



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

UNIDAD REGIONAL UNIVERSITARIA DE ZONAS ÁRIDAS

**Doctorado en Ciencias en Recursos Naturales y
Medio Ambiente en Zonas Áridas**

**MORFOMETRÍA Y FISIOLOGÍA DE PLANTAS DE
ECOTIPOS SILVESTRES DE HIGUERILLA
(*Ricinus communis* L.) DEL NORTE DE MÉXICO**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

**Doctor en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente de
Zonas Áridas**

Presenta:

GABRIEL DE JESÚS PEÑA URIBE

Bajo la supervisión de:

ARMANDO LÓPEZ SANTOS, Dr.

RICARDO DAVID VALDEZ CEPEDA, Dr.



Bermejillo, Mapimí, Durango, México, Junio de 2021

MORFOMETRÍA Y FISIOLOGÍA DE PLANTAS DE ECOTIPOS SILVESTRES DE HIGUERILLA (*Ricinus communis* L.) DEL NORTE DE MÉXICO

Tesis realizada por **M.C. GABRIEL DE JESÚS PEÑA URIBE** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado

de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE DE ZONAS ÁRIDAS

DIRECTOR:

Dr. Armando López Santos

CODIRECTOR:

Dr. Ricardo David Valdez-Cepeda

ASESOR:

Dr. Sigifredo Armendáriz Erives

LECTOR EXTERNO:

Dr. Antonio de Jesús Meraz Jiménez

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	iv
LISTA DE FIGURAS.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
DATOS BIOGRÁFICOS.....	viii
RESUMEN GENERAL	ix
GENERAL ABSTRACT	x
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
JUSTIFICACIÓN.....	2
OBJETIVO GENERAL	4
Objetivos Específicos.....	4
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
1. LA HIGUERILLA (<i>Ricinus communis</i> L.).....	5
1.1. Clasificación Taxonómica.....	5
1.2. Distribución y Descripción de la planta.....	5
2. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN.....	9
2.1. Investigaciones Relacionadas con las Semillas de Higuera.....	9
2.2. Investigaciones Relacionadas con Aspectos Fisiológicos de Plantas y Factores Ambientales de Zonas Áridas.....	11
3. USOS DE LA HIGUERILLA.....	13
3.1. Usos étnicos de la higuera.....	13
3.2. Usos Industriales	14
3.3. Usos biológicos	15
4. ASPECTOS ECONÓMICOS Y TENDENCIAS DE MERCADO	16
5. REFERENCIAS.....	20
CAPÍTULO III MORPHOMETRY OF CASTOR BEAN SEEDS FROM THE DURANGO STATE'S ARID ZONE, MEXICO.....	29

ABSTRACT	29
1. INTRODUCTION	30
2. MATERIALS AND METHODS.....	31
3. RESULTS.....	35
4. DISCUSION AND CONCLUSIONS.....	41
5. REFERENCES	45
CAPÍTULO IV RESPUESTA FISIOLÓGICA DE TRES ECOTIPOS SILVESTRES DE HIGUERILLA EXPUESTOS A DIFERENTES NIVELES DE HUMEDAD EN EL SUSTRATO	48
RESUMEN	48
1. INTRODUCCIÓN.....	49
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	51
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
4. CONCLUSIONES.....	60
5. REFERENCIAS	61
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES GENERALES	64

LISTA DE CUADROS

CAPÍTULO II

Cuadro 1. Principales Países productores de higuera y las toneladas producidas por año. Fuente FAOSTAT 2020.....	18
---	----

CAPÍTULO III

Table 1. Geographical information of the wild castor bean seeds sites of collection within the Durango state's arid zone, Mexico.....	32
--	----

Table 2. Castor bean seed morphometry basic statistics of accessions collected in the Durango State's arid zone.....	37
---	----

CAPÍTULO IV

Cuadro 1. Condiciones ambientales promedio en el interior del invernadero durante el experimento.	51
---	----

Cuadro 2. Sitios de recolecta de los ecotipos de higuera y sus características ambientales.	52
---	----

Cuadro 3. Características biofísicas del Calcisol arídico recolectado en la parcela experimental.	53
---	----

Cuadro 4. Medias y desviaciones estándar de las variables morfométricas de higuera. ..	56
--	----

Cuadro 5. Medias y desviaciones estándar de las variables fisiológicas de higuera agrupadas por factores.	57
---	----

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

Figura 1. Mapa de distribución mundial de la higuera (<i>Ricinus communis</i> L.). Fuente: Compendio de Especies Invasoras.....	6
--	---

CAPÍTULO III

Figure 1. Castor bean seed measurements with a vernier, x-axis, y-axis, and z-axis.....	34
---	----

Figure 2. Relationship between x- and y- axes of castor bean seeds collected in the Durango State's arid zone. Gómez Palacio (GP), Guatimapé (GUA), Leandro Valle (LV), Nazareno (NZN), Nazas1Site1 (Nzs1S1), Nazas 1 site 3 (Nzs1S3), Nazas 2 site 1 (Nzs2S1), Nazas 2 site 3 (Nzs2S3), Nazas 3 site 3 (Nzs3S3), Nazas 4 (Nzs4), San Luis del Cordero (SLC), Villa Unión 1 site 1 (VU1S1), and Villa Unión 1 site 3 (VU1S3).....	38
---	----

Figure 3. Relationships between SEA or SDV with the x- or y-axes of castor bean seeds collected in 13 locations of Durango State's arid zone. Gómez Palacio (GP), Guatimapé (GUA), Leandro Valle (LV), Nazareno (NZN), Nazas1Site1 (Nzs1S1), Nazas 1 site 3 (Nzs1S3), Nazas 2 site 1 (Nzs2S1), Nazas 2 site 3 (Nzs2S3), Nazas 3 site 3 (Nzs3S3), Nazas 4 (Nzs4), San Luis del Cordero (SLC), Villa Unión 1 site 1 (VU1S1), and Villa Unión 1 site 3 (VU1S3).....	39
--	----

Figure 4. Relationship of the SDV and Mass of castor bean seeds collected in the arid zone of the state of Durango, Mexico. Gómez Palacio (GP), Guatimapé (GUA), Leandro Valle (LV), Nazareno (NZN), Nazas1Site1 (Nzs1S1), Nazas 1 site 3 (Nzs1S3), Nazas 2 site 1 (Nzs2S1), Nazas 2 site 3 (Nzs2S3), Nazas 3 site 3 (Nzs3S3), Nazas 4 (Nzs4), San Luis del Cordero (SLC), Villa Unión 1 site 1 (VU1S1), and Villa Unión 1 site 3 (VU1S3).....	40
--	----

Figure 5. One-way analysis of means ($\alpha=0.0001$) of SDV of castor beans from 13 sites in the Durango state's arid zone. Gómez Palacio (GP), Guatimapé (GUA), Leandro Valle (LV), Nazareno (NZN), Nazas1Site1 (Nzs1S1), Nazas 1 site 3 (Nzs1S3), Nazas 2 site 1 (Nzs2S1), Nazas 2 site 3 (Nzs2S3), Nazas 3 site 3 (Nzs3S3), Nazas 4 (Nzs4), San Luis del Cordero (SLC), Villa Unión 1 site 1 (VU1S1), and Villa Unión 1 site 3 (VU1S3).....	41
---	----

Figure 6. Relationship between SDV and EI (A), RI (B), or FI (C) of castor beans. Sites of seeds collection: Gómez Palacio (GP), Guatimapé (GUA), Leandro Valle (LV), Nazareno (NZN), Nazas1Site1 (Nzs1S1), Nazas 1 site 3 (Nzs1S3), Nazas 2 site 1 (Nzs2S1), Nazas 2 site 3 (Nzs2S3), Nazas 3 site 3 (Nzs3S3), Nazas 4 (Nzs4), San Luis del Cordero (SLC), Villa Unión 1 site 1 (VU1S1), and Villa Unión 1 site 3 (VU1S3).....	42
---	----

CAPÍTULO IV

Figura 1. Porcentaje de humedad en los ecotipos de higuera.	59
--	----

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mi compañera de vida Laura Esmeralda y a mi pequeña futura científica Daenerys Esmeralda, que este trabajo le muestre que no hay límites y que, si yo pude, ella también puede.

A Rafael Riosmena-Rodríguez y Miguel Ángel Leal Jiménez que me mostraron que se puede ser bueno en su trabajo y ser mejores personas.

Un beso a mi mamá y mi abuelo allá en el cielo que siempre están conmigo.

AGRADECIMIENTOS

El principal agradecimiento es al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CoNaCyT) por el apoyo de la beca otorgada para la manutención durante mis estudios de posgrado, ya que sin estos recursos sería difícil completar los estudios en una institución tan exigente como lo es la Universidad Autónoma Chapingo.

En segundo lugar, agradezco a los integrantes de mi comité asesor Dr. Armando, Dr. Valdez y Dr. Sigifredo por la paciencia, consejos y apoyo para cumplir este propósito.

En tercer lugar, agradezco a todos los maestros de URUZA que me brindaron sus conocimientos y siempre me motivaron para ser mejor día con día.

En cuarto lugar, agradezco muchísimo al personal administrativo de laboratorios (Alondra, Alicia y Pamela) y al de posgrado (Mary) porque, gracias a su apoyo, todos los trabajos de laboratorio y procesos burocráticos fueron mucho más fáciles.

En quinto lugar, agradezco enormemente a la Universidad Autónoma Chapingo y sobre todo a la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, por abrirme la puerta y sentirme bienvenido en todo momento.

Por último, y no menos importante, agradezco a los compañeros y amigos que marcaron mi estancia de alguna manera. En especial a mis amigos de la generación 2017-2020 Noé, Elizabeth, Alejandra y a mi super brother Oscar por permitirme conocerlos y por soportarme durante este tiempo.

A todos ustedes muchas gracias

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos Personales

Nombre: Gabriel de Jesús Peña Uribe

Fecha de nacimiento: 22 de enero de 1988

Lugar de nacimiento: Torreón, Coahuila de Zaragoza

CURP: PEUG880122HCLXRB02



Formación Académica

Técnico en sistemas computacionales por la Preparatoria Luis Aguirre Benavides (2003-2006). Torreón, Coahuila.

Licenciado en Biología Marina por la Universidad Autónoma de Baja California Sur (2006-2011). Tesis Titulada “Ecología Trófica de la Tortuga Verde (*Chelonia mydas*)” La Paz, Baja California Sur.

Maestro en Ciencias Marinas y Costeras por la Universidad Autónoma de Baja California Sur (2013-2015). Tesis Titulada “Propuesta de un Programa de Educación Ambiental para el Desarrollo Sustentable en los Ecosistemas Marinos y Costeros de Baja California Sur”. La Paz, Baja California Sur.

RESUMEN GENERAL

Morfometría y fisiología de plantas de ecotipos silvestres de higuera (*Ricinus communis* L.) del norte de México

La higuera es un arbusto que produce una semilla oleaginosa ampliamente utilizada en la industria química. Las características de su aceite lo convierten en un cultivo no alimenticio de gran importancia económica. Sin embargo, el cultivo de higuera aún es desconocido en diferentes regiones de México. El objetivo general de este estudio fue analizar la plasticidad de la higuera para ambientes áridos, a partir del análisis de características morfométricas y fisiológicas de plantas de ecotipos silvestres, cuyas semillas fueron recolectadas en la zona árida del estado de Durango. Para esto, el trabajo tuvo tres objetivos específicos. El primero fue valorar la importancia de la higuera como especie con potencial económico para las zonas áridas del norte de México. El segundo, consistió en generar información morfométrica de las semillas de higuera silvestre. El tercero fue analizar la respuesta fisiológica de tres ecotipos silvestres de higuera en un cultivo en invernadero con cuatro niveles de humedad edáfica ($T1_{\theta}=24\pm2\%$; $T2_{\theta}=20\pm2\%$; $T3_{\theta}=16\pm2\%$; $T4_{\theta}=14\pm2\%$). La información morfométrica de las semillas mostró posibles relaciones entre los atributos medidos. El análisis de medias mostró diferencias significativas entre las accesiones de semillas. Tres grupos de semillas se identificaron; ellos mostraron dependencia de los atributos de tamaño y forma. Un grupo involucra semillas con gran volumen, poca excentricidad, gran redondez (Ecotipo 1). Otro grupo incluye semillas con volumen medio, gran excentricidad, redondez intermedia y gran robustez (Ecotipo 2). El último grupo involucra semillas de poco volumen y gran excentricidad, redondez, y con gran dispersión en la robustez (Ecotipo 3). Las mediciones fisiológicas del cultivo experimental fueron realizadas usando un medidor de fotosíntesis portátil LICOR (LI-400XT). Análisis de varianza de dos vías fueron realizados para obtener las diferencias significativas entre los factores y sus interacciones. Los resultados indican que Ecotipo 1 y Ecotipo 2 tuvieron tallos más altos y hojas más grandes que Ecotipo 3. Las diferencias en el crecimiento de las plantas de los sustratos con T1 y T2 fueron no significativas ($p>0.05$). El Ecotipo 3 mostró la tasa fotosintética mayor ($14.77\pm 6.14 \mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$); sin embargo, las diferencias entre ecotipos fueron no significativas. Las diferencias fueron principalmente determinadas por el contenido de humedad del sustrato.

Palabras Clave: Conductancia estomática, formas de semillas, índices de forma, fotosíntesis, humedad de suelo.

Tesis de Doctorado en Ciencias, Posgrado en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Gabriel de Jesús Peña Uribe

Directores de Tesis: Armando López Santos, Dr. y Ricardo David Valdez Cepeda, Dr.

GENERAL ABSTRACT

Morphometry and physiology of wild castor bean (*Ricinus communis* L.) ecotypes from northern Mexico

Castor bean is a shrub that produces an oleaginous seed widely used in the chemical industry. The characteristics of its oil make it a non-food crop of great economic importance. However, the cultivation of castor bean is still unknown in different regions of Mexico. The general objective of this study was to analyze the plasticity of castor bean for arid environments, based on the analysis of morphometric and physiological characteristics of wild ecotypes of plants whose seeds were collected in the arid zone of the state of Durango. For this, the work had three specific objectives. The first was to evaluate the importance of castor bean as a species with economic potential for the arid zones of Northern Mexico. The second was to generate morphometric information of the wild castor bean seeds. The third was to analyze the physiological response of three wild castor bean ecotypes under greenhouse culture with four levels of soil moisture ($T1_e=24\pm 2\%$; $T2_e=20\pm 2\%$; $T3_e=16\pm 2\%$; and $T4_e=14\pm 2\%$). Seed morphometric information showed possible relationships among the measured attributes. Means analysis showed significant differences among seed accessions. Three seed groups were identified; They showed high dependence on size and shape attributes. One group involves seeds with high volume, little eccentricity, large roundness, and medium flatness (Ecotype 1). Another group includes seeds with medium volume, high eccentricity, medium roundness, and high robustness (Ecotype 2). The last group involves seeds with small volume, and large eccentricity, roundness, and with large dispersion in robustness (Ecotype 3). Physiological measurements of the experimental crop were performed using a LICOR portable photosynthesis meter (LI-400XT). Two-way analysis of variance was performed to obtain significant differences between factors and their interactions. The results indicate that Ecotype 1 and Ecotype 2 had taller stems and larger leaves than Ecotype 3. The differences in plant growth of substrates with T1 and T2 were non-significant ($p > 0.05$). Ecotype 3 showed the highest photosynthetic rate ($14.77 \pm 6.14 \mu\text{mol CO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$); however, differences between ecotypes were non-significant. The differences were mainly determined by substrate moisture content.

Key Words: Stomatal conductance, seed shapes, shape indexes, photosynthesis, soil moisture.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

Las zonas secas son ecosistemas muy heterogéneos debido a la gran variación de los factores físico-climáticos como son temperatura, precipitación y sus diferentes tipos de suelos (Rivera-Aguilar *et al.*, 2004). Aunado a esto, las zonas áridas han cobrado relevancia debido a que “las zonas secas cubren alrededor del 40% de la superficie de la tierra y dan hábitat a 1/5 de la población humana mundial” (Reynolds y Smith, 2002). El promedio de la precipitación anual y la disponibilidad de agua en estas zonas es muy limitado, debido a que la precipitación anual es menor a los 350 mm (Tarango-Arámbula, 2005).

Para la agricultura del trópico seco, el estrés hídrico durante el periodo de crecimiento de plantas cultivadas es un fenómeno recurrente (Vijaya-Kumar *et al.*, 2005). La sequía es el factor limitante más importante en la productividad agrícola en el mundo (Sausen y Rosa, 2010). Por esta razón, entender la variabilidad en la disponibilidad del agua que demanda la planta es un propósito esencial en cuanto al estrés causado por la humedad. Los cultivos que presentan mayor tolerancia al estrés hídrico cobran vital importancia en lugares donde estas condiciones son habituales (Sausen y Rosa, 2010).

La higuera es una planta tropical de la familia *Euphorbiaceae*. Ésta posee una semilla oleaginosa que ha adquirido una gran importancia debido a la cantidad de usos (más de 700) que se le han encontrado en la actualidad (de França-Silva *et al.*, 2015; Salihu *et al.*, 2014). El contenido de ácido ricinoléico en el aceite de ricino, proveniente de la semilla de higuera, lo hace único entre los aceites vegetales, ya que ningún aceite vegetal contiene tanta concentración de este ácido graso; lo cual permite la creación de múltiples derivados con gran pureza (Salihu *et al.*, 2014; Severino *et al.*, 2012).

Actualmente, las principales investigaciones sobre los usos de la higuera están enfocados en la sustitución de combustibles fósiles mediante la producción de biodiesel, con la esperanza de que coadyuve a mitigar la producción de contaminantes emitidos a la atmósfera y, consecuentemente, a disminuir los efectos del cambio climático. Aunado a lo anterior, esta planta se considera como

una especie tolerante a la sequía y por esta razón se ha llevado a cultivarse en zonas áridas (Sausen y Rosa, 2010). Desde hace poco tiempo en México, se despertó el interés por la higuierilla como alternativa de cultivo económico para comunidades rurales marginadas y como opción de mitigación ante el cambio climático (SAGARPA, 2015).

