

## Alometría de semillas de *Jatropha curcas* L. mexicanas\*

### Allometry of native Mexican *Jatropha curcas* L. seeds

Ofelia Andrea Valdés-Rodríguez<sup>1</sup>, Odilón Sánchez-Sánchez<sup>2</sup>, Arturo Pérez-Vázquez<sup>1</sup> e Iván Zavala del Angel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados. Carretera Federal Veracruz-Xalapa, Rancho Tepetates, km. 26.5. C. P. 91690, Mpio. de Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, Ver. México. Tel. (01-2)934-94 85. Ext. 3001. (parturo@colpos.mx), (zavala.ivan@colpos.mx). <sup>2</sup>Centro de Investigaciones Tropicales, Universidad Veracruzana. Ex-Hacienda Lucas Martín Privada de Araucarias s/n Col. Periodistas, C. P. 91019. Xalapa, Ver., México. Tel. (01-228) 842-17-00 (01-228) 842-17-00 y 842-27-00. Ext. 12641, 12642 y 12643. (sasodil@yahoo.com.mx). <sup>§</sup>Autora para correspondencia: valdesandrea@hotmail.com.

#### Resumen

Este trabajo presenta un estudio morfológico comparativo de dos años con cuatro procedencias de semillas de *Jatropha curcas* mexicanas. Tres no tóxicas, sin manejo agronómico del estado de Veracruz (Papantla, Medellín y Alvarado), y una tóxica proveniente de una plantación comercial en el estado de Colima (Tecomán). Un promedio de 480 semillas por procedencia y por año fueron caracterizadas mediante la determinación de su contenido de ésteres de forbol; tallas y pesos; correlaciones de pesos contra tallas y endospermo contra peso total; documentación de condiciones agronómicas; y comparación de los resultados obtenidos contra otras procedencias mexicanas reportadas. Se encontró una variación morfológica significativa por procedencia ( $p < 0.05$ ). Las semillas más grandes y pesadas se localizaron en Papantla (760 mg en promedio) y Tecomán (746 mg), donde se registraron mejores condiciones ambientales que en Medellín (651 mg) y Alvarado (686 mg). La longitud de la semilla fue el parámetro que tuvo la mayor correlación con el peso ( $p > 0.86$ ) y el volumen de la semilla tuvo el menor coeficiente de variación ( $CV < 4.5\%$ ) en todas las fuentes. Adicionales a los factores genéticos, el peso y la talla podrían estar relacionados con las prácticas de manejo y la fertilidad del suelo, dado que las semillas más grandes y pesadas provinieron de los suelos más fértiles o fertilizados e irrigados, mientras que las más pequeñas y ligeras provinieron de fuentes sin manejo localizadas en suelos arenosos.

#### Abstract

This work presents a comparative morphological study of four Mexican sources. Three non-toxic, non-commercial sources from the state of Veracruz (Papantla, Medellín and Alvarado) and one toxic provenance belonging to a commercial plantation in the state of Colima (Tecomán), were analyzed over two years. An average of 480 seeds per provenance, per year were characterized by estimating their phorbol-ester contents, determining their sizes and weights, correlating data between kernel weight versus total seed weight, documenting their agronomic conditions and comparing them with other Mexican sources. Significant differences were found in seed morphology per provenance ( $p < 0.05$ ). Larger and heavier seeds were found in Papantla (760 mg in average) and Tecoman (746 mg), where environmental conditions were better than in Medellín (651 mg) and Alvarado (686 mg). Seed length was the parameter that had the highest positive correlation with weight ( $p > 0.86$ ) and seed volume had the lowest coefficient of variation ( $CV < 4.5\%$ ) for all sources. Apart from genetic factors, weight and size could also be related to crop management practices and soil fertility, since the largest and heaviest seeds came from the more fertile soils or fertilized and irrigated plantations, while the smallest and lighter seeds came from semi-wild sources located in sandy soils.

\* Recibido: septiembre de 2012  
Aceptado: enero de 2013

**Palabras clave:** *Jatropha curcas mexicana*, semillas, morfología.

**Key words:** Mexican *Jatropha curcas*, seeds, morphology.

## Introducción

El tamaño y contenido de aceite de las semillas de *Jatropha curcas* son factores importantes para sus aplicaciones biocombustibles. Asimismo, desde un punto de vista biológico, las semillas grandes y pesadas pueden contener más nutrientes y por tanto mayor calidad para la propagación del cultivo (Seiwa, 2000; Pérez *et al.*, 2006). La identificación de genotipos con semillas cuya morfología satisfaga estas características es importante para el mejoramiento genético de esta especie. Al respecto, las publicaciones sobre la morfología de semillas de procedencias mexicanas son escasas. Martínez *et al.* (2006; 2010) y Makkar *et al.* (1998; 2008) han reportado pesos y longitudes de semillas tóxicas y no tóxicas de algunos sitios en los estados de Puebla, Guerrero, Veracruz, Chiapas y Quintana Roo.

Sin embargo, sólo se han registrado datos de pequeñas cantidades de semillas por procedencia (no más de 40 semillas), y nunca con medidas dimensionales completas (longitud, ancho, espesor ni estimaciones de volumen) o sus correlaciones con el peso de la semilla. La morfología de la semilla es importante porque el peso de la semilla está directamente relacionado con el endospermo. Por tanto, los estudios morfológicos de semillas mexicanas de *J. curcas* pueden ser una herramienta valiosa para realizar estimaciones de productividad y asistir en la selección de fuentes prometedoras para el mejoramiento genético. Este estudio determinó las características morfométricas de semillas de cuatro fuentes nativas durante dos años consecutivos para determinar si sus características físicas eran constantes dentro de cada procedencia; y se compararon los resultados obtenidos con otras recolectas reportadas en México, para determinar similitudes o diferencias.

**Toxicidad de las semillas de *Jatropha curcas*.** Las semillas crudas de *J. curcas* contienen componentes anti-nutricionales, tales como inhibidores de la tripsina y lectina, mismos que pueden ser neutralizados hasta niveles seguros para el consumo humano mediante calor (Martínez *et al.*, 2004; Guemes *et al.*, 2008). Sin embargo, los ésteres de forbol presentes en los endospermos no se desactivan con el calor (Martínez 2007). Se ha encontrado que los contenidos de ésteres de forbol en procedencias mexicanas pueden variar desde cero hasta más de 4 mg g<sup>-1</sup> (Martínez *et al.*, 2010).

## Introduction

Size and oil content are important factors for *Jatropha curcas* seeds. Moreover, from a biological standpoint, large and heavy seeds may contain more nutrients and therefore signify better quality for propagation of the crop (Seiwa, 2000; Pérez *et al.*, 2006). The identification of genotypes whose seed morphologies fulfill these characteristics is important for the genetic improvement of this species. In this regard, little has been published on Mexican seed morphology. Martínez *et al.* (2006; 2010) and Makkar *et al.* (1998; 2008) have reported some weights and lengths of toxic and non-toxic seeds from the states of Puebla, Guerrero, Veracruz, Chiapas and Quintana Roo. However, only a limited number of seeds per provenance were recorded (no more than 40 seeds), and never with complete measures of dimensional characters (length, width, thickness and volume estimation) or their correlations with seed weight.

Seed morphology is important because it is directly related to seed weight and the seed to kernel ratio. Therefore, morphological studies of Mexican *J. curcas* seeds can be a valuable tool to assist in the selection of promising sources for genetic improvement and for estimating productivity. This study determined the morphometric characteristics of four native sources of seeds over two consecutive years to determine whether seed morphological parameters were constant within single provenances, and compared the results with other collections reported in Mexico to determine any differences or similarities.

