

Evaluation of water stress tolerance of two pumpkin species (*Cucurbita moschata* and *Cucurbita argyrosperma*) using anatomical indicators

Tolerancia al estrés hídrico de dos especies de calabaza (*Cucurbita moschata* y *Cucurbita argyrosperma*) mediante indicadores anatómicos

Aurelio Pedroza-Sandoval¹; Ruth I. Méndez-Sánchez¹; Ricardo Trejo-Calzada¹; Ignacio Sánchez-Cohen²; Luis G. Yañez-Chávez¹

¹Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, km 40 carretera Gómez Palacio – Cd. Juárez. C. P. 35230.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Parque Industrial II, Gómez Palacio, Dgo. C. P. 34079.

*Corresponding author: apedroza@chapingo.uruza.edu.mx

Abstract

Pumpkin (*Cucurbita* sp) is used as human food in different regions of the world. The objective of this study was to evaluate water deficit tolerance in two pumpkin species by means of anatomical attributes. For this purpose, a randomized block experimental design was used in a split-plot arrangement with three replicates. Two soil moisture levels were managed in the large plots: Field Capacity (FC: range 21-26 %) and Permanent Wilting Point (PWP: range 15-20 %); two pumpkin species were distributed in the small plots: *C. moschata* and *C. argyrosperma*. Main stem length of *C. argyrosperma* plants under FC conditions was higher ($P \leq 0.05$) than that of *C. moschata* plants at PWP level. The *C. argyrosperma* plants at PWP developed longer stems than those of *C. moschata* plants at FC and PWP. The variables plant cover and leaf area had an increasing exponential behavior regardless of the soil moisture condition. Results indicate that both species can be tolerant to water stress through the avoidance strategy.

Keywords: Water stress, plant growth and development, arid zones, drought, stress physiology.

Resumen

La calabaza (*Cucurbita* sp) se usa como alimento humano en diferentes regiones del mundo. El objetivo de este estudio fue evaluar la tolerancia al déficit hídrico en dos especies de calabaza mediante atributos anatómicos. Fue usado un diseño experimental en bloques al azar con arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones. En las parcelas grandes se manejaron los contenidos de humedad del suelo: Capacidad de Campo (CC: rango 21-26 %) y Punto de Marchitez Permanente (PMP: rango 15-20 %); en las parcelas chicas se distribuyeron las especies de calabaza *C. moschata* y *C. argyrosperma*. La longitud del tallo principal de las plantas de *C. argyrosperma* en condiciones de CC fue mayor ($P \leq 0.05$) que el de las plantas de *C. moschata* en el nivel de PMP. Las plantas de *Cucurbita argyrosperma* en PMP desarrollaron tallos de mayor longitud que las de *C. moschata* en CC y PMP. Las variables cobertura vegetal y área foliar tuvieron un comportamiento exponencial creciente de manera independiente a la condición de humedad del suelo. Los resultados indican que las dos especies pueden ser tolerantes al estrés hídrico mediante la estrategia de evasión.

Palabras clave: Estrés hídrico, crecimiento y desarrollo vegetal, zonas áridas, sequía, fisiología del estrés.

Please cite this article as follows (APA 6): Pedroza-Sandoval, A., Méndez-Sánchez, R. I., Trejo-Calzada, R., Sánchez-Cohen, I., & Yañez-Chávez L. G. (2018). Evaluation of water stress tolerance of two pumpkin species (*Cucurbita moschata* and *Cucurbita argyrosperma*) using anatomical indicators. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 17(2), 11-19
doi: 10.5154/r.rchsza.2017.09.004



**Revista Chapingo
Serie Zonas Áridas**

www.chapingo.mx/revistas/zonas_aridas

Received: September 19, 2017 / Accepted: November 7, 2018.

Introduction

Plants have developed various strategies in response to stressful environmental conditions, such as drought-produced water deficits. These strategies have been widely studied and classified according to the type of mechanism, such as: morphological, physiological and molecular (Pedroza-Sandoval, Trejo-Calzada, Sánchez-Cohen, Samaniego-Gaxiola, & Yañez-Chávez, 2016). Morphological strategies have traditionally been classified according to their nature, i.e. escape, avoidance and phenotypic flexibility. Morphological escape strategies are associated with plants that live in arid environments and base their establishment on short biological cycles, sometimes accelerating the appearance of the flowering phase in situations of reduced water availability (Araus, Slafer, Reynolds, & Royo, 2002). Avoidance strategies consist of plants completing their life cycle under unfavorable conditions, avoiding low water potentials by reducing the leaf surface exposed to gas exchange and direct light absorption, as well as by trying to capture the maximum amount of water possible by means of root proliferation and an increase in the ratio of roots to aerial part (Kavar, Maras, Kidric, Sustar-Vozlic, & Meglic, 2008). The avoidance and phenotypic plasticity strategies are very similar, the difference being that, in the latter, the changes occur at the molecular level and are reversible, as in acclimatization processes, while the former are associated with adaptation processes (Farooq, Wahid, Kobayashi, Fujita, & Basra, 2009).

In the Comarca Lagunera ("Region of Lagoons") located in Coahuila and Durango, Mexico, there has been a conflict over water resources for decades due to the overexploitation of aquifers. Annually, the estimated extracted volume is 1,185 Mm³, against an annual recharge of approximately 600 Mm³. This situation has caused an annual deficit of 585 Mm³. This signifies an obvious overexploitation of the region's aquifers (CNA, 2001).

From the above, the generation of productive options with plant species that are adaptable to the condition of water stress and do not demand much water for their development is an important aspect (Pedroza, Trejo, Chávez, & Samaniego, 2013). This option is known as productive restructuring; it aims to expand the agricultural frontier with new crops that may have promising economic, social and environmental prospects according to the ecological context. In this sense, the pumpkin (*Cucurbita* sp) is a crop that may represent an option to the problem of limited water availability in the region. The pumpkin is versatile in the process of adaptation to different environments and has great market potential.

