

CRECIMIENTO Y CONDICIÓN NUTRIMENTAL DE PLANTAS MICROPROPAGADAS DE *Agave angustifolia* ABONADAS Y FERTIRRIGADAS EN VIVERO¹

[GROWTH AND NUTRITIONAL CONDITION OF MICROPROPAGATED *Agave angustifolia* PLANTS MANURED AND FERTIGATED IN NURSERY]

José Raymundo Enríquez del Valle^{1§}, Gerardo Rodríguez-Ortiz¹, Judith Ruiz Luna¹, Antonia Jesús Pacheco
Ramírez¹, Lourdes Vásquez Vásquez¹

¹ TecNM/Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Ex hacienda de Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México. C.P. 71230. §Autor para correspondencia: (jenriquezdelvalle@yahoo.com).

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el crecimiento en vivero de plantas de *Agave angustifolia* Haw. Micropropagadas – aclimatizadas, que en vivero estuvieron en sustratos con cantidades diferentes de abono y se les aplicó diferente tipo de riego, solo agua o solución nutritiva. Las plantas micropropagadas se transfirieron a contenedores con sustrato turba- perlita, para su aclimatización durante 70 días en invernadero y posteriormente al vivero para someterlas durante 250 días a 20 tratamientos resultantes de combinar niveles de dos factores: 1) abono contenido en el sustrato, en cinco niveles (0, 25, 50, 75 y 100% del volumen) y, 2) tipo de riego, en cuatro niveles (sólo agua, biofertilizante líquido, soluciones nutritivas al 50 o 100% de la formulación de Steiner). Se evaluaron características de tallo, hojas y raíz, y contenido de nutrientes en las hojas. Los resultados mostraron que las plantas de *Agave* micropropagadas y aclimatizadas, transcurridos 250 días en vivero, alcanzaron tamaño mayor conforme el contenido de abono en el sustrato se incrementó y en respuesta a la fertirrigación, ya sea orgánica o mineral. Las plantas en sustratos sin abono y no fertirrigadas, así como las plantas en sustratos con 75% de abono y fertirrigadas con biofertilizante líquido tuvieron 14.5 y 22 hojas, de 25.1 y 31.9 cm de longitud, 22.4 y 48.9 g de materia seca foliar; el tallo de 1.9 y 3.2 cm de diámetro, con 1.33 y 2.89 g de materia seca en tallo; su biomasa total fue de 29.4 y 58.1 g, respectivamente.

Palabras clave: Abono, *Agave angustifolia*, crecimiento en vivero, fertirriego, solución nutritiva.

ABSTRACT

Micropropagated *Agave angustifolia* Haw plants were transferred to containers with substrate peat moss-perlite for their acclimatization for 70 days in greenhouse and after in a nursery to submit them for 250 days to 20 treatments which included five substrates with different manure content (0, 25, 50, 75 y 100% volume) and four levels of irrigation: water (1), fertigation using liquid biofertilizer (2) or the Steiner's nutritive solution, SN, at 50% (3) or SN 100% (4) of ion concentration. The characteristics of stem, leaves and roots, and nutrient content in leaves were evaluated. When the experiment was finished, the substrates and the nutrient content in leaves were analyzed. Figures were submitted to analysis of variance and the Tukey's test ($P \leq 0.05$). The results

¹ Recibido: 12 de noviembre de 2018.
Aceptado: 10 de diciembre de 2018.

showed that the *Agave* plants micropropagated and acclimatized for 70 days in greenhouse, and further 250 days in nursery, reached, bigger size in positive relation to the manure content in the substrate and the fertigation, whether organic or mineral. The plants established in substrates without manure and were not fertigated, and the plants established in substrates with 75% organic fertilizer and fertigated with biofertilizer had 14.5 and 22 leaves, which were 25 and 31.9 cm long, and 22.4 y 48.9 g of foliar dry matter; the stem was 1.96 and 3.2 cm in diameter and accumulated 1.33 y 2.89 g of dry matter; the total dry matter was 29.4 y 58.1 g, respectively.

Index words: Manure, *Agave angustifolia*, growth in nursery, fertigation, nutritious solution.

