

Effect of biofertilizers on growth of aloe (*Aloe barbadensis* Miller) and gel quality under different soil moisture contents

Efecto de biofertilizantes en el crecimiento de sábila (*Aloe barbadensis* Miller) y calidad de gel en diferentes contenidos de humedad del suelo

Juan Antonio Núñez-Colima¹; Aurelio Pedroza-Sandoval^{1*}; Ricardo Trejo-Calzada¹; Ignacio Sánchez-Cohen²; Ricardo Mata-González³

¹Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Carretera Gómez Palacio-Chihuahua km 38, Bermejillo, Durango, C. P. 35230, MÉXICO.

²Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua, Suelo, Planta, Atmósfera. Canal Sacramento km 6.5, Zona Industrial 4ta Etapa, Gómez Palacio, Durango, C. P. 35140, MÉXICO.

³Oregon State University. 120 Withycombe Hall, Corvallis, Oregon, P. C. 97331, USA.

*Corresponding author: apedroza@chapingo.uruza.edu.mx, tel. 871 28 07 145.

Abstract

Aloe (*Aloe barbadensis* Miller) is a water deficit-tolerant plant. Products obtained from the leaf have a high commercial value in the medical, food and cosmetological industries. The aim of this study was to evaluate the growth and development of aloe (*Aloe barbadensis* M.) plants and the quality of its gel when applying bat guano extract (BGE) and seaweed extract (SE) in different soil moisture contents. A split-plot randomized block design was used with three replicates. The large plots were soil moisture contents: low (13 to 17 %), medium (18 to 22 %) and high (23 to 27 %); the medium plots were the BGE doses (0 and 20 L·ha⁻¹·year⁻¹), and the small plots the SE doses (0 and 20 L·ha⁻¹·year⁻¹). At 152, 238 and 458 days after the first application of the biofertilizers (DAFAB), plant height (cm), leaf length, width and thickness (cm), gel weight (g) and concentration of total soluble solids (TSS, %) in the gel were measured. Leaf width and thickness were higher when the soil moisture content was close to field capacity (23 to 27 %), while leaf length and width were higher in the first two evaluations when the moisture content was medium (18-22 %). The TSS concentration did not show significant statistical differences ($P \leq 0.05$) in any treatment. At the end of the evaluation cycle (458 DAFAB), BGE increased leaf width and thickness.

Keywords: plant nutrition, arid zones, added value, water stress.

Resumen

La sábila (*Aloe barbadensis* Miller) es una planta tolerante al déficit hídrico. Los productos obtenidos de la hoja tienen un valor comercial alto en las industrias médica, alimenticia y cosmetológica. El objetivo del estudio fue evaluar el crecimiento y desarrollo de plantas de sábila (*Aloe barbadensis* M.) y la calidad de su gel al aplicar extracto de guano de murciélago (EGM) y extracto de algas marinas (EAM) en diferentes contenidos de humedad del suelo. Se usó un diseño de bloques al azar en parcelas subdivididas con tres repeticiones. Las parcelas grandes fueron los contenidos de humedad del suelo: bajo (13 a 17 %), medio (18 a 22 %) y alto (23 a 27 %); las parcelas medianas las dosis de EGM (0 y 20 L·ha⁻¹·año⁻¹), y las parcelas chicas las dosis de EAM (0 y 20 L·ha⁻¹·año⁻¹). A los 152, 238 y 458 días después de la primera aplicación de los biofertilizantes (DDPAB), se midió la altura de planta (cm), longitud, ancho y grosor de hoja (cm), peso del gel (g) y concentración de sólidos solubles totales (SST, %) en el gel. El ancho y grosor de hojas fueron mayores cuando el contenido de humedad del suelo estuvo próximo a capacidad de campo (23 a 27 %); en tanto que, la longitud y ancho de hoja fueron mayores en las dos primeras evaluaciones cuando el contenido de humedad fue medio (18-22 %). La concentración de SST no mostró diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) en ningún tratamiento. Al final del ciclo de evaluación (458 DDPAB), el EGM incrementó el ancho y grosor de la hoja.

Palabras clave: nutrición vegetal, zonas áridas, valor agregado, estrés hídrico.



Introduction

The aloe (*Aloe barbadensis* M.) has a crassulacean acid metabolism (CAM), which makes it tolerant to water deficit. Due to its characteristics, it is a crop that adapts to different environments, from arid to tropical and subtropical climates (Borland, Griffiths, Hartwell, & Smith, 2009; Nobel & Zhang, 2006; Winter, Aranda, & Holtum, 2005); therefore, it is considered as a viable production alternative for marginal agricultural areas characterized by low water availability, surface soils with low organic matter content and other limiting factors common to Mexico's arid zones.

Products obtained from the aloe leaf, such as juice, gel or powder, have high commercial value in the medical, food and cosmetological industries (Eshun & He, 2004; Ni, Turner, Yates, & Tigard, 2004). This is because it strengthens the immune system, aids in the treatment of burns, and restores the digestive system, among other benefits (Pedroza-Sandoval & Gómez-Lorence, 2006).

The water content in plant tissues determines the turgor state of the cells and the volume of the leaves. In the case of succulent plants such as aloe, this parameter affects the quantity and quality of gel (Delatorre-Herrera, Delfino, Salinas, Silva, & Cardemil, 2010; Murillo-Amador et al., 2015). It has been reported that moderate water stress can favor the concentration of total soluble solids (TSS) in the gel, a fact that gives it greater market value (Delatorre-Herrera et al., 2010).

Currently, agronomic techniques continue to be explored to improve the quantity and quality of aloe leaves (Cardarelli et al., 2013; Murillo-Amador et al., 2015; Pedroza-Sandoval et al., 2015) to meet domestic and international market demand. In particular, the Asian and European markets request organic aloe gel, powder and juice (Pedroza-Sandoval & Gómez-Lorence, 2006). However, when aloe is produced organically, its derivatives have a price premium of up to 30 % on the market (Gómez-Tovar, Gómez-Cruz, & Schwententesius-Rindermann, 1999).

For this reason, different sources of organic fertilization have been studied, such as the use of manure (Quiroga-Garza, Cueto-Wong, & Figueroa-Viramontes, 2011), organic extracts (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2013), compost produced from organic waste bioprocessed by the action of the red California earthworm (*Eisenia foetida* Savigny, 1826) (Calzada-Rivera & Pedroza-Sandoval, 2005; Pedroza-Sandoval et al., 2015), algae extract (Aba-Guevara et al., 2016; Canales-López, 1999), humic acids (Aba-Guevara et al., 2016; Pedroza-Sandoval & Durán-Berdejo, 2005) and bat guano extract (Narro, 1985). However, these products have not been evaluated in contrast to soil moisture, which is important

Introducción

La sábila (*Aloe barbadensis* M.) presenta un metabolismo ácido crasuláceo (CAM, por sus siglas en inglés), lo que la hace tolerante al déficit hídrico. Por sus características, es un cultivo que se adapta a diferentes ambientes, desde los climas áridos hasta los tropicales y subtropicales (Borland, Griffiths, Hartwell, & Smith, 2009; Nobel & Zhang, 2006; Winter, Aranda, & Holtum, 2005), por lo que se considera como una alternativa viable de producción para áreas agrícolas marginales de disponibilidad hídrica baja, suelos superficiales con bajo contenido de materia orgánica y otros factores limitantes presentes en las zonas áridas de México.

Los productos obtenidos de la hoja de sábila, como el jugo, gel o polvo, tienen valor comercial alto en las industrias médica, alimenticia y cosmetológica (Eshun & He, 2004; Ni, Turner, Yates, & Tigard, 2004). Lo anterior debido a que fortalece el sistema inmunológico, es auxiliar en el tratamiento de quemaduras, restablece el sistema digestivo, entre otros (Pedroza-Sandoval & Gómez-Lorence, 2006).

El contenido de agua en los tejidos vegetales determina el estado de turgencia de las células y el volumen de las hojas. En el caso de las plantas suculentas como la sábila, este parámetro repercute en la cantidad y calidad de gel (Delatorre-Herrera, Delfino, Salinas, Silva, & Cardemil, 2010; Murillo-Amador et al., 2015). Se ha reportado que el estrés hídrico moderado puede favorecer la concentración de los sólidos solubles totales (SST) en el gel, aspecto que le da mayor valor en el mercado (Delatorre-Herrera et al., 2010).