Introducción

Las plantas han desarrollado diversas estrategias en respuesta a las condiciones ambientales de estrés, como el déficit hídrico producido por sequía. Dichas estrategias han sido ampliamente estudiadas y clasificadas según el tipo de mecanismo, tales como: morfológicas, fisiológicas y moleculares (Pedroza-Sandoval, Trejo-Calzada, Sánchez-Cohen, Samaniego-Gaxiola, & Yañez-Chávez, 2016). Las estrategias morfológicas han sido tradicionalmente clasificadas en función de su naturaleza, i.e. escape, evasión y flexibilidad fenotípica. Las estrategias morfológicas de escape están asociadas a plantas que viven en ambientes áridos y basan su establecimiento en ciclos biológicos breves, algunas veces acelerando la aparición de la fase de floración ante situaciones de disponibilidad hídrica reducida (Araus, Slafer, Reynolds, & Royo, 2002). Las estrategias de evasión consisten en que las plantas completan su ciclo de vida en condiciones desfavorables, evitando potenciales hídricos bajos, al reducir la superficie foliar expuesta a intercambio gaseoso y absorción directa de luz, así como tratando de captar la máxima cantidad de agua posible mediante la proliferación de la raíz y un aumento de la proporción raíces/parte aérea (Kavar, Maras, Kidric, Sustar-Vozlic, & Meglic, 2008). Las estrategias de evasión y de plasticidad fenotípica son muy similares, la diferencia estriba en que, en estas últimas, los cambios se producen a nivel molecular y son reversibles, como en los procesos de aclimatación, mientras que las primeras se asocian a procesos de adaptación (Farooq, Wahid, Kobayashi, Fujita, & Basra, 2009).

En la Comarca Lagunera de Coahuila y Durango, México, existe un conflicto por el recurso hídrico desde hace decenios, ante la sobreexplotación de los mantos acuíferos. Anualmente, el volumen extraído estimado es de 1,185 Mm³, ante una recarga anual de aproximadamente 600 Mm³. Esta situación ha originado un déficit anual de 585 Mm³. Ello significa una evidente sobreexplotación de los mantos acuíferos de la región (CNA, 2001).

A partir de lo anterior, la generación de opciones productivas con especies de plantas que sean adaptables a la condición de estrés hídrico y no demanden mucha agua para su desarrollo, es un aspecto importante (Pedroza, Trejo, Chávez, & Samaniego, 2013). Esta opción se conoce como reconversión productiva; con ella se pretende ampliar la frontera agrícola con cultivos nuevos que puedan tener perspectivas económica, social y ambiental acorde al contexto ecológico. En este sentido, la calabaza (*Cucurbita* sp) es un cultivo que puede representar una opción al problema de disponibilidad limitada de agua en la región. La calabaza es versátil en cuanto al proceso

Mexico is one of the world's leading pumpkin producers, even though *Cucurbita pepo* is the only species grown commercially in the country. In the 2017 agricultural cycle, 27,227 ha were planted under rainfed and irrigated conditions, with an average yield of 16.0 Mg·ha⁻¹. Landraces were only planted in 8,658 ha, with an average yield of 17.8 Mg·ha⁻¹ (SIAP, 2017). Diverse species are produced under different ecological conditions and grow in sites ranging from close to sea level to more than 2,000 masl (Lira, Andrés, & Nee, 1995). In terms of nutritional value, the fact that fresh pumpkin leaves have more proteins, minerals and vitamins than the tender fruit stands out; the latter is the product most consumed as a vegetable. The pumpkin has 26.9 % protein in male flowers, 4.2 % in the leaves and 1.7 % in the tender fruit. The seeds have great nutritional value because they contain approximately 50-100 g of oil and 33-100 g of protein (Hernández et al., 2014). The quality of pumpkin oil is higher than that of olive oil; therefore, perhaps the cultivation of pumpkin will be more important in the future as an oilseed species, with advantages even over soya, as it exceeds the latter's protein content and can reach unit yields of equivalent seeds (Villanueva, 2007).

From a genetic point of view, hybridization experiments reveal that, among cultivated species, *C. moschata* has the highest degree of compatibility with *C. argyrosperma*. The next level of compatibility is between *C. argyrosperma* and *C. pepo* and with some cultivars of *C. maxima* (Lira, et al, 1995). Isoenzymatic studies reveal moderate genetic differentiation within *C. pepo* and *C. moschata*, while little differentiation is identified within *C. argyrosperma*, *C. ficifolia* and *C. maxima* (Andres 2004, Decker-Walters, Walters, Poluszny, & Kevan, 1990, Decker-Walters, Staub, Chung, Nakata, & Quemada, 2002). The diversity of *C. argyrosperma* is less than that of *C. pepo*, *C. moschata*, and *C. maxima* (Lira, et al., 1995). *C. moschata* is a polymorphic species with great morphological diversity in seeds and fruits (Andres, 2004). *C. maxima* and *C. pepo* show similar molecular and morphological variability (Decker-Walters et al., 2002), while genetic and morphological variation is very limited in *C. ficifolia* (Andres 2004, Lebeda et al. 2007).

It is extremely important to have information about germplasm collections and their potential. Collection materials should be available to producers in a manner appropriate to the conditions of their natural and economic resources. However, their breeding aimed at obtaining drought-tolerant genotypes is complicated by the lack of efficient, reproducible and rapid techniques. Therefore, the aim of this study was to evaluate two pumpkin species (*Cucurbita moschata* and *Cucurbita argyrosperma*) for their drought-tolerant capacity using anatomical indicators.

de adaptación a ambientes diferentes y tiene un gran potencial en el mercado.

