



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE EDAFOLOGÍA

RESPUESTA FENOTÍPICA DE *Apodanthera aspera* Cogn. A CINCO NIVELES DE SOLUCIÓN NUTRITIVA EN CONDICIONES DE INVERNADERO

JUAN CARLOS VELÁZQUEZ JUÁREZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2019

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Juan Carlos Velázquez Juárez, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Dr. David Espinosa-Victoria, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis Respuesta fenotípica de Apodanthera aspera Cogn. a cinco niveles de solución nutritiva en condiciones de invernadero

y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 01 de Julio de 2019



Firma del
Alumno (a)



Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis, titulada: **Respuesta fenotípica de *Apodanthera aspera* Cogn. a cinco niveles de solución nutritiva en condiciones de invernadero**, realizada por el alumno: **Juan Carlos Velázquez Juárez**, bajo la dirección del consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptado como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

EDAFOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

Consejero:



Dr. David Espinosa-Victoria

EDA

Asesor:



Dr. Víctor Hugo Volke Haller

FDA

Asesor:



M.C. Ricardo Vega Muñoz

BOT

Montecillo, Texcoco, México, 16 Julio del 2019.

Respuesta fenotípica de *Apodanthera aspera* Cogn. a cinco niveles de solución nutritiva en condiciones de invernadero

Juan Carlos Velázquez Juárez, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2019

RESUMEN

El pisto o chichicamole (*Apodanthera aspera* Cogn) es una planta silvestre y endémica del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México. Sus semillas poseen un alto valor comercial y nutricional, con potencial de explotación industrial para la obtención de aceite. Sin embargo, no existe información específica sobre la respuesta de esta especie al manejo y a la aplicación de fertilizantes. Por tal razón, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la respuesta agronómica del pisto a la aplicación de solución nutritiva de Steiner a 0.22, 0.36, 0.50 y 0.72 atm. Las plantas fueron cultivadas en macetas con un sustrato de suelo y perlita expandida, bajo condiciones de invernadero. Las variables evaluadas fueron altura de planta, número de nudos, número de zarcillos, área foliar, peso seco de hojas, tallos, raíz y peso seco total. Además, se evaluó la distribución de la materia seca y se registró la aparición de órganos. Se encontró que la aplicación de la solución nutritiva tuvo un efecto positivo en las variables evaluadas con respecto al testigo. Con la aplicación de solución nutritiva a 0.36 atm se obtuvo el efecto en el mayor número de variables, ya que incrementó la altura de planta, número de nudos, área foliar, peso seco de tallos y hojas. La aplicación de solución nutritiva a 0.5 atm incrementó el número de zarcillos y peso seco de raíz. Por otro lado, la mayor cantidad de materia seca se presentó en la raíz, seguida de hojas y tallos. A pesar de ser una planta de hábito de crecimiento rastroso, la presencia de zarcillos indica que puede ser manejable con tutores, como la mayoría de las cucurbitáceas. Ambas características, la colocan como una especie susceptible de ser domesticada y mejorada para su explotación industrial.

Palabras clave: *Apodanthera aspera*, silvestre, peso seco, solución nutritiva.

Phenotypic response of *Apodanthera aspera* Cogn. at five levels of nutrient solution under greenhouse conditions

Juan Carlos Velázquez Juárez, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2019

ABSTRACT

The pisto or chichicamole (*Apodanthera aspera* Cogn) is a wild and endemic plant of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. The pisto seeds have a high commercial and nutritional value, with potential for industrial exploitation to obtain oil. However, there is no specific information on the response of this species to agronomic management and the application of fertilizers. For this reason, the objective of the present research was to evaluate the agronomic response of the pisto to the application of Steiner nutrient solution at 0.22, 0.36, 0.50 and 0.72 atm. The plants were planted in pots filled with a mixture of soil and expanded perlite in ratio 2:1. The variables evaluated were plant height, number of knots, number of tendrils, leaf area, dry weight of leaves, stems, root and total dry weight. In addition, the dry matter distribution was evaluated and the appearance of organs was recorded. It was found that the application of the nutritive solution had a positive effect on the variables evaluated. The best results were observed with the application of 0.36 atm nutrient solution due to the effect on a larger number of variables such as the increase in plant height, number of knots, leaf area, dry weight of stems and leaves. The application of 0.5 atm nutrient solution had an effect on the increase in the number of tendrils and root dry weight. On the other hand, it was identified that the greatest amount of dry matter is found in the root followed by leaves and stems. It is concluded that *A. aspera* is a plant that responds favorably to the application of nutritive solution. Despite being a plant with a creeping growth habit, the presence of tendrils indicates that it can be handled by tutors, like most cucurbits. Both characteristics, place it as a species susceptible of being domesticated and improved for its industrial exploitation.

Key words: *Apodanthera aspera*, wild, dry weight, nutritive solution.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada durante los estudios de maestría.

Al Dr. Antonio Trinidad Santos (†) porque gracias a él, se propuso ante el comité académico este trabajo y con su asesoría se lograron los resultados que se presentan en el presente documento. Siempre confió en mí y aconsejó cuando nadie creía en la investigación. Gracias.

Al Dr. David Espinosa-Victoria, por creer en el potencial que tiene el trabajo y en que se podía culminar con forme los plazos establecidos. Por compartir su tiempo, experiencia, dedicación y sobre todo por el apoyo otorgado. Gracias.

Al Dr. Victor H. Volke Haller, por su apoyo y comprensión en esta etapa de formación.

Al M.C. Ricardo Vega Muñoz, por el tiempo y las asesorías personales, así como las académicas.

A Irene por el apoyo administrativo necesario para realizar este documento.

DEDICATORIA

A mí madre Maura Fabiola Juárez Machorro (†). Iniciamos juntos este viaje, pero a 7 meses de camino te ausentaste para siempre; a tres años de distancia, aún recuerdo que mi padre te dijo que ibas a estar en el examen de grado, pero no fue posible. Pasaron tantas cosas, durante estos años. Mucho esfuerzo, llanto y tiempo fue necesario para concluir esta investigación, es por eso que este trabajo es para ti.

A mí padre Irineo Teodomiro Velázquez Vélez porque sus consejos y experiencias me ayudaron a culminar esta investigación aun cuando traté de claudicar en la recta final.

A Salvador (Chava) (†) más que primo fuiste mi hermano; crecimos, reímos, nos equivocamos y jugamos durante nuestras vidas. Siempre estuviste con nosotros en las buenas y en las malas. Por todo el cariño que te tengo, a tu memoria chava.

A mi hermana Yolanda, que sin importar los altibajos siempre me apoyas en todo sin pedir nada a cambio. Por tus consejos, por tus regaños y por todo.

A mi hermana Marisol, hoy suples el papel de mamá por lo que tienes todo mi respeto y admiración. Por tal razón este trabajo te lo dedico.

A mis hermanos Lorena, Ivan y Rosaura y sobrinos. Por todo el apoyo que me han brindado, consejos, mensajes y llamadas.

A mí novia Betzaida, llegaste cuando me sentía perdido y reorientaste mi vida. Tu mirada, sonrisa y abrazos fueron la fuente de inspiración al elaborar esta investigación.

Y a todos mis amigos que me ayudaron en la elaboración de este trabajo.

Juan Carlos

CONTENIDO

RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	2
<i>Género Apodanthera</i>	2
<i>Apodanthera aspera</i> Cogn.....	3
Sinonimia.....	4
Importancia.....	5
Distribución en México.....	5
Características botánicas	6
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
IV. OBJETIVOS	17
Objetivo general.....	17
Objetivos específicos.....	17
V. HIPÓTESIS	17
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	18
Ubicación del experimento	18
Material vegetal	18
Análisis de suelo.....	19
Solución nutritiva	20
Sustrato: suelo + perlita.....	20
Unidad experimental.....	21

Diseño de tratamientos	21
Diseño experimental	22
Variables evaluadas	22
Análisis estadístico	24
VII. RESULTADOS	25
Repuesta fenotípica.....	25
Número de nudos (NN).....	26
Altura de planta (A).....	28
Número de zarcillos (NZ).....	31
Área foliar (AF)	34
Peso seco de tallos (PST)	37
Peso seco de hojas (PSH).....	39
Peso seco de raíz (PSR)	41
Peso seco total (PSTOT).....	43
Distribución de la materia seca.....	45
VIII. DISCUSIÓN	47
IX. CONCLUSIONES.....	50
X. LITERATURA CITADA.....	51

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Rendimiento de diferentes oleaginosas en comparación con <i>Apodanthera undulata</i>	3
Cuadro 2. Resultados del análisis de suelo de la muestra colectada en los límites territoriales de Quecholac y Tecamachalco de Guerrero, Puebla.	19
Cuadro 3. Solución nutritiva Steiner (1984) con pH 6.5 y presión osmótica de 0.72 atm.	20
Cuadro 4. Tratamientos aplicados.	21
Cuadro 5. Análisis de varianza de la variable número de nudos (NN) de <i>Apodanthera aspera</i>	26
Cuadro 6. Análisis de varianza de la variable altura de planta (A) de <i>Apodanthera aspera</i>	28
Cuadro 7. Análisis de varianza con los datos de altura de planta (A) de <i>Apodanthera aspera</i> transformados con logaritmo natural.	29
Cuadro 8. Análisis de varianza de la variable número de zarcillos (NZ) de <i>Apodanthera aspera</i>	32
Cuadro 9. Análisis de varianza con los datos de la variable número de zarcillos (NZ) de <i>Apodanthera aspera</i> transformados con $\ln+1$	32
Cuadro 10. Análisis de varianza de la variable área foliar (AF) de <i>Apodanthera aspera</i>	34
Cuadro 11. Análisis de varianza de los valores transformados de área foliar (AF) en plantas de <i>Apodanthera aspera</i>	35
Cuadro 12. Resultados del análisis de varianza de la variable respuesta peso seco de tallos (PST) de <i>Apodanthera aspera</i>	37
Cuadro 13. Análisis de varianza de la variable peso seco de hojas (PSH) de <i>Apodanthera aspera</i>	40
Cuadro 15. Análisis de varianza de la variable peso seco total (PSTOT) de <i>Apodanthera aspera</i>	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Planta de <i>Apodanthera aspera</i> en su hábitat natural en el municipio de Tecamachalco, Puebla (Fotografía propia, 2017).	4
Figura 2. Hojas de <i>Apodanthera aspera</i> donde se observa el margen dentado y aspecto áspero (Fotografía propia, 2019).	7
Figura 3. Tallo de <i>Apodanthera aspera</i> : a) Yemas vegetativas, b) Tallos perennes, c) Cuello anual, delgado y de aspecto leñoso y d) Raíz (Fotografía propia, 2016).	8
Figura 4. Zarcillo axilar de <i>Apodanthera aspera</i> : a) Zarcillo sencillo, delgado y reducido (Fotografía propia, 2017).	9
Figura 5. Raíz de <i>Apodanthera aspera</i> : a) Raíz principal de aspecto leñoso que forma tubérculos radicales y b) Raíz secundaria (Fotografía propia, 2016).	10
Figura 6. Flor pistilada de <i>Apodanthera aspera</i> , en la parte inferior se observa el receptáculo de tamaño reducido y densamente blando y tomentoso. En la parte superior se encuentran los cinco pétalos de color amarillo y al centro los estambres (Fotografía propia, 2017).	11
Figura 7. Fruto inmaduro de color verde de <i>Apodanthera aspera</i> . A la izquierda se distinguen las costillas y a la derecha se observa el fruto cortado a la mitad exponiendo el mesocarpo carnoso-fibroso (Fotografía propia, 2017).	12
Figura 8. Semilla de <i>Apodanthera aspera</i> : a) Testa y b) Micrópilo (Fotografía propia, 2019).	13
Figura 9. Comportamiento de la temperatura del sitio experimental y aparición de los estadios fenológicos de <i>A. aspera</i> en función de los días después de la siembra (DDS): 00: semilla seca; 09: emergencia, cotiledones expuestos; 15: 5a hoja verdadera del tallo principal; 118: 18a hoja verdadera del tallo principal; 133: 33a hoja verdadera del tallo principal; 21: primer brote lateral primario visible; T: trasplante; F: fin de experimento.	26
Figura 10. Prueba de homogeneidad de varianzas por el método gráfico de la variable número de nudos (NN) de <i>Apodanthera aspera</i>	27

Figura 11. Efecto de la aplicación de solución nutritiva de Steiner a diferentes presiones osmóticas regadas en una mezcla de perlita - suelo relación 1:2, en la formación del número de nudos (NN) de <i>Apodanthera aspera</i>	28
Figura 12. Prueba de homogeneidad de varianzas por el método gráfico de la variable altura de planta (A) de <i>Apodanthera aspera</i>	29
Figura 13. Prueba de homogeneidad de varianzas por el método gráfico de la variable transformada altura de planta (A) de <i>Apodanthera aspera</i>	30
Figura 14. Efecto de la aplicación de la solución nutritiva de Steiner a diferentes presiones osmóticas regadas en una mezcla de perlita - suelo relación 1:2, en la altura de planta (A) de <i>Apodanthera aspera</i>	31
Figura 15. Prueba de homogeneidad de varianzas de los valores transformados de la variable número de zarcillos (NZ) de <i>Apodanthera aspera</i>	33
Figura 16. Efecto de la aplicación de la solución nutritiva de Steiner a diferentes presiones osmóticas regadas en una mezcla de perlita - suelo relación 1:2, en el número de zarcillos (NZ) de plantas de <i>Apodanthera aspera</i>	34
Figura 17. Prueba de homogeneidad de varianzas por el método gráfico de la variable área foliar (AF) de <i>Apodanthera aspera</i>	35
Figura 18. Pruebas de homogeneidad de varianzas con los datos transformados de área foliar (AF) en plantas de <i>Apodanthera aspera</i>	36
Figura 19. Efecto de la aplicación de la solución nutritiva de Steiner a diferentes presiones osmóticas regadas en una mezcla de perlita - suelo relación 1:2, en el área foliar (AF) de <i>Apodanthera aspera</i>	37
Figura 20. Prueba de homogeneidad de varianzas por el método gráfico de la variable peso seco de tallos (PST) de <i>Apodanthera aspera</i>	38
Figura 21. Efecto de la aplicación de la solución nutritiva de Steiner a diferentes presiones osmóticas regadas en una mezcla de perlita – suelo relación 1:2, en el peso seco de tallos (PST) de <i>Apodanthera aspera</i>	39
Figura 22. Prueba de homogeneidad de varianzas por el método gráfico de la variable peso seco de hojas (PSH) de <i>Apodanthera aspera</i>	40

Figura 23. Efecto de la aplicación de la solución nutritiva de Steiner a diferentes presiones osmóticas regadas en una mezcla de perlita - suelo relación 1:2, en el peso seco de hojas (PSH) de <i>Apodanthera aspera</i>	41
Figura 24. Prueba de homogeneidad de varianzas por el método gráfico de la variable peso seco de raíz (PSR) de <i>Apodanthera aspera</i>	42
Figura 25. Efecto de la aplicación de solución nutritiva de Steiner a diferentes presiones osmóticas regadas en una mezcla de perlita - suelo relación 1:2, en el peso seco de la raíz (PSR) de <i>Apodanthera aspera</i>	43
Figura 26. Prueba de homogeneidad de varianzas por el método gráfico de la variable peso seco total (PSTOT) en <i>Apodanthera aspera</i>	44
Figura 27. Efecto de la aplicación de la solución nutritiva de Steiner a diferentes presiones osmóticas regadas en una mezcla perlita - suelo relación 1:2, en la acumulación del peso seco total (PSTOT) de <i>Apodanthera aspera</i>	45
Figura 28. Distribución de materia seca total en los diferentes órganos de plantas de <i>Apodanthera aspera</i> sometidas a riego con solución nutritiva de Steiner a diferentes presiones osmóticas en una mezcla de perlita - suelo relación 1:2.....	46

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático ha modificado el hábito de crecimiento de plantas y animales. En el caso de las plantas, las cultivadas serían las más afectadas ya que las especies que no se adapten al nuevo régimen térmico se podrían extinguir, o en el mejor de los casos, serían menos nutritivas. Esto aumentaría la demanda de alimentos para obtener la misma cantidad de calorías. De suceder, existirá un problema en el abasto de alimentos, por lo que la búsqueda de otras fuentes es una alternativa que beneficiaría a millones de personas. Se ha demostrado que, una fuente potencial de material genético apto a los nuevos regímenes de temperatura y eficiencia en el aprovechamiento de los recursos se encuentra en los desiertos. Aún no se ha estudiado el potencial que estas plantas tienen como alimento. En México, el semidesierto del Valle de Tehuacán–Cuicatlán es un sitio propicio para impulsar diversas investigaciones de este tipo. Principalmente, en las zonas rurales en las que las personas han usado las plantas silvestres por generaciones y han encontrado múltiples beneficios, como: alimentos, recursos económicos, medicinas y fibras. Esta zona se caracteriza por tener endemismos; entre ellos destaca *Apodanthera aspera* Cogn. *A. aspera* es una planta silvestre que pertenece a la familia de las cucurbitáceas y que es utilizada desde antes de la llegada de los españoles, aprovechándose la raíz, hojas y semillas. Se ha demostrado que las semillas de este género poseen un alto contenido de aceite, que puede ser aprovechado por la industria. Por tal razón, en el presente trabajo se estudió la respuesta de *A. aspera* a la aplicación de la solución nutritiva de Steiner con diferentes presiones osmóticas en condiciones de invernadero, con el objetivo de crear las bases que permitan su aprovechamiento en los próximos años.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Género *Apodanthera*

El género *Apodanthera* fue descrito por primera vez en 1841. Actualmente, se tiene el registro de 45 especies distribuidas en el norte y sur de América, aunque en el trabajo realizado por Belgrano y Pozner (2017) solo se reconoce 23 especies. Este género se divide en tres secciones: *Apodanthera*, *Cucurbitopsis* y *Pseudoapodanthera*. La sección *Apodanthera* se distribuye desde las áreas costeras de Ecuador, regiones andinas de Perú, Bolivia y noroeste de Argentina, con representantes en el sur y este de Brasil y el norte de la Patagonia Argentina. La sección *Cucurbitopsis* se distribuye desde el sur de los Estados Unidos hasta el centro-sur de México (en el estado de Oaxaca). La sección *Pseudoapodanthera* es endémica del noroeste de Brasil (Belgrano y Pozner, 2017). Las especies mexicanas de *Apodanthera*, son características de ambientes áridos y semiáridos, solo se tiene registro de 6 especies: *A. aspera* Cogn., *A. crispa* Cogn., *A. cucurbitoides* Lundell, *A. palmeri* A. Gray, *A. roseana* A. Gray, y *A. undulata* A. Gray (Villaseñor, 2016).