Actualmente, se continúan explorando técnicas agronómicas que permitan mejorar la cantidad y calidad de las hojas de sábila (Cardarelli et al., 2013; Murillo-Amador et al., 2015; Pedroza-Sandoval et al., 2015), para satisfacer la demanda en el mercado nacional e internacional. En particular, el mercado asiático y europeo solicitan gel, polvo o jugo de sábila de origen orgánico (Pedroza-Sandoval & Gómez-Lorence, 2006). No obstante, cuando la sábila se produce en forma orgánica, sus derivados tienen un sobreprecio de hasta 30 % en el mercado (Gómez-Tovar, Gómez-Cruz, & Schwententesius-Rindermann, 1999).

Por lo anterior, se han estudiado diferentes fuentes de fertilización orgánica, como el uso de estiércoles (Quiroga-Garza, Cueto-Wong, & Figueroa-Viramontes, 2011), extractos orgánicos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO, por sus siglas en inglés], 2013), composta producida a base de residuos orgánicos bioprocados por la acción de lombriz de california (*Eisenia foetida* Savigny, 1826) (Calzada-Rivera & Pedroza-Sandoval, 2005; Pedroza-Sandoval et al., 2015), extracto de

considering the fact that at certain levels of water stress the plants tend to increase the concentration of TSS in the juice or gel (Borland et al., 2009; Nobel & Zhang, 2006; Pedroza-Sandoval & Gómez-Lorence, 2006; Pedroza-Sandoval, 1995), which is one of the most valued quality features in the market. Therefore, it is important to evaluate different organic fertilizers under different soil moisture contents.

Bat guano extracts (BGE) have been used to recover nutrients and physico-chemical characteristics in arid soils affected by intensive production practices (Justin & Allison, 2007). Seaweed extracts (SE) are reported to have better properties than chemical fertilizers, because they more slowly release some elements such as nitrogen, in addition to being rich in micronutrients (Pedroza-Sandoval et al., 2015).

Therefore, the objective of this study was to evaluate the growth and development of aloe plants and the quality of their gel when applying bat guano extract and seaweed extract to different soil moisture contents.

Materials and methods

Geographic location

The study was carried out in the experimental field of the Arid Zone Regional University Unit of the *Universidad Autónoma Chapingo* in Bermejillo, Durango, Mexico (23° 54' North latitude and 103° 37' West longitude, at 1,130 masl). This area has a desert climate, with average rainfall of 250 mm per year and annual potential evaporation of 2,600 mm. The annual average temperature is 20 °C, which fluctuates from 28 to 40 °C. The coldest period is from December to January, with an average of 4.9 °C (Comisión Nacional del Agua [CNA], 2006).

The study was carried out during 2014 and 2015 in a four-year-old aloe plantation with average plant height of 50 cm. The experimental area's soil is clay loam, with mostly poor drainage, calcareous (with 13 % total carbonates [CaCO_3]), 2.3 % organic matter, slightly alkaline pH (8.2), electrical conductivity of $2.6 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, rich in phosphorus ($7.4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) and potassium ($1,280 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) and poor in nitrogen ($5.6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) (Ortiz-Cano et al., 2009).

Study factors

Soil moisture levels

Three soil moisture levels were tested: low (13 to 17 %, equivalent of -1.5 to -0.3 MPa), medium (18 to 22 %, equivalent of -0.18 to -0.07 MPa) and high (23 to 27 %, equivalent of -0.06 to -0.03 MPa), where the

algas (Aba-Guevara et al., 2016; Canales-López, 1999), ácidos húmicos (Aba-Guevara et al., 2016; Pedroza-Sandoval & Durán-Berdejo, 2005) y extracto de guano de murciélago (Narro, 1985). Sin embargo, estos productos no han sido valorados en contraste con humedad edáfica; esto considerando el antecedente de que a determinados niveles de estrés hídrico las plantas tienden a incrementar la concentración de SST en el jugo o gel (Borland et al., 2009; Nobel & Zhang, 2006; Pedroza-Sandoval & Gómez-Lorence, 2006; Pedroza-Sandoval, 1995), que es una de las características de calidad más cotizadas en el mercado. Por ello, es importante evaluar distintos fertilizantes orgánicos bajo diferentes contenidos de humedad del suelo.

Los extractos de guano de murciélago (EGM) se han utilizado para recuperar nutrientes y características físico-químicas en suelos áridos afectados por prácticas intensivas de producción (Justin & Allison, 2007). En tanto que, los extractos de algas marinas (EAM) se reportan con mejores propiedades que los fertilizantes químicos, esto debido a que liberan más lentamente algunos elementos como el nitrógeno, además de ser ricos en micronutrientes (Pedroza-Sandoval et al., 2015).

Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el crecimiento y desarrollo de plantas de sábila y la calidad de su gel al aplicar extracto de guano de murciélago y extracto de algas marinas a diferentes contenidos de humedad del suelo.

Materiales y métodos

Ubicación geográfica

El estudio se llevó cabo en el campo experimental de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, en Bermejillo, Durango, México (23° 54' latitud norte y 103° 37' de longitud oeste, a 1,130 msnm). Esta área presenta un clima desértico, con una precipitación pluvial promedio de 250 mm anuales y evaporación potencial anual de 2,600 mm. La temperatura promedio anual es de 20 °C, la cual fluctúa de 28 a 40 °C. El período más frío es de diciembre a enero, con un promedio de 4.9 °C (Comisión Nacional del Agua [CNA], 2006).

El estudio se llevó a cabo durante 2014 y 2015 en una plantación de sábila de cuatro años de edad con altura promedio de planta de 50 cm. El suelo del área experimental es franco arcilloso, con mal drenaje en su mayor parte, calcáreo (con 13 % de carbonatos totales [CaCO_3]), 2.3 % de materia orgánica, pH ligeramente alcalino (8.2), conductividad eléctrica de $2.6 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, rico en fósforo ($7.4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) y potasio ($1,280 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) y pobre en nitrógeno ($5.6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) (Ortiz-Cano et al., 2009).

permanent wilting point (PWP) and field capacity (FC) are 13 and 27 %, respectively. The irrigation-drought method was used to maintain treatments with a favorable soil moisture level (near FC) and an unfavorable one (near PWP), by means of controlled water supply (Jiménez-Galindo & Acosta-Gallegos, 2013) using a tape-type drip irrigation system, with which different soil moisture level treatments were provided. The soil characteristics were: bulk density of $1.2 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, capillarity of $L = 2.3669T^{0.4215}$ (L in cm and T in min), infiltration rate of $1.3 \text{ cm}\cdot\text{h}^{-1}$, mean daily evapotranspiration of 11 mm and experimental evaporation coefficient of 70 %.

The irrigations were applied according to the soil moisture level, which was verified with a digital meter (Soil Tester model HB-2) with real-time reading. The soil moisture supply calibration curve based on water potential (MPa) was determined with a pressure plate extractor (Soil Moisture Equipment Co Model 1500F1). After the initial irrigation standardized to field capacity, the soil moisture was allowed to fall according to the soil moisture treatments indicated above, proceeding to the recovery irrigations when a 4 % depletion was detected in each treatment.

Bat guano extract

The chemical composition of the BGE is 9.6 % phosphorus oxide (P_2O_5), 2.5 % N, 2.32 % potassium oxide (K_2O), 14.1 % calcium oxide (CaO), 6.29 % magnesium oxide (MgO), 0.49 % Fe, 0.0162 % Cu, 0.0715 % Zn, 0.00021 % Co, 0.002 % Mo, 0.00418 % Bo and 11.5 % organic matter (Justin & Allison, 2007). The dose used was $20 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$ BGE and the control was without application.

Seaweed extract

The SE are produced by a regional company called *Sanialga Mex, S.A. de C.V.* Its chemical composition is 14800, 14500, 13600, 1320, 750, 62, 505, 404 and $147 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ of P, N, Na, Mg, P, Ca, Zn, Fe and Cu, respectively (Frikha et al., 2011). A dose of $20 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$ SE was used, and the control was without application.

The combination of the three soil moisture levels and the two doses (0 and $20 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$) of each type of extract resulted in a total of 12 treatments. The BGE and SE applications were carried out in May, August and November 2014, with one third of the total dose being applied per application date. The same procedure was repeated in February, May and August of 2015. Both biofertilizers were applied in liquid form with a manual backpack sprayer adapted with a steel tube at the height of the nozzle so that it could be inserted in the soil to 10 cm deep in the plant's rhizosphere area.