**Toxicity of *Jatropha curcas* seeds.** Raw seeds of *J. curcas* contain non-nutritional compounds, such as trypsin inhibitors and lectins, which can be deactivated by heat treatment to safe levels for human consumption (Martínez *et al.*, 2004; Guemes *et al.*, 2008). However, phorbol-esters present in the kernels cannot be deactivated by heat (Martínez, 2007). Phorbol ester contents of Mexican provenances have been found to vary from zero to more than 4 mg g<sup>-1</sup> (Martínez *et al.*, 2010). Previous research in different rural communities that consume the toasted or cooked seeds of *J. curcas* (Schmook and Sánchez, 2000; Valdés *et al.*, 2011) have found that these seeds contain phorbol-esters in quantities below 0.20 mg

Investigaciones previas realizadas en diferentes comunidades rurales que consumen las semillas de *J. curcas*, ya sea tostadas o cocinadas (Schmook y Sánchez, 2000; Valdés *et al.*, 2011) han encontrado que estas semillas contienen cantidades de ésteres de forbol por debajo de los 0.20 mg g<sup>-1</sup> (resultados personales no publicados). Por tanto, aquí se consideró que las fuentes no tóxicas o ligeramente tóxicas, pero aun comestibles, son aquellas cuyos contenidos de ésteres de forbol son menores a 0.20 mg g<sup>-1</sup>.

## Materiales y métodos

### Recolectas de semillas y sus condiciones agroecológicas.

Se estudiaron tres fuentes no comerciales y no tóxicas de *J. curcas* del el estado de Veracruz y una fuente tóxica proveniente de una plantación comercial localizada en Tecomán, Colima. Se entrevistó a los productores para recolectar información sobre la edad, número de plantas y densidad de plantación de cada sitio. Las semillas de Tecomán se desarrollaron en suelos Regosolicos franco-arenosos (INEGI, 2011); sus plantas fueron irrigadas y fertilizadas de manera similar en ambos años (2009 y 2010). Las semillas de Papantla provienen de suelos Phaeozem franco-arenosos (INEGI, 2011); de una plantación no comercial. Las semillas de Alvarado y Medellín provienen de suelos Regosolicos arenosos y plantas localizadas en cercos vivos. Los ejemplares de Papantla, Alvarado y Medellín no recibieron riego ni fertilización. En cada sitio se cosecharon los frutos maduros y las semillas se obtuvieron de forma manual. Las semillas se ventilaron en un sitio sombreado y aireado hasta su secado completo. Posteriormente se tomó una muestra aleatoria de 480 semillas de cada recolecta para su evaluación. La producción anual por árbol se estimó con base en la información proporcionada por los productores para los sitios de Papantla y Tecomán.

La producción de Alvarado y Medellín se estimó con el número de semillas colectadas más el número de frutos verdes contabilizados en cada árbol, multiplicados por un factor de 3 (tres semillas por fruto) y por un factor de 2, considerando que las plantas de *J. curcas* fructifican dos veces por año en estas regiones. La localización geográfica, las condiciones agroecológicas, la toxicidad y las fechas de recolectas se indican en el Cuadro 1.

g<sup>-1</sup> (personal unpublished results). Therefore, here we considered non-toxic and slightly toxic, as still edible; sources whose phorbol-ester contents were less than 0.20 mg g<sup>-1</sup>.

## Materials and methods

### Collection of seeds and agroecological conditions.

Three non-commercial and non-toxic sources of *J. curcas* from the state of Veracruz, and one toxic source from a commercial plantation located in Tecoman, Colima were studied. Interviews were conducted with producers to collect information on age, planting density and number of trees. Seeds from Tecomán developed under sandy-loam Regosolic soils (INEGI, 2011); the trees were irrigated and fertilized with similar quantities both years (2009 and 2010). Seeds from Papantla came from sandy-loam Phaeozems soils (INEGI, 2011); from plants on a non-commercial plantation. Seeds from Alvarado and Medellín came from Regosolic soils (INEGI, 2011); from plants along living fences. Plants from Papantla, Alvarado and Medellín did not receive irrigation or fertilization.

The ripe yellow fruits were harvested and the seeds obtained manually. The seeds from all sampled trees in each location were mixed and dried in a shaded and aerated location until being completely dry. One random sample of 480 seeds was taken from each collection for evaluation. The annual seed production per tree was estimated based on information from the producers for Papantla and Tecomán. Data from Alvarado and Medellín were estimated based on the number of seeds collected plus the number of green fruits accounted for in the trees multiplied by a factor of three (three seeds per fruit) and by a factor of two, considering that *J. curcas* trees fruit twice per year in these regions. Geographical location, toxicity, agroecological conditions and date of collection are given in Table 1.

**Seed morphological parameters.** Each collected seed was measured for length, width and thickness (Figure 1) using a digital caliper (0.01 mm accuracy) and weighed using an analytical balance (0.0001g precision). The weight of the endosperm and the embryo (kernel) was estimated from a random subsample of 50 seeds from Papantla, Alvarado and Tecoman. Seed volume was calculated based on the shape of an ellipsoid (Figure 1).

**Cuadro 1. Localización, genotipo e información agroecológica de las procedencias estudiadas Servicio Meteorológico Nacional (SMN).****Table 1. Location, genotype and agroecological information from the studied provenances (Data obtained from the Mexican National meteorological Service (MNMS)).**

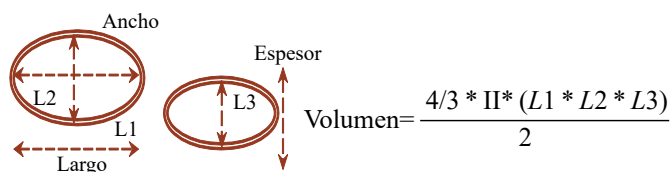
Dato	Papantla	Medellín	Alvarado	Tecomán
Ésteres de forbol (mg g <sup>-1</sup> )	0.11	0.19	ND	0.25
Nivel de toxicidad	No tóxica	No tóxica	No tóxica	Tóxica
Latitud	20°15'17"	18°59'52"	18°46'26"	18°54'46"
Longitud	97°15'32"	96°15'31"	95°45'35"	103°52'46"
Altitud (msnm)	71	17	4	251
Temp. min-máx. (°C)	18.9 - 29.4	19.6 - 30.4	22.4 - 30.2	19.6- 33
Epa (mm y <sup>-1</sup> )	-	1 467	1 637	1 835.1
Ppa Total (mm y <sup>-1</sup> )	1 186	1 672	1 898	450
Ppa (mm y <sup>-1</sup> )	1 186	1 672	1 898	1 280
Número de árboles muestreados	5	2	4	4 760
Edad promedio del árbol (2009-2010)	2.5	7	3	2.3
	4.2	8		3.4
Tipo de manejo	Plantación no comercial	Cerco vivo	Cerco vivo	Plantación comercial
Densidad de plantación (m)	3 x 2.5	Uno cada 2.0	Uno cada 2	3 x 1.5
Fechas de colecta	Ene. 2009 Sep. 2010	Ago. 2009 Ago. 2010	Ago. 2010	Nov. 2009 Dic. 2010
Promedio de semillas por árbol (2009-2010)	2 649 2 810	2 411 2 209	2 163	1 461 3 300
Fertilización anual	No aplicada	No aplicada	No aplicada	10 g por árbol de 24-5-5% NPK

ND= no detectados; Epa= evapotranspiración promedio anual; Ppa= precipitación promedio anual; Ppa total= incluye la irrigación aplicada a las plantaciones; -= sin información disponible.

