

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISION DE CARRERAS AGRONOMICAS**

**DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA**



**Evaluación de tres fuentes (ácido fúlvico, cloruro de magnesio y cloruro de potasio) y su efecto en celulosa, hemicelulosa y lignina en higuera (*Ricinus communis*)**

Por

**Anahí Albores Díaz**

**Tesis**

Presentada como requisito parcial para obtener el título de

**ING. AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Noviembre 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**Evaluación de tres fuentes (ácido fúlvico, cloruro de magnesio y cloruro de potasio) y su efecto en celulosa, hemicelulosa y lignina en higuierilla  
(*Ricinus communis*)**

Por:

**ANAHI ALBORES DIAZ**

**TESIS**

Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

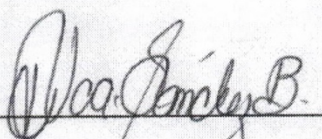
**ING. AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Aprobada por:



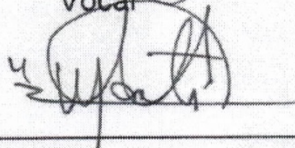
Dr. Rubén López Salazar.

Presidente



M.C. Francisca Sánchez Bernal

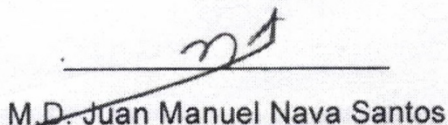
Vocal



M.E. Víctor Martínez Cueto


ANTONIO NARRO

Vocal suplente



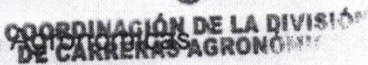
M.D. Juan Manuel Nava Santos

Vocal



Dr. J. Isabel Marquez Mendoza.

Coordinador de la División de Carreras Agrícolas



Torreón, Coahuila, México.

Noviembre 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**Evaluación de tres fuentes (ácido fúlvico, cloruro de magnesio y cloruro de potasio) y su efecto en celulosa, hemicelulosa y lignina en higuera (*Ricinus communis*)**

Por:


**ANAHI ALBORES DIAZ**

**TESIS**

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

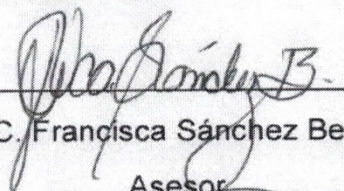
**ING. AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
\_\_\_\_\_

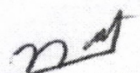
Dr. Rubén López Salazar.

Asesor principal

  
\_\_\_\_\_

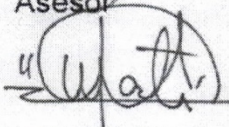
M.C. Francisca Sánchez Bernal

Asesor

  
\_\_\_\_\_

M.D. Juan Manuel Nava Santos


Asesor

  
\_\_\_\_\_

M.E. Víctor Martínez Cueto

Universidad Autónoma Agraria

Asesor suplente

  
\_\_\_\_\_

Dr. J. Isabel Márquez Mendoza.

Coordinador de la División de Carreras Agronómicas

  
COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Torreón, Coahuila, México.

Noviembre 2022

## **DEDICATORIA**

A mis padres **PEDRO ARMANDO ALBORES PADILLA y MARIA ISELA DIAZ CALVO** por haberme forjado para llegar hacer la persona que soy hoy en día; muchas de las cosas que he logrado se las debo a ellos, en donde incluyo este gran logro. Me formaron con reglas, pero al mismo tiempo con ciertas libertades y siempre me han motivado para alcanzar mis sueños.

A mis abuelitos **TEOFILO ALBORES y CARMEN PADILLA** por llegar a ser unos padres para mí dándome los mejores valores y enseñanzas, por el apoyo incondicional, amor y cariño.

**ILSA CALVO Y ELIGIO DIAZ** que aunque ya no estén con nosotros les digo gracias por los consejos y enseñanzas que me dejaron, cuales llevare siempre en mi corazón.

A mis hermanos **ALEXIS ALBORES y AVEDUT ALBORES** por su apoyo siempre incondicional pues las ayudas que me han brindado han llegado formado parte de gran importancia para mi formación personal y profesional.

A mis sobrinas **VALENTINA, AMBAR y SAMARA** por llegar a ser como unas hijas para mí y ellas por verme como tal, ustedes han llegado a ser el mejor motor para lograr mis metas.

Nunca existirá una forma de agradecer una vida de sacrificio, lucha y esfuerzo constante, no los defraudare los haré sentir orgullosos.

Solo deseo que entiendan que mis esfuerzos son inspirados en ustedes. Dios los bendiga y guarde siempre.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecer Principalmente a **DIOS**, por darme la bendición de estar en este lugar, por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por haberme permitido terminar una etapa más de mi vida como estudiante, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad, Por haberme regalado una familia ejemplar y buenas y a agradables amistades.

**A mi familia** a por apoyarme en todo momento y llegar a triunfar, por los valores y el amor recibido, la dedicación y la paciencia con la que cada día se preocupaban por mí, dándome siempre palabras de aliento y superación y llegar a obtener este gran logro.

**Al Dr. Rubén López Salazar** por haberme guiado en este proyecto, en base a su experiencia, por toda su paciencia, dedicación y esmero que puso para la realización de esta investigación

**A MI ALMA TERRA MATER**, la cual me brindo el espacio y oportunidad de llegar a ser una profesionalista, por muchos recuerdos que se quedan hoy digo gracias.

**A Adan Martínez Miranda** por ese apoyo incansable e incondicional durante la carrera y logrando muchas cosas juntos, siendo una persona importante para mí vida.

**A mis amigos GORETTI, AZAEL, CRISTIAN, BRYAN, JOSSELIN, BERZAIN, EDGARDO y RAKEL** por siempre estar en los momentos de, dificultad y dándome siempre el apoyo y animo durante este proceso, por la confianza y las alegrías, sobre todo por enseñarme el valor de una amistad.

**A mis profesores** de la carrera, por enseñarme todo lo que sé y más que eso, guiarme para ser una mejor persona y profesional. Gracias.

## INDICE DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA</b> .....	I
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	II
<b>INDICE DE CONTENIDO</b> .....	III
<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	V
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	V
<b>Resumen</b> .....	VI
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1. OBJETIVOS</b> .....	3
<b>1.2. HIPÓTESIS</b> .....	3
<b>II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	4
<b>2.1 Origen de la higuera (Ricinus communis)</b> .....	4
<b>2.2. Taxonomía</b> .....	5
<b>2.3. Hábito de crecimiento</b> .....	5
<b>2.4. Morfología de la planta</b> .....	6
<b>2.4.1. Raíz</b> .....	6
<b>2.4.2. Tallo</b> .....	6
<b>2.4.3. Hojas</b> .....	7
<b>2.4.4. Flores</b> .....	7
<b>2.4.5. Polinización</b> .....	8
<b>2.4.6. Fruto</b> .....	8
<b>2.4.7. Semilla</b> .....	9
<b>2.5. Requerimientos climáticos</b> .....	10
<b>2.5.1 Altitud</b> .....	10
<b>2.5.2. Fotoperiodo y radiación</b> .....	10
<b>2.5.3. Temperatura</b> .....	10
<b>2.5.4. Requerimiento hídrico</b> .....	11
<b>2.5.5. Humedad relativa</b> .....	11
<b>2.6. Requerimientos edáficos</b> .....	11
<b>2.6.1. Suelo</b> .....	11
<b>2.6.2. Textura</b> .....	12

2.6.3. Drenaje .....	12
2.6.4. pH .....	12
2.6.5. Salinidad/sodicidad .....	12
2.6.6. Fertilidad y química del suelo .....	12
2.7. Características de respuesta al cambio climático .....	13
2.7.1. Respuesta a ambientes enriquecidos de CO <sub>2</sub> .....	13
2.7.2. Resistencia a sequía.....	13
2.7.3. Potencial productivo .....	14
2.8. Importancia económica.....	14
2.8.1. Importancia agronómica de la higuera en el mundo .....	16
2.8.2. Importancia agronómica de la higuera en México .....	17
2.8.3. Higuera en la Comarca Lagunera .....	19
2.8.4. Utilidad de la higuera .....	20
2.9. Importancia de los ácidos orgánicos .....	21
2.9.1. Ácidos fúlvicos .....	22
2.10. Importancia de potasio (k) y magnesio (mg).....	23
2.10.1. Cloruro de Potasio (KCl) .....	23
2.10.2. Uso agrícola.....	24
2.10.3. Cloruro de Magnesio (MgCl <sub>2</sub> ) .....	25
2.11. MATERIALES Y MÉTODOS .....	27
2.11.1. Ubicación del área de estudio .....	27
2.11.2. Condiciones climáticas .....	27
2.11.3. Sustratos .....	28
2.11.4. Condición de agua .....	28
2.11.5. Material genético .....	29
2.11.6. Establecimiento del experimento .....	29
2.11.7. Siembra y picado.....	30
2.11.8. Riego .....	31
2.11.8. Nutrición .....	31
2.11.9. Recolección de biomasa .....	32
2.11.10. Variables a evaluar .....	33
2.12. Fase de laboratorio .....	34
2.12.1. Secado y molienda .....	34

2.12.2. Determinación de Fibras .....	34
2.13. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	36
2.14. CONCLUSIONES .....	41
2.15. BIBLIOGRAFÍA .....	42

## INDICE DE CUADROS

CUADRO 1. Requerimientos agroecológicos para higuera .....	14
CUADRO 2. Principales productores de higuera a nivel mundial. ....	16
CUADRO 3. Propiedades químicas de Cloruro de Potasio. ....	24
CUADRO 4. Propiedades químicas de Cloruro de Magnesio .....	25
CUADRO 5. Análisis químico del agua para riego utilizada en el experimento. ....	29
CUADRO 6. Distribución de tratamientos.....	30
CUADRO 7. Solución Nutritiva adaptada para el experimento.....	31
CUADRO 8. Aplicaciones y poda de flores.....	32
CUADRO 9. Aumento de FDN en raíz y tallo, con la adición de KCl, MgCl <sub>2</sub> , ácido fúlvico a diferentes concentraciones en <i>Ricinus communis</i> . ....	36
CUADRO 10. Aumento de FDA en raíz y tallo, con la adición de KCl, MgCl <sub>2</sub> , ácido fúlvico a diferentes concentraciones en <i>Ricinus communis</i> .....	37
CUADRO 11. Aumento de hemicelulosa en raíz y tallo, con la adición de KCl, MgCl <sub>2</sub> , ácido fúlvico a diferentes concentraciones en <i>Ricinus communis</i> . ....	38
CUADRO 12. Aumento de celulosa en raíz y tallo, con la adición de KCl, MgCl <sub>2</sub> , ácido fúlvico a diferentes concentraciones en <i>Ricinus communis</i> .....	39
CUADRO 13. Aumento de lignina en raíz y tallo, con la adición de KCl, MgCl <sub>2</sub> , ácido fúlvico a diferentes concentraciones en <i>Ricinus communis</i> .....	39

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Ubicación del experimento. ....	27
---	----



## **Resumen**

*Ricinus communis L.*, también conocida como higuera o higuera infernal es una planta perenne en su medio nativo del trópico, pero es sembrada como planta anual, en las áreas templadas del mundo, potencialmente se desarrolla como un árbol en los trópicos y subtrópicos, pudiendo alcanzar alturas de 5 metros o más. El presente trabajo de investigación se realizó en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna dentro de un invernadero del departamento de Horticultura, durante el ciclo otoño invierno de 2021. La semilla utilizada para este experimento fue de la variedad Guanajuato, con un lote experimental de 5 macetas por tratamiento y 10 repeticiones (50 macetas en total), en un área de 4 por 3 metros (superficie de 126 m<sup>2</sup>). Se realizó 10 tratamientos que fueron distribuidos con un diseño completamente al azar con cinco repeticiones.

La aplicación de ácidos fúlvicos, cloruro de magnesio y cloruro de potasio influyeron de manera significativa el rendimiento de las fibras en las plantas tratadas de higuera (*Ricinus communis L.*), con el fin de disminuir los efectos del cambio climático y contribuir a la conservación del ambiente. Con el fin de generar la tecnología para producir la materia prima suficiente para la producción de biocombustible. La biomasa a evaluar fueron celulosa, hemicelulosa y lignina, cada una de ellas componen en peso seco del 20 - 50% (celulosa), 15 - 35% (hemicelulosa) y 10 - 30% (lignina) dependiendo cada valor de la especie vegetal.

**Palabras claves:** *Ricinus communis L.*, Ácidos fúlvicos, Cloruro de magnesio, Cloruro de potasio, Hemicelulosa, Lignina

## I. INTRODUCCIÓN

Es importante que en México se impulse el uso de energías renovables más eficientes y limpias como los biocombustibles para disminuir los efectos del cambio climático y contribuir a la conservación del ambiente. Una alternativa es producir energía a partir de la biomasa de higuera (*Ricinus communis L.*), en el país, no se dispone de suficiente materia prima para la producción de biocombustibles, en otros países se utilizan especies oleaginosas como soya, canola, cártamo y palma de aceite para la alimentación humana pero también para la producción de biocombustibles (INTA S.A., 2008), México importa más del 95 % (López, 2008) de grano para atender la demanda nacional, por lo que resulta muy difícil considerar el uso de cultivos actualmente establecidos para la producción de este tipo de energía renovable.