Factores de estudio

Niveles de humedad del suelo

Se probaron tres niveles de humedad del suelo: bajo (de 13 a 17 %, equivalente de -1.5 a -0.3 MPa), medio (de 18 a 22 %, equivalente de -0.18 a -0.07 MPa) y alto (de 23 a 27 %, equivalente de -0.06 a -0.03 MPa), donde el punto de marchitez permanente (PMP) y la capacidad de campo (CC) son 13 y 27 %, respectivamente. Se usó el método riego-sequia, el cual consiste en mantener a los tratamientos con humedad del suelo favorable (próximo a CC) y desfavorable (próximo a PMP), mediante suministro controlado de agua (Jiménez-Galindo & Acosta-Gallegos, 2013) utilizando un sistema de riego por goteo tipo cinta, con el cual se propiciaron los diferentes tratamientos de niveles de humedad del suelo. Las características del suelo fueron: densidad aparente de $1.2 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, capilaridad de $L = 2.3669T^{0.4215}$ (L en cm y T en min), velocidad de infiltración de $1.3 \text{ cm}\cdot\text{h}^{-1}$, evapotranspiración media diaria de 11 mm y coeficiente experimental de evaporación de 70 %.

Los riegos se aplicaron según el nivel de humedad del suelo; lo cual se verificó con un medidor digital (Soil Tester modelo HB-2) con lectura en tiempo real. La curva de calibración de abatimiento de humedad edáfica con base en el potencial hídrico (MPa) se determinó con una olla de membrana de presión (Soil Moisture Equipment Co modelo 1500F1). Después del riego inicial estandarizado a capacidad de campo, se dejó abatir la humedad edáfica de acuerdo con los tratamientos de humedad del suelo antes indicados, procediendo a los riegos de recuperación cuando se detectó un abatimiento de 4 % en cada tratamiento.

Extracto de guano de murciélago

La composición química del EGM es de 9.6 % de óxido de fósforo (P_2O_5), 2.5 % de N, 2.32 % de óxido de potasio (K_2O), 14.1 % de óxido de calcio (CaO), 6.29 % de óxido de magnesio (MgO), 0.49 % de Fe, 0.0162 % de Cu, 0.0715 % de Zn, 0.00021 % de Co, 0.002 % de Mo, 0.00418 % de Bo y 11.5 % de materia orgánica (Justin & Allison, 2007). La dosis empelada fue de $20 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ de EGM y el testigo fue sin aplicación.

Extracto de algas marinas

Los EAM, son producidos por una empresa regional denominada *Sanialga Mex, S.A. de C.V.*, su composición química es de 14800, 14500, 13600, 1320, 750, 62, 505, 404 y $147 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de P, N, Na, Mg, P, Ca, Zn, Fe y Cu, respectivamente (Frikha et al., 2011). Se usó una dosis de $20 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ de EAM y el testigo fue sin aplicación.

La combinación de los tres niveles de humedad del suelo y las dos dosis (0 y $20 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) de cada tipo

Experimental and treatment design

A split-plot randomized block design was used with three replicates. The large plots were the usable moisture levels (from 13 to 17, 18 to 22 and 23 to 27 %), the medium plots were the BGE doses (0 and 20 L·ha⁻¹·year⁻¹) and the small plots the SE doses (0 and 20 L·ha⁻¹·year⁻¹). When both products were to be applied, only 10 L·ha⁻¹·year⁻¹ of each were supplied. The experimental unit was three furrows 8 m long and 1 m wide between each furrow. The useful plot was the middle furrow of each treatment, from which four plants were selected at random to perform the measurements of the respective variables.

Variables evaluated

At 152, 238 and 458 days after the first application of the biofertilizers (DAFAB), the gel weight (g) was measured using a manual procedure for removing the cuticle from the leaf to obtain the gel fillet, TSS concentration in the gel (%), leaf length (cm), leaf width (cm), leaf thickness (cm) and plant height (cm). Leaf length, width and thickness were measured with a Vernier caliper, while for plant height a 2-m ruler was used. TSS content was determined with the Calzada-Rivera & Pedroza-Sandoval (2005) method, using a porcelain crucible at constant weight in which 1 g of the gel was deposited and dried in a Binder BD oven at 105 °C for 24 h. An analytical balance (model SHIMADZU AY220) was used for determining the weights.

Statistical analysis of data

Analysis of variance and Tukey's range test ($P \leq 0.05$) were performed using Statistical Analysis System software (SAS, 2002).

Results and discussion

Moisture content

In Table 1 it can be seen that the height of the plant did not show significant statistical differences ($P \leq 0.05$) due to soil moisture at any of the three evaluation dates. On the other hand, leaf length and width were greater at 152 and 238 DAFAB with the medium soil moisture content (18 to 22 %). Leaf thickness showed statistical differences ($P \leq 0.05$) among the different moisture treatments, with the high content (23 to 27 %) obtaining the greatest thickness at the first two evaluation dates. At 458 DAFAB there was no difference between the three soil moisture levels for any of the variables evaluated, which could be indicative of aloe's tolerance to water stress.

The results indicate that aloe, because of its succulent nature, is capable of conserving high water potentials within certain limits, even under water stress conditions,

de extracto hizo un total de 12 tratamientos. Las aplicaciones de EGM y EAM se realizaron en mayo, agosto y noviembre de 2014, dosificándose a una tercera parte la dosis total por fecha de aplicación. Esto mismo se repitió en febrero, mayo y agosto de 2015. Ambos biofertilizantes se aplicaron en forma líquida con una mochila aspersora manual con adaptación de un tubo acerado a la altura de la boquilla para poder insertarlo en el suelo a 10 cm de profundidad en la zona de la rizósfera de la planta.

Diseño experimental y de tratamientos

Se usó un diseño de bloques al azar en arreglo de parcelas subdivididas con tres repeticiones. Las parcelas grandes fueron los niveles de humedad aprovechable (de 13 a 17, 18 a 22 y 23 a 27 %), las parcelas medianas las dosis de EGM (0 y 20 L·ha⁻¹·año⁻¹) y las parcelas chicas la dosis de EAM (0 y 20 L·ha⁻¹·año⁻¹). Cuando correspondía aplicar ambos productos, solo se suministraron 10 L·ha⁻¹·año⁻¹ de cada uno. La unidad experimental fue de tres surcos de 8 m de longitud y 1 m de ancho entre cada surco. La parcela útil fue el surco medio de cada tratamiento, del cual se seleccionaron cuatro plantas al azar para realizar las mediciones de las respectivas variables.

Variables evaluadas

A los 152, 238 y 458 días después de la primera aplicación de los biofertilizantes (DDPAB) se midió el peso de gel (g) mediante un procedimiento manual de eliminación de la cutícula de la hoja para obtener el filete de gel, concentración de SST en el gel (%), longitud de hoja (cm), ancho de hoja (cm), grosor de hoja (cm) y altura de planta (cm). La longitud, ancho y grosor de hoja se midieron con un vernier; en tanto que para la altura de planta se usó una regleta de 2 m. La determinación de SST se realizó con el método empleado por Calzada-Rivera & Pedroza-Sandoval (2005), para lo cual se usó un crisol de porcelana a peso constante en el que se depositó 1 g del gel y se secó en una estufa Binder BD a 105 °C durante 24 h. Para determinar los pesos se empleó una balanza analítica (modelo SHIMADZU AY220).

Análisis estadísticos de datos

Se realizaron análisis de varianza y comparaciones múltiples de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) mediante el programa *Statistical Analysis System* (SAS, 2002).

