

CARACTERIZACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE GERMOPLASMA SILVESTRE DE *JATROPHA CURCAS* L. (EUPHORBIACEAE) EN EL NOROESTE DE MÉXICO

CHARACTERIZATION AND DISTRIBUTION OF WILD GERMPLASM *JATROPHA CURCAS* L. (EUPHORBIACEAE) IN THE NORTHWEST OF MEXICO

Nidia Araiza-Lizarde¹; Lilia Alcaraz-Meléndez¹, Miguel Ángel Angulo-Escalante², Teodoro Reynoso-Granados¹, Pedro Cruz-Hernández¹, Magdalena Ortega-Nieblas³, y Diego Valdez-Zamudio³

¹Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo de Santa Rita Sur, 23096, La Paz, B.C.S., México.

²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Carretera Culiacán-El dorado Km. 5.5. 80110, Culiacán, Sinaloa, México.

³Universidad de Sonora, Luis Encinas y Rosales s.n., col. Centro, 8300, Hermosillo, Sonora, México. Correo electrónico: lalcaraz04@cibnor.mx

RESUMEN

Se estudiaron tres poblaciones silvestres de *Jatropha curcas* L. en la región sur y centro de Sinaloa en los sitios de Estación Dimas, La Campana y El Quelite. Los objetivos fueron caracterizar morfológicamente las plantas y semillas, evaluar la relación de las variables morfológicas con los factores ambientales y analizar el potencial de distribución de las especies en Sinaloa considerando los factores ambientales registrados en los sitios de estudio. En cada sitio de estudio se realizó el conteo del número de individuos/m² y se midió la altura, el diámetro de copa, el diámetro basal y el número de ramas. De cada sitio se obtuvo también el número de semillas por kilogramo, color, peso, longitud y ancho de la semilla. La altura de las plantas estuvo en un intervalo de 2.25 a 4.59 m, el diámetro de la copa fue de 2.24 a 4.48 m, el diámetro basal de 18.75-24.81 cm y el número de ramificaciones de 2 a 4. No se observaron diferencias significativas entre las

características morfológicas de las plantas de Estación Dimas y el Quelite pero sí con respecto a La Campana. En ambos sitios se observó que la altura de las plantas fue favorecida cuando la temperatura y velocidad del viento fueron menores, y cuando la precipitación y humedad relativa fueron mayores. Las dimensiones de las semillas fueron, ancho 7.41 a 7.9 mm y longitud de 15.1 a 15.9 mm. La humedad de las semillas fue de 3.57 a 4.21%, y el color de las semillas fue de 60.80 a 65.64°Hue. La mayor densidad de individuos se encontró en Estación Dimas (21 ind/ha), pero la utilización del campo con fines agrícolas que se encuentra cercana a este ecotipo amenaza al desarrollo de la vegetación silvestre de este sitio. Por lo que el germoplasma de las poblaciones en estudio puede ser útil para elaboración de planes y manejos de conservación de la especie, además constituye una alternativa para el establecimiento de cultivos en el estado con especies propias de la región y, posiblemente, para otras regiones del país.

Por otro lado, se observó que la especie tiene un alto potencial de distribución en el estado de Sinaloa principalmente en los municipios de Sinaloa de Leyva, Guasave, Guamúchil, Culiacán, Elota, San Ignacio, Mazatlán, Villa Unión, Concordia y Escuinapa.

Palabras clave: densidad, distribución, semilla.

ABSTRACT

Three wild populations of *Jatropha curcas* in the central and southern parts of Sinaloa were studied; Estación Dimas, La Campana, and El Quelite. The objectives were to characterize plants and seeds morphologically to assess the relationship between morphological traits and environmental factors and the potential distribution of the species considering environmental factors from the study sites. All individuals/m² and number of branches were counted, and height, diameter of cup, and basal diameter were measured. The number of seeds per kilogram was obtained, as well as color, weight, and seed length and width. Plant height ranged from 2.25 to 4.59 m; the crown diameter from 2.24 to 4.48 m; basal diameter from 18.75 to 24.81 cm; and branch number 2 to 4. No significant differences were found in morphological characteristics between plants from Estación Dimas and El Quelite but those from La Campana were significantly smaller. Plant height was favored in sites with lower temperature, altitude, and wind speed, and with higher precipitation and relative humidity. Seed length ranged from 7.41 to 7.9 mm and seed width from 15.1 to 15.9 mm. Seed moisture ranged from 3.57 to 4.21%. The seed color ranged from 60.80 to 65.54° Hue. The highest tree density was found in Estación Dimas (21

ind/ha), but agricultural practices threatens the vegetation in this site. The species has a high potential for distribution in the southern and central parts of the state. Germplasm from the studied populations may be useful for plans and management for species conservation; they also constitute an alternative to the establishment of crops in the state of Sinaloa with typical species of the region and possibly other regions of the country. Moreover, it was observed that the species has a high potential for distribution in the state mainly in the municipalities of Sinaloa de Leyva, Guasave, Guamuchil, Culiacan, Elota, San Ignacio, Mazatlan, Villa Union, Concordia, and Escuinapa.

Key words: density, distribution, seed.

INTRODUCCIÓN

El género *Jatropha* (Euphorbiaceae) tiene aproximadamente 170 especies (Dehgan y Webster, 1979) de las cuales el 77% son endémicas de México (Martínez *et al.*, 2006). *Jatropha curcas* es un arbusto perenne y de crecimiento rápido (Heller, 1996). Normalmente crece entre 3 y 5 m de altura pero puede alcanzar hasta 10 m en condiciones favorables. Es fácil de propagar y puede sobrevivir con niveles bajos de nutrientes y agua (Ratree, 2004). Se ha reportado un genotipo tóxico debido a la presencia de ésteres de forbol y un genotipo no tóxico. Sólo en México se ha encontrado el genotipo no tóxico (Makkar *et al.*, 1997; Makkar *et al.*, 1998; Martínez *et al.*, 2006).

