

**SUSTRATOS Y DOSIS DE
FERTIRRIGACIÓN EN LA
ACUMULACIÓN DE AZÚCARES
TOTALES Y EL CRECIMIENTO DE
Agave salmiana (ASPARAGACEAE)**

**SUBSTRATES AND DOSES OF
FERTIRRIGATION IN THE
ACCUMULATION OF TOTAL SUGARS
AND GROWTH OF *Agave salmiana*
(ASPARAGACEAE)**

Arrazola-Cárdenas, L., J.R. García-Nava, A. Robledo-Paz, M.C. Ybarra-Moncada y A. Muratalla-Lúa

SUSTRATOS Y DOSIS DE FERTIRRIGACIÓN EN LA ACUMULACIÓN DE AZÚCARES TOTALES Y EL CRECIMIENTO DE *Agave salmiana* (ASPARAGACEAE)

SUBSTRATES AND DOSES OF FERTIRRIGATION IN THE ACCUMULATION OF TOTAL SUGARS AND GROWTH OF *Agave salmiana* (ASPARAGACEAE)

SUSTRATOS Y DOSIS DE FERTIRRIGACIÓN EN LA ACUMULACIÓN DE AZÚCARES TOTALES Y EL CRECIMIENTO DE *Agave salmiana* (ASPARAGACEAE)

SUBSTRATES AND DOSES OF FERTIRRIGATION IN THE ACCUMULATION OF TOTAL SUGARS AND GROWTH OF *Agave salmiana* (ASPARAGACEAE)

Arazola-Cárdenas, L.,
J.R. García-Nava,
A. Robledo-Paz,
M.C. Ybarra-Moncada
y A. Muratalla-Lúa

SUSTRATOS Y DOSIS DE FERTIRRIGACIÓN EN LA ACUMULACIÓN DE AZÚCARES TOTALES Y EL CRECIMIENTO DE *Agave salmiana* (ASPARAGACEAE)

SUBSTRATES AND DOSES OF FERTIRRIGATION IN THE ACCUMULATION OF TOTAL SUGARS AND GROWTH OF *Agave salmiana* (ASPARAGACEAE)

POLIBOTÁNICA
Instituto Politécnico Nacional

Núm. 50: 109-118 Agosto 2020

DOI:
10.18387/polibotanica.50.8

L. Arazola-Cárdenas

Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados, Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, CP 56230

J.R. García-Nava / garcianr@colpos.mx

Postgrado en Botánica, Colegio de Postgraduados, Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, CP 56230.

A. Robledo-Paz

Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados, Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, CP 56230.

M.C. Ybarra-Moncada

Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Estado de México, México, CP 56230.

A. Muratalla-Lúa

Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados, Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, CP 56230.

RESUMEN: *Agave salmiana* se reproduce principalmente de manera asexual tanto de forma comercial como silvestre. Para incrementar la diversidad genética de las poblaciones es necesaria la propagación por semillas. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de distintos sustratos y la fertilización con solución universal Steiner en el crecimiento de plantas de *Agave salmiana* obtenidas a partir de semillas en condiciones de invernadero y la acumulación de azúcares totales. Se establecieron dos experimentos. En el experimento uno las plantas se cultivaron en perlita y se regaron con la solución nutritiva Steiner al 25 y 100% cada tres y cada siete días. En el experimento dos las plantas crecieron en perlita, tezontle y una mezcla de aserrín de quito de agave con tezontle (2:1) y se les aplicó la solución nutritiva de Steiner al 25 y 100% cada tres días. En el primer experimento el número de hojas desplegadas fue estadísticamente mayor en las plantas que crecieron en S25-R3 (solución Steiner al 25% con un riego cada tres días) y S100-R3 (solución Steiner al 100% con un riego cada tres días) la longitud de las hojas de las plantas de los tratamientos S25-R3, S100-R3 y S100-R7 (solución Steiner al 100% con un riego cada siete días) fue significativamente igual y superior a las plantas con el tratamiento S25-R7 (solución Steiner al 25% con un riego cada siete días); el ancho de hoja y diámetro de roseta fue significativamente mayor en las plantas con los tratamientos S25-R3 y S100-R7. El peso de biomasa seca total y de la parte aérea de las plantas de los tratamientos S25-R3 y S100-R3 fue significativamente mayor al resto de los tratamientos; el peso de