JUSTIFICACIÓN

La higuierilla es uno de los cultivos más importantes para la obtención de aceites no comestibles en las regiones áridas y semi-áridas (Dange *et al.*, 2005). Desde el punto de vista químico, el aceite de ricino se diferencia de otros aceites vegetales como el de soya, girasol entre otros por el alto contenido de un ácido graso llamado ricinoleico (Jachmanian, 2009). El contenido de ácido ricinoleico en el aceite de ricino proveniente de la higuierilla (*Ricinus communis L.*) lo hace único entre los aceites vegetales, debido a que ningún aceite vegetal contiene tan alta concentración de este ácido graso; lo que permite la creación de múltiples derivados con gran pureza (Salihu *et al.*, 2014; Severino *et al.*, 2012) convirtiéndolo en una materia prima de suma importancia en la industria oleoquímica, debido a las grandes transformaciones y derivados que se pueden generar (Jachmanian, 2009).

El aceite de ricino tiene usos muy importantes de la industria farmacéutica. Uso por especificaciones de contenidos en diferentes fármacos para medicina interna. Otro uso corresponde a la dermatología, como un ingrediente de suma importancia para la creación de esmaltes, lociones y lápices labiales, entre otros productos (Jachmanian, 2009).

Por otro lado, el desarrollo de la industria y las actividades humanas, el uso impresionante y desmedido de productos derivados del petróleo han incorporado al ambiente una nueva serie de contaminantes como el óxido de nitrógeno (NO), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos y plomo (Pb) (Corvalán, 1998); esto debido a que las principales fuentes de energía en el mundo hasta el momento han sido los combustibles fósiles con 79% (de los cuales 37% petróleo, 25%

carbón y 24% gas natural), 13% energía proveniente de biomasa, 3% de hidroeléctrica (Hazell y Pachauri, 2006; López-Guillén *et al.*, 2013). Este consumo inmoderado de combustibles fósiles, además de la deforestación y la expansión de áreas para cultivo han provocado una acumulación excesiva de gases de efecto invernadero, provocando un efecto invernadero intensificado, aumentando la temperatura sobre la Tierra (Baethgen y Martino, 2000) (IPCC 2001, CMNUCC 2002, PNUMA 2002). Como resultado de esto, modelos del ciclo del carbono proyectan una concentración de 540-970 ppm de dióxido de carbono (CO₂) para finales de este siglo (Rao *et al.*, 2009).

Estas alteraciones en el clima, la intensificación de los fenómenos meteorológicos a nivel mundial y los impactos negativos que genera en la producción de los servicios ecosistémicos han provocado que el interés de los científicos por el estudio del cambio climático haya aumentado drásticamente en los últimos años, centrándose en buscar alternativas para la mitigación de estos efectos, como buscar fuentes alternativas de energía y disminuir el uso de combustibles fósiles, para minimizar la dependencia hacia los hidrocarburos y los daños ocasionados al ambiente, mediante políticas encaminadas hacia el uso de biocombustibles (Durham y Wood, 2002; Sausen y Rosa, 2010).

Una de estas medidas y que se ha comprobado que es técnicamente factible, es la producción de biodiesel derivado del aceite de ricino de la higuera (Salihu *et al.*, 2014). En los últimos años la demanda de esta planta aumentó aproximadamente un 50% y se sabe que se encuentra en una gran parte del territorio mexicano y aunque se ha demostrado su utilidad e importancia en los últimos años, aún existe poca información disponible (Goytia-Jiménez *et al.*, 2011; Severino *et al.*, 2012), sobre todo de cultivos en zonas áridas. A pesar de lo anterior, el cultivo de Higuera en México sigue siendo marginal y según Armendáriz-Velázquez (2012) no supera más de las 500 hectáreas con una producción de 100 toneladas aproximadamente.

Por todo lo anterior, es de suma importancia seguir con este tipo de trabajos que generen conocimiento nuevo sobre ecotipos de higuera con posibilidades de

cultivo con base en morfometría de semillas y plantas y su fisiología enfocándose en las zonas áridas del norte de México.

OBJETIVO GENERAL

Analizar la morfometría de semillas y la respuesta de plantas de higuera (*Ricinus communis* L.) en cuatro niveles de humedad edáfica en condiciones de invernadero tomando en cuenta semillas de ecotipos silvestres recolectadas en la zona árida del estado de Durango, México.

Objetivos Específicos

- a)** Valorar la importancia de la higuera como especie con potencial económico para las zonas áridas del norte de México.

- b)** Generar información morfométrica de las semillas de higuera silvestre recolectadas en la zona árida del estado de Durango.

- c)** Analizar la respuesta fisiológica de plantas de tres ecotipos silvestres de higuera cultivadas en cuatro niveles de humedad edáfica.

CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

1. LA HIGUERILLA (*Ricinus communis* L.)

1.1. Clasificación Taxonómica

Reino: Plantae

Subreino: Traqueobionta (plantas vasculares)

Superdivisión: Spermatophyta (plantas con semillas)

División: Magnoliophyta (plantas con flor)

Clase: Magnoliopsida (dicotiledóneas)

Subclase: Rosidae

Orden: Euphorbiales.

Familia: Euphorbiaceae

Género: *Ricinus*

Especie: *Ricinus communis* L.

(Heike Vibrans (ed.), 2009; Salihu, Gana, & Apuyor, 2014).

1.2. Distribución y Descripción de la planta

Según Heike-Vibrans (2009), la higuierilla es una planta exótica invasiva de suma importancia en el territorio nacional. Esta se puede encontrar al lado de carreteras y en terrenos baldíos. Su origen aún es incierto debido a su amplia diseminación en tiempos antiguos y por su fácil y rápido establecimiento como una planta nativa de casi cualquier lugar (Salihu *et al.*, 2014). Sin embargo, diferentes autores (e.g. Beltráo *et al.*, 2001; Salihu *et al.*, 2014; Lakhani *et al.*, 2015; Kallamadi *et al.*, 2015; Lavandera *et al.*, 2019) mencionan que es una planta originaria de Etiopía

en África. El Grupo de Especialistas de Especies Invasoras (ISSG, por sus siglas en inglés) de la IUCN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, por sus siglas en Inglés) menciona que el rango nativo de esta especie es de Afganistan, Argelia, Angola, Benín, Botsuana, Egipto, Etiopía, Hungría, Irán, Israel, Jordania, Kenia, Marruecos, Nigeria, Pakistán, Sudáfrica, Siria y Turquía (1). Sin embargo, por su cultivo se ha distribuido en regiones tropicales y subtropicales, y también en países templados (Figura 1; Salihu *et al.*, 2014).



Figura 2. Mapa de distribución mundial de la higuierilla (*Ricinus communis* L.). Fuente: Compendio de Especies Invasoras (2).

Según Acevedo *et al.* (1997), la higuierilla fue introducida a Sudamérica por los portugueses y, posteriormente, fue traída a México por los españoles. En la República Mexicana presenta una amplia distribución, teniendo registros en Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Ciudad de México, Guanajuato, Guerrero, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Yucatán (Heike-Vibrans, 2009).

La higuierilla varía mucho en su crecimiento, apariencia, color del follaje y tallos, color y tamaño de semillas, así como en contenido de aceite, razones por la cuales en ocasiones no se parecen entre sí (Salihu *et al.*, 2014). La higuierilla es

una planta de hábitos principalmente arbustivos de coloración variada en tallo, con colores verdes a azul grisáceo y en ocasiones con tonalidades rojas (Heike Vibrans, 2009; Marengo-Centeno *et al.*, 2012). No obstante, organismos de hasta 6 metros de altura, con tallo engrosado y ramificado se han registrado. Debido a lo anterior, Salihu *et al.* (2014) mencionan que las plantas de ricino se pueden agrupar en tipos altos o gigantes y enanos. Las plantas altas tienen un comportamiento perenne que a menudo se desarrollan como árboles, mientras que las plantas bajas se comportan como plantas anuales de vida corta (Salihu *et al.*, 2014).

Ogunniyi (2016) menciona que la planta de higuera puede crecer favorablemente con temperaturas entre 20 y 26°C con poca humedad durante toda la temporada de crecimiento. En zonas áridas donde la planta solo tiene las lluvias para desarrollarse, el crecimiento aéreo es más lento en relación con el crecimiento de las raíces, lo que le permite a la planta mejor aprovechamiento de la humedad y nutrientes en el suelo; y mayor tolerancia a la sequía (Salihu *et al.*, 2014).

Las hojas de higuera son grandes, laminadas casi orbiculares, variando su diámetro entre 10-60 cm, profundamente palmatilobada, con cinco a once divisiones ovado-oblongas a lanceoladas (también llamadas lóbulos) y borde irregularmente dentado-granuloso (Heike-Vibrans, 2009; Marengo-Centeno *et al.*, 2012; Salihu *et al.*, 2014). Las hojas generalmente son verde oscuro brillante, pero pueden variar de color entre verde claro, verde oscuro brillante a rojo oscuro dependiendo del nivel de pigmentación antocianina presente (Weiss, 2000). En algunas plantas, cuando las hojas son jóvenes comienzan con un color púrpura rojizo oscuro o bronce, pero cambian gradualmente a un verde oscuro, a veces con un tinte rojizo a medida que maduran (Salihu *et al.*, 2014).

El pecíolo puede ser igual o más largo que la lámina y presenta glándulas antes de la lámina (Heike Vibrans, 2009; Marengo-Centeno *et al.*, 2012; Salihu *et al.*, 2014). A estas glándulas se les conoce como nectarios extraflorales que se encuentran en la parte inferior del pecíolo, así como en algunas ocasiones se puede presentar en las bases de la ramificación (Galo, 2008). Estas glándulas

son utilizadas para secretar compuestos orgánicos volátiles y néctar extrafloral que sirve para atraer enemigos de los herbívoros (Bixenmann *et al.*, 2013) cuando la planta está siendo afectada por estos (Millán-Cañongo *et al.*, 2014). La higuierilla puede producir flores durante un largo periodo, siempre y cuando las condiciones sean favorables (Salihu *et al.*, 2014). Normalmente es una planta de polinización cruzada, utilizando el viento como principal vía de polinización (Salihu *et al.*, 2014). Las flores pueden ser monoicas, pistiladas o intercaladas en la inflorescencia (Salihu *et al.*, 2014). Presenta flores masculinas con un perianto de 6-12 mm de largo en la parte basal de la panícula, mientras que el de las flores femeninas es de 4-8 mm de largo, el ovario se encuentra cubierto densamente por largos tubérculos blandos que parecen pelos gruesos (Galo, 2008; Heike-Vibrans, 2009; Salihu *et al.*, 2014). La inflorescencia de la higuierilla puede alcanzar una longitud de 100 cm. En la mayoría de las variedades de ricino, las flores femeninas se abren antes que las masculinas, mientras que en otras las flores masculinas se abren primero (Salihu *et al.*, 2014). Las flores masculinas desprenden la mayoría del polen viable entre los primeros dos días después de abrirse (Salihu *et al.*, 2014).

La higuierilla presenta frutos como capsulas globosas de 1.5 a 2.5 cm de largo, con espinas cortas y gruesas (Galo, 2008; Heike-Vibrans, 2009). Estos se comienzan a formar de tres a siete días después de la fertilización. Algunos frutos tienen espinas duras e irritantes, otros presentan espinas suaves y flexibles no irritantes. La capsula se vuelve dura y quebradiza cuando madura (Salihu *et al.*, 2014). Para la dispersión de sus semillas, algunas variedades se rompen explosivamente liberando las semillas. Los frutos pueden venir acomodados en racimos de forma cónica.

La capsula está dividida en tres compartimentos y cada uno aloja una semilla. Las semillas son elipsoides y aplanadas. De textura lisa, con colores brillantes jaspeado gris y café (Galo, 2008; Heike-Vibrans, 2009). Algunos mencionan que puede ser rojo parduzco o marrón (Salihu *et al.*, 2014). Las semillas varían de tamaño, desde los 10 mm hasta casi 250 mm de largo y en ancho de 5 a 16 mm. 100 semillas varían en peso de 9 a 100 g (Galo, 2008; Heike-Vibrans, 2009;

Salihi *et al.*, 2014). El peso de las semillas aumenta a medida que disminuye el número total de semillas producidas por planta (Salihi *et al.*, 2014). Las semillas grandes a menudo germinan antes en comparación con las semillas diminutas (Salihi *et al.*, 2014)

El número de cromosomas informado para *R. communis* es $2n = 20$. Todas las formas naturales de higuera son diploides, se cruzan libremente y son completamente fértiles. La frecuencia del cruzamiento natural es comúnmente entre el 5 y el 50%, pero en algunos cultivares enanos puede llegar al 90-100%. Se ha producido y comercializado una gran cantidad de variedades y cultivares en todo el mundo. El uso de líneas estériles masculinas y femeninas estériles es de gran valor en la reproducción. La selección de cepas con solo flores masculinas o femeninas permitió la producción comercial de híbridos específicos. La selección tradicional a largo plazo ha tendido principalmente a centrarse en los problemas asociados con la producción mecánica, como la arquitectura anual de plantas enanas, frutos indehiscentes, de cáscara delgada y escasamente espinosos, que maduran sincrónicamente. Los objetivos principales del mejoramiento moderno de ricino son un alto rendimiento de semillas, un alto contenido de aceite y un alto contenido de ácido ricinoleico, una fácil recolección y resistencia a las plagas ⁽²⁾.

2. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

2.1. Investigaciones Relacionadas con las Semillas de Higuera

La tasa de germinación de las semillas y el crecimiento rápido de la planta son indispensables para la supervivencia y el establecimiento de las especies en zonas áridas (Valdés-Rodríguez *et al.*, 2018). Un amplio rango de variación en cuanto al peso y forma de las semillas son considerados aspectos importantes de estrategias y adaptaciones reproductivas de las plantas (Grubb, 1996). Por estas razones, el análisis de las formas en órganos y organismos bióticos es necesario en diferentes áreas del conocimiento. En botánica y en las ciencias agronómicas los estudios referentes a las semillas son de suma importancia para

tener una mejor tasa de germinación, control microbial y variedades puras (Chtioui *et al.*, 1996; Jugulam, 2017).

Green (1890) intentó comprender cuales son los elementos del aceite que se encargan de la nutrición del embrión, cuáles son los mecanismos de absorción y cuáles son las partes que tienen un rol en el proceso de la germinación. Con su trabajo, Green (1890) pudo concluir que las proteínas del aceite compuestas principalmente de globulina y de albumosa son las responsables de nutrir al embrión; cambios en la germinación se deben a la fermentación de algunos compuestos presentes como tripsinas, glicéridos y glicerinas, y su fermentación está sumamente ligada a la humedad y calor; el modo de absorción de los nutrientes es por diálisis principalmente. Greenwood y Bewley (1981) analizaron la morfología interna y externa de frutos y semillas de higuera (cv. Hale) en diferentes etapas de crecimiento y maduración. Ellos pudieron reconocer por lo menos diez estadios en el desarrollo del fruto y la semilla con la misma duración. Esto con el fin de conocer las etapas de maduración y poder cosechar las semillas al tiempo que se requiera tener algún estadio de madurez en específico.

Un estudio de las características químicas y morfológicas de semillas de variedades comerciales de ricino mediante microscopia y análisis de imagen fue realizado por Perea-Flores *et al.* (2011). Ellos confirmaron el gran contenido de aceite y proteínas. También, ellos describieron la morfometría de la semilla. Lorestani y Kazemi (2012) destacan que las semillas contienen alrededor del 85% de humedad y desarrollaron un modelo para predecir la masa de las semillas de higuera. Esto es de suma importancia porque diferentes autores mencionan que las semillas contienen entre el 35 y 55% de aceite con relación a su peso (Ogunniyi, 2006; Scholz and da Silva, 2008; Perea-Flores *et al.*, 2011; Lorestani and Kazemi, 2012; Kallamadi, 2015).

Acosta *et al.* (2013) compararon características morfométricas de variedades comerciales de semillas de higuera procedentes de la región del Bajío en México mediante análisis de imagen. Ellos encontraron diferencias que van desde el color de la semilla, que varían de gris plateado, ocre, negro mate. A su

vez, ellos evaluaron dos algoritmos para el análisis de las formas de las semillas y encontraron diferencias significativas entre los métodos utilizados y entre las variedades de las semillas.

dos Santos *et al.* (2016) realizaron estudios sobre el deterioro de semillas de variedades comerciales de higuera durante el almacenamiento. Ellos, encontraron que la enzima catalasa puede ser considerada como un indicador del deterioro de la semilla. También, ellos mencionan que la cripto-preservación a -196°C es la manera más indicada de preservar las semillas de la variedad de IAC-226 durante un año. Como se pudo observar con los trabajos anteriores, la mayoría son enfocados en variedades comerciales de higuera. Por lo que el conocimiento sobre las semillas de ecotipos silvestres es aún escaso.

Por otro lado, Cervantes *et al.* (2016) realizaron una revisión sobre los métodos de análisis de las formas de las semillas. Ellos señalan que las características morfométricas de las semillas de las plantas son sumamente variables y que este tipo de estudios pueden ser abordados con aparatos muy simples como vernier y probeta, hasta con técnicas digitales de análisis. Este trabajo menciona que herramientas simples y costos baratos, se pueden obtener resultados muy buenos.

Isaza *et al.* (2017) analizaron ecotipos silvestres de zonas áridas y húmedas de México. Ellos realizaron análisis de componentes principales para categorizar las semillas y encontraron diferencias significativas en las diferentes colecciones. Ellos lograron caracterizar 10 grupos de semillas con un porcentaje del 95% de precisión.

1.2. Investigaciones Relacionadas con Aspectos Fisiológicos de Plantas y Factores Ambientales de Zonas Áridas

El cambio en el tamaño de una planta con relación al tiempo es el resultado fisiológico más notable en cualquier organismo y está íntimamente relacionada con la disponibilidad de agua, debido a que alrededor del 80% del peso de las plantas es agua (Kramer y Boyer, 1995). Por eso, las plantas pueden crecer y

desarrollarse en estas zonas mediante un aprovechamiento eficiente del agua disponible.