Resultados y discusión

Contenido de humedad

En el Cuadro 1 se puede apreciar que la altura de la planta no presentó diferencias estadísticas significativas

Table 1. Plant height and leaf length, width and thickness at different sampling dates and three soil moisture contents in the cultivation of aloe (*Aloe barbadensis* Miller).**Cuadro 1. Altura de planta, longitud, ancho y grosor de hoja en diferentes fechas de muestreo y tres contenidos de humedad edáfica en el cultivo de la sábila (*Aloe barbadensis* Miller).**

Soil moisture/ Humedad del suelo	DAFAB ¹ /DDPAB ¹					
	152		238		458	
	Plant height (cm)/ Altura de planta (cm)	Leaf length (cm)/ Longitud de hoja (cm)	Plant height (cm)/ Altura de planta (cm)	Leaf length (cm)/ Longitud de hoja (cm)	Plant height (cm)/ Altura de planta (cm)	Leaf length (cm)/ Longitud de hoja (cm)
Low (13-17 %)/ Bajo (13-17 %)	61.7 a ^z	44.4 b	64.9 a	48.5 ab	51.1 a	33.5 a
Medium (18-22 %)/ Medio (18-22 %)	65.3 a	47.4 a	66.5 a	49.0 a	49.2 a	32.1 a
High (23-27 %)/ Alto (23-27 %)	63.9 a	44.4 b	64.5 a	46.9 b	50 a	32.2 a
HSD/DMSH	6.12	2.39	2.72	1.75	3.64	3.32
	Leaf width (cm)/ Ancho de hoja (cm)	Leaf thickness (cm)/ Grosor de hoja (cm)	Leaf width (cm)/ Ancho de hoja (cm)	Leaf thickness (cm)/ Grosor de hoja (cm)	Leaf width (cm)/ Ancho de hoja (cm)	Leaf thickness (cm)/ Grosor de hoja (cm)
Low (13-17 %)/ Bajo (13-17 %)	6.2 b	0.72 c	8.0 b	1.84 b	6.6 a	1.5 a
Medium (18-22 %)/ Medio (18-22 %)	6.9 a	0.96 b	8.6 a	1.86 b	6.4 a	1.5 a
High (23-27 %)/ Alto (23-27 %)	7.0 a	1.71 a	8.3 ab	2.03 a	6.1 a	1.4 a
HSD/DMSH	0.40	0.12	0.48	0.10	0.62	0.10

¹DAFAB = days after first application of the biofertilizer and HSD = honest significant difference.^zMeans with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$).¹DDAPB = días después de la primera aplicación del biofertilizante y DMSH = diferencia mínima significativa honesta.^zMedias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

allowing it to continue its growth (Granados-Sánchez, López-Ríos, & Gama-Flores, 1998) without affecting cell multiplication and division in tissues (Hsiao & Bradford, 1983). This is important since it means that in the early stages of leaf development (152 and 238 DAFAB, for this study) there is growth under different soil moisture conditions, with the variants already specified for leaf length, width and thickness; however, these effects are lost at 458 DAFAB, possibly associated with physiological drought tolerance responses.

Aloe is a genus known for its CAM photosynthetic system, which makes it capable of adapting to water deficit conditions. These types of plants are also capable of assuming the C_3 photosynthetic process under favorable soil moisture conditions (Ehleringer, 1995). This could explain the greater leaf width and thickness response obtained in medium and high soil moisture levels. It has been recognized that tolerance to water deficit is detrimental to the capacity for growth and development (Ehleringer, 1994; Nobel & Zhang, 2006), even in plants with CAM.

($P \leq 0.05$) por efecto de la humedad del suelo en ninguna de las tres fechas de evaluación. Por otro lado, la longitud y ancho de hoja fueron mayores a los 152 y 238 DDPAB con el contenido medio de humedad del suelo (18 a 22 %). El grosor de la hoja presentó diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) entre los diferentes tratamientos de humedad, siendo el contenido alto (23 a 27 %) con el que se obtuvo mayor grosor en las dos primeras fechas de evaluación. A los 458 DDPAB no hubo diferencia entre los tres niveles de humedad del suelo para ninguna de las variables evaluadas, lo cual pudiera ser un indicativo de la tolerancia al estrés hídrico de la sábila.

Los resultados indican que la sábila, por su carácter suculento, es capaz de conservar potenciales hídricos altos dentro de ciertos límites, aún en condiciones de estrés hídrico, lo que le permite continuar su crecimiento (Granados-Sánchez, López-Ríos, & Gama-Flores, 1998) sin afectar la multiplicación y división celular en los tejidos (Hsiao & Bradford, 1983). Lo anterior es importante ya que significa que en las primeras etapas

Table 2. Plant height and leaf length, width and thickness at different sampling dates when applying and not applying bat guano extract (BGE) in the cultivation of aloe (*Aloe barbadensis* Miller).

Cuadro 2. Altura de planta, longitud, ancho y grosor de hoja en diferentes fechas de muestreo al aplicar extracto de guano de murciélago (EGM) en el cultivo de la sábila (*Aloe barbadensis* Miller).

BGE dose (L·ha ⁻¹ ·year ⁻¹) / Dosis de EGM (L·ha ⁻¹ ·año ⁻¹)	DAFAB ¹ / DDPAB ¹					
	152		238		458	
	Plant height (cm) / Altura de planta (cm)	Leaf length (cm) / Longitud de hoja (cm)	Plant height (cm) / Altura de planta (cm)	Leaf length (cm) / Longitud de hoja (cm)	Plant height (cm) / Altura de planta (cm)	Leaf length (cm) / Longitud de hoja (cm)
0	63.3 a ^z	44.8 a	65.7 a	47.5 a	50.8 a	31.8 b
20	64.0 a	46.1 a	65.0 a	48.8 a	49.5 a	34.1 a
HSD / DMSH	4.17	1.63	1.85	1.19	2.48	2.26
	Leaf width (cm) / Ancho de hoja (cm)	Leaf thickness (cm) / Grosor de hoja (cm)	Leaf width (cm) / Ancho de hoja (cm)	Leaf thickness (cm) / Grosor de hoja (cm)	Leaf width (cm) / Ancho de hoja (cm)	Leaf thickness (cm) / Grosor de hoja (cm)
0	6.6 a	1.1 a	8.4 a	1.9 a	6.1 b	1.4 b
20	6.8 a	1.1 a	8.2 a	1.9 a	6.6 a	1.5 a
HSD / DMSH	0.27	0.08	0.33	0.07	0.42	0.07

¹DAFAB = days after first application of the biofertilizer and HSD = honest significant difference.

^zMeans with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$).

¹DDAPB = días después de la primera aplicación del biofertilizante y DMSH = diferencia mínima significativa honesta.

^zMedias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

Bat guano extract

When BGE was applied, leaf length, width and thickness were greater than the control only at the last evaluation date (458 DAFAB), indicating that this biofertilizer is slow in its process of incorporation into the plant and in showing its benefits (Table 2).

Seaweed extract

Applying 20 L·ha⁻¹·year⁻¹ of SE favored plant growth and leaf thickness at 458 DAFAB. Leaf length increased at both 238 and 458 DAFAB (Table 3). This means that the release of SE's active compounds is slow and gradual, and that their effects are not shown until 15 months after first application. This is consistent with the findings reported by Aba-Guevara et al. (2016) and Pedroza-Sandoval et al. (2015), who mention that the best time for cutting the leaf, due to its degree of development and therefore gel content, is from June to September of each year. In addition, they recommend to stop cutting from October to April which is when, due to the cold, the leaf's dimensions are negatively affected.

Effect of double interaction: BGE-SE

There was no significant effect in the BGE-SE interaction for any of the variables evaluated (data not

de desarrollo de la hoja (152 y 238 DDPAB, para este estudio) hay crecimiento ante distintas condiciones de humedad edáfica, con las variantes ya especificadas para la longitud, ancho y grosor de hoja; sin embargo, a los 458 DDPAB se pierden dichos efectos, posiblemente asociado a respuestas fisiológicas de tolerancias a la sequía.

Aloe es un género conocido por su sistema fotosintético CAM, lo que lo hace capaz de adaptarse a condiciones de déficit hídrico. Este tipo de plantas también son capaces de asumir el proceso fotosintético C₃ ante condiciones favorables de humedad del suelo (Ehleringer, 1995). Lo anterior podría explicar la respuesta de ancho y grosor de hoja mayor obtenida en niveles medio y alto de humedad del suelo. Se ha reconocido que la tolerancia a déficit hídrico va en detrimento de la capacidad de crecimiento y desarrollo (Ehleringer, 1994; Nobel & Zhang, 2006), aún en plantas que presentan CAM.

Extracto de guano de murciélago

Cuando se aplicó el EGM, la longitud, ancho y grosor de hoja fueron mayores respecto del testigo únicamente en la última fecha de evaluación (458 DDPAB), lo cual indica que este biofertilizante es lento en su proceso de incorporación a la planta y en mostrar sus beneficios (Cuadro 2).