Por otro lado, existe un dilema taxonómico en este género, principalmente por la alta variabilidad morfológica, provocando que los límites entre especies no sean claros. La confusión se da en el momento de realizar una clasificación taxonómica, pues no existe un tratamiento taxonómico moderno (Jeffrey, 1978; Pozner, 1996; Schaefer y Renner, 2011a, 2011b; Belgrano y Pozner, 2017).

Existen pocos trabajos con especies de este género. De los disponibles, la mayoría son inventarios florísticos con fines de caracterización taxonómica, en los que se concluye, que las especies de este género tienen un alto potencial de aprovechamiento agrícola, médico, alimenticio e industrial. Por ejemplo, en el estudio realizado por Clark *et al.* (2012) se reportó que en las raíces de *A. biflora* existe un alto contenido de carbohidratos (77.5-84.9% con base en el peso seco) y almidón (20%), similar al que se encuentra en la yuca y la papa. Además, se encontró que las semillas contienen un alto contenido de grasa (22.22 – 39.37% con base en peso seco), colocándola en el rango de las plantas oleaginosas como el cártamo. El contenido de proteínas es del 21.37-29.06% similar al encontrado en las semillas de lino y girasol. En

cuanto al contenido de ácidos grasos poliinsaturados, destaca el ácido linoleico (43.81%), comparable con el aceite de algodón. Otro caso similar es el de *A. undulata*, en el que las semillas contienen un alto contenido de grasa y proteína, apta para el consumo humano (Carrillo, 2017; Hernández, 2014). Estos resultados indican que *A. undulata* también puede ser considerada como una oleaginosa, cuyo rendimiento de aceite es mayor al de la canola y semejante al de *Jatropha curcas*. El rendimiento en aceite de *A. undulata*, es superior al de muchas especies cultivadas, lo que significa que, de domesticarse, podría ser aprovechada por la industria de los aceites (Cuadro 1).

Cuadro 1. Rendimiento de diferentes oleaginosas en comparación con *Apodanthera undulata*

Cultivo	Rendimiento de aceite (%)
Maíz (<i>Zea mays</i>)	16.00
Soya (<i>Glycine max</i>)	21.40
Girasol (<i>Helianthus annuus</i>)	25.00
Cártamo (<i>Carthamus tinctorius</i>)	28.00
Algodón (<i>Gossypium spp.</i>)	34.00
Maní (<i>Arachis hypogaea</i>)	35.00
Canola (<i>Brassica napus</i>)	42.50
Palma (<i>Elaeis guineensis</i>)	45.00
Ajonjolí (<i>Sesamum indicum</i>)	47.00
Calabaza hedionda (<i>Apodanthera undulata</i>)	48.02
<i>Jatropha</i> (<i>Jatropha curcas</i>)	40.00 - 60.00

Modificado de Morales (2013).

Desde el punto de vista médico, se ha encontrado evidencia que el extracto de algunas especies como *A. buraeavi*, tiene efectos hipoglucémicos que ayudan en el control de la *diabetes mellitus* (Andrade y Heinrich, 2005; Arellanes *et al.*, 2013; Edwin *et al.*, 2008; Ehrenkranz, 2017). Otras especies en las que también se han hecho trabajos son: *A. glaziovii* (Vilar *et al.*, 2007), *A. laciniosa* (Santos y Wamser, 2009) y *A. sagittifolia* (Rennberger y Keinath, 2018).

***Apodanthera aspera* Cogn**

Apodanthera aspera Cogn es una cucurbitácea endémica del estado de Puebla, particularmente abundante en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán, donde crece en campos

de cultivo y cerca de zonas urbanas (Lira y Rodríguez, 1999; Lira y Caballero, 2002). Existen distintos nombres comunes que cambian dependiendo de la zona, los más comunes son: pisto (Andrade y Heinrich, 2005), meloncillo (CONANP, 2013; Lira y Rodríguez, 1999; Lira y Caballero, 2002; Paredes Flores *et al.*, 2007), chichicamole (CONABIO, 2009), semilla de la virgen, calabacilla, calabacilla cimarrona y torito (CONANP, 2013). En la Figura 1, se observa un ejemplar de *A. aspera* en su hábitat natural en el municipio de Tecamachalco, Puebla.



Figura 1. Planta de *Apodanthera aspera* en su hábitat natural en el municipio de Tecamachalco, Puebla (Fotografía propia, 2017).

Sinonimia

De acuerdo con Lira (2006), los materiales de *Apodanthera* en el valle de Tehuacán, son un buen ejemplo de las imprecisiones que existen dentro de este género. Por tal razón, los nombres cambian con frecuencia, lo que genera confusión al momento de buscar literatura. En el caso de *A. aspera*, con el paso del tiempo se le han asignado varios nombres aceptados y que son usados como sinónimos, por ejemplo: *A. aspera* Cogn. (Belgrano y Pozner, 2017; CONABIO, 2019; Lira y Rodríguez, 1999; Lira y Caballero, 2002; Tropicos, 2019; Villaseñor, 2016), *A. buraeavi* Cogn. (CONABIO, 2019; Lira y Rodríguez, 1999; Lira y Caballero, 2002; Tropicos, 2019), *A. galeotti* Cogn. (Belgrano y Pozner, 2017; Lira y Rodríguez, 1999; Tropicos, 2019), y *A. crispa*

Cogn., *A. cucurbitoides* Lundell y *A. undulata* var. *australis* McVaugh (Belgrano and Pozner, 2017); aunque los últimos tres, son nombres propuestos que aún están en discusión. Según Villaseñor (2016), estos cambios suceden debido al dinamismo de la taxonomía, por lo que los nombre científicos publicados cambian constantemente a actualizaciones y correcciones, o se agregan en la publicación de numerosas especies nuevas. Por lo anterior, las opiniones de los expertos son las que ayudan a aclarar las incertidumbres, especialmente cuando la distribución geográfica de las especies revela errores de referencia en un inventario regional dado. Finalmente, corresponde al lector juzgar la fiabilidad de los nombres y la información que se presente. El Dr. Rafael Lira declaró que el nombre correcto para los materiales de *Apodanthera* en Tehuacán es *A. aspera* (Comunicación personal vía correo electrónico, 8 de marzo del 2018). En conclusión, en este trabajo se empleará el nombre de *A. aspera*.

Importancia

En los municipios del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, *A. aspera* es tolerada dentro de los terrenos de cultivo y cerca de viviendas, debido a que sus semillas son comestibles y de alto valor comercial (Paredes *et al.*, 2007; Blancas *et al.*, 2013; CONANP, 2013). Además, se sabe que el consumo de las semillas tostadas es una práctica que tiene orígenes prehispánicos (Christenhusz *et al.*, 2017; Vibrans, 2007; Lira y Rodríguez, 1999; Lira y Caballero, 2002), lo que ayuda a cubrir la demanda calórica de la población en épocas difíciles. Esto ha provocado un incremento en la demanda de semillas y de otros órganos de *A. aspera*. Los pobladores se han visto en la necesidad de incursionar en zonas más alejadas, incluso en la zona protegida de la reserva de la biosfera de Tehuacán-Cuicatlán (Arellanes *et al.*, 2013a).

Distribución en México

En México, *A. aspera* ha sido colectada en ecosistemas del tipo matorral xerófilo en los estados de Puebla y Oaxaca, sobre suelos calizos, francos, someros y arenosos, a una altura de 1640-2050 m (Lira y Caballero, 2002; Lira y Rodríguez, 1999; Lira *et al.*, 2002; Lira, 2006; Paredes *et al.*, 2007; Villaseñor, 2016). De acuerdo con Belgrano y Pozner (2017), esta especie prospera en sierras y valles centrales, desde el estado de

Durango hasta Oaxaca, entre los 1300 y 2300 m, con afinidad a suelos oscuros, profundos y arcillosos. Pero también, se le encuentra en terrenos pedregosos, en laderas o en planicies de origen aluvial (Villaseñor, 2016). Incluso, crece en campos de cultivo, cerca de caminos, barrancas y zonas urbanas (Lira y Rodríguez, 2006).

Características botánicas

Hábito de crecimiento

A. aspera es una hierba perenne que presenta raíces tuberosas y tallos anuales, que pueden extenderse varios metros sobre el suelo o bien sobre la vegetación circundante. Se desarrolla como rastrera en condiciones semidesérticas, aunque también presenta zarcillos. Produce flores masculinas y femeninas en la misma planta en diferente posición, por lo que es considerada monoica (Belgrano y Pozner, 2017; Lira y Rodríguez, 1999; Lira y Rodríguez, 2006).

Hojas

Las hojas cambian, incluso entre individuos de la misma especie, dependiendo del ambiente en el que se desarrollen. El tamaño oscila entre 1.4-8.4 cm de largo y 2.0-8.6 cm de ancho (Belgrano y Pozner, 2017). Las láminas foliares pueden ser ovado-cordadas e incluso lineares a lanceoladas, de aspecto veloso y áspero, con nervaduras prominentes, especialmente en el envés y con margen denticulado. En el caso de *A. aspera*, es posible encontrar individuos con lámina foliar entera, de margen entero y otros con lámina 5-lobada, con margen dentado. Dicha condición ha llevado a la formación de una gran cantidad de binomios (Belgrano y Pozner, 2017). En la Figura 2, muestra la morfología de la hoja de *A. aspera*. Los peciolo son ligeramente estriados y de aspecto robusto, aunque son densamente vellosos y ásperos; su longitud es cambiante, y es posible encontrarlos desde 0.5-6.0 cm de largo (Lira y Rodríguez, 1999; Lira y Rodríguez, 2006).



Figura 2. Hojas de *Apodanthera aspera* donde se observa el margen dentado y aspecto áspero (Fotografía propia, 2019).

Tallos

Las plantas del género *Apodanthera* que se encuentran en el norte del continente americano, a diferencia de las del sur, pueden producir varios tallos perennes que integran junto con la raíz, el sistema reservorio de la planta. Estos tallos subterráneos portan las yemas invernantes para la próxima estación, que durante los meses más cálidos pueden desarrollar tallos superficiales que crecen hasta varios metros de longitud y 1 cm de diámetro (Belgrano y Pozner, 2017). Los tallos superficiales son suculentos o incluso herbáceo suculentos, cubiertos con vellos cortos y esparcidos, generalmente de forma angulosa o con estrías (Lira y Rodríguez, 1999; Lira, 2006; Belgrano y Pozner, 2017). En la Figura 3, son visibles las yemas del renuevo de *A. aspera*.

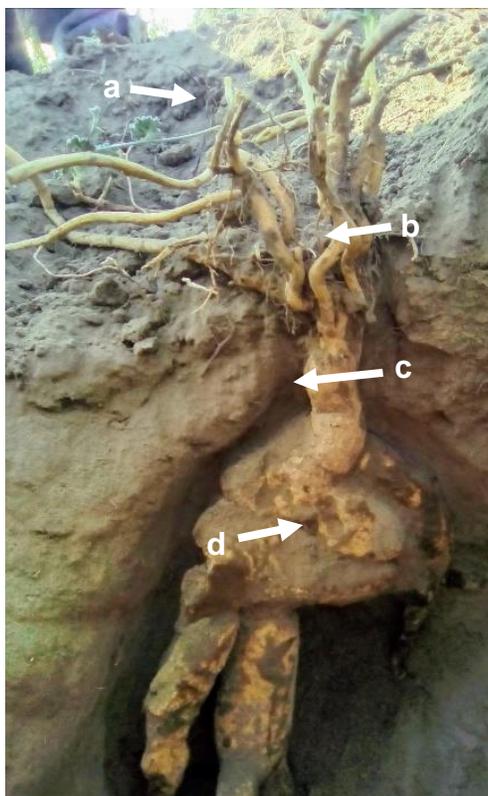


Figura 3. Tallo de *Apodanthera aspera*: a) Yemas vegetativas, b) Tallos perennes, c) Cuello anual, delgado y de aspecto leñoso y d) Raíz (Fotografía propia, 2016).

Zarcillos

Los zarcillos son órganos filiformes que pueden enrollarse de tal forma que pueden sujetarse a un objeto y adherirse con la finalidad de utilizarlos como soporte; morfológicamente pueden ser un tallo, una hoja o parte de ella (Tropicos, 2014). En el caso de *A. aspera*, morfológicamente son delgados de tamaño reducido, algunos son sencillos y otros se ramifican en dos partes. Tienen forma estriada y esparcidamente pilosos (Lira y Rodríguez Arévalo, 1999; Lira y Rodríguez, 2006). En la Figura 4 se observa la presencia de zarcillos axilares de un ejemplar de *A. aspera*.



Figura 4. Zarcillo axilar de *Apodanthera aspera*: a) Zarcillo sencillo, delgado y reducido (Fotografía propia, 2017).

Raíz

Las raíces son engrosadas, reservantes y de aspecto leñoso formando tubérculos radicales o xilopodios (Belgrano y Pozner, 2017; Lira y Rodríguez, 1999; Lira y Rodríguez, 2006). Aunque no existe más información sobre la morfología de la raíz en esta especie, se sabe que esta característica es similar para los individuos de *Apodanthera* de América del Norte, por lo que se podría comparar con *A. undulata* (Belgrano y Pozner, 2017). Según Dittmer y Talley (1964), la raíz de *A. undulata* se bifurca a escasa profundidad, casi en ángulo recto a la raíz principal, creciendo las ramificaciones en direcciones opuestas y que a su vez vuelven a bifurcarse en modo similar. Este sistema de ramificación le optimiza la superficie de absorción en la porción superficial del suelo. Las raíces alcanzan gran tamaño, el sistema radical comprendido en un radio de 200 cm, puede alcanzar un perímetro de 76 cm y un peso de hasta 60 kg. Las raíces perennes de las cucurbitáceas del desierto, activas durante el verano, son a menudo gruesas, poco ramificadas, ocultas debajo de la superficie más caliente del suelo y tienen la mayor parte de tejido radicular dentro de los 50 cm superiores del suelo, que durante la sequía estival pueden ser extremadamente secas. Según Dittmer y Talley

(1964) *Cucurbita palmata*, *C. digitata* y *Apodanthera undulata* de los desiertos de América del Norte, recolectan agua de lluvia en los suelos poco profundos y dependen de la capacidad de las raíces para la transpiración de la mayoría de los brotes durante la sequía estival. Sin embargo, estudios ecofisiológicos recientes muestran que la capacitancia de las raíces no puede proporcionar suficiente agua para igualar los altos índices de transpiración, por lo tanto, la mayor parte del agua se extrae de suelos profundos utilizando las pocas raíces verticales finas (North, 1992). La presencia de peridermos en la raíz de las cucurbitáceas del desierto las protege de la desecación, pero retrasarán la absorción de agua a través de las paredes celulares suberizadas (Gibson, 1996). En la Figura 5, se observa la raíz de *A. aspera*, de una colecta realizada en un terreno de cultivo en el municipio de Tecamachalco, Puebla.

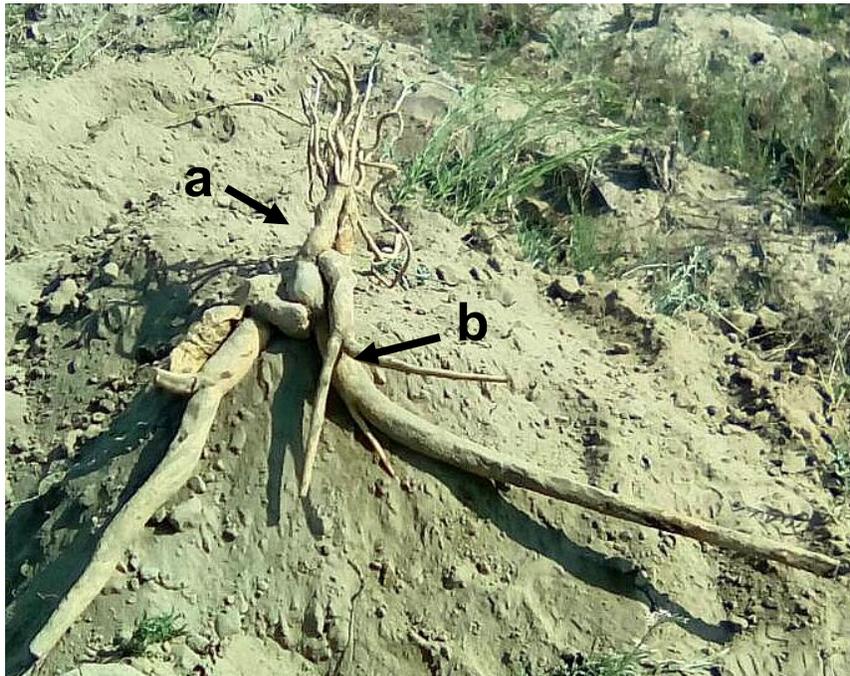


Figura 5. Raíz de *Apodanthera aspera*: a) Raíz principal de aspecto leñoso que forma tubérculos radicales y b) Raíz secundaria (Fotografía propia, 2016).

Flor

A. aspera produce dos tipos de flores: estaminadas y pistiladas. Las flores estaminadas son axilares y se presentan por lo general en umbelas, aunque rara vez son

solitarias. Tiene un perianto normalmente 5-mero, con un receptáculo floral de aspecto vellosos y áspero, cuyo tamaño oscila entre los 0.8 y 1.7 cm de largo y 0.4-0.8 cm de ancho. La forma de las flores es infundibuliforme con atenuaciones hacia la base. Los sépalos son lineares y pueden alcanzar un tamaño que oscila de 0.2-0.6 cm de largo. En cuanto a los pétalos, son de forma ovado-oblongos y agudos, con cinco nervaduras prominentes con vellos cortos, pueden alcanzar un tamaño entre 1.1 y 2.2 cm de largo y 0.3-0.6 cm de ancho. Las anteras son rectas, sésiles, dorsifijas y oblongas, con dos bitecas y una monoteca, de conectivo angosto y no forma un apéndice apical; puede alcanzar un tamaño que oscila entre 5.0 mm de largo y 1.0 mm de ancho. En el caso de las flores pistiladas, se presentan de forma solitaria y en diferente axila, a diferencia de las estaminadas. Morfológicamente, los pedicelos alcanzan un tamaño que oscila entre 1.1 y 1.9 cm de largo, con un perianto semejante al de las flores estaminadas, el receptáculo es de menor tamaño y densamente blando-tomentoso. El ovario es de forma ovoide-oblongo, y en cuanto al estilo puede alcanzar un tamaño de 5.0-6.0 mm de largo; los estigmas son carnosos y 2-lobados, presenta 3 estaminodios de forma triangular (Belgrano y Pozner, 2017; Lira y Rodríguez, 1999; Lira y Rodríguez, 2006). En la Figura 6, se ilustra una flor pistilada de *A. aspera*. El periodo de floración y fructificación es visible en los meses de abril a octubre (Lira y Rodríguez, 1999), periodo en el cual, las raíces almacenaron agua suficiente de la estación lluviosa, teniendo la capacidad de producir varios frutos al mismo tiempo.



