de 850 rpm esto con el fin de hacer más eficiente el sistema o bien concentrar la salida de aire.
8. Poner guardas en las bandas así evitando accidentes e intercambiar la primera criba con orificios rectangulares de 15 x 9 mm, valores obtenidos del estudio de la semilla, para esta variedad.

VI. LITERATURA CITADA.

- Beltrão, N.E. de M.; Silva, L.C. 1999. Os múltiplos usos do óleo da mamoneira (*Ricinus communis* L.) e a importância do seu cultivo no Brasil. Fibras e Óleos, Campina Grande, 31
- Brigham, R. 1993. Castor: Return of an old crop. In: Janick J, Simon JE (Eds) *New Crops*, Wiley, New York, pp 380-383.
- Calero H. Eduardo, Reyes T. Segundo. El Cultivo de la Higuierilla III Edición 1974 INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias), Estación Experimental "Boliche", pp. 2-13.
- Canavos, G.C. 1999. Probabilidad y estadística. Ed Mc Graw Hill. México. 651 p.
- Costa Barbosa, Daniela; Serra Tatiana M., Plentz Meneghetti Mario R. Biodiesel Production by ethanolysis of mixel castor and soybean oils. En: *Fuel* (2010) p. 1-4.
- Coviello, Manlio F. el al. Biocombustibles líquidos para transporte en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas. CEPAL, 2008. 183 p.
- D.W Smith, B.G Sims y D.H O' Neil. 1994. Principios y Prácticas de Pruebas y Evaluación de Máquinas y Equipos Agrícolas. Boletín de Servicios Agrícolas, FAO México. Pp. 216-225.
- Durán A. J. M. y Recalde P. E. R. 2009. Cultivos energéticos alternativos, Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra y Universidad Politécnica de Madrid. 178 p
- Espinosa P., H.; R. Rodríguez H. y E Bravo M. 2013. Guía para cultivar higuierilla en condiciones de temporal, en los Valles Centrales de Oaxaca. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. CIRPAS-INIFAP. Folleto para Productores N°. 13. Sto. Domingo Barrio Bajo, Etlá, Oax. 44 p.

- Fanan, S.; Fratin, M. P.; Paes de Camargo, M. B. and Galbieri, R. 2009. Description of agronomic characteristics and harvest time evaluation in the yield of castor bean cultivar IAC 2028. *Bragantia*, Campinas. 68:2.
- Farrar Merlin K., Farrar Walter L. Apparatus for Harvesting Castor Beans 1960. United States Patents.
- Foidl N, G., M. Sánchez., M. Mittelbach and S. Hackel. 1996. *Jatropha curcas* L. as a source for the production of biofuel in Nicaragua. *Bioresource Technology USA*. 58: 77-82.
- García Silva, Samuel; Márquez Rosano, Conrado; Cruz Meza, Pedro; López Canteñas, Gilberto. 2012. "Determinación de las propiedades físico-mecánicas para el descascarado de las cápsulas de la higuierilla (*Ricinus communis* L.)". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, num. Noviembre-Diciembre, pp. 644-649.
- González Ávila, A., García Mariscal, K, P., Hernández García, M, A., Rico Ponce, H.R., Hernandez Martinez, M., Solís Bonilla, J.L. y Zamarripa Colmenero, A. 2011. Guía para cultivar higuierilla (*Ricinus communis* L.) en Jalisco. Folleto Técnico Núm. 1. INIFAP-CIRPAC, Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepaltitlán de Morelos, Jalisco, México. 41 p.
- Hussain, A. A. M.; Sabur, M. A. and Rahman, M. M. 1980. Design and construction of a manually operated castorbean-cum-sunflower seed dehuller. *Agricultural Mechanization in Asia*. 11(2):83-84.
- Iglesias C., C. et al. 1999. Evaluación y prueba de tractores y máquinas agrícolas. Departamento de ingeniería mecánica agrícola – Universidad agraria de la Habana. México, 485 p.
- Johnson, I.M. 1985. Testing of farm machinery for agricultural development. Silsoe, UK Overseas. Division National Institute of Agricultural Engineering. 6 p. (unpublished).
- Kalbande, S.R. and Vikhe, S.D. *Jatropha* and *Karanj* bio-fuel: an alternate fuel for diesel engine. *ARNP J Eng Appl Sci* 3(1):7–13.