El conocimiento de su distribución tiene importancia económica, medicinal y ambiental, debido a que el germen de la semilla contiene de 40 a 60% de aceite (Makkar *et al.*, 2007). El aceite se utiliza para la

elaboración de jabón y biodiesel principalmente. Las hojas tienen propiedades antimicrobianas, laxantes, antiartríticas y antiparasitarias (Pabón, 2008). Por otro lado algunos autores señalan que es importante conocer la distribución biológica de la especie, debido a que se observa una amplia variación en el contenido de aceite (Behera et al., 2010). Los estudios agroecológicos permiten analizar áreas con mayor potencial para el desarrollo productivo de la especie. (André et al., 2010). Los estudios de zonificación agroecológica permiten relacionar la superficie de la tierra con el clima y el impacto ambiental para definir posibles especies con mayor potencial de producción de fruto y por consecuencia de aceite. Las investigaciones más avanzadas al respecto han incorporado bases de datos enlazadas a sistemas de información geográfica (SIG), relacionadas con modelos estadísticos, que contienen múltiples aplicaciones potenciales en el manejo de los recursos naturales y planificación del uso de la tierra (Jiménez et al., 2004).

La riqueza del germoplasma y endemismo del género *Jatropha* en México representan un potencial para su aprovechamiento, por lo que es importante conocer aspectos sobre la distribución y caracterización morfológica de las plantas. Olivera et al. (2009) y Mendoza (2008) consideraron que las características morfológicas como la altura de la planta, el número de ramificaciones, el tamaño de las semillas y el número de semillas por kilogramo permiten describir a los ecotipos e identificar individuos con alto potencial para procesos de selección y mejoramiento genético. Algunos estudios mencionan que cuando el tamaño de la semilla es más grande, se obtiene mayor contenido de aceite.

En el centro y sur de México se han reportado investigaciones sobre las características morfológicas de *J. curcas* en los estados de Chiapas y Puebla (Rodríguez et al., 2009) con la finalidad de producir aceite para la elaboración de biodiesel. En el noroeste de México, específicamente en Sinaloa, se han establecido cultivos de *J. curcas* con germoplasma proveniente de otros cultivos establecidos en el sur de México (Sosa et al., 2012) con la finalidad de producir aceite para la elaboración de biodiesel, pero existen escasos estudios sobre las poblaciones silvestres, debido a que se ha trabajado con esquejes de plantas en las que se ha observado que las semillas presentan un alto contenido de aceite (55 a 60%). Por otro lado, en la actualidad el cambio de uso de suelo y el crecimiento de la zona urbana ocasionan la pérdida de germoplasma silvestre, por ejemplo *Echionocactus platyacanthus* es una especie endémica, su fragilidad determinada por factores biológicos y ecológicos intrínsecos, así como las presiones antropogénicas la convirtieron en una especie amenazada que requiere de medidas orientadas para su conservación (Hernández et al., 1994). Por lo que es importante analizar la distribución de las especies en el noroeste del país, los factores ambientales que influyen en el desarrollo de la planta y sus características morfológicas.

El presente estudio tiene como objetivos: i) seleccionar ecotipos de *J. curcas* en tres regiones del estado de Sinaloa; ii) analizar la variabilidad morfológica de semillas y plantas, así como su relación con los factores ambientales con la finalidad de identificar poblaciones que representen un potencial para la selección y conservación de germoplasma, iii) determinar el potencial de distribución de la especie en otros municipios del estado.

MATERIAL Y MÉTODOS

Sitios de colecta

Se realizó un recorrido de campo desde la región centro del estado de Sinaloa (municipio de Culiacán) hasta la región sur (municipio de Escuinapa), con la finalidad de observar especies silvestres de *J. curcas*. Se localizaron, seleccionaron y georreferenciaron con un GPS (Etrex 30, Garmin) tres ecotipos en diferentes municipios del estado con la finalidad de analizar si las características morfológicas de la semillas y plantas de *Jatropha* variaban con respecto a las características ambientales y geográficas ubicadas en la región centro y sur del estado. En la región sur del estado se seleccionaron los ecotipos de la Estación Dimas ($23^{\circ}45'0.89''$ N, $106^{\circ}46'35.6''$ W

y 24 m snm) localizado en el municipio de San Ignacio, el ecotipo de El Quelite ($23^{\circ}31'51.10''$ N, $106^{\circ}30'10.70''$ W y 23 m snm) localizado en el municipio de Mazatlán, en ambos ecotipos predomina la selva baja caducifolia y en algunos sitios el bosque de encino y pino. En la región centro se seleccionó el ecotipo de La Campana ($24^{\circ}53'52.3''$ N, $107^{\circ}27'18.3''$ W y 94 m snm) donde la vegetación predominante es la selva baja caducifolia (fig. 1).