Table 3. Plant height and leaf length, width and thickness at different sampling dates when applying and not applying seaweed extract (SE) in the cultivation of aloe (*Aloe barbadensis* Miller).**Cuadro 3. Altura de planta, longitud, ancho y grosor de hoja en diferentes fechas de muestreo al aplicar y no aplicar extracto de algas marinas (EAM) en el cultivo de la sábila (*Aloe barbadensis* Miller).**

SE dose (L·ha ⁻¹ ·year ⁻¹)/ Dosis de EAM (L·ha ⁻¹ ·año ⁻¹)	DAFAB ¹ /DDPAB ¹					
	152		238		458	
	Plant height (cm)/ Altura de planta (cm)	Leaf length (cm)/ Longitud de hoja (cm)	Plant height (cm)/ Altura de planta (cm)	Leaf length (cm)/ Longitud de hoja (cm)	Plant height (cm)/ Altura de planta (cm)	Leaf length (cm)/ Longitud de hoja (cm)
0	61.8 a ^z	43.0 a	63.6 a	47.0 b	48.1 b	32.1 b
20	65.4 a	45.6 a	67.0 a	49.3 a	52.2 a	33.8 a
HSD/DMSH	4.17	1.63	1.85	1.19	2.48	2.26
	Leaf width (cm)/ Ancho de hoja (cm)	Leaf thickness (cm)/ Grosor de hoja (cm)	Leaf width (cm)/ Ancho de hoja (cm)	Leaf thickness (cm)/ Grosor de hoja (cm)	Leaf width (cm)/ Ancho de hoja (cm)	Leaf thickness (cm)/ Grosor de hoja (cm)
0	6.6 a	1.1 a	8.1 a	1.8 a	6.2 a	1.4 b
20	6.8 a	1.1 a	8.4 a	1.9 a	6.1 a	1.5 a
HSD/DMSH	0.27	0.08	0.33	0.07	0.42	0.07

¹DAFAB = days after first application of the biofertilizer and HSD = honest significant difference.^zMeans with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$).¹DDAPB = días después de la primera aplicación del biofertilizante y DMSH = diferencia mínima significativa honesta.^zMedias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

shown); it is thus considered that these biofertilizers act independently.

In general, a clear effect of the applied biofertilizers is not shown, although it is by the soil moisture content with a trend towards a better effect under the medium soil moisture content (18-22 %) with or without BGE or in combination with SE. The rest of the treatments had a slight effect on plant height at the different sampling dates (Tables 4 and 5). These results partially coincide with those of Pedroza-Sandoval et al. (2015), who point out that applying compost in combination with humic acids has no effect on aloe growth, but higher plant height does occur when applying 14 L·ha⁻¹·year⁻¹ algae extract.

In general, it can be observed that the SE acts better in medium moisture contents. This may be related to the great diversity of microelements presented by SE, which favors better nutrient availability (Khan et al., 2009), without the soils being very dry or very saturated with water. In addition, organic fertilizers influence the soil structure, favoring an increase in beneficial biota, which leads to increasing the formation of aggregates that allow greater water retention and greater gas and nutrient exchange in the rhizosphere (Julca-Otiniano, Meneses-Florián, Blas-Sevillano, & Bello-Amez, 2006).

Extracto de algas marinas

La aplicación de 20 L·ha⁻¹·año⁻¹ de EAM favoreció el crecimiento de la planta y el grosor de la hoja a los 458 DDPAB. La longitud de la hoja se incrementó tanto a los 238 como a los 458 DDPAB (Cuadro 3). Lo anterior significa que la liberación de los productos activos del EAM es lenta, gradual y sus efectos se muestran hasta después de 15 meses de la primera aplicación. Esto es congruente con lo reportado por Aba-Guevara et al. (2016) y Pedroza-Sandoval et al. (2015), quienes mencionan que la mejor época de corte de la hoja, por su grado de desarrollo y por ende de contenido de gel, es de junio a septiembre de cada año. Adicionalmente, recomiendan dejar de hacer corte de octubre a abril que es cuando, por efecto del frío, las dimensiones de la hoja se afectan negativamente.

Efecto de doble interacción: EGM-EAM

No hubo efecto significativo en la interacción EGM-EAM para ninguna de las variables evaluadas (datos no mostrados); por lo que se considera que estos biofertilizantes actúan de manera independiente.

En general, no se muestra un efecto claro de los biofertilizantes aplicados, aunque sí por el contenido

Leaf length was greater at 238 DAFAB, especially with medium soil moisture content (18 to 22 %) and SE. Plant height did not vary at the first evaluation date (152 DAFAB), but it did at 238 DAFAB, with slight variations among treatments, highlighted by the medium soil moisture contents with SE and BGE, both separately. Similarly, leaf length and width were the highest in the medium soil moisture content with BGE and SE during the first two evaluations (152 and 238 DAFAB, Table 4). By contrast, at 458 DAFAB, plant height and leaf length, width and thickness were the highest in the high moisture content and with

de humedad en el suelo con una tendencia de mejor efecto en el contenido medio de humedad del suelo (18-22 %) con o sin EGM o en combinación de éste con EAM. El resto de los tratamientos tuvieron un ligero efecto en altura de planta en las diferentes fechas de muestro (Cuadros 4 y 5). Estos resultados, son parcialmente coincidentes con lo reportado por Pedroza-Sandoval et al. (2015), quienes señalan que la aplicación de composta en combinación con ácidos húmicos no tiene efecto en el crecimiento de la sábila, pero sí una mayor altura de planta al aplicar 14 L·ha⁻¹·año⁻¹ extracto de alga.

Table 4. Morphometric characteristics in the first and second evaluation using bat guano extract (BGE), seaweed extract (SE) and three soil moisture contents in aloe (*Aloe barbadensis* Miller).

Cuadro 4. Características morfológicas en la primera y segunda evaluación con uso de extracto de guano de murciélago (EGM), extracto de alga marina (EAM) y tres contenidos de humedad del suelo en sábila (*Aloe barbadensis* Miller).

Treatment / Tratamiento	DAFAB ¹ / DDPAB ¹							
	152				238			
	PH (cm) / AP (cm)	LL (cm) / LH (cm)	LW (cm) / AH (cm)	LT (cm) / GH (cm)	PH (cm) / AP (cm)	LL (cm) / LH (cm)	LW (cm) / AH (cm)	LT (cm) / GH (cm)
LMC-NG-NS / CHB-SG-SA	58.8 a ^z	45.1 ab	6.05 bc	0.72 c	63.6 bc	48.4 abcd	8.2 a	1.99 abc
LMC-NG-WS / CHB-SG-CA	61.0 a	41.6 b	5.9 c	0.65 c	64.3 bc	48.1 abcd	7.8 a	1.73 c
LMC-WG-NS / CHB-CG-SA	68.2 a	45.7 ab	6.7 abc	0.76 c	67.0 ab	49.1 abcd	8.2 a	1.78 bc
LMC-WG-WS / CHB-CG-CA	64.8 a	45.2 ab	6.1 bc	0.76 c	64.7 bc	48.3 abcd	7.9 a	1.85 bc
MMC-NG-NS / CHM-SG-SA	60.1 a	44.5 b	6.4 abc	0.85 bc	57.1 c	45.8 cd	8.1 a	1.75 bc
MMC-NG-WS / CHM-SG-CA	70.3 a	47.3 ab	6.6 abc	0.93 bc	73.8 a	52.7 a	8.9 a	1.91 abc
MMC-WG-NS / CHM-CG-SA	64.3 a	46.0 ab	7.1 ab	0.90 bc	62.8 bc	46.5 bcd	8.3 a	1.87 bc
MMC-WG-WS / CHM-CG-CA	66.6 a	51.8 a	7.5 a	1.17 b	72.5 a	51.1 ab	9.1 a	1.90 abc
HMC-NG-NS / CHA-SG-SA	67.4 a	46.4 ab	7.1 ab	1.69 a	67.6 ab	47.8 bcd	8.4 a	1.9 abc
HMC-NG-WS / CHA-SG-CA	66.4 a	44.1 b	7.3 a	1.78 a	67.6 ab	50.0 abc	8.8 a	2.18 a
HMC-WG-NS / CHA-CG-SA	58.5 a	44.3 b	6.4 abc	1.76 a	63.7 bc	44.4 d	7.8 a	2.0 abc
HMC-WG-WS / CHA-CG-CA	63.6 a	43.8 b	7.1 ab	1.60 a	59.0 c	45.5 cd	8.2 a	2.04 ab
HSD / DMSH	17.18	6.72	1.14	0.33	7.65	4.91	1.36	0.30

¹DAFAB = days after first application of the biofertilizer, PH = plant height, LL = leaf length, LW = leaf width, LT = leaf thickness, LMC = low soil moisture content (13 to 17 %), MMC = medium soil moisture content (18 to 22 %), HMC = high soil moisture content (23 to 27 %), NG = no BGE, WG = with BGE (20 L·ha⁻¹·year⁻¹), NS = no SE, WS = with SE (20 L·ha⁻¹·year⁻¹) and HSD = honest significant difference.

