

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO**



**Efecto de la aplicación de sustancias húmicas en el rendimiento de
aceite de higuera (*Ricinus Communis*)**

Por:

Elisa Carina Pedroza Rodríguez

Tesis

Presentada como Requisito Parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRICOLA Y AMBIENTAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila México

Diciembre, 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO

Efecto de la aplicación de sustancias húmicas en el rendimiento de
aceite de higuera (*Ricinus Communis*)

Por:

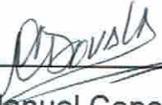
Elisa Carina Pedroza Rodríguez

TESIS

QUE SE SOMETE A CONSIDERACION DEL H. JURADO
EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TITULO DE:

INGENIERO AGRICOLA Y AMBIENTAL

En el presente trabajo de investigación el Ing. Juan Manuel Cepeda Dovala presidente de jurado, reconoce al Dr. Marco Antonio Castillo Campohermoso como director de la tesis y como coasesores a Dr. Antonio Serguei Ledezma Pérez y a Ing. José de Jesús Rodríguez Sahagún de la alumna Elisa Carina Pedroza Rodríguez.



Ing. Juan Manuel Cepeda Dovala
Presidente

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO

Efecto de la aplicación de sustancias húmicas en el rendimiento de aceite de
higuerilla (*Ricinus Communis*)

POR:

ELISA CARINA PEDROZA RODRÍGUEZ

TESIS

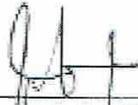
QUE SE SOMETE A CONSIDERACION DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TITULO DE:

INGENIERO AGRICOLA Y AMBIENTAL

Aprobada por el comité de asesoría:



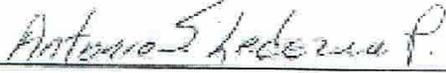
Ing. Juan Manuel Cepeda Dovala
Presidente



Dr. Marco Antonio Castillo Campohermoso
Director



Ing. José de Jesús Rodríguez Sahagún



Dr. Antonio Serguei Ledezma Pérez





M.C. Sergio Sánchez Martínez
Coasesor
Coordinador de la división de ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Diciembre 2019.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a mi padre dios, que me ayudo a llegar a este punto de mi vida, por poner todos los medios necesarios para lograr terminar mi carrera universitaria con éxito y siempre darme las fuerzas para seguir adelante. Por ayudarme a vencer todas las adversidades que, aunque no fueron fáciles siempre pude lucharlas de pie.

A mis padres Juan Pedroza y Juana Ma. Ortiz

Gracias por el apoyo en cada paso que doy y en cada decisión que he tomado, por soportar mis malos momentos, por cuidarme en los momentos de enfermedad, por alentarme en momentos de tristeza y por festejar conmigo en los momentos de felicidad. Los quiero con toda mi alma, son los mejores padres que dios pudo asignarme para guiarme en esta vida.

Gracias por todos los sacrificios que han hecho para poder sacarnos adelante a todas en especial a mí, nunca voy a tener lo suficiente para poder pagarles todo lo que me han dado.

A mis hermanas

Aidé C., Tania F., por sus consejos, por su buen ejemplo y por siempre alentarme a seguir estudiando para poder ser alguien en la vida, aunque no lo demuestre muy seguido son mi mejor ejemplo después de mis padres, siempre están en mi corazón.

A mi hermana

Carla G. gracias mi Charly por ser mi confidente y mi cómplice en muchas cosas, gracias por los regaños que, aunque pocos me han servido mucho, gracias por ser un ejemplo de felicidad y despreocupación para mí que soy tan diferente a ti, te quiero mucho.

A mi abuelita Antonia Ortiz Ibarra

Antonia Ortiz por siempre cuidarme desde niña, por sus regaños tan bonitos y por todo el amor de abuelita que me ha brindado, por ser mi segunda madre y por siempre apoyarme con su amor incondicional en cada momento de mi vida, la amo mucho.

A mi abuelito Carlos Rodríguez Esquivel +

Aunque a lo largo de este tiempo no pudo estar presente físicamente, estoy completamente segura de que en espíritu y en mi corazón siempre fue así. Gracias por todo el cariño que me entrego tantos años, por ser el mejor abuelito del mundo, por su buen ejemplo de siempre tratar de salir adelante y no dejarse caer por cualquier problema. Le quiero con toda mi alma.

A mi novio

Le doy gracias a dios por ponerte en mi camino, por ser mi amigo incondicional, mi más fiel confidente y el amor de mis días. Gracias por todo tu apoyo en mis momentos más difíciles, por todos los consejos y por los ánimos que me das cuando siento que no puedo más, gracias por el

amor que me has demostrado a lo largo de este tiempo y por todos los momentos vividos a tu lado. Edgar del Ángel Mosqueda ¡Te amo!

Agradezco a dios por permitirme conocer a lo largo de mi estancia en la Narro, a muchas de las mejores personas de mi vida, por permitirme tener la dicha de conocer personas maravillosas, por conocer el verdadero significado de lo que es una amistad. Siempre los llevo en mi corazón amigos, Octavio, Marcelo, Ramiro y Guadalupe.

Gracias a mis asesores externos del CIQA Dr. Marco Antonio Castillo Campohermoso y el Dr. Antonio Serguei Ledezma Pérez, por toda la paciencia que tuvieron conmigo para poder terminar con gran éxito mi trabajo y experimento de tesis, por brindarme todos los medios necesarios en esta gran experiencia.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE GRÁFICAS

ÍNDICE DE FIGURAS

INTRODUCCIÓN.....1

REVISION DE LITERATURA.....3

2.1 Clasificación taxonómica descripción botánica

2.2 Planta de higuera

2.3 Descripción de planta

2.4 Requerimientos climaticos

2.5 Requerimientos edaficos

2.6 Epoca de siembra

2.7 Manejo agronómico

2.8 Siembra

2.9 Densidad de población

2.10 Fertilización

2.11 Cosecha

2.12 Manejo de poscosecha

2.13 Importancia de la higuera

2.13.1 Importancia Internacional del cultivo de higuera

2.13. 2 Importancia nacional

2.14 Derrama económica

2.15 Sustancias húmicas

2.15.1 Efectos de las sustancias húmicas

2.15.1.1 Ácidos fúlvicos

2.15.1. 2 Ácidos húmicos

EFFECTO DE MAGNESIO EN LA PLANTA.....14

EFFECTO DE POTASIO EN LA PLANTA.....15

MÉTODOS DE EXTRACCION DE ACEITE.....15

5.1 Extracción en Expeler

5.1.1 Prensado en frio

5.1. 2 Prensado en caliente

5. 2 Método extracción por solventes

5.2.1 Soxhlet	
5.2.2 Método de extracción acelerada	
OBJETIVOS	21
6.1 General	
6.2 Específico	
HIPOTESIS	21
MATERIALES Y MÉTODOS	22
8.1 Localización del trabajo	
8.2 Metodología	
8.2.1 Manejo en campo	
8.2.2 Materiales utilizados en el laboratorio	
8.2.3 Métodos utilizados para la evaluación	
8.2.3.1 Método Extracción Acelerada (EA)	
8.2.3.2 Método Soxhlet	
RESULTADOS	28
DISCUSIÓN	36
CONCLUSIÓN	37
LITERATURA CITADA	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Principales países productores de higuierilla.....	10
Tabla 2 Sinonimias de Higuierilla.....	10
Tabla 3 Principales estados productores de higuierilla en México.....	11
Tabla 4 Características fisicoquímicas del suelo empleado en el experimento.....	23
Tabla 5 Tratamientos aplicados en el experimento	23
Tabla 6 Diferentes condiciones para poner a punto el método EA.....	29
Tabla 7 Análisis estadístico (análisis de varianza, medias y prueba de Tukey con un 95% de confianza) del contenido de aceite por el método Soxhlet.....	30

Tabla 8 Análisis estadístico (análisis de varianza, medias y prueba de Tukey con un 95% de confianza) del contenido de aceite por el método de extracción acelerada.....	32
Tabla 9 Análisis estadístico (análisis de varianza, medias y prueba de Tukey con un 95% de confianza) del contenido de aceite por el método de extracción acelerada vs soxhlet.....	33
Tabla 10 Análisis estadístico (análisis de varianza, medias y prueba de Tukey con un 95% de confianza) del contenido de aceite en semillas silvestres.....	34
Tabla 11. Análisis estadístico (análisis de varianza, medias y prueba de Tukey con un 95% de confianza) del contenido de aceite en semillas silvestres vs semillas tratadas.....	36

ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1 Resultados obtenidos en porciento de la cantidad de aceite extraído mediante el método de extracción Soxhlet.....	31
Gráfica 2 Resultados obtenidos en porciento de la cantidad de aceite extraído por el método de extracción acelerada.....	32
Gráfica 3 Comparación de porciento de aceite extraído mediante el método Soxhlet y el método de extracción acelerada.....	34
Gráfica 4 Porciento de aceite obtenido en semillas silvestres.....	36
Gráfica 5 Comparación del porciento de aceite encontrado en las semillas silvestres a las cuales no se les dio ningún manejo agronómico vs las semillas a las que se les aplicó tratamiento.....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura del sistema Expeler.....	17
Figura 2 Estructura del sistema Soxhlet.....	19
Figura 3 Estructura del sistema de Extracción acelerada.....	20
Figura 4 Ubicación del trabajo experimental.....	24

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos de Mg y K en el rendimiento de aceite en la semilla higuera, para lo cual se realizaron extracciones por el método de extracción acelerada (ASE) y el método Soxhlet.

Los resultados obtenidos en el rendimiento de aceite de higuera con relación al efecto que se esperaba al aplicar humatos y fulvatos mediante el riego a la planta solo se encontró diferencia en las cantidades de aceite, siendo el tratamiento con mayor porcentaje de aceite al tratamiento que se le aplicó FMgK, con un porcentaje extraído del 53.1 %.

Sin embargo, al comparar los dos métodos de extracción evaluados, el mejor método para la extracción fue el método de extracción Acelerada dando como ventaja un 11.13% más de aceite en comparación al método Soxhlet.

Palabras claves: *Ricinus communis*: Humatos, Fulvatos, Soxhlet, ASE.

INTRODUCCIÓN

La higuera (*Ricinus communis*) es un cultivo oleaginoso no comestible, el cual se emplea en la elaboración de bioetanol y biodiesel; también, se utiliza en diversas ramas de la industria tales como: fertilizantes, cuidado personal, automotriz, farmacéutica, plásticos y pinturas, para la fabricación de papel y cerca de 200 productos más, elaborados a base de esta planta por lo que se considera un cultivo económicamente redituable. (EcuRed, 2016).