Heckneberger *et al.* (1998) estudiaron los efectos físico-fisiológicos que la sequía produce en las células de las hojas de *R. communis* durante el crecimiento. Ellos lograron diferenciar tres fases en el desarrollo de las hojas. La primera fase que se presenta hasta los 4 cm del lóbulo medio, la actividad de división celular se presenta en toda la hoja. Cuando los 4 cm se superan, aumenta el área foliar significativamente. Cuando la longitud es de 8 cm, la división celular disminuye considerablemente hasta que se detiene progresivamente. En cuanto a los efectos del déficit hídrico, los autores destacan que cuando la planta se encuentra en condiciones de humedad escasa, el crecimiento de la hoja es más lento en comparación con las plantas con humedad abundante. Al mismo tiempo observaron que la diferenciación celular era más lenta en las hojas de las plantas con déficit hídrico.

Da Matta *et al.* (2001) realizaron un experimento comparativo entre plantas tropicales de cultivo C3 y C4 en condiciones de invernadero. En este estudio se pretendió evaluar la actividad fisiológica de estos dos grupos de plantas mediante un medidor de fotosíntesis con un sistema semi abierto de gases medidos por un lector infrarrojo. Los investigadores destacan que los resultados eran de esperarse, esperando que las plantas C4 tuvieran una mayor tasa fotosintética que las plantas C3.

Sausen y Rosa (2010) destacan a la sequía como un factor limitante de gran importancia para el crecimiento de los cultivos. Por tal motivo ellos analizaron algunos de los mecanismos involucrados en la tolerancia a la sequía en la higuera. Para ello, los investigadores fueron permitiendo que la humedad de sus cultivos experimentales se perdiera gradualmente mientras monitoreaban la actividad fisiológica de las plantas. Ellos mencionan que el crecimiento es el factor más sensible a la falta de agua. Es el primer proceso que se ve ralentizado y concuerda con lo mencionado por Heckneberger *et al.* (1998). Sausen y Rosa (2010) enfatizan en la relación que tiene la disminución de la actividad

fotosintética y el cierre de los estomas como el factor principal que reduce la actividad fotosintética. Por último, ellos concluyen que la tolerancia a la sequía de la higuierilla está dada por sus características de rápido crecimiento, un mecanismo eficiente para el cierre estomático y la capacidad de continuar con la fijación de CO₂ durante situaciones de estrés hídrico.

dos Santos *et al.* (2017) compararon las respuestas fisiológicas de la higuierilla en dos regiones con climas diferentes en Brasil. Ellos destacan que las plantas presentaron déficits de vapor de agua en las hojas durante las horas más secas del día. Las plantas disminuyeron su actividad fotosintética en las horas de mayor radiación solar, sobre todo en la región árida. Ellos concluyen que la higuierilla presenta mecanismos de compensación para tolerar la sequía. Estos mecanismos fueron: un control efectivo del cierre de los estomas y el mantenimiento de la capacidad fotosintética.

3. USOS DE LA HIGUERILLA

3.1. Usos étnicos de la higuierilla

Zambrano, Buenaño, Mancera y Jiménez (2015) mencionan que el uso etnológico de la higuierilla en Ecuador es principalmente en baños calientes de infusión de la hoja para aminorar el dolor de huesos y músculos. Galo (2008) menciona que en Ecuador con dos o tres onzas de aceite de semilla mezclado con leche caliente sirve para contrarrestar el estreñimiento y los parásitos intestinales.

En lo que concierne a la cultura mexicana, la higuierilla presenta diferentes nombres a lo largo de su territorio, desde hierba verde, higuierilla tuluá, iscoche, pacón, palma cristi, hasta higuierilla del diablo o infernal según la Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana (2009). En los estados de Guerrero, Veracruz, México, Morelos, Puebla y Quintana Roo, la higuierilla se utiliza para reducir la fiebre o aliviar el empacho mediante infusiones de la hoja en agua hirviendo para aplicar baños al enfermo o directamente la hoja colocada en el

estómago y los pies, cambiándolas cuando el contenido de agua de las hojas va disminuyendo.

Para la bilis, las hojas con grasa animal de chivo se aplica en la espalda, estómago y pies. Para el dolor de hígado, las hojas se han usado en infusiones tomadas combinadas con otras hierbas. En niños recién nacidos con cabeza deforme, las hojas se han utilizado con fomentos de aceite vegetal en la cabeza y cubiertos con una hoja de higuierilla, para dar masajes suaves. La semilla se utiliza principalmente como purgante, machacada y revuelta con agua. El aceite extraído de la semilla se puede colocar en hinchazones de diferentes orígenes; a su vez ha sido usado como desparasitante.

Galo (2008) y González-Garduño (2008) mencionan que la higuierilla se usa también para combatir problemas de pérdida de cabello, caspa y cuero cabelludo seboso, mediante una mezcla del aceite de ricino (40g) y jugo de ortigas (100g), frotando esta mezcla con el cuero cabelludo. El uso como té sirve para la hernia estrangulada y como desparasitante.

3.2. Usos Industriales

Aunque el aceite de ricino es no comestible, es de los aceites vegetales más versátiles, ya que se usa ampliamente como material de partida para muchos productos químicos industriales debido a su estructura única. Es uno de esos aceites vegetales que se han utilizado en una gran cantidad de industrias químicas. El aceite de higuierilla es precursor para pinturas, recubrimientos, tintas, lubricantes y una amplia variedad de otros productos (Ogunniyi, 2016).

En cuanto a plásticos, el aceite es adecuado para la elaboración elastómera de poliuretano, poliuretano millable, adhesivos, recubrimientos y espuma de poliuretano. Algunas espumas semirrígidas que tienen usos potenciales en el aislamiento térmico. Cuando se calienta, el aceite de ricino a temperaturas de aproximadamente 250° C con una sustancia alcalina se puede producir ácido sebácico, una sustancia que es precursora de plastificantes, fluidos hidráulicos,

cosméticos, nailon, velas y más. Aunque la producción de ácido cebáico tiene rendimientos bajos es una ruta competitiva en costos (Vasishtha et al., 1990).

Díaz-López *et al.* (2013) utilizaron aceite de higuera para la producción de fibra óptica con núcleo líquido. Sin embargo, los resultados fueron muy insatisfactorios ya que determinaron que la atenuación de la luz era grande y directamente proporcional a la longitud de la fibra. Ello torna inviable la transmisión de la luz con fibras de gran longitud. Sin embargo, en el caso de fibras de menor longitud puede tener buenas aplicaciones, por ejemplo, en medicina estas fibras se pudieran utilizar para iluminar endoscopias.

Ocampo *et al.* (2014) realizaron lacas y selladores para madera a partir de las resinas de obtenidas de higuera, palma y sobrantes de aceites usados en la fritura de comida, esto con el fin de buscar alternativas para disminuir la importación de aceite de soya. Los atributos de calidad medidos fueron el brillo, viscosidad, adherencia a la madera, estabilidad térmica y tiempos de secado de acuerdo con los estándares de calidad internacionales. Los resultados demuestran que los productos fabricados con los aceites de higuera, palma y residuos de aceite utilizado en freidoras muestran diferencia no significativa con respecto a los productos elaborados con aceite de soya.

3.3. Usos biológicos

El macerado de la semilla resultante de la extracción del aceite de ricino se puede utilizar como fertilizante (Ogunniyi, 2016). Por otro lado, diversos autores (i.e. Akande *et al.*, 2015; Ogunniyi, 2016) mencionan que el macerado es inadecuado como alimento para animales debido a la presencia de la proteína tóxica conocida como ricina y un alérgeno que se conoce como CBA (alérgeno de ricino). Sin embargo, el mismo autor menciona que cuando la torta de semilla se cuece al vapor, la ricina se desintoxica y el alérgeno se inactiva. Aunque se ha informado del uso de torta desintoxicada como alimento para animales de granja (Oso *et al.*, 2011; Nsa *et al.*, 2013), lo deseable es tener mucha precaución y

experimentación antes de alimentar a los animales de granja con la torta (Ogunniyi, 2016).

Informes sobre la alimentación con harina de ricino mostraron que tiene un gran potencial como recurso alimenticio tropical debido a su perfil de nutrientes (Akande et al., 2012b; Rama-Rao, 2012). Sin embargo, Oso y colaboradores (2011) demostraron que los pollos de engorda no idujeron buenos rendimientos de ganancia de peso, e incluso hubo pérdidas de peso final en comparación con la dieta testigo. Por otro lado, Nsa *et al.* (2013) compararon efectos en la calidad de huevos puestos por gallinas alimentadas con diferentes tratamientos de desintoxicación de la pasta de semilla de ricino, demostrando que el alimentar a las gallinas con pasta de semilla de ricino, no afecta la calidad del huevo.

4. ASPECTOS ECONÓMICOS Y TENDENCIAS DE MERCADO

La importancia económica actual de la higuierilla y sus productos radica en la cantidad de usos. Algunos usos por el ser humano datan desde los 4 a 3 mil años a. de C., desde usos medicinales que destacan el uso del aceite en pequeñas cantidades como estimulador del vómito o laxante, las hojas para aliviar dolores. En la actualidad se han determinado más de 500 usos de las diferentes partes de la planta, desde la elaboración de fibras para la elaboración de plásticos hasta usos farmacéuticos de los compuestos que pueden extraerse del aceite de sus semillas.

La producción mundial de semilla es de un millón de toneladas en el 2006. La producción de aceite de ricino fue de 15 mil 515 toneladas en el 2016, superando los 10.79 millones de dólares. El interés creciente sobre el cultivo de higuierilla se debe a que se ha demostrado que con el aceite de la semilla se puede generar biodiesel. Sin embargo, existen diferentes puntos de vista en cuanto a la producción de combustibles con el aceite de ricino. Algunos mencionan que el ricino no es el cultivo ideal para la producción de energéticos dado que existen otros cultivos que tienen mejor consistencia para este tipo de derivados (Ferrari-

Putti *et al.*, 2014). En el siglo XIX, la higuera fue un cultivo de grandes dimensiones en India, Reino Unido, en la región de la Antigua Unión Soviética y en Estados Unidos de América; pero debido a la toxicidad y al uso indebido de los componentes de su aceite, en Reino Unido se ha disminuido su producción. Sin embargo, en el resto del planeta durante el último decenio, el interés sobre el cultivo de ricino ha aumentado porque la industria y el consumidor han reconocido el inmenso potencial del aceite de ricino para la industria. La demanda de aceite de ricino en el mundo aumenta constantemente entre un 3% y un 5% anual (Anjani, 2014). Varias empresas también están realizando esfuerzos de investigación de vanguardia sobre el uso de ricino para producir bioplásticos y biopolímeros. Sin embargo, los esfuerzos de investigación y desarrollo en ricino siguen siendo insuficientes para que el mercado capture la alta demanda de crecimiento.

Cuadro 2. Principales Países productores de higuera y las toneladas producidas por año. Fuente FAOSTAT 2020.

País /Año	2014	2015	2016	2017	2018
India	1,870,000	1,752,000	1,376,000	1,568,000	1,198,000
Mozambique	69,712	77,037	79,762	82,599	85,436
Brasil	37,582	46,735	37,000	13,481	14,224
China	40,000	40,000	24,620	32,000	27,000

Según el informe publicado por Research y Markets ⁽³⁾2020) se espera que el tamaño del mercado mundial de aceite de ricino y derivados alcance los \$2 mil millones de dólares para el 2025, con una expansión de crecimiento anual del 6.7%. La demanda del mercado fue de 813,200 toneladas en el 2018 y se prevé que alcance las 1,079,900 toneladas para el 2025.

El pronóstico indica que el mercado de aceite de higuera tendrá un crecimiento acelerado debido a la demanda de las industrias de uso final, especialmente con respecto al biodiesel, los cosméticos y los productos farmacéuticos ⁽³⁾. El crecimiento en el mercado puede deberse a las tendencias de reducción a la

dependencia de los hidrocarburos y la búsqueda a una vida más sustentable con el medio ambiente ⁽³⁾. Por lo tanto, se prevé que los gobiernos brinden apoyo regulatorio favorable en las economías desarrolladas de América del Norte y Europa, lo que coadyuvará al impulso en el crecimiento del mercado en un futuro próximo. India es el mayor fabricante de aceite de ricino y se prevé que la producción aumente debido a la alta disponibilidad de semillas en el país. El Grupo Amisy ⁽³⁾ menciona, los productores destacados en 2018 fueron Brasil, China e India, que representaron más del 80% del volumen de producción mundial de aceite de ricino. Sin embargo, FAOSTAT (2020) menciona que en el 2018 los mayores productores de semillas fueron India, Mozambique y China.

Por otro lado, los plásticos y las resinas surgieron como el mayor uso final en el uso de los derivados del aceite de higuera en 2018, debido a la creciente preferencia por los plásticos biodegradables en todo el mundo ⁽³⁾. Research and Markets mencionan que Europa tendrá una tasa de crecimiento del 6,5% en un futuro próximo, debido al creciente consumo de productos cosméticos y de cuidado personal en la región. Aunado a lo anterior, el consumo de los compuestos bactericidas de los derivados del ricino pudiera verse beneficiado por la creciente demanda de productos de desinfectantes para ayudar en el control de la pandemia del COVID-19.

Contrariamente a lo que menciona el informe de Research and Markets (2020), la producción de semilla tiene una tendencia a la baja en los principales países productores, a excepción de Mozambique. Faltaría un análisis detallado de toda la base de datos para ver a que se debe esta tendencia. Pudiera ser que en otros países han disminuido sus importaciones y aumentado su producción interna o están cambiando a otro cultivo debido a los usos indebidos que se le pueden dar a los componentes extraídos de la semilla.

El futuro es incierto, no se sabe lo que va a pasar a nivel mundial o nacional. Sin embargo, se menciona que, a pesar de los años, diversos mercados fluctúan de maneras drásticas, sin embargo, el mercado del aceite de ricino se ha mantenido estable a través del tiempo. Además de que es una planta ha sido

y sigue siendo usada desde hace miles de años y su estabilidad de mercado, la convierte en una planta que pudiera generar un ingreso constante a los pequeños productores como un cultivo alternativo o complementario. Una presentación del taller de bioeconomía de la empresa Ricinomex (2019) menciona que los pequeños productores pueden incrementar hasta el 60% de sus ingresos con el cultivo de la higuera. Sin embargo, un largo camino falta por recorrer en México. Desde establecer regulaciones en materia de cultivos energéticos, la modificación de los impuestos a los combustibles principalmente el IEPS (Impuesto Especial sobre Producción y Servicios) que se debiera aplicar de manera diferente con los biocombustibles, hasta el diseño de programas de sociales para incentivar la producción de combustibles de origen vegetal. Aunado a lo anterior, el mayor reto que presenta el cultivo de higuera es la adaptación de mecanismos automatizado para la cosecha.

5. REFERENCIAS

- Acevedo M.P, Lima E.F., Batista F.A.S., Beltrao N.E., Soares JJ., Viera R.M. y Moreira J.A. 1997. Recomendaciones técnicas para o cultivo de mamona (*Ricinus communis* L.) nordeste de Brasil. Circular Técnica 25. EMBRAPA-CNPA. Campina Grande, Brasil. 39 p.
- Acosta, M., Padilla, J., Botello, J., Quintanilla, J., Barrón, J., Espinoza, J. and Monte, S. (2013). Morfometría en diferentes variedades de semillas de higuierilla mediante procesamiento de imágenes. Ciencias Agropecuarias Handbook 1, 88-97 pp.
- Anjani K. (2014). A re-evaluation of castor (*Ricinus communis* L.) as a crop plant. CAB Reviews. (9) 038.
- Arán, M., Villar, P., Xandri, J., Albizua, L., Leránóz, A., Zalba, M., & Farré, X. (2001). Estudio de las relaciones entre las propiedades del suelo, cubierta vegetal y respuesta espectral en el cultivo de la viña. Teledetección, medio ambiente y cambio global (Rosell Urrutia JI, Martínez-Casasnovas JA, eds). Lleida University, Lleida (Spain), 29-32.
- Armendáriz Velázquez, J. (2012). Caracterización fenotípica y molecular de genotipos de higuierilla (*Ricinus communis* L.) para la producción de biodiesel. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Baethgen, W., & Martino, D. (2000). Cambio climático, gases de efecto invernadero e implicancias en los sectores agropecuario y forestal del Uruguay. Resúmenes del Taller sobre el Protocolo de Kyoto. Ministerio de Vivienda, ordenamiento territorial y Medio Ambiente. Dirección Nacional de Medio Ambiente. Uruguay.
- Bastiaanssen, W. G., Menenti, M., Feddes, R., & Holtslag, A. (1998). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. Journal of hydrology, 212, 198-212.

- Bixenmann, R. J., Coley, P. D., & Kursar, T. A. (2013). Developmental changes in direct and indirect defenses in the young leaves of the Neotropical tree genus *Inga* (Fabaceae). *Biotropica*, 45(2), 175-184.
- Cáceres, J., Martín-Isabel, P., & Salas, J. (2012). Análisis temporal del contenido de humedad en pasto en un ecosistema de DEHESA mediante imágenes Landsat, y su relación con factores climáticos. *Revista Ciencias Espaciales*, 5(1), 19.
- Campbell, D. N., Na, C.-I., Rowland, D. L., Schnell, R. W., Ferrell, J. A., & Wilkie, A. C. (2015). Development of a regional specific crop coefficient (K_c) for castor (*Ricinus communis* L.) in Florida, USA by using the sap flow method. *Industrial Crops and Products*, 74, 465-471.
- Carlson, T. N., y Ripley, D. A. (1997). On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, 62(3), 241-252.
- Cervantes, E., Martín, J. J., y Saadaoui, E. (2016). Updated methods for seed shape analysis. *Scientifica*, 1-10.
- Chtioui Y., Bertrand D., Dattée Y. y Devaux M.F. (1996). Identification of seeds by colour imaging: Comparison of discriminant analysis and artificial neural network. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 71(4), 433-441.
- Corvalán, R. (1998). Contaminación atmosférica en la ciudad de Santiago. *Ciencia al Día*, 1 (1).
- Dange S.R.S., Desal A.G., Patel S.I. (2005) Diseases of castor. In: G. S. Saharan, N. Mehta, M. S. Sangwan (eds), *Diseases of Oilseed Crops*. Indus Publishing Co, New Delhi, India, pp. 211–234 176.
- de França-Silva, F. V., da Silva-Mendes, B., do Socorro-Rocha, M., de Brito-Neto, F., de Macêdo-Beltrão, N. E., & Sofiatti, V. (2015). Photosynthetic pigments and gas exchange in castor bean under conditions of above the optimal

temperature and high CO₂. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 37(3), 331-337.
doi:10.4025/actasciagron.v37i3.19075

dos Santos, H. O., de Carvalho, M. L. M., Caldeira, C. M., Coelho, S. V. B., de Resende Von Pinho, E. V., & Oliveira, J. A. (2016). Physiological and biochemical aspects of castor beans seeds deterioration stored in different packaging conditions and temperatures. *Journal of Seed Science*, 38(3).