biomasa seca de las raíces fue estadísticamente inferior en las plantas con tratamiento S25-R7. La acumulación de azúcares totales y fructosa no presentó diferencias significativas entre las plantas de los tratamientos ensayados. La concentración de glucosa fue estadísticamente inferior en las plantas del tratamiento S25-R7 y para las plantas de este mismo tratamiento la concentración de sacarosa fue significativamente superior. En el segundo experimento, el número de hojas desplegadas fue estadísticamente mayor en perlita, la longitud y ancho de hoja de las plantas cultivadas en tezontle y perlita fue significativamente menor que en la mezcla de tezontle y aserrín de quiote de agave. El peso de biomasa seca total y de la parte aérea fue significativamente superior en las plantas cultivadas en perlita y tezontle. La concentración de azúcares totales y glucosa fue mayor en las plantas que permanecieron en perlita y la mezcla de tezontle y aserrín, en tanto que la fructosa y sacarosa fue menor en las plantas cultivadas en perlita y la mezcla de tezontle y aserrín. El sustrato perlita resultó más eficiente y el riego cada tercer día con 25% de la concentración de la Solución Steiner en el crecimiento de plantas, de *Agave salmiana*. Estas mostraron mayor peso de biomasa seca total, y número de hojas desplegadas. Sin embargo, el efecto de los sustratos inertes perlita y tezontle sobre las variables peso de biomasa seca total y de la parte aérea, longitud y ancho de las hojas de las plantas fue significativamente mayor que en la mezcla de los sustrato inorgánico y orgánico.

Palabras clave: *Agave salmiana*; azúcares solubles; solución nutritiva.

ABSTRACT: *Agave salmiana* reproduces mainly asexually both commercially and wildly. In order to increase the genetic diversity of the populations, propagation by seeds is necessary. The objective of this research was to evaluate the effect of the Steiner universal solution concentration and substrates on the plant growth of *Agave salmiana* plants obtained from seeds under greenhouse conditions and their total sugar accumulation. Two experiments were established. In the first one, plants were grown in expanded perlite as substrate and watered with Steiner nutrient solution in two concentrations 25 and 100% with two irrigation frequencies every three and seven days. In a second experiment, plants were grown with three substrates: perlite, volcanic rock and a mixture of agave stalk with volcanic rock (2: 1) and watered with two concentrations of the Steiner 25 and 100% nutrient solution. In the first experiment the number of unfolded leaves was significantly superior in the plants of the treatments S25-R3 and S100-R3, the length of the leaves of the plants grew at the treatments S25-R3, S100-R3 and S100-R7 was significantly equal and superior to the plants of treatment S25-R7; the leaf width and rosette diameter was significantly higher in plants of treatments S25-R3 and S100-R7. In the plants of treatments S25-R3 and S100-R3, the total dry weight biomass and the aerial part was significantly higher; the dry weight of the roots was statistically lower in the plants of the treatment S25-R7. The accumulation of total sugars and fructose did not present significant differences between plants of the treatments. The concentration of glucose was statistically lower in the plants of treatment S25-R7 and for this treatment the sucrose concentration was significantly higher. In the second experiment, the unfolded leaves was significantly superior in plants of the perlite treatment, the leaf length and width of the plants grown in volcanic rock and perlite was significantly lower than in the mixture of volcanic rock and agave stalk. The total biomass dry weight and the aerial part were significantly higher in the plants grown in perlite and volcanic rock. The concentration of total sugars and glucose was higher in the plants that grew in perlite and the mixture of volcanic rock and stalk, while the fructose and sucrose were lower in the plants grown in perlite and the mixture of volcanic rock and stalk. The perlite substrate was more efficient and irrigated every third day with 25% of the concentration of the Steiner Solution in the plant growth of *Agave salmiana*. Those plants showed greater total dry weight, and number of leaves spread. The effect of the inert perlite and volcanic rock substrates on the variables total biomass dry weight and the part area, length and width of the plant leaves was significantly higher than in the mixture of the inorganic and organic substrates.

Key words: *Agave salmiana*; soluble sugars; substrates; nutritive solution.