La planta es conocida por tolerar condiciones climáticas adversas, presenta un crecimiento en forma de arbusto cuyo centro de origen se reporta dentro del continente africano, tiene gran diversidad en altura de planta, color y tamaño de grano y una amplia adaptación a diversos ecosistemas. Se logra producir desde el nivel del mar hasta aproximadamente 2,300 msnm y con precipitaciones desde 400 a 3000 mm y un potencial de rendimiento de 600 a 3000 kg/Ha, su cosecha va de 1 a 3 cortes por año (Portillo L. *et al.* 2017). Los principales países productores de higuera a nivel mundial son Brasil, India, China, Etiopía y Paraguay. Siendo Sonora y Nayarit los más importantes productores dentro de México. Por la importancia creciente del cultivo de higuera en el mundo y en México y por las tendencias mundiales de la agricultura sustentable y/o sostenible, la búsqueda de técnicas de producción agrícola económica y ecológicamente factible ha tomado gran importancia; Es conocido que el uso de fertilizantes químicos en la agricultura, ha traído grandes beneficios al incrementar el rendimiento por superficie, sin embargo, la mayoría de éstos son derivados de recursos naturales no renovables; por lo que, una alternativa que puede ayudar a los agricultores en la producción vegetal sustentable y sostenible, pudiera ser el uso de sustancias húmicas para un mejor equilibrio entre el medio ambiente y la producción agrícola.

Las sustancias húmicas son compuestos orgánicos de naturaleza compleja, de elevado peso molecular, de color amarillo y café hasta negro, formadas por reacciones bioquímicas durante la descomposición de la materia orgánica (MO), estas se dividen en tres:

1. Ácidos Húmicos (AH): Es la fracción de las sustancias húmicas que son solubles en medio alcalino, pero insolubles en medio ácido. Cuentan con una estructura flexible y ramificada, con multitud de cavidades internas, lo que determina su capacidad de absorción de agua.
2. Ácidos Fúlvicos: Son la fracción de las sustancias húmicas que son solubles en medio alcalino y ácido. Por su gran abundancia de grupos carboxilos e hidroxilos, son muy reactivos químicamente, resultando en una alta capacidad de intercambio catiónico, por su tamaño son de muy fácil absorción para la planta, raíces y hojas.
3. Huminas: Es la fracción de las sustancias húmicas que no son solubles en medio alcalino ni ácido. Es la parte del humus más resistente a la descomposición.

Cuando dichos compuestos como son ácidos húmicos y fulvicos son adicionados con nutrimentos, éstos son denominados humatos y/o fulvatos del elemento químico dominante.

Los humatos y fulvatos de magnesio y potasio coadyuvan en la formación de clorofila, activar más enzimas que cualquier otro catión, intervenir en la síntesis de algunas proteínas, participar en la formación de las moléculas de ATP y en la producción de aceite, ceras y grasas dentro de las plantas (Castellanos, 2000).

Por lo anterior se considera importante la evaluación del efecto que podría causar la aplicación de tratamientos con humatos y fulvatos de magnesio y potasio, dentro de los rendimientos de aceite en la semilla de higuera.

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Clasificación Taxonómica de la higuera

Según la USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) la clasificación taxonómica de la planta de higuera es la siguiente:

- **Reino:** Plantae
- **Subreino:** Tracheobionta
- **División:** Magnoliophyta
- **Clase:** Magnoliopsida
- **Orden:** Euphorbiales
- **Familia:** Euphorbiaceae
- **Género:** Ricinus L.
- **Especie:** *Ricinus communis* L.

2.2 Planta de higuera

La higuera es una planta xerófila (adaptada en un ambiente seco y con poca disponibilidad de agua), tolerante a la sequía y heliófila (demandante de mucha radiación solar). Sin embargo, necesita de lluvias regulares durante su fase vegetativa y periodos secos en la fase de madurez de los frutos. Es muy exigente en la fertilidad del suelo, por lo tanto, un manejo de fertilización orgánica o mineral debe de ser hecha en atención a las necesidades las cuales se basan en darle importancia a la aplicación de calcio y fosforo para obtener una buena productividad.

La planta de higuera se utilizó en la antigüedad para extraer su aceite y ser usado en antorchas o candiles requeridos para el alumbrado e incluso, en aplicaciones medicinales al ser dispuesta como remedio para contrarrestar trastornos digestivos, atacar la erisipela (una infección cutánea distinguida principalmente por erupciones rojizas en la cara y el cuero cabelludo, acompañada por fiebres), dolores estomacales, heridas, inflamaciones, abscesos, reumatismo e incluso, fue usada como purgante y se destaca que ingerir sus semillas puede ser mortal por su contenido de ricina; La

cual es una potente toxina que al ingerirse puede provocar problemas gastrointestinales graves, hasta llegar en algunos casos a la muerte. Sus hojas, también se emplearon para aliviar algunos dolores corporales. Además, se reconoce que su raíz adicionalmente tiene propiedades para disminuir la fiebre (Severino L., 2005).

Actualmente, la industrialización de la higerilla origina como subproducto la pasta o llamada también torta (es el residuo que queda después de prensar las semillas), es rica en proteínas y puede ser utilizada en la restauración de suelos degradados, así mismo contiene la proteína llamada ricina altamente toxica en animales como nematodos, insectos, entre otros, esta se concentra en el endospermo de la semilla, permanece en la torta tras la extracción del aceite, cabe mencionar que esta proteína es soluble en agua.

2.3 Descripción de planta

Es una planta herbácea alta, algo arbustiva, de color verde claro a azul-grisáceo, en ocasiones rojiza, llega a medir hasta 6 metros de alto. El cultivo de higerilla es de ciclo anual, se caracteriza por presentar una maduración no uniforme.

Tallo: Engrosado, ramificado. El tallo de la higerilla es hueco cuando la planta es joven, pero tiende a ser leñoso a medida que la planta madura. El largo de los entrenudos es un indicador de las condiciones ambientales que hubo durante el crecimiento de la planta. Según estudios reportados (Severino, 2011), normalmente los entrenudos son largos, cuando se dispone en cantidades suficientes de agua y nutrientes, en períodos secos el crecimiento es lento y los entrenudos cortos.

Raíz: Las raíces de la higerilla son muy desarrolladas, el crecimiento de la raíz central puede llegar a medir más de un metro de profundidad, gracias a ella la planta puede resistir a la sequía (Severino, 2011). La raíz es pivotante y puede alcanzar hasta 3.0 m de profundidad constituyéndose en el anclaje principal de la planta, presenta raíces secundarias numerosas y oblicuas (esto quiere decir que no son rectas) (Rzedowsky, 2001). Las raíces laterales son capaces de explorar grandes áreas a su alrededor, pueden llegar a distancias superiores a los 2 m del tallo de la planta, estas tienen

tendencia a mantenerse próximas a la superficie del suelo donde cuentan con mayor aireación.

Hojas: La higuera generalmente posee hojas grandes, pero no muy numerosas. Las hojas son fundamentales para que la planta tenga resistencia a la sequía y sea eficiente en el uso del agua disponible (Severino, 2011). La tendencia de las hojas es en posición horizontal, para que puedan captar la luz solar con mayor eficiencia, sin embargo, cuando el suelo está seco o cuando la incidencia solar es mayor, estas pueden marchitarse y tomar una posición vertical, lo cual, la planta lo usa como estrategia para no gastar agua. El pecíolo de la hoja tiene la capacidad de flexionarse durante el día para posicionar la hoja frente al sol y aprovechar mejor la radiación. Normalmente el número de hojas y de área foliar se incrementa hasta la mitad de ciclo y después tiende a disminuir cuando los racimos inician el llenado.

Las hojas de higuera pueden tener diferentes formas y colores dependiendo de la variedad, el número de lóbulos (parte redondeada) por hoja va desde siete a doce, siendo este último el que se presenta con menor frecuencia. Las hojas que más abundan son aquellas que tienen entre nueve y diez lóbulos y están en las primeras ramificaciones. (Goytia, 2015)

Inflorescencias: la higuera cuenta con inflorescencias, las cuales pueden presentar diferentes expresiones sexuales como son femeninas, masculinas y hermafroditas. Se agrupan en racimos donde comúnmente las inflorescencias femeninas se encuentran en la parte superior y las masculinas en la parte inferior. Aunque también se pueden encontrar racimos formados con flores de un solo sexo, pueden ser solo femeninas o solo masculinas. Algo poco común es encontrar racimos formados con tres tipos de flores, femeninas, masculinas y hermafroditas

Flores: Flores masculinas con un perianto de 6 a 12 mm de largo, el de las flores femeninas de 4 a 8 mm de largo, ovario densamente cubierto por largos tubérculos blandos, que parecen pelos gruesos.

Frutos y semillas: El fruto es una cápsula subglobosa, de 1.5 a 2.5 cm de largo, con espinas cortas y gruesas (equinado); semillas elipsoides, algo aplanadas, de 10 a 17 mm de largo, lisas, brillantes, frecuentemente jaspeadas de café y gris, conspicuamente carunculadas (Rzedowski, 2001).

2.4 Requerimientos Climáticos

Como planta típica de zonas cálidas, su producción es mayor cuando la media de las temperaturas mínimas se sitúa en torno a los 20°C y la media de las máximas alrededor de los 30°C; si las temperaturas son inferiores a este rango, principalmente durante la floración, suele producirse una disminución en el número de flores femeninas. También, la temperatura tiene mucha importancia en la etapa de la emergencia de la semilla, si esta es menor de 20°C la emergencia se tardará entre 15 a 20 días y si es mayor de 30°C será de seis días siendo este el tiempo óptimo. La planta exige alta luminosidad, requiriendo para completar su ciclo de 10 a 12 horas de luz solar diariamente. Puede producir con baja disponibilidad de agua, pero si dispone de ella, puede prolongar su período de fructificación (Pavón, 2011).

Los cultivares de porte alto son los que mejor resisten los largos períodos de sequía, debido a que su sistema radicular tiene capacidad para alcanzar grandes profundidades. Los cultivares modernos, enanos y con raíces más superficiales, exigen precipitaciones entre 600 y 1000 mm, que permiten obtener producciones de aproximadamente 1000 a 1500 kg. ha⁻¹ de semilla (Severino, 2005).