INTRODUCCIÓN

En México, hay 251 especies de agaves, que se aprovechan para obtención de fibras duras, alimento, medicina, construcción, forraje, cercas vivas, extracción de azúcares, elaborar bebidas fermentadas como el pulque y sobre todo bebidas destiladas como el mezcal (García-Mendoza *et al.*, 2004) y algunas especies son evaluadas como materia prima para producir biocombustibles (Escamilla-Treviño, 2012). El cultivo de *Agave angustifolia* es de importancia económica para el estado de Oaxaca, donde se usa para la producción del mezcal y edulcorantes. Las principales especies cultivadas de *Agave*: *A. tequilana*, *A. fourcroydes*, *A. sisalana*, *A. angustifolia*, son propagadas asexualmente, principalmente mediante vástagos de rizoma, en menor proporción mediante bulbilos de la inflorescencia y en menor cantidad mediante cultivo de tejidos vegetales (Enríquez-del Valle, 2008). Los agaves son plantas rústicas que requieren cuidados mínimos, por lo que no se ha dado atención suficiente a estudiar condiciones de cultivo que puedan promover aumentos de rendimiento, como el abastecimiento de nutrimentos, pues se piensa que por estar adaptadas a terrenos de baja fertilidad la especie no requiere fertilización. Pero se ha demostrado la importancia del abastecimiento de nutrimentos a las plantas de agave, en su condición nutrimental y rendimiento (Valenzuela y González, 1995). En diversas especies de cultivo, la condición nutrimental, principalmente de nitrógeno afecta el índice de área foliar y las tasas fotosintéticas foliares, que están asociadas con la producción de materia seca. En el caso de sorgo el rendimiento de grano está asociado a área foliar verde y una planta en condición de deficiencia de N tiene menos área foliar, clorofila foliar y tasa fotosintética (Zhao *et al.*, 2005).

Entre los fertilizantes están los denominados abonos orgánicos, que incluyen al abono verde, estiércol, rastrojo, paja, desechos de cocina, que al descomponerse dejan nutrimentos disponibles para las plantas (Peña *et al.*, 2002). Un suelo al que se adiciona materia orgánica mejora en propiedades físicas, químicas y biológicas, que es condición para aumentar la productividad de los cultivos (Wander *et al.*, 1994).

Para aplicar fertilizantes, es necesario conocer los requerimientos nutrimentales de las plantas, por lo que conviene analizar el contenido mineral en el material vegetal. La aplicación de fertilizantes se puede hacer incorporando éstos en forma granular al sustrato, o disueltos en el agua de riego. Mediante la aplicación de soluciones nutritivas es posible dosificar el abastecimiento de nutrimentos a las plantas, este método es frecuentemente usado en estudios de nutrición vegetal pero también en sistemas productivos (Reddy y Matcha, 2010). Las soluciones nutritivas que se aplican a los cultivos se preparan con fertilizantes minerales, pero también es posible preparar biofertilizantes líquidos, que son soluciones nutritivas que usan materiales orgánicos. Se tienen antecedentes de la propagación *in vitro* de *Agave angustifolia* Haw (Enríquez-del Valle *et al.*, 2005; Ríos-Ramírez *et al.*, 2017; Ríos-Ramírez *et al.*, 2018) y las plantas micropropagadas-aclimatizadas

que durante seis meses en vivero se establecieron en sustratos con compost y fertirrigaron, lograron mayor crecimiento, en comparación a plantas que estuvieron en sustrato con menor contenido de materia orgánica y se irrigaron con solo agua (Enríquez-del Valle *et al.*, 2009). Plantas micropropagadas- aclimatizadas se han establecido durante ocho a doce meses en vivero y transferido a campo (Enríquez- del Valle, 2008). En el procedimiento de producción de plantas en vivero interesa generar más información sobre los diversos factores, tales como sustratos y fertilización, que influyen para obtener plantas de calidad superior. Por lo que el objetivo del presente trabajo fue evaluar el crecimiento de plantas de *Agave angustifolia* Haw micropropagadas- aclimatizadas, que en condiciones de vivero se establecieron en sustratos con diferentes concentraciones de abono orgánico, a las que se les aplicó fertirriego mineral u orgánico durante 250 días.