Por lo anterior, se considera pertinente y necesaria la búsqueda de nuevos cultivos generadores para la producción de biocombustibles que no compitan con los cultivos destinados a la alimentación humana. La higuera pertenece a la familia Euphorbiaceae. Han sido descritas muchas especies, pero se estima que son varios tipos de esta la misma especie, *Ricinus communis L.*, es una planta perenne en su medio nativo del trópico, pero es sembrada como planta anual, en las áreas templadas del mundo, potencialmente se desarrolla como un árbol en los trópicos y subtropicos, pudiendo alcanzar alturas de 5 metros o más. No obstante, los híbridos y variedades comerciales actuales varían en altura desde 1.0 m. hasta 3.0 m. de acuerdo con el medio y variedad (Cueto Wong, Prieto Ruíz, & Macías García, 2009). La higuera, por ser especie de amplia dispersión en el país, muy rústica y adaptada a las condiciones edafoclimáticas de diversas regiones, representa una oportunidad técnica, socioeconómica y ambientalmente favorable para su aprovechamiento en la producción de aceite para obtener biodiesel (Cueto Wong *et al.*, 2009), pero no se está aprovechando al máximo su potencial pues sólo se utiliza la semilla, el resto de la planta es desechado por la industria aceitera, pero puede ser aprovechada,

esta es la razón por la cual se inicia esta investigación, ¿por qué no aprovechar toda la biomasa generada por la planta?, es primordial conocer la viabilidad que nos ofrece la higuera con sus tallos, hojas y raíces para la generación de energía.

Sin embargo, primero se requiere de generar la tecnología para producir la materia prima suficiente para la producción del biocombustible, sería bueno empezar a experimentar de qué manera podemos aumentar estas fibras (celulosa, hemicelulosa y lignina) que se encuentran en raíces, tallos y hojas, así se tendrían fibras de mayor porcentaje y rendirían más al ser utilizadas para la producción de energías limpias.

Los ácidos orgánicos se pueden aplicar para aumentar la producción de fibras, puesto que se daría uso a suelos en desuso para la agricultura tradicional pues están sobreexplotados o se ubican en zonas de México que no son muy buenos por su localización geográfica y aun la higuera se adapta a condiciones extremas, estos ácidos orgánicos desempeñan un papel vital en la fertilidad del suelo y la nutrición, de las plantas. Las plantas que crecen en suelos que contienen materia orgánica adecuada, los agregados húmicos (HA) y los agregados fúlvicos (FA) están menos sujetas al estrés, son más saludables y producen mayores rendimientos, otras fuente que puede ser utilizada son el magnesio (Mg) y potasio (K), estos indican un papel distinto en la exportación de fotosintatos de hojas a raíces y sugieren que la alteración en la partición de fotosintato desempeña un papel importante en las diferencias en la distribución de materia seca entre los brotes y las raíces de las plantas que sufren deficiencia de nutrientes minerales (Cakmak Ismail, *et al.*, 1994), estos nutrientes ejercen efectos indirectos sobre la sanidad del cultivo a través de una mejora de los procesos de crecimiento, en el caso de los cloruros, actúan de manera directa a través de un efecto fungicida y fungistático (Fixen, 1993), también a base de una solución nutritiva adecuada con el tipo de suelo y agua que se tenga se puede aumentar el rendimiento de la materia seca en esta especie.

Al aplicar ácidos fúlvicos, cloruro de magnesio y cloruro de potasio se puede influir de manera significativa en el rendimiento de las fibras (celulosa, hemicelulosa y lignina) en las plantas tratadas de higuera al menos en uno de los tratamientos, al

experimentar con estos elementos se podría obtener un buen resultado, este aporte sería bueno si resultara positivo, pues no sólo podría aplicarse al cultivo de estudio, sino que podría aplicarse en la producción de alimentos para dieta humana y animal.

### **1.1. OBJETIVOS**

- Evaluar rendimiento en producción de fibras en higuera (tallo y raíz), con la aplicación de cloruro de magnesio, cloruro de potasio y ácido fúlvico.
- Aprovechar la fuente fibrosa no convencional de la higuera, clasificada como maleza vegetal, para producción de bioetanol.
- Determinar cuál de los tratamientos utilizados (ácido fúlvico, cloruro de magnesio y cloruro de potasio) adicionalmente en la fertilización es el mejor para aumentar rendimiento en la producción de fibras.

### **1.2. HIPÓTESIS**

La aplicación de ácidos fúlvicos, cloruro de magnesio y cloruro de potasio influirán de manera significativa el rendimiento de las fibras (celulosa, hemicelulosa y lignina) en las plantas tratadas de higuera al menos en uno de los tratamientos.

## II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Origen de la higuera (Ricinus communis)

El origen geográfico de una especie se encuentra donde existe la mayor variabilidad genética de ésta (Rico Ponce *et al.*, 2004). El género *Ricinus* es considerado monotípico, y la especie *R. communis* es la única que incluye diversos tipos polimórficos (Cabral Roberto A., Marrugo N., 2014).

El origen de esta especie es atribuido a la antigua Abisinia, hoy en día conocida como Etiopía en África y con sitios secundarios de diversidad en Asia (Irán y Afganistán) (Portillo *et al.*, 2017), en India y China fue conocida hace unos 3000 años y probablemente se introdujo a América después del descubrimiento.

Sin embargo, a pesar que la higuera es considerada como un cultivo de importancia y conocido por su versatilidad de usos; en diversas regiones del mundo, su cultivo no es realizado a gran escala, cuya principal razón ha sido la presencia de sustancias tóxicas en diversos órganos de la planta, dentro de las que sobresale la ricina en la testa de la semilla, la ricinina en las hojas y un fracción proteica alergénica en el polen (Córdoba Gaona, 2013).

La higuera ha sido introducida en casi todas las regiones del mundo principalmente en zonas cálidas para obtener aceite de ricino o como especie ornamental. Se encuentra distribuida desde el nivel del mar hasta los 3,000 m de altitud (Espinoza Paz *et al.*, 2013).

Sin embargo, a pesar que es considerada como un cultivo de importancia y conocida por la versatilidad de usos; en diversas regiones del mundo su cultivo no es realizado a gran escala por la presencia de sustancias tóxicas en diversos órganos de la planta. Aunque por ejemplo, los egipcios empleaban su aceite en la iluminación o alumbrado ya era una planta altamente estimada pues en algunas tumbas han encontrado semillas (Rico Ponce *et al.*, 2011), (Córdoba Gaona, 2013).

## 2.2. Taxonomía

De acuerdo con Portillo (*et al.*, 2017), la clasificación taxonómica es la siguiente:

Reino: Plantae

Subreino: Traqueobionta

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Rosidae

Orden: Malpighiales

Familia: Euphorbiaceae

Subfamilia: Acalyphoideae

Género: Ricinus

Especie: communis

## 2.3. Hábito de crecimiento

La planta de higuierilla varía en el color del follaje y del tallo, tamaño y color de la semilla, y contenido de aceite y así como sus hábitos de crecimiento, algunas perenne como árboles (>7 m), hasta plantas enanas, anuales y de ciclo corto (Weiss, 1983). En relación con el porte, se clasifican en enanas (<1.8 m), medias (1.8 a 2.5 m) y altas (>2.5 m), las cuales pueden llegar hasta los 10 m de altura y lograr ciclos de hasta 10 años, cuando las condiciones ambientales lo permitan (Cabrales Roberto A. *et al.*, 2014).

Para siembras comerciales y a gran escala el proceso de selección se ha enfocado en la identificación de plantas de ciclo corto, erectas, de porte bajo y que se comporten como anuales (Weiss, 1983).

## **2.4. Morfología de la planta**

### **2.4.1. Raíz**

El sistema radicular de la higuera es fundamental para su manejo y aprovechamiento económico, parte de las características de esta especie son determinadas por la estructura de la planta fija en el suelo; el desarrollo de las raíces depende de la preparación y tipos del suelo destinado para su cultivo (Samayoa, 2007).

La raíz es pivotante y profunda, constituyendo el anclaje principal de la planta, presenta raíces secundarias y terciarias (Robles, 1980). El crecimiento de la raíz central puede llegar a medir más de un metro de profundidad, (Portillo *et al.*, 2017); el sistema radicular es denso y voluminoso, y debido a la profundidad que alcanza, posee una gran resistencia a la sequía y un buen anclaje al suelo (Samayoa, 2007).

El crecimiento radicular presenta mayores limitaciones en suelos arcillosos, mientras que el sistema radicular mejora las propiedades físicas del suelo y favorecen la aireación e infiltración de agua (Jachmanian I., Pérez G. E., Villamil J., 2009).

### **2.4.2. Tallo**

El tallo de la higuera es cilíndrico, hueco, con nudos y entrenudos, durante las primeras etapas de desarrollo son largos y a medida que la planta madura la longitud de los entrenudos se reduce (Armendáriz Velázquez, 2012), en el área de los nudos existe acumulación de puntos de crecimiento de hojas y ramas (Samayoa, 2007).

El tallo puede estar cubierto de cera o no, estas características son importantes para la identificación de cada variedad (Portillo *et al.*, 2017).

El color del tallo depende de la variedad puede ser verde, rosado o caoba, el tallo principal termina en el primer racimo (inflorescencia), siendo este el más grande de la planta, a partir del cuarto nudo empieza el desarrollo de las ramas secundarias

que producen a su vez ramas adicionales, mostrando en ambas producción de racimos (González Ávila *et al.*, 2011).

### **2.4.3. Hojas**

Las hojas son grandes, digitolobadas, constituidas por 5 a 11 lóbulos de 10 a 40 cm de ancho y una longitud de hasta 60 cm, los bordes son aserrados y pecíolos largos de 20 a 50 cm, las principales variaciones en las hojas son: color, serosidad, número de nervaduras principales, longitud de pecíolo y en la profundidad de los lóbulos (Jachmanian I., Pérez G. E., Villamil J., 2009). Los pecíolos poseen dos glándulas nectaríferas en la unión con la lámina esta tiene un color que va de verde a rojo en cada variedad (González Ávila *et al.*, 2011).

### **2.4.4. Flores**

Las flores de la higuera se encuentran agrupadas en inflorescencias tipo panícula terminal, las masculinas se encuentran localizadas en la base del raquis y las femeninas se encuentran en la parte superior (Leal Alvarado, 2009), también pueden encontrarse racimos formados con flores de un solo sexo pueden ser femeninas o masculinas (Portillo *et al.*, 2017).

Las flores masculinas están en cimbras de 3 a 16 flores, pedicelo de 0.5 a 1.5 cm de largo, de 3 a 5 sépalos verdes de 5.0 a 7.0 cm de largo, pétalos ausentes, estambres numerosos de 0.5 a 10 mm de largo con muchos filamentos ramificados, cada filamento termina en una antera pequeña esférica y de color amarillo claro (González Ávila *et al.*, 2011) y presentan gran número de estambres (Jachmanian I., Pérez G. E., Villamil J., 2009).

Las flores femeninas en cimbras de 1 a 7 flores, pedicelo de 4.0 a 5.0 mm de largo, de 3 a 5 sépalos de color verde de 3.0 a 5.0 mm de largo los cuales se caen rápidamente; ovario superior con tres celdas y un óvulo por cada celda, la pared del ovario cubierta con espinas verdes y suaves que termina en un punto transparente el cual se cae cuando el fruto se desarrolla, estilo muy corto que se divide en tres estigmas bien definidos de color rojo, (González Ávila *et al.*, 2011), aunque existen variedades que pueden tener color diferente como la Criolla pequeña que cuenta



con estigmas de color amarillo (Portillo *et al.*, 2017), que bajo condiciones climáticas favorables puede florecer continuamente por varios años (Tavóra 1982).

El nudo del cual se origina la primera inflorescencia es característica de cada cultivar, cuanto menor el número de nudos para la emisión de la primera flor más precoz es el cultivar (Tavóra 1982).

#### **2.4.5. Polinización**

La higuera es una planta halógama y anemófila, o sea, que tiene un alto índice de entrecruzamiento por lo que la polinización se lleva a cabo principalmente por el viento. El polen es producido por la flor masculina en abundancia en las horas de la mañana, (Espinoza Paz *et al.*, 2013) y es liberado en las horas de mayor temperatura, el rango óptimo de 26 a 29 °C, temperaturas por debajo de 15 °C comprometen la liberación (Jachmanian I., Pérez G. E., Villamil J., 2009), los granos de polen son de superficie lisa (Rico Ponce *et al.*, 2011). Salen de la antera y es llevado al estigma; después de la fecundación las flores femeninas desarrollan cápsulas espinosas, este tiene una viabilidad aproximada de una semana (Espinoza Paz *et al.*, 2013), después que se desprenden los granos de polen, la flor masculina se seca y generalmente cae.

#### **2.4.6. Fruto**

El fruto generalmente posee tres semillas, siendo esta una de las principales características de la familia Euforbiáceas, a la cual pertenece la higuera, posee una capa externa en la cual se forman los acúleos (Portillo *et al.*, 2017).

La cápsula globosa del fruto es de una longitud de 1.5 a 2.5 cm de diámetro con pedicelo alongado, los frutos inmaduros son generalmente verdes y algunas veces rojos, se vuelven cafés en la maduración, se agrupan en racimos de longitud variable, de 10 a 90 cm (Jachmanian I., Pérez G. E., Villamil J., 2009), los estigmas permanecen en el fruto en forma leñosa (González Ávila *et al.*, 2011).

Los frutos pueden ser dehiscentes (presentan apertura espontánea de la capsula para la expulsión de la semilla una vez que esta haya madurado) semi-indehiscentes o totalmente indehiscentes en los cuales la capsula no abre de

manera espontánea (Samayoa, 2007), en la mayoría de los cultivares las cápsulas se abren al secarse (esto ocurre entre 150-160 días (Brigham, 1993), liberando las semillas que caen al suelo y ocasionando grandes pérdidas en la producción (Jachmanian *et al.*, 2009).

#### **2.4.7. Semilla**

La semilla de higuierilla es ovalada, rara vez esférica o alargada, de 0.8 a 3 cm de longitud, entre 0.6 y 1.5 cm de ancho y 0.4 a 1.0 cm de espesor (Moshkin, 1986), presenta color variable con manchas rojizas y parduzcas, tiene una cubierta exterior dura y quebradiza y otra interior muy fina de color blanquecino, ambas protegen la semilla, la cual consta de un embrión pequeño con sus dos cotiledones delgados y el albumen blando, compacto y aceitoso (Rzedowski y Rzedowski, 2001), el contenido de aceite es de entre 40 y 60 % en las variedades comerciales (García Arellano *et al.*, 2017).