^zMeans with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$).

¹DDAPB = días después de la primera aplicación del biofertilizante, AP = altura de planta, LH = longitud de hoja, AH = ancho de hoja, GH = grosor de hoja, CHB = contenido de humedad edáfica bajo (13 a 17 %), CHM = contenido de humedad edáfica medio (18 a 22 %), CHA = contenido de humedad edáfica alto (23 a 27 %), SG = sin EGM, CG = con EGM (20 L·ha⁻¹·año⁻¹), SA = sin EAM, CA = con EAM (20 L·ha⁻¹·año⁻¹) y DMSH = diferencia mínima significativa honesta.

^zMedias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

Table 5. Morphometric characteristics in the third evaluation using bat guano extract (BGE), seaweed extract (SE) and three soil moisture contents in aloe (*Aloe barbadensis* Miller).**Cuadro 5. Características morfométricas en la tercera evaluación con uso de extracto de guano de murciélago (EGM), extracto de alga marina (EAM) y tres contenidos de humedad del suelo en sábila (*Aloe barbadensis* Miller).**

Treatment/ Tratamiento	458 DAFAB ¹ /458 DDPAB ¹			
	PH (cm)/AP (cm)	LL (cm)/LH (cm)	LW (cm)/AH (cm)	LT (cm)/GH (cm)
LMC-NG-NS/ CHB-SG-SA	47.5 b ^z	33.2 ab	6.6 abc	1.52 ab
LMC-NG-WS/ CHB-SG-CA	54.1 ab	35.6 ab	6.9 ab	1.6 ab
LMC-WG-NS/ CHB-CG-SA	51.5 ab	32.4 ab	6.6 abc	1.45 ab
LMC-WG-WS/ CHB-CG-CA	52.4 ab	32.9 ab	6.4 abc	1.58 ab
MMC-NG-NS/ CHM-SG-SA	45.1 b	31.8 ab	6.1 abc	1.45 ab
MMC-NG-WS/ CHM-SG-CA	50.5 ab	31.3 ab	6.3 ab	1.48 ab
MMC-WG-NS/ CHM-CG-SA	47.5 b	32.4 ab	5.9 abc	1.47 ab
MMC-WG-WS/ CHM-CG-CA	54.5 ab	33.0 ab	7.3 a	1.63 a
HMC-NG-NS/ CHA-SG-SA	50.3 ab	33.1 ab	6.3 abc	1.56 ab
HMC-NG-WS/ CHA-SG-CA	58.3 a	39.7 a	7.4 a	1.74 a
HMC-WG-NS/ CHA-CG-SA	46.9 b	29.8 b	5.6 bc	1.31 b
HMC-WG-WS/ CHA-CG-CA	44.5 b	30.3 b	5.1 c	1.33 b
HSD/DMSH	10.24	9.34	1.74	0.30

¹DAFAB = days after first application of the biofertilizer, PH = plant height, LL = leaf length, LW = leaf width, LT = leaf thickness, LMC = low soil moisture content (13 to 17 %), MMC = medium soil moisture content (18 to 22 %), HMC = high soil moisture content (23 to 27 %), NG = no BGE, WG = with BGE (20 L·ha⁻¹·year⁻¹), NS = no SE, WS = with SE (20 L·ha⁻¹·year⁻¹) and HSD = honest significant difference.

²Means with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$).

¹DDAPB = días después de la primera aplicación del biofertilizante, AP = altura de planta, LH = longitud de hoja, AH = ancho de hoja, GH = grosor de hoja, CHB = contenido de humedad edáfica bajo (13 a 17 %), CHM = contenido de humedad edáfica medio (18 a 22 %), CHA = contenido de humedad edáfica alto (23 a 27 %), SG = sin EGM, CG = con EGM (20 L·ha⁻¹·año⁻¹), SA = sin EAM, CA = con EAM (20 L·ha⁻¹·año⁻¹) y DMSH = diferencia mínima significativa honesta.

²Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

SE, while at the same date the lowest values in all morphological variables were obtained by combining high moisture contents and BGE (Table 5).

The results obtained, considering the moisture content, suggest that this factor was the one that was most associated with leaf thickness. Pedroza-Sandoval et al. (2015) indicated that leaf thickness was greater when applying 5 t·ha⁻¹ of compost, without effect when applying SE. This is important for aloe leaf gel production systems, where leaf thickness is the main morphological variable associated with this productive characteristic.

De manera general, se puede observar que el EAM actúa mejor en contenidos medios de humedad. Esto pudiera estar relacionado con la gran diversidad de microelementos que presenta el EAM, lo cual favorece una disponibilidad de nutrientes mejor (Khan et al., 2009), sin que los suelos estén muy secos o muy saturados de agua. Además, los fertilizantes orgánicos influyen en la estructura del suelo, favoreciendo el incremento de la biota benéfica; lo que conlleva a incrementar la formación de agregados que permiten una mayor retención de agua, mayor intercambio gaseoso y de nutrientes en la rizósfera (Julca-Otiniano, Meneses-Florián, Blas-Sevillano, & Bello-Amez, 2006).

In general, plant height and leaf length, width and thickness were higher when applying SE, which may be related to the fact that this product promotes the reversible catalytic enzymatic hydrolysis reactions associated with plant growth (Khan et al., 2009). It has also been reported that applying organic products as biofertilizers improves photosynthetic activity, since there is a greater assimilation of CO₂ in the plant, which leads to greater growth (García-Delgado, Bustos-Vázquez, Cervantes-Martínez, & Campeán-Ramírez, 2010).

The lack of consistency in the response of aloe growth and development (plant height and leaf length, width and thickness), over time, may be associated with the development stage of the plant, since it has been reported that the difference in stress response is based on the phenological stage in which the plant is found (Pedroza-Sandoval & Gómez-Lorence, 2006) and the mineralization process that involves the contribution of some macro and microelements (Rosen & Bierman, 2005).

The absence of effect in the majority of the variables measured when using guano could be related to the dose used in this study. According to Cardarelli et al. (2013), when guano doses were doubled, from 4 to 8 g·L⁻¹, it resulted in greater plant height, a higher

La longitud de la hoja fue mayor a los 238 DDPAB, en especial con contenido medio de humedad del suelo (18 a 22 %) y EAM. La altura de planta no varió en la primera fecha de evaluación (152 DDPAB), pero sí a los 238 DDPAB, con ligeras variaciones entre tratamientos, destacando los contenidos medios de humedad del suelo con EAM y EGM, ambos por separado. De igual forma, la longitud y ancho de la hoja fueron mayores en el contenido medio de humedad del suelo con EGM y EAM durante las primeras dos evaluaciones (152 y 238 DDPAB; Cuadro 4). Por el contrario, a los 458 DDPAB la altura de la planta, longitud, ancho y grosor de la hoja fueron mayor en el contenido alto de humedad y con EAM; mientras que, en esta misma fecha, los valores más bajos en todas las variables morfológicas se obtuvieron al combinar contenidos altos de humedad y EGM (Cuadro 5).

Los resultados obtenidos, considerando el contenido de humedad, sugieren que este factor fue el que estuvo más asociado al grosor de hoja. Pedroza-Sandoval et al. (2015) indicaron que el grosor de la hoja fue mayor al aplicar 5 t·ha⁻¹ de composta, sin efecto al aplicar EAM. Lo anterior es importante para los sistemas de producción de gel de hoja de sábila, en donde el grosor de la hoja es la principal variable morfológica asociada a esta característica productiva.

Table 6. Amount of gel and total soluble solids at different soil moisture contents and biofertilizer doses in aloe (*Aloe barbadensis* Miller) at 458 days after first application of biofertilizers.