Figura 6. Flor pistilada de *Apodanthera aspera*, en la parte inferior se observa el receptáculo de tamaño reducido y densamente blando y tomentoso. En la parte superior se encuentran los cinco pétalos de color amarillo y al centro los estambres (Fotografía propia, 2017).

Fruto

Los frutos pueden variar de tamaño, aunque es común encontrarlos desde 7.7 hasta 10.4 cm de largo y un ancho que oscila entre 4.2 y 6.4 cm. Se caracterizan por tener costillas longitudinales prominentes. Los frutos inmaduros son de color verde y cambian a color amarillo al madurar. El epicarpio es engrosado de aspecto verrugoso, pero en el interior del fruto el mesocarpio es carnososo-fibroso de color blanquecino y sabor característico amargo. El pedúnculo puede llegar a medir de 4.0-7.2 cm de largo, son delgados y sulcados, aunque con vellos esparcidos (Lira y Rodríguez, 2006). En la Figura 7 se ilustra un fruto inmaduro de *A. aspera*.



Figura 7. Fruto inmaduro de color verde de *Apodanthera aspera*. A la izquierda se distinguen las costillas y a la derecha se observa el fruto cortado a la mitad exponiendo el mesocarpio carnososo-fibroso (Fotografía propia, 2017).

Semillas

Las semillas son ovado-elípticas de color pardo claro cuando inmaduras y oscuras al madurar. Cuenta con márgenes delgados bien definidos y más claros. Pueden llegar a tener un tamaño que oscila entre 0.95 y 1.3 cm de largo y 0.6-0.9 cm de ancho (Belgrano y Pozner, 2017; Lira y Rodríguez Arévalo, 1999; Lira y Rodríguez, 2006). El peso de 1000 semillas es de alrededor de 73.2 g, mientras que la germinación en arena húmeda y con un fotoperiodo de 12 h de luz / 12 de oscuridad, es de 78% a 20°C y de 84% a 20-10°C (Kew Royal Botanic Gardens, 2016). En la Figura 8 se ilustra una semilla madura de *Apodanthera aspera*.

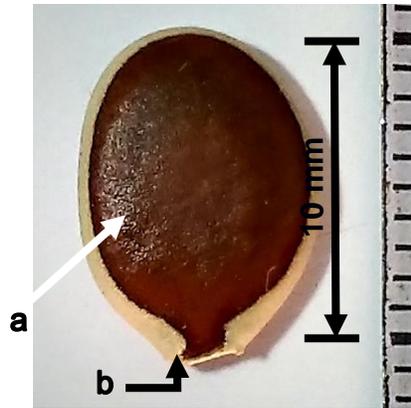


Figura 8. Semilla de *Apodanthera aspera*: a) Testa y b) Micrópilo (Fotografía propia, 2019).

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La agricultura del siglo XXI enfrenta múltiples retos, principalmente producir alimentos y fibras con la finalidad de alimentar a una población creciente, pero a un menor costo. Al mismo tiempo, se requiere incrementar las materias primas para el mercado de la bioenergía y así a mejorar económicamente a los países en desarrollo. Lo anterior debe ir aunado a la implementación de métodos de producción, más eficaces y sostenibles en el contexto del cambio climático (FAO, 2009). Sin embargo, la agricultura es extremadamente vulnerable a los cambios de temperatura, lo que nos obliga a tomar acciones contundentes para mitigar los efectos del cambio climático. Según la ONU (2018), el aumento de la temperatura global trae consecuencias desastrosas que ponen en peligro la supervivencia de la flora y fauna, incluido al ser humano.

En México, el problema se ha observado en algunas zonas agrícolas económicamente importantes. Jalisco es un claro ejemplo, de acuerdo con Curiel *et al.* (2015), Los Altos de Jalisco es la zona con mayores pérdidas económicas por efecto del incremento de la temperatura, causando una disminución en el rendimiento del maíz y el descenso de la producción de leche en un 23%. La reducción de los rendimientos de los cultivos y productos derivados de la ganadería, crea una situación de incertidumbre alimentaria para los próximos años. Pero la situación empeora al considerar el incremento de la población.

De acuerdo con la FAO (2009), se estima que para el 2050 la población mundial será de 9100 millones, lo que significa que de no incrementar los rendimientos de los cultivos o no encontrar nuevas especies cultivables con alta aportación calórica, no se garantizaría la seguridad alimentaria principalmente de los países en vías de desarrollo.

La situación no es distinta para México, donde la población total en el año 2010 era de 112 millones (INEGI, 2010), pero se pronostica que para el año 2050 sean 150 millones (CONAPO, 2017). De acuerdo con el INEGI (2010), el 77.8% de la población se encontraba en zonas urbanas y el 22.2% en comunidades rurales. Otro problema, es la situación de pobreza en México. El CONEVAL (2016) indica que, el 35.9 % de la población se encuentra en pobreza moderada y el 7.6% en pobreza extrema. Es decir,

el 43.5% de la población en México vive en pobreza. Tal situación provoca que, las personas de zonas rurales abandonen sus comunidades en busca de una vida mejor. Las predicciones de la FAO (2009) concuerdan con los datos del INEGI (2010), en el sentido de que los próximos años la fuerza laboral del sector agrícola será menor por efecto de la migración. Como consecuencia se pronostica demanda considerable de alimento, así como de servicios en las zonas urbanas.

Ante este panorama surgen muchas interrogantes: ¿Qué se puede hacer para alimentar a toda la población?, ¿Existen cultivos que se adapten al cambio climático?, ¿Qué tipo de investigaciones deberían ser prioridad para dar una solución a corto, mediano y largo plazo?, entre otras. La respuesta a estas preguntas aun no es clara, pero muchos investigadores han propuesto posibles soluciones que podrían ayudar a mitigar los efectos. Destacan principalmente la modificación genética, hibridación, optimización del riego y fertilización, reducción del consumo de combustibles fósiles, captura de carbono, y estudio de plantas comestibles adaptadas al estrés hídrico (plantas del desierto), entre otras.

Afortunadamente, México puede aportar significativamente en la construcción de una posible solución a la demanda de alimentos de los próximos años. Según la CONABIO (2017), México se encuentra entre los primeros cuatro países con la mayor diversidad biológica del mundo, lo que significa una oportunidad para generar investigaciones sobre especies vegetales comestibles y nutritivas, que se puedan adaptar a las nuevas condiciones climáticas, especialmente la sequía y el incremento de la temperatura. El relieve de la República Mexicana permitió el desarrollo de endemismos únicos en el planeta, como en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Un desierto rodeado de selvas y bosques, es algo único, y la diversidad vegetal que existe dentro de éste, es prueba de que las plantas del desierto pueden ser una solución viable. Uno de los endemismos que más sobresale en la zona del Valle de Tehuacán – Cuicatlán es *Apodanthera aspera*, comúnmente conocida como chichicamole o pisto. Es una calabaza perenne de alto valor comercial, medicinal y nutricional que está adaptada a condiciones de sequía y que en el presente cambio climático sería una excelente alternativa.

Por tal razón, en este trabajo se evaluó la respuesta de *Apodanthera aspera* a diferentes presiones osmóticas de la solución nutritiva de Steiner bajo condiciones de invernadero. Esto establecerá las bases que permitirán su introducción como un cultivo potencial para la obtención de semillas altas en grasas y proteínas de alto valor nutricional de interés para la industria alimentaria y otros derivados. Además, ayudará a disminuir el asedio actual sobre la especie en la zona de reserva de la biosfera de Tehuacán – Cuicatlán.

IV. OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar la respuesta agronómica de *Apodanthera aspera* Cogn a la aplicación de la solución nutritiva de Steiner con diferentes presiones osmóticas 0.22, 0.36, 0.50 y 0.72 atm, bajo condiciones de invernadero.

Objetivos específicos

- a) Registrar los cambios en la formación de nudos y zarcillos en plantas de *A. aspera* por efecto de la aplicación de solución nutritiva de Steiner a 0.22, 0.36, 0.50 y 0.72 atm de presión.
- b) Evaluar los efectos en el peso seco de raíz, tallo y hojas de plantas de *A. aspera* tratada con solución nutritiva de Steiner a diferentes presiones osmóticas.
- c) Evaluar los efectos en altura de planta y área foliar de *A. aspera* debido a la aplicación de solución nutritiva a diferentes presiones osmóticas.
- d) Analizar la distribución de la materia seca en raíz, tallo y hojas de *A. aspera* por efecto de la aplicación de solución nutritiva a diferentes presiones osmóticas.

V. HIPÓTESIS

1. La aplicación de la solución nutritiva de Steiner, a diferentes presiones osmóticas, induce la variación del peso seco de órganos de *A. aspera* así como la altura de planta y el tamaño de la maquinaria fotosintéticamente activa.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

El experimento se realizó del 27 de febrero al 1 de agosto del 2017, dentro de las instalaciones del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, ubicado en las coordenadas 19°27'37.51" latitud norte y 98°54'15.49" longitud oeste, a una elevación de 2,260 m.

Material vegetal

Para el experimento se utilizaron plántulas de *A. aspera* que fueron crecidas a partir de semillas recolectadas en campo. El proceso para la obtención de plántulas se dividió en tres fases: recolección de la semilla, siembra y crecimiento de plántulas.

Recolección. Se colectaron frutos maduros de *A. aspera* en los límites territoriales de los municipios de Quecholac y Tecamachalco, Puebla. La extracción de las semillas, se realizó de forma manual 24 h después del corte, posteriormente fueron secadas al sol durante 72 h. Se clasificaron por color y tamaño, considerando el color café oscuro como indicador de madurez. Las semillas que se utilizaron en la siembra, fueron las de mayor tamaño.

Siembra: las semillas se embebieron durante 24 h en agua destilada. La siembra se realizó el día 27 de febrero del 2017, utilizando dos charolas de poliestireno expandido de 200 cavidades con turba. Para facilitar la germinación y emergencia, las semillas fueron colocadas con el micrópilo hacia abajo.

Crecimiento plántulas. Las charolas sembradas fueron colocadas en una cámara de ambiente controlado, a una temperatura de 28°C durante 23 días. Se aplicaron riegos diarios con agua destilada, con un atomizador manual. No se fertilizó. Veintiocho días después de la siembra (DDS), las plántulas fueron trasplantadas a las unidades experimentales.

Análisis de suelo

Se realizó el análisis químico de suelo en el laboratorio NUTRELAB el cual utiliza las metodologías establecidas por la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 vigentes para el análisis de fertilidad, salinidad, estudio, muestreo y análisis de suelo en México. Los resultados del análisis de suelo se ilustran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Resultados del análisis de suelo de la muestra colectada en los límites territoriales de Quecholac y Tecamachalco de Guerrero, Puebla.

Variable	Unidad	Valor	Interpretación
pH	Adimensional	8.40	
Materia orgánica (M.O.)	%	0.54	Bajo
Nitrógeno inorgánico (N)	mg / kg	14.00	Bajo
Fósforo (P)	mg / kg	5.50	Bajo
Potasio (K)	mg / kg	433.06	Exceso
Calcio (Ca)	mg / kg	2869.60	Exceso
Magnesio (Mg)	mg / kg	817.10	Exceso
Sodio (Na)	mg / kg	14.05	Deficiente
Hierro (Fe)	mg / kg	6.04	Bajo
Manganeso (Mn)	mg / kg	3.03	Deficiente
Zinc (Zn)	mg / kg	2.26	Bajo
Cobre (Cu)	mg / kg	0.83	Deficiente
Boro (B)	mg / kg	1.46	Medio
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	me / 100 g	17.50	Medio
Intercambiables			
Calcio (Ca)	%	81.99	
Magnesio (Mg)	%	38.43	
Potasio (K)	%	6.35	
Sodio (Na)	%	0.35	
Relaciones catiónicas			
Ca/Mg	me / 100 g	2.13	
Ca/K	me / 100 g	12.92	
Mg/K	me / 100 g	6.06	
Ca+Mg/K	me / 100 g	18.98	
Análisis físico			
Arena	%	50	
Limo	%	36	
Arcilla	%	14	
Densidad aparente (DAP)	g / cm ³	0.77	

Solución nutritiva

Se utilizó la solución nutritiva de Steiner (1984) porque considera el balance de aniones y cationes (Cuadro 3). No se consideró el aporte de nutrientes del suelo ni del agua en la preparación, y solo se utilizó la información del pH del suelo para saber el tipo de fertilizantes a utilizar. Se calculó el fertilizante necesario para una solución con una conductividad eléctrica de 2.0 dS/m, y de ahí se realizaron las diluciones hasta obtener las presiones osmóticas requeridas. La demanda de micronutrientes se solventó utilizando el producto Tradecorp® AZ, los cuales son micronutrientes quelatados. La dosis de aplicación fue de 0.2 g/L. El indicador para la obtención de la presión osmótica fue la conductividad eléctrica y después se convirtió a presión osmótica utilizando 0.36 como factor de conversión para presión en atmósferas (atm).

Cuadro 3. Solución nutritiva Steiner (1984) con pH 6.5 y presión osmótica de 0.72 atm.

Aniones			Cationes		
NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
meq / L					
11.888	0.991	6.934	7.08	9.103	4.046
	19.813			20.229	

Sustrato: suelo + perlita

El suelo utilizado durante el experimento fue un calcisol (INEGI, 2017) el cual está asociado con materiales parentales altamente calcáreos, común en zonas áridas y semiáridas, típico de la región de Tecamachalco, Puebla. Al momento de la recolección del suelo, se observó que existía compactación por lo que se pensó que esto podría afectar el crecimiento de *A. aspera*. Aunado a esto, el problema de compactación por efecto de maceta representa un problema en la experimentación porque el contenido de oxígeno se reduce y la capacidad de retención de agua capilar disminuye ocasionando problemas en el desarrollo de las plantas (Milks, Fonteno y Larson, 1989). Por tal razón para evitar estos problemas, se decidió utilizar perlita expandida marca Agrolita® dado que es un material económico e inerte que mejora la aireación, enraizamiento y retención de humedad. La relación perlita – suelo utilizada fue de 1:2.

Unidad experimental

Se utilizaron macetas de plástico de 15 L, con dimensiones de la base inferior y superior de 21.5 y 31 cm de diámetro, respectivamente, y altura de 27 cm. Cada maceta se llenó hasta los 24 cm de altura, dando como resultado un volumen de suelo-perlita 13.41 L. La mezcla final tuvo mayor volumen, pero menor peso, lo que disminuyó la compactación en la parte inferior de la maceta. Cada unidad experimental llevó cinco plantas.

Trasplante

El trasplante se realizó el día 27 de marzo del 2017, esto es, a 28 DDS. Las plántulas utilizadas tenían una altura de 9 cm de la base a la yema más joven de la guía, y 6 cm de la base a las hojas cotiledonares.

Riegos

El riego se realizó con intervalos de tres días con agua destilada, durante los primeros treinta días después del trasplante (DDT). El día 26 de abril del 2017 (58 DDS), se inició la aplicación de los tratamientos en cada unidad experimental, con un volumen de aplicación de 1 L por maceta. Para evitar problemas de toxicidad se aplicaron entre cada aplicación de tratamientos, riegos agua destilada.

Diseño de tratamientos

Se establecieron cinco tratamientos con cinco repeticiones para probar el efecto de solución nutritiva de Steiner sobre el crecimiento de *A. aspera*. Los tratamientos aplicados se ilustran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Tratamientos aplicados.

Tratamiento	Presión osmótica (atm)
Agua destilada (Testigo)	0.00
T-2	0.22
T-3	0.36
T-4	0.50
T-5	0.72

Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, el cual, fue adecuado para disminuir el efecto por sombra ocasionado por las estructuras del invernadero.

Manejo

Por falta de espacio en el sitio experimental fue necesario el uso de tutores de rafia comúnmente utilizados en jitomate. Se amarraron desde la base del tallo principal de *A. aspera*, posteriormente se enredó sobre el tallo y se levantó verticalmente. Esto mejoró el paso de la luz a las hojas inferiores y con ello se evitó la competencia por luz entre plantas. Se presentaron algunas plagas típicas de las cucurbitáceas, como mosca blanca (*Bemisia tabaci*) y gusano soldado (*Spodoptera exihua*). El control de mosca blanca fue realizado por método químico a base de betacyflutrín 8.40% + imidacloprid 19.60% (Muralla Max[®]) con una dosis de 1 ml por litro de agua. El gusano soldado fue erradicado manualmente.

Cosecha

La cosecha se realizó el 1 de agosto del 2017 (155 DDS); las plantas cosechadas fueron cortadas y separadas por órgano: tallos y hojas respectivamente; se marcaron y depositaron en bolsas de papel estraza del número dos, para su deshidratación en una estufa de secado con extracción de aire forzado a una temperatura de 80 °C hasta que las muestras tuvieron peso seco constante.

Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron: altura de planta (A), número de nudos (NN), número de zarcillos (NZ), área foliar (AF), peso seco de tallos (PST), peso seco de hojas (PSH), peso seco de raíces (PSR) y peso seco total (PSTOT).

Altura de la planta (A): se midió utilizando un flexómetro de 3 metros, de la marca PRETUL[®]. La medición se realizó desde la base de la planta a ras de suelo hasta la última yema vegetativa.

Número de nudos (NN): se cuantificaron manualmente, desde la base hasta el último nudo de la hoja vegetativa más joven; los resultados se reportaron como unidades.

Número de zarcillos (NZ): se contabilizaron de forma manual, sin considerar que fueran sencillos o bifurcados.

Área foliar (AF): se determinó utilizando la técnica de análisis digital de imágenes en el software libre ImageJ. El principio de la técnica es el conteo de píxeles de la imagen objetivo mediante el módulo de calibración espacial, logrando obtener mediciones dimensionales reales, en unidades como milímetros, centímetros u otras unidades. Las hojas fueron colocadas sobre una hoja de papel bond color blanco graduada en centímetros. Las imágenes fueron capturadas con un celular Motorola tercera generación con cámara fotográfica digital de 13 Megapíxeles y una resolución de 3,120 X 4,160 píxeles. Posteriormente fueron procesadas en la computadora utilizando el software ImageJ versión 1.5w (Schneider, Rasband y Eliceiri, 2012).