La semilla está constituida por un 25 % a un 35 % de epicarpio (testa) y un 65% a un 75 % de endospermo; su composición química está dada por agua (5.5 %), aceite crudo (48.6 %), proteína cruda (17.9 %), fibra bruta (12.5 %), cenizas (2.5 %) y, carbohidratos (13 %) (Cabrales Roberto A. *et al.*, 2014). Contiene toxinas como ricina, la cual es una albúmina perteneciente a la familia de proteínas desactivadoras de ribosomas, detienen la síntesis de proteínas causando la muerte de las células por apoptosis; y la ricinina, alcaloide muy tóxico que atacan al hígado y al páncreas (Rzedowski y Rzedowski, 2001). El peso de la semilla está determinado por el potencial genético de la planta (Egli *et al.*, 1987), pero la variabilidad en el peso puede ser causada por muchos procesos fisiológicos que son sensibles a los cambios ambientales (Solís Bonilla *et al.*, 2016).

Cada planta es capaz de producir 0.201 kg de semilla en variedades locales de la región norte de México (F2012), el rendimiento de grano en densidad de 8,000 plantas/ha es de 1,608 kg/ha (Jiménez Ocampo *et al.*, 2013).

La semilla presenta dormancia variable entre los cultivares y racimos, perdiéndose prácticamente luego de los nueve meses de almacenamiento (Jachmanian I. *et al.*, 2009).

El aceite de higuera reúne características fisicoquímicas que la posicionan como una opción en la producción de biocombustibles (Solís Bonilla, Muñoz Orozco, Escalante Estrada, & Zamarripa Colmenero, 2016), además de su uso en la fabricación de surfactantes, revestimientos, grasas, fungistáticos, productos farmacéuticos, cosméticos y muchos otros (Lima *et al.*, 2013).

## **2.5. Requerimientos climáticos**

### **2.5.1 Altitud**

El cultivo de higuera se ha encontrado de 0 a 1800 msnm (Corral Ruíz *et al.*, 2013), sin embargo, para el estado de Hidalgo se han encontrado mejores resultados entre los 1700 a 2000 msnm (Gómez Mercado, Gómez Mercado 2, Martínez Cruz, & Zarazúa Delgadillo, 2014) y para Guanajuato de 0 – 1800 msnm (Díaz, 2018), esto relacionado a la alta adaptabilidad de la higuera.

### **2.5.2. Fotoperiodo y radiación**

Es una especie de día neutro y día largo (FAO, 2000), por ser la higuera una planta heliófila y de día largo aunque se adapta en regiones con fotoperiodos cortos, no inferiores a nueve horas. El mejor desarrollo y producción se logra en áreas con buena radiación solar, por lo menos 12 horas de sol al día contribuye con un elevado contenido de aceite (Falasca *et al.*, 2012).

### **2.5.3. Temperatura**

Es una planta anual que requiere muchas unidades calor, las variedades de 3 a 5 meses de ciclo de maduración requieren de una suma térmica de 3000° C sobre una base de 10° C para que madure el brote central, las bajas temperaturas dañan brotes e incluso mueren a temperaturas de -2 a -3 °C (Elías y Castellvi, 1996). Una temperatura de 15.6 °C sostenida por lo menos durante 10 días en los primeros 20 cm de suelo, es adecuada para llevar a cabo la siembra o plantación de higuera en el campo (Brigham, 1993), requiere de un periodo libre de heladas de al menos 140 - 180 días, a temperaturas sostenidas por arriba de 38 °C puede fallar la formación de semilla (Purseglove, 1987).

El contenido de aceite no es afectado por la temperatura como lo describe (Goytia Jiménez, Gallegos Goytia, & Núñez Colín 2011), los individuos de esta especie

presentan una gran adaptación a diferentes entornos y crean fenotipos especiales para cada lugar en donde se desarrollan.

#### **2.5.4. Requerimiento hídrico**

La higuera requiere de mucha humedad, aunque le es perjudicial un exceso de agua (Corral Ruíz et al., 2013), los límites mínimos y máximos de precipitación anual son 375 y 1000 mm respectivamente, con un óptimo de 600 mm (FAO, 1994), aunque puede prosperar bajo un régimen bajo a medio de precipitación (Brigham, 1993).

Sin embargo la higuera es mayormente cultivada en regiones tropicales y subtropicales semiáridas de baja precipitación (Vanaja, Jyothi, Ratnakumar, Vagheera, Raghuram, Jyothi, Yadav, Maheshwari & Venkateswarlu, 2008). El coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) para las etapas inicial, intermedia y final es 0.35, 1.15 y 0.55, respectivamente (Allen, Pereira, Raes & M., 2006).

Es una especie ligeramente tolerante a la salinidad (FAO, 1994) y la calidad de agua puede tener niveles medios de 8.4 dS/m de CE (Aguirre Hernández, 2009).

#### **2.5.5. Humedad relativa**

Prospera en atmósferas de humedad relativa baja (Corral Ruíz et al., 2013), una HR óptima de 60 % ayuda a la liberación y viabilidad de polen (Cabral Roberto A. et al., 2014), mientras que una humedad relativa superior generan la pérdida de su vigor y viabilidad, el cual puede germinar dentro de las anteras antes de su apertura (Weiss, 1983).

### **2.6. Requerimientos edáficos**

#### **2.6.1. Suelo**

Dado que constituye una opción para áreas en las que no prosperan la mayoría de los cultivos anuales, para la higuera llegan a ser suficientes 40 cm de suelo (Corral Ruíz et al., 2013), sin embargo, para alcanzar los más altos rendimientos se requieren suelos profundos mayores a 1 m (FAO, 1994).

Los tipos de suelos propicios para el desarrollo de esta especie son diversos, como los regosoles, cambisoles, feozems, vertisoles, litosoles y rendzinas (Hernández M. M., 2018), con excepción de aquellos con elevados niveles de aluminio y arcilla (Cabrales Roberto A. *et al.*, 2014).

### **2.6.2. Textura**

Prefiere suelos con textura media o fina (Brigham, 1993), aunque los mejores suelos son los migajones arenosos y los migajones arcillosos (Purseglove, 1987).

### **2.6.3. Drenaje**

La higuera requiere un buen drenaje (Elías y Castellvi, 1996), el exceso de humedad en el suelo es perjudicial bajo condiciones de irrigación; la mayor exigencia de agua en el suelo ocurre en la etapa inicial vegetativa y, el exceso de esta es perjudicial en cualquier fase del ciclo del cultivo, siendo más crítico en los estados iniciales de plántula y durante la formación y llenado del fruto (Weiss, 1983).

### **2.6.4. pH**

La higuera prospera en un rango de 5.0 a 8.0, con un pH óptimo de 6.5 (FAO, 1994).

### **2.6.5. Salinidad/sodicidad**

La higuera es una especie ligeramente tolerante a la salinidad (FAO, 1994), al igual que el olivo (*Olea europea*) y granado (*Punica granatum*), que toleran de 2.0 – 2.4 dS/m sin que afecten su rendimiento en producción; a diferencia de la palma datilera (*Phoenix dactylifera*) que tolera de 4.0 -12.0 dS/m, indicando así que es tolerante a la salinidad (Aguirre Hernández, 2009).

### **2.6.6. Fertilidad y química del suelo**

La higuera se desarrolla en suelos con alta fertilidad (FAO, 2000), suelos con fertilidad elevada favorecen el crecimiento vegetativo excesivo y retrasan de forma considerable la etapa de floración (Cabrales Roberto A. *et al.*, 2014), aunque puede llegar a desarrollarse en suelos con fertilidad moderada (FAO, 2000).

## **2.7. Características de respuesta al cambio climático**

### **2.7.1. Respuesta a ambientes enriquecidos de CO<sub>2</sub>**

Las características de crecimiento, como longitudes de raíces y brotes, volumen de raíces, área foliar, peso seco de diferentes partes de la planta, duración del área foliar y tasa de crecimiento de la higuera se incrementan con 550 y 700 ppm de CO<sub>2</sub> en condiciones de invernadero, en comparación con CO<sub>2</sub> ambiente, la longitud de panoja y el rendimiento de semilla de las panojas de primer orden también se incrementan bajo CO<sub>2</sub> elevado.

Esta condición de CO<sub>2</sub> incrementa significativamente la biomasa total y el rendimiento de la higuera, sin embargo, no cambia el contenido y calidad del aceite de higuera, la respuesta positiva de la higuera al incremento de dióxido de carbono es un buen indicador de su futura presencia en condiciones climáticas que traerá consigo el cambio climático (Vanaja *et al.*, 2008).

El CO<sub>2</sub> elevado (700 ppm) estimula el crecimiento de las hojas más que el CO<sub>2</sub> ambiente (350 ppm), las concentraciones de glucosa y fructosa exhiben el mismo ritmo diurno en ambas condiciones de dióxido de carbono, las concentraciones de sacarosa permanecen relativamente constantes y a 700 ppm son superiores en una tercera parte a las de 350 ppm, el contenido de almidón se incrementa sostenidamente durante el día y desaparece durante la noche en plantas a 350 ppm CO<sub>2</sub>; sin embargo dicho contenido de almidón se mantiene parcialmente en plantas a 700 ppm CO<sub>2</sub>, consecuentemente a dicho contenido las hojas acumulan almidón continuamente durante todo su tiempo de vida. La tasa de síntesis de almidón se correlaciona a la actividad de ADP-glucosa pirofosforilasa, la cual está relacionada a la concentración de sacarosa en la hoja (Grimmer, Bachfischer & Komor, 1999).

### **2.7.2. Resistencia a sequía**

La higuera es una planta resistente a la sequía, los cultivares que tienen un alto ajuste osmótico poseen una mayor adaptación a estas condiciones y por lo tanto producen un mayor rendimiento de semilla que las variedades de bajo ajuste osmótico. El ajuste osmótico es una característica heredable y existe variabilidad entre genotipos con relación a esta variable, por lo que mediante selección, es

posible a futuro obtener variedades de higuierilla adaptadas a condiciones de sequía (Babita *et al.*, 2010).

### 2.7.3. Potencial productivo

En el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran los requerimientos para la clasificación del tipo de potencial productivo alto, medio y bajo para la higuierilla de temporal en México.

**CUADRO 1. Requerimientos agroecológicos para higuierilla.**

Variable	Alto	Medio	Bajo
Temperatura media anual (°C)	15 -30	15-19	<15
		30 -35	>35
Precipitación anual (mm)	400 -1000	1000 – 1500	<400
			>1500
Altitud (msnm)	0 – 1800	1800 – 2500	>2500
Textura de suelos	Media gruesa	Media gruesa	Fina
Uso de suelo	Uso agrícola	Uso agrícola	Uso agrícola
Suelos	Regosoles	Cambisoles y feozems	Vertisoles, litosoles y rendzinas

Fuente: Díaz, 2008.

### 2.8. Importancia económica

El carácter no renovable de los combustibles fósiles, su consumo como energía primaria y su contribución en la contaminación atmosférica han impulsado la investigación sobre combustibles alternativos, especialmente aquellos derivados de la biomasa (Benavides, Benjumea, & Pashova, 2007).

La producción de biodiesel se encuentra en las materias primas utilizadas, el reto consiste en implementar procesos de producción basados en materias primas con

disponibilidad local. Estos procesos se deben optimizar con el objetivo de obtener un biocombustible con un costo de producción competitivo, y que además, posea una calidad adecuada (Benavides *et al.*, 2007).

Los biocombustibles desarrollados actualmente son el etanol y biodiesel, cuyo uso representa ventajas ambientales comparadas con los combustibles derivados del petróleo (Bajpai & Tyagi, 2006).

El etanol es un alcohol producido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en el maíz, caña de azúcar, remolacha, cebada, sorgo, cáñamo u otros cultivos energéticos. El biodiesel es un combustible que se obtiene a partir del procesamiento de aceites vegetales obtenidos de plantas oleaginosas como soya, canola, cártamo o palma de aceite entre otras (González Ávila *et al.*, 2011).

La producción y el futuro del biodiesel es: uso de materias primas, generación de tecnologías complementarias, equipos de producción, legislación energética, programas públicos, comercio, ventas, medioambiente, reducción del CO<sub>2</sub>, reducción de la dependencia energética del petróleo, energía nuclear, y uso de energías renovables (Dalla *et al.*, 2005). A este aspecto Calvo (2006), indica que la producción de materias primas para biodiesel y etanol, deben realizarse sin deteriorar o poner en riesgo la sustentabilidad de los recursos disponibles.

La importancia económica de la higuera radica en el aceite que contiene su semilla, empleado como materia prima en diversidad de productos, tales como: pinturas, tintas, lubricantes, poliuretanos, nylon y fluidos funcionales, entre otros (Mutlu y Meier, 2010), la producción de aceite para su transformación en combustible de origen vegetal, es una modalidad utilizada en varias partes del mundo para motores de ciclo diésel (Vásquez Piñones *et al.*, 2017).

A pesar de los múltiples usos que se le da a la semilla, la parte vegetal de la planta no está siendo utilizada. Es de gran importancia aprovechar en su mayoría la biomasa generada por higuera, pues es vital maximizar el rendimiento de toda la planta.



Los principales países productores se muestran en el siguiente cuadro.

**CUADRO 2. Principales productores de higuera a nivel mundial.**

<b>País</b>	<b>Producción (Ton)</b>
India	1 700 000
China	40 000
Mozambique	69 000
Etiopía	11 000
Brasil	37 000

Fuente: FAO, 2014.

Los principales actores del mercado internacional en la producción y comercio de higuera en racimo son: India y China, exportadores India, Paraguay y Pakistán, importador es Alemania, seguido por Tailandia, Japón y Brasil (Vásquez Piñones, 2017).

El aceite de ricino recientemente ha despertado gran interés como materia prima en la producción de biodiesel (Berman et al., 2011), en la búsqueda de combustibles ambientalmente amistosos el uso del aceite de higuera ha demostrado tener ventajas técnicas y ecológicas; además, está posicionado como una oportunidad para el desarrollo económico y agrícola en áreas áridas y empobrecidas de las zonas tropicales y subtropicales (Dove, 2006).