Cuadro 6. Cantidad de gel y sólidos solubles totales a diferentes contenidos de humedad del suelo y dosis de biofertilizantes en sábila (*Aloe barbadensis* Miller) a los 458 días después de la primera aplicación de los biofertilizantes.

Treatment / Tratamiento	Gel content (g) / Contenido de gel (g)	Total soluble solids (%) / Sólidos solubles totales (%)
LMC-NG-NS ¹ / CHB-SG-SA ¹	216.3 cd ²	14.46 a
LMC-WG-NS / CHB-CG-SA	216.3 bcd	16.73 a
LMC-WG-WS / CHB-CG-CA	216.3 abcd	10.71 a
LMC-NG-WS / CHB-SG-CA	196.03 d	10.31 a
MMC-NG-NS / CHM-SG-SA	322.9 abcd	8.58 a
MMC-WG-NS / CHM-CG-SA	310.5 abcd	17.17 a
MMC-WG-WS / CHM-CG-CA	287.5 abcd	18.10 a
MMC-NG-WS / CHM-SG-CA	394.9 ab	15.78 a
HMC-NG-NS / CHA-SG-SA	411.2 a	22.25 a
HMC-WG-NS / CHA-CG-SA	417.7 a	18.87 a
HMC-WG-WS / CHA-CG-CA	356.5 abcd	14.61 a
HMC-NG-WS / CHA-SG-CA	375.0 abc	12.47 a
HSD / DMSH	177.2	20.16

¹LMC = low soil moisture content (13 to 17 %), MMC = medium soil moisture content (18 to 22 %), HMC = high soil moisture content (23 to 27 %), NG = no BGE, WG = with BGE (20 L·ha⁻¹·year⁻¹), NS = no SE, WS = with SE (20 L·ha⁻¹·year⁻¹) and HSD = honest significant difference.

²Means with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$).

¹CHB = contenido de humedad edáfica bajo (13 a 17 %), CHM = contenido de humedad edáfica medio (18 a 22 %), CHA = contenido de humedad edáfica alto (23 a 27 %), SG = sin EGM, CG = con EGM (20 L·ha⁻¹·año⁻¹), SA = sin EAM, CA = con EAM (20 L·ha⁻¹·año⁻¹) y DMSH = diferencia mínima significativa honesta.

²Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

number of leaves, and greater fresh and dry weight of aloe leaf (*A. barbadensis* and *A. arborescens*). The above could suggest that the doses evaluated in this study were below the level required by the plant.

The amount of gel produced was higher (417.7 g) in the high moisture content, without presenting significant statistical differences ($P \leq 0.05$) with the medium moisture content (394.9 g; Table 6). This is consistent with what was reported by Rodríguez-García, Jaso-de Rodríguez, Gil-Marín, Angulo-Sánchez, and Lira-Saldivar (2007), who obtained the highest yield when the plant had no water stress, with a soil moisture content of 27 %; in addition, they observed a significant decrease in drought conditions.

The TSS showed no significant statistical difference ($P \leq 0.05$). The values ranged from 8.58 to 22.25 % (Table 6), regardless of soil moisture content and application or not of BGE and SE. It is possible that the water stress conditions applied in this study were not sufficient to show the expected benefit, or there was a lack of interaction between stress conditions and other environmental factors such as environmental temperature and soil types in marginal condition (superficial, infertile and low organic matter soils, among others).

Conclusions

The medium (18-22 %) and high (23-27 %) soil moisture contents, mainly the latter, were the ones that most affected the plant's morphology (leaf length, width and thickness). The effect of SE on plant growth occurred at 152 and 238 days after the first application. The combination of SE (20 L·ha⁻¹·año⁻¹) with the medium soil moisture content (18 to 22 %) gave the largest leaf length and width in the first two evaluations (152 and 238).

The water stress did not affect the concentration of total soluble solids in the gel, nor did applying the seaweed and bat guano extracts, while the amount of gel obtained was greater when the high moisture content and BGE were combined.

Acknowledgments

Special recognition is given to Oregon State University USA for accepting the academic stay of Master Science student Juan Antonio Núñez Colima, which allowed complementing some of the laboratory chemical analyses required in this study. Likewise, the authors thank the *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*, particularly the *Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua, Suelo, Planta, Atmósfera* in Gómez Palacio Durango, for its support in

En general, la altura de la planta, longitud, ancho y grosor de la hoja fueron mayores al aplicar EAM, lo cual puede estar relacionado con el hecho de que este producto promueve las reacciones de hidrólisis enzimática catalíticas reversibles asociadas con el crecimiento vegetal (Khan et al., 2009). También, se ha reportado que al aplicar productos orgánicos en calidad de biofertilizantes se mejora la actividad fotosintética, ya que se presenta una mayor asimilación de CO₂ en la planta, con lo cual se obtiene un mayor crecimiento de la misma (García-Delgado, Bustos-Vázquez, Cervantes-Martínez, & Compeán-Ramírez, 2010).

La falta de consistencia en la respuesta del crecimiento y desarrollo de la sábila (altura de la planta, largo, ancho y grosor de la hoja), a través del tiempo, puede estar asociada a la etapa de desarrollo de la planta, ya que se ha reportado la diferencia de respuesta al estrés de acuerdo con la etapa fenológica en que se encuentre la planta (Pedroza-Sandoval & Gómez-Lorence, 2006) y al proceso de mineralización que conlleva la aportación de algunos macro y microelementos (Rosen & Bierman, 2005)

La ausencia de efecto en la mayoría de las variables medidas al utilizar guano podría estar relacionada a la dosis utilizada en este estudio. De acuerdo con Cardarelli et al. (2013), cuando las dosis de guano se duplicaron, de 4 a 8 g·L⁻¹, se tuvo mayor altura de planta, número de hojas, peso fresco y seco de hoja de sábila (*A. barbadensis* y *A. arborescens*). Lo anterior podría sugerir que las dosis evaluadas en este estudio estuvieron por debajo de lo requerido por la planta.

La cantidad de gel producido fue mayor (417.7 g) en el contenido alto de humedad, sin presentar diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) con el contenido medio de humedad (394.9 g; Cuadro 6). Esto es congruente con lo reportado por Rodríguez-García, Jaso-de Rodríguez, Gil-Marín, Angulo-Sánchez, y Lira-Saldivar (2007), quienes obtuvieron el mayor rendimiento cuando la planta no tuvo estrés hídrico, con un contenido de humedad del suelo de 27 %; además, observaron una disminución significativa en condiciones de sequía.

Los SST no mostraron diferencia estadística significativa ($P \leq 0.05$). Los valores variaron de 8.58 a 22.25 % (Cuadro 6), independientemente del contenido de humedad edáfica y aplicación o no de EGM y EAM. Es posible que las condiciones de estrés hídrico aplicadas en este estudio no fueron suficientes para mostrar el beneficio esperado; o bien, falta interaccionar las condiciones de estrés con otros factores del medio como la temperatura ambiental y tipos de suelo en condición marginal (suelos superficiales, infértiles y de bajo contenido de materia orgánica, entre otros).

determining the physical and chemical characteristics of the experimental area's soil.