INTRODUCCIÓN

En México se encuentran 160 especies de agaves descritos a nivel mundial, de los cuales el 75% son endémicos (García, Mendoza, 2007; Villaseñor, 2016). Los agaves son plantas que están adaptadas para sobrevivir en zonas áridas y son aprovechadas para la obtención de alimento, bebidas, fibras, biocombustibles (Aguilar, Juárez, Enríquez Del Valle, Rodríguez-Ortiz, Granados Sánchez, & Cerero, 2014; García, Mendoza, 2007). Dichas plantas representan recursos no maderables que tienen un papel importante como fuente de empleo, para autoconsumo y comercialización de materia prima para los habitantes de estas zonas como es la Región del Valle del Mezquital, Hidalgo, México. Una estrategia que tienen estas plantas para ampliar su distribución es la reproducción asexual, que es la forma más común para el establecimiento de esta especie, los individuos que se generan a partir de este tipo de reproducción son clones de la planta madre, a excepción de las mutaciones espontáneas, hay una reducción en la variabilidad genética. Asimismo, la producción de bebidas como el mezcal, tequila, pulque y miel de agave implica la cosecha de individuos maduros y en estados reproductivos (con inflorescencias formadas), lo que ocasiona la pérdida total de polen y de semillas. La extracción constante de individuos reproductivos lleva a la reducción de las poblaciones modificando los niveles y distribución de la diversidad genética o la riqueza de los alelos (Sebbenn *et al.*, 2008). *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dick es una especie endémica de México; se encuentra distribuida en el altiplano mexicano desde los 1230 a 2460 m.s.n.m. en donde se pueden encontrar poblaciones silvestres y cultivos. Sin embargo en el centro de México, en los estados de Tlaxcala, Hidalgo y México su cultivo ha disminuido en 80% en los últimos años (SIAP, 2013).

Las plantas de agave producen aproximadamente 3000 semillas o más por inflorescencia (Reyes, 2013). Nobel (1998) señala que *Agave salmiana* subs. *crassispina* (Trel. Ex L. H. Bailey) Gentry, puede producir entre 28 084 a 80 504 semillas.

Uno de los factores abióticos que afecta el porcentaje de germinación de semillas de agave es la temperatura (Peña-Valdivia *et al.*, 2006; Ramírez-Tobías *et al.*, 2012); el establecimiento y desarrollo de plántulas es escasa. Nobel (1976) calculó que de 1 200 000 semillas de *A. deserti* solo una semilla llega a desarrollarse en una planta madura en el desierto de Sonora.

El uso de sustrato y soluciones hidropónicas en la fase de aclimatación de vitroplantas de algunas especies del género *Agave* ha mejorado el crecimiento de las plantas. Enríquez *et al.* (2012) observaron que durante la aclimatación de vitroplantas de *Agave angustifolia* la aplicación de la solución Steiner al 33% a las plantas promovió que éstas acumularan 74.52% más peso de biomasa seca con respecto a las que se regaron con solución nutritiva al 5 % en una mezcla de arena de río-vermiculita. Por otra parte, plantas micropropagadas de *A. angustifolia* acumularon mayor peso de biomasa cuando se cultivaron en lombricomposta y se regaron con la solución Steiner al 50% (Enríquez *et al.*, 2009). Asimismo, las vitroplantas de *A. americana* produjeron 40.6 y 49.5% (respectivamente), más peso de biomasa seca cuando crecieron en perlita y arena y se regaron con la solución Steiner al 25 y 100% (Enríquez *et al.*, 2013).

Existen pocos trabajos enfocados a la propagación de agaves a partir de semillas. En plantas de *A. angustifolia* y *A. potatorum* propagadas a partir de semillas, el tipo de suelo fue el factor que afectó el crecimiento, número de hojas desplegadas, altura de planta, diámetro de roseta y en la acumulación de materia seca (Martínez *et al.*, 2013).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el crecimiento y la acumulación de azúcares en plantas de *Agave salmiana* en sustratos bajo distintas concentraciones y frecuencias de riego con solución nutritiva.