La producción de higuera coadyuvará para hacer frente al futuro desabasto de petróleo, esto la hace una planta factible de incorporarse a la producción de biocombustibles (Goytia Jiménez *et al.*, 2011).

### **2.8.1. Importancia agronómica de la higuera en el mundo**

Por el porcentaje de aceite en la semilla de higuera, adaptabilidad y facilidad en la transformación, sitúan a este cultivo con alto potencial para la producción industrial

de biodiesel, sumado a que este no compite con las necesidades alimentarias y para su producción pueden utilizarse suelos marginales (Navas, 2008).

También, se ha demostrado que la hidrólisis del bagazo residual (torta proteica) del proceso de extracción provoca una disminución en su toxicidad; tomando en cuenta una alta eficiencia en sacarificación y fermentación, puede darse una producción de etanol que oscila en los 270 litros por tonelada de bagazo en base seca (Melo *et al.*, 2008), la parte vegetativa de la planta puede ser utilizada para este mismo fin.

Mamona, higerilla o “castor beans” en la región noreste de Brasil fue seleccionada por el Ministerio de Agricultura de Brasil (MAPA), por tratarse de un cultivo tradicional que se adapta a clima semiárido, con alta demanda de mano de obra e impacto en la generación de ingresos, por considerar que Brasil depende del consumo aceite diésel, la higerilla se plantea como un desafío en la búsqueda de alternativas energéticas (Vásquez *et al.*, 2017).

### **2.8.2. Importancia agronómica de la higerilla en México**

En México el campo enfrenta diversos problemas sociales, económicos y ambientales, ante este reto el uso de los bioenergéticas se vislumbra como impulsor de desarrollo en estas regiones con establecimiento de cultivos alternativos, multipropósito y sus coproductos, en suelos no aptos para producir alimentos, degradados, sin uso y con una planeación exacta apegada a una regulación, de esta manera, la higerilla ha despertado la posibilidad de ser un cultivo con alta demanda, debido a que se utiliza en más de 500 procesos industriales (de Sousa *et al.*, 2013).

La producción de higerilla en México se encuentra enfocada principalmente a la herbolaria, siendo muy poca la que se destina a la producción de semilla y por lo tanto a la obtención de aceite y no se aprovecha la parte vegetativa de ella, además, la higerilla es considerada como una maleza, por lo cual su explotación no es muy difundida en el país, no existen datos precisos de la superficie sembrada de higerilla, ni de niveles de producción de semilla o rendimiento de aceite, debido a que en nuestro país no es considerada un cultivo (Armendáriz, 2012).

A partir del año 2001, se dio una disminución en la producción de higuierilla, causado por la disminución en el consumo del aceite de ricino por Estados Unidos, la cual afectó la producción en México; esto debido al riesgo biológico por la toxicidad que supone, siendo una de las medidas antiterroristas tomadas a partir de los atentados del 11 de Septiembre (Martínez, 2009), según la FAOSTAT (2010), la producción de aceite de ricino en México ha decrecido en los últimos años.

Esta planta se encuentra de manera silvestre en diversas regiones México, gracias a ello ha desarrollado una amplia variabilidad genética, morfológica y fenotípica por efecto de factores ambientales prevaletentes en las zonas donde se desarrolla.

México, por sus características agroecológicas tiene buen potencial para cultivar esta especie en una superficie de casi cuatro millones de hectáreas. El estado de Oaxaca presenta una superficie de muy buen potencial para este cultivo de 183,000 hectáreas, donde existen ya otros cultivos (Rodríguez Hernández & Zamarripa Colmenero, 2013), entre 2015 y 2016 SAGARPA apoyó el establecimiento de 2,157 ha de higuierilla en este estado y otorgó incentivos para la aplicación de biofertilizantes para 2,500 ha de higuierilla en Sonora.

Para la fabricación de biodiesel, en los últimos años SAGARPA apoyado con un monto superior a 11 millones de pesos a dos empresas (ENRIMEX en Baja California y RICINOMEX en Oaxaca), como plantas comerciales de biodiesel equivalen a 22.8 millones de pesos, aproximadamente que en conjunto tienen una capacidad de producción de 2,440 metros cúbicos de aceite (SAGARPA, 2017).

González (1999) al estudiar el comportamiento de 10 híbridos de higuierilla en dos localidades del sur de Jalisco, indicó que los mejores materiales alcanzaron rendimientos de 3.2 toneladas de grano por hectárea, con contenidos de aceite del 52 %, González (2003) al validar el comportamiento agronómico de un híbrido de higuierilla en tres localidades del sur de Jalisco, encontró que el material alcanzó rendimientos de 3.0 toneladas de grano por hectárea, con una altura promedio de planta de 2.75 m, iniciando la floración a los 51 días de sembrado y llegando a madurez fisiológica a los 180 días, la información disponible sobre la factibilidad de producción de este cultivo, indica que en el estado de Jalisco se tienen

aproximadamente 460,883 hectáreas con características agroecológicas favorables para la siembra de higuera bajo condiciones de temporal (Ruiz *et al.*, 2001). El cultivo de higuera en México es incipiente para la producción de biocombustible; inició con la cosecha de 1 tonelada en 2007, hasta llegar a 9,321 toneladas en 2016. Actualmente se han desarrollado ocho variedades de higuera que permiten rendimientos de 1.8 a 3 ton/ha (SAGARPA, 2017).

La higuera, naturalizada en el estado de Yucatán se presenta como una alternativa renovable energética y a partir de la cual se pueden desarrollar materias primas sustitutas para el petróleo, por esto se le ha llamado “Petróleo Verde”, se considera como un cultivo alternativo, rústico y de poca inversión (Cueto Wong *et al.*, 2009).

En Chiapas (Grajales *et al.*, 2009) realizaron un estudio de rendimiento y caracterización agronómica de 20 colectas de higuera, encontrando que los mejores genotipos produjeron de 1,440 a 2,500 kg/ha.

Actualmente para México una de las especies para la producción de biodiesel que reúne a corto plazo, las mayores ventajas agronómicas y tecnológicas (adaptación a zonas marginales, bajos requerimientos de agua, alto potencial de rendimiento, disposición de riqueza genética para selección de variedades), además que no compite con la alimentación humana es la higuera (*Ricinus communis*), obteniendo rendimientos promedio de biodiesel de 1,320 L ha (Ugolini, 2000).

La producción comercial de esta especie se encuentra en fase inicial en estados como Chiapas, Guanajuato, Querétaro, Sonora y Yucatán, entre otros; mientras en el estado de Oaxaca se siembra desde hace varias décadas (Vasco Leal *et al.*, 2017).

### **2.8.3. Higuera en la Comarca Lagunera**

Considerando la demanda del biodiesel, la rusticidad y diversidad de ambientes donde se desarrolla, la higuera puede considerarse un cultivo con alto potencial para México y en particular para la región noreste del país (Armendáriz Velázquez, 2012).

En México se recolectaron poblaciones aisladas de higuera en diferentes entidades, las cuales han incrementado su adaptación en condiciones ambientales adversas debido a un proceso natural de selección, además se inició la caracterización de las colectas locales de higuera con la finalidad de establecer cultivo de esta especie en Durango (Jiménez *et al.*, 2012).

Según (Vázquez Navarro *et al.*, (2014) la caracterización de colectas e híbridos de higuera en la Comarca Lagunera se ha realizado con los parámetros morfológicos como altura, longitud de la espiga, dehiscencia de cápsulas, rendimiento, peso de 100 semillas y proporción de grasa en el grano (Rosales *et al.*, 2013). Es recomendable comparar el rendimiento de los híbridos de alta productividad y las variedades seleccionadas previamente, la selección de germoplasma con valores altos de rendimiento, proporción de grasa y proteína contribuirá a mejorar la competitividad de los productores agropecuarios de la Comarca, además, la reconversión productiva y recolecta de grano en poblaciones aisladas de higuera propiciarán la creación de fuentes de empleo y mejorará el nivel de vida de la población, lo cual puede ser logrado mediante el incremento de los ingresos económicos, uso eficiente de los recursos naturales y conservación del ambiente, por ello la importancia de evaluar las características morfológicas de la planta, inflorescencia, frutos y semillas de diferentes híbridos y variedades de higuera en varias entidades de México, con ello se espera contribuir para incrementar la competitividad en la producción de biodiesel/etanol y las actividades pecuarias desarrolladas en la zona. Los híbridos que han sido evaluados en la Comarca Lagunera de higuera que pueden utilizarse para la producción de grano son K 93 y K 855 (Vázquez Navarro *et al.*, 2014).

#### **2.8.4. Utilidad de la higuera**

Por la composición química, el aceite de higuera conserva viscosidad a altas temperaturas y resiste muy bajas (-10 °C) sin congelarse, razón por la que se emplea para motores de altas revoluciones. El aceite refinado se aprovecha en: la medicina, cosméticos, pinturas industriales y para la generación de biodiesel (SAGARPA, 2017).

Debido a sus características la demanda de aceite de ricino se ha incrementado en 16 países que incluyen integrantes del TLCAN (Tratado de Libre Comercio de América del Norte), el TPP (Acuerdo Estratégico Trans-Pacífico de Asociación Económica) y el TLCTN (Tratado de Libre Comercio del Triángulo del Norte), así como del bloque de la Unión Europea y China. Actualmente, México es importador de este producto, con 3.9 millones de litros en 2016, de los cuales importa 94.63 % provenientes de India, 3.01 % España y 1.01 % de Alemania.

Para empezar a cubrir la demanda del uso de aceite de higuierilla en México, en 2016 se sembraron 9,520 hectáreas, el total de la superficie se encuentra mecanizada, 96.85 % cuenta con tecnología aplicada a la sanidad vegetal, mientras que la totalidad del territorio sembrado con este cultivo contó con asistencia técnica, así mismo, la totalidad de la producción fue realizada por la modalidad de riego general. En Oaxaca ya se inició la construcción de la primera planta para producir biodiesel de higuierilla; en Veracruz funcionan seis empresas que podrían comercializar el etanol en la terminales de almacenamiento y reparto de Pemex en esa entidad, así como en San Luis Potosí y Tamaulipas (SAGARPA, 2017).

## **2.9. Importancia de los ácidos orgánicos**

Los ácidos orgánicos, desempeñan un papel vital en la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas, debido a que las que crecen en suelos que contienen materia orgánica adecuada, los agregados húmicos (HA) y los agregados fúlvicos (FA) están menos sujetas al estrés, son más saludables y producen mayores rendimientos, la calidad nutricional de los alimentos cosechados y los piensos son superiores. El valor de los ácidos orgánicos en la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas se relaciona con las muchas funciones que realizan estos compuestos orgánicos complejos como parte del ciclo de vida en la tierra (Robert E, 2004).

El hombre debe reconsiderar el enfoque de las técnicas de fertilización al dar mayor prioridad al humus del suelo. La urgencia de enfatizar la importancia de las sustancias húmicas y su valor como ingredientes fertilizantes nunca ha sido tan

importante como lo es hoy, las sustancias húmicas son reconocidas por la mayoría de los científicos y agrónomos del suelo como el componente más importante de un suelo fértil saludable (Robert E, 2004)

### **8.9.1. Ácidos fúlvicos**

Los ácidos fúlvicos (FA) son una mezcla de ácidos orgánicos alifáticos y aromáticos débiles que son solubles en agua en todas las condiciones de pH (ácidos, neutros y alcalinos), la composición y forma es bastante variable, el tamaño es más pequeño que los aditivos húmicos (HA), con pesos moleculares que varían de aproximadamente 1,000 a 10,000, tienen un contenido de oxígeno el doble que el de los ácidos húmicos (HA), tienen muchos grupos carboxilo (COOH) e hidroxilo (COH), por lo que son mucho más reactivos químicamente, la capacidad de intercambio es más del doble que la de los ácidos húmicos, esta alta capacidad de intercambio se debe al número total de grupos carboxilo (COOH) presentes, el número de grupos carboxilo presentes en los ácidos fúlvicos varía de 520 a 1120 cmol (H<sup>+</sup>) / kg. Los ácidos fúlvicos recolectados de muchas fuentes diferentes y analizados, no muestran evidencia de grupos metoxi (CH<sub>3</sub>), son bajos en fenoles y son menos aromáticos en comparación con los ácidos húmicos de las mismas fuentes (Robert E, 2004).

Debido al tamaño relativamente pequeño de las moléculas, pueden entrar fácilmente en las raíces, tallos y hojas de las plantas, a medida que entran en estas partes de la planta, transportan minerales traza desde las superficies de la planta a los tejidos, son ingredientes clave de los fertilizantes foliares de alta calidad, las aplicaciones de pulverización foliar que contienen quelatos minerales de ácido fúlvico en etapas específicas de crecimiento, pueden utilizarse como una técnica de producción primaria para maximizar la capacidad productiva, una vez aplicado al follaje transportan minerales traza directamente a los sitios metabólicos en las células de la planta. Son los compuestos quelantes de carbono más eficaces que se conocen, son compatibles con las plantas, por lo tanto no son tóxicos, cuando se aplican en concentraciones relativamente bajas (Robert E, 2004).

## **2.10. Importancia de potasio (k) y magnesio (mg)**

El magnesio (Mg) y potasio (K) indican un papel distinto en la exportación de fotosintatos de hojas a raíces y sugieren que la alteración en la partición de fotosintato desempeña un papel importante en las diferencias en la distribución de materia seca entre los brotes y las raíces de las plantas que sufren deficiencia de nutrientes minerales (Cakmak Ismail, *et al* 1994), por ello la importancia de estos elementos.

Estos nutrientes ejercen efectos indirectos sobre la sanidad del cultivo a través de una mejora de los procesos de crecimiento, y también en algunos casos efectos directos. Este sería el caso de los cloruros, los cuales actúan de manera directa a través de un efecto fungicida y fungistático (Fixen, 1993).