- Labrousse, S. 1998. NTB Network – Phase III. The Liquid Biofuels Newsletter 12: 5-6.
- Márquez, L. 2001. Maquinaria para la preparación del suelo, la implementación de los cultivos, y la fertilización. Cuadernos de Agronomía y Tecnología. B&H editores. Madrid, España. 496 p.
- Mejía, Sandra I. 2000. Generalidades. La higuera. www.unalmed.edu.co/.../HIGUERILLA.htm.
- Navas A., A. 2009. Tercer informe técnico de avances proyecto “evaluación de cultivares foráneos y generación de variedades colombianas de higuera para la producción de biodiesel y otros usos en la industria”. CORPOICA, Septiembre. 14 p.
- NC. Normas Cubanas. Maquinaria e Implementos Agrícolas, Cosechadoras de Granos, Metodología para la realización de las Pruebas. 1987. Apartado NC 34-55. República de Cuba.
- NMX-O-221-SCFI-2004. Tractores e Implementos y Maquinaria Agrícola-Trilladoras de Frijol Estacionarias-Especificaciones y Método de Prueba. 2004. Apartado NMX 8-35. Rep. México.
- Ochoa B., J.G. et al. 2003. Manual de procedimientos de prueba para desgranadoras de maíz. Centro Nacional de Estandarización de Maquinaria Agrícola. Chapingo, Mex. 100 p.
- Olaoye, J.O. 2000. Some Physical Properties of Castor Nut Relevant to the Design of Processing Equipment. J. agric. Engng Res. 77(1): 113-118.
- Ramos Nuñez, Guillermo 1952. La Higuera. Separata notas agronómicas Vol. 5 No 2, 40-70.
- Ribeiro F, J. 1966. Cultura de mamoneira. Viçosa: UFV, 75 p.
- Rico P, H. R., Tapia V. L. M., Teniente O. R., González Á. A., Hernández M. M., Solís B. J.L., y Zamarripa C. A. 2011. Guía para cultivar higuera (*Ricinus communis* L.) en Michoacán. Folleto Técnico Núm. 1. INIFAPCIRPAC Campo Experimental Valle de Apatzingán.

- Rocha, R. de C. 1986. Comportamento de plântulas de mamoneira em função do tamanho da semente, profundidade de plantio, classe textural do solo e pré-embrição. Fortaleza: UFC Tese Mestrado, Brasil. 55 p.
- Weiss. E.A. 1983. Oilseed Crops. Longman, London, 660 p.
- Rzedowski, G. C. de y J. Rzedowski, 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. 2a ed. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México.
- Schoenleber, L. G. and Bouse, L. F. 1964. Mechanized Harvesting of Castor Beans. Transactions of the ASAE. 97-99 pp.
- Severino, S. L., Auld, D. L, Baldanzi, M., Candido, M. J. D., Chen, G., Crosby, W., Tan, D., He, x., Lakshmamma, P., Lavanya, C., Machado, O. L. T., Mielke, T., Milani, M., Mileer, T. D., Morris, J. B., Morse, S. A., Navas, A. A., Soares, D. J., Sofiatti, V. Wang, M. L., Zanotto, M. D., Zieler, H. a 2012b. Review on the challenges for increased production of castor. En: Agronomy Journal. 104 (4): 853-880.
- Solís-Bonilla, J.L., Zamarripa-Colmenero, A., González-Ávila A., Rico-Ponce H.R., Tapia-Vargas L. M., Teniente-Oviedo R, Zacarías -Gutiérrez M., Cruz Ramírez J.R. y Hernández-Martínez M. 2011. Guía técnica para la producción de higuierilla (*Ricinus communis* L.) en Chiapas. Folleto Técnico No. 25. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas. México. 59 p.
- Stachetti, G.; Aparecida, I.; de Almeida, C.C.; Ligo, M.A. and Moreno, A. 2009. Local Productive Arrangements for Biodiesel Production in Brazil—Environmental Assessment of Small-holder’s Integrated Oleaginous Crops Management. Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics 110(1): 61-73.
- Távora, F.J.A. 1982. A cultura da mamona. Fortaleza: EPACE, Brasil. 111 p.
- Trujillo B. Carlos y AYALA 1962. El cultivo de la higuierilla y su aprovechamiento agroindustrial en Colombia. Ins. Invest. Tecnol, 1-53