El cultivo prospera desde el nivel del mar hasta los 2,500 m de altitud, pero conforme aumenta la altitud decrece el contenido de aceite es decir que entre más cerca este del nivel del mar se obtiene mejor y mayor producción (Robles, 1992). La higuierilla requiere una época seca definida después de la floración y su requerimiento de agua durante la etapa de crecimiento es de 600 a 800 mm; tiene gran capacidad de adaptación y hoy en día es cultivada prácticamente en todas las regiones tropicales

2.5 Requerimientos edáficos

La planta puede desarrollarse sin ningún problema en suelos que tengan pH entre 5 y 6.5. Esta planta prospera bien en suelos profundos, de consistencia suelta, con buena aireación, poco compactada y de buen drenaje, de mediana o alta fertilidad, permeables, con altas cantidades de elementos nutritivos y con pH sobre 5,5 (óptimo 6-7), aunque no soporta la alcalinidad (Mejía 2011).

2.6 Época de siembra

La época de siembra también puede ser de gran influencia en cuanto al rendimiento y la calidad de las semillas de ricino. Tavora en 1982 recomienda que, en áreas de poca pluviosidad, las siembras deben ser realizadas tras el inicio de las lluvias; mientras que, en áreas de alta pluviosidad, la siembra puede ser tardía, evitando de este modo que no ocurran lluvias en el momento de madurez y de secado de los frutos.

2.7 Manejo Agronómico

La preparación del suelo consta de labranza convencional se basa en tres actividades principales; barbecho, rastreo y surcado. Estas actividades dependen de las condiciones del terreno, en ocasiones es necesario realizar subsolé y nivelación. Barbecho: Esta labor se realiza después de haber retirado los restos del cultivo anterior, se recomienda a una profundidad de 30 cm, lo cual, genera beneficios tales como: mayor oxigenación, incorporación de materia orgánica al suelo, mayor captación de agua de lluvia y exposición a los rayos solares de insectos en estado inmaduro y patógenos.

Rastreo: Esta labor se realiza después del barbecho con el objetivo de homogeneizar el suelo, pulverizar residuos orgánicos o terrones que se hayan formado durante el barbecho. El número de repeticiones de rastra depende de las condiciones del suelo.

Surcado: Esta actividad se realiza con el objetivo de conformar el área de plantación, se realiza a una distancia de 1.5 m entre surco y surco. Nutrición o manejo de las sustancias húmicas.

2.8 Siembra

En siembras, se utiliza la sembradora con un disco de distribución adecuado para depositar una semilla por metro, a una profundidad de cinco centímetros cuando hay humedad y a ocho centímetros, si no hay humedad, con un espaciamiento entre surcos de 1 m, generalmente. Respetar la profundidad de siembra mencionada, es de gran

importancia, ya que el calor, debido al alto contenido de aceite de la semilla, la quema y disminuye mucho la germinación (Gonzales, 2013).

2.9 Densidad de población

La forma en la que se siembra el cultivo de higuera es el factor que más influye sobre la calidad y rendimiento de la semilla. Su siembra se realiza en un marco de plantación de 1 m x 1.5 m entre surcos y plantas, respectivamente, con una densidad de población de 6,666 plantas ha⁻¹.

2.10 Fertilización

Para una adecuada nutrición en la planta, la fertilización debe responder al análisis nutricional del suelo y de las etapas fenológicas que la planta más lo demanda, en el caso de la higuera la mayor cantidad de nutrientes es en la primera fase de crecimiento, es decir, hasta el inicio de la floración.

Las dosis de N, P, K recomendadas según Cabrales en 2014, en el cultivo de higuera son: al momento de la siembra 50 a 70 kg/ha de fósforo y de 30 a 50 kg/ha de nitrógeno y potasio. A los 25 días después de la emergencia 50 kg/ha de nitrógeno y a los 50 días después se repite la dosis

2.11 Cosecha

La cosecha de esta planta se inicia normalmente a los 120 días cuando las variedades son precoces y a los 150 días en las más tardías. El criterio que debe predominar es: el racimo está listo para cosechar cuando está totalmente seco o tiene solo tres frutos verdes y los demás ya se han secado, habiendo cambiado de color verde a café. Cuando los frutos están verdes, no es fácil abrir la cápsula para retirar las semillas, y la calidad del aceite es baja por el aumento de la acidez. No es aconsejable cosechar fruto por fruto, cuando éstos van secando, debido al alto costo de mano de obra y no

es necesario hacerlo si las variedades son indehiscentes que es cuando el fruto viene encapsulado (Savy Filho *et al.* 2007 citado por Fanan *et al.* 2009).

2.12 Manejo poscosecha

Secado: Deben ser secado al sol los frutos en pisos de cemento de 12 a 16 horas, para que sea más fácil su desgrane y limpieza, otra forma de hacerlo es con el uso artificial de máquinas secadoras.

Desgrane y limpieza: Cuando la cosecha se realiza en forma mecanizada, la trilladora desgrana y limpia la semilla. Cuando la cosecha es manual y la variedad es dehiscente esto quiere decir que logran abrirse las capsulas por sí mismas, un gran porcentaje de las cápsulas se desgranar en el proceso, el resto, una vez separados los raquis, es necesario desgranarlo manualmente. Las cápsulas que quedan cerradas se ponen en baja cantidad en un costal y posteriormente se golpean contra el suelo (evitar pisos de cemento o baldosa), de manera que el golpe las abra, también pueden utilizarse varas para lograr la salida del grano de la cápsula. La limpieza de la semilla se realiza con el uso de ventiladores.

2.13 Importancia de la higuera

2.13.1 Importancia Internacional del cultivo de higuera

El centro de 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). (Beltráo *et al.* 2001).

Actualmente el 99 por ciento, se emplea en la industria de la transformación en la obtención de unos 200 productos, es resistente al agua y por eso se usa como aislante, es un buen lubricante para motores de avión y aparatos de gran precisión, difícilmente se congela a bajas temperaturas. Una vez hidratado se convierte en un aceite que se seca rápidamente, muy usado para fabricar pinturas, barnices, jabones, tintes y protección de cueros. Actualmente la higuera se encuentra ampliamente distribuida

por el mundo cultivándose con fines industriales (Rev. Toxicología, 2004). Siendo, Brasil, India, China, Etiopia y Paraguay sus principales productores (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO, 2006). En la tabla 1, se puede observar la producción en toneladas de cada país y los principales países productores de higuera.

Tabla.1 Principales países productores de “Higuera” en 2005.

País	Producción (Ton)
India	870 000
China	268 000
Brasil	176 763
Etiopia	15 000
Paraguay	11 500
Total	1 393 812

Debido a su distribución en los diferentes países del mundo, esta planta tiene diferentes nombres. A continuación, en la tabla 2, se muestra un listado de los nombres con los que se conoce en diferentes países de Latinoamérica.

Tabla 2. Sinonimias de higuera en otros países (Comar.et.al;2004)

País	Nombre Común de <i>Ricinus communis</i>
Argentina	Tártago, higuera, Castor
Brasil	Mamona, Mamoneira, Tártago, Ricino, carrapateiro, palma christi.
Paraguay	Mbai-sivó, ambaí-sivó, palma christi, higuera infernal
Colombia	Catapucia mayor, Ricino, higuera
Cuba	Degha, Higuera, Koch, Palma Christi, Ricino
Puerto Rico	Higuera
México	Palmacristi, Ricino, Higuera, Higuera del diablo

2.13.2 Importancia nacional

La higuera en México no se ha establecido como cultivo de importancia nacional, por falta de tecnología de esta planta y por la inseguridad en el mercado nacional e internacional.

En años anteriores las industrias de transformación de este aceite obtenían la materia prima a través de la importación, pues resultaba más económica esta forma que su producción en el país (Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos-INIREB, 1993), sin embargo, se ha comenzado a cultivar en lugares como Sonora y Nayarit.

En 2017, la producción nacional fue de 3.5 mil toneladas (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera 2017) (SIAP). Como se presenta en la tabla 3.

Tabla 3. Principales estados productores de higuera en México

Estados	Producción Ton
Sonora	2.2812
Nayarit	1.1968

La producción de higuera no es nueva, sin embargo, debido a la cultura agrícola con la que contamos en el país, no se acostumbra a producir esta planta, y más aún se le considera como una maleza, por lo cual la producción de semilla de este cultivo es muy baja, por esta razón es escasa la producción de “aceite de ricino” en el país.

2.14 Derrama económica

SAGARPA está impulsando una mayor actividad en “cultivos industriales” como es el caso de la higuera con alta demanda internacional, con la participación de pequeños productores con la intención de ser fuente de materia prima para la producción de bioenergéticas y aceites industriales. (Hinojosa, 2014)

2.15 Sustancias húmicas

Las SH, se encuentran con gran asiduidad en el medio natural, en suelos sedimentos y aguas (Mac Carthy *et al* 1990), son residuos de las plantas y animales en estado de descomposición, unidos de los productos sintetizados por los microorganismos del suelo y ciertos intermedios de dicha síntesis (Ayuso,1995).

Esta composición no es estable, sino que presenta gran dinamismo, por lo que más que un grupo de sustancias estamos ante un estado de la materia orgánica diferente, según las condiciones de su formación. Entre un 60 por ciento y un 90 por ciento de la materia orgánica del suelo, está constituida por estos materiales de naturaleza lignoprotéica (Gallardo, 1980).

Son una mezcla compleja y heterogénea de materiales que se encuentran separados entre sí, formados en suelos, sedimentos y aguas naturales por reacciones químicas y bioquímicas, durante la descomposición y transformación de plantas y restos de microorganismos (proceso denominado Humificación). (Sociedad Internacional de Sustancias Húmicas, 2013) Se clasifican en:

ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y huminas residuales (HR), de acuerdo con su solubilidad en ácidos o álcalis.

Cuando se aplican SH se observa un aumento en la nutrición mineral, es decir, en general aumenta la absorción de macro y micro elementos que podrían estar relacionados con la estimulación del crecimiento de plantas. La aplicación de extractos húmicos mejora la absorción de potasio, calcio, fósforo, nitrógeno, manganeso y hierro; además, se ha observado mayor concentración de nutrientes en los tejidos radicales. En condiciones hidropónicas, se ha observado que inducen a una precocidad en la floración y modifican el desarrollo de la raíz, es decir, hay mayor cantidad de raíces. (Eyheranguibel *et al.* 2008)

2.15.1 Efectos de las sustancias húmicas

Las sustancias húmicas actúan sobre la planta en diferentes procesos fisiológicos-bioquímicos que estimulan su crecimiento directo e indirecto, también actúan sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas que determinan la fertilidad de los suelos, sobre el desarrollo vegetal que ejercen las SH (Chen y Aviad et al 1990; Stevenson et al 1994; Varanini y Pinton et al 2000).

Los distintos efectos que las SH producen en las propiedades del suelo o en el desarrollo vegetal van a depender de la concentración en la que se encuentren presentes (García,1990), el peso molecular de las fracciones así, como de la especie vegetal, su edad y estado nutricional (Albuzio et al. 1986; Piccolo et al 1992).