Méjico es uno de los principales productores de calabaza en el mundo. Aunque *Cucurbita pepo* es la única especie que se cultiva a nivel comercial en el país. En el ciclo agrícola 2017 se sembraron 27,227 ha en condiciones de secano y riego, con un rendimiento promedio de 16.0 Mg·ha⁻¹. Las variedades criollas solo fueron sembradas en 8,658 ha, con un rendimiento promedio de 17.8 Mg·ha⁻¹ (SIAP, 2017). Las especies diversas se producen en condiciones ecológicas diferentes y crecen en sitios con altitudes cercanas a nivel del mar hasta mayores a los 2,000 m (Lira, Andrés, & Nee, 1995). En cuanto al valor nutritivo, sobresale el hecho de que las hojas frescas de calabaza tienen mayor cantidad de proteínas, minerales y vitaminas que el fruto tierno; este último es el producto más consumido como hortaliza. La calabaza tiene 26.9 % de proteína en flores masculinas, 4.2 % en las hojas y 1.7 % en el fruto tierno. Las semillas tienen un gran valor nutritivo pues contienen aproximadamente de 50-100 g de aceite y de 33-100 g de proteínas (Hernández et al., 2014). La calidad del aceite de calabaza es mayor que la del aceite de olivo; por ello, quizás el cultivo de la calabaza será más importante en el futuro como especie oleaginosa, con ventajas incluso, sobre la soya, ya que la supera en contenido de proteína y puede alcanzar rendimientos unitarios de semillas equivalentes (Villanueva, 2007).

Desde el punto de vista genético, experimentos de hibridación revelan que, entre las especies cultivadas, *C. moschata* tiene el más alto grado de compatibilidad con *C. argyrosperma*. El siguiente nivel de compatibilidad se presenta entre *C. argyrosperma* y *C. pepo* y con algunos cultivares de *C. maxima* (Lira, et al, 1995). Estudios isoenzimáticos revelan diferenciación genética moderada dentro de *C. pepo* y *C. moschata*, mientras que poca diferenciación se identifica dentro de *C. argyrosperma*, *C. ficifolia* y *C. maxima* (Andres 2004, Decker-Walters, Walters, Poluszny, & Kevan, 1990, Decker-Walters, Staub, Chung, Nakata, & Quemada, 2002). La diversidad de *C. argyrosperma* es menor que la de *C. pepo*, *C. moschata*, y *C. maxima* (Lira, et al., 1995). *C. moschata* es una especie polimórfica con gran diversidad morfológica en semillas y frutos (Andres, 2004). *C. maxima* y *C. pepo* muestran variabilidad molecular y morfológica semejante (Decker-Walters et al., 2002), mientras que la variación genética y morfológica es muy limitada en *C. ficifolia* (Andres 2004, Lebeda et al. 2007).

Es de suma importancia contar con información sobre las colecciones de germoplasma y su potencial. Los materiales de las colecciones deben estar disponibles para los productores de una manera adecuada según las condiciones de sus recursos naturales y económicos. Sin embargo, su mejoramiento genético dirigido a la obtención de genotipos tolerantes a la sequía se complica

Materials and methods

Study area location

The study was carried out in the experimental field of Autonomous Chapingo University's Drylands Regional University Unit in Bermejillo, Durango. The coordinates of the experimental field are 26° 00' and 26° 10' N and 104° 10' and 103° 20' W; the elevation is 1,190 m. At the site, average annual rainfall is 250 mm; July and August are the雨iest months with 36.1 and 39.7 mm, respectively (CNA, 2006). In the region, soils are of alluvial origin and calcium and luvic xerosols predominate, as well as yermosols; soils are poor in organic matter, whereas the subsoil is rich in clay and carbonates (Pedroza & Berdejo, 2005). The soils have a clay-loam texture and a bulk density of 1.2 g·cm⁻³ (Pedroza & Gómez, 2006).

Experimental design

Treatments were generated by considering two factors: soil moisture levels (2 levels) and pumpkin species (2 species). Treatments were distributed by considering an experimental design consisting of 3 randomized blocks in a split-plot arrangement. In the large plots the two soil moisture contents (levels) were managed up to 30 cm deep: Field Capacity (FC: 21-26 %) and Permanent Wilting Point (PWP: 15-20 %); these physical properties were determined by means of the soil moisture retention curve using the pressure membrane method. In the small plots the two pumpkin species were distributed: *Cucurbita moschata* and *Cucurbita argyrosperma*. The large plots consisted of beds 0.80 m wide and 15 m long. The experimental units had an area of 12 m². The lanes were 0.20 m wide. The central furrows of each experimental unit corresponded to the useful plot; of this plot, four plants with full competence were selected to measure main stem height, plant cover and leaf area.

Establishment of the experiment. The experiment was carried out from March to October 2015. Planting was considered direct at a distance of 1.2 m between plants. In order to manage the moisture content in the large plots, a pressurized irrigation system was established with a strip derived from a main showerhead by means of lateral PVC connections. Each large plot had some moisture content; water flow was controlled according to the irrigation program by means of a stopcock.

Response variables. Soil moisture (%) was recorded by means of a Lutron PMS-714 moisture meter, and measured every 7 days as a real-time percentage, considering 15 and 30 cm depth. Measurements of the following variables were made every 7 days: main stem length (cm) by means of a graduated ruler; plant cover (cm²·plant⁻¹) by averaging canopy length and width; leaf area (cm²·plant⁻¹) by considering the length and width of the average plant leaf multiplied by the total number of leaves.

por la falta de técnicas eficientes, reproducibles y rápidas. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar dos especies de calabaza (*Cucurbita moschata* y *Cucurbita argyrosperma*) por su capacidad de tolerancia a la sequía mediante indicadores anatómicos.

Materiales y métodos

Ubicación del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el campo experimental de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo en Bermejillo, Durango. Las coordenadas del campo experimental son 26° 00' y 26° 10' L N y 104° 10' y 103° 20' L O; la altitud es 1,190 m. En el sitio, la precipitación promedio anual es de 250 mm; los meses julio y agosto son los más lluviosos con 36.1 y 39.7 mm, respectivamente (CNA, 2006). En la región, los suelos son de origen aluvial y predominan los xerosoles cárnicos y lúvicos, así como los yermosoles; los suelos son pobres en materia orgánica; el subsuelo es rico en arcilla y carbonatos (Pedroza & Berdejo, 2005). Los suelos son de textura franco-arcillosa y tienen una densidad aparente de 1.2 g·cm⁻³ (Pedroza & Gómez, 2006).