Potencial de distribución

Se obtuvo información climática de los tres sitios de colecta en la red de estaciones agroclimáticas de México (tabla 1) (INI-FAP, 2012). Con los registros geográficos de los sitios donde se establece *J. curcas* en condiciones naturales, se adquirió informa-

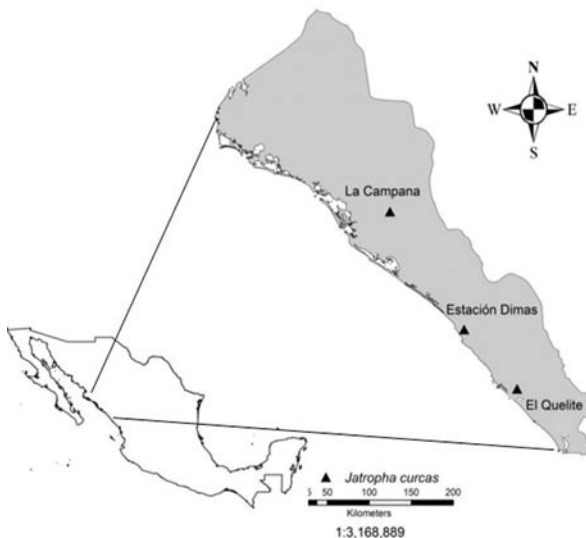


Fig. 1. Ecotipos de poblaciones silvestres de *Jatropha curcas*.

Tabla 1. Ubicación y factores ambientales de las poblaciones silvestres de *Jatropha curcas* estudiadas en Sinaloa y los factores ambientales considerados para construir la distribución potencial de la especie. Valores promedios de la temperatura máxima (T_{Max}), temperatura mínima (T_{min}), Precipitación pluvial (Pp) humedad relativa (HR) y = rapidez del viento (Vv).

Ecotipos	Latitud (N)	Longitud (W)	Altitud (m s. n. m.)	T_{Max} (°C)	T_{min} (°C)	HR (%)	Pp (mm)	Vv km/h
Estación Dimas	23°45'1.3"	106°46'35.6"	24	32.4	11.9	79.18	554.2	2.2
El Quelite	22°27'45.6"	105°26'8.1"	23	33.6	18.9	81.15	556.2	2.14
La Campana	24°59'29.2"	107°34'22.6"	97	36.7	10.1	59.93	342.2	5.88

INIFAP, 2012.

ción bibliográfica y cartográfica adicional para tales sitios, se utilizó un sistema de información geográfica (SIG, ArcView, versión 3.3), se crearon mapas individuales para cada factor ambiental en los cuales se muestran las áreas donde hay potencial para que se desarrolle la especie; así se crearon cinco mapas: 1) tipos de vegetación en los sitios donde crece la especie en forma silvestre, 2) clima, 3) geología, 4) definición de los suelos de las poblaciones naturales y 5) zonas fisiográficas y topográficas donde crece la especie. Posteriormente, se analizó la información georreferenciada de los factores ambientales, para finalmente crear un modelo cartográfico (Heit and Shortreid, 1991; Tomlin, 1990) en el cual se integran todos los datos geográficos de los factores que afectan a las poblaciones de *J. curcas* y determina las áreas potenciales donde podemos encontrar otras poblaciones silvestres o, en su caso, para establecer poblaciones de la especie en forma de reforestación, parcelas demostrativas, bancos de germoplasma o de cultivos agrícolas.

Densidad

Se determinó la densidad de las plantas por el método de transecto lineal (100 m de longitud y 5 m de ancho) (Bennet y Humpries, 1981). La densidad de *J. curcas*, se calculó de manera directa, expresándose como densidad = N/A (ind/ha), donde N representa el número de individuos encontrados en el total del área muestreada (A). Además se observó y enlistó la vegetación acompañante en los sitios muestreados.

Características morfológicas de las plantas

En cada ecotipo se contaron todas las plantas encontradas, se evaluaron cuatro caracteres morfológicos y se obtuvo el promedio de las mediciones realizadas: la altura de la planta se midió con una cinta métrica desde la base hasta el ápice del tallo principal; el diámetro de la cobertura se determinó con una cinta métrica mediante la proyección del contorno de la copa sobre la superficie del suelo; el diámetro basal se determinó

midiendo el contorno de la circunferencia a 10 cm de altura desde la superficie del suelo. El número de ramas se obtuvo contabilizando el número de ramas que rodean el tallo principal (Hernández *et al.*, 2012 y Sosa *et al.*, 2012).

Caracterización morfológica de las semillas

La caracterización morfológica de las semillas de *J. curcas* se llevó a cabo recolectando 50 frutos maduros de cada uno de los individuos encontrados en los diferentes ecotipos, se guardaron en bolsas de papel, se etiquetaron, y se trasladaron al laboratorio de Biorrecursos del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., en Culiacán, Sinaloa, México. Las semillas se separaron de los frutos manualmente y posteriormente se almacenaron en frascos de vidrio a 5°C para su análisis posterior.

Se seleccionaron 100 semillas sanas y completas, libres de necrosis de acuerdo a las características descritas por Ferial *et al.* (2004). Posteriormente se midió la longitud y ancho de cada una de las semillas con un vernier digital (marca Truper, modelo CALDI-6MP) y el peso se obtuvo con una balanza analítica (OHAUS, modelos Adventure) (Purabi *et al.*, 2012). Se contó el número de semillas en un kilogramo. El color se analizó con un refractómetro (CM-2600d, marca Konica Minolta) y el porcentaje de humedad se calculó con el método 981.12 de AOAC, 2001, el cual consistió en pesar tres muestras de 3 g de semilla de cada uno de los ecotipos para obtener el peso fresco, posteriormente se secaron en una estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$, durante 24 h y posteriormente se colocaron en un desecador para estandarizar el peso, se pesaron en una balanza analítica y se

determinó el porcentaje del contenido de humedad.

Análisis estadísticos

Se realizaron pruebas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, homocedasticidad (prueba de Levene), se determinó la media, desviación estándar de cada variable medida de las características morfológicas de las semillas y análisis de varianza para evaluar si había diferencias significativas entre los ecotipos. Además se obtuvo la media y desviación estándar de las características morfológicas de las plantas para cada uno de los ecotipos. Finalmente, se realizó un análisis de correlación entre los factores ambientales y las características morfológicas promedio de la planta por el coeficiente de correlación lineal de Pearson (Zar, 1974).