El crecimiento y producción de las plantas depende de su nutrición mineral, del agua, el aire y de otros parámetros medioambientales como luz y temperatura. Sin embargo, el efecto positivo de la materia orgánica sobre el desarrollo vegetal también está sobradamente demostrado (Csicsor *et al.* 1994; Galli *et al.* 1994; Barón *et al.* 1995; Varanini *et al.* 1995).

2.15.1.1 Ácidos fúlvicos

Dentro de las sustancias húmicas, los ácidos fúlvicos han tomado especial importancia para su uso en diferentes cultivos. En términos generales, los ácidos fúlvicos mejoran el aprovechamiento de fertilizantes aplicados al suelo y al follaje, mejorando de manera significativa el crecimiento general de la planta, que además repercute en los rendimientos y calidad obtenidos.

El ácido fúlvico es la parte más activa del humus, pero sobre todo a diferencia del ácido húmico, es que es soluble tanto en medio ácido, neutro y alcalino. Por ejemplo, en suelos con alta concentración de carbonatos de calcio, el ácido fúlvico evita que se precipite el fósforo, permitiendo de cierta manera dar mayores ventajas a la planta para la obtención de nutrientes. Los ácidos fúlvicos suelen tener una coloración más clara que los ácidos húmicos, esto se debe principalmente a su contenido relativamente bajo en carbono (menor del 55 %). Además, son sustancias perfectamente solubles en

agua, alcohol, álcalis y ácidos minerales; y con un peso molecular que varía de 1,000 a 10,000 que es mucho menor al tamaño de los ácidos húmicos.

Los ácidos fúlvicos son mucho más reactivos químicamente que los ácidos húmicos; tan solo los primeros tienen el doble de capacidad de intercambio catiónico que los segundos, propiedad que obtienen gracias al número total de grupos carboxilos (COOH) presentes. El tamaño más pequeño de las moléculas de ácidos fúlvicos tiene grandes ventajas como el rápido acceso a las raíces de las plantas, tallos y hojas, y es así como han comenzado a ser ingredientes clave en fertilizantes foliares de alta calidad.

2.15.1.2 Ácidos húmicos

El ácido húmico es materia orgánica negra o marrón que, en niveles más alcalinos, es soluble en agua. Se deriva de los compuestos orgánicos del suelo, como el humus o la turba, y es producido por microorganismos que descomponen la materia orgánica muerta. Es un excelente acondicionador del suelo gracias a su alto peso molecular. Funciona muy bien en suelos y sustratos sin tierra, donde complementa y rejuvenece el medio de cultivo. La adición de ácido húmico mejora la retención del agua del medio y facilita la circulación y disponibilidad de nutrientes.

El ácido húmico es un estupendo agente quelante. Se adhiere a los micronutrientes, con los que forma un vínculo para que los minerales puedan ser absorbidos por las plantas con mayor facilidad. También promueve un mejor intercambio iónico y ayuda a obtener una mejor capacidad amortiguadora. Elementos como el calcio, hierro, magnesio, zinc y manganeso se absorben más fácilmente, es beneficioso tanto para el crecimiento de las plantas como de la raíz. Este efecto benéfico del ácido húmico se puede observar tanto en cultivos de tierra como hidropónicos.

EFEECTO DEL MAGNESIO EN LA PLANTA

La función más importante 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 CO₂. 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 y es necesario en muchas enzimas relacionadas con los ácidos grasos y la biosíntesis del aceite. 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 mueve entre tejidos y hojas viejas y jóvenes, como por ejemplo granos, frutos, etc.

EFEECTO DEL POTASIO EN LA PLANTA

El potasio (K⁺) es uno de los nutrimentos más importantes en el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya que participa en diferentes procesos bioquímicos y fisiológicos de los vegetales. Desempeña funciones esenciales en la activación enzimática, síntesis de proteínas, fotosíntesis, osmorregulación, actividad estomática, transferencia de energía, transporte en el floema, equilibrio anión-catión y resistencia al estrés biótico y abiótico (Maathuis y Sanders, 1994; Marschner, 1995).

El potasio es un nutriente clave en la relación agua-planta al ayudar a los vegetales a mantener altos niveles de turgencia, es decir, niveles adecuados de agua en las plantas. Lo anterior es posible debido a que participa fuertemente en la regulación de la apertura y cierre de las estomas, su esencial participación en importantes procesos metabólicos lo hacen el macronutriente con mayor influencia directa en la calidad del fruto y del aceite (Cakmak, I. 2005)

MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITE

Los procesos de extracción de aceite de higuera son generalmente llevados a cabo mediante los métodos de prensado, este método es el más antiguo que se conoce y es el que utiliza la fuerza mecánica y la gravedad para la obtención del aceite ya que

el producto es sometido a altas presiones para obtener el aceite (Brossard et al., 2010). Aunque el rendimiento de aceite depende del equipo y del método de extracción empleados, a continuación, se describen algunos de los principales métodos más utilizados para la extracción de aceite de higuera.

5.1 Método de extracción Expeler

El expeler es un extrusor destinado a la compresión de semillas para extracción de aceite (Figura 1). La extrusión debe realizarse con una combinación de cáscara almendra para que se forme una pasta dura que se pueda comprimir, ésta pasta beneficia al hecho que se compacta más, a diferencia, que, si fuera pura almendra, y propicia una buena extracción de aceite.

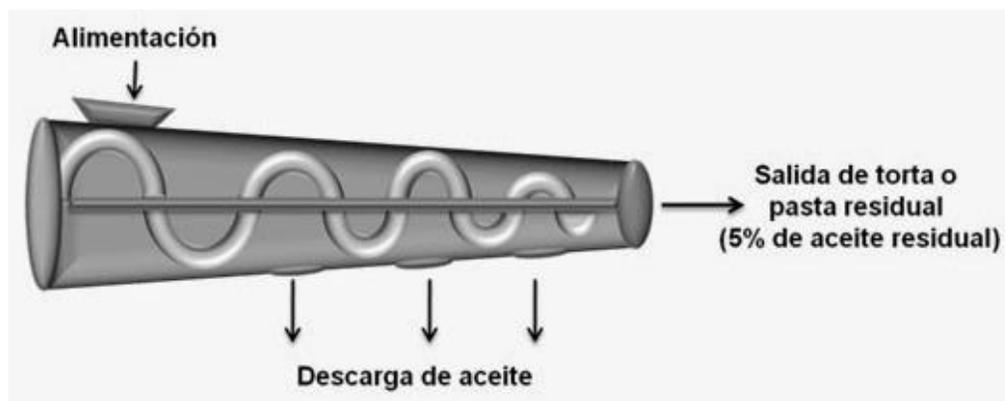


Figura 1. Estructura de Expeler

El método expeler puede llevarse a cabo de dos maneras, una de ellas es con el previo calentamiento de la semilla o sin calentamiento mejor conocido como prensado en frío, a continuación, se describen las dos formas:

5.1.1 Prensado en frío

Es un modo de extracción exclusivamente mecánico que se realiza a baja temperatura, la extracción por prensado consiste en la separación de los líquidos contenidos en productos sólidos mediante la aplicación de fuerzas de compresión de modo que las

gotas de aceite desgarran y rompen las paredes de las células y sale. (Trejo and Maury, 2002)

5.1.2 Presión en caliente

Este método lleva el procesamiento térmico de la semilla de modo que la liberación del aceite de las células de las semillas se facilite lo máximo posible. El calentamiento de semillas antes del prensado causa cambios de características de la estructura celular, cambios de proteínas y acumulación del aceite al nivel celular. Con el aumento de la temperatura también se reduce notablemente la viscosidad del aceite.

5.2 Extracción por solventes

Es una operación unitaria que consiste en utilizar un solvente para extraer el aceite de la semilla. Se da una difusión del solvente, después se recupera del solvente en la materia prima que contiene al aceite, dando una solución de aceite en solvente, después se recupera el solvente por evaporación y condensación del mismo, lo cual deja el aceite separado. El método de extracción por solventes se puede llevar a cabo de dos maneras una de ellas es por el sistema Soxhlet y por el sistema de extracción acelerada las cuales se describen a continuación:

5.2.1 Extracción método Soxhlet

Es un método de extracción continuo que se utiliza para materiales sólidos. Consiste en colocar el material a extraer, previamente molido y prensado, en un cartucho o dedal de celulosa que se introduce en la cámara de extracción, conectada por una parte a un balón de destilación y por otra a un refrigerante. El disolvente contenido en el balón se calienta a ebullición, el vapor asciende por el tubo lateral y se condensa en el refrigerante, cayendo sobre el material. Cuando alcanza el nivel conveniente el sifón, el solvente retorna por el tubo regresando al balón de destilación. El proceso se repite hasta conseguir el agotamiento deseado del material (Lamarque et al., 2008). El líquido condensado cae dentro del dedal que contiene el sólido. El solvente caliente empieza

a llenar el dedal y extrae el compuesto deseado a partir del material vegetal. Una vez el dedal se llena con el solvente, el brazo de la derecha actúa como sifón, y el solvente, el cual contiene el compuesto deseado disuelto, se regresa dentro del balón de destilación. El ciclo vaporización- condensación- extracción- evacuación por el sifón, se repite varias veces, el producto deseado se concentra en el balón de destilación. (Rogelio et al., 2008) a manera de ejemplo se presente un esquema en donde se muestra la forma de montar un Soxhlet (Figura 2).

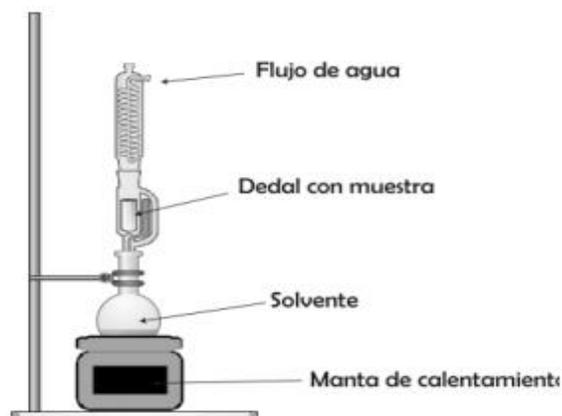


Figura 2. Estructura del sistema Soxhlet

5.2.1.1 Beneficios del sistema Soxhlet:

- La muestra está en contacto repetidas veces con porciones frescas de disolvente.
- La extracción se lleva a cabo con solvente caliente así favorece la extracción de aceites.
- La metodología empleada es muy simple.
- Se obtienen excelentes recuperaciones, existiendo gran variedad de métodos oficiales cuya etapa de preparación de muestra se basa en la extracción con Soxhlet.