**Parámetros morfológicos de las semillas.** Cada semilla recolectada se midió en longitud, ancho y espesor (Figura 1) con vernier digital (precisión 0.01 mm) y se pesó con balanza analítica (precisión 0.0001 g). El peso del endospermo (embrión y endospermo) en relación con la testa se estimó con 50 sub-muestras de Papantla, Alvarado y Tecoman. El volumen de la semilla se estimó con base en la forma de un elipsoide (Figura 1).

**Determinación del contenido de ésteres de forbol.** La determinación de los ésteres de forbol se realizó mediante el método de Makkar *et al.* (1997). Los resultados obtenidos se expresaron como equivalentes de forbol 12-miristato 13-acetato (FMA).

**Análisis estadístico.** Las estadísticas descriptivas (media, desviación estándar ( $\sigma$ ), coeficiente de variación (CV), mínimo y máximo, coeficiente de asimetría y percentiles 25 y 75%) de los pesos y las tallas (longitud, ancho y espesor) se realizaron por sitio y año de recolecta. Para Papantla,



**Figura 1. Parámetros dimensionales de semillas de *Jatropha curcas* y estimación de su volumen como un elipsoide.**

**Figure 1. Dimensional parameters of *Jatropha curcas* seeds and estimation of their volume as an ellipsoid.**

Determination of phorbol ester content. Phorbol-ester detection was performed by the method of Makkar *et al.* (1997). The results were expressed as equivalent to phorbol 12-myristate 13-acetate (PMA).

**Statistical analysis.** Descriptive statistics (mean, standard deviation ( $\sigma$ ), coefficient of variation (CV), maximum and minimum values, asymmetry coefficient and 25 and 75% percentiles) of seed weights and sizes (length, width

Medellín y Tecomán se estudiaron las recolectas de dos años. Las diferencias de medias entre los parámetros de cada fuente se compararon estadísticamente mediante análisis de varianza de una vía (ANDEVAs). Las comparaciones *post-hoc* se realizaron a parámetros normalizados mediante pruebas de Tukey con un nivel de confianza de 95%. Las relaciones entre tallas y pesos se evaluaron mediante análisis de correlaciones ( $r$ ) y ANDEVAs de una vía contra valores críticos de  $F$ .

## Resultados

**Distribuciones de pesos.** Todas las fuentes tuvieron CVs arriba de 12%, siendo las semillas ligeras las más abundantes (Cuadro 2). Los pesos de las semillas fueron diferentes entre las fuentes y sus años de recolecta ( $p < 0.05$ ), excepto Papantla, que registró promedios similares, con media total de 760 mg, mientras que Tecomán tuvo una media de 746 mg al registrar pesos menores el segundo año (Figura 2a). Las semillas de Alvarado y Medellín fueron similares entre ellas ( $p > 0.05$ ), pero 10% más ligeras que las de Papantla y Tecomán ( $p < 0.05$ ).

**Distribuciones de tallas.** Las semillas con longitudes, anchos y espesores reducidos fueron más abundantes en sus distribuciones, excepto para el caso de Tecomán; que produjo las semillas más largas, anchas y de mayor espesor durante los dos años de las recolectas (Cuadro 2, Figura 2b), seguido por Papantla (2% más abajo); mientras que las recolectas de Alvarado y Medellín fueron 4% más cortas, 18% más angostas y 4% más delgadas que las de Tecomán. Las relaciones de ancho a longitud y espesor a longitud de las semillas fueron diferentes entre las recolectas ( $p < 0.001$ ), con un rango promedio para el ancho entre 49-61% del largo de la semilla y un rango medio en espesor entre 46.5-49% del largo de la semilla.

El volumen de la semilla fue diferente para cada fuente ( $p < 0.01$ ) durante los dos años; sin embargo, este permaneció similar en cada fuente año tras año ( $p \geq 0.4$ ). Los CVs variaron menos 5% en todas las fuentes, lo cual indica que el volumen fue el parámetro más constante en las semillas. Tecomán tuvo los mayores volúmenes ( $p < 0.05$ ), seguido por Alvarado y Papantla, que fueron similares estadísticamente ( $p > 0.05$ ); los volúmenes promedio más bajos se encontraron en las semillas de Medellín.

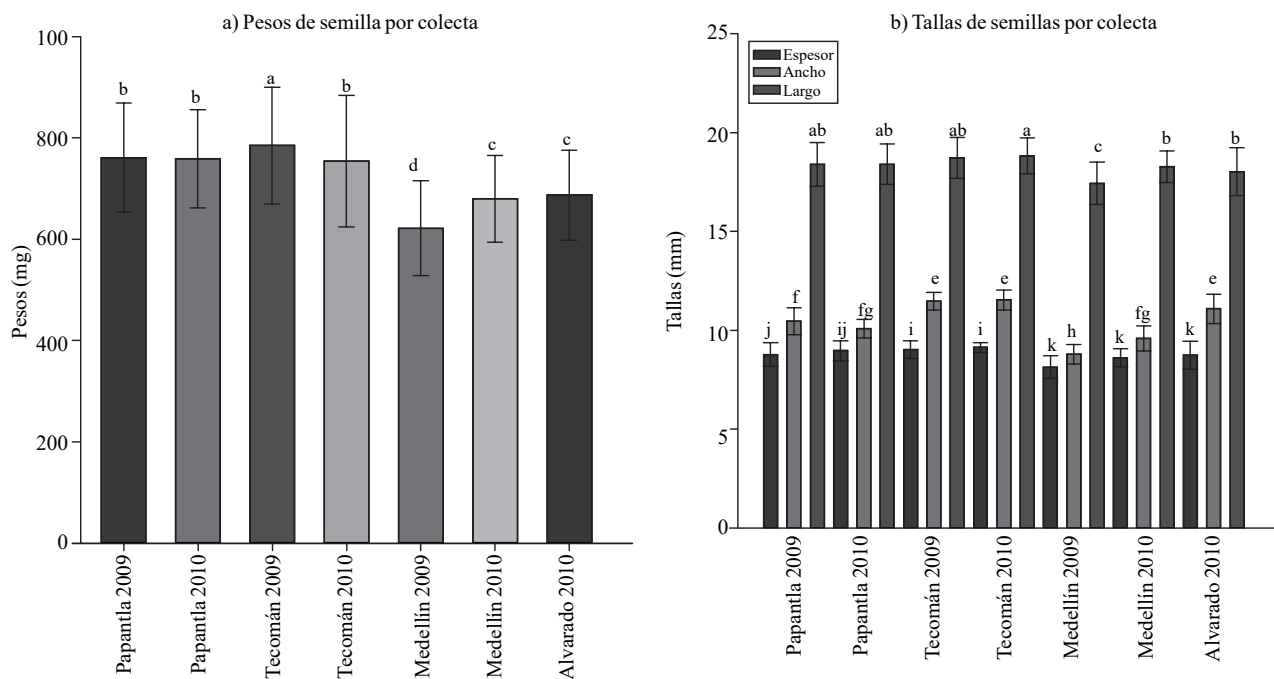
and thickness) were performed for each provenance and year of collection. For Papantla, Medellín and Tecomán, collections over two years were assessed. Differences in parameter means among sources were statistically compared using one-way analyses of variance (ANOVAs). *Post-hoc* comparisons were made for normally distributed parameters with a Tukey test with 95% confidence levels. Relationships between size and weight were assessed from their correlations ( $r$ ) and one way ANOVAs were conducted against critical values of  $F$ .