Diseño experimental

Los tratamientos se generaron al considerar dos factores: niveles de humedad de suelo (2 niveles) y especies de calabaza (2 especies). Los tratamientos se distribuyeron al considerar un diseño experimental de 3 bloques al azar con arreglo en parcelas divididas. En las parcelas grandes se manejaron los dos contenidos (niveles) de humedad edáfica hasta 30 cm de profundidad: Capacidad de Campo (CC: 21-26 %) y Punto de Marchitez Permanente (PMP: 15-20 %); estas propiedades físicas fueron determinadas mediante la curva de retención de humedad edáfica por el método de la membrana de presión. En las parcelas chicas se distribuyeron las dos especies de calabaza: *Cucurbita moschata* y *Cucurbita argyrosperma*. Las parcelas grandes consistieron en camas de 0.80 m de ancho y 15 m de largo. Las unidades experimentales tuvieron una superficie de 12 m². Las calles fueron de 0.20 m. Los surcos centrales de cada unidad experimental correspondieron a la parcela útil; de esta parcela, cuatro plantas con competencia completa se seleccionaron para medir altura del tallo principal, cobertura vegetal y área foliar.

Establecimiento del experimento. El experimento se llevó a cabo durante los meses de marzo a octubre de 2015. La siembra fue considerada directa a una distancia de 1.2 m entre plantas. Para manejar los contenidos de humedad en las parcelas grandes, se estableció un sistema de riego presurizado con cintilla derivada de una regadera principal mediante conexiones laterales de PVC. A cada parcela grande correspondió algún contenido de humedad; el flujo de agua fue controlado de acuerdo con el programa de riego mediante llave de paso.

Data analysis. The data were subjected to analysis of variance, Tukey's test ($P = 0.05$) and regression analysis. The statistical analyses were performed with Microsoft Excel version 2010 and SAS Version 9.0 software.

Results and discussion

The two soil moisture levels induced non-significant differences in plant cover and leaf area between the species *C. moschata* and *C. argyrosperma*. By contrast, the variable main stem length was significantly greater in FC conditions in both species (18.7 and 23.8 % average moisture in *C. moschata* and *C. argyrosperma*, respectively) than in PWP conditions (16.2 and 19.7 % average moisture in *C. moschata* and *C. argyrosperma*, respectively) (Table 1). In fact, the main stem length of *C. argyrosperma* under FC and PWP conditions was greater than the stem length of *C. moschata* in both soil moisture conditions.

These results suggest that the pumpkin plants had a higher tolerance to water deficit, possibly through the avoidance mechanism. The explanation may be that these plants may be able to develop roots up to 1.5 m deep (Valadez, 1994); this can occur if moisture reaches PWP in the surface soil; in such a case, the plant's needs may be covered if the roots are able to extend to the lower layers where soil moisture is greater than the PWP level. In addition, foliar growth may be more sensitive than root growth in water stress situations. Decreased foliage growth may be beneficial for plants in water-deficit conditions; such a situation could lead to less leaf area being exposed to factors that induce transpiration and, thus, water loss by transpiration may be less (Mahajan & Tuteja, 2005). However, the decrease in leaf area may limit crop production, as photosynthetic activity is reduced (Takahashi & Murata, 2008).

Table 1. Average values of the variables Total Plant Height (TPH), Plant Cover (PC) and Leaf Area (LA) in two pumpkin varieties (*Cucurbita* sp) due to the effect of two soil moisture contents (Field Capacity, FC; Permanent Wilting Point, PWP). The averages correspond to measurements made on five sampling dates between 37 and 72 days after sowing.

Cuadro 1. Valores promedio de las variables Altura Total de Planta (ATP), Cobertura Vegetal (CV) y Área foliar (AF) en dos variedades de calabaza (*Cucurbita* sp) por efecto de dos contenidos de humedad del suelo (Capacidad de Campo, CC; Punto de Marchitez Permanente, PMP). Los promedios corresponden a mediciones hechas en cinco fechas de muestreo realizadas entre los 37 y 72 días después de la siembra.

Soil moisture condition/ Condición de humedad de suelo	Species/Especie	TPH (cm)/ ATP (cm)	PC (cm ² .Plant ⁻¹)/ CV (cm ² .Planta ⁻¹)	LA (cm ² .Plant ⁻¹)/ AF (cm ² .Planta ⁻¹)
FC/CC	<i>C. moschata</i>	18.7 b	3,773.9 a	3,305.9 a
PWP/PMP	<i>C. moschata</i>	16.2 c	3,236.1 a	2,666.6 a
FC / CC	<i>C. argyrosperma</i>	23.8 a	3,699.6 a	3,293.9 a
PWP/PMP	<i>C. argyrosperma</i>	19.7 b	3,199.0 a	2,640.3 a
Overall average/Promedio general		19.6	3,477.15	2,976.6

Figures are averages of 60 observations. Figures with the same letter in each column are statistically equal, according to Tukey's Test ($P \leq 0.05$).

Las cifras son promedios de 60 observaciones. Cifras con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales, según la Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Variables respuesta. Las variables registradas fueron las siguientes. Humedad edáfica (%) mediante un medidor de humedad marca Lutron PMS-714; la humedad del suelo se midió cada 7 días en porcentaje en tiempo real, al considerar 15 y 30 cm de profundidad. Las mediciones de las siguientes variables se hicieron cada 7 días. Longitud del tallo principal (cm) mediante una regla graduada. Cobertura vegetal (cm².planta⁻¹) al promediar largo y ancho del dosel vegetal. Área foliar (cm².planta⁻¹) al considerar largo y ancho de la hoja media de la planta multiplicada por el número total de hojas.