### **2.10.1. Cloruro de Potasio (KCl)**

Los fertilizantes potásicos son comúnmente utilizados para superar las deficiencias de las plantas donde los suelos no pueden abastecer las cantidades de potasio (K) requeridas por los cultivos. Potasa es un término general usado para designar una variedad de fertilizantes utilizados en la agricultura que contienen K. El cloruro de potasio (KCl), la fuente más comúnmente utilizada, es también conocido como muriato de K (muriato es el nombre antiguo usado para designar sales que contienen cloruro) (IPNI, 2014).

Si bien el potasio como nutrimento, es el elemento de mayor demanda durante el proceso de aporte de nutrientes o fertilización, hay dos formas de ser tomado por las plantas, la primera es el  $K^+$  en la solución del suelo y la segunda es el  $K^+$  retenido en las arcillas y la materia orgánica del suelo en forma coloidal, las fuentes de mayor uso en el mundo por disponibilidad y asimilación por la planta son el Cloruro de Potasio (KCl), Sulfato de Potasio ( $K_2SO_4^-$ ), y Nitrato de Potasio ( $KNO_3^-$ ) (Oliveros Díaz & J. Londoño, 2007).



### 2.10.2. Uso agrícola

El KCl es el fertilizante potásico más extensamente utilizado debido a su bajo costo relativo y que incluye más cantidad de K que otras fuentes 50-52% K y 45-47% Cl, se disuelve rápidamente en la humedad del suelo. El K<sup>+</sup> será retenido en los sitios de intercambio con carga negativa de las arcillas y la materia orgánica del suelo, por su parte, el Cl<sup>-</sup> se moverá rápidamente con el agua del suelo. Un grado especial de pureza de KCl puede ser disuelto para fertilizantes líquidos o aplicaciones a través de sistemas de riego, es principalmente utilizado como una fuente de K para la nutrición vegetal, sin embargo, hay regiones donde las plantas responden favorablemente a la aplicación de Cl<sup>-</sup>, el KCl es generalmente el material preferido para satisfacer estas necesidades, no hay un impacto significativo en el agua o aire asociado con dosis normales de aplicación, la elevada concentración de sales en la proximidad del fertilizante al disolverse puede ser el factor negativo más importante a considerar. (IPNI, 2014).

#### CUADRO 3. Propiedades químicas de Cloruro de Potasio.

Fórmula química	KCl
Grado de fertilizante	0 -0 -60
Contenido de Cl <sub>2</sub>	60 a 63 %
Solubilidad en agua (20°C)	344 g/L
pH solución	Aprox. 7

Fuente: IPNI, 2014.

Jakobsen (1993) reportó que al aplicar bajas dosis de potasio en el suelo se llega al punto de disminuir la cantidad de calcio (Ca) (cuando está alto en el suelo) y aumenta en menor grado el magnesio (Guerra y Bautista, 2002), lo que se traduce en un aumento de la actividad del K por su parte, al estar disponible el K en la planta aumenta la división celular y expansión de células meristemáticas (Marschner, 2012).

### 2.10.3. Cloruro de Magnesio ( $MgCl_2$ )

Es una de las sales más perjudiciales para las plantas debido a su elevada solubilidad, en concentraciones elevadas, se localiza en suelos salinos, aguas freáticas y lagos salinizados, se forma como consecuencia de la reacción entre soluciones que contienen NaCl, que ascienden capilarmente y se ponen en contacto con el complejo de cambio conteniendo Mg (Serrano Ferrer, 2013).

El cloruro de magnesio es muy higroscópico, al igual que el cloruro cálcico, que muchas veces se encuentra conjuntamente, absorben vapor de agua de la atmósfera, que disuelve los cristales de estas sales, formando una solución salina muy concentrada (Pizarro, 1985). Uno de los efectos deletéreos de la sal a nivel celular consiste en la inhibición por sodio de numerosas encimas; en algunos casos concretos se ha demostrado que el efecto negativo del  $Na^+$  es debido al desplazamiento del centro activo de iones  $Mg^{2+}$  requeridos para la actividad enzimática (Albert *et al.*, 2000).

Según Serrano Ferrer (2013) un aumento de la concentración intracelular de magnesio, sin llegar a niveles tóxicos, debería conferir una cierta tolerancia frente al estrés salino, sin embargo, mientras que el efecto protector del calcio en condiciones de alta salinidad está bien establecido, que se sepa nunca se ha comprobado una función similar para el magnesio.

Los fertilizantes portadores de Mg comunes se dividen en dos clases: fuentes solubles y fuentes semi solubles. El tamaño de las partículas de las fuentes de Mg semi solubles determina en gran parte la tasa de disolución, mientras que este factor no es importante en las fuentes solubles. El cloruro de magnesio es una fuente del primer tipo, tiene una alta solubilidad (560 g/L), es frecuentemente usado como componente de los fertilizantes (Mikkelsen, 2010).

#### CUADRO 4. Propiedades químicas de Cloruro de Magnesio

Fórmula química	$MgCl_2$
Contenido de Cl <sub>2</sub>	25 %

Solubilidad en agua (20°C)	560 g/L
pH solución	5 (sol. 1%), 8.4 (sol. 3%)

---

Fuente: Mikkelsen, 2010.

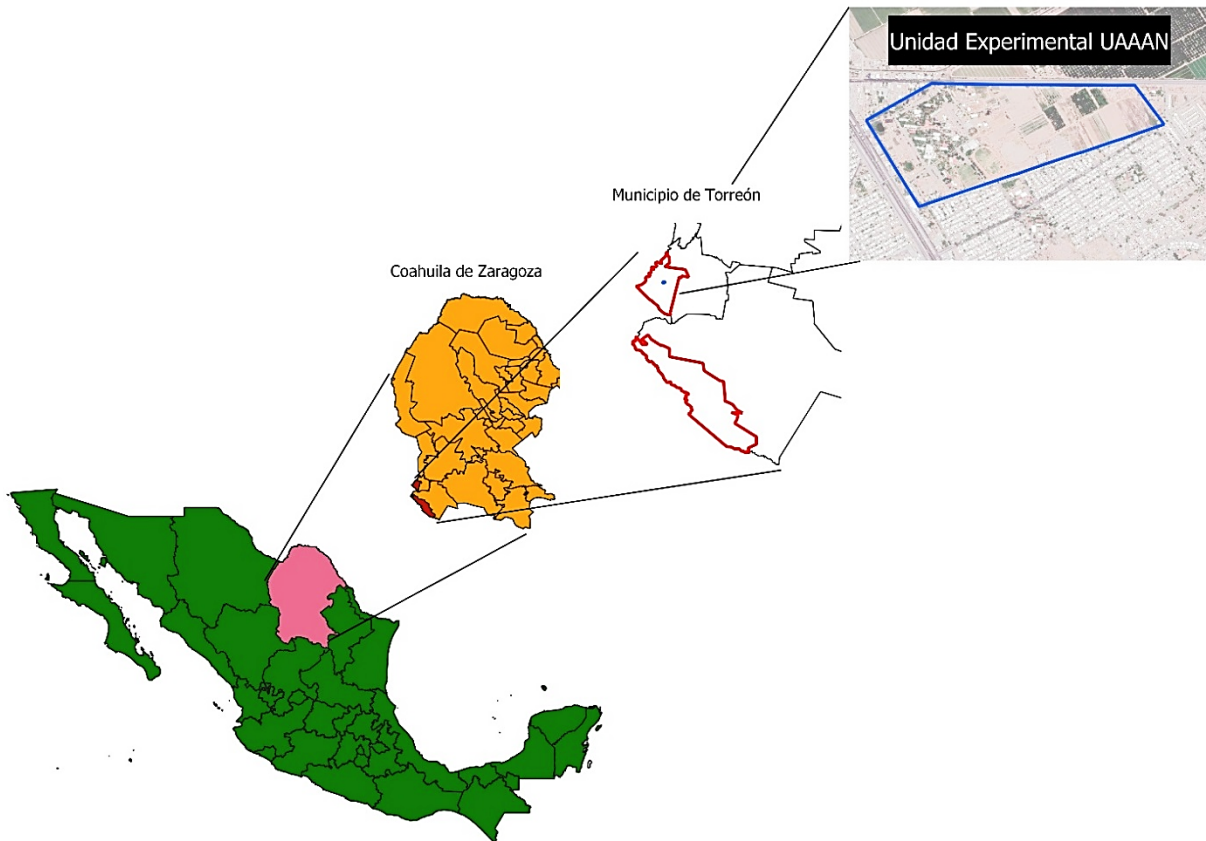
La función más prominente del magnesio en la planta es su papel como el átomo central de la molécula de clorofila, sin embargo, la cantidad ligada a la clorofila (15% del total) es relativamente pequeña y depende en gran parte del suministro, además de ser una parte integral de la clorofila, el magnesio participa en la reacción de carboxilasa de la fotosíntesis, como una coenzima en la fijación de CO<sub>2</sub>, como un catión bivalente cargado, el magnesio está involucrado en el balance catión-anión, es responsable de la regulación de pH y del ajuste de turgencia de las células de la planta, entre 5 y 10% del magnesio está ligado al pectato y allí sirve como elemento estructural de la pared celular, el resto del magnesio, no fijado en estructuras como la clorofila y paredes celulares, presenta alta movilidad dentro de la planta y fácilmente se trasloca entre tejidos y hojas viejas y jóvenes, como por ejemplo: granos, frutos, tallos y hojas, debido a sus funciones en la transferencia de energía durante la síntesis de almidones, ésta se ve impedida en condiciones de suministro insuficiente de magnesio (Ross Marcus, 2004).

Según Reddy et al (1971), la adición de bajas concentraciones de MgCl<sub>2</sub> reduce el efecto tóxico de NaCl y aumenta el porcentaje de germinación del polen.

## 2.11. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.11.1. Ubicación del área de estudio

El trabajo de investigación se realizó en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en la malla sombra e invernadero ( $25^{\circ}33'27.24''N$  -  $103^{\circ}22'30.12''O$ ), ubicados en el departamento de Horticultura, en la ciudad de Torreón Coahuila México, en el ciclo otoño-invierno de 2021.



**FIGURA 1. Ubicación del experimento.**

### 2.11.2. Condiciones climáticas

En Torreón prevalece el tipo Desértico cálido (BWh) (García, 2004), temperatura media anual de  $21.5^{\circ}C$ , en el verano puede alcanzar una temperatura de hasta  $50^{\circ}C$  a la intemperie, la temperatura varía de  $8^{\circ}C$  a  $36^{\circ}C$  (CLIMATE-DATA.ORG).

La precipitación media anual es de 227 mm, el mes más seco es marzo, con 2 mm de lluvia, con un promedio de 44 mm, mientras que la mayor precipitación es en septiembre (CLIMA-DATA.ORG)

### **2.11.3. Sustratos**

El sustrato utilizado para germinar la semilla fue turba de musgo *Sphagnum* pues cuenta con una alta capacidad de adsorción de humedad y propiedades antibacterianas (Taskila *et al.*, 2015), la turba de musgo *Sphagnum* es baja en sales solubles, fácil de mezclar con otros componentes cuando está húmeda, uniforme en calidad y de larga duración en un sustrato, el drenaje y la aireación son mejorados, no agrega cantidades apreciables de nutrientes, ni su uso resulta en disminución en los nutrientes disponibles, la acidez de esta turba varía con su origen, pero en general es bastante ácida, el pH se ajusta fácilmente con encalado, el aspecto más importante es que no ocurren cambios biológicos o químicos (VIFINEX, 2002) que puedan afectar la germinación de la semilla.

El sustrato utilizado para el picado de la planta de higuera fue arena, esta cumple el drenaje que requiere la planta y es parecido al tezontle que cubre los requerimientos edáficos de esta especie, como son la textura franco-arenosa (L. Juárez *et al.* 2019). La arena es un material no degradable de naturaleza porosa de forma redondeada y ligeramente angular y con diámetro aproximado de 3 mm (Baca Castillo *et al.*, 2016).

### **2.11.4. Condición de agua**

El agua de riego utilizada fue clasificada como C1S1 (baja en riesgo de salinización y alcalinización) y con una relación de absorción de sodio (RAS) de 2.18.

**CUADRO 5. Análisis químico del agua para riego utilizada en el experimento.**

CE (dS M-1)	1.05
pH	8.75
K	1.4
Ca	4.7
Mg	0.80
Na (meq L-1)	3.63
HCO <sub>3</sub>	0.55
Cl	2.3
SO <sub>4</sub> -	4.1

Fuente: Esteban Anastacio, 2007.

#### **2.11.5. Material genético**

La semilla de la variedad utilizada para este experimento fue Guanajuato, con un lote experimental de 5 macetas por tratamiento y 10 repeticiones (50 macetas en total), en un área de 4 por 3 metros (superficie de 126 m<sup>2</sup>).

#### **2.11.6. Establecimiento del experimento**

Son 10 tratamientos que fueron distribuidos con un diseño completamente al azar con cinco repeticiones, las dosis para cada tratamiento se aprecian en el siguiente cuadro.

**CUADRO 6. Distribución de tratamientos.**

Tratamientos	Nutrición	MgCl <sub>2</sub>	KCl	HF
T 1.	SN	-	-	-
T 2.	SN	MgCl <sub>2</sub> (50 ppm)	-	Ácido fúlvico (10 ppm).
T 3.	SN	MgCl <sub>2</sub> (100 ppm)	-	Ácido fúlvico (50 ppm).
T 4.	SN	MgCl <sub>2</sub> (150 ppm)	-	Ácido fúlvico (100 ppm).
T 5.	SN	-	KCl (50 ppm)	Ácido fúlvico (10 ppm).
T 6.	SN	-	KCl (100 ppm)	Ácido fúlvico (50 ppm).
T 7.	SN	-	KCl (150 ppm)	Ácido fúlvico (100 ppm).
T 8.	SN	MgCl <sub>2</sub> (25 ppm)	KCl (25 ppm)	Ácido fúlvico (10 ppm).
T 9.	SN	MgCl <sub>2</sub> (50 ppm)	KCl (50 ppm)	Ácido fúlvico (50 ppm).
T 10.	SN	MgCl <sub>2</sub> (75 ppm)	KCl (75 ppm)	Ácido fúlvico (100 ppm).