5.2.1.2 Desventajas del sistema Soxhlet:

- El tiempo que se necesita para llevar a cabo una buena extracción normalmente oscila de 6 a 24 horas.
- La cantidad de solvente es de 50 a 300 ml
- Es necesaria una etapa final de evaporación del solvente.

5.2.2 Sistema de Extracción acelerada (EA).

La extracción acelerada con disolventes es una técnica establecida para la extracción de muestras sólidas y semisólidas. Utiliza disolventes a una elevada temperatura y presión para incrementar la eficiencia del proceso de extracción, La temperatura y las presiones altas propician una mejor penetración del solvente a la muestra y es el método más moderno en extracción de grasas y aceites.

La extracción acelerada con disolventes es una técnica bien establecida y mucho más rápida que el sistema de extracción Soxhlet, la extracción con ultrasonidos y otros métodos, requiriendo menos disolvente y horas de trabajo.

El sistema de extracción acelerada (por sus siglas en Ingles, ASE) marca Buchi E-916 cuenta con 6 celdas en las cuales se coloca la muestra, 6 vasos recolectores en donde cae la mezcla de aceite/solvente y dos contenedores en los cuales se deposita el solvente con el que se va a trabajar. En la siguiente figura se muestra la imagen del sistema ASE (Accelerated Solvent Extraction) (Figura 3):



Figura 3. Estructura del Sistema de extracción acelerada (ASE).

5.2.2.1 Beneficios del sistema de extracción acelerada:

- Es una nueva técnica de extracción.
- Se pueden utilizar gran variedad de solventes.
- Presiones y temperaturas elevadas para una rápida y efectiva extracción.
- Es automatizable y puede extraer muestras secuenciales.
- Utiliza menos volumen de disolventes.
- La extracción acelerada con disolventes es una técnica bien establecida y mucho más rápida que el sistema Soxhlet, la extracción con ultrasonidos y otros métodos, requiriendo menos disolvente y horas de trabajo.

5.2.2.2 Desventajas:

- El precio del sistema y las piezas que se utilizan dentro de él son costosas.
- Solo puede ser manejado por alguien capacitado
- Su mantenimiento y manejo es delicado.

OBJETIVO

6.1 General.

Evaluar el efecto de la aplicación de sustancias húmicas en el rendimiento de aceite de higuera (*Ricinus Communis*).

6.2 Específicos

Cuantificar el rendimiento de aceite por dos métodos diferentes.

HIPÓTESIS

1. $H_0 = p > F$ La aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos en el riego de la planta de higuera no logrará incrementar el rendimiento de aceite en la semilla.
2. $H_a = p < F$ La aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos en el riego de la planta de higuera incrementará el rendimiento de aceite en la semilla.

MATERIALES Y MÉTODOS

8.1 Localización del trabajo

La siembra, se realizó en la estación experimental, de la UAAAN, que se encuentra a 425 kilómetros al norte de Saltillo, Coahuila, a 12 km al Norte de la Ciudad de Zaragoza, Coahuila y está ubicada a los 28° 33' de Latitud Norte, 100° 55' de Longitud Oeste y a los 350 m.s.n.m. tal como se muestra en la Figura 4.

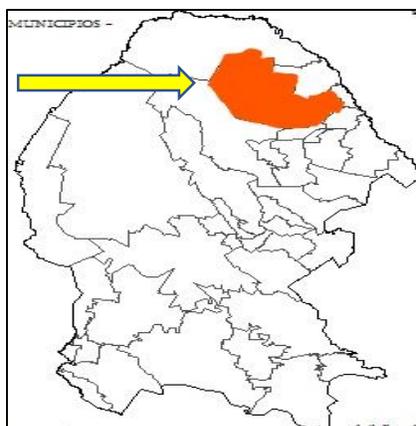


Figura 4. Ubicación del trabajo experimental, Zaragoza Coahuila.

8.2 Metodología

El experimento constó de dos etapas la primera se llevó a cabo en el campo experimental de Zaragoza Coahuila donde se desarrolló la etapa de cultivo y evaluación de la aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos en el riego de la planta de higuera y la segunda dentro de los laboratorios del Centro de Investigación en Química Aplicada, donde se llevó a cabo el análisis y cuantificación de aceite a través del sistema de extracción soxhlet y mediante el sistema de extracción acelerada con disolventes.

8.2.1 Manejo en campo

Las plántulas fueron sembradas en macetas de poliestireno de 250 ml que contenían la mezcla de “peat moss” con “perlita” como sustrato (relación 1;1), cuando la planta midió 20 cm de altura y contenía dos pares de hojas verdaderas, fue trasplantada en el área ya mencionada en un suelo de textura franco-arcillosa, con pH de 8.39, materia orgánica de 1.58 %, contenido moderadamente bajo de potasio (K) y mediano de magnesio (Mg). Las características del suelo se pueden apreciar en la tabla 4.

La distancia entre plantas fue de 2.0 a 1.80 mts entre hileras, bajo la técnica de “Tresbolillo”, lo cual proporcionó la cantidad de 730 plantas por hectárea. El riego fue por inundación (“rodado”).

Tabla 4. Características fisicoquímicas del suelo empleado en el experimento.

Profundidad (cm)	Textura	Da (g.cm ⁻³)	pH	CE (dS.m ⁻¹)	MO (%)	CIC (meq.100g)	K (mg.kg ⁻¹)	Mg (mg.kg ⁻¹)
0-30	F-Ar	1.13	8.39	0.58	1.58	24.2	407	233
30-60	F	1.12	8.44	0.53	1.46	23.8	171	259

Al primer tratamiento, se les aplicó una solución acuosa de fulvato de magnesio y potasio (FMgK) a una concentración de 1,500 ppm. Al segundo tratamiento, se aplicó para el riego la misma concentración, pero en este caso fue de una solución humato de estos dos elementos (HMgK), el tercer tratamiento fue la planta control, la cual se le regó con solución nutritiva basada en los índices de Steiner (PQ) como se muestra en la tabla 5. Los cuales fueron adicionados tres y treinta días después del trasplante. El experimento se estableció de acuerdo con el diseño en bloques completamente al azar.

El análisis de los datos consistió en el análisis de varianza y la comparación de medias con base en el método de Tukey ($p \leq 0.05$); es decir, al 95 por ciento de confianza y se empleó para ello, el paquete para computador Minitab, versión 19 en español.

Tabla 5. Tratamientos aplicados en el experimento

TRATAMIENTOS	
T1	FMgK
T2	HMgK
T3	PQ

En la cosecha se llevó a cabo el corte de la planta y el corte de racimos. A los racimos de las capsulas que contenían las semillas se les dejó un día en la intemperie para que se secaran y fuera más fácil sacar la semilla de estas. Se dejó a la intemperie porque cuando los racimos aún están verdes es muy difícil sacar la semilla de estos y la cantidad de aceite se ve afectada por la acidez del racimo, entonces es conveniente sacar la semilla del racimo cuando ya esté madura y cuando esté completamente seco. Se realizó la separación manual de la semilla la cual se llevó a cabo dentro del laboratorio de fertilidad de suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. La extracción de aceite se realizó dentro de las instalaciones del Centro de investigación en Química Aplicada (CIQA), en donde se realizaron varias pruebas para poner a punto los protocolos de extracción, estas pruebas consistieron para el caso del sistema de extracción Soxhlet, la cantidad de muestra y volumen de solvente, mientras que para el caso del sistema de extracción acelerada, en poner a punto la presión, temperatura y condiciones exactas en las que se lograba obtener los resultados más óptimos para las extracciones.

Como una evaluación adicional, también se realizó la extracción de aceite en algunas semillas silvestres, esto con el objetivo de obtener una referencia de la cantidad de aceite que contienen las semillas sin ningún tipo de tratamiento previo a su cosecha. Dichas semillas silvestres se recolectaron en tres estados de la república como Durango, San Luis potosí y Aguas calientes.

8.2.2 Materiales utilizados en el laboratorio

- Mortero y pistilo
- Bolsas Ziploc
- Balanza de precisión
- 9gr de muestra por tratamiento
- Estufa
- Hexano
- Baño de recirculación
- Multivapor de 6 posiciones BUCHI
- Viales color ámbar

- Sistema Soxhlet:
 - Dedales de extracción
 - Bomba de recirculación sumergible
 - 3 metros de manguera
 - Manta calefactora
 - Pieza Soxhlet

- Speed Stractor (Extracción acelerada):
 - Filtros marca BUCHI
 - Frita
 - Arena de Cuarzo
 - Celdas

8.2.3 Métodos utilizados en la evaluación.

8.2.3.1 Método Extracción Acelerada

8.2.3.2 Parámetros

- La temperatura a la que se utilizó el sistema de extracción acelerada (Speed Extractor) marca Buchi E-916 fue de 60°C.
- La presión fue de 100 bares.
- Se llevaron a cabo dos ciclos de 15 y 5 minutos para la extracción.
- El multivapor se utilizó a 60 °C ya que es el punto de ebullición del Solvente.

8.2.3.2 Preparación de muestra

Para poder llevar a cabo la preparación de la muestra se molió con ayuda de un mortero y pistilo 9 gramos de semilla por tratamiento para depositarse dentro Bolsas ziploc, después de esto se colocaron dentro de la estufa a una temperatura de 40°C durante 24 horas.

8.2.3.3 Extracción

Después de las 24 horas en la estufa se llevó a cabo la extracción en la cual se utilizó un sistema de extracción acelerada marca BUCHI, para esto se utilizaron 3 gramos de muestra por cada repetición las cuales fueron 3 por tratamiento, se llenaron las celdas con 15 gramos de arena de cuarzo y se utilizó como solvente Hexano. Se aplicaron 2 ciclos con un tiempo de 15 y 5 minutos de retención a una presión de 100 bares y una temperatura de 60°C.

8.2.3.4 Evaporación

Lo obtenido en la extracción se colocó dentro del Multivapor de 6 posiciones (BUCHI) a una temperatura de 60°C para evaporar lo más posible el solvente utilizado para la extracción y de esta manera concentrar el aceite extraído, ya concentrado el aceite se depositó en viales color ámbar previamente pesados y etiquetados. Enseguida, se aplicó un poco de aire a cada vial, esto con la finalidad de cerciorarse de que ningún material volátil quedara dentro de él y hecho esto se volvieron a pesar, para calcular la diferencia de peso y obtener el porcentaje de aceite extraído.