Durham, S., & Wood, M. (2002). Biodegradable oils from alternative crops. *Agricultural Research*, 50(4), 22-23.

Fan, L., Liu, S., Bernhofer, C., Liu, H., & Berger, F. (2007). Regional land surface energy fluxes by satellite remote sensing in the Upper Xilin River Watershed (Inner Mongolia, China). *Theoretical and Applied Climatology*, 88(3), 231-245.

Ferrari-Putti F., Macini N. y Ludwig R. (2014). Análisis de la cadena de ricino para la producción de biodiesel. *Rev. Cienc. Tecnol.* (21) 53–57.

Galo, P. (2008). Estudio de las características botánicas y etnobotánicas de higuierilla (*Ricinus communis* L.). *Cultivos Energéticos Alternativos*. Universidad Católica del Ecuador, Ecuador. pp, 09-24.

Gómez, M., Oliosio, A., Sobrino, J., & Jacob, F. (2005). Retrieval of evapotranspiration over the Alpillis/ReSeDA experimental site using airborne POLDER sensor and a thermal camera. *Remote Sensing of Environment*, 96(3), 399-408.

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 higuierilla (*Ricinus communis* L.) de Chiapas. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 17(1), 41-48.

Green J. R. (1891). On the germination of the seed of the castor-oil plant (*Ricinus communis*). *Proceedings of the Royal Society of London*. (48) 370-392 pp.

- Greenwood, J.S. and Beweley J.D. (1981). Seed Development in *Ricinus communis* (castor bean). I. Descriptive morphology. *Canadian Journal of Botany* (60), 1751-1760 pp.
- Grubb P.J. (1996). Rainforest dynamics: the need for new paradigms. In: Edwards DS, Booth WE & Choy SC (eds.), *Tropical Rainforest Research: Current Issues* pp. 215-233 Kluwer, Dordrecht.
- Hazell P. y Pachauri R.K. (2006). Overview. In Hazell, P., & Pachauri, R. K. (Eds), *Bioenergy and agriculture: promises and challenges*. International Food Policy Research Institute (IFPRI). <http://www.ifpri.org/sites/default/files/publications/focus14.pdf>.
- Heike Vibrans (ed.). (2009, 2009). Malezas de México, Ficha-*Ricinus communis* L. Malezas de México.
- Hernández, J., & Montaner, D. (2009). Patrones de Respuesta Espectral. Lab. Geomática y Ecología del Paisaje, 14. Retrieved from
- IPCC, (2013). Annex III: Glossary [Planton, S. (ed.)]. *En: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1447–1466, doi:10.1017/CBO9781107415324.031.
- Isaza, C., Anaya, K., De Paz, J. Z., Vasco-Leal, J. F., Hernandez-Rios, I. and Mosquera-Artamonov, J. D. (2018). Image analysis and data mining techniques for classification of morphological and color features for seeds of the wild castor oil plant (*Ricinus communis* L.). *Multimedia Tools and Applications* 77(2), 2593-2610.

- Jachmanian, I. (2009). El cultivo de tártago (*Ricinus communis* L.) en el Uruguay, información preliminar, Iván Jachmanian, Enrique Pérez Gomar, José Villamil, Juan J. Villamil. Boletín de Divulgación. 98.
- Jiménez-Muñoz, J. C., & Sobrino, J. A. (2003). A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D22).
- Jones, H. G. (1992). *Plants and Microclimate A quantitative approach to environmental plant physiology* (Second ed.): Cambridge University Press.
- Jugulam M. (Ed.). (2017). *Biology, Physiology and Molecular Biology of Weeds*. CRC Press.
- Kallamadi, P. R., Nadigatla, V. G. R. and Mulpuri, S. (2015). Molecular diversity in castor (*Ricinus communis* L.). *Industrial crops and products* 66, 271-281 pp.
- Karszenbaum, H., & Barraza, V. (2010). *Introducción a la Teledetección Cuantitativa*.
- Key, J. R., & Schweiger, A. J. (1998). Tools for atmospheric radiative transfer: Streamer and FluxNet. *Computers & Geosciences*, 24(5), 443-451.
- Labeled, J., & Stoll, M. (1991). Spatial variability of land surface emissivity in the thermal infrared band: spectral signature and effective surface temperature. *Remote Sensing of Environment*, 38(1), 1-17.
- Landsat, N. (2016). *Landsat 8 Science Data Users Handbook*.
- Liang, S., Shuey, C. J., Russ, A. L., Fang, H., Chen, M., Walthall, C. L., . . . Hunt, R. (2003). Narrowband to broadband conversions of land surface albedo: II. Validation. *Remote Sensing of Environment*, 84(1), 25-41.
- Lira-Saldivar, R. H. (2007). *Fisiología Vegetal* (2da ed.). México: Trillas.

- López-Guillén, G., Gómez-Ruiz, J., Barrera-Gaytán, J. F., Herrera-Parra, E., Hernández-Arenas, M., Bravo-Mosqueda, E., . . . Zamarripa-Colmenero, A. (2013). Artrópodos asociados a higuierilla (*Ricinus communis* L.) en el sur de México.
- López-Santos, A. (2016). Edafología, manual de prácticas de laboratorio y campo A. López-Santos (Ed.) (pp. 78).
- Lorestani, A. N. y Kazemi, A. (2012). Mass modelling of castor seed (*Ricinus communis*) with some geometrical attributes. *International Journal of Agriculture and Forestry* 2(5), 235-238 pp.
- Marenco-Centeno, C. R., Viera de-Azevedo, C. A., dos-Santos, D. B., de-Lira, V. M., & dos-Santos, J. B. (2012). Estimación de la evapotranspiración del ricino (*Ricinus communis* L.) cv. BRS Energía regado con diferentes niveles de agua salina. *Agrociencia*, 46(4), 321-331.
- Menenti, M., & Choudhury, B. (1993). Parameterization of land surface evaporation by means of location dependent potential evaporation and surface temperature range.
- Millán-Cañongo, C., Orona-Tamayo, D., & Heil, M. (2014). Phloem sugar flux and jasmonic acid-responsive cell wall invertase control extrafloral nectar secretion in *Ricinus communis*. *Journal of chemical ecology*, 40(7), 760-769.
- Ocampo, D., Aguirre, E. D., Osorio, A., & Rios, L. A. (2014). Lacas Y Selladores Para Madera A Partir De Resinas Alquílicas Obtenidas De Aceites De Higuierilla, Palma Y Usados De Fritura. *Información tecnológica*, 25(2), 157-164 pp.
- Ogunniyi, D. S. (2006). Castor oil: a vital industrial raw material. *Bioresource technology*. 97(9), 1086-1091 pp.

- Perea-Flores, M. J., Chanona-Perez, J. J., Garibay-Febles, V., Calderon-Dominguez, G., Terrés-Rojas, E., Mendoza-Perez, J. A. y Herrera-Bucio, R. (2011). Microscopy techniques and image analysis for evaluation of some chemical and physical properties and morphological features for seeds of the castor oil plant (*Ricinus communis*). *Industrial Crops and Products*. 34(1), 1057-1065 pp.
- Qin, Z., Li, W., Gao, M., y Zhang, O. (2006). Estimation of land surface emissivity for Landsat TM6 and its application to Lingxian Region in north China. *Remote Sensing for Environmental Monitoring*.
- Rao, M. S., Srinivas, K., Vanaja, M., Rao, G., & Venkateswarlu, B. (2009). Host plant (*Ricinus communis* Linn.) mediated effects of elevated CO₂ on growth performance. *Current Science*, 97(7).
- Reynolds, J. F., & Stafford Smith, D. (2002). Do humans cause deserts. *Global desertification: do humans cause deserts*, 1-21.
- Rivera-Aguilar, V., Cacheux, I. M., & Godínez-Alvarez, H. (2004). Las costras biológicas del suelo y las zonas áridas. *Ciencias*(75), 24-27.
- Roerink, G., Su, Z., & Menenti, M. (2000). S-SEBI: A simple remote sensing algorithm to estimate the surface energy balance. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 25(2), 147-157.
- Sagarpa. (2015). La próxima semana inicia siembra de Higuierilla en el Valle del Carrizo. Retrieved from <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/sinaloa/boletines/Paginas/B07022015.aspx>
- Salihu, B. Z., Gana, A. K., & Apuyor, B. O. (2014). Castor Oil Plant (*Ricinus communis* L.): Botany, Ecology and Uses. *International Journal of Science and Research*, 3(5).

- Sausen, T. L., & Rosa, L. M. G. (2010). Growth and carbon assimilation limitations in *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) under soil water stress conditions. *Acta Botanica Brasilica*, 24(3), 648-654.
- Scholz, V. and Da Silva, J. N. (2008). Prospects and risks of the use of castor oil as a fuel. *Biomass and bioenergy*. 32(2), 95-100 pp.
- Severino L. S., Auld D. L., Baldanzi M., Cândido M. J., Chen G., Crosby W. and Lavanya C. (2012). A review on the challenges for increased production of castor. *Agronomy journal* 104(4), 853-880.
- Sobriño, J., Gómez, M., Jiménez-Muñoz, J., Oliso, A., & Chehbouni, G. (2005). A simple algorithm to estimate evapotranspiration from DAIS data: Application to the DAISEX campaigns. *Journal of hydrology*, 315(1), 117-125.
- Sobriño, J., Raissouni, N., & Li, Z.-L. (2001). A comparative study of land surface emissivity retrieval from NOAA data. *Remote Sensing of Environment*, 75(2), 256-266.
- Sobriño, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., & Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 90(4), 434-440.
- Tarango-Arámbula, L. A. (2005). Problemática y alternativas de desarrollo de las zonas áridas y semiáridas de México. *chapingo*, 17.
- Valdés-Rodríguez O.A., Pérez-Vázquez A. y Muñoz-García C. (2018). Efecto de Peso y Talla de Semilla sobre Plántulas de *Moringa* y *Ricinus*. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 9(7), 1411-1422 pp.
- Vermote, E. F., Tanré, D., Deuze, J. L., Herman, M., & Morcette, J.-J. (1997). Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 35(3), 675-686.

Vijaya-Kumar, P., Ramakrishna, Y., Bhaskara Rao, D., Sridhar, G., Srinivasa Rao, G., & Rao, G. (2005). Use of remote sensing for drought stress monitoring, yield prediction and varietal evaluation in castor beans (*Ricinus communis* L.). *International Journal of Remote Sensing*, 26(24), 5525-5534.

Zambrano, L., Buenaño, M., Mancera, N., & Jiménez, E. (2015). Estudio etnobotánico de plantas medicinales utilizadas por los habitantes del área rural de la Parroquia San Carlos, Quevedo, Ecuador. *Universidad y Salud*, 17(1), 97-109.

Zarco-Hidalgo, A., Paz-Pellat, F., Palacios-Vélez, E., Cano-Gonzalez, A., Bolaños-González, M., Pascual-Ramírez, F. y Oropeza Mota, J. L. (2008). Modelación del efecto de escala espectral en el sistema suelo-vegetación. *Agrociencia*, 42(2), 193-204.

Páginas web

(1) <http://issg.org/database/species/distribution.asp?si=1000&fr=1&sts=&lang=EN>

(2) <https://www.cabi.org/isc/datasheet/47618#toDistributionMaps>

(3) Research and Markets <http://www.globenewswire.com>

CAPÍTULO III MORPHOMETRY OF CASTOR BEAN SEEDS FROM THE DURANGO STATE'S ARID ZONE, MEXICO

ABSTRACT

Castor bean (*Ricinus communis* L.) is an exotic species yielding oilseeds of great commercial importance. However, seed morphometric information of wild accessions is scarce. Then, the aim was to generate morphometric information on seed sizes and shapes of wild castor bean accessions collected from 13 sites located within the arid zone of the Durango State, Mexico. Bivariate scatter plots with seed morphometric attributes identified possible relationships, and analyses of means shown differences among seed accessions. Three seed groups are highly dependent to shape attributes and volume. One group involves seeds with high volume, low eccentricity, high roundness, and medium flatness (accessions from Guatimapé, Nazareno, and San Luis del Cordero). Another group is integrated by seeds with medium volume, high eccentricity, medium roundness, and high flatness (accessions from Nazas 1S1, Nazas 2S1, Nazas 2S3, and Nazas 3S3). The last group involves seeds with small volume, and eccentricity, roundness, and flatness with high dispersion (accessions from Gómez Palacio, Leandro Valle, Nazas 4, Villa Unión 1S1, and Villa Unión 1S3). Notably, the small seeds having high roundness belong to the Villa Unión 1S1, and Villa Unión 1S3 sites; thus, they may have a great survival rate than the seeds from the remaining sites. Relationships between seed area or volume with the x- or y-axes of the wild accessions suggest that their shapes are irregular and complex. Knowledge of seed sizes and shapes can be helpful to design technical innovation for *R. communis* seed handling and storage in natural ecosystems and agricultural farms.

Keywords: *Ricinus communis* L.; seed geometry; seed shape; shape indexes; wild ecotypes.

1. INTRODUCTION

Ricinus communis L. is an exotic species known as castor bean, higuerilla, tartago, or ricine (Perea-Flores *et al.*, 2011). Castor bean seeds contain 85% humidity (Lorestani and Kazemi, 2012). Its oil represents 35 to 55% of the weight of the seed (Ogunniyi, 2006; Scholz and da Silva, 2008; Perea-Flores *et al.*, 2011; Lorestani and Kazemi, 2012; Kallamadi, 2015). Its oleaginous seeds have acquired great importance in recent decades due to their large number of uses (Salihu *et al.*, 2014; de França-Silva *et al.*, 2015). Castor beans oil is used in traditional medicine (Scarpa and Guerci, 1980) and as raw material for paints and lubricants, among other issues (Ogunniyi, 2006). As a result, *R. communis* importance lies in the high content of ricinoleic acid in its oil, which allows the production of a large number of high purity derivatives (Severino *et al.*, 2012; Salihu *et al.*, 2014). Another reason why it has acquired great relevance is that castor bean oil can be used as raw material for biodiesel production (Sausen and Rosa, 2010).

Castor bean plants are considered rustic because they can grow under a wide range of environmental conditions around the world, mainly in tropical and subtropical areas (Ogunniyi, 2006; de França-Silva *et al.* 2015); for that reason, this species can be used as an alternative crop in arid areas where it does not compete with food crops. In crop sciences and botany, seed morphometry studies are an important activity to get a better knowledge toward better germination rate, microbial control, and pure varieties development (Chtioui *et al.*, 1996; Jugulam, 2017). For instance, ten stages of seed development have been identified by Greenwood and Bewley (1981) throughout the analysis of the internal and external castor bean seed morphometry.

Several procedures have been used to perform morphometric analysis of seeds (i.e. Cervantes *et al.*, 2016). Some procedures can be sophisticated and require expensive apparatus (e.g. microscopes, computers, cameras, and software, among others). Microscopy and image analysis has been used by Perea-Flores *et al.* (2011) to study the shapes of castor bean seeds. Also, measures acquired

from image analysis of seeds of castor bean wild ecotypes from dry and wet zones from Mexico were involved in a Principal Components Analysis as an ordination technique; such approach allowed to identify 10 groups of seeds with 95% accuracy (Isaza *et al.*, 2017). On the other hand, manual measurements can yield reliable information at low costs; among the cheapest apparatus are calipers, graduated test tubes, and analytical scales. Nonetheless, morphometric information of wild accessions of *R. communis* seeds is scarce yet. Therefore, this research aimed to generate morphometric information about seed sizes and shapes of wild castor beans collected within the arid zone of the Durango State, Mexico.

2. MATERIALS AND METHODS

Wild castor bean seeds were collected in various locations throughout the northeast region of the Durango State, Mexico: Gómez Palacio, Guatimapé, Leandro Valle, Nazareno, Nazas, San Luis del Cordero, and Villa Unión. The climate of the region ranges from semi-arid (BS1kw) to very arid semi-warm (BWhw) with summer rains (García, 1998). Seed samples were collected from 13 sites (Table 1). They were stored at room temperature within labeled glass containers. The labels included additional information as geographic coordinates, site information including the type of soil, and collection date.

Table 1. Geographical information of the wild castor bean seeds sites of collection within the Durango state's arid zone, Mexico.

Sampled Site Key	Location	Latitude	Longitude	Altitude (masl)
GP	Gómez Palacio	25.613726	-103.493242	1123
GUA	Guatimape, Nuevo Ideal	24.807201	-104.919747	1971
LV	Leandro Valle	25.086666	-105.065000	1306
NZN	Nazareno, Lerdo	25.397986	-103.420127	1177
NZS1S1	Nazas	25.228944	-104.113027	1216
NZS1S3	Nazas	25.229301	-104.108705	1216
NZS2S1	Nazas	25.230694	-104.137111	1216
NZS2S3	Nazas	25.232055	-104.116802	1216
NZS3S3	Nazas	25.425000	-104.133333	1306
NZS4	Nazas	26.156666	-104.823333	1544
SLC	San Luis del Cordero	26.196666	-105.201666	1544
VUS1	Villa Unión, Poanas	23.967611	-104.049638	1980
VUS3	Villa Unión, Poanas	24.520000	-104.151666	1878

For each accession, twenty seeds were selected to perform the morphometric analysis. A total of 260 seeds were involved in such a process. All seeds were marked with a silver ink marker (Fig. 1). The traditional and most economical way to obtain seed data is manual measurements with a vernier (accuracy of 0.001 mm), graduated cylinders, and analytical scales. In this way, reliable data can be obtained (Cervantes *et al.*, 2016). Basic measurements of seeds have been reported by different authors (e. g. Lorestani and Kazemi, 2012; Acosta *et al.*, 2013; Cervantes *et al.*, 2016; Solís-Bonilla *et al.*, 2016; Izasa *et al.*, 2018); however, there are different attributes involved, but all of them refer to seed's length (x-axis in this study), width (y-axis), thickness (z-axis), weight and volume. So, we measured the three mentioned axes of each of the 260 seeds and registered their weights.