RESULTADOS

Potencial de distribución

El estado de Sinaloa comprende la región norte conformada por los municipios de Ahome, El Fuerte, Choix, Guasave y Sinaloa de Leyva, la región centro por los municipios de Salvador Alvarado, Culiacán, Navolato, Angostura, Mocorito y Badiraguato, y la región sur por San Ignacio, Mazatlán, Concordia, Cosalá, El Rosario y Escuinapa (“Economía de la región de Sinaloa, 2010”).

De acuerdo al SIG (Heit and Shortreid, 1991; Tomlin, 1990) se integraron todos los factores ambientales y se determinaron las áreas potenciales donde se pueden desarrollar plantas de *J. curcas* en el estado de Sinaloa (fig. 1), observándose que en los municipios de la región norte del estado específicamente

Ahome, El Fuerte y Choix no representan un potencial para el desarrollo de la especie, pero sí en los municipios de Sinaloa de Leyva y Guasave. Por otro lado en la región centro algunas áreas de Salvador Alvarado, Mocorito y Culiacán presentaron un potencial medio y alto, mientras que en la región sur se observó un potencial alto y medio en Elota, Cosalá, San Ignacio, Concordia y en los municipios de Mazatlán, El Rosario y Escuinapa predomina un alto potencial.

Densidad de las poblaciones silvestres

El ecotipo con mayor densidad fue de Estación Dimas (21 ind/ha) seguida de El Quelite (18 ind/ha) y La Campana (16 ind/ha). También se determinó la vegetación acompañante de *J. curcas* encontrándose en los tres sitios la presencia de *Acacia cochliacantha*, *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth), *Pennisetum ciliare* L. y *Prosopis* sp. Asimismo se observó *Ebenopsis ebano* (Berl) sólo en Estación Dimas, mientras que *Jatropha platiphylase* se observó en El Quelite y Estación Dimas.

Caracterización morfológica de las plantas

La altura promedio de las plantas en Estación Dimas fue de 4.59 m, en El Quelite fue de 4.67 m, mientras que en La Campana fue de 2.25 m. El diámetro de la copa de La Campana se observó en un intervalo de 1.5 a 3 m, Estación Dimas de 2 a 4.5 m y en El Quelite de 1.5 a 5 m (tabla 2).

Estación Dimas presentó un diámetro basal de 20 a 53 cm, El Quelite de 21 a 51 cm y La Campana en un rango promedio de 10 a 46 cm. La población con mayor número de ramas fue Estación Dimas con un promedio de 5 ± 2.11 , mientras que en El Quelite presentaron un promedio de 4 ± 2.40 y La Campana con el número promedio de 3 ± 1.67 .

El ANOVA indica que para las cuatro variables morfológicas medidas se encontraron diferencias significativas entre La Campana y los otros dos sitios. Esto indica que las plantas de *J. curcas* de La Campana son en general más pequeñas que las de Estación Dimas y El Quelite.

Tabla 2. Caracterización morfológica de *Jatropha curcas* en tres poblaciones del estado de Sinaloa. Para cada variable se muestra la media y desviación estándar. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias según la prueba de Tukey.

Características morfológicas	Ecotipos		
	Estación Dimas	El Quelite	La Campana
Altura (m)	4.59 ±0.99	4.67±2.07	2.25±1.09
Diámetro de la copa (m)	4.19±1.40	4.48±2.16	2.24±1.82
Diámetro basal (cm)	21.81±2.25	24.81±4.31	18.75±9.32
Número de ramas	4.52±2.11	3.96±2.40	2.83±.1.67

El análisis de correlación entre las características morfológicas de las plantas mostró que la altura presentó una alta correlación con el diámetro de la copa y el número de ramas ($r = 0.995$ y 0.935). El diámetro de la cobertura fue altamente correlacionado con el diámetro basal ($r = 0.921$). El número de ramas mostró una correlación media con el diámetro basal ($r = 0.66$) (tabla 5).

Se hizo un análisis de correlación entre las características morfológicas de las plantas y los factores ambientales (tabla 4), observándose que la altura, diámetro de la copa y número de ramas estuvieron altamente correlacionados negativamente con el promedio de la temperatura máxima ($r = -0.958$, -0.929 y -0.997 ; $N = 3$ respectivamente), y positivamente con la precipitación ($r = 0.999$, 0.993 y 0.942 ; $N = 3$) y con la humedad relativa ($r = 0.998$, 0.999 y 0.914 ; $N = 3$ respectivamente). En la población de La Campana se registraron las temperaturas máximas (36.8°C) y los valores promedios de la altura, diámetro de copa y número de ramificaciones fueron menores con respecto a Estación Dimas y El Quelite en donde se registró menor temperatura máxima promedio (32.43°C y 33.56°C respectivamente). Por otro lado, en Estación Dimas y El Quelite se registraron mayores precipitaciones (554.2 y 556.2 mm).

Se observó que la altura, diámetro de la copa, diámetro basal y número de ramificaciones están correlacionados negativamente con la rapidez del viento ($r = -0.999$, -0.994 , -0.875 y -0.940). En la Campana la rapidez del viento fue mayor (5.88 km/h) con respecto a Estación Dimas y el Quelite (2.2 y 2.24 km/h) y los valores promedios de la altura, diámetro de la copa, diámetro basal y número de ramificaciones fueron menores.