8.2.4 Método de extracción Soxhlet

8.2.4.1 Parámetros

- El tiempo de extracción al que se llevó a cabo fue de 4 horas
- Con un total de 16 ciclos
- Se realizó con una potencia de 40 en el regulador de voltaje.
- 250 ml de Solvente por muestra

8.2.4.2 Preparación de muestra

La preparación de la muestra para la extracción Soxhlet, al igual que se mencionó en el método de extracción acelerada, en este caso también se molieron 9 gramos de muestra por tratamiento y fue llevada a la estufa durante 24 horas para secarla, al transcurrir dicho tiempo fue llevada al laboratorio.

8.2.4.3 Extracción

En la extracción se montó un sistema Soxhlet en el que se utilizaron 3 gramos de muestra por repetición de cada tratamiento. Dentro de los dedales filtro se colocó la muestra previamente molida y secada. El espacio que quedo entre el borde del dedal

y la muestra se rellenó de algodón para evitar que la muestra o sólidos salieran del dedal. El tiempo que la muestra estuvo en contacto con el Hexano fue de 4 horas con un total de 16 ciclos de 15 minutos cada uno.

8.2.4.4 Evaporación

La concentración del aceite se hizo con ayuda del Multivapor de 6 posiciones, de igual forma como se realizó en el sistema anteriormente mencionado, se aplicaron las mismas condiciones de temperatura y una vez concentrado el aceite se agregaron a los viales ámbar, se etiquetaron y pesaron los viales. Por último, se calculó por diferencia de peso el porcentaje de aceite obtenido de cada repetición.

RESULTADOS

En los parámetros evaluados como altura de planta, peso seco de semilla, peso seco de planta y diámetro de tallo (datos no mostrados). No hubo diferencias estadísticamente significativas ya que no se logró algún efecto al aplicar Humatos y Fulvatos de magnesio y potasio en el riego.

Además, se realizó un estudio de extracción en el rendimiento de aceite, en el cual tampoco se logró un efecto estadísticamente significativo entre tratamientos. Después de esto se realizaron extracciones en semillas silvestres para realizar una comparación entre la cantidad que contenían las semillas sin ningún tipo de tratamiento y semillas con tratamiento, en las cuales se encontraron diferencias en cantidades de aceite siendo más la cantidad de aceite contenida en semillas tratadas.

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre la cantidad extraída de aceite por el método de extracción acelerada y el método Soxhlet evaluando que el método más eficiente es el método de extracción acelerada.

Para realizar las extracciones por el método de extracción acelerada, se pusieron a punto las condiciones óptimas realizando algunas extracciones previas con diferentes condiciones. Como se explica a continuación.

En el siguiente cuadro se muestran los resultados obtenidos, las cantidades de muestra que se utilizaron, así también los tiempos de retención con los que se trabajó.

Tabla 6. Diferentes condiciones para poner a punto el método de EA.

Condiciones			
	Cantidad de muestra	Tiempos de retencion (min)	Aceite extraido
Condicion 1	5gr	5, 10 y 15	52%
	5gr	15 y 5	49%
	5gr	10	40%
Condicion 2	4gr	5, 10 y 15	47%
	4gr	15 y 5	44%
	4gr	10	36%
Condicion 3	3gr	5, 10 y 15	50%
	3gr	15 y 5	53%
	3gr	10	40%

Todas las condiciones que se muestran en la tabla se sometieron a tres diferentes ciclos en los cuales los tiempos de retención fueron de 5, 10 y 15, el siguiente fue de 15 y 5 y por último un ciclo de 10 minutos.

Las mejores condiciones del equipo para obtener las mayores cantidades de aceite, fue la condición número 3, con 3 gr de muestra y un ciclo de dos tiempos de retención (15 y 5 min.) donde se obtuvo un 53% de aceite. Por lo anteriormente expuesto, para realizar las extracciones oficiales del trabajo se utilizó la condición tres.

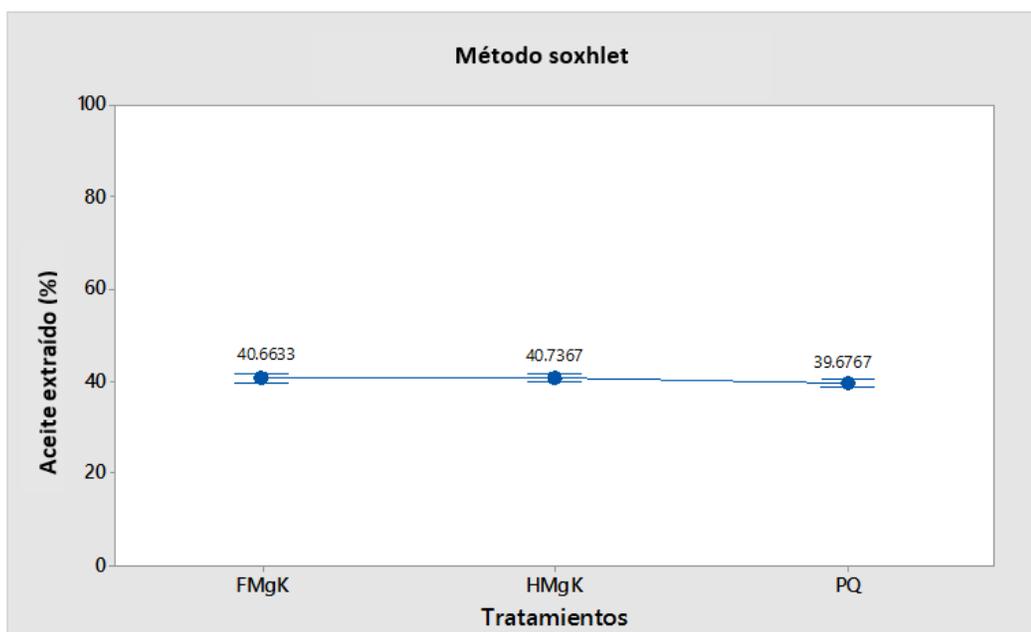
9.1 Resultados obtenidos mediante los dos métodos de extracción evaluados.

Para comparar la eficacia de cada uno de estos métodos, se realizaron diferentes pruebas con cada uno de ellos.

9.1.1 Método Soxhlet

La gráfica número 1, muestra los resultados que se obtuvieron mediante la aplicación del sistema de extracción soxhlet. Como se puede apreciar en esta gráfica, no se observaron diferencias entre los tratamientos efectuados, asimismo mediante el análisis estadístico, no se obtuvo diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos como se muestra en la Tabla 7, mostrando que no existe alguna diferencia en las cantidades de aceite entre las diferentes semillas tratadas.

Es importante mencionar que la muestra todavía después de haber estado en contacto con el solvente y terminado el ciclo al que fue sometido aún quedaba con una cantidad considerable de aceite dentro de ella.



Gráfica 1. Resultados obtenidos en porcentaje de la cantidad de aceite extraído mediante el método de extracción Soxhlet.

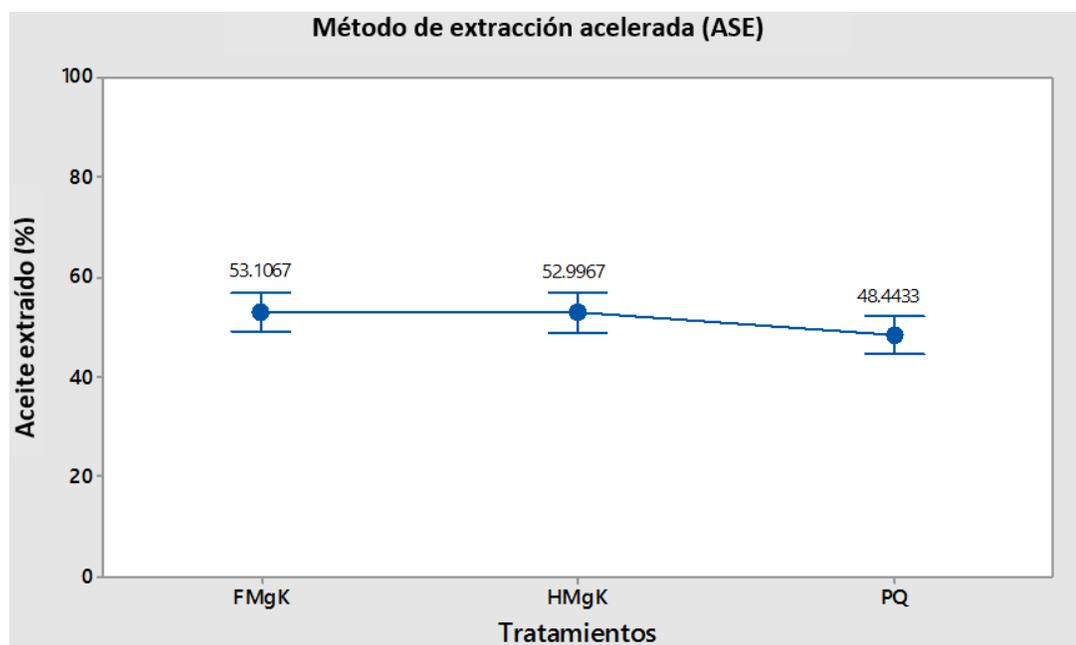
Tabla 7. Análisis estadístico (análisis de varianza, medias y prueba de Tukey con un 95% de confianza) del contenido de aceite por el método Soxhlet.

Análisis de varianza						
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	
Tratamientos	2	2.102	1.0512	3.25	0.111	
Error	6	1.942	0.3237			
Total	8	4.045				
Medias						
Tratamientos	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%		
FMgK	3	40.663	0.335	(39.860, 41.467)		
HMgK	3	40.737	0.802	(39.933, 41.540)		
PQ	3	39.677	0.465	(38.873, 40.480)		
Prueba Tukey, confianza de 95%						
Tratamientos	N	Media	Agrupación			
HMgK	3	40.737	A			
FMgK	3	40.663	A			
PQ	3	39.677	A			

9.1.2 Método Extracción Acelerada

En la gráfica 2, se presentan los resultados obtenidos en relación con el porcentaje de aceite extraído mediante la aplicación del sistema de extracción acelerada. Como se puede apreciar en esta gráfica, se logra observar que el mayor porcentaje obtenido es de un 53% de aceite siendo este en el tratamiento adicionado con FMgK, el

resultado con menos porcentaje de aceite fue el tratamiento control con un 48.44%, lo cual representa un 4.66% menor que los tratamientos adicionados con un HMgK y FMgK, sin embargo, en la tabla 8 correspondiente a los datos derivados del análisis estadístico, no se encontró algún efecto estadísticamente significativo entre tratamientos.