Análisis de datos. Los datos se involucraron en análisis de varianza, pruebas de medias (Tukey, $P = 0.05$) y análisis de regresión. Los análisis estadísticos se hicieron con los programas Microsoft Excel versión 2010 y SAS Versión 9.0.

Resultados y discusión

Los dos niveles de humedad del suelo indujeron diferencias no significativas de cobertura vegetal y área foliar entre las especies *C. moschata* y *C. argyrosperma*. Por el contrario, la variable longitud del tallo principal fue mayor significativamente en condiciones de CC en ambas especies (18.7 y 23.8 % de humedad promedio en los casos *C. moschata* y *C. argyrosperma*, respectivamente) que en condiciones de PMP (16.2 y 19.7 % de humedad promedio en los casos *C. moschata* y *C. argyrosperma*, respectivamente) (Cuadro 1). Inclusive, la longitud del tallo principal de *C. argyrosperma* en condiciones de CC y PMP fue mayor que la longitud del tallo de *C. moschata* en ambas condiciones hídricas del suelo.

Esos resultados sugieren que las plantas de calabaza tuvieron una mayor tolerancia al déficit hídrico, posiblemente mediante el mecanismo de evasión. La

What is noteworthy in this case is that plant cover and leaf area were not affected in the PWP soil water condition (Table 1); i.e. the differences between moisture levels were not significant. This may be associated with the fact that the plants of the two species have a root development capacity that allows them to absorb the usable soil moisture at greater depths, as pointed out by Córdoba-Rodríguez, Vargas-Hernández, López-Upton, and Muñoz-Orozco (2011).

Regardless of the soil moisture content, stem length was logarithmic in *C. argyrosperma* ($R^2=0.9$) and *C. moschata* ($R^2=0.97$), observing that the former, from the beginning to the end of the cycle, had greater growth than the latter. On the different evaluation dates, a brief period of slow growth was identified at 37 and 44 das, followed by an almost linear increase behavior that was maintained until 72 das (Figure 1), which indicates that there was still potential for increase in this variable.

Rosales, Ramírez, Acosta, Castillo, and Nelly (2002) pointed out a small difference in the daily growth of some plant genetic materials, when stress conditions are not as severe in the flowering and maturity stages; however, as drought conditions increase, a proportional advancement of flowering could occur in plants subjected to this condition; the magnitude of such a response may be related to the genetic materials in question.

explicación puede ser, que las plantas de calabaza pueden ser capaces de desarrollar raíz hasta 1.5 m de profundidad (Valadez, 1994); esto puede ocurrir si la humedad llega a PMP en el suelo superficial; en tal caso, las necesidades de la planta pueden cubrirse si las raíces logran profundizar hasta las capas inferiores donde la humedad del suelo es mayor que el nivel de PMP. Además, el crecimiento foliar puede ser más sensible que el crecimiento radicular en situaciones de estrés hídrico. La disminución del crecimiento del follaje puede ser benéfico para las plantas en condiciones de déficit hídrico; tal situación podría conllevar a que menos área foliar sea expuesta a factores que inducen transpiración y, así, la pérdida de agua por transpiración puede ser menor (Mahajan & Tuteja, 2005). Sin embargo, la disminución del área foliar puede limitar la producción de los cultivos, ya que se reduce la actividad fotosintética (Takahashi & Murata, 2008).

Lo notorio en este caso es que la cobertura vegetal y área foliar no fueron afectadas en la condición hídrica del suelo a PMP (Cuadro 1); i.e. las diferencias entre niveles de humedad fueron no significativas. Esto tal vez, podría estar asociado a que las plantas de las dos especies tienen una capacidad de desarrollo radicular que les permite utilizar la humedad aprovechable del suelo a mayores profundidades, tal y como lo señalaron Córdoba-Rodríguez, Vargas-Hernández, López-Upton, y Muñoz-Orozco, (2011).

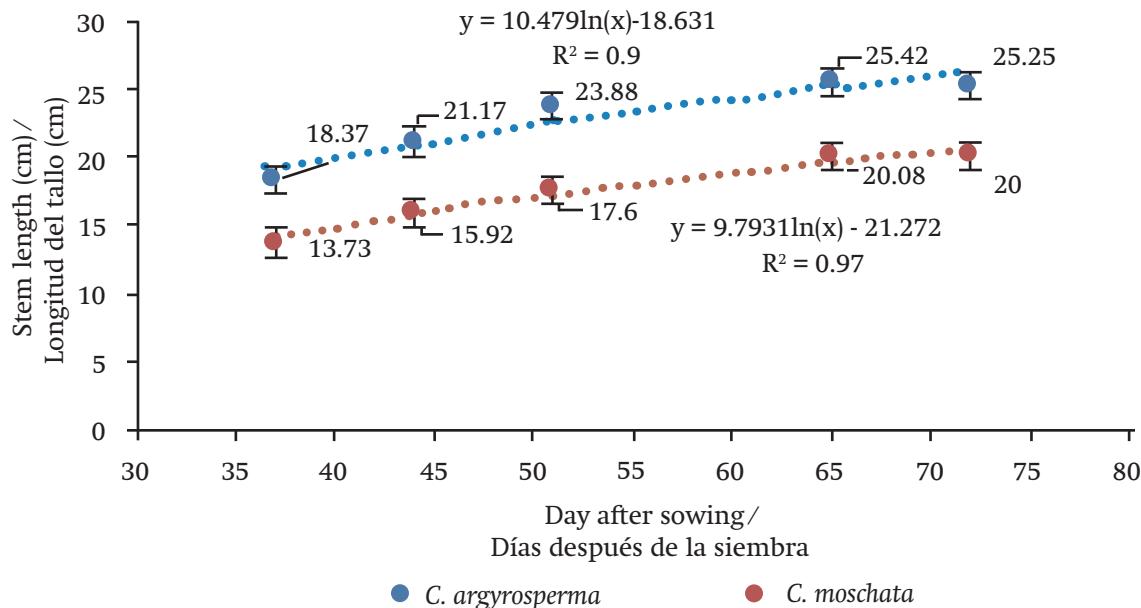


Figura 1. Stem length behavior of plants of two pumpkin species: *Cucurbita moschata* and *Cucurbita argyrosperma*. Figures are averages of 24 observations.