## Results

**Distribution of weights.** CVs higher than 12% were obtained for all sources, with lighter seeds being more abundant. (Table 2). Seed weights were significantly different among sources and between years of collection ( $p < 0.05$ ), except for Papantla, which over two years had similar weights with average of 760 mg, while Tecoman had a media of 746 mg for having lower weights the second year (Figure 2a). Seeds from Alvarado and Medellín in 2010 were similar ( $p > 0.05$ ), but were about 10% lighter than those from Papantla and Tecoman ( $p < 0.05$ ).

**Seed size distribution.** Seeds having shorter lengths, widths and reduced thickness were more abundant in the distributions, except for Tecoman; which produced the longer, wider and thicker seeds over the two years of collections (Table 2, Figure 2b), followed by Papantla (2% lower), while the collections from Alvarado and Medellín were 4% shorter, 18% narrower and 4% thinner than those from Tecoman. The ratio of width to length and thickness to length of seeds varied between seed collections ( $p < 0.001$ ), with an average range for width between 49-61% of seed length and an average range for thickness between 46.5-49.0% of seed length.

Seed volume was different for each source ( $p < 0.001$ ) over the two years, however, it remained similar from year to year among the four sources ( $p < 0.4$ ). CVs varied less than 5% from all the sources, which indicate that volume was the more constant seed parameter. Tecoman had the highest seed volumes ( $p < 0.05$ ) followed by those from Alvarado and Papantla, which were statistically similar ( $p < 0.05$ ); the lowest average volumes were found in seeds from Medellín.



**Figura 2. Pesos y tallas promedio ( $\pm \sigma$ ) de semillas de *J. curcas* por recolecta.** Las barras con letra diferente son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

**Figure 2. Average weights and sizes of *J. curcas* seeds ( $\pm \sigma$ ) by collection.** Bars with different letters are significantly different ( $p < 0.05$ ).

**Cuadro 2. Estadísticas descriptivas de las semillas por recolecta.**

**Table 2. Seed descriptive statistics by collection.**

Estadístico	Papantla		Medellín		Alvarado	Tecomán	
	2009	2010	2009	2010	2010	2009	2010
<b>Peso</b>							
Distribución normal (P)	0.000	0.014	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
Coefficiente de asimetría	-0.850	-0.459	-0.287	-1.296	0.026	-0.950	-0.418
Rango min-máx.(mg)	194-1018	396-1042	409-879	264-800	401-973	116-1111	255-1111
Rango 25% - 75%	700-834	704-826	572-690	600-738	625-750	735-847	697-815
Media $\pm \sigma$ (mg)	761 $\pm$ 107	758 $\pm$ 97	622 $\pm$ 93	679 $\pm$ 85	686 $\pm$ 89	786 $\pm$ 115	706 $\pm$ 108
CV (%)	14.060	12.797	14.952	12.518	12.974	14.631	15.297
<b>Longitud</b>							
Distribución normal (P)	0.005	0.000	0.854	0.050	0.000	0.000	0.050
Coefficiente de asimetría	-0.302	-0.296	-0.250	-0.229	-0.731	0.536	0.622
Rango min-máx.(mg)	14.9-21.1	11-21.0	14.8-19.9	16.2-20.2	13.8-20.8	15.4-22.6	14.5-21.8
Rango 25% - 75%	17.8-19.1	17.8-19.1	16.9-18.4	17.9-18.9	17.7-19.2	18.1-19.2	18.2-19.3
Media $\pm \sigma$ (mg)	18.4 $\pm$ 1.1	18.4 $\pm$ 1.0	17.6 $\pm$ 1.1	18.3 $\pm$ 0.8	18.0 $\pm$ 1.2	18.7 $\pm$ 1.0	18.8 $\pm$ 0.9
CV (%)	5.978	5.435	6.250	4.372	6.667	5.348	4.787
<b>Ancho</b>							
Distribución normal (P)	0.0000	0.06393	0.18261	0.00001	0.0000	0.0000	0.00131
Coefficiente de asimetría	-0.0890	-0.295	0.133	0.0583	0.632	0.0628	-1.555
Rango min-máx.(mg)	8.9-12.2	8.5-12.6	7.7-10.3	8.2-10.9	7.3-12.1	8.3-12.5	8.3-12.4
Rango 25% - 75%	10.2-11.1	10.2-11.0	8.6-9.1	9.1-10.3	9.14-9.97	9.2-11.4	11.1-11.6
Media $\pm \sigma$ (mg)	10.5 $\pm$ 0.7	10.4 $\pm$ 0.5	8.9 $\pm$ 0.5	9.6 $\pm$ 0.7	11.1 $\pm$ 0.64	11.5 $\pm$ 0.4	11.5 $\pm$ 0.5
CV (%)	6.667	4.808	5.618	7.292	5.766	3.478	4.348
<b>Espesor</b>							
Distribución normal (P)	0.170	0.143	0.068	0.006	0.006	0.004	0.035

**Cuadro 2. Estadísticas descriptivas de las semillas por recolecta (Continuación).**  
**Table 2. Seed descriptive statistics by collection (Continuation).**

Estadístico	Papantla		Medellín		Alvarado	Tecomán	
	2009	2010	2009	2010	2010	2009	2010
Peso							
Coefficiente de asimetría	-0.402	-0.121	-0.225	0.673	0.530	-1.402	0.719
Rango min-máx.(mg)	6.8-10.1	7.6-10.5	6.9-9.6	8.7-9.9	7.5-8.9	8-10.7	8.8-9.2
Rango 25% - 75%	8.3-9.2	8.7-9.3	8.8-9.2	9.0-9.3	7.8-8.5	8.8-9.2	9.0-9.3
Media $\pm$ $\sigma$ (mg)	8.8 $\pm$ 0.6	9.0 $\pm$ 0.5	8.2 $\pm$ 0.6	8.5 $\pm$ 0.3	8.2 $\pm$ 0.7	9.0 $\pm$ 0.5	9.1 $\pm$ 0.2
CV (%)	6.818	5.556	7.317	3.529	8.537	5.556	2.198
Volumen							
Media $\pm$ $\sigma$ (cm <sup>3</sup> )	3.6 $\pm$ 0.6	3.5 $\pm$ 0.4	2.7 $\pm$ 0.5	3.2 $\pm$ 0.5	3.7 $\pm$ 0.7	4.0 $\pm$ 0.5	4.0 $\pm$ 0.5

**Análisis de correlación.** Las correlaciones de pesos contra tallas de semillas para todas las recolectas estuvieron normalmente distribuidas ( $p > 0.15$ ). Las correlaciones entre peso contra longitud, ancho y espesor fueron significativas ( $p < 0.01$ ) (Figura 3). La mayor correlación positiva se obtuvo con la longitud *versus* peso ( $0.86 \leq r \leq 0.92$ ). Por otra parte, el espesor obtuvo la menor correlación positiva con el peso en todas las fuentes ( $0.4 \leq r \leq 0.52$ ).

**Análisis de los endospermos.** Los pesos de los endospermos fueron estadísticamente similares para todas las recolectas analizadas ( $p = 0.09$ ). Todas las correlaciones tuvieron distribuciones normales y mostraron  $r's > 0.99$ , entre los pesos de sus endospermos y el peso total de sus semillas (Cuadro 3, Figura 4).

**Morfología de semilla y toxicidad.** Las semillas tóxicas de Tecomán fueron más grandes que las no tóxicas (Figura 2). Sin embargo, sus relaciones entre peso total de semilla-endospermo<sup>-1</sup> no mostraron diferencias significativas entre fuentes ( $p > 0.05$ ). En las recolectas de Alvarado, donde no se detectaron ésteres de forbol, se obtuvieron tasas similares de peso-longitud<sup>-1</sup>, peso-ancho<sup>-1</sup>, peso-espesor<sup>-1</sup> y espesor-longitud<sup>-1</sup> que en las semillas tóxicas de Tecomán (Cuadro 3).