- Vibrans H. Modificado de Mondragón P. J. (2004) 2009. Malezas de México, Ficha-
Ricinus communis L.
<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/euphorbiaceae/ricinus-communis>. (Fecha de consulta: mayo de 2011).
- Zamarripa-Colmenero A, 2011. Informe final de proyecto “Estudio de Insumos para la Obtención de Biocombustibles en México” Convenio de colaboración SAGARPA-INIFAP. CERI, Tuxtla Chico, Chiapas, México. 129 p.
- Zárate de L. Infante G., S. y G. P. 2000. Métodos estadísticos. Ed Trillas. México. 643 p.
- Zuleta N.E. El cultivo de la Higuierilla 1965. Agric. Trop. Vol. XXI No. 4, 213-222.

VII. ANEXOS

ANEXO A.1. Fuerza necesaria para el desprendimiento de capsulas de higuera.

Para conocer la fuerza necesaria para desprender los frutos de higuera se utilizaron balines de 3.55 g y 4.48 g, pesos conocidos y constantes (Véase figura 9).



Figura 9. Balines utilizados en la prueba de desprendimiento.

A continuación se fabricó un recipiente con bolsas de plástico e hilo el cual se sujetó directamente al fruto. Una vez colocado se agregaron los balines uno por uno hasta que el fruto se desprendió (Fig. 12). La muestra 1 representa la parte más baja del racimo y la muestra 5 la más alta.

El experimento se realizó en 5 plantas con 5 repeticiones por cada uno para un total de 25 muestras. Una vez terminado el experimento se procedió a llevar las muestras al laboratorio esto para determinar su contenido de humedad, sometiendo cada una de las muestras a un horno de secado a una temperatura de 80 °C a 100 °C, durante 12 horas según estudios anteriores.

La ecuación empleada para determinar el contenido de humedad de la capsula de la higuera fue la siguiente:

$$Hs = \frac{W1 - W2}{W1} * 100$$

Dónde:

- **Hs** = Contenido de humedad, %
- **W1** = Masa de la muestra húmeda, g
- **W2** = Masa de la muestra seca, g



Figura 10. Horno de secado utilizado en la prueba.

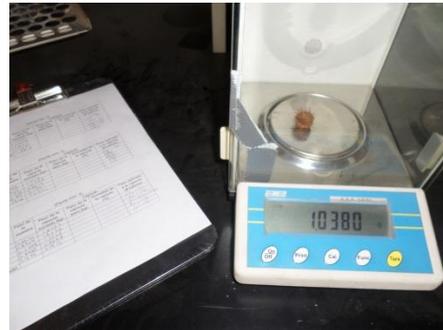


Figura 11. Bascula.

Los resultados de este experimento se muestran en la Cuadro 9.

Cuadro 9. Fuerza necesaria para el desprendimiento del fruto de higuera y contenido de humedad de las capsulas

Planta	No. de Muestra	Fuerza aplicada hasta el desprendimiento(N)	Humedad de la Capsula (%)
1	1	1.17	6.07
	2	0.78	4.22
	3	0.53	4.86
	4	1.38	5.54
	5	0.84	4.43
2	1	1.27	7.75
	2	1.01	5.01
	3	0.92	5.31
	4	0.84	7.93
	5	0.97	8.92
3	1	1.10	7.59
	2	1.38	5.65
	3	0.92	5.53
	4	1.13	5.45
	5	1.31	4.75
4	1	1.55	7.65
	2	1.10	5.96
	3	0.97	4.09
	4	0.88	4.03
	5	0.97	7.66