Figura 1. Comportamiento de la longitud del tallo de plantas de dos especies de calabaza: *Cucurbita moschata* y *Cucurbita argyrosperma*. Las cifras son promedios de 24 observaciones.

The behavior of the variables plant cover and leaf area in both species was very similar on the first three evaluation dates (35, 44 and 51 das) (Figures 2 and 3). Differences in plant cover and leaf area were statistically insignificant between these dates. However, on the fourth evaluation date (65 das), the leaf area of *C. argyrosperma* was greater than that of *C. moschata*.

Plant cover and leaf area had increasing exponential behavior in both pumpkin species. The exponents, in

De manera independiente al contenido de humedad edáfica, la longitud del tallo fue de carácter logarítmico en *C. argyrosperma* ($R^2=0.9$) y *C. moschata* ($R^2=0.97$), observándose que la primera, desde un principio y hasta el final del ciclo, fue superior en crecimiento a la segunda. En las diferentes fechas de evaluación se identifica un leve periodo de crecimiento lento a los 37 y 44 dds, para después adquirir un comportamiento casi lineal de incremento y así mantenerse hasta los 72 dds (Figura 1), lo cual identifica que aún había potencial de incremento en esta variable.

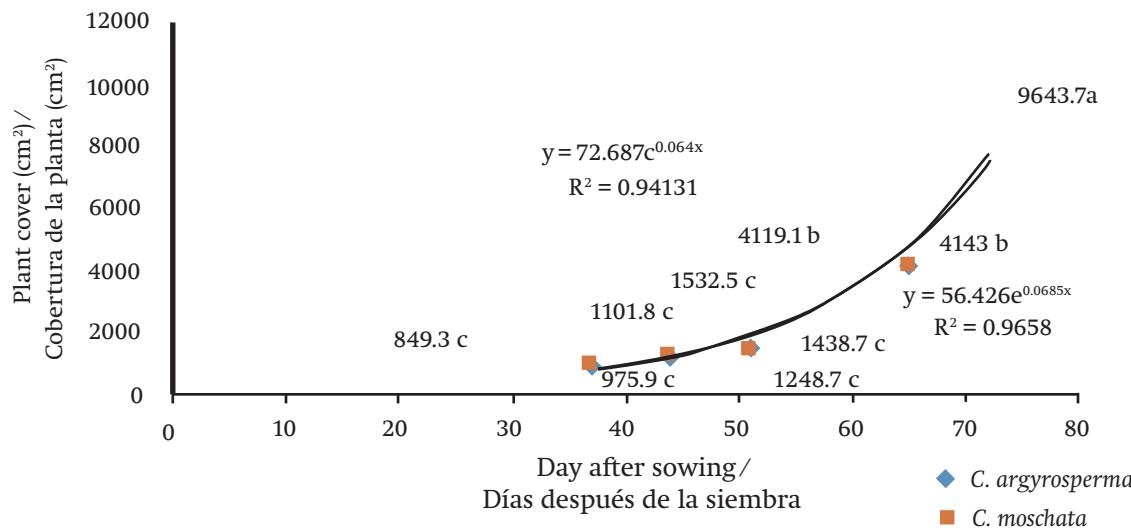


Figura 2. Plant cover behavior in two pumpkin species: *Cucurbita moschata* and *Cucurbita argyrosperma*. Figures are averages of 24 observations. Figures with the same letter on each line (species) are statistically equal, according to Tukey's Test ($P \leq 0.05$).

Figura 2. Comportamiento de la cobertura vegetal en dos especies de calabaza: *Cucurbita moschata* y *Cucurbita argyrosperma*. Las cifras son promedios de 24 observaciones. Cifras con la misma letra sobre cada línea (especie) son estadísticamente iguales, según la Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

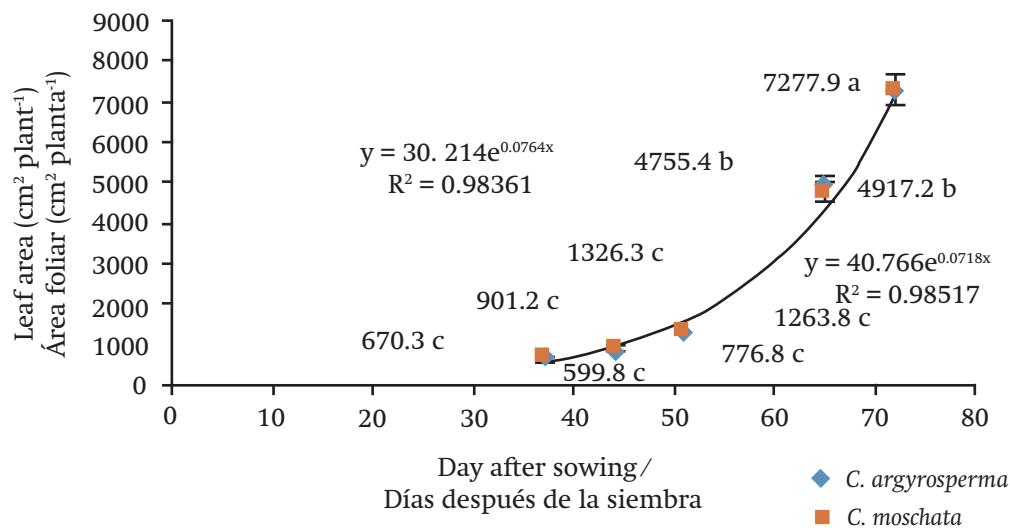


Figure 3. Leaf area behavior in two pumpkin species: *Cucurbita moschata* and *Cucurbita argyrosperma*. Figures are averages of 24 observations. Figures with the same letter on each line (species) are statistically equal, according to Tukey's Test ($P \leq 0.05$).