**Correlation analysis.** Correlations of seed weights *versus* seed sizes for all collections were normally distributed ( $p < 0.15$ ). The correlations between seed weights *versus* lengths, widths and thicknesses were significant ( $p < 0.01$ ) (Figure 3). The highest positive correlation was obtained in length *versus* weight ( $0.86 \leq r \leq 0.92$ ). On the other hand, thickness had the lowest positive correlation with weight for all sources ( $0.4 \leq r \leq 0.52$ ).

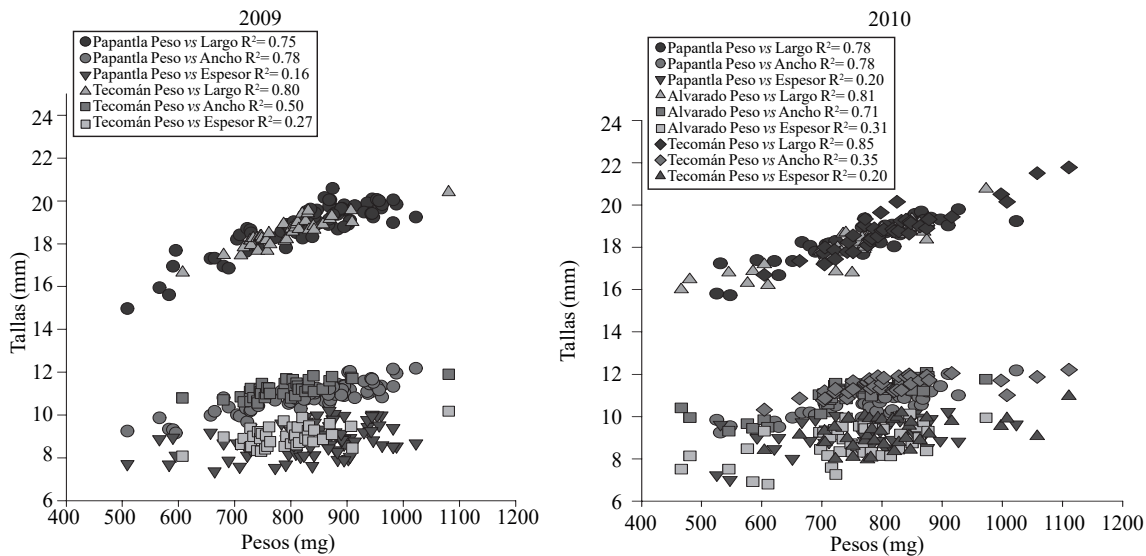
**Analysis of the kernels.** Kernel weights were statistically similar for all collections analyzed ( $p = .909$ ). All correlations had normal distributions and showed  $r > 0.99$ , between the kernel weights and total seed weight (Table 3, Figure 4).

**Seed morphology and toxicity.** The toxic seeds from Tecoman were bigger than the non-toxic seeds (Figure 2). However, the relationship of the ratio total seed weight-kernel<sup>-1</sup> did not revealed significant differences among the four sources ( $p < 0.05$ ). Alvarado, the source with no detectable phorbol esters, had similar ratio of weight-length<sup>-1</sup>, weight-width<sup>-1</sup>, weight-thickness<sup>-1</sup>, width-length<sup>-1</sup> and thickness-length<sup>-1</sup> with the highest toxic Tecoman seeds (Table 3).

**Cuadro 3. Relaciones alométricas medias ( $\pm\sigma$ ) entre semillas de las cuatro fuentes.**  
**Table 3. Average ( $\pm\sigma$ ) allometric ratios between the four sources.**

Relación alométrica	Papantla		Medellín		Alvarado	Tecomán	
	2009	2010	2009	2010	2010	2009	2010
Peso largo <sup>-1</sup>	44.0 $\pm$ 3.9 <sup>a</sup>	41.8 $\pm$ 4.4 <sup>a</sup>	34.41 $\pm$ 4.1 <sup>c</sup>	38.4 $\pm$ 3.24 <sup>b</sup>	41.12 $\pm$ 4.1 <sup>a</sup>	42.6 $\pm$ 2.7 <sup>a</sup>	43.02 $\pm$ 3.1 <sup>a</sup>
Peso ancho <sup>-1</sup>	76.4 $\pm$ 6.7 <sup>a</sup>	72.9 $\pm$ 7.2 <sup>ab</sup>	68.42 $\pm$ 9.4 <sup>bc</sup>	73.13 $\pm$ 6.31 <sup>b</sup>	67.2 $\pm$ 6.6 <sup>c</sup>	70.6 $\pm$ 5.3 <sup>bc</sup>	70.6 $\pm$ 7.4 <sup>bc</sup>
Peso espesor <sup>-1</sup>	94.7 $\pm$ 11.86 <sup>a</sup>	85.1 $\pm$ 11.0 <sup>b</sup>	70.42 $\pm$ 8.6 <sup>d</sup>	78.76 $\pm$ 6.8 <sup>c</sup>	85.0 $\pm$ 10.4 <sup>b</sup>	88.0 $\pm$ 7.1 <sup>ab</sup>	88.2 $\pm$ 9.9 <sup>a</sup>
Ancho largo <sup>-1</sup>	0.57 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	0.55 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	0.50 $\pm$ 0.01 <sup>d</sup>	0.53 $\pm$ 0.04 <sup>c</sup>	0.62 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	0.56 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>	0.61 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>
Espesor largo <sup>-1</sup>	0.48 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	0.49 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	0.047 $\pm$ 0.01 <sup>d</sup>	0.47 $\pm$ 0.01 <sup>cd</sup>	0.49 $\pm$ 0.02 <sup>ab</sup>	0.48 $\pm$ 0.03 <sup>bc</sup>	0.49 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>
Almendra peso total <sup>-1</sup>	0.66 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	0.65 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	--	--	0.63 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	0.64 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	0.64 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>

<sup>a,b,c</sup> Los valores con letras diferentes son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ).



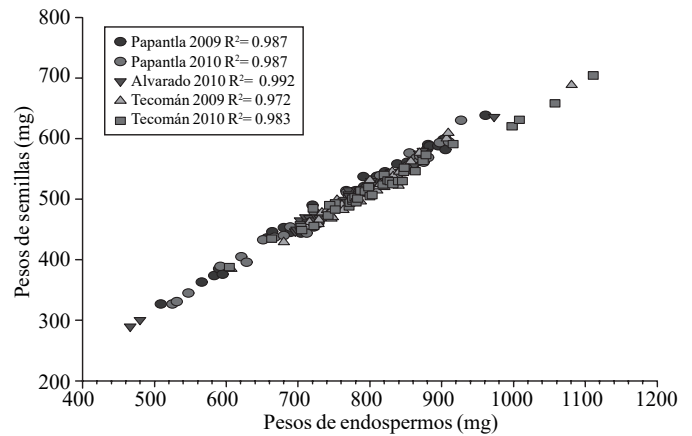
**Figura 3. Correlaciones para pesos *versus* tallas de semillas recolectadas en 2009 y 2010.**

**Figure 3. Correlations for weights *versus* sizes of seeds collected in 2009 and 2010.**

## Discusión

**Variabilidad de las semillas.** La morfología de las semillas mexicanas no ha sido comparada previamente. Sin embargo, se sabe que existe una alta variación entre fuentes de la India (Ginwal *et al.*, 2005; Kaushik *et al.*, 2007; Srivastava, 2011; Ghosh y Singh, 2011), con coeficientes fenotípicos mayores que los coeficientes genotípicos (Kaushik *et al.*, 2007); lo que sugiere que estas variaciones pueden ser ocasionadas por el ambiente. En los sitios donde *J. curcas* es nativa, tal como México (Martínez *et al.*, 2002), existe una mayor diversidad genética (Ovando *et al.*, 2011). Por tanto, estas variaciones también podrían tener su origen en los genotipos que se han adaptado a las condiciones de sus sitios particulares. Por ejemplo, las semillas pequeñas, tales como las de Medellín y Alvarado, que se desarrollaron en suelos pobres, requerirán menos inversión energética que las semillas grandes, como las de Tecomán y Papatla (Figura 5), que se desarrollaron en ambientes más ricos en recursos. La poca variabilidad en tallas y especialmente en volumen dentro de las fuentes indica que la morfología de las semillas de *J. curcas* tiene un alto sentido hereditario (Rafii *et al.*, 2012).