The volume was estimated using two approaches. The first one consists of the use of Equation 1 as proposed by Cleva *et al.* (2013):

$$SEV = \left(\frac{4\pi}{3}\right) \left(\frac{x}{2}\right) \left(\frac{y}{2}\right) \left(\frac{z}{2}\right), \quad (1)$$

where *SEV* is the seed ellipsoidal volume, *x* is the x-axis, *y* is the y-axis, *z* is the z-axis and π is the value 3.141516.

The second approach consists of oil displacement within a 10 mL graduated tube KIMAX® with an accuracy of 0.2 mL when a seed is introduced. In the current case, different numbers of seeds were introduced from the samples depending on the seed sizes to displace a quantifiable volume. In this way, the estimated volume corresponds to various seeds. Therefore, an adjustment was performed to estimate the volume for each involved seed. This adjustment process involved all the seeds' ellipsoidal volumes calculated with Equation 1 and applying equation 2.

$$SDV = \left(\frac{SEV}{TSEV}\right) * OD, \quad (2)$$

where SDV is the seed displaced volume, SEV is the seed ellipsoidal volume calculated with Equation 1, $TSEV$ is the sum of the seed ellipsoidal volumes as calculated with equation 1, and OD is the displaced oil volume.



Figure 1. Castor bean seed measurements with a vernier, x-axis, y-axis, and z-axis.

Seed shape can be scored as a combination of attributes, or by a single attribute that indicates the percentage of similarity to a given geometric object (Cervantes *et al.*, 2016). In the case of the wild castor, a planar view of each seed can be defined by two out of three axes, that is, the x-axis and y-axis. So, castor bean seed areas can be considered similar to ellipse areas. Therefore, castor bean seed areas were calculated using Equation 3.

$$SEA = \pi \left(\frac{x}{2}\right) \left(\frac{y}{2}\right) \quad (3)$$

where SEA is the seed elliptical area, x is the x-axis, y is the y-axis, and π is the value 3.141516.

Besides, seed surface areas were determined by the relationship given in Perea-Flores *et al.* (2011) and Lorestani and Kazemi (2012).

$$S = \pi(D_g)^2, \quad (4)$$

where D_g is the geometric mean diameter and π is the value 3.141516.

Ricinus communis seed density is defined as the relationship between the mass of the seed and its volume. It was estimated by the equation 5:

$$\rho = \frac{m}{SDV}, \quad (5)$$

where ρ is the density, m is the mass of each seed measured with an analytical balance (Denver instruments P-114.1, Bohemia, NY, USA) with an accuracy of 0.001 mg; and SDV is the seed displaced volume of each seed as calculated through Equation 2.

The eccentricity index refers to the length and width ratio in an ellipse. It was calculated using the following equation:

$$EI = \frac{x}{y}, \quad (6)$$

where EI is the eccentricity index, x is the x-axis, and y is the y-axis.

The flatness index is the relationship between the seed dimensions along three axes. This index was estimated by:

$$FI = \frac{x + y}{2z}, \quad (7)$$

where FI is the flatness index, x is the x-axis, y is the y-axis and z is the z-axis.

The roundness index is a measure of the similarity between the seed elliptical area (calculated with Equation 3) and the area of a circle. It is useful to describe figures that have bumps on their surface, and their perimeters tend to increase. In those cases, it is better to use the roundness index, because it is independent of the irregularities of the perimeter. The Roundness index can be calculated by Equation 8:

$$RI = \frac{4SEA}{\pi(x^2)}, \quad (8)$$

where RI is the roundness index, SEA is the seed elliptical area, x is the x-axis, and π is the value of 3.141516.

All the estimated values were captured and organized in a spreadsheet in Microsoft Excel®. Later, basic statistics were estimated (i.e. mean, standard deviation, and coefficient of variation), and bivariate scatter plots were performed to identify relationships or patterns between seed attributes. Also, normality tests (Anderson Darling) and Analysis of Means were performed. All those procedures were carried out by using the software Minitab 17 Statistical Software (2010).

3. RESULTS

In this research work, we studied the morphometry of wild castor bean seeds collected in the northeast arid zone of the Durango State, Mexico because it is practically unknown. Then, values of the 13 variables were involved to accomplish the aim. The main basic statistics are shown in Table 1. Bi-variate Scatter plots were displayed to identify possible relationships. Finally, comparisons of means were performed to identify significant differences among accessions.

The overall calculated mean \pm standard deviation of the castor bean seed Mass was 217.84 \pm 133.59 mg (Table 2). Its associated range was from 26.4 mg to 566.2 mg. The estimated variation of this attribute was the highest (CV= 61.32%). Also, the variation of seed displaced volumes (CV=50.68%) and seed ellipsoidal volumes (CV=51.25%) were high.

Moreover, the estimated mean \pm standard deviation of the seed elliptical area of castor bean seeds was 66.3 \pm 23.29 mm² (Table 2). The linked range was from 28.11 mm² to 123.23 mm². The seed elliptical area showed a moderately high variation (CV= 35.13%). Also, seed surface area and density have moderately high variation (CV= 34.24 and CV= 27.24% respectively).

On the other hand, the calculated mean \pm standard deviation of the y-axis of castor bean seeds was 7.14 \pm 1.353 mm (Table 2). The associated range was from 4.84 mm to 10.11 mm. Its coefficient of variation was 18.93%. This variation was

moderate, as well as the variations of the x-axis (CV=17.06%) and z-axis (CV=16.15%) axes.

Finally, the estimated mean±standard deviation of the Roundness Index of castor bean seeds was 0.62 ± 0.225 (Table 2). The linked range was from 0.53 to 0.72. Its coefficient of variation was low (CV= 6.02%), as well as the variations of the variables Eccentricity Index (CV= 6.01%), and Flatness Index (CV= 5.54%).

Table 2. Castor bean seed morphometry basic statistics of accessions collected in the Durango State's arid zone.

Variable (n=260)	Mean	Mean Standard Error	Standard Deviation	Coefficient of Variation % (CV)	Minimum	Maximum
x-axis (mm)	11.46	0.121	1.955	17.06	7.32	15.52
y-axis (mm)	7.14	0.083	1.353	18.93	4.84	10.11
z-axis (mm)	5.27	0.052	0.852	16.15	3.88	7.32
Mass (mg)	217.84	8.280	133.590	61.32	26.40	566.20
Seed Ellipsoidal Volume, <i>SEV</i> (mm ³)	245.80	7.810	125.970	51.25	72.72	601.39
Seed Displaced Volume, <i>SDV</i> (mm ³)	254.04	7.980	128.740	50.68	75.30	602.93
Seed Elliptical Area, <i>SEA</i> (mm ²)	66.30	1.440	23.290	35.13	28.11	123.23
Surface Area, <i>S</i> (mm ²)	184.50	3.920	63.180	34.24	84.25	344.54
Density, ρ (mg·mm ⁻³)	0.82	0.014	0.225	27.24	0.20	1.08
Eccentricity Index (<i>E</i>)	1.61	0.006	0.096	6.01	1.39	1.89
Flatness Index (<i>F</i>)	1.76	0.006	0.097	5.54	1.43	1.97
Roundness Index (<i>R</i>)	0.62	0.002	0.037	6.02	0.53	0.72

The variation of the variables can be an important issue to understand the morphometry of castor bean seeds considering possible relationships between or among them. The ratio x-axis/y-axis is 1.6 (i.e. 11.46/7.14). The scatter plot yielded by the x-axis and the y-axis (Fig. 2) allows us to appreciate a cluster formed by seeds from Guatimapé (GUA), Nazareno (NZN), and San Luis del Cordero (SLC), that is, by the larger size seeds. Other clusters cannot be easily differentiated in this scatter diagram.

On the other hand, it is worth highlighting the exponent shown in the equation of the curve is 1.0088. This indicates a low complex shape and that the relationship between these axes can be predicted. It is also important to note that the power model has a good adjustment ($R^2=0.89$).

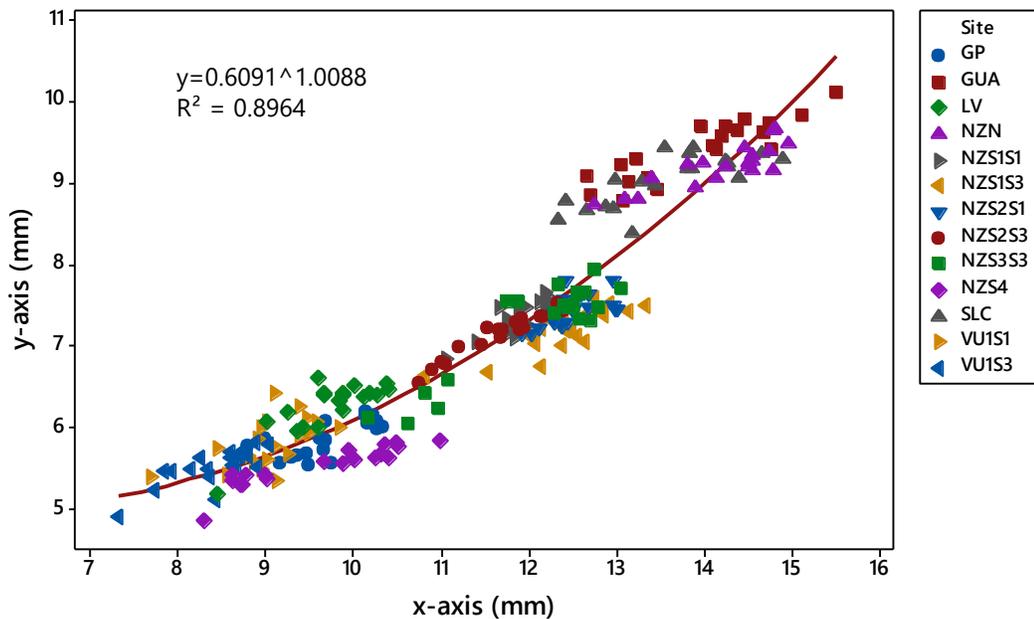


Figure 2. Relationship between x- and y- axes of castor bean seeds collected in the Durango State’s arid zone. Gómez Palacio (GP), Guatimapé (GUA), Leandro Valle (LV), Nazareno (NZN), Nazas1Site1 (NZS1S1), Nazas 1 site 3 (Nzs1S3), Nazas 2 site 1 (Nzs2S1), Nazas 2 site 3 (Nzs2S3), Nazas 3 site 3 (Nzs3S3), Nazas 4 (Nzs4), San Luis del Cordero (SLC), Villa Unión 1 site 1 (VU1S1), and Villa Unión 1 site 3 (VU1S3).

Relationships between the SEA or the SEV and the x- or the y-axes can be appreciated in Fig. 3. The exponent values are 2.0088 and 1.8886 for the relationships between the SEA and the x-axis, and the SEA and the y-axis, respectively. Then, the relationship between the SEA and the x-axis is more complex than the relationship between the SEA and the y-axis. In the case of the relationship between the SEV and the x-axis, the exponent value is 2.8; and it is 2.65 for the relationship between the SEV and the y-axis. Then, the relationship

between the SEV and the x-axis is more complex than the relationship between the SEV and the y-axis. Furthermore, it should be noted that the power model explains more than 95% of the total variation of the SEA or the SEV of the castor bean seeds.

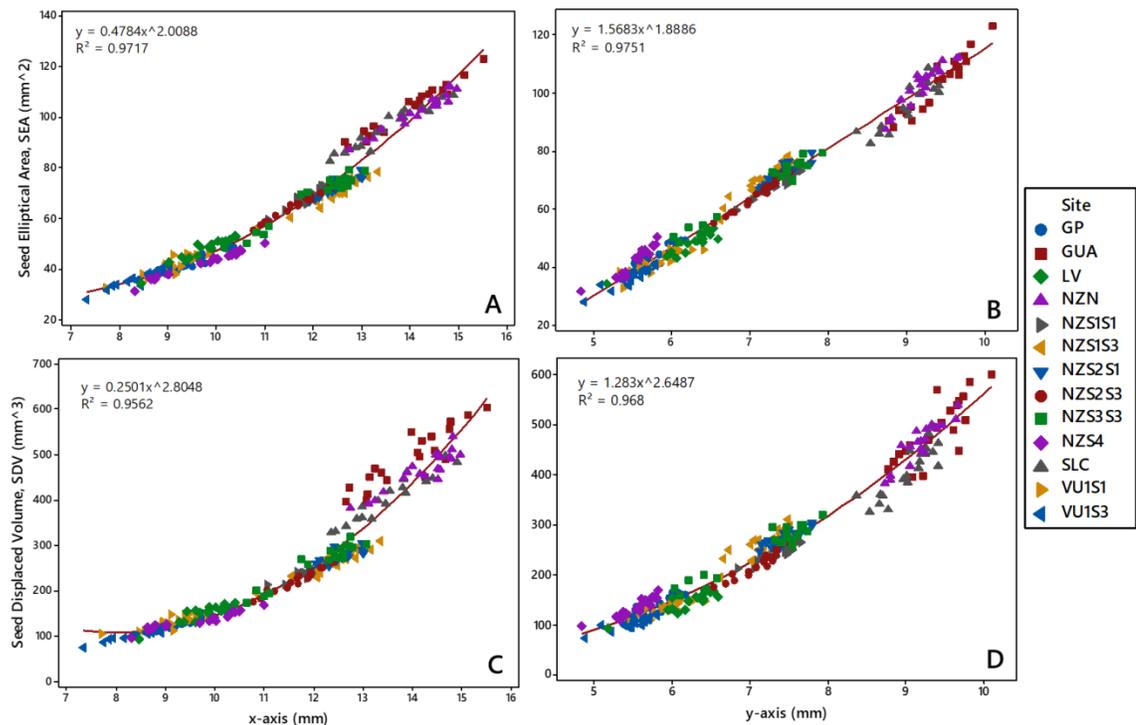


Figure 3. Relationships between SEA or SDV with the x- or y-axes of castor bean seeds collected in 13 locations of Durango State’s arid zone. Gómez Palacio (GP), Guatimapé (GUA), Leandro Valle (LV), Nazareno (NZN), Nazas1Site1 (NZS1S1), Nazas 1 site 3 (NZS1S3), Nazas 2 site 1 (NZS2S1), Nazas 2 site 3 (NZS2S3), Nazas 3 site 3 (NZS3S3), Nazas 4 (NZS4), San Luis del Cordero (SLC), Villa Unión 1 site 1 (VU1S1), and Villa Unión 1 site 3 (VU1S3).

The seed displaced volume of castor bean seeds appears to be directly proportional to their mass (Fig. 4). Notably, castor bean seeds with high volume and low weight can also be appreciated. Interestingly, this phenomenon is seen

more frequently in small castor bean seeds (clearly in the case of VU1S1) than in those larger (notably in the case of GUA).

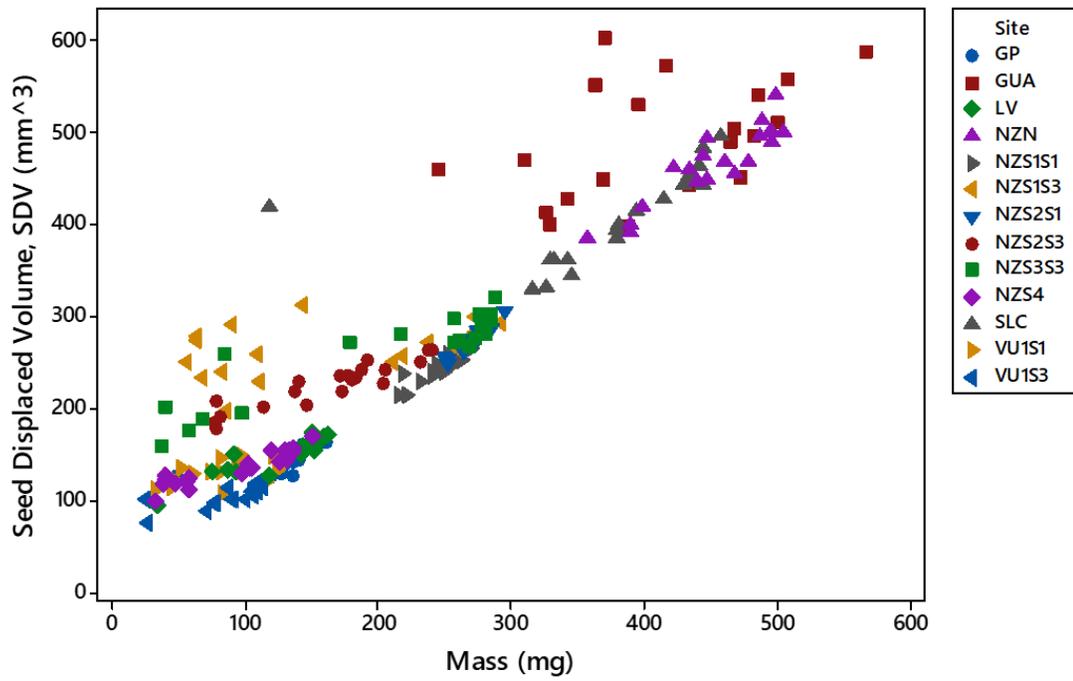


Figure 4. Relationship of the SDV and Mass of castor bean seeds collected in the arid zone of the state of Durango, Mexico. Gómez Palacio (GP), Guatimapé (GUA), Leandro Valle (LV), Nazareno (NZN), Nazas1Site1 (Nzs1S1), Nazas 1 site 3 (Nzs1S3), Nazas 2 site 1 (Nzs2S1), Nazas 2 site 3 (Nzs2S3), Nazas 3 site 3 (Nzs3S3), Nazas 4 (Nzs4), San Luis del Cordero (SLC), Villa Unión 1 site 1 (VU1S1), and Villa Unión 1 site 3 (VU1S3).