MATERIALES Y MÉTODOS

Cuatrocientas plantas de *Agave angustifolia* micropropagadas, se transfirieron de *in vitro* a charolas de 26.5x 54.5 y 6 cm de altura, divididas en 50 cavidades de forma de cono truncado invertido de 4.5 cm de diámetro superior, 2.5 cm de diámetro inferior, 6 cm altura, 57.7 cm³, con un sustrato de 1:1 perlita-turba de musgo y establecieron durante 70 días en un invernadero de aclimatización, en condiciones de radiación solar a 400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, humedad relativa alta (80-90%) creada por un sistema de riego mediante nebulización intermitente de 10 seg cada 12 min en horarios de 10:30 a 15:00. Transcurrido el periodo de aclimatización se seleccionaron 300 plantas, lo más homogéneas posible en número de hojas, longitud de la hoja mayor, y de apariencia sanas; para transferirlas a vivero en donde se establecieron individualmente en bolsas de polietileno negro de 1500 cm³. El total de plantas se separó en cinco grupos para establecerlas en cinco sustratos diferentes, que consistieron de mezclas de suelo- abono bovino en proporciones de volumen diferentes (100- 0, 75- 25, 50- 50, 25- 75 y 0- 100). Se tuvieron 60 plantas en cada tipo de sustrato, las que se separaron en cuatro sub-grupos de 15 plantas para someterlas durante 250 días a diferente condición de irrigación: agua potable (1), fertirriego con biofertilizante líquido (2), o soluciones nutritivas, SN, a 50% (3) y 100% (4) de concentración de nutrientes de la formulación de Steiner (1984). A cada planta se aplicó una vez a la semana, 150 mL de su correspondiente condición de riego. La solución universal Steiner contiene en mg L⁻¹: 137.28 N, 30.67 P, 315.15 K, 149.62 Ca, 21.45 Mg, 74.51 S, 1.33 Fe, 0.201 Mn, 0.077 B, 0.019 Mo, 0.0375 Zn y 0.00065 Cu.

El abono para el sustrato se preparó con 2 kg de carbón, 2 kg de cal, 250 kg de estiércol bovino de cuatro meses en descomposición, 250 g de levadura, 2 kg de panela, 300 kg de tierra, 50 kg de pasto seco y 20 L de agua, de acuerdo con el procedimiento descrito por Restrepo (1996), del mismo autor se tomó la metodología para preparar el biofertilizante líquido que contenía por cada 200 L de agua, 50 kg de estiércol fresco de bovino, dos kg de panela, dos L de leche, 250 ml de agua oxigenada. Esta mezcla de dejó en fermentación durante 15 días antes de su uso.

El experimento se estableció de acuerdo a un diseño completamente al azar con arreglo de tratamientos factorial 5x4 (cinco niveles del factor sustrato y cuatro niveles del factor tipo de riego), por lo que resultaron 20 tratamientos (Cuadro 1). La unidad experimental fue una planta, y se tuvieron 15 repeticiones por tratamiento. Transcurridos 250 días se cosecharon al azar seis plantas de cada tratamiento para cuantificar: número de hojas, altura de la planta, longitud y volumen de raíz, diámetro de tallo, materia seca acumulada en tallo, foliar, raíz y total; contenido de macronutrientes en las hojas. Los datos se sometieron a análisis de varianza y la prueba de Tukey para comparación de medias (SAS Institute Inc., 2011).

Cuadro 1. Tratamientos (T) que resultaron de la combinación de niveles del factor sustrato y del factor tipo de riego.

Factor sustrato	Factor tipo de riego			
	Agua	Biofert	SN50	SN100
100- 0	T1	T6	T11	T16
75- 25	T2	T7	T12	T17
50- 50	T3	T8	T13	T18
25- 75	T4	T9	T14	T19
0-100	T5	T10	T15	T20