Caracterización morfológica de las semillas

Las variables medidas para la caracterización morfológica de las semillas se muestran en la tabla 3. No se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la longitud, ancho, humedad y peso de la semilla de los tres ecotipos. El ángulo °Hue indica el tono o color de la muestra en un rango de 0 (oscuro) a 100 (claro), indica que el color de las semillas fue la única variable que mostró diferencias significativas; las semillas de Estación Dimas y El Quelite presentaron un color negro grisáceo y las semillas de La Campana fueron más claras (tabla 3). El número de semillas por kilogramo fue de 631 a 632. No se observó diferencia significativa entre las diferentes poblaciones ($P \leq 0.05$).

DISCUSIÓN

Potencial de distribución

La distribución potencial de *J. curcas* mostró que la región centro y sur del estado de Sinaloa principalmente los municipios de Mazatlán, San Ignacio, El Rosario y Escuinapa presentaron un alto potencial para el desarrollo y aprovechamiento de esta especie (fig. 2). Por otro lado en el norte del estado, los municipios de Ahome, El Fuerte y Choix no representan un potencial para el desarrollo de la especie según las condiciones ambientales similares a las de los ecotipos del presente estudio. Esto coincide con Márquez *et al.* (2012) quienes realizaron muestreos en la región Norte y no observaron la presencia de la especie en Los Mochis, Angostura y Ahome. Además el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 2012) reportó que los sitios anteriormente

Tabla 3. Análisis comparativo de las características morfológicas de la semilla de *Jatropha curcas* de tres poblaciones de Sinaloa, México. Se indica el valor de la media \pm D. E. Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas entre poblaciones según la prueba de Tukey ($P < 0.05$), Tamaño de muestra $n = 100$ para cada población.

Características	Estación Dimas	El Quelite	La Campana
Longitud (mm)	15.2 \pm 0.03 ^a	15.9 \pm 0.10 ^a	15.1 \pm 0.13 ^a
Grosor (mm)	7.9 \pm 0.02 ^a	7.50 \pm 0.06 ^a	7.41 \pm 0.08 ^a
Peso (mg)	0.63 \pm 0.03 ^a	0.63 \pm 0.01 ^a	0.61 \pm 0.09 ^a
Humedad (%)	4.21 \pm 0.02 ^a	4.21 \pm 0.04 ^a	3.57 \pm 0.12 ^a
Número de semillas/ kg	631 \pm 0.0 ^a	633 \pm 0.0 ^a	632 \pm 0.0 ^a
Color (Hue°)	60.80 \pm 0.08 ^{ab}	63.23 \pm 0.02 ^a	65.64 \pm 0.04 ^b

Tabla 4. Coeficientes de correlación (r) entre las características de la planta con los factores ambientales de las diferentes poblaciones de *Jatropha curcas*.

	Altura	Dco	Db	Nr
T _{Máx.}	-0.958	-0.929	-0.712	-0.997
Pp	0.999	0.993	0.872	0.942
Hr	0.998	0.999	0.907	0.914
Altitud	-0.968	-0.987	-0.971	-0.819
Vv	-0.999	-0.994	-0.875	-0.940

Dco = Diámetro de la copa; Db = Diámetro basal; Nr = Número de ramas; T_{Máx.} = Temperatura máxima; Pp = Precipitación; Hr = Humedad relativa y Vv = Rapidez del viento.

Tabla 5. Coeficientes de correlación (r) entre las características morfológicas de las plantas en las diferentes poblaciones de *Jatropha curcas*.

	Altura	Dco	Db	Nr
Dco	0.995			
Db	0.882	0.921		
Nr	0.935	0.900	0.660	0

Dco = Diámetro de la copa; Db = Diámetro basal; Nr = Número de ramas.