MATERIAL y MÉTODOS

Se usaron semillas del cultivar 'xamini' colectadas en el Municipio Cardonal, Hidalgo, México, en el año 2017, ubicado a 20° 25' y 20° 27' N y 98° 55' y 99° 11' W (INEGI, 2009). El clima que predomina en la región es templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (44.5%), semiseco templado (27%), templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (16.5%), templado subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad (10%), semiseco semicálido (1.0%) y seco semicálido (1.0%) La precipitación media anual es de 300 - 1 100 mm (INEGI, 2009).

El trabajo consistió de dos experimentos: En el primer experimento las semillas se sembraron en perlita a una profundidad de 1 cm, y se regaron con agua hasta la emergencia de la primera hoja verdadera. A partir de este momento, las plántulas se regaron con 30 mL de la solución universal Steiner en dos concentraciones y dos frecuencias de riego: al 25% cada tres días (S25-R3) y cada siete días (S25-R7); al 100 % cada tres días (S100-R3) y cada siete días (S100-R7).

En un segundo experimento se emplearon como sustratos perlita, tezontle y una mezcla de tezontle con aserrín de quiote de agave en proporción 1:2. Cuando las plantas presentaron la primera hoja verdadera se inició el riego con 30 mL de la solución nutritiva de Steiner al 25% y 100% cada tercer día.

En ambos experimentos se evaluaron las siguientes variables:

Peso de biomasa seca. Se tomaron cinco plantas al azar de cada tratamiento; se congelaron con nitrógeno líquido por 60 minutos y se liofilizaron durante 4 días y posteriormente se pesaron por separado la parte aérea y las raíces.

Azúcares solubles. Se tomaron de 17 a 21 mg de tejido foliar liofilizado y se determinó la concentración de azúcares totales, glucosa, fructosa y sacarosa siguiendo el método propuesto por Viola y Davies (1992).

Las concentraciones de glucosa, fructosa y sacarosa se estimaron a partir de una curva patrón (0 a 14 $\mu\text{g mL}^{-1}$).

Longitud y ancho de las hojas y diámetro de roseta. La determinación de estas variables se realizó mediante el método descrito por Rosales *et al.*, (2013) modificado. La longitud de la hoja se midió desde su base hasta el ápice. El ancho de hoja se midió en la parte media de la misma y el diámetro de roseta considerando la tercera y cuarta hoja que emergieron (en orden ascendente) y número de hojas desplegadas.

Análisis estadístico. En el primer experimento se usó un diseño experimental completamente al azar, con cuatro tratamientos y 17 repeticiones, una planta por maceta. En el segundo experimento se utilizó un diseño factorial asimétrico con dos factores: sustrato (3) y solución nutritiva Steiner (2) dando lugar a seis tratamientos con 10 repeticiones, una planta por maceta. El análisis de varianza y comparación de medias (Tukey, $p \leq 0.05$) se calculó con el paquete estadístico Minitab 18, (2019).

RESULTADOS

Experimento uno

Peso de biomasa seca. El peso de la biomasa seca total y de la parte aérea, el efecto en las plantas de los tratamientos S25-R3 y S100-R3 fue estadísticamente igual entre sí y superior al efecto en las plantas de los tratamientos S25-R7 y S100-R7 (cuadro 1). El peso de biomasa seca de raíces presentó diferencias estadísticas. En las plantas del tratamiento S25-R3 fue menor con respecto al efecto de los tratamientos S25-R7, S100-R3 y S100-R7 (cuadro 1).

Azúcares totales. El efecto en las plantas de los tratamientos S25-R3, S100-R3, y S100-R7, fue significativamente igual y superior (23.26%) al efecto del tratamiento S25-R7, en la acumulación de glucosa. La acumulación de fructosa en tejido seco no presentó diferencias estadísticas entre las plantas que crecieron con los tratamientos con un promedio de 3.40 $\mu\text{moles g}^{-1}$ de tejido seco.

La acumulación de sacarosa presentó diferencias estadísticas en las plantas del tratamiento S25-R7, 21.13% más, con respecto a las plantas con los tratamientos S25-R3, S100-R3 y S100-R7. La concentración de azúcares totales fue estadísticamente igual entre los efectos de los tratamientos con un promedio de 27.94 $\mu\text{moles g}^{-1}$ de tejido seco.