Peso seco de tallos (PST), hojas (PSH) y raíz (PSR): se obtuvo secando las muestras en una estufa de secado con extracción de aire forzado, a una temperatura de 80°C durante 72 horas hasta peso constante. Las muestras secas se pesaron en una báscula marca OHAUS modelo YS202 con una precisión de 0.01 g.

Identificación de los estadios fenológicos: Se utilizó como referencia el compendio para la identificación de los estadios fenológicos de especies mono- y dicotiledóneas cultivadas: escala BBCH extendida (Bleiholder *et al.*, 1998). Esta se basa principalmente en la identificación y codificación de las etapas fenológicas del tallo principal de una especie cultivada o no cultivada utilizando como indicador características externas claramente reconocibles. La escala se divide en dos estadios: principales y secundarios. Ambos se codifican del 0 al 9 aunque en los secundarios pueden ser de dos dígitos. Por ejemplo, el estadio 116 significa que la planta se encuentra en desarrollo de hojas del tallo principal, y tiene formada la hoja verdadera número 16. Por otro lado, existen estadios que ocurren paralelamente, tal es el caso de la formación de brotes laterales y hojas del tallo principal como sucede con las cucurbitáceas. En estos casos la codificación se divide por una diagonal. Por ejemplo, la codificación 116/22 significa que la planta se encuentra en la formación de hojas en el tallo principal y tiene 16 hojas verdaderas, aunado a que también se están formando tallos laterales y se han formados

dos. Se utilizaron los estadios de la sección de cucurbitáceas existentes en la escala, como punto de comparación para facilitar la identificación.

Análisis estadístico

El análisis de varianza se realizó en el software estadístico R versión 3.5.2 (R Development Core Team, 2018) de los paquetes agricolae v. 1.3 (Mendiburu, 2013) y asbio v. 1.5 (Aho, 2014). Se verificaron los supuestos del diseño experimental, como: independencia, normalidad de los residuales, homogeneidad de varianzas y no interacción bloque-tratamiento. Posteriormente, se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey ($p = 0.05$). Las gráficas de peso seco, distribución de materia seca y desarrollo fenológico fueron realizadas en el software SigmaPlot® versión 14.0 desarrollado por Systat Software Inc. (Systat Software, 2017).

VII. RESULTADOS

Repuesta fenotípica

Se identificaron y codificaron tres estadios principales de crecimiento según la escala BBCH: germinación (0), desarrollo de hojas en el tallo principal (1) y formación de brotes laterales (2). El primer estadio consideró los estadios secundarios de semilla seca (00) y emergencia (09). Se requirieron 17 DDS para obtener 55% de plantas emergidas, aunque al momento del trasplante se tenía el 90%. El segundo estadio comprendió desde la aparición de la primera hoja verdadera en el tallo principal hasta la última hoja verdadera al momento de la cosecha.

A los 26 DDS más del 50% de las plantas presentaron dos hojas verdaderas (12). A los 46 DDS se obtuvieron cinco hojas verdaderas (15) y continuaron hasta la hoja verdadera 33 (133). El tercer estadio requirió de 65 DDS para la aparición de primera ramificación en el quinto nudo del tallo principal (21) en más del 52% de las plantas.

A los 107 DDS se obtuvieron 18 hojas verdaderas (118) y al momento de la cosecha se contabilizaron 33 hojas (133). Con base en lo anterior, el estadio 1 y 2 se desarrollan en paralelo, por lo que en la representación gráfica se expresaron unidos por una diagonal.

En la Figura 9, se presenta el comportamiento térmico en el sitio del experimento y la aparición de cada etapa fenológica, en función del número de días después de la siembra.

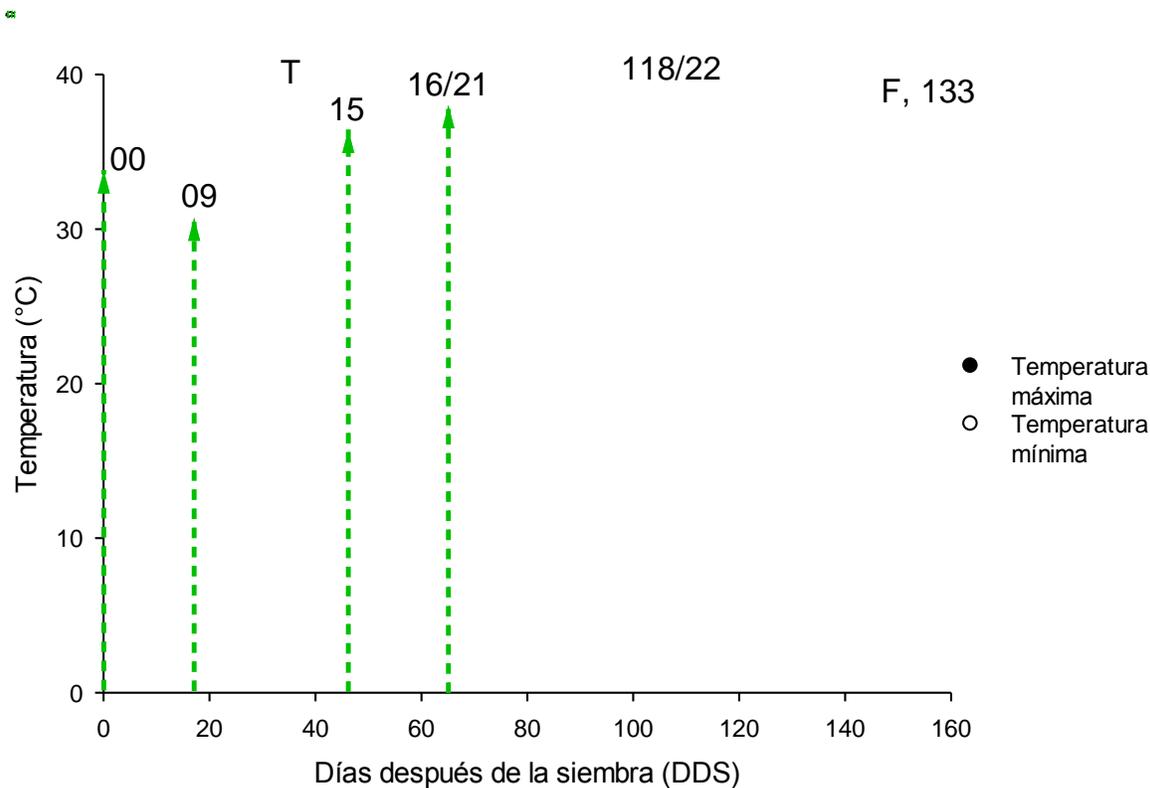


Figura 9. Comportamiento de la temperatura del sitio experimental y aparición de los estadios fenológicos de *A. aspera* en función de los días después de la siembra (DDS): 00: semilla seca; 09: emergencia, cotiledones expuestos; 15: 5a hoja verdadera del tallo principal; 118: 18a hoja verdadera del tallo principal; 133: 33a hoja verdadera del tallo principal; 21: primer brote lateral primario visible; T: trasplante; F: fin de experimento.

Número de nudos (NN)

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) de la variable número de nudos (NN) (Cuadro 5), mostraron que al menos uno de los tratamientos aplicados en las unidades experimentales tuvo efecto en la formación de nudos de *A. aspera*. Además, no se encontró efecto de los bloques sobre la variable respuesta ($p = 0.54$).

Cuadro 5. Análisis de varianza de la variable número de nudos (NN) de *Apodanthera aspera*.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de F	Pr. F
BLO	4	11.80	2.96	0.81	0.54
TRA	4	366.60	91.66	24.04	0.0001

TRA = Tratamiento, BLO = Bloque.

De acuerdo con los resultados de la verificación de supuestos del modelo matemático, se encontró que los errores siguen una distribución normal ($p = 0.39$). Además, se observó que la distribución de las varianzas no tiene la forma de un triángulo, por lo que se concluyó que las varianzas fueron homogéneas (Figura 10). No hubo interacción entre los tratamientos y bloques ($p = 0.38$). Con base en lo anterior, se concluyó que los supuestos del modelo se cumplen y el ANOVA es válido.

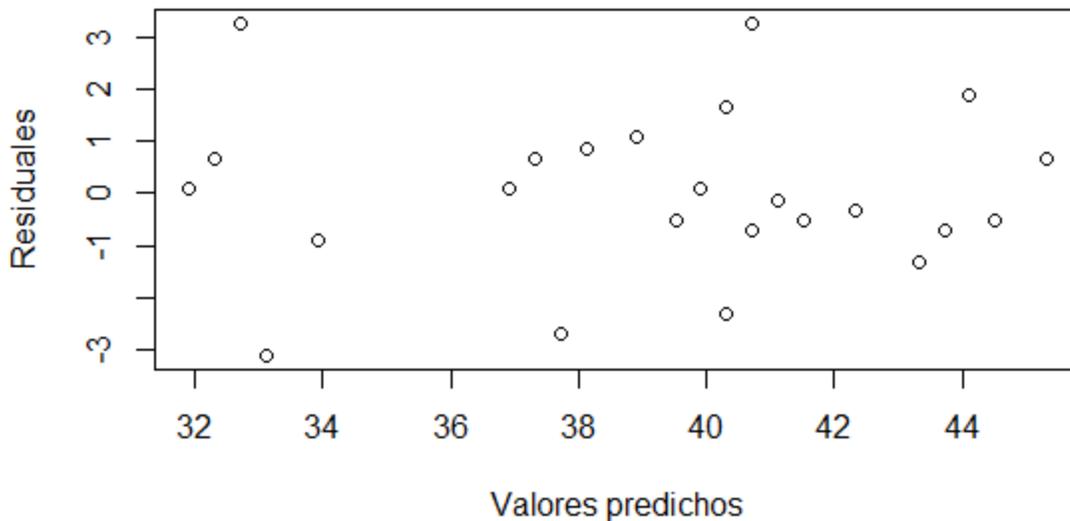


Figura 10. Prueba de homogeneidad de varianzas por el método gráfico de la variable número de nudos (NN) de *Apodanthera aspera*.

La prueba de comparación de medias por el método de Tukey ($p = 0.05$) detectó que la aplicación de la solución nutritiva a una concentración de 0.36 atm produjo la mayor cantidad de nudos en las plantas de *A. aspera*. Las plantas que fueron regadas con agua destilada (testigo) produjeron la menor cantidad de nudos en comparación con los resultados obtenidos en las soluciones nutritivas a 0.22, 0.36, 0.50 y 0.72 atm. Se observó que la capacidad de formación de nudos fue incrementada en paralelo con la concentración creciente de las soluciones aplicadas, pero después de 0.36 atm, disminuyó 11.5% en promedio. Los resultados se ilustran en la Figura 11.

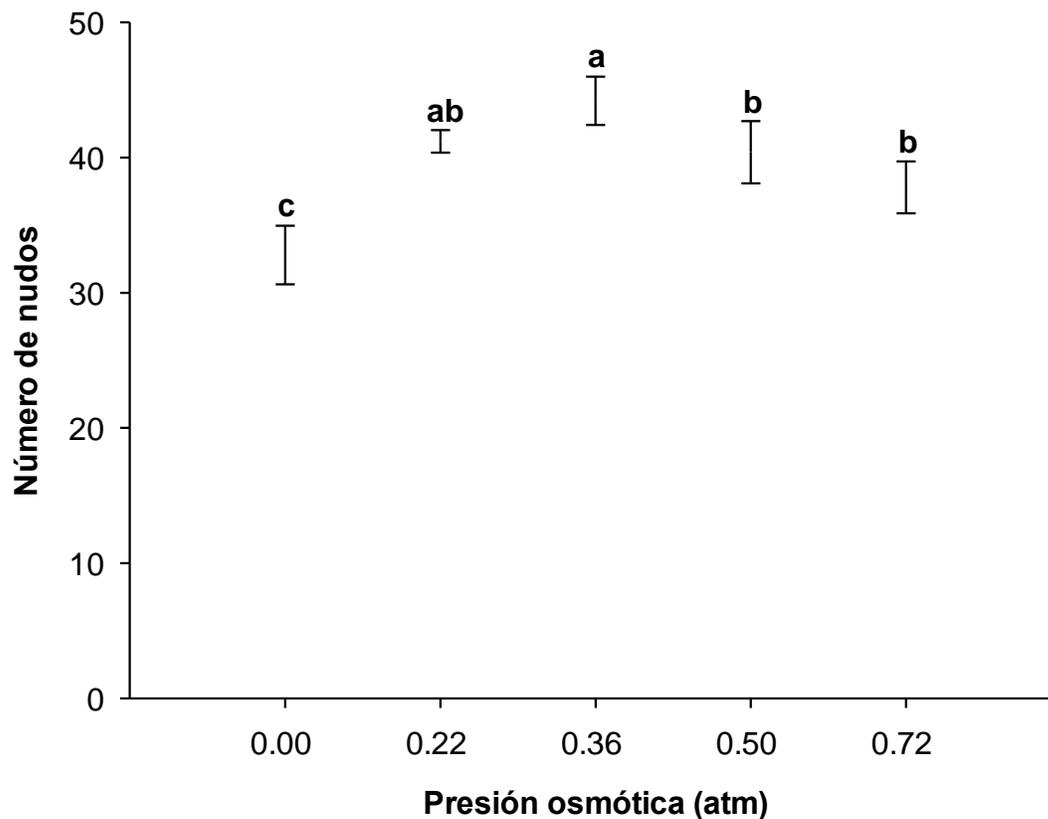


Figura 11. Efecto de la aplicación de solución nutritiva de Steiner a diferentes presiones osmóticas regadas en una mezcla de perlita - suelo relación 1:2, en la formación del número de nudos (NN) de *Apodanthera aspera*.

Altura de planta (A)

A partir de los resultados del ANOVA para la variable altura de planta (A) (Cuadro 6), se encontró que al menos uno de los tratamientos aplicados tiene efecto estadísticamente diferente ($p = 0.0001$) en la altura de *A. aspera*. El análisis, no encontró efecto de los bloques sobre la variable altura de planta ($p = 0.35$).

Cuadro 6. Análisis de varianza de la variable altura de planta (A) de *Apodanthera aspera*.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de F	Pr. F
BLO	4	1146.98	286.75	1.21	0.345
TRA	4	14623.37	3655.84	15.42	0.0001

TRA = Tratamiento, BLO = Bloque.

En la comprobación de los supuestos del modelo matemático, se encontró que los errores siguen una distribución normal ($p = 0.48$), pero se observó que la distribución de las varianzas forma un triángulo, lo que indica que es heterogénea por lo que no se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas (Figura 12). Debido al incumplimiento del supuesto, se aplicó la transformación de los valores originales con la función matemática logaritmo natural (Ln), con la intención de que se cumplan los supuestos.

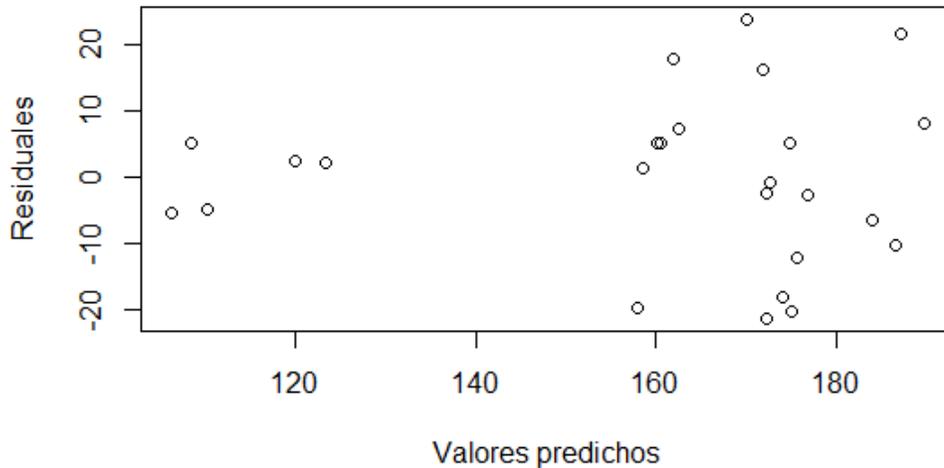


Figura 12. Prueba de homogeneidad de varianzas por el método gráfico de la variable altura de planta (A) de *Apodanthera aspera*.

Se realizó nuevamente el ANOVA con los datos transformados y se encontró que al menos uno de los tratamientos aplicados tuvo un efecto estadísticamente diferente en la altura de *A. aspera* ($p = 0.0001$). Nuevamente, no se encontró efecto de los bloques en la variable respuesta ($p = 0.27$). Los resultados del análisis de varianza se ilustran en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Análisis de varianza con los datos de altura de planta (A) de *Apodanthera aspera* transformados con logaritmo natural.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de F	Pr. F
BLO	4	0.05	0.01	1.42	0.27
TRA	4	0.72	0.18	20.88	0.0001

TRA = Tratamiento, BLO = Bloque.

Al repetir la comprobación de los supuestos del modelo matemático con el ANOVA de datos transformados de la variable altura, se encontró que la distribución de las varianzas no forma un triángulo, por lo que se concluye que es homogénea (Figura 13). La prueba de normalidad nuevamente detectó que los errores siguen una distribución normal ($p = 0.42$). No se encontró interacción entre los tratamientos y bloques ($p = 0.43$). Por todo lo anterior, se concluyó que los supuestos del modelo se cumplen y el ANOVA es válido.