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se tienen antecedentes de la propagación *in vitro* de diversas especies de *Agave*: *A. fourcroydes* (Binh *et al.*, 1990), *A. tequilana* (Valenzuela-Sánchez *et al.*, 2006; Ángeles-Espino *et al.*, 2012), *A. grijalvensis* (Sánchez-Urbina *et al.*, 2008), en los que se describe el procedimiento de propagación *in vitro*. Plantas de *A. americana* var. *oaxacensis* micropropagadas se establecieron en condiciones de sustrato y ambiente de invernadero en donde se fertirrigaron durante 84 días de la etapa de aclimatización en invernadero, mostrando evidencias de que las plantas alcanzaron tamaño mayor en respuesta al abastecimiento nutrimental (Enríquez-del Valle *et al.*, 2013). Cruz-García *et al.* (2017) micropropagaron y trasplantaron a contenedores con sustrato, plantas de *Agave americana* var. *oaxacensis*. Durante 240 días de aclimatización en las plantas ocurrió la senescencia gradual de las hojas provenientes del cultivo *in vitro* y estas hojas fueron sustituidas por nuevas hojas que fueron más grandes, de 11.6 a 18.2 cm de longitud, 1.7 a 2.5 cm de ancho, engrosadas, y de consistencia herbácea pero más rígidas en comparación a la consistencia que tenían las hojas al inicio del experimento. Y comentan que al término de esta etapa todas las plantas sobrevivieron, pero menos hojas que al inicio de la aclimatización, aunque más largas y anchas, y su tamaño estuvo en relación a la cantidad de nutrimentos que recibieron. Enríquez-del Valle *et al.* (2009) y Enríquez-del Valle *et al.* (2012) micropropagaron plantas de *A. angustifolia* y las transfirieron de *in vitro* a macetas con sustrato para aclimatizarlas durante 70 días en invernadero. Posteriormente se evaluó el crecimiento en vivero de esas plantas aclimatizadas al establecerlas en diferentes sustratos y condiciones de fertilización. Durante estas etapas se demostró que el abastecimiento de nutrimentos es una condición apropiada para la adaptación y crecimiento de las plantas. Crespo-González *et al.* (2013) evaluaron plantas micropropagadas de *Agave tequilana* Weber que a partir de 16 meses de crecimiento *ex vitro* se establecieron durante nueve meses en diversos sustratos que tenían polvo de coco, turba, y compost de bagazo de agave, solos o combinados. Transcurrido ese tiempo las plantas que tuvieron mejor crecimiento fueron las que se establecieron en sustrato con composta de bagazo de agave al 50%. En dicho trabajo se considera que el diámetro de tallo, número de hojas, longitud y ancho de las hojas son características que pueden emplearse como criterio de calidad en plantas de agave. No se tienen datos suficientes sobre el comportamiento de plantas de agave micropropagadas en etapas posteriores a la aclimatización.

En diversas especies de cultivo, la condición nutrimental, principalmente de nitrógeno afecta el índice de área foliar y las tasas fotosintéticas foliares, que están asociadas con la producción de

materia seca. En el caso de olivo (*Olea europea* L.) plantas de un año de edad sometidas a deficiencia de N, tuvieron menos nitrógeno foliar, clorofila *a* y mostraron significativa reducción de capacidad fotosintética, comparadas con plantas que recibieron adecuando suministro de N (Boussadia *et al.*, 2010). Doscintas cuarenta plantas de *Ricinus communis* L. cv. ‘Hale’ obtenidas de semillas que a partir de la emergencia de plántulas y hasta los 34 días después de la siembra, (dds), recibieron solución de Hoagland completa. Posteriormente el total de plantas se separó en tres grupos para aplicarles diariamente hasta el día 66 dds, solución nutritiva con concentraciones diferentes de nitrógeno: N en concentración completa (100%), N reducido a 20%, y sin N. Al reducir el abastecimiento de N, las plantas mostraron crecimiento limitado, pero esta limitación fue más notoria en área foliar y peso seco foliar. La relación Raíz/brote fue mayor en las plantas en condición de deficiencia de N. Las plantas fertirrigadas con la solución nutritiva completa y las que recibieron la solución nutritiva carente de N, tuvieron respectivamente, 70 y 12.6 g N kg⁻¹ en las hojas, 199.5 y 89.4 g de peso seco total; 111.7 y 69.6 cm de altura; 0.93 y 0.23 m² de área foliar; su actividad fotosintética fue de 44 y 13 μmol m⁻² s⁻¹ (Reddy y Matcha, 2010).

Cuadro 2. Análisis de varianza, para el efecto proporción de abono en el sustrato, dosis de fertirriego e interacción de los mismos, en cada una de las variables evaluadas en órganos de *Agave angustifolia* Haw.

F.V.	G.L.	Cuadrados medios y significancia					
		Raíz		Hojas		Tallo	
		Long	Vol.	Cantidad	Tamaño	Diámetro	PF
S	4	379.7 *	2843.9 **	190.9 **	133.3 **	2.40 **	239.9 **
F	3	89.4 ns	473.4 *	0.8 ns	10.7 *	0.16 *	10.0 ns
S* F	12	264.2 *	186.8 ns	3.5 ns	3.9 ns	0.09 ns	6.8 ns
Error	100	130.9	137.0	4.6	3.3	0.06	4.5
Total	119						

F.V.= fuentes de variación; G.L.= grados de libertad; S= sustrato; F= fertirriego; S*F= interacción; Long=longitud; Vol= volumen; PF= peso fresco *= valor de F significativo (P≤ 0.05); **= valor de F altamente significativo (P≤ 0.01).