Longitud y ancho de las hojas y diámetro de roseta. La longitud promedio de las hojas no presentó diferencias estadísticas entre los efectos de los tratamientos. El ancho de las hojas en las plantas de los tratamientos S25-R3 y S100-R3 fueron estadísticamente iguales y superior, 1.16 veces más anchas, que en las plantas de los tratamientos S25-R7 y S100-R7. El diámetro de roseta fue significativamente igual en las plantas de los tratamientos S25-R3 y S100-R3 y estadísticamente superior a los efectos de S25-R7 y S100-R7. El número de hojas desplegadas fue estadísticamente igual en los efectos de los tratamientos S25-R3 y S100-R3 (cuadro 1).

Cuadro 1. Longitud y ancho de hojas, diámetro de roseta, azúcares totales y peso de biomasa seca en plantas de *Agave salmiana* cultivar 'xamini' 168 días después de la siembra en perlita. Los resultados se examinaron con un Análisis de Varianza (ANOVA) y una posterior prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Variable	Tratamientos (concentración fertirrigación/frecuencia riego)			
	25% 3 días	25% 7 días	100% 3 días	100% 7 días
Longitud hoja (cm)	3.17 a	2.73 b	3.26 a	3.15 a
Ancho hoja (cm)	0.84 a	0.68 c	0.80 ab	0.73 bc
Diámetro roseta (cm)	4.04 ab	2.57 c	4.18 a	3.48 b
Hojas desplegadas	6.1 a	4.5 c	5.6 ab	5.2 b
Azúcares totales*	29.19 a	26.36 a	27.22 a	29.01 a
Glucosa*	25.56 a	18.62 b	21.71 ab	25.52 a
Fructosa*	3.28 a	3.55 a	4.41 a	2.38 a
Sacarosa*	0.43 b	4.18 a	1.11 b	1.11 b
Biomasa seca total (g)	0.67 a	0.34 b	0.51 ab	0.37 b
Biomasa seca parte aérea (g)	0.48 a	0.24 b	0.40 ab	0.27 b
Biomasa seca raíz (g)	0.19 a	0.10 b	0.12 b	0.093 b

* $\mu\text{mol g}^{-1}$ tejido seco. Medias con letras iguales dentro de una fila no son estadísticamente diferentes.

Experimento dos

Peso de biomasa seca. El efecto del factor sustrato mostró un efecto significativo en las variables peso de biomasa seca total y biomasa seca de la parte aérea ($p < 0.01$). En contraste, la concentración de la solución nutritiva y la interacción sustrato X solución nutritiva no fue significativa ($p > 0.05$) por lo que se muestran solo los resultados de los efectos del tratamiento sustrato.

El peso de la biomasa seca total y biomasa seca de la parte aérea fue significativamente menor (36.71 y 33.75%, respectivamente) en las plantas cultivadas en la mezcla de tezontle y aserrín de quiote de agave (MT-AA) que en perlita y tezontle; mientras que para el peso de biomasa

seca de las raíces no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. El número de hojas desplegadas fue estadísticamente mayor en perlita (cuadro 2).

Cuadro 2. Longitud y ancho de hojas y diámetro de roseta, acumulación de azúcares solubles y peso de biomasa seca en plantas de *Agave salmiana* cultivar ‘xamini’ 119 días de cultivarse en distintos sustratos y regadas con solución nutritiva Steiner al 25 y 100% ($p > 0.05$). Los resultados se examinaron con un Análisis de Varianza (ANOVA) y una posterior prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Variable	Tratamientos		
	Perlita	Tezontle	Tezontle-quiote
Longitud hoja (cm)	3.14 a	3.38 a	3.22 b
Ancho hoja (cm)	0.69 a	0.70 a	0.61 b
Diámetro roseta (cm)	2.56 a	2.30 a	2.30 a
Hojas desplegadas	4.9 a	4.2 b	3.8 b
Azúcares totales*	28.20 ab	24.58 b	29.32 a
Glucosa*	20.34 a	13.33 b	19.55 a
Fructosa*	4.99 b	6.65 ab	8.022 a
Sacarosa*	2.86 ab	4.60 a	1.75 b
Biomasa seca total (g)	0.28 a	0.25 a	0.17 b
Biomasa seca parte aérea (g)	0.20 a	0.19 a	0.13 b
Biomasa seca raíz (g)	0.10 a	0.12 a	0.03 a

* $\mu\text{mol g}^{-1}$ tejido seco. Medias con letras iguales dentro de una fila no son estadísticamente diferentes.