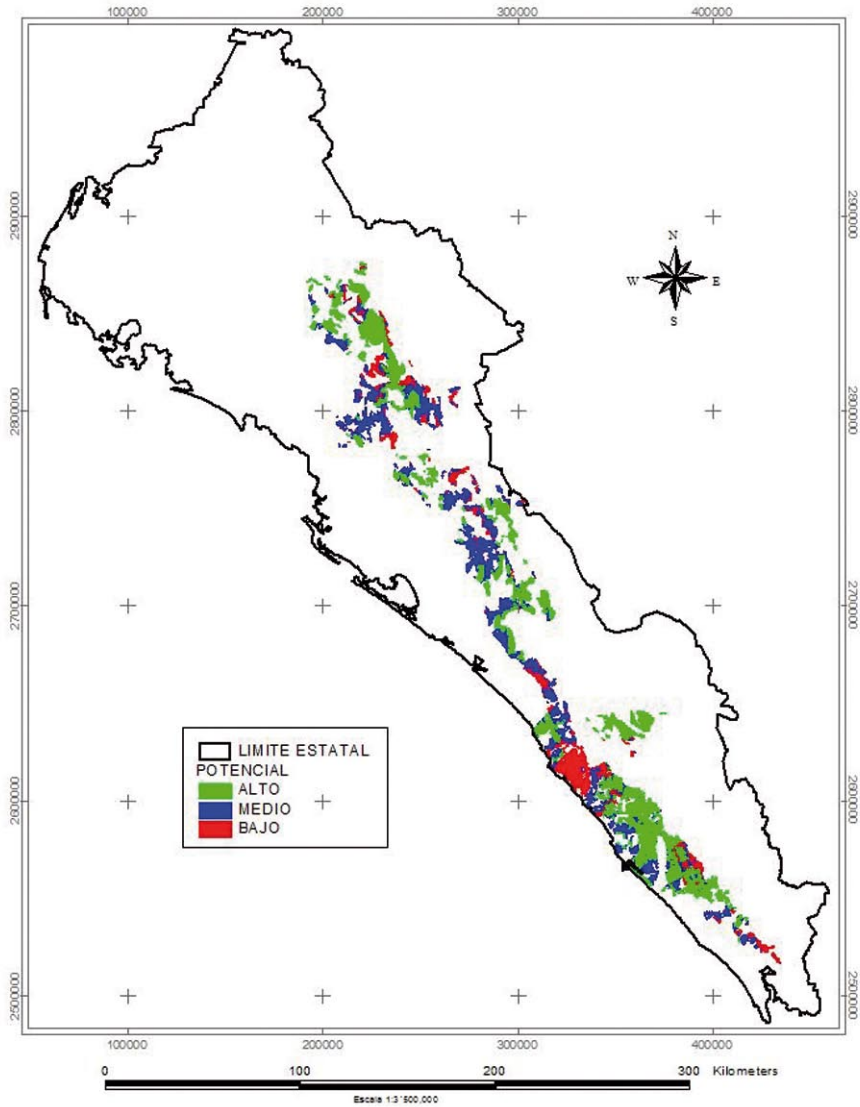


Fig. 2. Áreas con potencial para desarrollo de *J. curcas* en Sinaloa.

mencionados no representan un potencial alto para el desarrollo de la especie.

Densidad de las poblaciones silvestres

De los tres ecotipos estudiados, Estación Dimas presentó mayor densidad. Es importante señalar que en Estación Dimas se observó que la actividad agrícola se está incrementando en esta región y amenaza la vegetación silvestre, por lo que es necesario e importante conservar el germoplasma de *J. curcas* de este sitio, especialmente.

Características morfológicas de las plantas

Los ecotipos de Estación Dimas y El Quelite no mostraron diferencias significativas con respecto a la altura, diámetro de la copa, diámetro basal y número de ramas, La Campana mostró valores más bajos (tabla 2). Guerrero *et al.* (2009) señalaron que el diámetro basal está correlacionado con la altura de la planta y el diámetro de la copa por lo que éstos tienden a incrementarse de manera directamente proporcional.

Manurung (2007) reportó que *J. curcas* a los cinco años de edad se encuentra en pleno desarrollo y es capaz de alcanzar entre 3 y 5 m de altura y el resto de las estructuras morfológicas pueden llegar a su máxima longitud. Dado lo anterior los ecotipos de Estación Dimas y El Quelite se encuentran en pleno desarrollo observándose plantas con alturas promedio entre 4.59 ± 0.99 y 4.67 ± 2.07 m. Sin embargo en La Campana, donde las plantas se consideraron adultas por su estadio de producción, se observó una altura promedio menor (2.25 ± 1.09 m), debido posiblemente a los factores ambientales o la variabilidad genética de la especie con respecto a las otras poblaciones. Machado

(2011) señaló que es importante considerar características como la altura y el número de ramas en la planta como indicadores de diferentes genotipos. Investigaciones futuras sobre variabilidad genética en los diferentes ecotipos del presente estudio contribuirían a definir las posibles causas; por ejemplo el crecimiento de plantas provenientes de semillas silvestres de Cuba mostraron una baja tasa de crecimiento (< 5 metros) y no lograron ramificarse, lo cual se correlaciona con hallazgos de genotipos cuyo desarrollo se produce de forma rápida, mientras que otros son marcadamente tardíos.

De acuerdo a los resultados de las correlaciones entre atributos de las plantas y factores ambientales en los ecotipos con temperaturas más altas no se favoreció el crecimiento de los individuos de *J. curcas*, mientras que la precipitación y humedad relativa sí favorecieron el desarrollo de la planta. Además de la altura, el diámetro de la copa y el número de ramas, el diámetro basal estuvo también altamente correlacionado positivamente con la humedad relativa. Los resultados muestran que la especie se desarrolla mejor en la región centro y sur del estado en sitios con menor altitud. Esto coincide con lo observado en la figura 1, donde la especie se desarrolla favorablemente en la zona centro y sur del estado. Por otro lado Márquez *et al.* (2012) realizaron un estudio en ocho sitios del bosque tropical caducifolio de Sinaloa y encontraron poblaciones silvestres de *J. curcas* entre los 12 y 85 m s.n.m. en la región del centro y sur del estado, no se observó la presencia de individuos a mayor altitud.

Estación Dimas y El Quelite mostraron individuos con mayor altura, diámetro de la copa, diámetro basal y número de ramas,

además el desarrollo de la especie fue favorecido cuando la temperatura, altitud y rapidez del viento fueron menores y la precipitación y humedad relativa fueron mayores. En el estado de Sinaloa se encuentran municipios con características ambientales similares a los reportados en Estación Dimas y El Quelite, lo cual apoyado en la distribución generada con el sistema de información geográfica (fig. 1) permite inferir que podrían desarrollarse poblaciones de *J. curcas*.

Machado (2011) señaló que en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey”, Cuba, donde el clima se clasifica como tropical con lluvias en verano (IMRC, 2014) se observó una relación entre la altura de la planta ($r = 0.90$), el diámetro de basal ($r = 0.77$) y el número de ramas ($r = 0.83$), denotando un alto grado de complementariedad a medida que las plantas se desarrollaron, las plantas en este estudio tuvieron el mismo comportamiento en clima cálido seco con lluvias en verano.