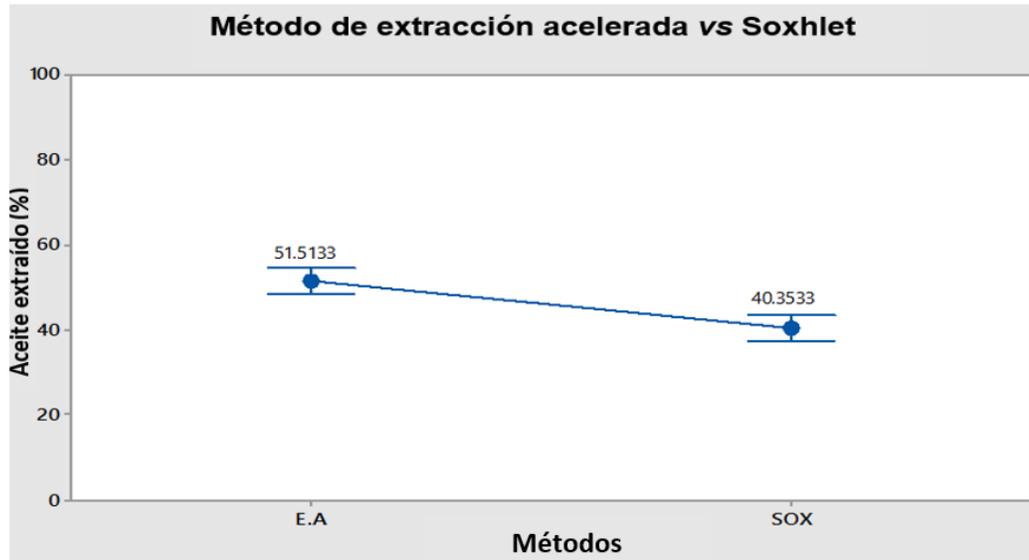
Gráfica 2. Resultados obtenidos en porcentaje de la cantidad de aceite extraído por el método de extracción acelerada.

Tabla 8. Análisis estadístico (análisis de varianza, medias y prueba de Tukey con un 95% de confianza) del contenido de aceite por el método de extracción acelerada.

Medias					
Tratamientos	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%	
FMgK	3	53.11	3.15	(49.15, 57.06)	
HMgK	3	53.00	2.52	(49.04, 56.95)	
PQ	3	48.44	2.69	(44.49, 52.40)	
Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	2	42.49	21.246	2.71	0.145
Error	6	47.00	7.834		
Total	8	89.49			
Prueba Tukey, confianza de 95%					
Tratamientos	N	Media	Agrupación		
FMgK	3	53.11	A		
HMgK	3	53.00	A		
PQ	3	48.44	A		

9.2 Comparación entre el método Soxhlet y el método de Extracción acelerada

Después de desarrolladas las extracciones con ambos sistemas, se compararon los resultados obtenidos, los cuales se muestran en la gráfica 3, obteniendo los grupos homogéneos de estos, mediante la prueba de Tukey como se muestra en la tabla 9.



Gráfica 3. Comparación de porcentaje de aceite extraído mediante el método Soxhlet y el método de extracción acelerada.

Tabla 9. Análisis estadístico (análisis de varianza, medias y prueba de Tukey con un 95% de confianza) del contenido de aceite por el método de extracción acelerada vs soxhlet.

Prueba Tukey, confianza de 95%						
Métodos	N	Media	Agrupación			
E.A	3	51.51	A			
SOX	3	40.353	B			
Análisis de varianza						
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p	
Métodos	1	186.82	186.818	50.23	0.002	
Error	4	14.88	3.719			
Total	5	201.69				
Medias						
Métodos	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%		
E.A	3	51.51	2.66	(48.42, 54.60)		
SOX	3	40.353	0.593	(37.262, 43.445)		

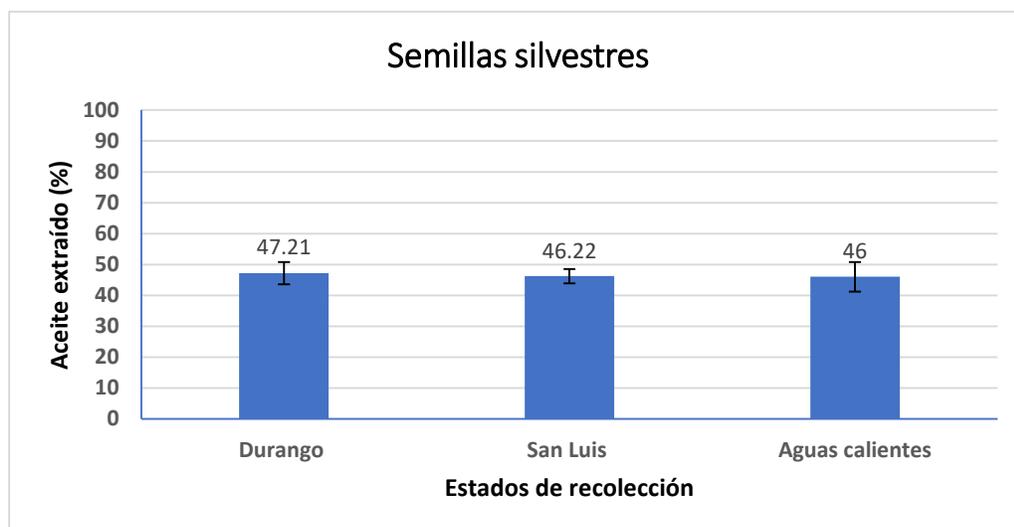
Entre los dos métodos existe una diferencia estadísticamente significativa, ya que el método de extracción acelerada extrajo 11.16 % más de aceite con respecto al sistema de extracción Soxhlet. Esto se da debido a que con el método de extracción acelerada

es más eficiente la extracción ya que la muestra es sometida a presión y temperatura constante en cambio cuando se extrae por medio del sistema de extracción Soxhlet, incluso cuando se compara con otros métodos se pierde más cantidad de aceite en la muestra, por ejemplo de acuerdo con Contreras y Ruiz (2012) reportan en un estudio realizado para la obtención de aceite esencial presente en la cáscara de toronja, que el método Soxhlet no presentó rendimientos superiores a los que se obtienen mediante el método de arrastre por vapor ya que con este último se logra extraer hasta 6 veces más aceite de lo que se extrae por el método soxhlet. Así mismo, en un estudio realizado por Havens S. en el 2014 para la comparación de métodos de extracción acelerada de disolventes, soxhlet y técnicas de sonicación para la extracción de estrógenos, andrógenos y progestágenos de suelos, concuerdan que el método de extracción acelerada de disolventes es más eficiente ya que logro extraer un 77% más de estrógenos andrógenos y progestágenos de suelos franco-arcillosos en comparación con el método Soxhlet y sonicación.

9.3 Cantidades de aceite en semillas silvestres

Debido a que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas (como se muestra en la tabla 10) en los contenidos de aceite de los diferentes tratamientos aplicados en el riego de las plantas de higuera, se realizó una, medición adicional para validar de manera paralela el efecto de la aplicación de humatos y fulvatos de Mg y K.

Las cantidades de aceite encontradas dentro de las semillas silvestres fueron constantes como se logra observar en la gráfica 4, con un promedio en porcentaje de 46.48% de aceite. Debido a estos resultados se realizó un análisis estadístico para comparar el contenido de aceite en semilla de plantas silvestres vs semillas de plantas tratadas.



Gráfica 4. Porcentaje de aceite obtenido en semillas silvestres

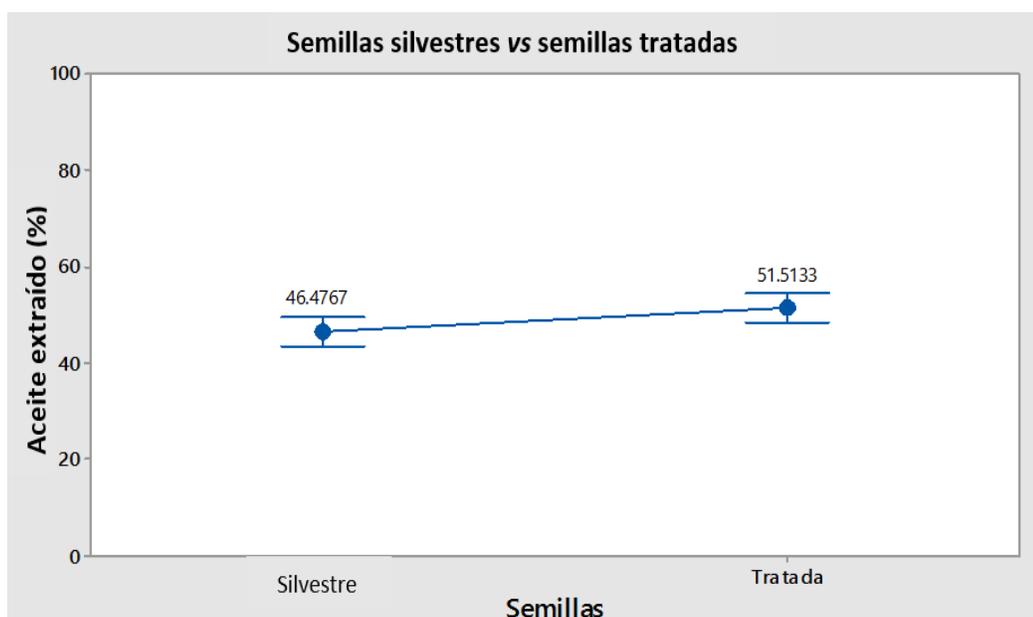
Tabla 10. Análisis estadístico (análisis de varianza, medias y prueba de Tukey con un 95% de confianza) del contenido de aceite en semillas silvestres.

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Semilla silvestre	2	2.522	1.261	0.21	0.820
Error	6	36.810	6.135		
Total	8	39.332			
Medias					
Semilla silvestre	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%	
Aguas Calientes	3	46.00	0.00	(42.50, 49.50)	
DURANGO	3	47.22	3.60	(43.72, 50.72)	
San Luis	3	46.22	2.34	(42.72, 49.72)	
Media general:		46.48			
Desv.Est. agrupada = 2.47688					
Prueba Tukey, confianza de 95%					
Semilla criolla	N	Media	Agrupación		
DURANGO	3	47.22	A		
San Luis	3	46.22	A		
Aguas Calientes	3	46.00	A		

9.4 Evaluación de la extracción de aceite en semillas a partir de plantas silvestres vs plantas tratadas.

Al comparar los resultados obtenidos de la cantidad de aceite que se encontró dentro de cada una de estas semillas, se logró observar que, si hubo diferencia estadísticamente significativa en la cantidad de aceite obtenido al aplicar humatos y fulvatos de magnesio y potasio en el riego de la planta. Como se observa en la tabla

11, se incrementó su rendimiento hasta en un 10.9%. Al aplicar humato y fulvato de Mg y K en el riego a la planta, se logra aumentar la cantidad de aceite de la semilla siendo mejor el tratamiento al que se le aplicó FMgK. Como se muestra en la Gráfica 5.