Azúcares totales. La concentración de glucosa fue significativamente menor, 33.17%, en las plantas crecidas en tezontle que en las cultivadas en perlita y la mezcla de tezontle y aserrín (MT-AA) (cuadro 2). La acumulación de fructosa fue significativamente mayor en las plantas que permanecieron tezontle y en la mezcla de tezontle y aserrín de quiote de agave (31.92%) que en las que crecieron en perlita (cuadro 2).

La concentración de sacarosa fue significativamente mayor, 56.06%, cuando las plantas crecieron en tezontle y perlita que cuando lo hicieron en la mezcla de tezontle y aserrín de quiote de agave (cuadro 2). Las plantas de los tratamientos perlita y tezontle-aserrín (MT-AA) fue significativamente mayor a la concentración de azúcares totales (14.53%) que las plantas del tratamiento con tezontle (cuadro 2).

Longitud y ancho de las hojas, y diámetro de roseta. Las hojas de las plantas cultivadas en la mezcla de tezontle y aserrín de quiote de agave fueron estadísticamente diferentes, 1.01 y 1.05 veces menos largas y anchas que las que crecieron en perlita o tezontle (cuadro 2). En tanto que el diámetro de roseta no mostró diferencias significativas entre los efectos de los tratamientos. El número de hojas desplegadas fue estadísticamente superior en el tratamiento perlita (cuadro 2).

DISCUSIÓN

El peso de biomasa seca representa la acumulación del carbón que la planta fija durante la fotosíntesis; la fertilización permite aumentar el peso seco y el rendimiento (Lambers, Chapin, & Pons, 2008). El número y tamaño de las hojas se usa como indicador de crecimiento y

rendimiento en agaves. La acumulación de biomasa y la longitud promedio de las hojas y número de hojas desplegadas en plantas de *Agave salmiana* del primer experimento no presentó diferencias estadísticas cuando se les aplicó la solución nutritiva al 25% o al 100% cada tres días, esto contrasta con lo que se observó en vitroplantas. El peso de biomasa seca, la longitud de hojas y el número de hojas desplegadas en vitroplantas de *Agave angustifolia*, *A. potatorum* y *A. americana* aumentaron conforme se incrementó la concentración de nutrientes en la solución nutritiva Steiner (Enríquez *et al.*, 2012; Pérez *et al.*, 2014; Valle *et al.*, 2017; Valle, *et al.*, 2009).

Sin embargo, cuando el suministro de nutrientes fue menos frecuente (tratamiento S25-R7), disminuyó la biomasa, la longitud y el número de hojas desplegadas, y mostraron una tendencia a acumular más sacarosa en tejido foliar. Esto pudo deberse al abastecimiento limitado de nutrientes y la rápida velocidad de crecimiento de la planta, como lo señala Zúñiga, (2013).

En el experimento dos el factor sustrato mostró tener efectos significativos en las variables, longitud y ancho de hoja y número de hojas desplegadas, el peso de biomasa seca total y de la parte aérea y en la concentración de azúcares totales, glucosa, fructosa y sacarosa mientras que el factor concentración de solución nutritiva mostró no serlo debido a que no fue estadísticamente significativo. Esto coincide con (Martínez *et al.*, 2013) quienes observaron que el factor suelo tuvo un efecto significativo sobre la longitud y ancho de hojas y diámetro de roseta en *A. potatorum* y *A. angustifolia* y la interacción suelo-fertilización no fue significativa, en suelos con mayor contenido de materia orgánica las hojas presentaron mayor longitud y ancho y diámetro de roseta.

La biomasa seca, el número de hojas desplegadas, longitud y ancho de las hojas no presentó diferencias en los sustratos inorgánicos, sin embargo, disminuyó cuando se usó la mezcla de un sustrato orgánico y uno inorgánico, y acumulando mayor concentración de fructosa en tejidos foliares. Esto pudo deberse a las características físicas y químicas de este sustrato como son: una conductividad eléctrica de 7.56 dSm^{-1} y porosidad de aire de 39%, valores que están por arriba de lo recomendado, lo que podría significar que este sustrato retenga poca agua y contenga un alto contenido de sales y como consecuencia las raíces no disponen de un adecuado suministro de oxígeno. Por otra parte, la concentración de azúcares solubles es alterada cuando las plantas de agave están sometidas a estrés abiótico como falta de agua y deficiencia de nutrientes (Zúñiga, 2013). Los azúcares que son afectados incluyen a la sacarosa, glucosa y fructosa, ya que estos actúan como agentes protectores sobre la membrana plasmática o macromoléculas e inician una cascada de señalización (Sami *et al.*, 2016).