Caracterización morfológica de las semillas

En la tabla 3 se observó que no hubo diferencias significativas en la longitud, grosor y peso de las semillas de *J. curcas* provenientes de los tres ecotipos estudiados. López (2008) investigó las características morfológicas de semillas de cultivos establecidos en el municipio de Sinaloa de Leyva del estado de Sinaloa y reportó longitudes en un rango de 18.0 mm a 18.7 mm y el ancho de las semillas en un rango de 8.60 mm a 8.75 mm ambas variables mayores a las encontradas en el presente estudio. Estas diferencias se atribuyen a que son especies silvestres y no recibieron el aporte de riego y nutrientes como las

cultivadas en Sinaloa de Leyva. Sosa *et al.*, 2012 reportaron un peso promedio de 0.63 g en cultivos de *J. curcas* establecidos en el campo experimental de la escuela de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, estos resultados son similares a los encontrados en los ecotipos de Estación Dimas y El Quelite. Purabi *et al.* (2012) analizaron semillas de *J. curcas* de 20 regiones de Assam, India, y observaron una longitud promedio de 15.71 mm y grosor de 9.11 mm. Estos resultados son similares a los del presente estudio debido a que las semillas también son de origen silvestre. Li *et al.* (2006) evaluaron semillas provenientes de cultivos establecidos en el suroeste de China y registraron un peso promedio de 0.49 g a 0.79 g, valores que son mayores a los de los sitios de Sinaloa, debido a que estas últimas son de origen silvestre. Por otro lado, Rao *et al.* (2008) reportaron un peso de 0.49 g a 0.69 g. Estos resultados fueron similares al peso promedio (0.61 g a 0.63 g) de las semillas provenientes de Estación Dimas, El Quelite y La Campana debido su origen silvestre.

Las semillas de *J. curcas* del presente estudio mostraron humedades de 3.57 a 4.21%, similares a las reportadas en diferentes regiones de Tery Bugu y Bla en Mali observándose de 3.76 a 5.41% de humedad (Rathbauer *et al.*, 2012).

Por otro lado, se observó variación en el color de las semillas de las diferentes regiones de estudio. Hasta ahora no se han encontrado reportes sobre el color de las semillas por otros autores mediante esta escala de valores, este parámetro puede ser utilizado como una característica que diferencia las semillas entre los ecotipos de Estación Dimas, el Quelite y La Campana, Sinaloa.

Machado (2011) evaluó en Cuba, el número de semillas por kilogramo en cultivos establecidos con semillas procedentes de seis regiones y observó que en el germoplasma Cabo Verde el número de semillas por kilogramo fue mayor (941) a las encontradas en Sinaloa (631 a 633). Además, factores como: suelo, lugar de origen de la planta, genotipo de la planta madre, edad, vigor y factores ambientales inducen la variación en las características morfológicas de la semilla en los diferentes sitios de estudio (Ginwal et al., 2005).

CONCLUSIONES

Existen estudios de *J. curcas* en diferentes estados del sur de México, sin embargo, los ecotipos identificados en Sinaloa constituyen un germoplasma importante que debe ser analizado genéticamente, además de representar una alternativa para el proceso de domesticación y el establecimiento de cultivos con especies propias de la región, así como su aprovechamiento en otros estados del país. No obstante, es importante mencionar que en los ecotipos de Estación Dimas y La Campana las poblaciones silvestres se encontraron distribuidas en pequeñas áreas y el crecimiento de las mismas se vio limitado por el establecimiento de cultivos de hortalizas en su entorno. De seguir desarrollándose esta actividad el germoplasma del lugar se verá amenazado por lo que es necesario valorar los germoplasmas silvestres en la región noroeste del país, conservarlos y propagarlos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por beca para realizar

estudios de doctorado (N.A.L.). Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., donde se hicieron los análisis de las características físicas y morfológicas de las semillas, así como el apoyo en los muestreos de los diferentes ecotipos. Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste donde se está llevando a cabo la tesis de doctorado (N.A.L.), se agradece a: Margarito Rodríguez, Sergio Real, Federico Soto, Edgar Camacho, María de la Paz Sosa, Wendy Salas por su apoyo en la recolección y estudios de campo a Evelia Araiza, Werner Rubio, Edith Salazar, Pedro Bastidas, Gilberto Márquez, y Eduardo Sánchez por la asesoría brindada en el laboratorio y análisis de resultados. A Diana Dorantes por la edición del resumen en inglés.

LITERATURA CITADA

- André, S.Y.; A.L. Pereira, F.F.S. Silva, R.R.C. Riebeiro, M.R.V. Evangelista, R.D. Castro, y B.F. Dantas, 2010. "Efeito da salinidade na germinação de sementes e no crescimento inicial de mudas de pinhão-manso", *Revista Brasileira de Sementes*, **32**: 83-92.
- AOAC, Association Society of Official Agricultural Chemists, 2001. "Official Methods of Analysis of AOAC". 16th ed.
- Bennet, D.P., y D.A. Humpries, 1981. *Ecología de Campo*. Editorial Blume, 239 pp.
- Caso, O.H., 1992. "Juvenilidad, rejuvenecimiento y propagación vegetativa de las especies leñosas". *Agriscientia*, **9**: 5-16.