Al compararse con otras recolectas hechas en México por Martínez *et al.* (2006; 2010) y Makkar *et al.* (2008), los pesos y tallas de las fuentes analizadas en este estudio se encontraron dentro de los rangos reportados por éstos autores (450-800 mg y 15.0-18.7 mm de longitud) (Cuadro 4). Las recolectas de



**Figura 4. Pesos totales de semillas *versus* pesos de endospermos de Papatla, Alvarado y Tecomán**

**Figure 4. Total seed weights *versus* kernel weights from Alvarado, Papatla and Tecomán.**

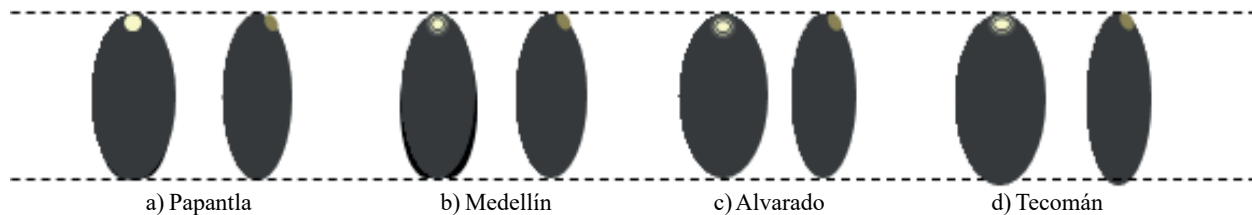
## Discussion

**Seed variability.** Seed morphology from different Mexican sources has not been previously compared. However high variation among sources is well known as in the case of Indian seeds (Ginwal *et al.*, 2005; Kaushik *et al.*, 2007; Srivastava, 2011; Ghosh and Singh, 2011), with higher phenotypic than genotypic coefficients (Kaushik *et al.*, 2007); suggesting that these variations may be environmentally based. For places where *J. curcas* is native, such as Mexico (Martínez *et al.*, 2002), there is



Pueblillo Veracruz de Martínez *et al.* (2006) y Makkar *et al.* (2008), correspondientes a el sitio de Papantla de este estudio, tuvieron pesos muy similares (promedio  $\pm \sigma$ ). Las plantas localizadas en esta región son resultado de una selección humana del genotipo no tóxico que se consume en los platillos tradicionales (Aguilera, 2004). Por lo que la alta uniformidad encontrada en los pesos y tallas de sus semillas podría ser resultado de que estos ejemplares estén emparentados y además sujetos a las mismas condiciones agroclimáticas y prácticas de cosecha (Pompelli *et al.*, 2010). Sin embargo, se requieren estudios morfológicos más extensivos para confirmar esta hipótesis.

greater genetic diversity (Ovando *et al.*, 2011). Therefore; these variations could also originate in genotypes adapted to particular site conditions. For example, smaller seeds such as those from Medellín and Alvarado, which developed in poor soils, will require less energy investment than larger seeds such as those from Tecoman and Papantla (Figure 5), which developed in more resource-richer environments. The low variation in sizes and especially in volumes among the sources indicates that *J. curcas* seed morphology has a high broad-sense heritability (Rafii *et al.*, 2012).



**Figura 5. Tamaños y formas proporcionales (vista frontal y lateral) de las cuatro fuentes.**  
**Figure 5. Proportional sizes (front and lateral view) from the four sources.**

**Cuadro 4. Tallas y pesos medios ( $\pm\sigma$ ) de semillas de *Jatropha curcas* reportados en otros sitios de Veracruz y otros estados Mexicanos.**  
**Table 4. Averages weights and sizes ( $\pm\sigma$ ) from *Jatropha curcas* seeds reported from other sites in Veracruz and other Mexican states.**

Fuente	Ésteres de forbol (mg g <sup>-1</sup> )	Peso Total (mg)	Peso de la almendra (mg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Referencia
Sacxan, Quintana Roo	ND	600	394	-	-	Makkar <i>et al.</i> (1998)
Sergio Butrón, Quintana Roo	0.01	620	391	-	-	Makkar <i>et al.</i> (1998)
Pueblillo, Veracruz	ND	720 $\pm$ 70	490 $\pm$ 40	18.0 $\pm$ 0.95	9.5 $\pm$ 0.73	Martínez <i>et al.</i> (2006)
Cast. de Teayo, Veracruz	ND	640 $\pm$ 70	430 $\pm$ 50	17.0 $\pm$ 0.96	8.4 $\pm$ 0.38	Martínez <i>et al.</i> (2006)
Yautepec, Morelos	ND	448 $\pm$ 60	310 $\pm$ 30	15.0 $\pm$ 0.79	7.6 $\pm$ 0.45	Martínez <i>et al.</i> (2006)
Pueblillo, Veracruz	ND	730 $\pm$ 90	470 $\pm$ 65	-	-	Makkar <i>et al.</i> (2008)
Sn José Acatenco, Veracruz	ND	730	503	-	-	Martínez <i>et al.</i> (2010)
Huitzilán, Puebla	ND	680	455	-	-	Martínez <i>et al.</i> (2010)
Cuatla, Morelos	ND	610	402	-	-	Martínez <i>et al.</i> (2010)
Comalcalco, Tabasco	ND	710	472	-	-	Martínez <i>et al.</i> (2010)
Costa Chica, Guerrero	ND	740	465	-	-	Martínez <i>et al.</i> (2010)
Tejaban, Michoacan	ND	680	435	-	-	Martínez <i>et al.</i> (2010)
Coatzacoalcos, Veracruz	3.16	710 $\pm$ 40	480 $\pm$ 40	18.7 $\pm$ 0.56	9.3 $\pm$ 0.35	Martínez <i>et al.</i> (2006)
Coatzacoalcos, Veracruz	0.81	800 $\pm$ 99	490 $\pm$ 71	-	-	Makkar <i>et al.</i> (2008)
Suchiapa, Chiapas	2.03	830	618	-	-	Martínez <i>et al.</i> (2010)
Villaflores, Chiapas	0.60	670	494	-	-	Martínez <i>et al.</i> (2010)
Tlaxmalac, Guerrero	1.88	730	450	-	-	Martínez <i>et al.</i> (2010)
Chiapa de Corzo, Chiapas	4.05	720	484	-	-	Martínez <i>et al.</i> (2010)

ND= no detectados; -= datos no reportados.

**Morfología de las semillas y toxicidad.** La morfología de las semillas y sus relaciones sobre endospermo-peso total<sup>-1</sup>, peso-longitud<sup>-1</sup>, ancho-longitud<sup>-1</sup> y espesor-longitud<sup>-1</sup>, fueron similares entre las fuentes tóxicas y no tóxicas. Consecuentemente, los genotipos tóxicos y no tóxicos no pudieron diferenciarse por su morfología.