Three groups of seeds can be highlighted considering the one-way analysis results (Fig. 5). One group of castor bean seeds (those from GUA, NZN, and SLC) have displaced volumes higher than the overall average. Another group (seeds from Nzs1S1, Nzs1S3, Nzs2S1, Nzs2S3, and Nzs3S3) has displaced volumes with no significant differences to the general mean. Also, the third group of castor bean seeds (those from GP, LV, Nzs4, VU1S1, and VU1S3) has displaced volumes lower the overall average. Therefore, there are groups of large, medium, and small volume seeds.

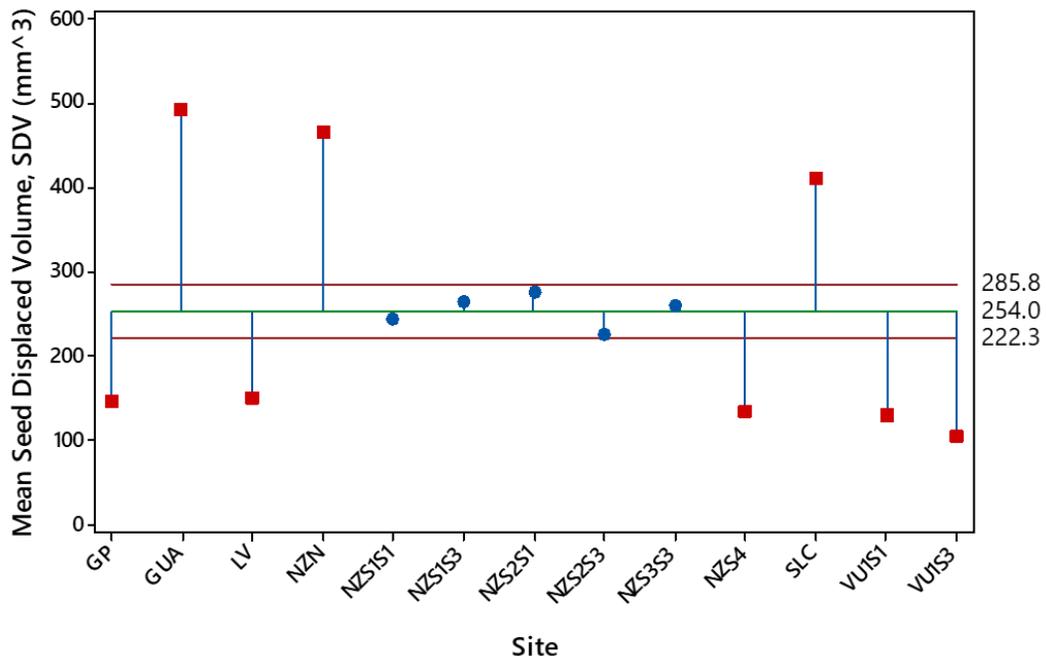


Figure 5. One-way analysis of means ($\alpha=0.0001$) of SDV of castor beans from 13 sites in the Durango state's arid zone. Gómez Palacio (GP), Guatimapé (GUA), Leandro Valle (LV), Nazareno (NZN), Nazas1Site1 (Nzs1S1), Nazas 1 site 3 (Nzs1S3), Nazas 2 site 1 (Nzs2S1), Nazas 2 site 3 (Nzs2S3), Nazas 3 site 3 (Nzs3S3), Nazas 4 (Nzs4), San Luis del Cordero (SLC), Villa Unión 1 site 1 (VU1S1), and Villa Unión 1 site 3 (VU1S3).

As pointed out in Table 2, the SDV has high variation. So, there is expected it be useful to identify seed groups through their relationships with variables having low variation. In this context, the relationship between the SDV and the EI, RI, or FI allowed us to identify three groups of seeds (Figs. 6A, B, and C). The first group involves seeds with high volume, low eccentricity, high roundness, and medium flatness (GUA, NZN, and SLC). The second one is integrated by seeds with medium volume, high eccentricity, medium roundness, and high flatness (Nzs1S1, Nzs1S3, Nzs2S1, Nzs2S3, and Nzs3S3). The third group involves seeds with small volume, and eccentricity, roundness, and flatness with high dispersion (GP, LV, Nzs4, VU1S1, and VU1S3). Markedly, these results agree with that from Fig. 5.

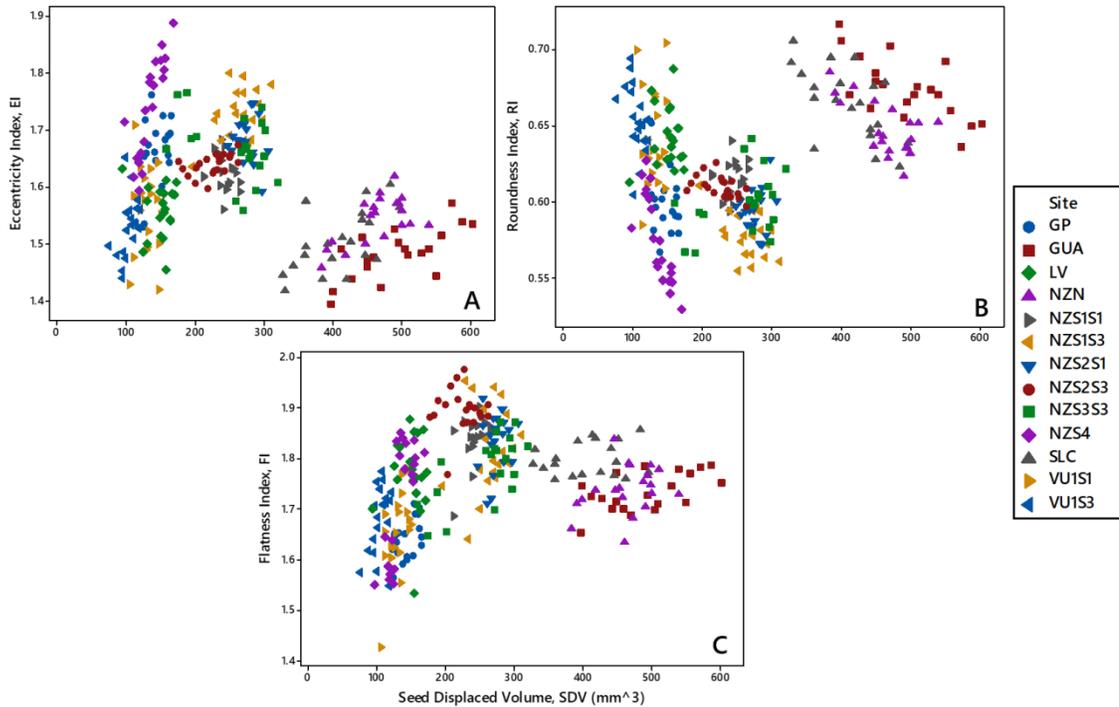


Figure 6. Relationship between SDV and EI (A), RI (B), or FI (C) of castor beans. Sites of seeds collection: Gómez Palacio (GP), Guatimapé (GUA), Leandro Valle (LV), Nazareno (NZN), Nazas1Site1 (NZS1S1), Nazas 1 site 3 (NZS1S3), Nazas 2 site 1 (NZS2S1), Nazas 2 site 3 (NZS2S3), Nazas 3 site 3 (NZS3S3), Nazas 4 (NZS4), San Luis del Cordero (SLC), Villa Unión 1 site 1 (VU1S1), and Villa Unión 1 site 3 (VU1S3).

4. DISCUSION AND CONCLUSIONS

The most striking results are the following. There are four groups of variables depending on the level of variation. The variables seed Mass, SDV, and SEV have high variation; SEA, S, and ρ have moderately high variation; the x-axis, y-axis, and z-axis have moderate variation; and RI, EI, and FI have low variation. Interestingly, bivariate relationships between the x-axis and y-axis, SEA and x-axis or y-axis, and SDV and x-axis or y-axis are modeled by power functions, which imply that their exponents indicate the level of complexity. Also, castor bean seeds with high SDV and low Mass were appreciated; this phenomenon is more frequent in castor bean seeds with low SDV (clearly in the case of VU1S1) than

in those with high SDV (notably in the case of GUA). Markedly, bivariate relationships allowed us to identify three morphometric seed groups. Group 1 involves seeds with high volume, low eccentricity, high roundness, and medium flatness (GUA, NZN, and SLC); group 2 is integrated by seeds with medium volume, high eccentricity, medium roundness, and high flatness (Nzs1S1, Nzs1S3, Nzs2S1, Nzs2S3, and Nzs3S3); and group 3 involves seeds with small volume and eccentricity, roundness, and flatness with high dispersion (GP, LV, Nzs4, Vu1S1, and Vu1S3).

We found the castor bean seed Mass mean is 217.84 mg. In contrast, Lorestani and Kazemi (2012), and Solis-Bonilla *et al.* (2016) pointed out that mass means of 1290 and 735.7 mg, respectively. The castor bean SDV average is 254.04 mm³. Perea-Flores *et al.* (2011), Lorestani and Kazemi (2012), and Solis-Bonilla *et al.* (2016), estimated volume means of 406.67, 170, and 740 mm³, respectively. The calculated SEA mean is 66.30 mm². Lorestani and Kazemi (2012), and Izasa *et al.* (2018) estimated area means of 143.80 and 43.63 mm², respectively. The S average is 184.5 mm². On the other hand, Perea-Flores *et al.* (2011), Lorestani and Kazemi (2012), and Izasa *et al.* (2018) reported S means of 251.54, 566.62, and 154.47 mm². We found the castor bean seed x-axis mean is 11.46 mm. On the other hand, Perea-Flores *et al.* (2011), Lorestani and Kazemi (2012), Solis-Bonilla *et al.* (2016), and Izasa *et al.* (2018) reported x-axis means of 13.5, 13.52, 17.1, and 8.65 mm, respectively. The castor bean y-axis mean is 7.148 mm. In contrast, Perea-Flores *et al.* (2011), Lorestani and Kazemi (2012), Solis-Bonilla *et al.* (2016), and Izasa *et al.* (2018) pointed out that y-axis means of 8.7, 13.39, 13.6, and 5.46 mm, respectively. The z-axis mean is 5.27 mm. Perea-Flores *et al.* (2011), Lorestani and Kazemi (2012), Solis-Bonilla *et al.* (2016), and Izasa *et al.* (2018) estimated z-axis means of 6.1, 13.38, 7.8, and 4.58 mm, respectively. All the noted differences among these values for each variable could be linked to the fact that we involved wild accessions whereas that Perea-Flores *et al.* (2011) used a commercial variety ("Silvestre Tiripiteo"), Lorestani and Kazemi (2012) involved cultivated accessions from another ecological region (at Iran), and Solis-Bonilla *et al.* (2016) used bred varieties in Texcoco, Mexico.

Markedly, small castor bean seeds from VU1S1 have high volume and low weight. This phenomenon is explained by the lowest ρ (mean = 0.00062 mg mm⁻³) estimated for seeds from this site. There is widely known that the mass of castor bean seed is related to water content (Obroucheva, 2013), seed coat thickness (Gardarin *et al.*, 2010), embryo size, and oil content (Greenwood and Bewley 1981). So, the small castor bean seeds from the VU1S1 site could have been losing weight more than the medium and large seeds from the other sites. As a result, seeds from the VU1S1 site could have low water content, which is an important issue to survival. Also, seed water content varies depending mainly on temperature, air relative humidity, and storage time (dos Santos *et al.*, 2016). Besides, the lowest ρ may be linked to a low coat thickness which can allow important water losses from seeds. Furthermore, the lowest ρ can be related to low oil content because commonly it represents 35-55% of the total seed weight in *R. communis* (Ogunniyi, 2006; Scholz and da Silva, 2008; Perea-Flores *et al.*, 2011; Lorestani and Kazemi, 2012; Kallamadi, 2015).

We identified groups of large (GUA, NZN, and SLC), medium (NZS1S1, NZS1S3, NZS2S1, NZS2S3, and NZS3S3), and small (GP, LV, NZS4, VU1S1, and VU1S3) volume seeds of *R. communis*. Such a clustering obeys the magnitude of the size measurements, that is, x-, y-, and z-axes. Large volumes correspond to seeds with the highest axes. On the other hand, small volumes are linked to seeds with the lower axes.

We conclude that three seed groups are highly dependent to shape attributes and volume. One group involves seeds with high volume, low eccentricity, high roundness, and medium flatness (GUA, NZN, and SLC). Another group is integrated by seeds with medium volume, high eccentricity, medium roundness, and high flatness (NZS1S1, NZS2S1, NZS2S3, and NZS3S3). The last group involves seeds with small volume, and eccentricity, roundness, and flatness with high dispersion (GP, LV, NZS4, VU1S1, and VU1S3). Notably, the small seeds having high roundness belong to the VU1S1 and VU1S3 sites; thus, they may

have a great survival rate than the seeds from the remaining sites according to Gardarin *et al.* (2010).

Appreciated relationships between seed area or volume with the x- or y-axes of the wild accessions suggest that their shapes are irregular, and complex as pointed out by Valdez-Cepeda and Olivares-Sáenz (1998). Moreover, there is known the shape and size of the seeds influence their dispersion mechanisms, the ability of the seeds to penetrate the soil, the persistence, and the ability to germinate (Venable 1985; dos Santos *et al.*, 2016; Jugulam, 2017) as elements of a strategy to survive facing current environmental conditions. Therefore, future works should involve relationships between or among seed morphometric and physiological attributes, shape complexity, and germination, and survival rates. Knowledge of these types of relationships can be helpful to design technical innovation for *R. communis* seed handling and storage in natural ecosystems and agricultural farms.

5. REFERENCES

- Acosta, M., Padilla, J., Botello, J., Quintanilla, J., Barrón, J., Espinoza, J. and Monte, S. (2013). Morfometría en diferentes variedades de semillas de higuera mediante procesamiento de imágenes. *Ciencias Agropecuarias Handbook 1*, 88-97.
- Akpan, U. G., Jimoh, A. and Mohammed A. D. (2006). Extraction, Characterization and Modification of castor seed oil. *Leonardo Journal of Sciences* (8), 43-52.
- Cervantes, E., Martín, J. J., and Saadaoui, E. (2016). Updated methods for seed shape analysis. *Scientifica*, 1-10.
- Chtioui, Y., Bertrand, D., Dattée, Y. and Devaux, M. F. (1996). Identification of seeds by colour imaging: Comparison of discriminant analysis and artificial neural network. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 71(4), 433-441.
- de França-Silva F. V., da Silva-Mendes B., do Socorro-Rocha M., de Brito-Neto F., de Macêdo-Beltrão N. E. and Sofiatti, V. (2015). Photosynthetic pigments and gas exchange in castor bean under conditions of above the optimal temperature and high CO₂. *Acta Scientiarum. Agronomy* 37(3), 331-337. doi:10.4025/actasciagron.v37i3.19075
- García, 1998
- Gardarin, A., Dürr, C., Mannino, M. R., Busset, H. and Colbach, N. (2010). Seed mortality in the soil is related to seed coat thickness. *Seed Science Research* 20(4), 243-256.
- Greenwood, J.S. and Beweley J.D. (1981). Seed Development in *Ricinus communis* (castor bean). I. Descriptive morphology. *Canadian Journal of Botany* 60, 1751-1760.

- Isaza, C., Anaya, K., De Paz, J. Z., Vasco-Leal, J. F., Hernandez-Rios, I. and Mosquera-Artamonov, J. D. (2018). Image analysis and data mining techniques for classification of morphological and color features for seeds of the wild castor oil plant (*Ricinus communis* L.). *Multimedia Tools and Applications* 77(2), 2593-2610.
- Jugulam, M. (Ed.). (2017). *Biology, Physiology and Molecular Biology of Weeds*. CRC Press.
- Kallamadi, P. R., Nadigatla, V. G. R. and Mulpuri, S. (2015). Molecular diversity in castor (*Ricinus communis* L.). *Industrial crops and products* 66, 271-281.
- Lorestani, A. N. and Kazemi, A. (2012). Mass modelling of castor seed (*Ricinus communis*) with some geometrical attributes. *International Journal of Agriculture and Forestry* 2(5), 235-238.
- Obroucheva, N. V. (2013). Aquaporins in seeds. *Seed Science Research* 23(4), 213-216.
- Ogunniyi, D. S. (2006). Castor oil: a vital industrial raw material. *Bioresource technology* 97(9), 1086-1091.
- Perea-Flores, M. J., Chanona-Perez, J. J., Garibay-Febles, V., Calderon-Dominguez, G., Terrés-Rojas, E., Mendoza-Perez, J. A. and Herrera-Bucio, R. (2011). Microscopy techniques and image analysis for evaluation of some chemical and physical properties and morphological features for seeds of the castor oil plant (*Ricinus communis*). *Industrial Crops and Products*, 34(1), 1057-1065.
- Salihu B. Z., Gana A. K. and Apuyor B. O. (2014). Castor Oil Plant (*Ricinus communis* L.): Botany, Ecology and Uses. *International Journal of Science and Research* 3(5). doi:020132065.
- dos Santos, H. O., de Carvalho, M. L. M., Caldeira, C. M., Coelho, S. V. B., de Resende Von Pinho, E. V., & Oliveira, J. A. (2016). Physiological and

biochemical aspects of castor beans seeds deterioration stored in different packaging conditions and temperatures. *Journal of Seed Science*, 38(3).

Sausen T. L. and Rosa L. M. G. (2010). Growth and carbon assimilation limitations in *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) under soil water stress conditions. *Acta Botanica Brasilica* 24(3), 648-654.

Scarpa, A., & Guerci, A. (1982). Various uses of the castor oil plant (*Ricinus communis* L.) a review. *Journal of ethnopharmacology*, 5(2), 117-137.

Severino L. S., Auld D. L., Baldanzi M., Cândido M. J., Chen G., Crosby W. y Lavanya C. (2012). A review on the challenges for increased production of castor. *Agronomy journal* 104(4), 853-880.

Scholz, V. and Da Silva, J. N. (2008). Prospects and risks of the use of castor oil as a fuel. *Biomass and bioenergy* 32(2), 95-100.

Valdéz-Cepeda, R. D. & Olivares-Sáenz, E. (1998). Geometría fractal en la ciencia del suelo. *Terra Latinoamericana*, 16(3), 277-288.