El contenido de azúcares en tejidos es utilizado como indicador fisiológico de la calidad de la plántula en vivero. El almacenamiento y metabolismo de carbohidratos tienen un papel importante para el establecimiento de plantas fuera del vivero o pos-trasplante para que puedan ser independientes del suministro a través de la fertilización y mantener sus funciones de crecimiento, respiración, reproducción y defensa (Villar *et al.*, 2015).

En los dos experimentos, el monosacárido que se presentó en mayor concentración fue la glucosa y en menor concentración la fructosa y el disacárido sacarosa. Esto coincide con lo que determinó Jiménez (2016), en plantas de *Agave salmiana* de 7 meses de edad obtenidas a partir de semillas y crecidas a temperatura constante de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ y a con una alternancia de temperatura diurna-nocturna de $45.5/14 \text{ }^\circ\text{C}$; el monosacárido con mayor concentración fue la glucosa de 59.25 a $91 \text{ } \mu\text{moles g}^{-1}$ de tejido seco y en menor concentración la fructosa (9.68 a $15.66 \text{ } \mu\text{moles g}^{-1}$ de tejido seco) y sacarosa (3.99 a $6.26 \text{ } \mu\text{moles g}^{-1}$ de tejido seco).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en esta investigación permitieron observar que las plantas de *Agave salmiana* 168 días después de la siembra regadas con solución nutritiva Steiner al 100% no fue significativamente diferente a los valores obtenidos en peso seco, longitud y ancho de las hojas, en las plantas regadas con la solución nutritiva menos concentrada. Esto implica menor consumo de fertilizantes. Mientras que el factor sustrato tuvo efecto en la concentración de carbohidratos solubles, peso seco total, peso seco de la parte aérea; el sustrato perlita mostró ser más eficiente para el crecimiento de las plantas, al presentar mayor número de hojas desplegadas en contraste, el factor solución nutritiva y la interacción entre sustrato y solución nutritiva no tuvo este efecto sobre las variables evaluadas.

LITERATURA CITADA

- Aguilar, Juárez, B., Enríquez Del Valle, R., Rodríguez-Ortiz, G., Granados Sánchez, D., & Cerero, B. M. (2014). El estado actual de *Agave salmiana* y *A. mapisaga* del Valle de México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 1(2), 106–120.
- Enríquez-Del Valle, J. R., Cruz-Valdez, I., & Carrillo-Castañeda, G. (2012). Acclimatization of *Agave angustifolia* Haw. Vitroplants in inert substrates and fertigated with different nutrimental dose. *Acta Horticulturae*, 947, 101–104. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.947.10>
- Enríquez del Valle, J. R., Estrada Siliás, A., Rodríguez Ortiz, G., Velasco Velasco, V. A., & Campos Ángeles, G. V. (2013). Sustrato y dosis de fertirriego en la aclimatización de vitroplantas de *Agave americana* var. oaxacencis. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 45(2), 341–348.
- García, M., A. (2007). Los agaves de México. *Ciencias* 87, 14–23.
- INEGI. (2009). <https://www.inegi.gob.mx>.
- Jiménez, T., J. A. (2016). Efecto de la temperatura en características bioquímico-fisiológicas de plantas jóvenes de dos especies de *Agave*. *Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo*, 138.
- Lambers, H., Chapin, F. S., & Pons, T. L. (2008). Plant physiological ecology: Second edition. En *Plant Physiological Ecology: Second Edition*. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-78341-3>
- Martínez-Ramírez, S., Trinidad-Santos, A., Bautista-Sánchez, G., & César Pedro-Santos, E. (2013). Crecimiento de plántulas de dos especies de mezcal en función del tipo de suelo y nivel de fertilización. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(4), 387–393.
- Nobel, P S. (1998). Los Incomparables Agaves y Cactus. 1a. Edición en español. Editorial Trillas, SA de CV México, D. F., 211.
- Nobel, Park S. (1976). Water Relations and Photosynthesis of a Desert CAM Plant, *Agave deserti*. *Plant Physiology*, 58(4), 576–582. <https://doi.org/10.1104/pp.58.4.576>
- Peña-Valdivia, C. B., Sánchez-Urdaneta, A. B., Aguirre R., J. R., Trejo, C., Cárdenas, E., & Villegas M., A. (2006). Temperature and mechanical scarification on seed germination of “maguey” (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck). *Seed Science and Technology*, 34(1), 47–56. <https://doi.org/10.15258/sst.2006.34.1.06>
- Pérez-Santiago, R., Valle, J. R. E., Castañeda-hidalgo, E., Velasco-, V. A., Rodríguez-ortiz, G., & Campos-ángeles, G. V. (2014). Ferti-irrigation dose during acclimatization of micropropagated *Agave americana* plants. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 1(1), 20–27.
- Ramírez-Tobías, H. M., Peña-Valdivia, C. B., Aguirre R., J. R., Reyes-Agüero, J. A., Sánchez-Urdaneta, A. B., & Valle G., S. (2012). Seed germination temperatures of eight Mexican *Agave* species with economic importance. *Plant Species Biology*, 27(2), 124–137. <https://doi.org/10.1111/j.1442-1984.2011.00341.x>
- Reyes, S., J. (2013). Manual Práctico: Conservación y restauración de catácacas y otras suculentas mexicanas. En *Comisión Forestal Nacional*. Comisión Nacional Forestal.