Compared to other Mexican seed collections made by Martínez *et al.* (2006; 2010) and Makkar *et al.* (2008), the weights and sizes from the sources analyzed in this study fell within the ranges found by these authors (450-800 mg and 15-18.7 mm in length) (Table 4). Collections from Pueblillo Veracruz reported by Martínez *et al.* (2006) and Makkar *et*

**Condiciones agroclimáticas.** Las mayores producciones de semillas por planta así como los mayores tamaños y pesos se encontraron en los sitios con mayor precipitación y suelos más ricos o fertilizados. A este respecto, Martínez *et al.* (2006) también reportó que las semillas eran más ligeras y pequeñas cuando provenían de regiones mexicanas con baja precipitación pluvial, si se comparaban con semillas de sitios con precipitaciones más altas. Pompelli *et al.* (2010) documentó que las semillas de una misma procedencia que se germinaron en dos climas diferentes desarrollaron plantas que produjeron semillas más largas y pesadas cuando crecieron en un clima de bosque lluvioso tropical, que cuando se desarrollaron en un clima semiárido.

Por lo que se consideró que los factores ambientales pudieron haber influido el peso y tamaño de estas semillas. Las prácticas de cosecha también contribuyó sobre el peso de las semillas, ya que se documentó que las recolectas en 2010 de Tecomán se afectaron significativamente cuando se cosecharon frutos verdes y maduros al mismo tiempo (lo que implica que muchos frutos podrían no haber alcanzado la madurez), y a pesar de tener tallas similares ambos años, los pesos de 2010 fueron inferiores; lo que parece indicar que la madurez de la semilla puede incidir sobre el peso final de la misma.

**Correlación de pesos y tallas de semillas.** Aunque no se encontró información sobre las semillas mexicanas, las altas correlaciones positivas entre sus pesos y longitudes fueron consistentes con las reportadas por Kaushik *et al.* (2007) y Ghosh y Singh (2011) en las semillas de la India. Ésta mayor correlación sobre el ancho y el espesor indica que las semillas más pesadas de todas las fuentes tienden a ser más largas, mientras que el ancho y el espesor varían de acuerdo con la fuente. Una alta correlación entre los pesos y sus tallas es una buena indicación de que las semillas sanas y vigorosas se pueden identificar solamente mediante su pesaje y medición. Dado que se encontró que las semillas grandes con bajo peso tenían los endospermos dañados, el peso de las semillas también se podría relacionar positivamente con su vigor (McDaniel, 1969).

El peso del endospermo como una proporción total del peso de las semillas de las cuatro fuentes mostró rangos similares con semillas de otros estados de México (Makkar *et al.*, 1998; Martínez *et al.*, 2010), tales como Quintana Roo, Guerrero, Michoacán, Morelos y Veracruz, incluyendo semillas tóxicas y no tóxicas, y estos fueron similares a los reportados por Makkar *et al.* (1998) en India y Cabo Verde.

*al.* (2008) corresponds with a collection analyzed in this study, Papantla, where both sources had very similar seed and kernel weights (average  $\pm \sigma$ ). Trees located in this region are the result of centuries of human selection for this non-toxic genotype consumed in traditional dishes (Aguilera, 2004). Therefore, the higher uniformity in weight and size found in seeds from Papantla could result from these plants being close relatives and being subjected to the same agroclimatic conditions and harvest practices (Pompelli *et al.*, 2010). However, more extensive morphological studies are required to confirm these hypotheses.

**Seed morphology and toxicity.** The morphology of the seeds and their ratios of kernel-total weight<sup>-1</sup>, weight-length<sup>-1</sup>, width-length<sup>-1</sup>, thickness-length<sup>-1</sup>, were similar between the toxic and some non-toxic sources. Therefore, toxic and non-toxic genotypes could not be established by their morphology.

**Agroclimatic conditions.** A higher number of seeds per plant and greater seed weight and size were recorded from sites with higher rain fall or irrigation and richer soils or fertilization. Martínez *et al.* (2006) also reported lighter and smaller seeds in Mexican regions with lower rain fall compared with seeds from locations with higher rainfall. Pompelli *et al.* (2010) documented that seeds from the same provenance germinating in two different climates developed plants that produced longer and heavier seeds in a tropical rain forest climate compared to a semi-arid climate.

Therefore, environmental factors may have influenced the weight and size of these seeds. Harvest practices also affect seed weight, since it was reported that collections in 2010 from Tecoman were significantly affected when green and ripe fruits were collected at the same time (so that many fruits had not yet reached full maturity), and despite having similar sizes both years, weights in 2010 were lower; which could be an indication that seed maturation influenced their final weight.

**Correlation of seed weights to sizes.** Although there was no information about Mexican seeds, the highly positive correlations between weights and lengths of these seeds were consistent with those reported by Kaushik *et al.* (2007) and Ghosh and Singh (2011) for Indian seeds. The highest positive correlation of weight to width and thickness indicates that the heaviest seeds from all sources tend to be longer, but width and thickness may vary depending on the source. A high correlation between weight and size is

Sin embargo, en otras recolectas de los estados de Veracruz, Morelos y Chiapas, las proporciones fueron hasta 11% más altas (Martínez *et al.*, 2006; 2010).

Dado que las condiciones agroclimáticas fueron similares y los autores no mencionaron ningún tratamiento agronómico especial aplicado a estas fuentes; se considera que los factores genéticos podrían estar involucrados, ya que estos mismos patrones permanecieron similares durante los dos años consecutivos de estudio de nuestras fuentes. Adicionalmente, se ha notado que en las recolectas de este estudio la manera en la que los frutos fueron cosechados y se secaron las semillas, afectó significativamente la relación del peso del endospermo contra el peso total de la semilla. Estos resultados son también una indicación de que se requieren estudios más completos para determinar la calidad de las procedencias mexicanas y lograr la selección de germoplasma deseable.

## Conclusiones

Las semillas de *J. curcas* manifestaron una amplia variación en sus pesos y tallas entre diferentes fuentes, tanto tóxicas como no tóxicas, dificultando la posibilidad de establecer diferencias morfológicas entre estos dos genotipos. La alta dependencia entre el largo de la semilla y el peso total, así como el peso de los endospermos significa que el largo de la semilla puede ser un atributo deseable para esta especie. Dado que la productividad y calidad de la semilla en términos de peso y tamaño pueden ser afectadas por la fertilidad del suelo, el clima y el manejo agronómico, el cultivo de *J. curcas* con propósitos alimenticios o de biocombustibles deberá ser evaluado en términos de sustentabilidad.

## Agradecimientos

Las autoras(es) agradecen al Ing. José Inés Bazan Mota de Tecomán. Al apoyo proporcionado por las Línea Prioritaria 3 y 4 de Investigación del Colegio de Postgraduados.

## Literatura citada

Aguilera, M. R. 2004. Recetario Totonaco de la costa de Veracruz. Cocina indígena popular. CONACULTA. México, D. F. 120 p.

a good indication that healthy and vigorous seeds could be identified by just weighing and measuring them. Since we found that big seeds with low weight had damaged kernels, seed weight could also be positively correlated with seedling vigor (McDaniel, 1969).

Kernel weight as a proportion of total seed weight from our four sources showed similar ranges to seeds from other Mexican states (Makkar *et al.*, 1998; Martínez *et al.*, 2010), such as Quintana Roo, Guerrero, Michoacán, Morelos and Veracruz, including both toxic and non-toxic seeds, and they were also similar to those reported by Makkar *et al.* (1998) from India and Cape Verde. However, in other collections from the states of Veracruz, Morelos and Chiapas, the proportions were up to 11% higher (Martínez *et al.*, 2006; 2010).