\*SN (Solución nutritiva). T 1. Testigo.

### 2.11.7. Siembra y picado

La siembra se realizó el día 15 de octubre de 2021 en charola de germinación de 200 celdillas, con sustrato de turba de musgo Sphagnum, se pusieron a germinar en un vivero con malla sombra y riego nebulizado (1 riego al día), la germinación se observó a los 11 días (26 de octubre), el picado al sustrato de arena se realizó el 6 de noviembre de 2021, este sustrato contenido en bolsas de polietileno para vivero con capacidad de 6 kilogramos cada una.

### 2.11.8. Riego

El riego fue manual y se aplicó cada tercer día de acuerdo a la etapa fenológica, la cantidad de agua aplicada a cada planta osciló entre 0.5 y 2 litros durante el ciclo del cultivo. El agua de riego utilizada fue clasificada como C1S1.

### 2.11.8. Nutrición

Para el proceso de nutrición se tomó en cuenta la especie, variedad, estado de desarrollo de la planta, parte de la planta a cosechar, época del año de establecimiento del cultivo, duración del día, clima y método de cultivo, así se formuló la solución nutritiva a aplicar (Chávez *et al.*, 2006). Teniendo en cuenta la gran variedad de factores y poseyendo las características químicas de agua, se balanceó la relación mutua de cationes, aniones, la presión osmótica (PO) (concentraciones totales de sales) y el pH, de esta manera se obtuvo la siguiente relación de fertilizantes.

**CUADRO 7. Solución Nutritiva adaptada para el experimento.**

Sal	Fórmula	gr para 80 L
Nitrato de Calcio	<b>Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub></b>	36.00
Nitrato de Potasio	<b>KNO<sub>3</sub></b>	68.72
Sulfato de Potasio	<b>K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	17.44
Sulfato de Magnesio	<b>MgSO<sub>4</sub></b>	46.24
Fosfato Mono amónico	<b>NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub></b>	23.04

A cada maceta (planta) se le aplicó 1.6 L de solución nutritiva, en conjunto con cloruro de Magnesio (MgCl<sub>2</sub>) y cloruro de Potasio (KCl), hasta completar siete aplicaciones cada uno. Los ácidos fúlvicos se aplicaron en cinco ocasiones cuyas fechas se muestra en el siguiente cuadro al igual que la poda de flores.



**CUADRO 8. Aplicaciones y poda de flores.**

<b>Fecha</b>	<b>Aplicación</b>
14/11/21	Solución Nutritiva. Se registró helada (1°C), daño ligero en brotes apicales.
15/11/21	Se registró helada (2°C), daño ligero en hojas.
24/11/21	Solución Nutritiva
25/11/21	Tratamientos con MgCl <sub>2</sub> y KCl
29/11/21	Solución Nutritiva
19/01/22	Poda de flores
21/01/22	Solución Nutritiva
24/01/22	Tratamientos con MgCl <sub>2</sub> y KCl
28/01/22	Tratamientos con MgCl <sub>2</sub> y KCl y ácidos fúlvicos.
30/01/22	Solución Nutritiva
01/02/22	Tratamientos con MgCl <sub>2</sub> y KCl y ácidos fúlvicos.
04/02/22	Tratamientos con MgCl <sub>2</sub> y KCl y ácidos fúlvicos.
06/02/22	Solución Nutritiva
07/02/22	Poda de flores
08/02/22	Tratamientos con MgCl <sub>2</sub> y KCl y ácidos fúlvicos.
11/02/22	Tratamientos con MgCl <sub>2</sub> y KCl y ácidos fúlvicos.
13/02/22	Solución Nutritiva

**2.11.9. Recolección de biomasa**

Terminado el ciclo de la higuera, período de nutrición y aplicación de elementos se procedió a la recolección del material vegetal, se separó raíz (se extrajo el mayor número posible) y tallo, cada muestra fue picada y colocada en bolsas de papel debidamente identificadas para posteriormente llevar a laboratorio.

#### **2.11.10. Variables a evaluar**

La biomasa a evaluar fueron celulosa, hemicelulosa y lignina, cada una de ellas componen en peso seco del 20 - 50% (celulosa), 15 - 35% (hemicelulosa) y 10 - 30% (lignina) dependiendo cada valor de la especie vegetal (R. Rinaldi, 2009).

En la actualidad, la celulosa es el polímero orgánico más abundante en el mundo y se considera una fuente casi inagotable de materia prima para la demanda creciente de productos sostenibles con el medio ambiente (Dieter, 2005), es resistente a la hidrólisis y a agentes oxidantes (Thakur, 2013). La hemicelulosa es un polisacárido con estructura y propiedades físico-químicos altamente variados que se encuentran en la pared celular y que al igual que la celulosa, la hemicelulosa confieren resistencia a la estructura vegetal, es hidrófila y puede ser fácilmente hidrolizada por ácidos y bases diluidas (Velásquez, Peláez & Giraldo, 2016). La lignina, es el tercer biopolímero más abundante en la Tierra, resulta de la unión de varios alcoholes fenilpropílicos, que brindan rigidez a la pared celular, haciéndola resistente al impacto y flexión, resiste la hidrólisis ácida, es hidrofóbica, es soluble en álcali caliente y de fácil oxidación. La lignificación de los tejidos, proporciona resistencia a ataques de microorganismos (John y Thomas, 2008).

Las fibras naturales usadas en varios ramos de la industria pueden atenuar el impacto ambiental, pues provienen de recursos renovables, esto facilita su disponibilidad, son de bajo costo, biodegradables y además son livianas, estas presentan propiedades mecánicas que, en algunas aplicaciones, son comparables con materiales de refuerzo sintéticos convencionales como las fibras de vidrio o de carbono (Kalia *et al.*, 2009).

Actualmente se están mejorando las propiedades de los materiales poliméricos mediante la incorporación de partículas y fibras de diferente naturaleza, obteniendo materiales compuestos de matriz polimérica termoplástica (Albinante *et al.*, 2013), en la India existe una larga tradición en la producción de compuestos que emplean fibras naturales para aplicaciones como tuberías, paneles y perfiles (Velásquez *et al.*, 2016).

## **2.12. Fase de laboratorio**

### **2.12.1. Secado y molienda**

Cada muestra recolectada fue llevada a laboratorio para proceder con el secado, se colocaron en la estufa a 105° C por un tiempo de 24 horas, siguiendo después con la molienda de cada una de las muestras, primero se molió en un molino de nixtamal automático, después cada muestra se pasó por una segunda molienda en molino tipo Wiley mini con el fin de obtener una muestra más fina.

### **2.12.2. Determinación de Fibras**

Para determinar fibra detergente ácida (FDA) se utilizó el método propuesto por (Goering H.K. y Van Soest 1970), la muestra es sometida a ebullición con bromuro de cetiltrimetilamonio en un medio ácido y subsecuente se filtra y lava el residuo, este método da una buena estimación de celulosa y lignina. De acuerdo con Correa (2008) este es el método más recomendado para estimar contenido de las paredes celulares y se basa en el uso de detergentes para separar dos fracciones nutricionales de la MS: contenido celular y pared celular, la fracción de pared celular está compuesta por celulosa, lignina y hemicelulosa.

En la determinación de fibra detergente neutra (FDN) el procedimiento incluye la extracción de la muestra con una solución caliente de laurilsulfato de sodio (Goering H.K. & Van Soest, 1970), este método da una buena estimación de la fibra insoluble que contiene celulosa, hemicelulosa y lignina y se utiliza ampliamente para evaluar los alimentos de consumo humano. En alimentos altos en hidratos de carbono (cereales y verduras) se sobreestima la fibra neutro detergente, de esta manera se modifica la técnica agregado alfa amilasa que digiere los hidratos de carbono (Shaller D., 1976).

Para la determinación de lignina se utilizó el método de espectroscopía de infrarrojo. La espectrometría de absorción y reflexión en el infrarrojo medio es la principal herramienta para determinar la estructura de especies orgánicas y bioquímicas, en estas especies moleculares existen pequeñas diferencias de energía entre los distintos estados vibraciones y rotacionales, para poder absorber radiación infrarroja, una molécula debe sufrir un cambio neto en el momento dipolar

cuando vibra o gira, en estas circunstancias el campo eléctrico alternante de la radiación puede interactuar con la molécula y modificar la amplitud de alguno de sus movimientos según (Douglas *et al.*, 2008).

Existen muchos métodos analíticos para la medida de componentes específicos de la pared celular. De acuerdo con la metodología propuesta por Van Soest PJ & Robertson JB (1980), en nutrición de rumiantes, las concentraciones de celulosa son normalmente estimadas como FDA menos lignina, en concentración de hemicelulosa es normalmente estimada como FDN menos FDA.

### 2.13. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza (Anva) y para separación de medias se utilizó la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ), utilizando el paquete estadístico Minitab, versión ¿?.

Para fibra detergente neutro (FND) en raíz, no se encontraron diferencias estadísticas significativas; sin embargo, numéricamente se puede observar (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) que al aplicar una dosis de 150 ppm de cloruro de potasio (KCl) y 100 ppm de ácidos fúlvicos en el tratamiento 7 y una dosis de 50 ppm de cloruro de magnesio ( $MgCl_2$ ) y 100 ppm de ácidos fúlvicos en el tratamiento 9 hay un aumento del 13% en comparación con el control del tratamiento 1 que fueron cultivadas sólo con solución nutritiva (SN). Esto posiblemente sea por la aplicación de 100 ppm de ácido fúlvico en cada uno de los tratamientos.

Para FDN en tallo, no se encontraron diferencias estadísticas significativas; sin embargo, numéricamente (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) en el tratamiento 5 con una dosis de 50 ppm de KCL y 10 ppm de ácido fúlvico hay un aumento del 14%, sobrepasando a las plantas del control que se cultivaron sólo con (SN). Es posible que al bajar la dosis de KCl y mantener el ácido fúlvico se sugiere que aumenta el rendimiento numérico.

**CUADRO 9. Aumento de FDN en raíz y tallo, con la adición de KCl,  $MgCl_2$ , ácido fúlvico a diferentes concentraciones en *Ricinus communis*.**

Tratamiento	FND Raíz	FDA Tallo
T7	63.56 <sup>a</sup>	
T9	63.48 <sup>a</sup>	
T5		62.12 <sup>a</sup>
SN	55.33 <sup>a</sup>	53.22 <sup>a</sup>

T=tratamiento; SN=solución nutritiva; FDN=fibra detergente neutro.

Valores medios de cada tratamiento con superíndices de letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey  $p < 0.05$ ).

Para fibra detergente ácida (FDA) en raíz no hay diferencia estadística significativa; sin embargo, en el tratamiento 4 se aprecia (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) que al adicionar 150 ppm de  $MgCl_2$  y 100 ppm de ácido fúlvico hay un aumento numérico del 7% en FDA sobrepasando al control. Posiblemente la dosis de ácido fúlvico ayudó al aumento de FDA.

Para FDA en tallo no se observaron diferencias estadísticas significativas; sin embargo, en el tratamiento 5 se aprecia (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) que al adicionar 50 ppm de KCl y 10 ppm de ácido fúlvico se aumenta numéricamente en un 11% sobrepasando de esta manera a las plantas del control, que sólo fueron cultivadas con SN. Es posible que al bajar la dosis de KCL ayude al aumento de FDA en el tallo.

**CUADRO 10. Aumento de FDA en raíz y tallo, con la adición de KCl,  $MgCl_2$ , ácido fúlvico a diferentes concentraciones en *Ricinus communis*.**

Tratamiento	FDN Raíz	FDA Tallo
T4	59.39 <sup>a</sup>	54.42 <sup>a</sup>
T5		55.83 <sup>a</sup>
T10		54.64 <sup>a</sup>
T8		54.53 <sup>a</sup>
SN	55.32 <sup>a</sup>	49.84 <sup>a</sup>

T=tratamiento; SN=solución nutritiva; FDA=fibra detergente ácido. Valores medios de cada tratamiento con superíndices de letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey  $p < 0.05$ ).

En el tratamiento 10, 8 y 4, también se observa un aumento numérico al adicionar 75 ppm de  $MgCl_2$ , 75 ppm de KCl y 100 ppm de ácido fúlvico; 25 ppm de  $MgCl_2$ , 25 ppm de KCl y 10 ppm de ácido fúlvico; 150 ppm de  $MgCl_2$  y 100 ppm de ácido fúlvico respectivamente. Estos tratamientos sobrepasan en un 9% a las plantas control que se cultivaron sólo con el aporte de la SN. Es posible que al tener dosis iguales y bajas de  $MgCl_2$  y KCl y la adición de ácido fúlvico en ambos tratamientos ayude al aumento numérico de FDA en tallo.

Para hemicelulosa en raíz no se encontró diferencia estadística significativa; sin embargo numéricamente si la hay, en el control se puede observar (Cuadro 8) valores en 0 de referencia, en comparación con el tratamiento 9 se puede notar que al adicionar 50 ppm de  $MgCl_2$ , 50ppm de KCl y 50 ppm de ácido fúlvico, hay un aumento del 37% en hemicelulosa, le siguen los tratamientos 7 y 10 con un aumento del 49% y 50% y dosis de 150 ppm de KCl y 100 ppm de ácido fúlvico; 75 ppm de  $MgCl_2$ , 75 ppm de KCl y 100 ppm de ácido fúlvico respectivamente. Se sugiere en el tratamiento 9, que al tener dosis iguales de cloruros y ácido fúlvico el aumento es notable al igual que en el tratamiento 10, en el tratamiento 7, aunque la dosis es alta de KCl, en este caso no afectó el rendimiento de hemicelulosa en raíz, al contrario la aumentó en conjunto con la aplicación de ácido fúlvico.

Para hemicelulosa en tallo, no se encontraron diferencias estadísticas significativas; sin embargo, al adicionar 50 ppm de  $MgCl_2$ , 50ppm de KCl y 50 ppm de ácido fúlvico, se observa (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) un aumento numérico de 48%, en el tratamiento 9, en el tratamiento 5 hay un aumento del mismo porcentaje aunque con diferentes dosis; 50 ppm de KCl y 10 ppm de ácido fúlvico respectivamente. Nuevamente se sugiere que al adicionar dosis iguales de cloruros y ácido fúlvico el aumento numérico es notable.