Figura 3. Comportamiento del Área Foliar en dos especies de calabaza: *Cucurbita moschata* y *Cucurbita argyrosperma*. Las cifras son promedios de 24 observaciones. Cifras con la misma letra sobre cada línea (especie) son estadísticamente iguales, según la Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

the case of plant cover, were $0.069 \text{ cm}^2 \cdot \text{plant}^{-1}$ each day ($R^2=0.966$) and $0.064 \text{ cm}^2 \cdot \text{plant}^{-1}$ each day ($R^2=0.941$) in *C. argyrosperma* and *C. moschata*, respectively. On the other hand, the exponents, in the case of leaf area, were $0.076 \text{ cm}^2 \cdot \text{plant}^{-1}$ each day ($R^2=0.984$) and $0.072 \text{ cm}^2 \cdot \text{plant}^{-1}$ each day ($R^2=0.985$) in *C. argyrosperma* and *C. moschata*, respectively (Figures 2 and 3).

Exponential trends in plant cover and leaf area suggest that foliage increased faster each day. The change of slope in the curves (Figures 2 and 3) occurred at almost 60 das. In that sense, flowering in both species occurred from 50 to 60 das. This aspect is important because flowering is the phenological stage of notorious sensitivity to water deficit in most agricultural crops (Pedroza, 1995). Therefore, the results suggest that flowering in both pumpkin species may not have been affected in the limited moisture conditions, i.e. at the PWP level. These results also suggest that pumpkin plants had a higher tolerance to water deficit possibly through the avoidance mechanism. Consequently, future research should focus on proving that the roots of pumpkin plants of the species *C. argyrosperma* and *C. moschata* are capable of absorbing soil water at depths greater than 30 cm when the soil moisture content is superficial (0-30 cm) and is maintained at the PWP level, as well as evaluating their productive potential.

Conclusions

Overall, the results indicate that the two pumpkin species can be tolerant to water stress. Plants of the introduced species *C. argyrosperma* have longer main stems ($P \leq 0.05$) than those of the regional species *C. moschata*. The growth of the main stems of the two species' plants was described by well-fitting logarithmic functions.

Plants of both species developed similar plant cover and leaf area regardless of soil moisture condition (i.e. field capacity and permanent wilting point). This implies that the two species can be tolerant to water stress through the drought avoidance strategy and could be cultivated in the Comarca Lagunera under limited water availability conditions. Plant cover and leaf area had increasing exponential behavior in both pumpkin species.

End of English version

References / Referencias

- Andres, T. C. (2004). Diversity in tropical pumpkin (*Cucurbita moschata*): a review of intraspecific classifications. In: Progress in Cucurbit Genetics and Breeding Research. Proceedings of Cucurbitaceae 2004, the 8th EUCARPIA Meeting on Cucurbit Genetics and Breeding. A Lebeda, H S Paris (eds.). Olomouc, Czech Republic. p. 107-112.

Rosales, Ramírez, Acosta, Castillo, y Nelly (2002) señalaron una pequeña diferencia en el crecimiento diario de algunos materiales genéticos vegetales, cuando las condiciones de estrés no son tan severas en las etapas de floración y madurez; sin embargo, conforme se incrementan las condiciones de sequía, podría ocurrir un adelanto proporcional de la floración en las plantas sometidas a esta condición, la magnitud de tal respuesta puede estar relacionada con los materiales genéticos en cuestión.

El comportamiento de las variables cobertura vegetal y área foliar en ambas especies, fue muy similar en las tres primeras fechas de evaluación (35, 44 y 51 dds) (Figuras 2 y 3). Las diferencias tanto de cobertura vegetal como de área foliar fueron estadísticamente no significativas entre dichas fechas. Sin embargo, en la cuarta fecha de evaluación (65 dds), el área foliar de *C. argyrosperma* fue mayor a la de *C. moschata*.

El comportamiento de cobertura vegetal y área foliar, fue exponencial creciente en ambas especies de calabaza. Los exponentes, en el caso de cobertura vegetal, fueron $0.069 \text{ cm}^2 \cdot \text{planta}^{-1}$ cada día ($R^2=0.966$) y $0.064 \text{ cm}^2 \cdot \text{planta}^{-1}$ cada día ($R^2=0.941$) en *C. argyrosperma* y *C. moschata*, respectivamente. Por otra parte, los exponentes, en el caso de área, foliar fue $0.076 \text{ cm}^2 \cdot \text{planta}^{-1}$ cada día ($R^2=0.984$) y $0.072 \text{ cm}^2 \cdot \text{planta}^{-1}$ cada día ($R^2=0.985$) en *C. argyrosperma* y *C. moschata*, respectivamente (Figuras 2 y 3).

Las tendencias exponenciales de cobertura vegetal y área foliar sugieren que el follaje se incrementó cada día con mayor rapidez. El cambio de pendiente en las curvas (Figuras 2 y 3) ocurrió casi a los 60 dds. En ese sentido, la floración en ambas especies ocurrió desde los 50 a los 60 dds. Este aspecto es importante porque floración es la etapa fenológica de notoria sensibilidad al déficit hídrico en la mayoría de los cultivos agrícolas (Pedroza, 1995). Por lo tanto, los resultados sugieren que la floración en ambas especies de calabaza pudo no haber sido afectada en las condiciones de humedad limitada, i.e. al nivel del PMP. Estos resultados también sugieren que las plantas de calabaza tuvieron una mayor tolerancia al déficit hídrico posiblemente mediante el mecanismo de evasión. Por consiguiente, trabajos de investigación en el futuro deberían enfocarse a comprobar que las raíces de plantas de calabaza de las especies *C. argyrosperma* y *C. moschata* desarrollan raíces capaces de absorber agua del suelo a profundidades mayores a 30 cm cuando el contenido de humedad del suelo es superficial (0-30 cm) manteniéndose al nivel del PMP, así como a evaluar su potencial productivo.