Since agroclimatic conditions were similar and authors did not mention any kind of agronomic management applied to these sources; we consider that genetic factors may be involved because these patterns remained similar during the two year collection of our studied sources. Yet, we have also noted that in our collections, the manner in which the fruits were harvested and the seeds were dried significantly affected the ratio of kernel to total seed weight. These results are also an indication that comprehensive studies are required to determine the productivity of Mexican provenances for the selection of desirable germoplasm.

## Conclusions

The seeds of *J. curcas* manifested a wide variation in terms of their weights and sizes among different sources, both toxic and non-toxic, making it difficult to establish morphological differences between these two genotypes. The high dependence between seed length and total weight, as well as the weight of the endosperms means that large length may be a desirable attribute for seeds of this species. Given that seed productivity and quality in terms of weight and size can be affected by soil fertility, climate and agricultural management of the plantations, the cultivation of *J. curcas* for food or biofuel purposes must be evaluated in terms of sustainability.

*End of the English version*



- Brittaine, R. and Litaladio, L. 2010. *Jatropha*: a smallholder bioenergy crop. The potential for pro-poor development. Integrated crop management. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. 96 p.
- Ghosh, L. and Singh, L. 2011. Variation in seed and seedling characters of *Jatropha curcas* L. with varying zones and provenances. *Trop. Ecol.* 52(1):113-122.
- Ginwal, H. S.; Phartyal, S. S.; Rawat, P. S. and Srivastava, R. L. 2005. Seed source variation in morphology, germination and seedling growth of *Jatropha curcas* Linn. In Central India. *Silvae Genetica.* 54(2):76-80.
- Guemes-Vera, N.; Dávila-Ortiz, G.; Martínez-Herrera, J. and Bernardino-Nicanor, A. 2008. Fortification of Mexican Bread with Sources News of Proteins and Soluble Fiber. *In: food science and technology: New Research.* Greco, L. V. and Bruno, M. N. (Eds). Nova Science Publishers. 383-392 pp.
- Heller, J. 1996. *Physic nut. Jatropha curcas* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Institute of Plant Genetics and Crop Plant- International Plant Genetic Resources Institute. Gatersleben, Germany-Rome, Italy. 35-40 pp.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2011. Mapa digital de México <<http://gaia.inegi.org.mx/mdm5/viewer.html>> (consultado agosto, 2012).
- Kaushik, N.; Kumar K.; Kumar, S.; Kaushik, N. and Roy, S. 2007. Genetic variability and divergence studies in seed traits and oil content of *Jatropha (Jatropha curcas* L.) accessions. *Bio. Bioen.* 31(7):497-502.
- Makkar, H. P.; Martínez, H. J. and Becker, K. 2008. Variations in seed, number of fruit, seed physical parameters and contents of oil, protein and phorbol ester in toxic and non-toxic genotypes of *Jatropha curcas*. *J. Plant Sci.* 3(3):260-265.
- Makkar, H. P. S.; Becker, K. and Schmoock, B. 1998. Edible provenances of *Jatropha curcas* from Quintana Roo state of Mexico and effect of roasting on antinutrient and toxic factors in seeds. *Plant Foods for Human Nutrit.* 52:31-36.
- Makkar, H. P. S.; Becker, K.; Sporer, F. and Wink, M. 1997. Studies on nutritive potential and toxic constituents of different provenances of *Jatropha curcas*. *J. Agric. Food Chem.* 45:3152-3157.
- Martínez, G. M.; Jiménez, R. J.; Cruz, D. R.; Juárez, A. E.; García, R.; Cervantes, A. y Mejía, H. R. 2002. Los géneros de la Euphorbiaceae en México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Serie Botánica.* 73(2):155-281.
- Martínez, H. J. 2007. El piñón mexicano: una alternativa bioenergética para México. *Rev. Digital Universitaria* 8(12):1-10.
- Martínez, H. J.; Martínez, A. A. L.; Makkar, H.; Francis, G. and Becker, K. 2010. Agroclimatic conditions, chemicals and nutritional characterization of different provenances of *Jatropha curcas* L. from México. *European J. Sci. Res.* 39(3):396-407.
- Martínez, H. J.; Siddhuraju, P.; Francis, G.; Dávila-Ortiz, G. and Becker, K. 2006. Chemical composition, toxic/metabolic constituents, and effects of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from México. *Food Chem.* 96:80-89.
- Martínez-Herrera, J.; Chel-Guerrero, L. and Martínez-Ayala, A. L. 2004. The nutritional potencial of Mexican piñon (*Jatropha curcas*). Toxic and antinutritional factors. Proceedings of the fourth international workshop on antinutritional factors in legume and oilseeds; 2004 March 8-10; Toledo, España. EAAP No. 110.
- McDaniel, R. G. 1969. Relationships of seed weight, seedling vigor and mitochondrial metabolism in Barley. *Crop Sci.* 9(6):823-827.
- Ovando-Medina, I.; Espinosa-García, F. J.; Núñez-Farfán, J. and Salvador-Figueroa, M. 2011. Genetic variation in Mexican *Jatropha curcas* L. estimated with seed oil fatty acids. *J. Oleo Sci.* 60(6):301-311.
- Pérez, M. C.; Hernández, L. A.; González, C. F. V.; García, S. G.; Carballo, C. A. y Vázquez, R. T. R. 2006. Tamaño de la semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. *Agric. Téc. Méx.* 32(3):341-352.
- Pompelli, M. F.; da Rocha, G. F. D. T.; da Silva, C. P. G.; de Lima, S. T.; Shihye, H. B. and Endres, L. 2010. Environmental influence on the physico-chemical and physiological properties of *Jatropha curcas* seeds. *Australian J. Bot.* 58:421-427.
- Rafii, M. Y.; Arolu, I. W.; Omar, M. H. A. and Latif, M. A. 2012. Genetic variation and heritability estimation in *Jatropha curcas* L. population for seed yield and vegetative traits. *J. Medicinal Plants Res.* 6(11):2178-2183.
- Schmoock, B. y Sánchez-Sánchez, O. 2000. Usos y potencial de *Jatropha curcas* L. en la península de Yucatán, México. *Rev. Foresta Veracruzana.* 2(2):7-11.
- Seiwa, K. 2000. Effects of seed size and emergence time on tree seedling establishment: importance of developmental constraints. *Oecología* 123(2):208-215.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)- Instituto Nacional de Ecología (INE)- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)-CIECO. 2008. Análisis integrado de las tecnologías, el ciclo de vida y la sustentabilidad de las opciones y escenarios para el aprovechamiento de la bioenergía en México. Final Report. Instituto Nacional de Ecología (INE). México, Xalapa. 11-24 pp.
- Srivastava, P.; Behera, S. K.; Gupta, J.; Jamil, S.; Singh, N. and Sharma, Y. K. 2011. Growth performance, variability in yield traits and oil content of selected accessions of *Jatropha curcas* L. growing in a large scale plantation site. *Bio. Bioen.* 35(9):3936-3942.
- Valdes, R. O. A.; Sánchez, S. O.; Pérez, V. A. and Caplan, J. 2013. The Mexican Non-toxic *Jatropha curcas* L., Food resource or biofuel? *Ethnobot. Res. Appli.* 11:001-007.
- Valdes, R. O. A.; Sánchez, S. O.; Pérez, V. A. and Ruiz, B. R. 2011. Soil texture effects on the development of *Jatropha* seedlings the Mexican variety 'piñon manso'. *Bio. Bioen.* 35(8):3529-3536.