En el presente trabajo, los análisis de varianza mostraron que los sustratos tuvieron diferencias de efecto significativas (P ≤ 0.05) en longitud de raíz, y altamente significativas (P ≤ 0.01) en volumen de raíz, cantidad de hojas, longitud de la hoja mayor, diámetro y peso fresco del tallo; materia seca acumulada en raíz, tallo y hojas; contenido de fósforo, nitrógeno, potasio y magnesio en las hojas. Las variantes de abastecimiento de nutrimentos mediante el riego mostraron diferencias de efecto significativas (P≤ 0.05) en volumen de raíz, longitud de la hoja mayor, diámetro de tallo, y altamente significativas (P≤ 0.01) en el contenido de P, N, Ca y Mg en las hojas. La interacción de tipo de sustrato y abastecimiento de nutrimentos mediante riego sólo tuvo efecto significativo (P≤ 0.05) en la longitud de raíz (Cuadros 2, 3, 4).

Cuadro 3. Análisis de varianza de biomasa total y la materia seca acumulada en los diversos órganos de las plantas de *Agave angustifolia* de 10 meses en vivero.

F.V.	G.L.	Materia seca acumulada (g)		
		Raíz	Tallo	Hojas
S	4	27.1 **	10.0 **	2300.0 **
F	3	6.9 ns	0.6 ns	27.4 ns
S*F	12	6.5 ns	0.8 ns	78.2
Error	100	3.7	0.5	60.2
Total	119			

F.V.= fuentes de variación; G.L.= grados de libertad; S= sustrato; F=fertirriego; S*F= interacción; *= valor de F significativo ($P \leq 0.05$); **= valor de F altamente significativo ($P \leq 0.01$); ns= no significativo ($P > 0.05$)

Cuadro 4. Análisis de varianza, para el efecto proporción de abono en el sustrato y dosis de fertirriego e interacción de los mismos, en cada uno de los macronutrientes evaluados en hojas de *Agave angustifolia* Haw.

F.V.	G.L.	Cuadrados medios y significancia				
		P	N	K	Ca	Mg
S	4	0.019 **	0.581 **	1.655 **	0.303 ns	0.664 **
F	3	0.038 **	0.118 **	0.040 ns	6.528 **	0.040 **
S*F	12	0.002 ns	0.013 ns	0.025 ns	0.686 ns	0.005 ns
Error	40	0.002	0.010	0.020	0.933	0.003
Total	59					

F.V.= fuentes de variación; G.L.= grados de libertad; S= sustrato; F= fertirriego; S*F= interacción; P= fósforo; N= nitrógeno; K= potasio; Ca= calcio; Mg= magnesio. *= F significativo ($P \leq 0.05$); **= F altamente significativo ($P \leq 0.01$); ns = F no significativo ($P > 0.05$).

La incorporación de cantidades crecientes de abono en el sustrato hasta el 50% de su volumen, tuvo efecto positivo para que las plantas alcanzaran tamaño mayor, ya que las plantas que se establecieron en sustrato sin abono, y las plantas establecidas en sustrato con 50% de abono, formaron en promedio 15.0 y 21.5 hojas, la hoja mayor de 26.6 y 32.0 cm de longitud; el tallo de 2.2 y 2.9 cm de diámetro, que tuvo 4.5 y 11.6 g de peso fresco; la materia seca en raíz fue de 5.4 y 8.3 g, en tallo fue de 1.5 y 3.2 g, foliar fue de 26.8 y 52.6 g, respectivamente, magnitudes que en cada caso fueron significativamente diferentes (Tukey, 0.05) (Cuadros 5 y 6). Se observa que, de la biomasa total, entre el 79.4 a 83.15% se acumuló en las hojas, entre el 4.59 y 5.23% en el tallo, y entre 11.86 y 16.0 en la raíz. Las plantas acumularon más biomasa en relación positiva con la cantidad de abono en el sustrato, pero la proporción de la biomasa que se acumuló en la raíz disminuyó, mientras que la proporción de la biomasa que se acumuló en las hojas aumentó (Cuadro 6). Las plantas establecidas en sustratos con 75 a 100% de abono no lograron crecimiento adicional, respecto a aquellas plantas establecidas en sustrato con 50% abono.

Cuadro 5. Características de plantas de *Agave angustifolia* Haw. micropropagadas en respuesta a los factores tipo de riego, o cantidad de abono en el sustrato.