Recibido:
28/junio/2019

Aceptado:
4/marzo/2020

- Zapopan, Jalisco, México.
- Rosales-Mata, Sergio & Sigala, Jose & Bustamante-García, V. (2013). Producción y trasplante de planta de *Agave* en vivero. *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valle de Guadiana, Durango, México*, 43.
- Sami, F., Yusuf, M., Faizan, M., Faraz, A., & Hayat, S. (2016, diciembre 1). Role of sugars under abiotic stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, Vol. 109, pp. 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.09.005>
- Sebbenn, A. M., Degen, B., Azevedo, V. C. R., Silva, M. B., de Lacerda, A. E. B., Ciampi, A. Y., ... Loveless, M. D. (2008). Modelling the long-term impacts of selective logging on genetic diversity and demographic structure of four tropical tree species in the Amazon forest. *Forest Ecology and Management*, 254(2), 335–349. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.08.009>
- SIAP. (2013). www.gob.mx/siap. Recuperado de <https://www.gob.mx/siap>
- Soporte técnico Minitab 18. (2019). Minitab 18.
- Valle, José & Vázquez, Sergio & Rodríguez-Ortiz, Gerardo & Luna, Miguel & Vázquez, C. (2017). Fertirriego en vivero a plantas de *Agave potatorum* Zucc micropropagadas-aclimatizadas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(5), 1167. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i5.240>
- Valle, J. R. E. Del, Velasco, V. A., Campos, G. V. A., Hernández-Gallardo, E., & Rodríguez-Mendoza, M. N. (2009). *Agave angustifolia* plants grown with different fertigation doses and organic substrates. *Acta Horticulturae*, 843, 49–56. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2009.843.4>
- Villar-Salvador, P., Uscola, M., & Jacobs, D. F. (2015). The role of stored carbohydrates and nitrogen in the growth and stress tolerance of planted forest trees. *New Forests*, 46(5–6), 813–839. <https://doi.org/10.1007/s11056-015-9499-z>
- Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3), 559–902. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>
- Viola, R., & Davies, H. V. (1992). A microplate reader assay for rapid enzymatic quantification of sugars in potato tubers. *Potato Research*, 35(1), 55–58. <https://doi.org/10.1007/BF02357723>
- Zúñiga, Estrada, L. (2013). Nutrición de *Agave tequilana* y manejo de los fertilizantes en un sistema de producción intensiva (riego por goteo). En *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Noreste. Campo Experimental Las Huastecas, Villa Cuauhtémoc, Tamaulipas, México*. Recuperado de 978-607-37-0066-5