5	1	1.27	5.51
	2	1.66	4.74
	3	1.66	7.95
	4	1.38	5.08
	5	1.20	8.44
Máx.		1.66	8.92
Promedio		1.13	6.00
Mín.		0.53	4.03



Figura 12. Determinación de la fuerza necesaria para desprender los frutos de higuerrilla

Como se observa en el Cuadro 9, la fuerza necesaria para el desprendimiento de las capsulas de higuerrilla varió de 0.53 N a 1.66 N.

Se observó que, en general, las capsulas inferiores de cada racimo opusieron más resistencia al desprendimiento mientras que las superiores opusieron menos resistencia. El contenido de humedad varió de 4.03 a 8.92%.

ANEXO A.2. Estudio de las condiciones del cultivo.

Características del cultivo.

Nombre del cultivo: Higuerrilla (*Ricinus Comunis*)
 "Variedad" del cultivo: "Guanajuato 1"
 Humedad relativa promedio de la muestra (capsulas): 2.99 %

Cuadro 10. Resultados de prueba en 1 planta.

N° de Muestra	Peso de la Muestra (g)	Peso de la capsula, Húmedo (g)	Peso de la capsula, Seco (g)	Humedad de la Capsula (%)	Peso aplicado a la Capsula (g)
1	1.92	0.96	0.90	6.07	119.12
2	2.75	1.67	1.60	4.22	79.73
3	2.94	1.87	1.78	4.86	53.77
4	2.28	1.19	1.13	5.54	140.39
5	2.48	1.42	1.36	4.43	85.14

En el Cuadro 10, se muestran los resultados obtenidos en una planta tomada al azar en la parcela de prueba, esta repetición se realiza en 5 plantas obteniendo a la vez 25 muestras así obteniendo valores para calcular el porcentaje de humedad promedio de las capsulas.

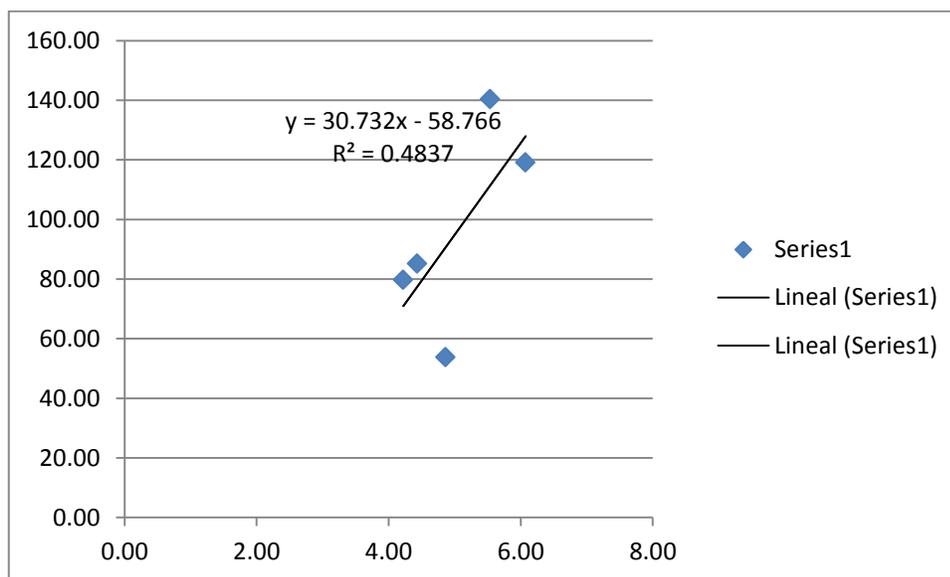


Figura 13. Correlación entre humedad y peso.

La grafica muestra la correlación entre el porcentaje de humedad y el peso aplicado a la planta hasta su desprendimiento, notando que las capsulas de la parte superior del racimo tienden a ocupar más peso para desprenderse.