Venable, D. L. (1985). The evolutionary ecology of seed heteromorphism. *The American Naturalist*, 126(5), 577-595.

CAPÍTULO IV RESPUESTA FISIOLÓGICA DE TRES ECOTIPOS SILVESTRES DE HIGUERILLA EXPUESTOS A DIFERENTES NIVELES DE HUMEDAD EN EL SUSTRATO

RESUMEN

La higuera, debido a su amplio rango de adaptación ha despertado el interés por establecerla como cultivo en zonas áridas; sin embargo, hay información insuficiente sobre el comportamiento de higuera silvestre en condiciones críticas de temperatura y humedad edáfica. El objetivo de la presente investigación consistió en analizar la respuesta fisiológica de tres ecotipos silvestres de higuera, colectados en la región árida del estado de Durango, a partir de cuatro niveles de humedad edáfica. La hipótesis planteada fue: "los ecotipos analizados presentan diferencias significativas en la respuesta fisiológica a diferentes niveles de humedad disponible". Cuatro tratamientos de humedad gravimétrica ($T1_{\theta} = 24 \pm 2\%$; $T2_{\theta} = 20 \pm 2\%$; $T3_{\theta} = 16 \pm 2\%$; $T4_{\theta} = 14 \pm 2\%$) se establecieron en forma aleatoria en un invernadero. Las mediciones fisiológicas se realizaron mediante un equipo portátil LICOR (LI-6400XT). Se realizó el análisis de varianza de dos vías para obtener diferencias significativas entre los factores y sus interacciones. Los resultados indicaron que los ecotipos 1 y 2 tuvieron una mayor altura del tallo y hojas más grandes que el ecotipo 3. Las diferencias del crecimiento de las plantas con los sustratos con humedad T1 y T2 fueron no significativas ($p > 0.05$). La mayor tasa fotosintética fue del ecotipo 3 ($14.77 \pm 6.14 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), sin embargo, las diferencias fueron no significativas entre los ecotipos. Las diferencias se encontraron determinadas principalmente por el contenido de humedad en el sustrato. El conocimiento del requerimiento de agua de la higuera como cultivo permite optimizar el uso del agua en las regiones donde este recurso es escaso.

Palabras clave: Conductancia estomática, déficit de presión de vapor de agua, *Ricinus communis*, tasa fotosintética.

1. INTRODUCCIÓN

La higuera (*Ricinus communis* L.) es un arbusto perteneciente a la familia Euphorbiaceae. El aceite de ricino es ampliamente utilizado en la industria química (Severino et al., 2012; Lakhani et al., 2015). Las características del aceite proveniente de su semilla la han convertido en un cultivo no alimenticio de gran importancia económica en los últimos años (Severino et al., 2012; Salihu et al., 2014). Además, diversos autores (Da Silva et al., 2006; Salihu et al., 2014; Dos Santos et al., 2017; Buendía-Tamariz et al., 2018) destacan que el aceite de ricino es una materia prima de gran calidad para la producción de biocombustible.

Además, el 96% de la producción de semilla a nivel mundial es aportada por pequeños productores y principalmente de India, China, Brasil y Mozambique (Severino et al., 2013). Solo en el año 2008 México figuró como el octavo productor de higuera a nivel mundial, de ahí en adelante, los datos de producción han disminuido (FAOSTAT, 2021). No obstante, la demanda de aceite de ricino aumenta constantemente de 3 a 5% anualmente (Anjani, 2014), por lo que el consumo está limitado por la producción actual de higuera, la cual no satisface la demanda del mercado mundial (Severino et al., 2012).

La disponibilidad limitada de agua es un fenómeno recurrente y principal factor limitante de la productividad en los cultivos en el trópico seco (Vijaya Kumar et al., 2005; Sausen & Rosa, 2010). La tolerancia de la higuera al déficit hídrico ha sido estudiada con diferentes puntos de vista y diversos autores (Dai *et al.*, 1992; Lacerda *et al.*, 2009; Sausen y Rosa, 2010; Brito-Pinto *et al.*, 2014; dos Santos *et al.*, 2017) concuerdan que la higuera tiene niveles grandes de tolerancia al déficit hídrico e incluso puede tener un rendimiento pequeño de semillas con poca agua disponible, situación en la cual otras especies no pudieran ser cultivadas (Severino et al. 2012). Sin embargo, el cultivo de ricino aún es desconocido en diferentes regiones de México, lo cual reduce su promoción y el desarrollo de sistemas de cultivo (Buendía-Tamariz *et al.*, 2018).

El conocimiento del requerimiento de agua de la higuera en condiciones de cultivo permite optimizar el uso del agua en las regiones donde este recurso es escaso. A pesar de que se considera a la higuera como una especie con baja diversidad genética (Allan *et al.*, 2008; Foster *et al.*, 2010), esta presenta un amplio polimorfismo fenotípico que van desde plantas muy altas hasta enanas (Chan *et al.*, 2010; Lakhani *et al.*, 2015; Hu *et al.*, 2016). Debido a esto puede haber diferencias significativas en la respuesta fisiológica entre ecotipos silvestres de higuera a diferentes niveles de humedad disponible en el sustrato. Para lo tanto, el objetivo principal de este estudio fue estimar las respuestas morfométricas y fisiológicas de tres ecotipos silvestres de higuera provenientes de la zona árida del estado de Durango sometidos a cuatro niveles de humedad en el sustrato.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se llevó a cabo entre junio del 2017 y mayo del 2018, en condiciones de Invernadero en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo (25.893° N, 103.600° O). El clima de la región es muy árido, semicálido, temperatura media anual entre 18°C y 22°C (BWhw), y dentro del invernadero las temperaturas oscilaron de 3.9 a 36.09°C con un promedio general de 25.07 ± 6.2°C. Los detalles particulares de las condiciones atmosféricas dentro del invernadero pueden observarse en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Condiciones ambientales promedio en el interior del invernadero durante el experimento.

Año	Mes	T.Min	T.Max. °C	T.Med.	H.A. (%)
2017	Julio	24.31	40.63	31.36	39.81
	Agosto	23.22	43.67	32.13	40.59
	Septiembre	20.89	39.77	28.9	43.97
	Octubre	16.7	41.1	26.51	42.73
	Noviembre	11.33	41.18	23.16	33.07
	Diciembre	8.34	29.08	16.21	54.59
2018	Enero	5.89	32.86	16.53	38.76
	Febrero	13.84	38.2	23.58	44.11
	Marzo	15.92	43.72	27.76	36.06
	Abril	18.36	43.1	28.65	36.02
	Mayo	20.8	43.56	30.15	37.9

T.Min., Temperatura mínima; T.Max., temperatura Máxima; T.Med., temperatura media; y H.A., humedad del aire.

2.1 Preparación del Experimento

2.1.1 Selección de semillas y germinación

Las semillas de higuierilla silvestre fueron recolectadas en la zona árida del estado de Durango, México (Cuadro 2). Tres posibles ecotipos de semillas fueron seleccionados conforme a tamaño y forma de la semilla (datos no mostrados). Un grupo de semillas de volumen grande, menor excentricidad y mayor redondez (Ecotipo 1). Otro grupo de semillas fue de volumen medio, gran excentricidad y

redondez media (Ecotipo 2). El tercer grupo de semillas fue de volumen pequeño y con gran dispersión de los valores de excentricidad y redondez (Ecotipo 3). De cada grupo de semillas se seleccionaron 36 semillas. Estas se sembraron en semilleros de 72 celdas con sustrato “peat moss”. Los semilleros se mantuvieron con riego diario usando agua purificada hasta el día del trasplante. El trasplante se realizó a los 21 días después de la siembra cuando las plántulas ya habían desarrollado dos hojas.

Cuadro 2. Sitios de recolecta de los ecotipos de higuera y sus características ambientales.

Ec o	Localidad	Lat.	Long.	Clave WRB	GSR	Clima
E3	Gómez Palacio	25.613726	103.4932	SNszw+LVsow/3	SOLONET Z	BWhw
E1	Guatimape	24.807201	104.9197	SNaxszn+VRmzszp/2	SOLONET Z	BS1kw
E3	Leandro Valle	25.086666	-105.065	FLeu+KSlvcc/1	FLUVISOL	BSoh w
E1	Nazareno	25.397986	103.4201	RGsowca+CLad+VRcrca/ 2	REGOSOL	BWhw
E2	Nazas	25.228944	-104.113	CLlv+KSlvcc/2	CALCISOL	BWhw
E2	Nazas	25.232055	104.1168	CLlv+KSlvcc/2	CALCISOL	BWhw
E2	Nazas	25.230694 4	104.1371	FLeu+KSlvcc/1	FLUVISOL	BWhw
E1	San Luis del Cordero	26.196666	105.2017	CLskptp+RGskca/2R	CALCISOL	BWhw
E3	Villa Unión	23.967611	104.0496	Flca+KSvpcn/2	FLUVISOL	BS1kw
E3	Villa Unión	23.9595	104.0539	Flca+KSvpcn/2	FLUVISOL	BS1kw

Eco, Ecotipo; WRB, Clave de la Base Mundial de Referencia del Recurso Suelo; y GSR, grupo de suelo de referencia.

2.1.2 Detalles del sustrato y preparación de las macetas

El sustrato utilizado en el experimento fue suelo recolectado de una parcela experimental. Éste fue identificado de acuerdo con la Base de Referencia Mundial de Recursos del Suelo (IUSS Working Group WRB, 2015) como “Calcisol arídico” (CLad). Además, el suelo fue caracterizado en el laboratorio siguiendo los lineamientos de la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, la cual establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. La densidad aparente fue determinada con el método de la parafina (AS-03); para

conocer la textura del suelo se utilizó el método del hidrómetro de Bouyoucos (AS-09); el método AS-05 se utilizó para determinar la humedad del suelo; la materia orgánica se determinó con el método de Walkley y Black (AS-07); y para medir la conductividad eléctrica se utilizó el método AS-16. La textura de suelo fue definida como franco arcilloso arenoso. Los resultados obtenidos con los métodos mencionados se pueden observar en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Características biofísicas del Calcisol arídico recolectado en la parcela experimental.

Muestra	DA g cm ⁻³	CC %	PMP %	HA %	CO %	MO %	pH	CE dS m ⁻¹	N %	CO ₃ %
Profundidad (cm) 0 a 15	1.28	27.24	14.63	12.60	0.23	0.40	8.00	7.72	0.13	7.31

DA, densidad aparente; CC, capacidad de campo; PMP, punto de marchitez permanente; HA, humedad aprovechable; CO, carbono orgánico; MO, materia orgánica; pH, potencial de hidrogeno; CE, conductividad eléctrica; N, nitrógeno; y CO₃, carbonatos.

2.2 Diseño experimental

Los tratamientos (12) fueron determinados por los tres ecotipos de higuierilla y cuatro niveles de humedad gravimétrica ($T1_{\theta} = 24 \pm 2\%$; $T2_{\theta} = 20 \pm 2\%$; $T3_{\theta} = 16 \pm 2\%$; $T4_{\theta} = 14 \pm 2\%$). Cuatro repeticiones fueron involucradas para tener un total de 48 macetas o unidades experimentales. Seis kilogramos de suelo seco fueron colocados en cada una de las 48 macetas cuya capacidad es de 7.5 litros. Un litro de agua corriente se añadió en cada maceta para humedecer el sustrato. Entonces, una plántula de higuierilla se colocó en cada maceta. Todas las macetas fueron etiquetadas con el ecotipo del caso, el porcentaje de humedad gravimétrica correspondiente y el número de repetición. Los tratamientos se distribuyeron al considerar un diseño experimental completamente al azar.

2.3 Riego

El agua de riego fue extraída de pozo profundo. La conductividad eléctrica del agua fue de 2.85 dS m⁻¹ según el medidor de conductividad portátil Orion star A222 (Thermo Scientific, USA). Durante 30 días se llevó a cabo una etapa de

aclimatación, en la cual el riego de las plantas fue homogéneo añadiendo aproximadamente 900 g de agua por maceta. Posteriormente, las macetas se pesaban cada dos días antes del riego y después del riego para estimar la cantidad de agua que se tenía que reponer.

2.4 Variables morfológicas

Las plantas se monitorearon a lo largo del experimento a partir de mediciones morfológicas de cuatro variables cuyas particularidades se describen a continuación: 1) la altura del tallo se hizo desde la base del sustrato hasta el último entrenudo; 2) el diámetro de tallo fue medido a partir del primer centímetro sobre el nivel del sustrato; 3) el tamaño de la hoja fue medido a partir del largo y ancho; 4) el índice de área foliar se derivó de las mediciones anteriores.

2.5 Medición de la respuesta fisiológica

Un medidor portátil de fotosíntesis LI-6400XT (LiCOR Inc., Lincoln, Nebraska, USA) se usó para medir la respuesta fisiológica de las plantas de los tres ecotipo de higuerrilla a los niveles de humedad en el sustrato. Una vez que todas las plantas tuvieron al menos una hoja con longitud mayor a 5 cm, las mediciones se realizaron cada 15 días. El LI-6400XT se calibró con una densidad de flujo de fotones dentro del espectro de radiación fotosintética activa de $1000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Con este dispositivo se estimaron tasa fotosintética (A en $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), conductancia estomática (g_s en $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), concentración de dióxido de carbono intracelular (C_i en $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$), déficit de vapor de agua de la hoja (V_{pdL} en kPa) y temperatura foliar (T_{leaf} en $^{\circ}\text{C}$).

Al finalizar la fase experimental, las plantas se extrajeron de las macetas. Las raíces de las plantas se lavaron para eliminar el sustrato adherido. Posteriormente, cada planta se pesó con una báscula. Luego, las plantas se guardaron individualmente en bolsas de papel debidamente etiquetadas. Las bolsas se introdujeron en un horno a 65°C durante 24 horas. Después, las plantas se volvieron a pesar y el contenido de humedad de la planta se calculó mediante la siguiente ecuación.

$$H\% = \left(\frac{WMW - DMW}{DMW} \right) * 100, \quad (1)$$

Donde, H% es el porcentaje de humedad de la planta; WMW es el peso en gramos de la materia húmeda y DMW es el peso en gramos de la materia seca.

2.6 Análisis estadísticos

Las variables morfológicas y fisiológicas se sometieron a pruebas de normalidad. Las variables con distribución diferente a la normal fueron estandarizadas. Análisis de varianza de dos vías se realizaron para identificar los efectos de los factores sobre las variables respuesta. Cuando los resultados permitieron identificar que hubo efectos significativos de los factores, la prueba de medias de Tukey se realizó para hacer las comparaciones correspondientes. Los análisis estadísticos se hicieron con el software MiniTab 17 (MiniTab Inc., USA).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este trabajo de investigación se estudiaron las respuestas morfométricas y fisiológicas de plantas tres ecotipos silvestres de higuera cultivadas en macetas a diferentes niveles de humedad gravimétrica en el sustrato. La hipótesis fue que los tres ecotipos silvestres de higuera responden de manera diferente en aspectos morfométricos y fisiológicos a diferentes niveles de humedad gravimétrica en el sustrato.

3.1 Morfometría

En cuanto a las variables morfométricas, los resultados más relevantes son los siguientes. Los tallos más altos corresponden a las plantas de los ecotipos 1 y 2 y fueron similares especialmente cuando se cultivaron en los sustratos que contenían los niveles 24 y 20% de humedad gravimétrica (Cuadro 4). Además, al ecotipo 1 se asocian las plantas con tallos más anchos cuando el nivel de

humedad gravimétrica en el sustrato fue de 24%. También, a los ecotipos 1 y 2 corresponden las plantas con hojas más largas y anchas cuando crecieron en sustratos con los niveles de humedad gravimétrica de 24 y 20%. Notablemente, al ecotipo 1 corresponden las plantas con área foliar mayor en especial cuando se cultivaron en sustratos con 24% de humedad gravimétrica.

Cuadro 4. Medias y desviaciones estándar de las variables morfométricas de higuierilla.

Factores	Variables	Alto tallo (cm)	Ancho tallo (cm)	Largo hoja (cm)	Ancho hoja (cm)	Área foliar (cm ²)
Ecotipo						
	E1	12.50±3.88 ^A	0.71±0.20 ^A	7.20±2.07 ^A	9.24±3.13 ^A	71.28±37.51 ^A
	E2	8.51±2.57 ^B	0.58±0.19 ^B	6.75±2.13 ^A	8.31±2.39 ^{AB}	60.89±34.46 ^A
	E3	7.46±2.34 ^C	0.53±0.18 ^B	5.45±1.84 ^B	7.23±1.99 ^B	44.08±23.97 ^B
Humedad Sustrato						
	T1 _e 24±2%	10.91±4.56 ^A	0.74±0.22 ^A	7.52±2.44 ^A	9.52±2.48 ^A	76.63±42.25 ^A
	T2 _e 20±2%	9.93±3.36 ^A	0.62±0.17 ^B	6.88±1.59 ^A	8.59±1.75 ^A	60.87±23.98 ^B
	T3 _e 16±2%	8.74±2.51 ^B	0.51±0.12 ^C	5.34±1.61 ^B	6.84±3.33 ^B	39.30±23.65 ^C
	T4 _e 14±2%	6.63±2.31 ^C	0.36±0.09 ^D	4.89±1.52 ^B	5.78±1.17 ^B	34.99±12.87 ^C

Se muestran los resultados de las pruebas de medias de Tukey, letras mayúsculas representan grupos similares.

En general, los resultados concuerdan con lo informado por Brum *et al.* (2011), quienes encontraron que las plántulas de higuierilla originadas de semillas más pesadas emergen más rápido y son más altas que las plántulas originadas por semillas livianas. Otros autores (e.g. Lacerda *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2009, Brito-Pinto *et al.*, 2014) enfatizaron que conforme aumenta la disponibilidad de agua, también aumentan la altura de las plantas de higuierilla, su área foliar y su rendimiento. Resalta que el tamaño de las plantas fue menor al de la variedad “Al Guarany 2002” (59.3 cm), según lo consigado por Brito-Pinto *et al.* (2014). Esto puede deberse al tamaño de las macetas. En este sentido, Brito-Pinto *et al.* (2014) utilizaron macetas de 30 litros (4 veces más grandes que las usadas en nuestro trabajo). Sin embargo, el área foliar de los tres ecotipos es mayor que el área foliar de la variedad “Al Guarany 2002” (35.37 cm²). El área foliar es un factor importante porque está directamente relacionado con la capacidad de interceptar la luz y realizar la fotosíntesis (Severino & Auld, 2013).