Factor tipo de riego	Características					
	LR (cm)	VR (cm ³)	NH	LH	DT	PFT
Agua	45.14 a	46.4 a	19.58 a	29.52 b	2.66 b	9.64 a
Biofert	41.64 a	44.56 ab	19.94 a	30.50 ab	2.88 a	10.10 a
SN50	43.08 a	42.4 ab	19.78 a	30.72 ab	2.72 ab	10.08 a
SN100	41.41 a	37.22 b	19.90 a	30.80 a	2.74 ab	8.88 a
Factor cantidad de abono						
Sin abono	49.15 a	25.27 c	15.05 c	26.65 c	2.20 c	4.52 c
25% Abono	42.30 ab	41.10 b	20.00 b	29.67 b	2.75 b	8.97 b
50% Abono	43.10 ab	54.10 a	21.55 ab	32.05 a	2.92ab	11.60 a
75% Abono	41.22 ab	48.60 ab	22.25 a	31.07 ab	3.02 a	12.45 a
100% Abono	38.30 b	44.15 b	20.15 b	32.47 a	2.85 ab	10.82 a

LR= longitud de de raíz; VR= volumen de raíz; NH= número de hojas; LH= longitud de hoja; DT= diámetro de tallo; PFT= peso fresco de tallo. SN50= solución nutritiva a 50% de concentración de nutrimentos; SN100= solución nutritiva a 100% de concentración de nutrimentos. En cada columna y factor, medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

Cuadro 6. Materia seca acumulada en plantas de *Agave angustifolia* Haw micropropagadas en respuesta a los factores tipo de riego, o cantidad de abono en el sustrato.

Factor tipo de riego	Materia seca acumulada (g)			
	Raíz	Tallo	Foliar	Total
Agua	7.11 a (13.81%)	2.69 a (5.22%)	41.66 a (80.95%)	51.46 a
Biofertilizante	6.98 a (13.20%)	2.64 a (5.00%)	43.20 a (81.80%)	52.82 a
SN50	6.94 a (13.09%)	2.68 a (5.05%)	43.40 a (81.86%)	53.02a
SN100	5.86 a (11.75%)	2.41 a (4.81%)	41.60 a (83.43%)	49.86 a
Factor cantidad de abono				
Sin abono	5.40 b (16.0%)	1.55 c (4.59%)	26.80 c (79.4%)	33.75 c
25% Abono	6.87 ab (13.32%)	2.65 ab (5.13%)	42.05 b (81.5%)	51.57 ab
50% Abono	8.33 a (12.98%)	3.20 a (4.98%)	52.60 a (82.0%)	64.13 a
75% Abono	6.94 ab (11.90%)	3.05 ab (5.23%)	48.32 ab (82.8%)	58.31 ab
100% Abono	6.07 b (11.86%)	2.55 b (4.98%)	42.55 b (83.15%)	51.17 b

SN50= solución nutritiva a 50% de concentración de nutrimentos; SN100= solución nutritiva a 100% de concentración de nutrimentos. En cada columna y factor, medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

El contenido de nutrimentos P, K, Mg y N en las hojas aumentó en relación positiva, mientras que el Ca disminuyó en relación al contenido creciente de abono en el sustrato, de tal manera que las plantas establecidas en sustrato sin abono y las plantas establecidas en sustrato con 100% abono, sus hojas tuvieron en mg g⁻¹ de materia seca: 2.55 y 3.52 P, 7.77 y 17.88 K, 4.31 y 9.71 Mg, 6.62 y 11.47 N, 59.53 y 56.05 Ca, respectivamente, cantidades que en cada caso fueron significativamente diferentes (Tukey,0.05) (Cuadro 7).

Cuadro 7. Contenido de nutrimentos en las hojas de plantas de *Agave angustifolia* Haw micropropagadas en respuesta a los factores tipo de riego, o cantidad de abono en el sustrato.