**CUADRO 11. Aumento de hemicelulosa en raíz y tallo, con la adición de KCl,  $MgCl_2$ , ácido fúlvico a diferentes concentraciones en *Ricinus communis*.**

Tratamiento	H Raíz	H Tallo
T9	6.35 <sup>a</sup>	
T7	5.19 <sup>a</sup>	
T10	5.07 <sup>a</sup>	
T9		6.49 <sup>a</sup>
T5		6.30 <sup>a</sup>
SN	0.00	3.38 <sup>a</sup>

T=tratamiento; SN=solución nutritiva; H=hemicelulosa. Valores medios de cada tratamiento con superíndices de letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey  $p < 0.05$ ).

Para celulosa, no se encontraron diferencias estadísticas significativas; sin embargo, en el tratamiento 5, se aprecia que al adicionar 50 ppm de KCl y 10 ppm

de ácido fúlvico hay un aumento numérico (**¡Error! No se encuentra el origen de a referencia.**) para raíz de 8% y en tallo de 12%.

**CUADRO 12. Aumento de celulosa en raíz y tallo, con la adición de KCl, MgCl<sub>2</sub>, ácido fúlvico a diferentes concentraciones en *Ricinus communis*.**

Tratamiento	C Raíz	C Tallo
T5	48.67 <sup>a</sup>	46.07 <sup>a</sup>
SN	44.61 <sup>a</sup>	40.41 <sup>a</sup>

T=tratamiento; SN=solución nutritiva; C=celulosa. Valores medios de cada tratamiento con superíndices de letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey  $p < 0.05$ ).

Se sugiere que al aplicar una dosis baja de KCl y mantener el ácido fúlvico aun que es una dosis baja si logran un aumento de celulosa en raíz y tallo de la planta sobrepasando el control.

Para lignina en raíz no se encontraron diferencias estadísticas significativas; sin embargo, en el tratamiento 7, al aplicar 115 ppm de KCl y 100 ppm de ácido fúlvico se muestra un aumento numérico del 12% sobrepasando el control (0).

Para lignina en tallo, no se encontraron diferencias estadísticas significativas; sin embargo, en el tratamiento 4 al aplicar 150 ppm de MgCl<sub>2</sub> y 100 ppm de ácido fúlvico hay un aumento numérico de 15%, sobrepasando las plantas del control (0).

**CUADRO 13. Aumento de lignina en raíz y tallo, con la adición de KCl, MgCl<sub>2</sub>, ácido fúlvico a diferentes concentraciones en *Ricinus communis*.**

Tratamiento	L Raíz	L Tallo
T7	12.20 <sup>a</sup>	
T4		11.04
SN	10.71 <sup>a</sup>	9.43 <sup>a</sup>

T=tratamiento; SN=solución nutritiva; Lignina=L. Valores medios de cada tratamiento con superíndices de letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey  $p < 0.05$ ).



En ambos casos se sugiere que al mantener una dosis media de ácido fúlvico y un alta de cloruros ayuda al aumento numérico de lignina en raíz y tallo de la planta de higuera, sobrepasando las del control.

## 2.14. CONCLUSIONES

La aplicación de ácidos fúlvicos, cloruro de magnesio y cloruro de potasio influirán de manera significativa el rendimiento de las fibras en las plantas tratadas de higuerilla (*Ricinus communis* L.), con el fin de disminuir los efectos del cambio climático y contribuir a la conservación del ambiente se considera pertinente y necesaria la búsqueda de alternativas para producir energía a partir de la biomasa generada por especies abundantes y poco exigentes en su producción.

Con el fin de generar la tecnología para producir la materia prima suficiente para la producción de biocombustible se realizó la actual investigación donde se logró aumentar numéricamente las variantes evaluadas.

El tratamiento que muestra mejores resultados es con aplicaciones de ácido fúlvico (AF) y cloruro de Potasio (KCl), que provocaron un efecto positivo en 4 de 5 variables, fibra detergente neutro en tallo, fibra detergente ácida en raíz y tallo, celulosa en raíz y tallo y hemicelulosa en tallo de higuerilla en el tratamiento 5, el tratamiento 7 también mostró resultados positivos en 3 variables, fibra detergente neutro en raíz, hemicelulosa en raíz y lignina en raíz.

Las plantas que fueron tratadas con agregados fúlvicos (FA) estuvieron menos sujetas al estrés, se mostraron más saludables y se obtuvo un mayor rendimiento, el potasio (K) al exportar fotosintatos de hojas a raíces desempeñó un papel importante en la distribución de materia seca, estos nutrientes ejercen efectos sobre la sanidad de las plantas tratadas y esto se vio reflejado en una mejora del crecimiento y aumento de fibras en conjunto con la solución nutritiva.

El uso de ácidos fúlvicos en combinación con cloruro de potasio y solución nutritiva es una solución de bajo costo, con un procedimiento sencillo y fácil de aplicar pues se puede realizar mediante fertirriego, esto es una forma promisoría de mejorar el rendimiento y calidad de las fibras no sólo en higuerilla, sino también en otros cultivos de interés como los utilizados para la fabricación de papel o para forrajes en la alimentación de ganado.

## 2.15. BIBLIOGRAFÍA

CORREA CARDONA, HÉCTOR. (2018). De Parmentier a Van Soest y más allá: un análisis histórico del concepto de métodos de determinación de la fibra en alimentos para rumiantes. *Livestock Research for Rural Development*. 30.

AGUIRRE HERNÁNDEZ, A. (2009). El manejo de la conductividad eléctrica en fertirriego.

ALBERT A, YENUSH L, GIL-MASCARELL MR, RODRÍGUEZ PL, PATELS, MARTÍNEZ- RIPOLL M, BLUNDELL TL, SERRANO R. (2000). X-ray structure of yeast Hal2p, a major target of lithium and sodium toxicity, and identification of framework interactions determining cation sensitivity. *J Mol Biol* 295: 927- 938.

ALBINANTE, S., PACHECO, E., E VISCONTE, L. (2013). Revisão dos tratamentos químicos da fibra natural para mistura com poliofelinas. *Química Nova*, 36(1), 114-122.

ALLEN, R.G., L.S. PEREIRA, D. RAES Y M. SMITH. 2006. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje No. 56. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma. 298 p.

ARMENDÁRIZ V., J. (2012). Caracterización fenotípica y molecular de genotipos de higuierilla (*Ricinus communis* L.) para la producción de biodiesel. Tesis de Maestría en Ciencias, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, NL, México.

BABITA, M., M. MAHESWARI, L.M. RAO, A.K. SHANKER AND D.G. RAO. 2010. Osmotic adjustment, drought tolerance and yield in castor (*Ricinus communis* L.) hybrids. *Environmental and Experimental Botany*, 69(3):243-249.

- BACA CASTILLO, G. A. DE J., RODRÍGUEZ CRUZ, E., QUEVEDO NOLASCO, A. (2016). La solución nutritiva en hidroponía. Ecatepec, estado de México. p. 154
- BAJPAL, D., TYAGI V.K. 2006. Biodiesel: Source, Production, Composition, Properties and its Benefits. J. Am. Oil Chemical. Soc., Vol.72:1557-1564.
- BENAVIDES, A., BENJUMEA, P., & PASHOVA, V. (2007). Castor oil biodiesel as an alternative fuel for diesel engines. Dyna, 74(153), 141–150.
- BERMAN, P.; NIZRI, S. AND WIESMAN, Z. 2011. Castor oil biodiesel and its blends as alternative fuel. Bio. Bioen. 35(7):2861-2866.
- BRIGHAM, R.D. 1993. Castor: Return of an old crop. pp. 380-383. In: J. Janick and J.E. Simon (eds.). New crops. Wiley, New York, USA.
- CABRALES ROBERTO A., MARRUGO N., J. L. N., & L., A. C. J. (2014). Rendimientos en Semilla y Calidad de los Aceites del Cultivo de Higuierilla (*Ricinus communis* L.) en el Valle del Sinú, Departamento de Córdoba (1ra ed.; Universidad de Córdoba, Ed.). Montería, Colombia.
- CALVO, B. E. 2006. Biocombustibles de plantas para producción de biodiesel. Rev. Soc. Química. Perú. Vol. 72(1): 44-48.
- CHÁVEZ, ESTEBAN & PRECIADO RANGEL, PABLO & BENAVIDES MENDOZA, ADALBERTO.(2006). Manual para preparación de soluciones nutritivas.
- CLIMA-DATA.ORG. Consulta realizada en línea el día 25/06/19 en: <https://es.climate-data.org>
- CÓRDOBA GAONA, O. DE J. (2013). Comportamiento ecofisiológico de variedades de higuierilla (*Ricinus communis* L.) para la producción sostenible de aceite y biodiesel en diferentes agroecosistemas colombianos (Universidad Nacional de Colombia).
- CORRAL RUÍZ, J. U., MEDINA GARCIA, G., GÓNZALEZ ACUÑA, I. J., FLORES LÓPEZ, E. H., RAMÍREZ OJEDA, G., ORTÍZ TREJO, C., MARTÍNEZ PARRA, R. A. (2013). Requerimientos agroecológicos de cultivos. En Requerimientos agroecológicos de cultivos.
- CUETO WONG, J. A., PRIETO RUÍZ, J. Á., & MACÍAS GARCÍA, L. V. (2009). XLV Reunión nacional de innovación agrícola y forestal. Saltillo, Coahuila.
- DALLA, C. B., PIRASELLO M. L. Y QUERINI C. A. 2005. Procesos de producción de biodiesel: uso de materias primas alternativas y de alta acidez. Petroquímica, Petróleo, Gas & Química 23(4):134- 139.

- DE SOUSA L., J.R., DANTAS A., A.C., SOARES DE S., E., DE OLIVEIRA L., C.A.B., & DA SILVA, I.F. (2013). Seasonal and interannual variations of evapotranspiration, energy exchange, yield and water use efficiency of castor grown under rainfed conditions in northeastern Brazil. *Industrial Crops and Products*, 50, 203-211.
- DÍAZ P., G. 2008. Potencial productivo de la higuierilla para temporal en México. Agromapas. INIFAP. 32p.
- DIETER KLEMM, B. HEUBLEIN, H.-P. FINK, A. BOHN. (2005). Cellulose: Fascinating Biopolymer and Sustainable Raw Material, *Angewandte Chemie International Edition* 44. 3358 – 3393.
- DOUGLAS A. SKOOG, F.J.H., STANLEY R. CROUCH. Principios de análisis instrumental. sexta ed. 2008, Mexico.
- DOVE. 2006. Castor bean *ricinus communis* an international botanical answer to biodiesel production & renewable energy. Dove Bio- tech Limited. 26 p.
- EGLI, D. B.; WIRALAGA, R. A. AND RAMSEUR, E. L. 1987. Variation in seed size in soybean. *Agron. J.* 79:463-467.
- ELÍAS C., F. Y F. CASTELLVI. 1996. Agrometeorología. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 517 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 No. 13. Sto. Domingo Barrio Bajo, Etlá, Oax. 44 p.
- ESTEBAN ANASTACIO, H. (2007). Evaluación de diferentes genotipos de tomate con fertilización orgánica bajo invernadero. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- FALASCA, S.L; ULBERICH, A.C. Y ULBERICH, E. (2012). Developing an Agroclimatic Zoning Model to Determine Potential Production Areas for Castor Bean (*Ricinus communis* L.). En: *Industrial Crops and Products*. 40:185-191.
- FAO. 1994. ECOCROP 1. The adaptability level of the FAO crop environmental requirements database. Versión 1.0. AGLS. United Nations Food and Agriculture Organization (FAO). Rome, Italy.
- FAO. 2000. ECOCROP. Version Online [www.ecocrop.fao.org](http://www.ecocrop.fao.org). FAO. Roma, Italia.

- FAO. 2014. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org>.
- FAOSTAT. (2010). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estadísticas. En: <http://faostat.fao.org>. Fecha de consulta: 21/06/2019.
- FIXEN P.E. 1993. Crop responses to chloride. *Advances in Agronomy*. 50: 107-150.
- GARCÍA ARELLANO, H. E., LEÓN ADRADE, M., & ORTEGA HERNÁNDEZ, A. (2017). Cadena productiva de la higuera (*Ricinus communis* L.) Comercialización: Un eslabón con oportunidad económica para pequeños productores de Guanajuato. *Jóvenes en la Ciencia*, 3(2), 1194–1199.
- GARCÍA DE MIRANDA, ENRIQUETA. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. México. UNAM, Instituto de Geografía.
- GOERING, H.K. and VAN SOEST, P.J. 1970. Forage fiber analysis. Washington DC, US Department of Agriculture. (Agriculture Handbook 379).
- GÓMEZ MERCADO, D. R., GÓMEZ MERCADO 2, I. R., MARTÍNEZ CRUZ, E., & ZARAZÚA DELGADILLO, M. Á. (2014). Tecnología de producción de higuera en el estado de Hidalgo. p. 29.
- GONZÁLEZ Á., A. 2003. Validación de un híbrido de Higuera (*Ricinus Communis* L.) en tres localidades del sur de Jalisco. Memoria Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal. Saltillo, México 2009. Resumen. p. 280
- GONZÁLEZ ÁVILA, A., GARCÍA MARISCAL, K. DE LA P., HERNÁNDEZ GARCÍA, M. A., RICO PONCE, H. R., HERNÁNDEZ MARTÍNEZ, M., SOLÍS BONILLA, J. L., & ZAMARRIPA COLMENERO, A. (2011). Guía para cultivar higuera (*Ricinus communis* L.) en Jalisco. (p. 52). p. 52. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México.
- GONZÁLEZ DE C., M. 1984. Especies vegetales de importancia económica en México. Ed. Porrúa. México, 305 p.
- GOYTIA JIMÉNEZ, M. A., GALLEGOS GOYTIA, C. H., & NÚÑEZ COLÍN, C. A. (2011). Relación entre variables climáticas con la morfología y contenido de aceite de semillas de higuera (*Ricinus communis* L.) de Chiapas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, XVII (1), pp.41–48.