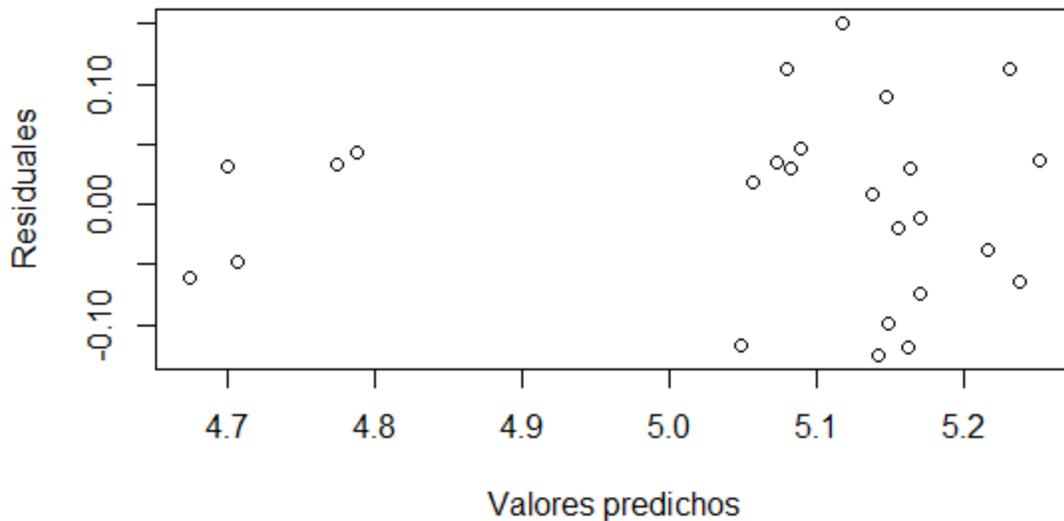


Figura 13. Prueba de homogeneidad de varianzas por el método grafico de la variable transformada altura de planta (A) de *Apodanthera aspera*.

Debido a la transformación de los valores originales, el análisis de los resultados de la prueba de comparación de medias se realizó con las medias de los valores transformados. En la Figura 14, se presentan reparametrizados a unidades en centímetros lineales. La reparametrización se realizó utilizando la ecuación $y = e^T$, donde, y = valor real en centímetros lineales y T = valor transformado.

Al realizar la prueba de comparación de medias por el método de Tukey ($p = 0.05$), se encontró que la aplicación de las soluciones nutritivas (0.22, 0.36, 0.50 y 0.72 atm) produjeron el mismo efecto en la altura de planta, pero son estadísticamente diferentes a los resultados obtenidos en las plantas del testigo donde se suministró agua destilada

(testigo). El incremento promedio logrado por la aplicación de solución nutritiva fue de 51.58%. Los resultados se ilustran en la Figura 14.

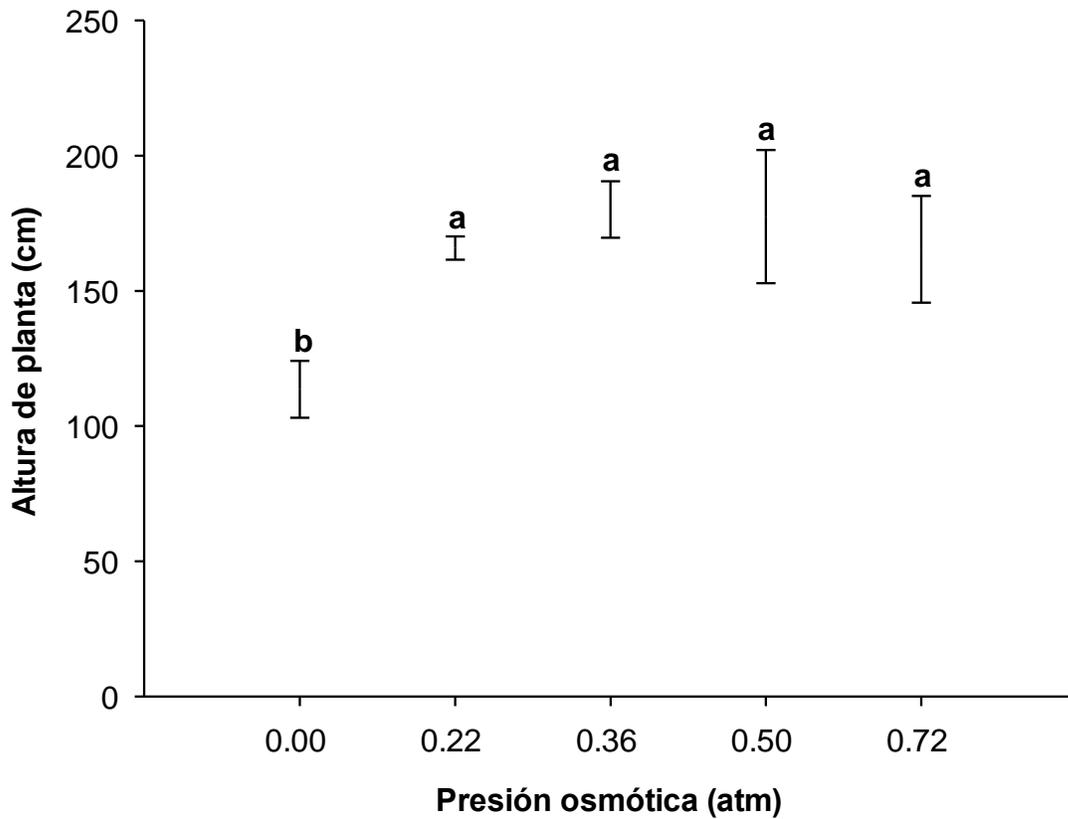


Figura 14. Efecto de la aplicación de la solución nutritiva de Steiner a diferentes presiones osmóticas regadas en una mezcla de perlita - suelo relación 1:2, en la altura de planta (A) de *Apodanthera aspera*.

Número de zarcillos (NZ)

Los resultados del ANOVA de la variable número de zarcillos (NZ) (Cuadro 8), mostraron que al menos una de las soluciones nutritivas tuvo un efecto diferente ($p = 0.048$) en la formación de nudos en *A. aspera*. No se encontró evidencia estadística ($p = 0.761$) que indique efecto de los bloques en la formación de zarcillos.

Cuadro 8. Análisis de varianza de la variable número de zarcillos (NZ) de *Apodanthera aspera*.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de F	Pr. F
BLO	4	11.76	2.94	0.46	0.76
TRA	4	77.36	19.34	3.05	0.048

TRA = Tratamiento, BLO = Bloque.

Al realizar el análisis de los resultados de las pruebas para la verificación de supuestos del modelo matemático, se encontró que los errores no siguen una distribución normal ($p = 0.04$). Debido a que no se cumplió el supuesto de normalidad, se realizó la transformación de los valores originales de la variable NZ con la función $T = \ln(y + 1)$, donde y = valor real de la variable NZ y T = valor transformado. Con los valores transformados se repitió el ANOVA y la comprobación de los supuestos del modelo.

De acuerdo con los resultados del ANOVA de los valores transformados se encontró que al menos uno de los tratamientos aplicados tiene efecto en la formación de zarcillos ($p = 0.02$). Además, no se encontró efecto del bloque en la variable respuesta ($p = 0.84$) (Cuadro 9).

Cuadro 9. Análisis de varianza con los datos de la variable número de zarcillos (NZ) de *Apodanthera aspera* transformados con $\ln+1$.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de F	Pr. F
BLO	4	0.65	0.16	0.35	0.84
TRA	4	7.52	1.88	4.09	0.02

TRA = Tratamiento, BLO = Bloque.

En la comprobación de supuestos del ANOVA con valores transformados, se encontró que debido a la transformación los residuales siguen una distribución normal ($p = 0.78$). Se observó que las varianzas no se distribuyen en forma de triángulo, por lo que se concluye que son homogéneas (Figura 15). No se encontró interacción entre los tratamientos y bloques ($p = 0.69$). Por todo lo anterior, se concluyó que los supuestos del modelo se cumplen y que el ANOVA con valores transformados de la variable NZ es válido.

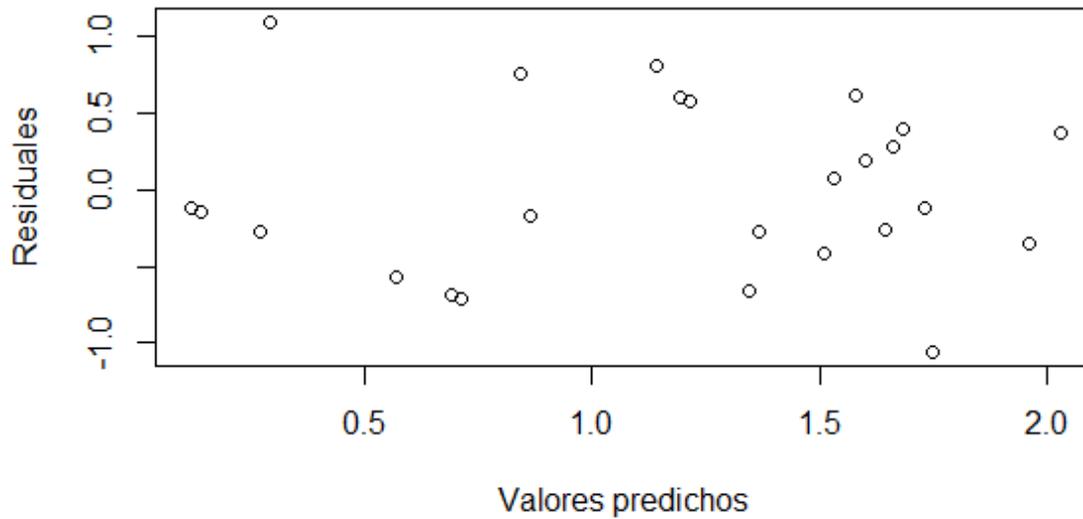


Figura 15. Prueba de homogeneidad de varianzas de los valores transformados de la variable número de zarcillos (NZ) de *Apodanthera aspera*.

La prueba de comparación de medias mostró que las plantas en las que se aplicaron soluciones nutritivas a 0.36 y 0.50 atm produjeron la mayor cantidad de zarcillos, con un incremento de cuatro veces mayor, en comparación con el testigo. En la Figura 16, se ilustra la respuesta de formación de zarcillos de *Apodanthera aspera* en función de la presión osmótica de la solución nutritiva.

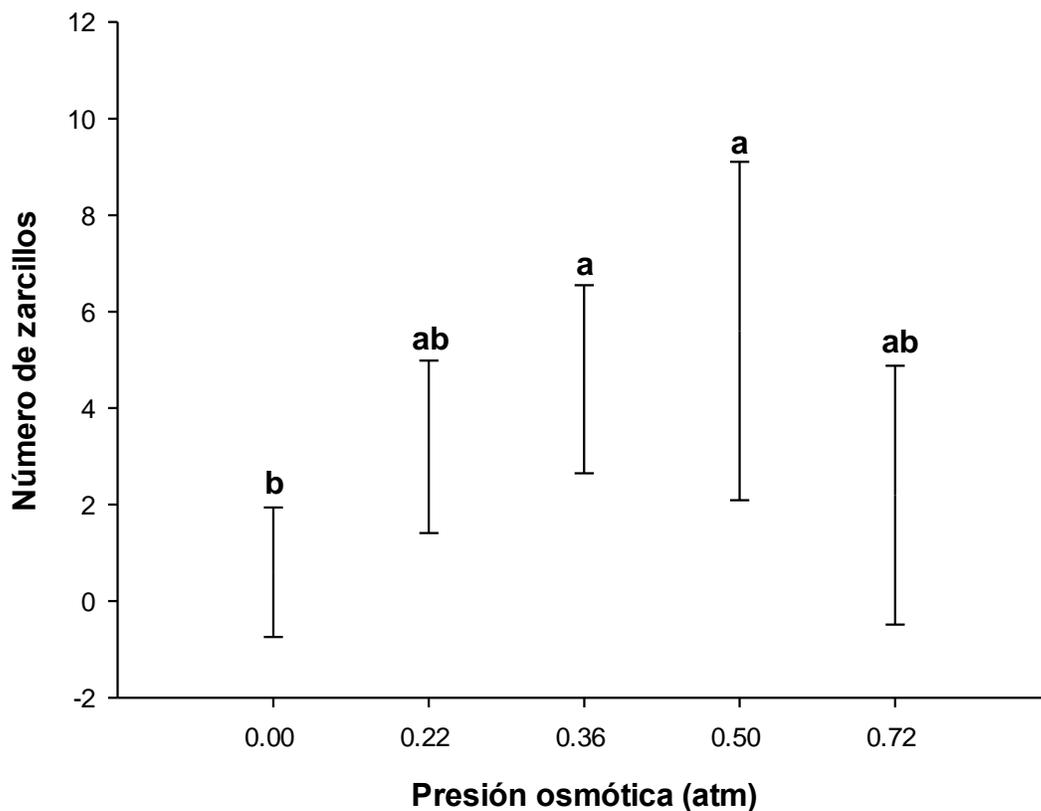


Figura 16. Efecto de la aplicación de la solución nutritiva de Steiner a diferentes presiones osmóticas regadas en una mezcla de perlita - suelo relación 1:2, en el número de zarcillos (NZ) de plantas de *Apodanthera aspera*.

Área foliar (AF)

Los resultados del ANOVA de la variable área foliar (AF), revelaron que al menos una de las soluciones nutritivas aplicada produjo un efecto estadísticamente diferente sobre esta variable en plantas de *A. aspera* ($p = 0.0001$). No se encontró efecto del bloque sobre la variable respuesta ($p = 0.65$) (Cuadro 10).

Cuadro 10. Análisis de varianza de la variable área foliar (AF) de *Apodanthera aspera*.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de F	Pr. F
BLO	4	5661	1415	0.63	0.65
TRA	4	365750	91437	40.46	0.0001

TRA = Tratamientos, BLO = Bloque.

Al realizar el análisis de los resultados para la verificación de supuestos del modelo matemático, se encontró que a pesar de que los errores siguen un comportamiento normal ($p = 0.64$), las varianzas tienen un patrón pronunciado hacia la derecha, indicador de que las varianzas son heterogéneas (Figura 17). Por tal razón, fue necesario realizar la transformación de los valores de AF con la intención de cumplir el supuesto, utilizando la función matemática de raíz cuadrada. Se utilizó la fórmula $T = \sqrt{AF}$, donde: T = el valor transformado y AF = el valor original del área foliar.

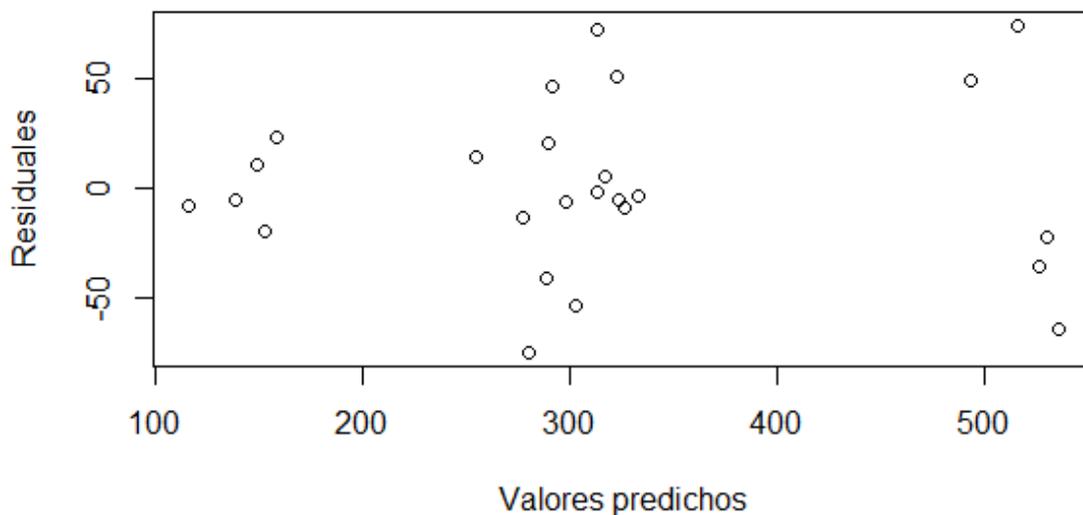


Figura 17. Prueba de homogeneidad de varianzas por el método gráfico de la variable área foliar (AF) de *Apodanthera aspera*.

El análisis de los resultados del ANOVA con los datos transformados de AF, mostró que al menos uno de los tratamientos aplicados tuvo un efecto en el área foliar de *A. aspera* ($p = 0.0001$). No se encontró efecto de los bloques sobre la variable respuesta ($p = 0.41$) (Cuadro 11).

Cuadro 11. Análisis de varianza de los valores transformados de área foliar (AF) en plantas de *Apodanthera aspera*.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de F	Pr. F
BLO	4	7.36	1.84	1.05	0.41
TRA	4	299.61	74.90	42.80	0.0001

TRA = Tratamiento, BLO = Bloque.

En la comprobación de los supuestos del modelo matemático del ANOVA con datos transformados, se encontró que los errores siguen una distribución normal ($p = 0.85$). Debido a la transformación, se observó que las varianzas se distribuyeron homogéneamente (Figura 18). No hubo interacción entre los tratamientos y bloques ($p = 0.06$). Con base en estos resultados, se concluyó que los supuestos del modelo se cumplen y el ANOVA es válido.

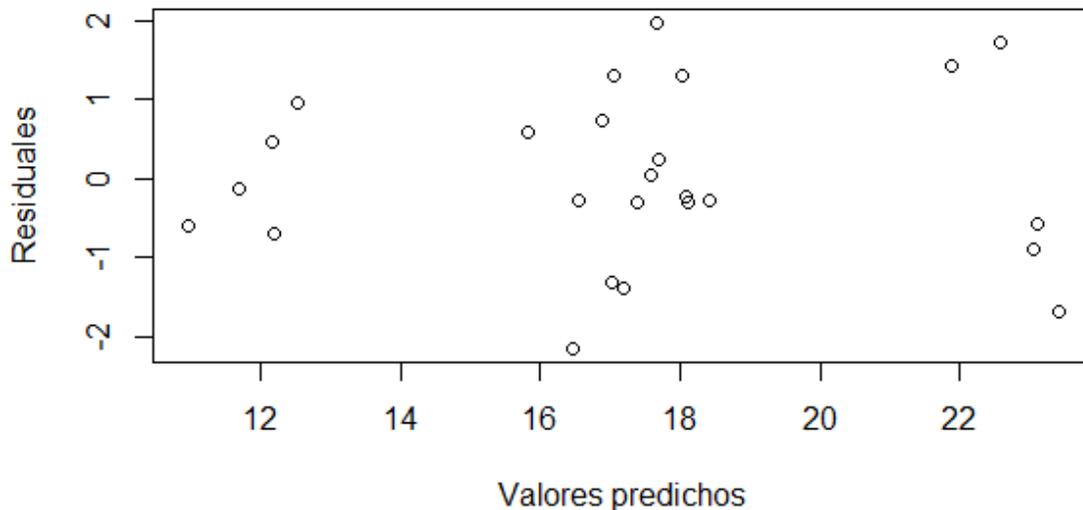


Figura 18. Pruebas de homogeneidad de varianzas con los datos transformados de área foliar (AF) en plantas de *Apodanthera aspera*.