Gráfica 5. Comparación del porcentaje encontrado en las semillas silvestres a las cuales no se les dio ningún manejo agronómico vs las semillas a las que se les aplicó tratamiento.

Tabla 11. Análisis estadístico (análisis de varianza, medias y prueba de Tukey con un 95% de confianza) del contenido de aceite en semillas silvestres vs semillas tratadas.

Análisis de varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Semillas	1	38.05	38.052	10.14	0.033
Error	4	15.00	3.751		
Total	5	53.06			
Medias					
Semillas	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%	
Silvestre	3	46.477	0.645	(43.372, 49.581)	
Tratada	3	51.51	2.66	(48.41, 54.62)	
Desv.Est. agrupada = 1.93675					
Prueba Tukey, confianza de 95%					
Semillas	N	Media	Agrupación		
Tratada	3	51.51	A		
Silvestre	3	46.477	B		

Al aplicar humato y fulvato de Mg y K en el riego a la planta, se logra aumentar la cantidad de aceite de la semilla siendo mejor el tratamiento al que se le aplicó FMgK. Como se muestra en la gráfica anterior. Este efecto quizá pudo ser debido principalmente al Mg y K ya que Marcus Ross, 2004 en un estudio llamado *The Role of Magnesium for Sustainable High Yields of Oil Palm*, realizado en un cultivo de palma aceitera, menciona que al aplicar Mg y K en la fertilización logran aumentar el rendimiento de aceite y la cantidad de racimos en la planta, y los ácidos húmicos y fulvicos ayudan a que sea más fácil la asimilación de nutrimentos en la planta.

DISCUSIÓN

Por todo lo anterior se puede observar que la aplicación de los tratamientos con fulvatos y humatos de potasio y magnesio a las plantas de higuera puede incrementar la cantidad de aceite en la semilla conforme los resultados obtenidos, además que de acuerdo con (Castellanos *et al*, 2000) el Mg forma parte esencial de la clorofila, por lo tanto es necesario para la actividad enzimática incluyendo aquellos pasos más importantes en la actuación del ATP; así como, es fundamental para formar carbohidratos, aceites, grasas y ceras. Por lo anterior, el potasio es de suma importancia para lograr altos rendimientos de aceite (Rose M., 2004). Por lo tanto, no se puede lograr una alta producción de aceite sin la adecuada cantidad de potasio, es esencial para una gran variedad de procesos dentro de la fisiología vegetal como lo es en la conversión de la luz solar en energía bioquímica durante el proceso de fotosíntesis, promueve el almacenaje de asimilados como resultado de una mayor producción y una mejora en la traslocación de los carbohidratos, según Sawan Z. *et al* 2007 la aplicación del potasio junto con la pulverización de las plantas con zinc y fósforo causó un incremento en el rendimiento del algodón, el contenido graso y los rendimientos de aceite; por su parte Bernd Ditschar en el 2007, en distintos artículos de cultivo de olivo y de palma aceitera menciona que el potasio y magnesio van ligados en el rendimiento de fruto/aceite que puede producir un cultivo oleaginoso siendo dos de los principales nutrimentos más importantes en la fertilización.

CONCLUSIONES

Estadísticamente no se encontró diferencia significativa en el contenido de aceite entre los tratamientos aplicados, sin embargo, entre semillas silvestres vs semillas tratadas si se logró encontrar un 6% más de aceite en las semillas tratadas con humatos y fulvatos de Mg y K.

El rendimiento de aceite dentro de la semilla de higuera si podría ser dependiente de la fertilización que se le aplique y el manejo que se le dé a la planta.

El método más eficiente para la extracción de aceite en higuera fue el método de extracción acelerada, ya que el aceite que contenía la semilla se lograba aprovechar más con este método por las condiciones a las que se sometía la muestra. Además, con el uso de este método se disminuye considerablemente la cantidad de solvente utilizado y los tiempos de extracción ya que una extracción se realiza en un tiempo máximo de 45 minutos. Se demuestra que la extracción acelerada es un método rápido y eficiente en comparación con el método soxhlet.

LITERATURA CITADA

- Cabrales R.**, Marrugo J. y Abril J. 2014. Rendimientos en semilla y calidad de los aceites del cultivo de higuierilla (*Ricinus communis L.*) en el Valle del Sinú. 1° Edición. Colombia.
- Cakmak I.** 2005. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants, *Journal of Plant Nutrition Soil*, Vol. 168: P 521–530.
- Caldas A.** 2012. Optimización, escalamiento y diseño de una planta piloto en extracción sólido-liquido. Tesis de licenciatura. Facultad de ciencias químicas, Cuenca, España. 48 P.
- Cardona E.**, Carrillo B., Mosquera D., Gutiérrez B. y Hernández G. 2012. Evaluación de métodos de extracción del aceite de milpesillos (*Oenocarpus mapora*). Medellín, Colombia. Vol. 19: pp. S183-S185.
- Cornejo M.** 2012. Caracterización de aceite de higuierilla (*Ricinus communis*) de dos variedades silvestres para la producción de biodiesel en la región del Valle de Mezquital, Hidalgo. Posgrado. Centro de investigación en materiales avanzados, chihuahua, chihuahua. 70 P.
- Csicsor J.**, Gerse J. y Titkos A. 1994. The biostimulant effect of different humic substances fraction on seed germination. Ln N. Senesi, T. M Miano (Eds) *Humic substances in the global environment and implications on human health*. ElsevierScience B. V. Amsterdam.
- Chen y Aviad.** 1990. Citado por Escalante Y. 2013 Uso de Humatos y Fulvatos de Magnesio en la Calidad de Plántula de Higuierilla (*Ricinus communis L.*). Tesis de Licenciatura. Universidad autónoma agraria Antonio Narro. Buenavista, saltillo, Coahuila. 58 P.
- Contreras E. y Ruiz J.** 2012. Estudio comparativo entre dos métodos de extracción para el aceite de esencial presente en la cascara de pomelo (*Citrus máxima*). Tesis de licenciatura. Universidad de Cartagena. Cartagena de Indias. 101 P.

- Ditschar B.** 2007. Response of oil palm clone (*Elaeis Guineensis*) to Two Different Magnesium Fertilizers on Yield and Oil Productivity. *Revista Palmas*. Alemania. Vol.28: PP. 428-433.
- EcuRed.** S/F. Planta de Higuierilla. EcuRed. Obtenido de:
[https://www.ecured.cu/Higuierilla_\(Planta\)](https://www.ecured.cu/Higuierilla_(Planta)), (25 de septiembre de 2019)
- EMBRAPA** (Empresa brasileira de pesquisa agropecuária). 2001. Informagões sobre o biodiesel, em especial fei~ tocom o óleo de mamona. Campiña grande. P 3.
- EMBRAPA** (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria). 2005. Sistemas de producao: Indicacoes técnicas para a cultura da mamona em mato grosso do Sul. BR. P 63.
- Fertilab.** 2019. Funciones de las Sustancias Húmicas Ácidos Fulvicos:
<https://www.fertilab.com.mx/blog/247-funciones-de-las-sustancias-humicas-ácidos-fulvicos/>, (05 julio de 2019)
- Gonzales D.** 2013. Evaluación de las posibilidades de la utilización del aceite de higuiereta (*Ricinus communis*) como combustible en MCI. Diplomado. Centro de Estudios energéticos y tecnologías ambientales. Santa Clara, Cuba.
- Havens S.** 2014. Comparison of accelerated solvent extraction, soxhlet and sonication techniques for the extraction of estrogens, androgens and progestogens from soils. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*. Vol. 3: PP 103-120.
- Hernández D.** 2014. Uso de un humato de magnesio vía foliar en la producción de Semillas de Higuierilla (*Ricinus communis*). Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo Coahuila. 61 P.
- Marcus Ross.** 2004. Importancia del magnesio para altos rendimientos sostenibles en palma de aceite. *PALMAS* - Vol. 25 No. Especial. Tomo II: 98-104.
- Intagri.** 2017. Las funciones del potasio en la nutrición vegetal. Serie nutrición vegetal. Núm. 100. Artículos Técnicos de Intagri. México. 4 p.

- K + S KALI.** 2019. Potasio para mayores rendimientos de olivo. GmbH agricultural services South-East (Asia) Alemania. Bernd Ditschar:
http://www.kali-gmbh.com/eses/fertiliser/advisory_service/crops/olive.html, (15 de agosto 2019).
- Kant S.** y Kafkafi U. S/F. Absorción de potasio por los cultivos en distintos estados fisiológicos. Universidad Hebrea de Jerusalén. Facultad de Ciencias Agrícolas. Alimentarias y de Calidad Ambiental. Rehovot, Israel.
- Lamarque** 2008 citado en Ruiz E. 2012. Extracción y calidad de aceite de la semilla de higuierilla (*Ricinus communis* L) para la producción de biodiesel. Universidad autónoma agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 46 P.
- Méndez G.** 2015. Comparación de dos métodos de extracción del aceite esencial de Citrus síntesis L. Revista Cubana de Farmacia. PP 742-750.
- Ortiz G.** 2015. Comportamiento de un fulvato de magnesio y potasio en la calidad de la fresa. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo Coahuila. 40 P.
- Pita R.** y Martínez M. 2004. Ricina: una fito toxina de uso potencial como arma. Revista de toxicología. Asociación española de toxicología pamplona. vol. 21: PP 51-63.
- Portillo L.,** Rodríguez N., Rodríguez A. y Gómez R. 2017. Manejo de Higuierilla (*Ricinus communis* L.) para el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. Editorial Universidad Politécnica de Francisco I. Madero.
- Química sostenible.** 2011. Blog de la red española de química sostenible:
<https://quimicasostenible.wordpress.com/2011/10/10/el-n-hexano-%C2%BFheroe-o-villano/> (23 de Junio 2019)
- Savy Filho.** 2007 citado en Meza P. 2012. Determinación de las propiedades físico-mecánicas para el descascarado de las cápsulas de la higuierilla (*Ricinus communis* L). Revista mexicana de ciencias agrícolas. Texcoco. Vol. 3: PP. 644-649,

Severino L. 2005. Curso sobre el cultivo de higuera. Investigador de EMBRAMPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria). Embrapa, Brasil.