- GRAJALES, S. M., RUIZ C. P. Y ZAMARRÍPA C. A. 2009. Evaluación de rendimiento y caracterización agronómica de 20 colectas de higuierilla (*Ricinus communis* L.) en la Cuenca Cahoacán del Soconusco Chiapas. Memoria Crisis alimentaria y energética: Retos para el Siglo XXI. Reunión Anual de la Sociedad del PCCMCA. San Francisco de Campeche, México. Resumen. p. 117
- GRIMMER, C., T. BACHFISCHER AND E. KOMOR. 1999. Carbohydrate partitioning into starch in leaves of *Ricinus communis* L. grown under elevated CO<sub>2</sub> is controlled by sucrose. *Plant, Cell and Environment*, 22: 1275-1280.
- GUERRA, E., BAUTISTA, D. 2002. Contenido foliar de elementos nutricionales en tres clones de guayaba (*Psidium guajava* L) en época de alta actividad de crecimiento. *Bioagro* 1 (2) 99-104.
- HERNÁNDEZ M. M., M. H. S. (2018, mayo). Guanajuatol: variedad de higuierilla para extracción de aceite industrial para Guanajuato. INIFAP, p. 36. Celaya, Guanajuato, México.
- INNOVACIONES TECNOLÓGICAS AGROPECUARIAS S.A. Insumos para la producción de biocombustibles. 2008.
- IPNI. (2014). Cloruro de potasio. En Fuentes de Nutrientes Específicos. EE.UU.
- ISMAIL CAKMAK, CHRISTINE HENGELER, HORST MARSCHNER.1994. Partitioning of shoot and root dry matter and carbohydrates in bean plants suffering from phosphorus, potassium and magnesium deficiency, *Journal of Experimental Botany*, Volume 45, Issue 9, September, Pages 1245–1250
- JACHMANIAN I., PÉREZ G. E., VILLAMIL J., V. J. J. (2009). El cultivo de tártago (*Ricinus communis* L.) en el Uruguay : Información preliminar. Montevideo, Uruguay: de Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología INIA. p. 20
- JAKOBSEN, S. 1993. Interaction between Plant Nutrients: III. Antagonism between Potassium, Magnesium and Calcium. *Acto Agric. Scand.. Sec.: B. Soil and Plan: Sci.:* 43, 1-5
- JIMÉNEZ O. R.; M. R. ALEMÁN M.; R. ROSALES S.; J. C. RÍOS S.; C. A. NAVA M. 2012. Caracterización morfológica y química de poblaciones naturales de higuierilla de diferentes sitios del estado de Durango. Memoria del VIII Simposio Internacional Sobre Flora Silvestre en Zonas Áridas. Universidad Autónoma Chapingo-URUZA. Bermejillo, Dgo. Méx. pp. 649-658.

- JIMÉNEZ OCAMPO, R., RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, J. A., RUÍZ FLORES, L. A., MATEOS DÍAZ, J. C., & ROSALES SERNA, R. (INIFAP). (2013). Detoxificación de pastas de higuera y jatropa. *Igarss* 2014, pp. 1–32. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- JOHN, M. J., AND THOMAS, S. (2008). Biofibres and biocomposites. *Carbohydrate polymers*, 71(3), 343-364.
- KALIA, S., KAITH, B. S., AND KAUR, I. (2009). Pretreatments of natural fibers and their application as reinforcing material in polymer composites—a review. *Polymer Engineering and Science*, 49(7), 1253-1272.
- L. JUÁREZ, A. MARTÍNEZ, F. DÍAZ Y L. VÁZQUEZ (2019). Higuera (*Ricinus communis* L.) Plants adaptation under greenhouse conditions. *La ciencia y las mujeres en Mexico. Handbooks* ©ECORFAN Mexico, Queretaro.
- LEAL ALVARADO, D. A. (2009). Caracterización Morfométrica de cinco ecotipos de higuera (*Ricinus communis*) en la ESPOL “Campus Gustavo Galindo”. Centro de Investigación Científica de Yucatán, (2009). p 110.
- LEAL D., E. JIMÉNEZ. 2009. Caracterización Morfométrica de cinco ecotipos de higuera (*Ricinus communis*) en la ESPOL “Campus Gustavo Galindo”.
- LIMA, J. R. S.; DANTAS, A. A. C.; SOARES, S. E.; BRAYNER, O. L. C. A. AND DA SILVA, I. F. 2013. Seasonal and interannual variations of evapotranspiration, energyexchange, yield and water use efficiency of castor grown underirrigated conditions in northeastern Brazil. *Industrial Crops and Products*. (50):203- 211
- LÓPEZ, P. E. 2008. Análisis y perspectivas del mercado mundial de aceites, grasas y proteínas. ANIAME, México. 58:12-21.
- MANUEL PANEQUE CELIÁN ROMÁN-FIGUEROA RODRIGO VÁZQUEZ-PANIZZA JOSÉ MIGUEL ARRIAZA DARÍO MORALES MARCELA ZULANTAY, A., & PANEQUE, M. (2011). Bioenergía en Chile.
- MARSCHNER, P. 2012. Mineral nutrition of higher plants. 3tr ed London. Elsevier.
- MELO W.C.; A.S. DOS SANTOS; L. M. M. SANTA ANNA; N. PEREIRA JR. 2008. Acid and enzymatic hydrolysis of the residue from castor bean (*Ricinus communis* L.) oil extraction for ethanol production: Detoxification and biodiesel process integration. *Journal of Brazilian chemistry society*. Vol. 19, No.3, pp 418-425.



- MIKKELSEN, R. (2010). Fuentes de magnesio. International Plan Nutrition Institute, 94(2), 20–23.
- MOSHKIN, V. A. AND ALEKSEEV, A. P. 1986. Ripening of seeds. In: Moshkin, V.A. (Ed.). Castor. New Delhi, Amerind. 315 p.
- MUTLU, H. AND MEIER, R. 2010. Castor oil as a renewable resource for the chemical industry. Eur. J. Lipid Sci. Technol. 112(1):10-30.
- NAVAS A. (Ed.). 2008. Higuierilla: Alternativa Productiva, Energética y Agroindustrial para Colombia. Centro de Investigación La Selva CORPOICA. Rionegro Antioquia, Colombia.
- OLIVEROS DÍAZ, M., & J. LONDOÑO, F. (2007). Diferencias en el uso de nitrato de potasio y sulfato de potasio. IPNI, 1, 5.
- PIZARRO, F. (1985). Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Agrícola española, S.A. Madrid, España.
- PORTILLO, M. L., MARTÍNEZ, R. N., ORTEGA, R. A., MERCADO, G. R., & RAMOS, P. A. (2017). Manejo de higuierilla (*Ricinus communis* L.) para el Valle del Mezquital, Hidalgo. Valle del Mezquital, Hidalgo, México: Universidad Politécnica de Francisco I. Madero.
- PURSEGLOVE, J.W. 1987. Tropical crops: Dicotyledons. Longman Scientific and Technical. Singapore. 719 p.
- R. RINALDI, F. SCHUTH. (2009). Acid hydrolysis of cellulose as the entry point into biorefinery schemes. ChemSusChem. 2. 1096-1107.
- REDDY, P. R. AND GOSS, J. A. (1971), Effect of salinity on pollen i. pollen viability as altered by increasing osmotic pressure with NaCl, MgCl<sub>2</sub>, and CaCl<sub>2</sub>. American Journal of Botany, 58: 721-725.
- 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 higuierilla (*Ricinus communis* L.) en Michoacán. Folleto Técnico Núm. 1. INIFAPCIRPAC Campo Experimental Valle de Apatzingán.
- ROBERT E, P. (2004). Organic matter, humus, humate, humic acid, fulvic acid and humin: their importance in soil fertility and plant health. Igarss, (1), 17.
- ROBLES. S.R. 1980. Producción de oleaginosas y textiles. Ed. LIMUSA. México. Pag. 507-518.

- RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ, RAFAEL, ZAMARRIPA COLMENERO, ALFREDO, Competitividad de la higuera (*Ricinus communis*) para biocombustible en relación a los cultivos actuales en el estado de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Agronegocios* [en línea] 2013, 32 (Enero-Junio): [Fecha de consulta: 21 de junio de 2019] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14125584013>> ISSN 1405-9282.
- ROSALES S. R.; R. JIMÉNEZ O.; S. ARELLANO A. 2013. Validación del rendimiento de higuera cultivada en dos densidades de población en el estado de Durango. *Memoria de la XXV Semana Internacional de Agronomía*. Venecia, Durango, Méx. pp. 502-509.
- ROSS, M. (2004, enero 1). Importancia del magnesio para altos rendimientos sostenibles en palma de aceite. *Revista Palmas*, 25(especial, ), 98-104.
- RUIZ C., J.A., G. MEDINA G., I. J. GONZÁLEZ A., H.E. FLORES L., G. RAMÍREZ O., C. ORTIZ T., K.F. BYERLY M. Y R.A. MARTÍNEZ P. 2013. Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. 564 p.
- RUIZ, C. J. A., GONZÁLEZ, E. D. R., GONZÁLEZ, A. A. Y MEDINA, O.S. 2001. Informe de investigación. Diagnóstico de Áreas con potencial agroecológico para especies Oleaginosas en Jalisco. Documento inédito. INIFAP. CIRPAC. p. 19
- Tas, G. C. Y RZEDOWSKI, J. 2001. *Flora fanerogámica del Valle de México*. 2ª Edición. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México. 1406 p.
- SAGARPA. (2017). Bioenergéticos higuera, *Jatropha curcas*, sorgo dulce mexicanos (p. 32). p. 32. Ciudad de México: SAGARPA.
- SAGARPA. (2017). Planeación agrícola nacional 2017-2030. Bioenergéticos: higuera, *Jatropha curcas*, sorgo dulce mexicanos. 32.
- SAMAYOA M. O. 2007. *Manual Técnico del Higuero*. Ministerio de agricultura y ganadería. El Salvador C.A. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, CENTA. Programa Agroindustrial. 17

- SERRANO FERRER, L. (2013). Efecto de CaCl<sub>2</sub> y MgCl<sub>2</sub> en el cultivo in Vitro de *Plantago crassifolia* Forssk.
- SHALLER, D. 1976. AACC Meeting New Orleans LA; AACC Method 32-20, First Approval 10/26/77. Minneapolis, MN, Methods of the American Association of Cereal Chemist.
- SOLÍS BONILLA, J. L., MUÑOZ OROZCO, J. A., ESCALANTE ESTRADA, J. A. S., & ZAMARRIPA COLMENERO, A. (2016). Crecimiento de variedades y componentes del rendimiento de higuierilla (*Ricinus communis* L.) en Montecillo, Estado de México \* Growth of varieties and yield components of higuierilla (*Ricinus communis* L.) in Montecillo, State of México Resumen Introdu. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 7(2), 311–323.
- TANJI. K. 1990. Agricultura! Salinity Assessment and Management. American Society of Civil Engineers. New York.
- TASKILA, SANNA & SÄRKELÄ, RIIKKA & TANSKANEN, JUHA. (2015). Valuable applications for peat moss. Biomass Conversion and Biorefinery. p 15
- TÁVORA, F. J. A. 1982. A cultura da mamona. Fortaleza, EPACE. 111 p.
- THAKUR, V.K. (Ed.). (2013). Green composites from natural resources. CRC Press.
- UGOLINI, J. 2000. Biodiesel. Estudio para determinar la factibilidad técnica y económica del desarrollo del biodiesel. Santa Fe, Argentina. 25 p.
- VAN SOEST PJ, ROBERTSON JB. Systems of Analysis for Evaluating Fibrous Feeds. En: Pigden WJ, Balch CC, Graham M. (eds.) Standardization of Analytical Methodology in Feeds. Ottawa: International Research Development Center; 1980. p. 49-60.
- VANAJA, M., M. JYOTHI, P. RATNAKUMAR, P. VAGHEERA, P. RAGHURAM REDDY, N. JYOTHI LAKSHMI, S.K. YADAV, M. MAHESHWARI, B. VENKATESWARLU. 2008. Growth and yield responses of castor bean (*Ricinus communis* L.) to two enhanced CO<sub>2</sub> levels. Plant Soil Environ. 54(1):38-46.
- VASCO LEAL, J. F., ISMAEL, H. R., S., M. G., S. DE J. VENTURA RAMOS, JR, E., CUELLAR NÚÑEZ M. L., & D., M. A. J. (2017). Relation between the chemical composition of the seed and oil quality of twelve accessions of *Ricinus communis* L. Resumen. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 8(6), 1343–1356.

- VÁSQUEZ PIÑONES, S., & AVILA ACOSTA, LUIS ALEJANDRO; FLORENCE, T. (2017). Alianzas productivas en agrocadenas. En FAO (Vol. 51). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- VÁZQUEZ NAVARRO, J. M., PUENTES GUTIÉRREZ, J., MARTÍNEZ RÍOS, J. J., LÓPEZ CALDERON, M. J., VÁZQUEZ NAVARRO, M. DE J., CAMACHO RODRÍGUEZ, S. Y., & SANTANA RODRÍGUEZ, R. (2014). 26 Semana Internacional de Agronomía. Venecia, Durango, México.
- VELÁSQUEZ, SANDRA & PELÁEZ ARROYAVE, GABRIEL & GIRALDO, DIEGO. (2016). Uso de fibras vegetales en materiales compuestos de matriz polimérica: una revisión con miras a su aplicación en el diseño de nuevos productos. *Informador Técnico*. 80. 77. 10.23850/22565035.324.
- VIFINEX. (2002). Producción de sustratos para Viveros. OIRSA, p. 47. Recuperado de <https://www.chapingo.mx/revistas/revistas/articulos/doc/rchshV741.pdf>
- WEISS, E. A., (1983). *Oilseed crops*. London: Longman. 660 p.