Debido a la transformación de los valores de AF, el análisis de los resultados de la prueba de comparación de medias se realizó con las medias de los valores transformados, que se presentan en cm^2 . La reparametrización se realizó utilizando la ecuación $y = (T)^2$, donde, y = valor real de AF y T = valor transformado.

La prueba de comparación de medias mostró que las plantas donde se aplicó la solución nutritiva con 0.36 atm obtuvieron la mayor área foliar, en comparación con el testigo; el incremento fue de 266.73%. Las plantas en donde se aplicó las soluciones a 0.22, 0.50 y 0.72 atm, produjeron resultados semejantes, con un incremento promedio de 111.38%. Conforme se fue incrementando la presión osmótica el punto más alto de expansión foliar fue a 0.36 atm, después disminuyó el AF en un 155.35% (Figura 19).

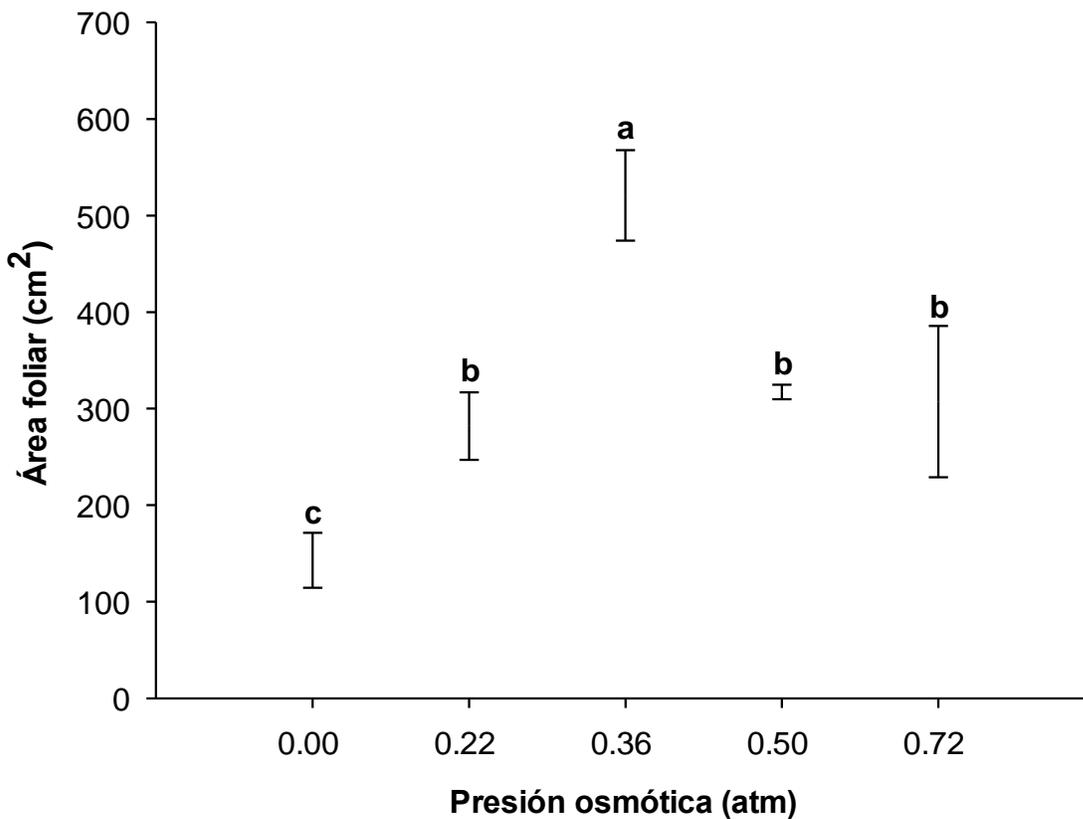


Figura 19. Efecto de la aplicación de la solución nutritiva de Steiner a diferentes presiones osmóticas regadas en una mezcla de perlita - suelo relación 1:2, en el área foliar (AF) de *Apodanthera aspera*.

Peso seco de tallos (PST)

Los resultados del ANOVA de la variable peso seco de tallos (PST), mostraron que al menos una de las soluciones nutritivas aplicadas produjo un efecto estadísticamente diferente en la acumulación de materia seca en los tallos de *A. aspera* ($p = 0.0001$). Por otro lado, no se encontró evidencia estadística que indique el efecto de los bloques en la variable respuesta ($p = 0.97$) (Cuadro 12).

Cuadro 12. Resultados del análisis de varianza de la variable respuesta peso seco de tallos (PST) de *Apodanthera aspera*.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de F	Pr. F
BLO	4	0.01	0.002	0.14	0.97
TRA	4	3.25	0.81	57.42	0.0001

TRA = Tratamientos, BLO = Bloques.

En la comprobación de los supuestos del modelo matemático, se encontró que el comportamiento de los errores sigue una distribución normal ($p = 0.93$). Se observó que las varianzas se distribuyen homogéneamente (Figura 20). No existe interacción entre los bloques y tratamientos ($p = 0.26$). Por todo lo anterior, se concluyó que todos los supuestos del modelo se cumplen y el ANOVA es válido, por lo que se realizó la prueba de comparación de medias.

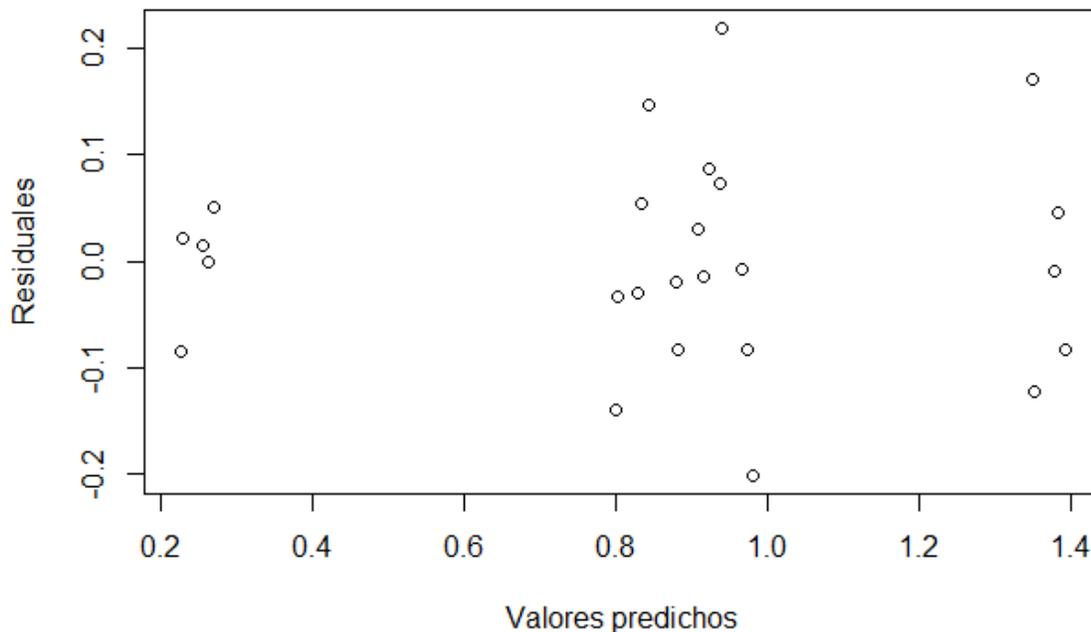


Figura 20. Prueba de homogeneidad de varianza por el método gráfico de la variable peso seco de tallos (PST) de *Apodanthera aspera*.

A partir de los resultados de la prueba de comparación de medias por el método de Tukey ($p = 0.05$), se observó que la aplicación de la solución nutritiva a 0.36 atm, produjo la mayor acumulación de materia seca en los tallos de *A. aspera*. El incremento fue de 448% en comparación con lo obtenido en plantas regadas con agua destilada (testigo). Las soluciones a 0.22, 0.50 y 0.72 atm, produjeron un efecto semejante en la acumulación de materia seca, el incremento promedio fue del 260.75%. Conforme se fue incrementando la presión osmótica de la solución nutritiva, las plantas de *A. aspera* incrementaron la acumulación de materia seca en los tallos hasta una presión osmótica de 0.36 atm, posteriormente disminuyó la capacidad de acumulación de materia seca a

presiones más altas. Los resultados de la prueba de comparación de medias de PST se presentan en la Figura 21.

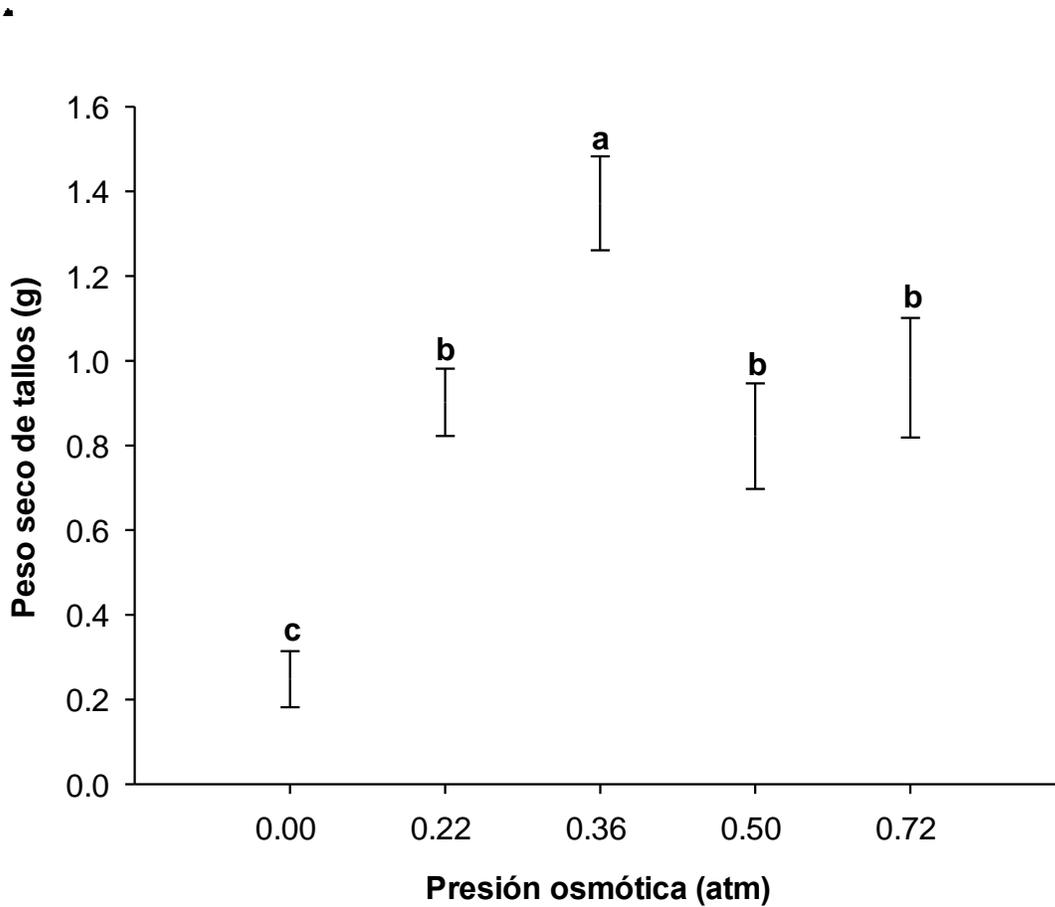


Figura 21. Efecto de la aplicación de la solución nutritiva de Steiner a diferentes presiones osmóticas regadas en una mezcla de perlita – suelo relación 1:2, en el peso seco de tallos (PST) de *Apodanthera aspera*.

Peso seco de hojas (PSH)

Los resultados del ANOVA de la variable peso seco de hojas (PSH), mostraron que al menos uno de los tratamientos aplicados tuvo un efecto estadísticamente diferente ($p = 0.0001$) en la acumulación de materia seca en las hojas de *A. aspera*. También mostró que al menos uno de los bloques tuvo un efecto estadísticamente diferente en la variable respuesta PSH ($p = 0.03$) (Cuadro 13).

Cuadro 13. Análisis de varianza de la variable peso seco de hojas (PSH) de *Apodanthera aspera*.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de F	Pr. F
BLO	4	0.34	0.08	3.66	0.03
TRA	4	15.37	3.84	166.64	0.0001

TRA = Tratamiento, BLO = Bloque.

En los resultados de las pruebas para verificación de supuestos del modelo matemático, se observó que los errores siguen una distribución normal ($p = 0.56$). Se observó que las varianzas forman patrones aparentes, por lo que se distribuyen homogéneamente (Figura 22). No se encontró interacción entre los bloques y tratamientos ($p = 0.46$). Por todo lo anterior, se llegó a la conclusión de que los supuestos se cumplen y que el ANOVA es válido.

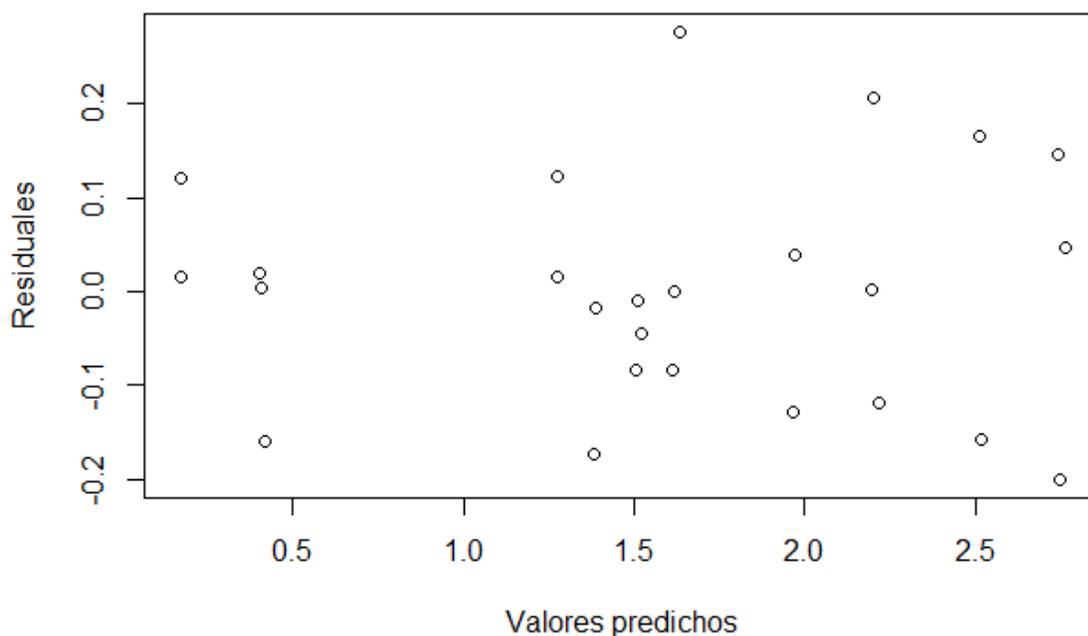


Figura 22. Prueba de homogeneidad de varianzas por el método gráfico de la variable peso seco de hojas (PSH) de *Apodanthera aspera*.

La prueba de comparación de medias para tratamientos por el método de Tukey ($p = 0.05$), mostró que la aplicación de la solución nutritiva incrementó la materia seca en hojas de *A. aspera* con respecto al testigo, tratado solo con agua destilada. La

solución nutritiva a 0.36 atm fue la que indujo mayor acumulación de peso seco en las hojas, le siguió en efecto el tratamiento con 0.72 atm y finalmente los tratamientos con solución a 0.22 y 0.50 atm. A 0.32 atm el incremento fue de 746.5%, con la solución con 0.72 atm se obtuvo 572.61%, y finalmente las soluciones a 0.22 y 0.50 atm produjeron en promedio un incremento del 369.11%. Los resultados se presentan en la Figura 23.

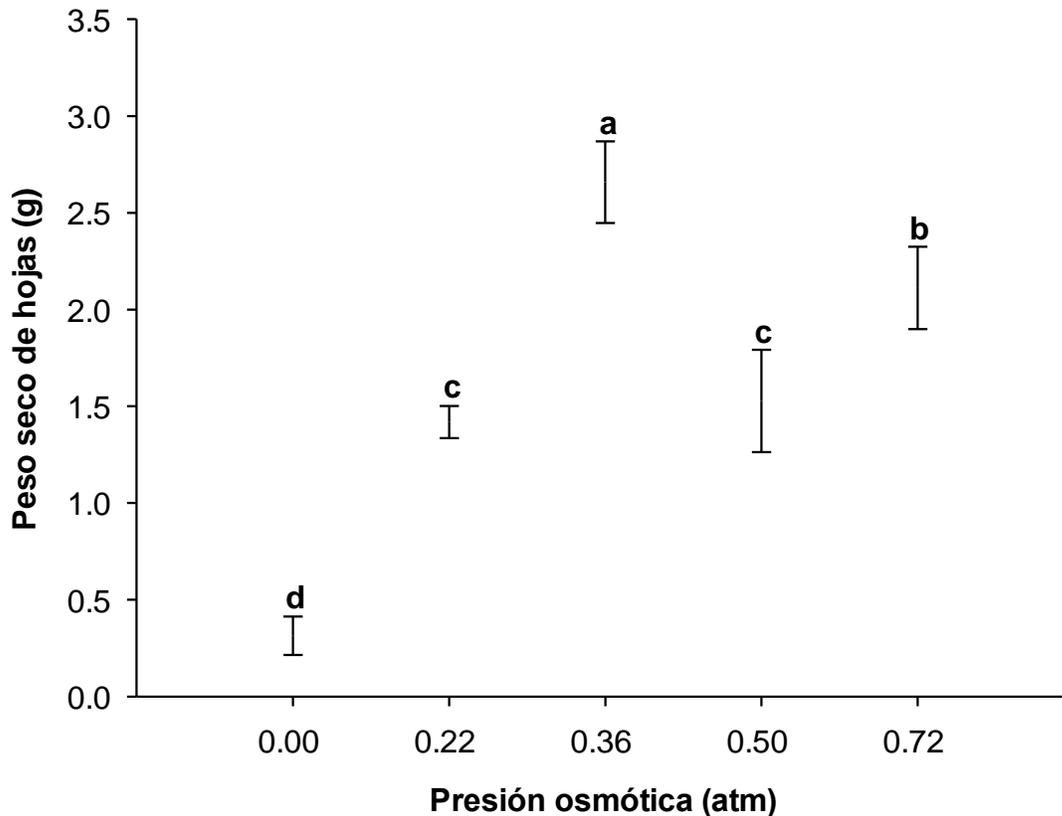


Figura 23. Efecto de la aplicación de la solución nutritiva de Steiner a diferentes presiones osmóticas regadas en una mezcla de perlita - suelo relación 1:2, en el peso seco de hojas (PSH) de *Apodanthera aspera*.