- Dehgan, B., y G. L. Webster, 1979. "Morphology and infrageneric relationships of genus *Jatropha* (Euphorbiaceae)". *Botany*, **74**: 1-74.
- Ferial, A.; S. Omayma, y E. Dalia, 2004. "Solvent extraction of jojoba oil from pre-pressed jojoba meal". *Grasas y Aceites*, **55**: 129-134.
- Guerrero, J.; L. Campuzano, J. Pachón, y S. Rojas, 2009. "Diversidad genética de *Jatropha curcas* L., en la colección nacional de germoplasma en condiciones de oasisoles de terraza alta en Colombia". Tesis para obtener el grado de ingeniero agrónomo. Universidad de los Llanos, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales.
- Ginwal, H.; P. Rawatil, y R. Srivastava, 2005. "Seed source variation in growth performance and oil yield of *Jatropha curcas* Linn. in central India". *Silvae Genetica*, **53**: 186-192.
- Heit, M., y A. Shortreid. 1991. *GIS Applications in Natural Resources*. GIS World, Inc. USA. 381 pp.
- Heller, J., 1996. *Physic nut Jatropha curcas* L. International Plant Genetic Resources Institute. Roma, Italy. Ed. 1. 66 pp.
- Hernández, V. S.; F. Porras, A. Pacheco-Olvera, R. López-España, M. Villarreal-Romero, S. Parra-Terraza, y T. Osuna, 2012. "Caracterización y variación ecogeográfica de poblaciones de chile (*Capsicum annum* var. *glabriusculum*) silvestre del noroeste de México". *Polibotánica*, **33**: 175-191.
- Hernández, H., H. Godínez, 1994. Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas. *Acta Botánica Mexicana*, **26**: 33-52.
- INIFAP, 2012. "Potencial productivo de piñón mexicano (*J. curcas* L.) por municipio. <http://www.bioenergeticos.gob.mx/imagenes/stories/mapas-potencial/121121-jatropha-nacional.png>.
- Jiménez, C. A.; T. V. Vargas, C.W.E. Salinas, M.J.B Aguirre y C.D. Rodríguez, 2004. "Aptitud agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el sur de Tamaulipas, México". *Investigaciones Geográficas*, Boletín, núm. 53, Instituto de Geografía, UNAM, México. 58-74.
- Li, Y.; P. Zhang, e Y. He, 2006. "Perspective of the development and application of *Jatropha curcas* in the dry-hot valley of Panzhuhua". *Tropical Agricultural Research Journal*, **76**: 39-40.
- López, M., 2008. "Potencial de producción de semillas de *Jatropha curcas* en Sinaloa". Tesis para obtener el grado de maestro en ciencias. Universidad Autónoma de México.
- Machado, R., 2011. "Caracterización morfológica y productiva de procedencias de *Jatropha curcas* L." *Pastos y forrajeras*, **4**: 267-288.
- Makkar, P.; K. Becker, F. Sporer, y M. Wink, 1997. "Studies on nutritive potential and toxic constituents of different provenances of *Jatropha curcas*". *J. Agric. Food Chem.*, **45**: 3152-3157.

- Makkar, H.; K. Becker, y B. Schmoock, 1998. "Edible provenances of *Jatropha curcas* from Quintana Roo of Mexico and effect of roasting on antinutrient and toxic factors in seeds". *Plant Food Human Nutrition*, **52**: 31-36.
- Makkar, H.P.; G. Francis y K. Becker, 2007. "Bioactivity of phytochemicals in some lesser-know plants and their effects and potential applications in livestock and aquaculture production systems". *Animal*, **1**: 1371-1391.
- Manurung, P. 2007. "Valoration of *Jatropha curcas* using the Biorefinery concept". *Agronomy and genetics*. FACT Foundation. The Netherland.
- Martínez, H.; P. Siddhuraju, G. Francis, O. Dávila, y K. Becker, 2006. "Chemical composition toxic/antimetabolic constituents and effects of different treatments on their level, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from México". *Food Chemistry*, **96**: 80-89.
- Márquez, G.; B. López, I. Contreras, B. Salomón, C. Romero y R. Sanchez, 2012. "Variación en la producción de aceite en especies de *Jatropha* através de los gradientes latitudinal y altitudinal en Sinaloa". *Revista Universitaria*. Escuela de Biología y Facultad de Ciencias Químicas Biológicas, UAS.
- Mendoza, J.H., 2008. *La agroenergía en la región Andina. Situación actual e intercambio de experiencia en Ciencia y Tecnología*. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. Editorial Corpoica/IICA, Bogotá, Colombia. 76 pp.
- Olivera, Y.; L. Hernández, D. Cruz, W. Ramírez, y J.C. Lezcano, 2009. "Caracterización morfobotánica de tres accesiones cespitosas". *Pastos y Forrajes*, **32**: 37-42.
- Pabón, G., 2008. "Estudio de las características botánicas y etnobotánicas de *Jatropha (Jatropha curcas)*". *Cultivos energéticos*. CIITTOL. 25pp.
- Purabi, M.; V. Babu, V. Vaibhav, y S. Lingaraj, 2012. "Physico-chemical characteristics of *Jatropha curcas* L. of North East India for exploration of biodiesel". *Biomass and Bioenergy*, **46**: 546-554.
- Rao, K.; P. Chakrabarti, B. Rao, y R. Prasad, 2008. "Phospholipid composition of *Jatropha curcas* seed lipids". *Journal American Oil Chemical Society*, **86**: 197-200.
- Rathbauer, J.; A. Sonnleitner, R. Pirot, R. Zeller, y D. Bacouski, 2012. "Characterization of *Jatropha curcas* seeds and oil from Mali". *Biomass and Bioenergy*, **47**: 201-210.
- Ratree, S., 2004. "A preliminary study on physic nut (*Jatropha curcas* L.) in Thailand, Pakistan". *Journal of Biological Sciences*, **9**: 1620-1623.
- Rodríguez, M.; K. Vega, y V. De Gante, 2009. Distribución del género *Jatropha* L. (Euphorbiaceae) en el estado de Puebla, México. *Polibotánica*. **28**: 37-48.
- Sosa, S., M.; M. Angulo-Escalante, B. Valdez-Torres, T. Osuna-Enciso, R.

- Allende-Molar, y B. Oomah, 2012. "Phenology, productivity and chemical characterization of *Jatropha curcas* L. as tool for selecting non-toxic elite germoplasm". *African Journal of Biotechnology*, **11**: 15998-15993.
- Tomlin, C.D., 1990. *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*. Prentice Hall, Inc. USA. 249 pp.
- Zar, JH., 1974. *Biostatistical analysis*. Prentice Hall, Inc. Englewood Clifs, N.J. 162-183 pp.

Recibido: 22 agosto 2014. Aceptado: 14 diciembre 2015.