Factor tipo de riego	Macronutrimentos (mg g ⁻¹)				
	P	K	Ca	Mg	N
Agua	2.764 b	12.534 c	53.220 c	6.312 d	8.79 c
Biofertilizante	3.692 a	13.278 a	68.408 a	7.232 a	10.02 ab
SN50	2.610 d	12.172 d	56.652 b	6.440 c	9.02 bc
SN100	2.70 c	13.140b	57.202 b	6.992 b	10.69 a
Factor cantidad de abono					
Sin abono	2.55 d	7.77 e	59.53 a	4.31 e	6.62 c
25% Abono	2.72 c	11.11 d	59.92 a	5.22 d	8.637 b
50% Abono	2.74 c	13.39 c	59.54 a	5.89c	9.371 b
75% Abono	3.19b	13.76 b	59.31 a	8.84 b	12.05 a
100% Abono	3.52 a	17.88 a	56.05 b	9.71 a	11.47 a

P= fósforo; K= potasio; Ca= calcio; Mg= magnesio; N= nitrógeno. SN50= solución nutritiva a 50% de concentración de nutrimentos; SN100= solución nutritiva a 100% de concentración de nutrimentos. En cada columna y factor, medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

CONCLUSIONES

Las plantas de *Agave* que se establecieron en sustratos sin abono y no se fertirrigaron, desarrollaron raíces más largas, pero menos ramificadas y de menor volumen, las hojas y tallo más pequeñas, en comparación a plantas establecidas en sustratos con abono y fertirrigadas. Las plantas establecidas en sustratos con 50 % o más de abono tuvieron hojas, tallo y volumen de raíz, de tamaño mayor que las plantas en sustratos sin abono. Las plantas de *Agave angustifolia* alcanzaron mayor tamaño en respuesta al abastecimiento de nutrimentos, ya sea mediante incorporación de abono al sustrato o bien mediante fertirriego. Las plantas que se establecieron en el sustrato que contenía el 50% de abono, fertirrigadas con la solución a 50 % de nutrimentos y las plantas establecidas en sustratos sin abono, que no recibieron fertirriego, tuvieron 22 y 14 hojas, de 32.7 y 25.1 cm de longitud; el tallo de 2.9 y 1.9 cm de diámetro, así como 71.4 y 29.8 g de biomasa total, respectivamente. El contenido de macroelementos (N, P, K y Mg) en la materia seca de las hojas de *Agave*, fue mayor en las plantas establecidas en los sustratos con concentraciones altas de abono (75 y 100%), en comparación a las plantas no fertilizadas. La materia seca foliar de las plantas establecidas en sustratos con 100% abono, biofertilizadas, así como las plantas establecidas en sustrato sin abono

y que no recibieron fertirriego tuvieron en promedio, mg g⁻¹: 12.0 y 6.0 de N, 4.4 y 2.3 de fósforo, 17.1 y 8.1 de K, 10.4 y 4.2 de Mg, así como 60.0 y 60.0 de Ca, respectivamente.

LITERATURA CITADA

- Angeles-Espino A., A. J. Valencia-Botín, G. Virgen-Calleros, C. Ramírez-Serrano, L. Paredes-Gutiérrez y S. Hurtado-De la Peña. 2012. Micropropagación de agave (*Agave tequilana* Weber. var. *Azul*) a través de yemas axilares. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 15:693-698.
- Binh, L. T., L.T. Muoi, H.T.K Oanh, T.D. Thang and D.T. Phong. 1990. Rapid propagation of agave by *in vitro* tissue culture. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 23: 67-70.
- Boussadia, O., K. Steppe, H. Zgallai, S. Ben El Hadj, M. Braham, R. Lemeur and M.C. Van Labeke. 2010. Effects of nitrogen deficiency on leaf photosynthesis, carbohydrate status and biomass production in two olive cultivars ‘Meski’ and ‘Koroneiki’. *Scientia Horticulturae* 123: 336- 342.
- Crespo-González M.R., D. R. González-Eguiarte, R. Rodríguez-Macías, L.A. Rendón-Salcido, J.I. Real-Laborde y J.P. Torres-Morán. 2013. Evaluación de la composta de bagazo de agave como componente de sustratos para producir plántulas de agave azul tequilero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4(8): 1161-1173.
- Cruz-García H., G.V. Campos-Ángeles, J.R. Enríquez-del Valle, V. A. Velasco-Velasco y G. Rodríguez-Ortiz. 2017. Senescencia foliar en plantas micropropagadas de *Agave americana* durante su aclimatización. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8(2): 381-391.
- Enríquez-del Valle, J.R. 2008. La Propagación y crecimiento de agaves. Fundación Produce Oaxaca A.C.- Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. 46 p.
- Enríquez-del Valle, J.R., G. Carrillo-Castañeda, and J. Rodríguez-de la O. 2005. Sales inorgánicas y ácido indolbutírico en el enraizamiento *in vitro* de brotes de *Agave angustifolia*. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28:175-178.
- Enríquez- del Valle, J.R., V. A. Velasco- Velasco, G.V. Campos-Ángeles, E. Hernández-Gallardo y M.N. Rodríguez- Mendoza. 2009. *Agave angustifolia* plants grown with different fertigation doses and organicsubstrates. *Acta Horticulturae* 843: 49- 55.
- Enríquez- del Valle., J.R., I. Cruz- Valdez and G. Carrillo-Castañeda. 2012. Acclimatization of *Agave angustifolia* Haw vitroplants in inert substrates and fertigated with different nutrimental dose. *Acta Horticulturae* 947: 101- 104.
- Enríquez- del Valle., J.R., A. Estrada-Silias, G. Rodríguez-Ortiz, V.A. Velasco-Velasco y G.V. Campos-Ángeles. 2013. Sustrato y dosis de fertirriego en la aclimatización de vitroplantas de *Agave americana* var. *oaxacencis*. *Rev. FCA UNCUYO* 45(2): 341-348.
- Escamilla-Treviño, L.L. 2012. Potential of plants from the genus *Agave* as bioenergy crops. *Bioenergy Research* 5: 1-9.
- García-Mendoza A. J., M. Ordóñez J. y M Briones S. 2004. Biodiversidad de Oaxaca. REDACTA, S.A. de C. V. México. D. F. 154 p.
- Peña T. E., M. Ramírez C., F. Martínez, A. Rodríguez N. y N. Companioni C. 2002. Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana. La Habana Cuba. 87 p.
- Reddy K.R. and S.K. Matcha. 2010. Quantifying nitrogen effects on castor bean (*Ricinus communis* L.) development, growth and photosynthesis. *Industrial Crops and Products* 31: 185-191. Doi: 10.1016/j.indcrop.2009.10.004
- Restrepo, R. J. 1996. Cartilla de abonos orgánicos y caldos minerales, experiencias de agricultores del Estado de México y Querétaro. Asociación Ambientalista Guerreros Verdes. A. C. 58 p.