Peso seco de raíz (PSR)

El ANOVA de la variable peso seco de raíz (PSR), mostró que al menos uno de los tratamientos produce un efecto estadísticamente diferente ($p = 0.001$) en la acumulación de materia seca en la raíz de *A. aspera*. No se encontró evidencia estadística que indique que los bloques produzcan un efecto sobre la variable respuesta ($p = 0.96$) (Cuadro 14).

Cuadro 14. Análisis de varianza de la variable peso seco de raíz (PSR) de *Apodanthera aspera*.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de F	Pr. F
BLO	4	0.11	0.03	0.14	0.96
TRA	4	17.65	4.41	22.54	0.001

TRA = Tratamiento, BLO = Bloque.

Los resultados de la comprobación de los supuestos del modelo matemático, mostraron los errores siguen una distribución normal ($p = 0.08$). Se observó que, pese a que existe una aparente separación de las varianzas, no se detectó un patrón en la distribución, por lo que se concluyó que se distribuyen homogéneamente (Figura 24). La prueba de no interacción, no detectó interacción entre los tratamientos y bloques ($p = 0.25$). Con base en estos resultados, se concluyó que los supuestos del modelo se cumplieron y que el ANOVA es válido, por lo que se realizó la prueba de comparación de medias.

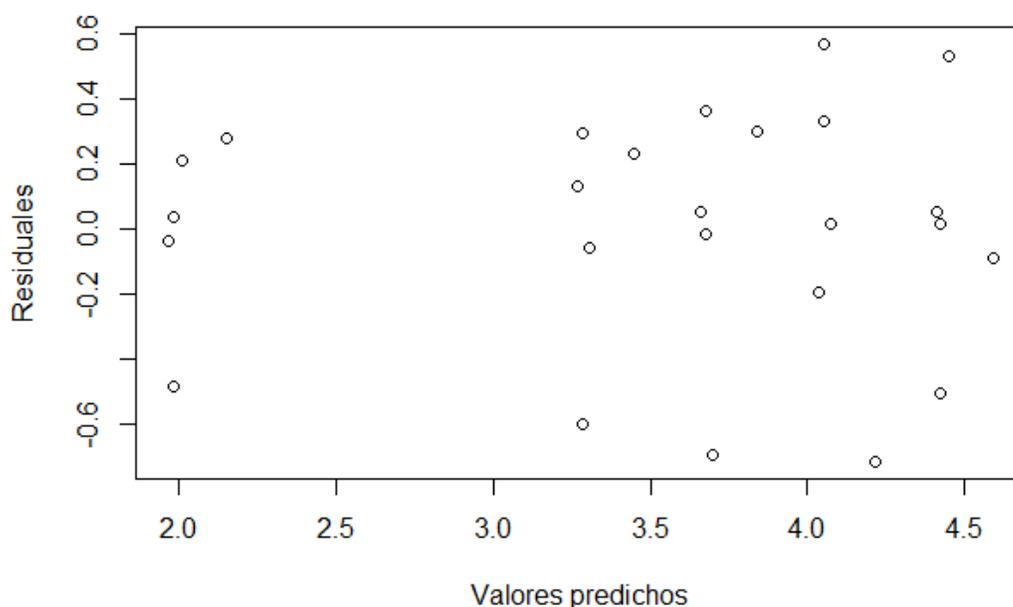


Figura 24. Prueba de homogeneidad de varianzas por el método gráfico de la variable peso seco de raíz (PSR) de *Apodanthera aspera*.

De acuerdo con la prueba de comparación de medias, las soluciones nutritivas a 0.22, 0.36, 0.50 y 0.72 atm incrementaron el peso seco de la raíz de *A. aspera* con respecto al testigo. La media mayor de esta variable se obtuvo al aplicar la solución a

0.50 atm con un incremento de 120.7%, Le siguieron en promedio los pesos de los tratamientos con solución nutritiva a 0.36 y 0.72 atm, en los que el incremento fue de 102.28 y 83%, respectivamente. La aplicación de solución a 0.22 atm incrementó 64% el peso de la materia seca en la raíz de *A. aspera*, que representó la media menor de todos los tratamientos probados como se muestra en la Figura 25.

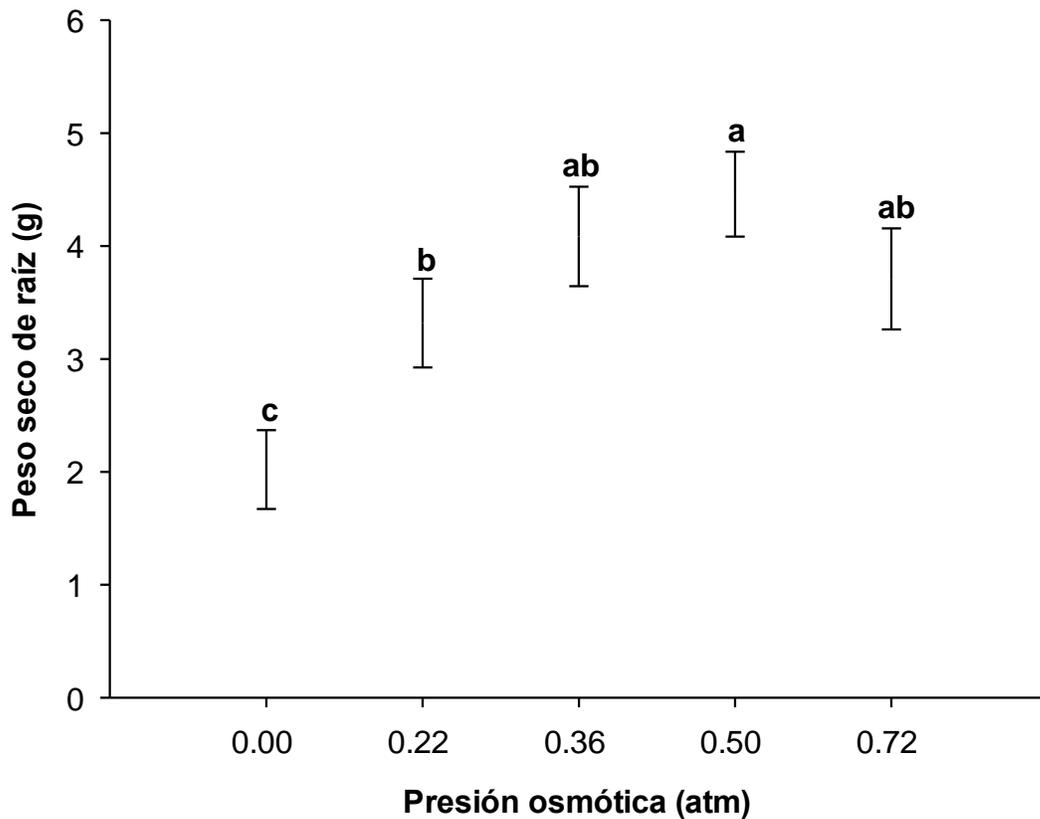


Figura 25. Efecto de la aplicación de solución nutritiva de Steiner a diferentes presiones osmóticas regadas en una mezcla de perlita - suelo relación 1:2, en el peso seco de la raíz (PSR) de *Apodanthera aspera*.

Peso seco total (PSTOT)

Los resultados del ANOVA de la variable peso seco total (PSTOT), indicaron que al menos uno de los tratamientos tuvo un efecto diferente en el peso seco total de *A.*

aspera ($p = 0.0001$). No se encontró efecto de los bloques en la variable respuesta ($p = 0.63$) (Cuadro 15).

Cuadro 145. Análisis de varianza de la variable peso seco total (PSTOT) de *Apodanthera aspera*.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de F	Pr. F
BLO	4	0.70	0.18	0.66	0.63
TRA	4	101.46	25.37	94.65	0.0001

TRA = Tratamiento, BLO = Bloque.

Las pruebas de comparación de supuestos del modelo matemático, encontraron evidencia estadística de que los errores siguen una distribución normal ($p = 0.16$). Se observó que la distribución de las varianzas no formó patrones aparentes, por lo que se concluyó que es homogénea (Figura 26). No se encontró interacción entre los tratamientos y bloques ($p = 0.35$). Por todo lo anterior, se concluyó que los supuestos del modelo matemático se cumplen y que el ANOVA en la variable PSTOT es válido.

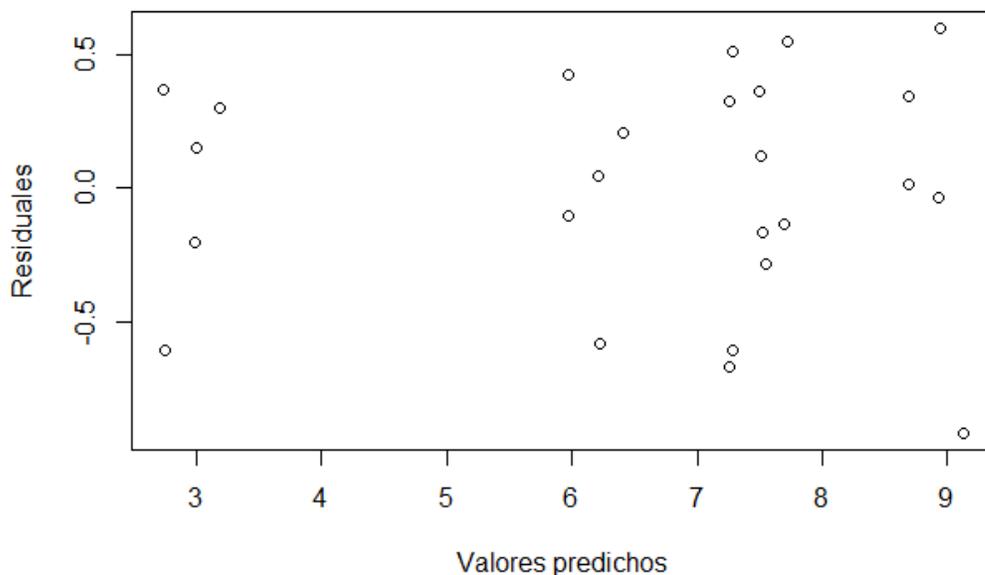


Figura 26. Prueba de homogeneidad de varianzas por el método grafico de la variable peso seco total (PSTOT) en *Apodanthera aspera*.

La prueba de comparación de medias mostró que todos los tratamientos con solución nutritiva incrementaron el peso seco total de las plantas de *A. aspera*. Reflejo de lo descrito anteriormente en tallo, hojas y raíz. El tratamiento con solución nutritiva a

0.36 atm de presión osmótica, promovió un incremento de 202.66% de materia seca total con respecto al testigo. Por otro lado, las soluciones a 0.52 y 0.72 atm incrementaron en promedio 154.40%. Al aplicar riego con solución a 0.22 atm el incremento fue de 110.10%. Los resultados se muestran en la Figura 27.

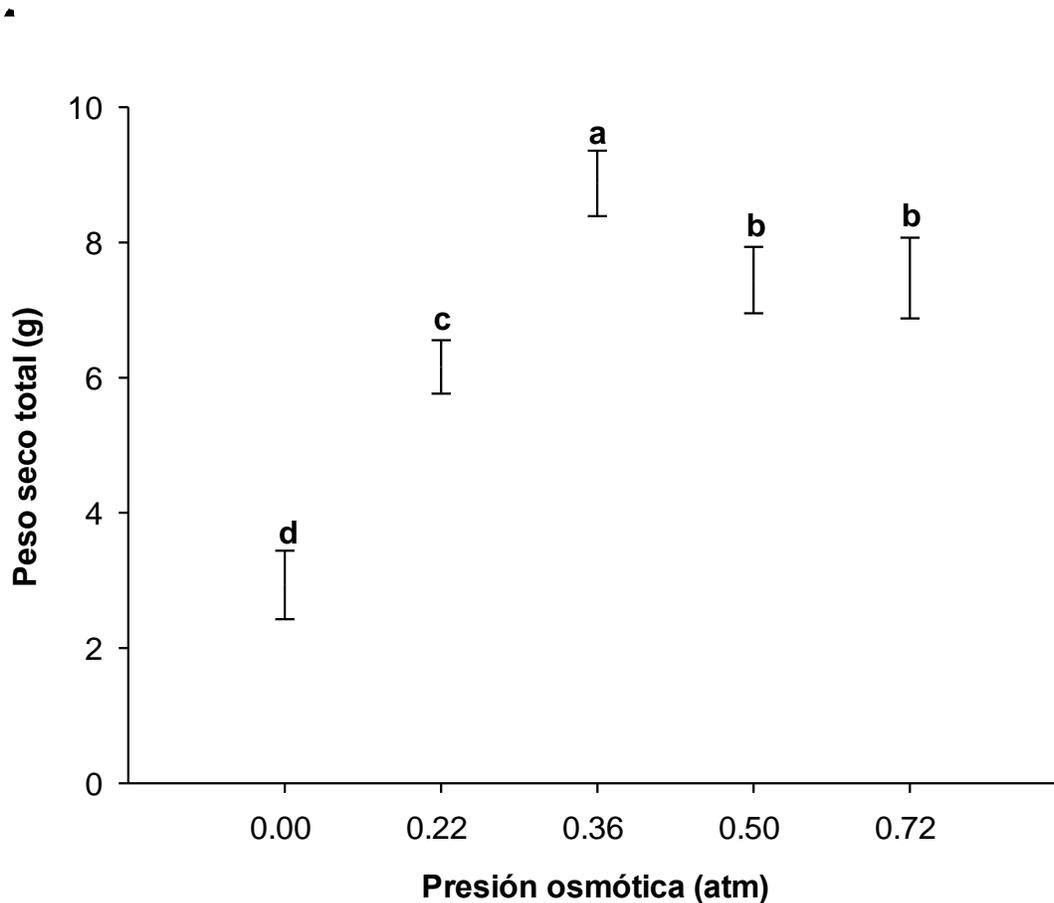


Figura 27. Efecto de la aplicación de la solución nutritiva de Steiner a diferentes presiones osmóticas regadas en una mezcla perlita - suelo relación 1:2, en la acumulación del peso seco total (PSTOT) de *Apodanthera aspera*.

Distribución de la materia seca

En todos los tratamientos y el testigo, el mayor porcentaje de materia seca se presentó en la raíz, seguido de las hojas y finalmente los tallos (Figura 28). La raíz del testigo acumuló 69%. Le siguieron los tratamientos con solución nutritiva a 0.5, 0.22, 0.72 y 0.36 atm, que acumularon 60, 54, 50 y 46% de materia seca, respectivamente. En la Figura 27, se observa que, al incrementar la presión osmótica de la solución nutritiva, el

peso seco de la raíz fue disminuyendo, y en contraste el de las hojas mostró incremento. El mayor peso de materia seca total de las hojas fue de 30%, y se obtuvo cuando se aplicó solución nutritiva a 0.36 atm. Cuando se aplicó solución a 0.72 atm el incremento en peso de la materia seca de las hojas fue de 28%. Esto representó incrementos de 19% y 17%, respectivamente. Los tratamientos con solución a 0.50 y 0.22 atm, presentaron porcentajes menores de materia seca total, 23 y 20%, respectivamente, lo que representa incrementos de 12 y 9%, respectivamente. El tallo fue el órgano que presentó el menor porcentaje de peso seco total, así como menor variación entre tratamientos. El valor más alto (15%) se registró en plantas de *A. aspera* tratadas con solución nutritiva a 0.22 y 0.36 atm. Al incrementar la presión osmótica de la solución a 0.5 y 0.72 atm, se detectaron solo incrementos de 11 y 13% de materia seca en tallo.

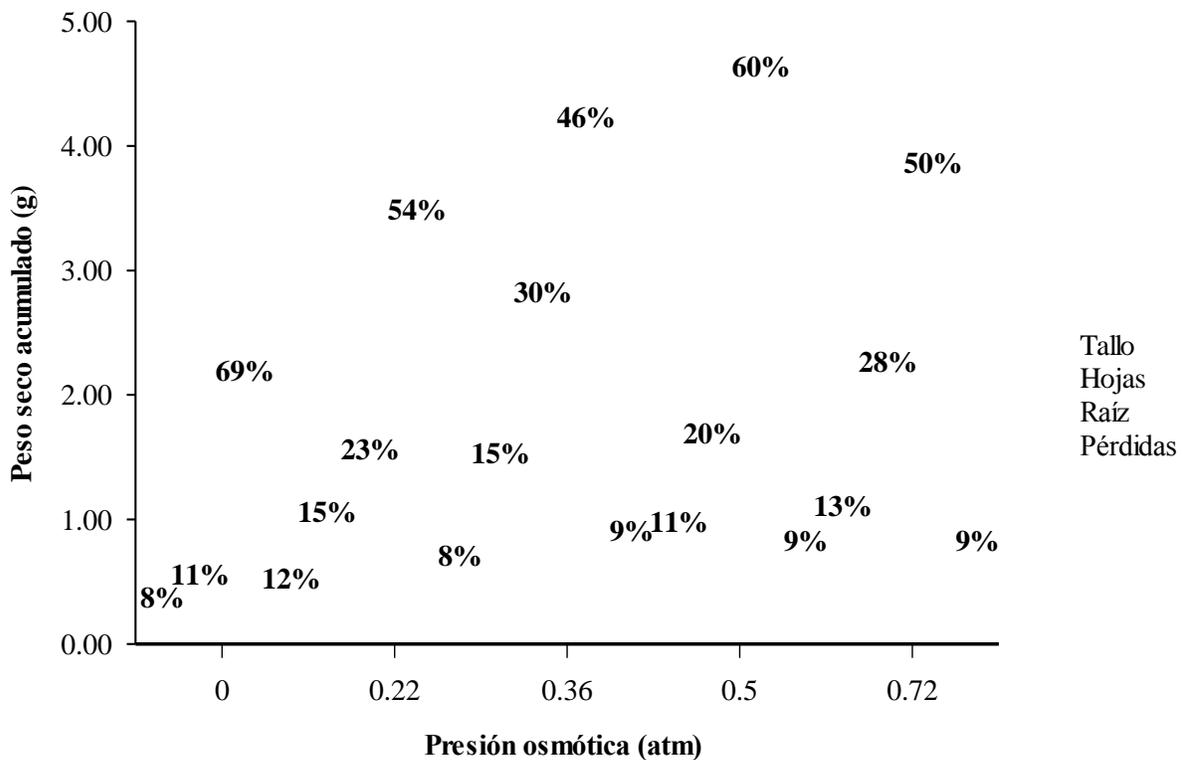


Figura 28. Distribución de materia seca total en los diferentes órganos de plantas de *Apodanthera aspera* sometidas a riego con solución nutritiva de Steiner a diferentes presiones osmóticas en una mezcla de perlita - suelo relación 1:2.