3.2 Respuesta fisiológica de las plantas

En cuanto a las variables fisiológicas, solo g_s en las hojas de las plantas de los ecotipos 3 y 2 fue mayor que la de asociada al genotipo 1 (Cuadro 5). Asimismo, la g_s menor se asocia a hojas de plantas que se cultivaron en sustrato con el nivel menor de humedad gravimétrica (16%) y sus temperatura y tasa fotosintética fueron considerablemente menores que las de las hojas de plantas en niveles de mayores contenidos de humedad en el sustrato. Sin embargo, las diferencias entre los valores de las variables A , C_i , $VpdL$ y $Tleaf$ asociadas a las hojas de los tres ecotipos fueron estadísticamente similares. También, las hojas de plantas cultivadas en los dos niveles menores de humedad en el sustrato presentaron déficits de vapor de agua mayores que las asociadas al nivel de 25% de humedad gravimétrica en el sustrato.

Cuadro 5. Medias y desviaciones estándar de las variables fisiológicas de higuierilla agrupadas por factores.

Variables Factores	A	g_s	C_i	$VpdL$	$Tleaf$
Ecotipo					
1	11.11±5.32	0.10±0.07 ^B	147.33±53.88	2.66±0.72	31.14±3.42
2	12.93±5.66	0.12±0.11 ^{AB}	127.70±149.40	2.85±0.86	32.43±3.36
3	14.77±6.14	0.16±0.12 ^A	154.90±73.00	2.84±0.97	32.81±3.32
Soil Moisture					
T1 _⊖ 24±2%	14.95±5.61 ^A	0.14±0.11 ^A	127.60±132.00	3.00±0.96 ^A	33.36±3.17 ^A
T2 _⊖ 20±2%	13.22±5.21 ^A	0.14±0.11 ^A	149.38±73.50	2.68±0.81 ^{AB}	31.81±3.30 ^B
T3 _⊖ 16±2%	7.62±4.10 ^B	0.06±0.04 ^B	161.11±57.03	2.51±0.52 ^B	29.90±3.04 ^C

A tasa fotosintética ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), g_s conductancia estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), C_i concentración de dióxido de carbono intracelular ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$), $VdpL$ déficit de vapor de agua de la hoja (kPa) y $Tleaf$ temperatura foliar ($^{\circ}\text{C}$). Se muestran los resultados de las pruebas de medias de Tukey, letras mayúsculas representan grupos similares

En general, los valores mayores de actividad fisiológica corresponden a las plantas cultivadas en las macetas con el nivel de humedad mayor en el sustrato. Esto coincide con lo reportado por otros autores (Lacerda *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2009, Brito-Pinto *et al.*, 2014) que mencionan que el rendimiento de la higuierilla está muy relacionado con la humedad disponible. Los valores de A de las plantas con más humedad disponible son similares a los del frijol ($16.3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$)

y del eucalipto ($14.4 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) según lo señalado por Da Matta *et al.* (2001). Además, Sausen y Rosa (2010) destacan que obtuvieron valores máximos de fotosíntesis de $15 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ con 18% de humedad en el suelo; mientras que Dos Santos *et al.* (2017) consignaron valores máximos de fotosíntesis de $16.2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Diferentes autores (Lawlor & Tezara 2009; Broeckx *et al.*, 2014; Dos Santos *et al.*, 2017) mencionan que la disminución de g_s se debe a que el cierre estomático es un fenómeno clave y primera defensa contra la deshidratación, quizás, esto ocurrió en el caso de las plantas sometidas al nivel de 16% de humedad gravimétrica en el sustrato. Además, esta disminución de la conductancia estomática puede deberse también a que las plantas de higuera sometidas a deficiencia de agua sufrieron una reducción en los valores de conductancia estomática debido a la poca en la densidad de estomas durante el crecimiento de la hoja en condiciones de estrés hídrico, según lo consignaron Heckenberger *et al.* (1998) y de Freitas *et al.* (2011).

Por otro lado, las tendencias de que A se reduce y C_i aumenta conforme disminuye la humedad disponible en el suelo son apreciables (Cuadro 4). El aumento de C_i no concuerda con lo reportado por Ocheltree *et al.* (2014), quienes afirman que cuando las plantas reducen la conductancia estomática también disminuyen la tasa de difusión de CO_2 y la concentración interna de CO_2 . Esta circunstancia puede reducir la eficiencia de la fijación de carbono en las plantas. Ante este panorama, lo que se plantea es que las respuestas de las plantas al déficit de agua son complejas e involucran cambios adaptativos y la influencia del genotipo (Chaves *et al.*, 2002).

Por otro lado, Barbour y Buckley (2007) mencionan que un aumento del déficit de vapor de agua en la hoja afecta directamente el cierre de los estomas. Sin embargo, esto no se observó en las plantas silvestres de higuera. Curiosamente, el mayor V_{pdL} se manifestó en las plantas de las macetas con mayor humedad en el sustrato, pero también son las que presentan mayor g_s . Esto es consistente con lo expuesto por Davies y Zang (1991), quienes afirman

que la respuesta estomática a menudo está más asociada con el contenido de agua en el suelo que el estado hídrico de la hoja. Por consiguiente, ello puede significar que la planta puede transpirar continuamente sin problemas y le permite mantener un movimiento continuo del agua a través de la planta. Según varios autores (e.g. Masle *et al.*, 1992; McDonald *et al.*, 2002; Snyder *et al.*, 2003) esto puede generar más beneficios para la planta, como la mejor adquisición de nutrientes del suelo.

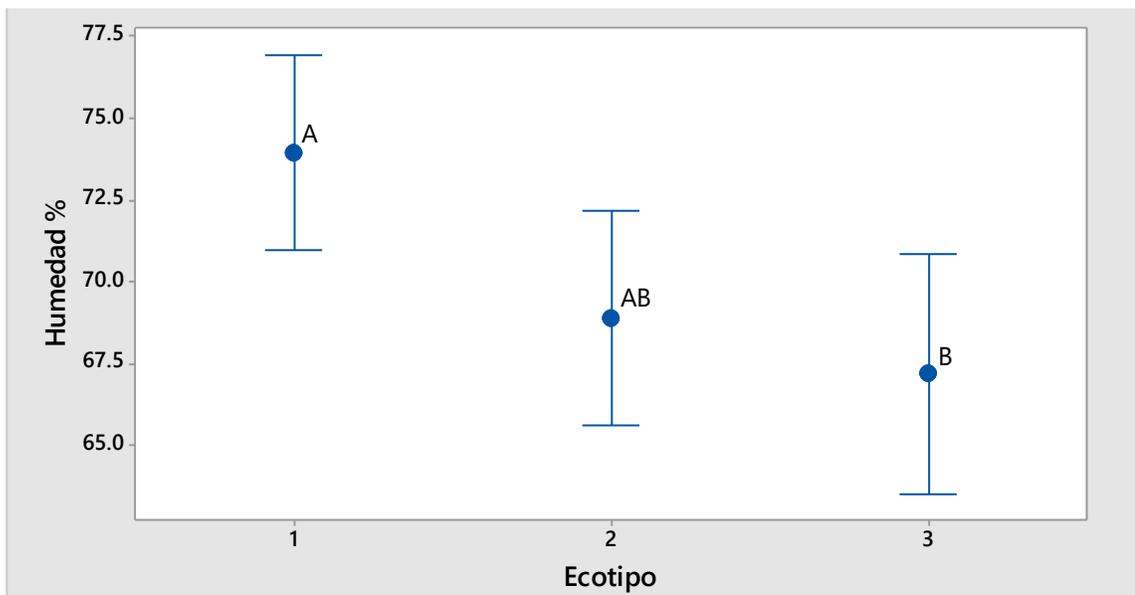


Figura 1. Porcentaje de humedad en los ecotipos de higuera. La desviación estándar agrupada fue utilizada para calcular los intervalos. Las letras mayúsculas representan los grupos similares.

Cabe destacar que las plantas con contenido de humedad y tamaño mayores fueron las del ecotipo 1 (Figura 1). Esto concuerda con lo mencionado por Kramer y Boyer (1995) quienes señalaron que alrededor del 85% del peso de las plantas es agua.

4. CONCLUSIONES

El ecotipo de higuierilla (ecotipo 1), cuyas semillas fueron de volumen grande, poca excentricidad y muy redondas; se asocian a las plantas con tallos anchos cuando el nivel de humedad gravimétrica en el sustrato fue de 24%. También, dicho ecotipo 1 corresponden las plantas con hojas muy largas y anchas cuando crecieron en sustratos con los niveles de humedad gravimétrica de 24 y 20%. Notablemente, al ecotipo 1 corresponden las plantas con área foliar mayor en especial cuando se cultivaron en sustratos con 24% de humedad gravimétrica. En general, los resultados indican que este genotipo puede ser domesticado al considerar esas dos condiciones de humedad gravimétrica en el sustrato para su cultivo. En ese sentido, lo que debería generarse en futuras investigaciones es conocimiento sobre su potencial como materia prima en la agroindustria para producir aceite con base en el uso de sus semillas, entre otros fines.

Por otro lado, las diferencias en la actividad fisiológica de las plantas por ecotipo fueron no significativas. Las diferencias estuvieron principalmente determinadas por el porcentaje de humedad en el sustrato. El conocimiento sobre el requerimiento hídrico de la higuierilla como cultivo puede permitir la optimización del uso del agua en regiones donde es escasa.

5. REFERENCIAS

- Abdallah N.A., Moses V. y Prakash C.S. (2014). The impact of possible climate changes on developing countries. *GM Crops & Food*. (5) 77-80 pp.
- Alves-Pinheiro H., Vieira-Silva J., Endres L., Marques-Ferreira V., de Albuquerque-Câmara C., Félix-Cabral F., Figueredo-Oliveira J., Torres de Carvalho L.W., Messias-dos Santos J. y Gomes-dos Santos Filho B. (2008). Leaf gas exchange, chloroplastic pigments and dry matter accumulation in castor bean (*Ricinus communis* L.) seedlings subjected to salt stress conditions. *Industrial Crops and Products*. (27) 385-392 pp.
- Angella G., Frías C. y Salgado R. (2016). Conceptos básicos de las Relaciones Agua-Suelo-Planta. INTA Ediciones. 34 pp. ISSN: 1850-4086.
- Azcón-Bieto J. y Talón M. (Coords.). (2013). Fundamentos de Fisiología Vegetal 2da Ed. McGraw-Hill Interamericana. Madrid España. 660 pp.
- Barbour M.M. y Buckley T.N. (2007). The stomatal response to evaporative demand persists at night in *Ricinus communis* plants with high nocturnal conductance. *Plant, Cell and Environment*. (30) 711–721 pp.
- Broeckx L.S., Fichot R., Verlinden M.S. y Ceulemans R. (2014). Seasonal variations in photosynthesis, intrinsic water-use efficiency and stable isotope composition of poplar leaves in a short-rotation plantation. *Tree Physiol*. 34: 1-14.
- Da Matta F., Loos R.A., Rodrigues R. y Barros E. (2001). Actual and Potential Photosynthetic Rates of Tropical Crop Species. *Bras.Fisiol.Veg*. 13(1):24-32.
- Dai z., Edwards G.E., and Ku M.S.B. (1992). Control of Photosynthesis and Stomatal Conductance in *Ricinus communis* L. (Castor Bean) by Leaf to Air Vapor Pressure Deficit. *Plant Physiol*. 99, 1426-1434

- Dos Santos C.M., Endres L., Ferreira V.M., Silva J.V., Rolim E.V. y Wanderley-Filho H.C.L. (2017). Photosynthetic Capacity and Water use Efficiency in *Ricinus communis* (L.) under Drought Stress in Semi-Humid and Semi-Arid Areas. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*. 89(4): 3015-3029.
- FAO. (2011). The state of the world's land and water resources for food and agriculture – Managing systems at risk. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome and Earthscan, London. 285 pp.
- King J.S., Ceulemans R., Albaugh J.M., Dillen S.Y., Domec J.C., Fichot R., Fischer M., Leggett Z., Sucre E., Trnka M., y Zenone T. (2013). The challenge of lignocellulosic bioenergy in a water-limited world. *Biosci.* (63). 102-117pp.
- Kramer P.J. y Boyer J.S. (1995). Water Relations of Plants and Soils. Chapter 11 Growth. *Academic Press*. San Diego California USA. 344-376 pp.
- Lawlor D.W. y Tezara W. (2009). Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in waterdeficient leaf cells: a critical evaluation of mechanisms and integration of processes. *Ann Bot.* 103: 561-579.
- López-Santos A. (2016). Edafología, Manual de Prácticas de Laboratorio y Campo. Universidad Autónoma Chapingo Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. México. 78 pp.
- Masle J., Farquhar G.D. y Wong S.C. (1992). Transpiration ratio and plant mineral content are related among genotypes of a range of species. *Australian Journal of Plant Physiology.* (19) 709-721 pp.
- McDonald E.P., Erickson J.E. y Kruger E.L. (2002). Can decreased transpiration limit plant nutrient acquisition in elevated CO₂? *Functional Plant Biology.* (29) 1115–1120 pp.

- Oliver M.J., Guo L., Alexander D.C., Ryals J.A., Wone B.W. y Cushman J.C. (2011). A Sister Group Contrast Using Untargeted Global Metabolomic Analysis Delineates the Biochemical Regulation Underlying Desiccation Tolerance in *Sporobolus stapfianus*. *Plant Cell*. (23) 1231-1248.
- Sausen T.L. and Rosa L.M.G. (2010). Growth and carbon assimilation limitations in *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) under soil water stress conditions. *Acta Botanica Brasilica*. 24(3), 648-654.
- Severino L. S., Auld D. L., Baldanzi M., Cândido M. J., Chen G., Crosby W. y Lavanya C. (2012). A review on the challenges for increased production of castor. *Agronomy journal* 104(4), 853-880.
- Snyder K.A., Richards J.H. y Donovan L.A. (2003). Night-time conductance in C3 and C4 species: do plants lose water at night? *Journal of Experimental Botany*. (54) 861-865 pp.
- Whalley W.R., Ober E.S. y Jenkins M. (2013). Measurement of the matric potential of soil water in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*. 64 (13) 3951–3963 pp.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES GENERALES

La higuera (*Ricinus communis* L.) es una planta de gran importancia comercial. La demanda de esta planta crece anualmente. Además, si se maneja como cultivo no compite con los cultivos alimenticios y puede crecer en zonas marginales. También la higuera puede ser una opción rentable como cultivo alternativo para los pequeños productores. Sin embargo, su cultivo aún es desconocido por la mayoría de los productores de la región. Asimismo, la información de los ecotipos silvestres de higuera aun es escasa. El objetivo de este estudio fue aportar conocimiento sobre las plantas de higuera silvestre de la zona árida del estado, su morfometría y sus diferentes mecanismos fisiológicos en diferentes condiciones de agua en el suelo.

Las semillas de higuera silvestre tienen una amplia variedad de formas y tamaños. En este estudio se pudieron diferenciar tres grupos de semilla con gran dependencia al volumen y su forma. Un grupo involucra semillas de volumen grande, poca excentricidad, gran redondez y una robustez intermedia (semillas de GUA, NZN, y SLC). Otro grupo está integrado por semillas de volumen intermedio, presentan gran excentricidad, una redondez intermedia y gran robustez (NZA1S1, NZA2S1, NZA2S3, y NZA3S3). El último grupo involucra semillas de volumen pequeño, y excentricidad, redondez y robustez con gran dispersión (GP, LV, NZA4, VU1S1, y VU1S3). Es de resaltar que las semillas que son más pequeñas y redondas pueden tener un mayor grado de supervivencia en condiciones naturales, porque su tamaño y forma les permitiría introducirse en las grietas del suelo con mayor facilidad.

Las relaciones entre área o volumen de las semillas de higuera silvestre con los ejes x- o y- sugieren que sus formas son irregulares y complejas como lo señalan Valdez-Cepeda and Olivares-Sáenz (1998). Sin embargo, lo que se sabe es que las formas y tamaños de las semillas influyen sus mecanismos de dispersión, la habilidad de las semillas para penetrar en el suelo, la persistencia y la habilidad de germinar (Venable 1985; dos Santos *et al.*, 2016; Jugulam, 2017) como

elementos de una estrategia para sobrevivir ante las condiciones medioambientales. El conocimiento de este tipo de relaciones puede ser de ayuda para el diseño de innovaciones tecnológicas para la manipulación y almacenamiento de las semillas de higuera en ecosistemas naturales y unidades de producción agrícola.

El ecotipo de higuera (ecotipo 1), cuyas semillas fueron de volumen grande, poca excentricidad y muy redondas; se asocian a las plantas con tallos anchos cuando el nivel de humedad gravimétrica en el sustrato fue de 24%. También, dicho ecotipo 1 corresponden las plantas con hojas muy largas y anchas cuando crecieron en sustratos con los niveles de humedad gravimétrica de 24 y 20%. Notablemente, al ecotipo 1 corresponden las plantas con área foliar mayor en especial cuando se cultivaron en sustratos con 24% de humedad gravimétrica. En general, los resultados indican que este genotipo puede ser domesticado al considerar esas dos condiciones de humedad gravimétrica en el sustrato para su cultivo. En ese sentido, lo que debería generarse en futuras investigaciones es conocimiento sobre su potencial como materia prima en la agroindustria para producir aceite con base en el uso de sus semillas, entre otros fines.

Por otro lado, las diferencias en la actividad fisiológica de las plantas por ecotipo fueron no significativas. Las diferencias estuvieron principalmente determinadas por el porcentaje de humedad en el sustrato. El conocimiento del requerimiento hídrico de la higuera como cultivo permite optimizar el uso del agua en regiones donde es escasa, particularmente en las zonas áridas, donde los cultivos tradicionales que han sido introducidos demandan más agua que la disponible que caracteriza a dichas zonas.

En general, los resultados indican que el ecotipo 1 puede ser domesticado al considerar esas dos condiciones de humedad gravimétrica en el sustrato para su cultivo.