Conclusiones

En general, los resultados indican que las dos especies de calabaza pueden ser tolerantes al estrés hídrico.

- Araus, J. L., Slafer, G. A., Reynolds, M. P., & Royo, C. (2002). Plant breeding and drought in C3 cereals: what should we breed for? *Annals of Botany*, 89(7), 925-940.
- Comisión Nacional del Agua (CNA) (2006). *Estadísticas del agua en México*. México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Comisión Nacional del Agua (CNA) (2001). Programa Hidráulico de Gran Visión 2001-2025. Gerencia Regional de las Cuencas Centrales del Norte. Torreón, Coahuila.
- Córdoba-Rodríguez, D., Vargas-Hernández, J.J., López-Upton, J., & Muñoz-Orozco, A. (2011). Crecimiento de la raíz en plantas jóvenes de *Pinus pinceana* Gordon en respuesta a la humedad del suelo. *Agrociencia*, 45: 493-506.
- Decker-Walters, D. S., Walters, T., Poluszny, & U., Kevan, P. (1990). Genealogy and gene flow among annual domesticated species of Cucurbita, *Can. J. Bot.* 68,782-789.
- Decker-Walters, D. S., Staub, J., Chung, S., Nakata, E., & Quemada, H. (2002). Diversity in free-living populations of *Cucurbita pepo* (Cucurbitaceae) in North America, *Plant Syst. Evol.*, 233, 183-197.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S. M. A. (2009). Plant Drought Stress: Effects, Mechanisms and Management. In Sustainable Agriculture Netherlands: Springer. p. 153–188.
- Hernández, S. B., Martínez, S. C. E., Gordillo, M. A. M., Castro, R. J., Gómez, A. A., Hernán y Lira, E., & Rodríguez, M. J. (2014) Potencial nutricional de la semilla de calabaza (*Cucurbita pepo*). In: Alimentos en México y su relación con la salud. Universidad Juárez del Estado de Durango.
- Kavar, T., Maras, M., Kidric, M., Sustar-Vozlic, J., & Meglic, V. (2008). Identification of genes involved in the response of leaves of *Phaseolus vulgaris* to drought stress, *Molecular Breeding*, 21(2), 159-172.
- Lebeda, A., Widlreichner, M., Staub, J., Ezura, H., Zalapa, J., & Kristová, E. (2007). Cucurbits (Cucurbitaceae; *Cucumis* spp., *Cucurbita* spp., *Citrullus* spp.) In: Genetic Resources, Chromosome Engineering, and Crop Improvement. Vol. 3. Vegetable Crops. R. J. Singh (ed). CRC Press. Boca Raton, FL, USA. p. 271-376.
- Lira, R., Andres, T., & Nee, M. (1995). Estudios taxonómicos y ecogeográficos de las Cucurbitaceae latinoamericanas de importancia económica. *Cucurbita*, *Sechium*, *Sicana* y *Cyclanthera*. In: Lira, R. (Ed.) International plant genetic resources institute, Rome, Italy. Chapter I. p. 1-115.
- Mahajan, S., & Tuteja, N. (2005). Cold, salinity and drought stresses: an overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, (444), 139-158.
- Pedroza, S. A. (1995). El déficit hídrico en las plantas. Principios y técnicas de manejo. Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. 162 p.
- Pedroza S. A., Trejo C. R, Chávez R. J. A., & Samaniego G. J. A. (2013). Tolerancia al estrés hídrico y fitosanitario

Las plantas de la especie introducida *C. argyrosperma* tienen tallos principales con longitud mayor ($P \leq 0.05$) que las de la especie regional *C. moschata*. El crecimiento de los tallos principales de las plantas de las dos especies, fue descrito por funciones logarítmicas con buen ajuste.

Las plantas de ambas especies desarrollaron cobertura vegetal y área foliar similares de manera independiente a la condición de humedad del suelo (i.e. capacidad de campo y punto de marchitez permanente). Esto implica que las dos especies pueden ser tolerantes al estrés hídrico mediante la estrategia de evasión a la sequía y podrían ser cultivadas en la Comarca Lagunera en condiciones de disponibilidad limitada de agua. El comportamiento de cobertura vegetal y área foliar fueron exponenciales crecientes en ambas especies de calabaza.

Fin de la versión en español

- mediante indicadores agronómicos y fisiológicos en diferentes variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Mexicana de Fitopatología*, 31 (2), 91-104.
- Pedroza, S. A., & Berdejo, D. S. (2005). Efecto del acolchado plástico, fertilización nitrogenada y compostura orgánica en el crecimiento y desarrollo de sábila *Aloe barbadensis* Miller, con riego por goteo presurizado. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 4: 1-7.
- Pedroza, S. A., & Gómez, L. F. (2006). La Sábila. Propiedades, Manejo Agronómico, Proceso Agroindustrial y de Mercado. Universidad Autónoma Chapingo.
- Pedroza-Sandoval A., Trejo-Calzada, R., Sánchez-Cohen I., Samaniego-Gaxiola J. A., & Yáñez-Chávez L. G. (2016). Evaluación de tres variedades de frijol pinto bajo riego y sequía en Durango, México. *Revista Agronomía Mesoamericana* 27(1):167-176. DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/am.v27i1.21896>
- Rosales, S. R., Ramírez, V. P., Acosta, J. A., Castillo, G. F., & Nelly, J. D. (2002). Rendimiento de grano y tolerancia a la sequía del fríjol común en condiciones de campo. *Agrociencia* 34, 153-165.
- SIAP (2017). Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. Consultado en: <https://www.gob.mx/siap/.../programas/produccion-agricola-33119>
- Takahashi, S., Murata, N. (2008). How do environmental stresses accelerate photo-inhibition? *Trends in Plant Science*, 13, 178-182
- Valadez, L. A. (1994). Producción de hortalizas. Ed. Trillas. México. 117 p.
- Villanueva, V. C. (2007). Calabazas cultivadas. Identificación de especies, caracterización y descripción varietal. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo de México. 123 p.