VIII. DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados en *A. aspera*, se lograron identificar tres estadios principales, con algunos mesoestadios, comprendidos entre la etapa vegetativa y la cosecha. Los estadios identificados son semejantes al comportamiento típico de las especies cultivadas de cucurbitáceas, con la única diferencia de que el tiempo de crecimiento en *A. aspera* es mucho más largo. Esto se observó desde el momento de la emergencia, que ocurrió a los 17 días. Por ejemplo: *Cucumis sativus* necesita de 5-6 días para emerger, en *Cucumis melo* es de 4-5 y *Cucurbita moschata* es de 7-10 días. Lo anterior puede ser causado por múltiples factores ambientales y genéticos. De acuerdo con Abbo *et al.* (2014), las especies silvestres tienden a tener una capacidad de germinación menor a las especies cultivadas, pero contienen una mayor capacidad genética para adaptarse a nuevos medios físicos. Posiblemente, el retraso en la emergencia fue causado por el tiempo de imbibición, la deformación de las hojas cotiledonares a causa de una testa muy dura, el sustrato y la temperatura. Para el periodo vegetativo, en las especies cultivadas *C. sativus*, *C. melo* y *C. moschata* es de 15-24, 9-40, 7-40 DDS, respectivamente. En el caso de *A. aspera*, el ciclo vegetativo se extendió hasta 155 días, sin generar ninguna flor. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Delesalle (1989), en los que indica que plantas pequeñas con entrenudos cortos y de poca edad como *A. undulata* no producen flores, lo que se explica por el genotipo así como el micro sitio en el que se desarrollan. Fenotípicamente, las hojas cotiledonares son típicas de las cucurbitáceas. No obstante, en las primeras hojas verdaderas se puede detectar cambios morfológicos, como en *A. aspera*. El tutoreo permitió observar que la planta puede permanecer en forma vertical, tal y como sucede con el pepino. Así, es posible eliminar los tallos secundarios, con la intención de que los asimilados se dirijan a la raíz u hojas en los primeros años de vida de *A. aspera*.

La altura de planta obtenida durante el presente ensayo fue semejante a los materiales que fueron descritos por Delesalle (1989, 1992) y Lira y Rodríguez (1999): plantas alargadas con ramas de hasta dos metros de largo. Aunque la altura de planta es una variable que puede representar crecimiento, no es recomendable considerarla para el análisis de crecimiento de *A. aspera*. En general, se observaron diferencias

estadísticas entre el testigo y los tratamientos, lo que indica que *A. aspera* responde a la aplicación de nutrientes de origen inorgánico.

En la formación de zarcillos, se incrementó a 0.50 atm, pero este órgano no está relacionado directamente con la formación principal de estructuras de *A. aspera*, sino que responde al manejo en el que se encuentra creciendo la planta. Debido a que es una planta de hábito de crecimiento rastrero, se pensaba que los zarcillos podrían servir para trepar. Los resultados indican que la planta puede ser manejada con tutores, como la mayoría de las cucurbitáceas.

Al analizar los resultados de AF, NN y PSH se observó que las variables se encuentran ampliamente relacionadas, conforme se incrementó la concentración de la solución nutritiva. La materia seca de las hojas aumentó, así como el área foliar, pero a presión osmótica de 0.50 atm se observó una disminución tanto en el AF y el PSH, que posiblemente está relacionada con el grosor de las hojas, lo que puede explicar la disminución del peso seco. Por otro lado, según Gibson (1996) las cucurbitáceas en los desiertos requieren de un abundante suministro de humedad del suelo para enfriar hojas relativamente anchas. *Citrullus colocynthis*, *Cucurbita palmata*, *C. digitata* y *Apodanthera undulata* son aridoactivos, esto explicaría porque *A. aspera* incrementa rápidamente el área foliar, pese a que la acumulación de materia seca en las hojas sea menor.

El análisis de PST mostró que a 0.36 atm se obtuvo la mayor acumulación de peso seco. Delesalle (1989) indica que ésta es una variable relacionada con la expresión floral y la formación de frutos, ya que con entrenudos cortos y tallos delgados, además de la edad de la planta, solo se producen flores masculinas. Hasta este momento las plantas de *A. aspera* que recibieron este tratamiento tendrían la mayor probabilidad de desarrollar flores femeninas, pero dependerá también del micro sitio en el que se desarrollen.

El PSR se incrementa conforme aumenta la concentración de la solución nutritiva. Los fotosintatos se acumularon en la raíz, órgano de reserva, particularmente cuando se usó solución nutritiva a 0.50 atm. No obstante, a 0.72 atm el PSR decreció. De acuerdo con Schildwach (1989), una presión osmótica relativamente alta, provoca un ligero estrés hídrico que se puede manifestar en inhibición del crecimiento vegetativo, mientras

que la producción de carbohidratos se canaliza preferentemente a la raíz. A una mayor presión, es posible que la entrada de agua disminuya, así como la entrada de nutrientes. Por otro lado, las cucurbitáceas que crecen en el desierto, tienen un órgano de almacenamiento con alta capacidad de proporcionar parte del agua para las altas tasas de transpiración y para producir altas presiones radicales para rellenar los vasos de los brotes (Gibson, 1996). Dado que, bajo condiciones áridas y semiáridas, las raíces tienen que aprovechar eficientemente el agua del suelo, esto conlleva el aumento de la concentración de metabolitos secundarios, lo que explicaría porque *Apodanthera aspera* es muy apreciada en el mercado.

La distribución de los asimilados en las plantas de *A. aspera* corresponde a lo descrito por Covarrubias (2008). La falta de agua induce respuestas que modifican la morfología, fisiología y metabolismos de las plantas, que puede reflejarse en el incremento de la relación peso seco raíz: parte aérea.

Finalmente, cuando hay la disponibilidad de nutrientes, *A. aspera* dirige los fotoasimilados hacia la raíz, favoreciendo la acumulación de compuestos de reserva que permitirá la formación de nuevos tallos anuales.

IX. CONCLUSIONES

- El uso de la solución nutritiva de Steiner con diferentes presiones osmóticas aplicadas al suelo bajo condiciones de invernadero modifica el peso seco de *A. aspera* en comparación con el testigo, principalmente de la raíz seguido por las hojas y finalmente tallos.
- La solución nutritiva de Steiner a 0.36 atm produce un aumento en la formación de nudos en las plantas de *A. aspera*.
- Con la solución nutritiva de Steiner a 0.50 atm de presión osmótica se estimula la formación de zarcillos en las plantas de *A. aspera*.
- El área foliar de *A. aspera* aumentó en función de la presión osmótica de la solución nutritiva, logrando el mayor incremento a 0.36 atm.
- La materia seca de *Apodanthera aspera* se distribuye diferencialmente, dependiendo de la presión osmótica de la solución nutritiva de Steiner.

X. LITERATURA CITADA

- Abbo, S., Pinhasi, O.R, Gopher, A., Saranga, Y., Ofner, I. y Peleg, Z. 2014.** Plant domestication versus crop evolution: a conceptual framework for cereals and grain legumes. *Trends in plant science*. Elsevier Ltd 19(6): 351–360. doi: 10.1016/j.tplants.2013.12.002
- Aho, K. 2014.** Foundational and Applied Statistics for Biologists using R. CRC/Taylor and Francis, Boca Raton, FL. ISBN: 978-1-4398-7338-0.
- Andrade-cetto, A. y Heinrich, M. 2005.** Mexican plants with hypoglycaemic effect used in the treatment of diabetes, *Journal of ethnopharmacology* 99(3): 325–348. doi: 10.1016/j.jep.2005.04.019
- Arellanes, Y., Casas A., Arellanes, A., Vega, E., Blancas, J., Vallejo, M., Torres, I., Rangel-Landa, S., Moreno, A.I., Solís, L. y Pérez-Negrón, E. 2013.** Influence of traditional markets on plant management in the tehuacán valley. *Journal of ethnobiology and ethnomedicine*. Biomed central, 9(1): 38. doi: 10.1186/1746-4269-9-38
- Belgrano, M. J. y Pozner, R. 2017.** Synopsis of the genus *Apodanthera* (Cucurbitaceae, Coniandreae). *Darwiniana*, 5(1): 5–50. doi: 10.14522/darwiniana.2017.51.716
- Blancas, J., Casas, A., Pérez-Salicrup, D., Caballero, J and Vega, E. 2013.** Ecological and sociocultural factors influencing plant management in Nahuatl communities of the Tehuacan Valley, Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 9:39 .
- Bleiholder, H., Buhr, L., Feller, C., Hack, H., Hess, M., Klose, R., Meier, U., Stauss, R., Van den boom, T. y Weber, E. 1998.** Compendio para la identificación de los estadios fenológicos de especies mono- y dicotiledóneas cultivadas: escala BBCH versión extendida. Centro federal de investigaciones biológicas para la agricultura y silvicultura, Alemania (bba). Alemania. pp. 123. disponible en: https://www.agro.basf.es/documents/es_files/pdf_1_files/services_files/descarga.pdf.
- Carrillo ., A. Y. 2017.** Evaluación bromatologica, determinacion de factores tóxicos y caracterizacion de la fraccion proteica de la almendra de calabaza hedionda (*Apodanthera undulata*).UNAM. Tesis. pp. 102.
- Christenhusz, M. J., Fay, M. F. y Chase, M. W. 2017.** Plants of the world : an illustrated encyclopedia of vascular plants. University of Chicago Press. EE.UU. pp. 816.
- Clark, D., Tupa, M., Bazán, A., Chang, L. y Gonzáles, W. 2012.** Composición química de *Apodanthera biflora*, una cucurbitácea del bosque seco del noroeste peruano. *Revista peruana de biología* 19(2): 199–203. doi: 10.15381/rpb.v19i2.841
- CONABIO. 2009.** Enciclovida: Chichicamole (*Apodanthera aspera*). Available at:

<http://bios.conabio.gob.mx/especies/6018071> (Accessed: 2 May 2017).

- CONABIO. 2017.** Capital natural de México 91: 399–404. Available at: https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/capnatmex/sintesis_cnm_2017.pdf.
- CONABIO. 2019.** Enciclopedia · chichicamole (*Apodanthera aspera*). available at: <http://www.enciclopedia.mx/especies/6018071> (accessed: 28 February 2019) (Accessed: 15 June 2019).
- CONANP. 2013.** Plan de manejo Tehuacan-Cuicatlan. Available at: https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/tehuacan_2013.pdf (Accessed: 1 March 2019).
- CONAPO. 2017.** Datos de proyecciones | Consejo nacional de población. Available at: http://www.conapo.gob.mx/es/conapo/proyecciones_datos (Accessed: 20 July 2018).
- CONEVAL. 2016.** Pobreza en México. Available at: <https://coneval.org.mx/medicion/paginas/pobrezainicio.aspx> (Accessed: 12 June 2019).
- Curiel, B. A., Garibay, C. M., Ramos, D. S., Ramírez, O. G., Amaya, A. F. y Ruiz, C. J. 2015.** El clima cambiante: Conocimientos para la adaptación en Jalisco. doi: 10.1016/S0022-5347(01)61832-9.
- Delesalle, V. A. 1989.** Year-to-year changes in phenotypic gender in a monoecious cucurbit, *Apodanthera undulata*. *American Journal of Botany*, 76(1), pp. 30–39.
- Delesalle, V. A. 1992.** Architecture and gender allocation: floral sex expression along branches of the monoecious cucurbit, *Apodanthera undulata*, *International Journal Plant Science*, 153: 108–116.
- Dittmer, H. J. y Talley, B. P. 1964.** Gross morphology of tap roots of desert cucurbits. *Botanical Gazette*, 125(2): 121–126. doi: 10.1086/336256.
- Edwin, J., Siddaheswar, B. J. y Dharam, C. J. 2008.** Diabetes and herbal medicines. *Iranian Journal of Pharmacology and Therapeutics*, 7(1): 97–106. Available at: <http://ijpt.iuims.ac.ir/article-1-149-en.pdf>.
- Ehrenkranz, J. 2017.** (12) patent application publication (10) pub . no . : us 2006 / 0222585 a1 figure 1', 002(15), p. 7.
- FAO. 2009.** Foro de expertos de alto nivel: la agricultura mundial en la perspectiva del año 2050. Available at: http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/issues_papers/issues_papers_sp/la_agricultura_mundial.pdf (Accessed: 31 October 2018).
- Gibson, A. C. 1996.** Structure-function relations of warm desert plants. 1st edn. Springer Berlin Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-642-60979-4.

- Hernández, J. I. 2014.** Caracterización bromatológica, determinación de factores tóxicos de la almendra, y parámetros físico-químicos de la grasa de calabaza hedionda (*Apodanthera undulata*). UNAM. pp. 86.
- INEGI. 2010.** Censo de población y vivienda 2010. Available at: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/> (Accessed: 12 June 2019).
- INEGI. 2017.** INEGI-Recursos Naturales. Available at: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/default.aspx> (Accessed: 2 May 2017).
- Jeffrey, C. 1978.** Further notes on cucurbitaceae. Kew Bulletin 33: 347–380.
- Kew Royal Botanic Gardens. 2016.** Seed Information Database - SID, version 7.1. Available at: <http://data.kew.org/sid/sidservlet?id=1997&num=n9q#germination> (Accessed: 2 March 2018).
- Lira, Rafael y Rodríguez, I. 1999.** Cucurbitaceae. Flora del valle de Tehuacán-Cuicatlán 22. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México. pp-5-61.
- Lira, R. y Caballero, J. 2002.** Ethnobotany of the wild Mexican cucurbitaceae. Economic Botany, 56: 380–398.
- Lira, R., Villaseñor, J. L. y Ortiz, E. 2002.** A proposal for the conservation of the family cucurbitaceae in Mexico. Biodiversity and Conservation, 11(10): 1699–1720. doi: 10.1023/a:1020303905416.
- Lira Saade, R. y Rodríguez, A. I. 2006.** Informe final del Proyecto DS002 Catálogo de la familia Cucurbitaceae de México. Available at: http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/Inf_DS002.pdf. Accessed: 16 June 2018.
- Mendiburu, F. 2013.** Agricolae: statistical procedures for agricultural research. R package version 1.1-6. Available at: <https://cran.r-project.org/web/packages/agricolae/index.html>.
- Milks, R. R., Fonteno, W. C. y Larson, R. A. 1989.** Hydrology of horticultural substrates: III. Predicting air and water content of limited-volume plug cells. Journal American Society Horticulture Science 114(1): 57–61.
- North, G. 1992.** Water uptake and storage in diverse arid-land plants. PhD Dissertation, University of California, Los Angeles.
- ONU. 2018.** Climate Change. Available at: <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.htm>. Accessed: 15 June 2019.
- Paredes Flores, M., Lira, R. y Dávila Aranda, P. D. 2007.** Estudio etnobotánico de zapotitlán salinas, Puebla. Acta Botánica Mexicana. Instituto de Ecología A.C. Available at: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-71512007000200002&lng=es&nrm=iso&tlng=es Accessed: 27 February

2019.

Pozner, R. 1996. La posición taxonómica de *Melothria anatuyana* (Cucurbitaceae). *Hickenia* 2:185–188.

R development core team. 2018. R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing. Available: <https://www.r-project.org/>.

Rennberger, G. y Keinath, A. P. 2018. Susceptibility of fourteen new cucurbit species to gummy stem blight caused by *Stagonosporopsis citrulli* under field conditions. *Plant Disease* 102(7): 1365–1375. doi: 10.1094/pdis-12-17-1953-re.

Santos, J. P. y Wamser, A. F. 2009. Trap models containing roots of tayuya to capture corn rootworms in apple orchards. *Agropecuaria Catarinense*, 22(2): 55–60. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/259575480>. Accessed: 28 February 2019.

Schaefer, H. y Renner, S. 2011a. Cucurbitaceae, *The Families and Genera of Flowering Plants* 10: 112–174.

Schaefer, H. y Renner, S. 2011b. Phylogenetic relationships in the order Cucurbitales and a new classification of the gourd family Cucurbitaceae. *Taxon* 60: 122–138.

Schildwatch, P.M. 1989. Changes in the osmotic potential of the root as a factor in the decrease in the root-soot ratio of zea mays plants under water stress. In: Lougham B.C., Gašparíková O., Kolek J. (eds). Structural and functional aspects of transport in roots. *Developments in plant and soil sciences*, 36: 235–239. Springer, Dordrecht. doi: https://doi.org/10.1007/978-94-009-0891-8_44

Schneider, C. A., Rasband, W. S. y Eliceiri, K. W. 2012. NIH image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, 9(7): 671–675. doi: 10.1038/nmeth.2089.

Steiner, A. 1984. The universal nutrient solution, In: *Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture*. Iunteren, Holland, pp. 633–649.

Systat software. 2017. Sigmaplot v. 14. San Jose, California. Available at: <https://systatsoftware.com/downloads/download-sigmaplot/>.

Tropicos. 2014. Glossary search. 2 (1987): 1–10. Available at: <https://www.tropicos.org/GlossaryDetail.aspx?glossarytermid=8156> Accessed: 11 June 2019.

Tropicos. 2019. *Name - Apodanthera aspera Cogn.* Available at: <http://www.tropicos.org/Name/9200062?projectid=3&langid=66> Accessed: 21 January 2019.

Vibrans, H. 2007. *Apodanthera aspera* - ficha informativa. Available at: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/cucurbitaceae/apodanthera-aspera/fichas/ficha.htm#1>. nombres (Accessed: 2 May 2017).

- Vilar, J. C., Carvalho, C. M. & Furtado, M. F. D. 2007.** Effects of the aqueous extracts of plants of the genera *Apodanthera* (cucurbitaceae) and *Jatropha* (euphorbiaceae) on the lethality of the venom of *Bothrops jararaca* (serpentes, viperidae). *Biologia Geral e Experimental*, 7(2): 32–39. <https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/123/3236/1/effects.pdf> (Accessed: 28 February 2019).
- Villaseñor, J. L. 2016.** Catálogo de las plantas vasculares nativas de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87(3): 559–902. doi: 10.1016/j.rmb.2016.06.017.