- Ríos-Ramírez S.C., J. R. Enríquez-del Valle, G. Rodríguez-Ortiz and J-Ruíz-Luna. 2017. Benzylaminopurine and indol-3-acetic acid concentrations in *in vitro* proliferation of *Agave angustifolia* adventitious shoots. *Cien. Inv. Agr.* 44(3): 285-294. DOI: 10.7764/rcia.v44i3.1810
- Ríos-Ramírez S.C., J.R. Enríquez-del Valle, G. Rodríguez-Ortiz, J. Ruíz-Luna and V.A. Velasco-Velasco. 2018. *In vitro* formation of adventitious shoots on caulinary tissue of physiologically contrasting *Agave angustifolia* plants. *Emirates Journal of Food and Agriculture.* 30(1): 49-56. doi: 10.9755/ejfa.2018.v30.i1.1584
- Sánchez-Urbina, A., L.M.C. Ventura-Canseco, T. Ayora-Talavera, M. Abud Archila, M.A. Pérez-Farrera, L. Dendooven and F.A. Gutierrez-Miceli. 2008. Seed germination and *in vitro* propagation of *Agave grijalvensis* an endemic mexican species. *Asian Journal of Plant Sciences* 7(8): 752- 756.
- SAS Institute Inc. 2011. SAS/ETS 9.3 User's Guide. SAS Institute, Cary, NC. USA.
- Steiner A. A. 1984. The Universal nutrient solution. *In: Proceedings of Sixth International Congress on Soilless culture Lunteren. Wageningen-The Netherlands.* pp. 633- 650.
- Valenzuela Z. A. G. y D. R. González E. 1995. Fertilización del agave tequilero (*Agave tequilana* Weber) en la región de Tequila, Jalisco, México. *Terra* 13: 81-95.
- Valenzuela-Sánchez, K. K., R.E. Juárez-Hernández, A. Cruz-Hernández, V. Olalde-Portugal, M.E. Valverde y O. Paredes-López. 2006. Plant regeneration of *Agave tequilana* by indirect organogenesis. *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant* 42(4): 336-340.
- Wander M. M., S. J. Traina, B. S. Stinner and S. E. Peters. 1994. Organic and conventional management effects on biologically active soil organic matter pools. *Soil Science Society of America Journal* 58: 1130- 1138.
- Zhao, D., K- Raja-Reddy, V. Gopal-Kakani and V.R. Reddy. 2005. Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorghum. *Europ. J. Agronomy* 22: 391- 403. Doi: 10.1016/j.eja.2014.06.005