End of English version

References / Referencias

- Aba-Guevara, C. G., Pedroza-Sandoval, A., Trejo-Calzada, R., Sánchez-Cohen, I., Samaniego-Gaxiola, J. A., & Chávez-Rivero, J. A. (2016). Uso de biofertilizantes en la producción de sábila *Aloe vera* (L.) L. N. Burm y calidad de gel. *Investigación y Ciencia*, 24(67), 26-32. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67446178004>
- Borland, A. M., Griffiths, H., Hartwell, J., & Smith, J. A. (2009). Exploiting the potential of plants with crassulacean acid metabolism for bioenergy production on marginal lands. *Journal of Experimental Botany*, 60(10), 2879-2896. doi: 10.1093/jxb/erp118
- Calzada-Rivera, A. M., & Pedroza-Sandoval, A. (2005). Evaluación físico-química del gel y jugo de la hoja de sábila (*A. barbadensis* M.) en diferentes prácticas de manejo. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 4(2), 93-101. Retrieved from https://chapingo.mx/revistas/zonas_aridas/contenido.php?id_articulo=950&doi=0000&id_revista=8
- Canales-López, B. (1999). Enzimas-algas: posibilidades de uso para estimular la producción agrícola y mejorar los suelos. *Terra Latinoamericana*, 17(3), 271-276. Retrieved from <https://chapingo.mx/terra/contenido/17/3/art271-276.pdf>
- Cardarelli, M., Rouphael, Y., Rea, E., Lucini, L., Pellizzoni, M., & Colla, G. (2013). Effects of fertilization, arbuscular mycorrhiza, and salinity on growth yield, and bioactive compounds of two aloe species. *Horticulture Science*, 48(5), 568-575. Retrieved from <http://hortsci.ashspublications.org/content/48/5/568.full.pdf+html>
- Comisión Nacional del Agua (CNA). (2006). *Estadísticas del agua en México*. México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Delatorre-Herrera, J., Delfino, I., Salinas, C., Silva, H., & Cardemil, L. (2010). Irrigation restriction effects on water use efficiency and osmotic adjustment in *Aloe vera* plants. *Agricultural Water Management*, 97(10), 1564-1570. doi: 10.1016/j.agwat.2010.05.008
- Ehleringer, J. R. (1995). Variation in gas exchange characteristics among desert plants. In: Schulze, E. D., & Caldwell, M. M. (Eds.), *Ecophysiology of Photosynthesis* (pp. 361-392). Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- Ehleringer, J. R. (1994). Variation in gas exchange characteristics among desert plants. In: Schulze, E. D., & Caldwell, M. M. (Eds.), *Ecophysiology of Photosynthesis*. Berlin: Springer-Verlag.
- Eshun, K., & He, Q. (2004). *Aloe vera*: A valuable ingredient for the food, pharmaceutical and cosmetic industries - A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(2), 91-96. doi: 10.1080/10408690490424694

Conclusiones

Los contenidos medio (18-22 %) y alto (23-27 %) de humedad del suelo, principalmente el segundo, fueron los que más repercutieron en la morfología de la planta (largo, ancho y grosor de hoja). El efecto del EAM en el crecimiento de la planta se dio a los 152 y 238 días después de la primera aplicación. La combinación del EAM (20 L·ha⁻¹·año⁻¹) con el contenido medio de humedad del suelo (18 a 22 %) dio el mayor largo y ancho de la hoja en las dos primeras evaluaciones (152 y 238).

El estrés hídrico no afectó la concentración de sólidos solubles totales del gel, ni al aplicar el extracto de algas marinas y guano de murciélago. Mientras que, la cantidad de gel obtenida fue mayor cuando se combinó el contenido de humedad alto y el EGM.

Agradecimientos

Se hace un reconocimiento especial a la Oregon State University USA por la aceptación de la estancia académica del estudiante de Maestría en Ciencia Juan Antonio Núñez Colima, lo cual permitió complementar parte de los análisis químicos de laboratorio requeridos en este estudio. De igual forma, al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, en particular al Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua, Suelo, Planta, Atmósfera en Gómez Palacio Durango, por el apoyo en la determinación de las características físicas y químicas del suelo del área experimental.

Fin de la versión en español

- Frikha, F., Kammoun, M., Hammami, N., Mchirgui, R. A., Belbahri, L., Gargouri, Y., Miled, N., & Ben-Rebah, F. (2011). Composición química y algunas actividades biológicas de algas marinas recolectadas en Túnez. *Ciencias marinas*, 37(2), 113-124. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-38802011000200001
- García-Delgado, M. A., Bustos-Vázquez, G., Cervantes-Martínez, J. E., & Compeán-Ramírez, E. (2010). Utilization of micrometeorology to measure carbon assimilation and the transpiration of sugar cane. *Ciencia UAT*, 15(15), 24-30.
- Gómez-Tovar, L., Gómez-Cruz, M. A., & Schwententesius-Rindermann, R. (1999). *Desafíos de la agricultura orgánica*. México: Universidad Autónoma Chapingo, Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial, Mundi-Prensa.
- Granados-Sánchez, D., López-Ríos, G. F., & Gama-Flores, J. L. (1998). Adaptaciones y estrategias de las plantas de zonas áridas. *Revista Chapingo Serie Ciencias*

- Forestales y del Ambiente, 4(1), 169-178. Retrieved from <https://chapingo.mx/revistas/phpscript/download.php?file=completo&id=MzI3Nw==>
- Hsiao, T. C., & Bradford, K. J. (1983). Physiological consequences of cellular water deficits. In: Taylor, H. M., Jordan, W. R., & Sinclair, T. R. (Eds.), *Limitations to efficient water use in crop production* (pp. 267-274). Wisconsin: American Society of Agronomy, Inc.
- Jiménez-Galindo, J. C., & Acosta-Gallegos, J. A. (2013). Rendimiento de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y tépari (*Phaseolus acutifolius* A. Gray) bajo el método riego-sequía en Chihuahua. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(4), 557-567. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263127562006>
- Julca-Otiniano, A., Meneses-Florián, L., Blas-Sevillano, R., & Bello-Amez, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idea Arica*, 24(1), 49-61. doi: 10.4067/S0718-34292006000100009
- Justin, K. E., & Allison M. R. (2007). Composition of guano produced by frugivorous, sanguivorous, and insectivorous bats. *Acta Chiropterologica*, 9(1), 261-267. doi: 10.3161/1733-5329(2007)9[261:COGPBF]2.0.CO;2
- Khan, W., Rayirath, U., Subramanian, S., Jithesh, M. N., Rayorath, P., Hodges, D. M., Critchley, A. T., Craigie, J., Norrie, J., & Prithiviraj, B. (2009). Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28(4), 386-399. doi: 10.1007/s00344-009-9103-x
- Murillo-Amador, B., Nieto-Garibay, A., Troyo-Diéguez, E., García-Hernández, J. L., Hernández-Montiel, L., & Valdez-Cepeda, R. D. (2015). Moderate salt stress on the physiological and morphometric traits of *Aloe vera* L. *Botanical Sciences*, 93(3), 1-10. doi: 10.17129/botsci.73
- Narro, F. E. A. (1985). Mejoradores de suelos calcáreos y fertilización fosfatada en el cultivo de la papa. *Revista Agraria*, 1(1), 57-70.
- Ni, Y., Turner, D., Yates, K. M., & Tigard, I. (2004). Isolation and characterization of structural components of *Aloe vera* L. leaf pulp. *International Immunopharmacology*, 4(14), 1745-1755. doi: 10.1016/j.intimp.2004.07.006
- Nobel, P. S., & Zhang, H. H. (2006). Photosynthetic responses of three codominant species from the north-western Sonoran Desert - a C3 deciduous sub-shrub, a C4 deciduous bunchgrass, and a CAM evergreen leaf succulent. *Australian Journal of Plant Physiology*, 24(6), 787-796. doi: 10.1071/PP96127
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2013). *Los biopreparados para la producción de hortalizas en la agricultura urbana y periurbana*. Paraguay: Author. Retrieved from www.fao.org/3/a-i3360s.pdf
- Ortiz-Cano, H. G., Trejo-Calzada, R., Valdez-Cepeda, R. D., Arreola-Ávila, J. G., Flores-Hernández, A., & López-Ariza, B. (2009). Fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite (*Amaranthus hybridus* L.) y micorrizas. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15(2), 161-168. doi: 10.5154/r.rchsh.2009.15.022
- Pedroza-Sandoval, A. (1995). *El déficit hídrico en las plantas. Principios y técnicas de manejo*. Durango, México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Pedroza-Sandoval, A., Aba-Guevara, C. G., Samaniego-Gaxiola, J. A., Trejo-Calzada, R., Sánchez-Cohen, I., & Chávez-Rivero, J. A. (2015). Características morfométricas y calidad de gel en sábila (*Aloe barbadensis* M.) aplicando algaenzimas y composta. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(1), 7-18. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000100002
- Pedroza-Sandoval, A., & Gómez-Lorence, F. (2006). La Sábila. *Propiedades, manejo agronómico, proceso agroindustrial y de mercado*. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Pedroza-Sandoval, A., & Durán-Berdejo, S. (2005). Efecto de acolchado plástico, fertilización nitrogenada y composta orgánica en el crecimiento y desarrollo de la sábila *Aloe barbadensis* M. con riego por goteo automatizado. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 4(1), 1-7. Retrieved from https://chapingo.mx/revistas/zonas_aridas/contenido.php?id_articulo=922&id_revistas=8&id_revista_numero=90&html=MTYyMw==
- Quiroga-Garza, H. M., Cueto-Wong, J. A., & Figueroa-Viramontes, U. (2011). Efecto del estiércol y fertilizante sobre la recuperación de ^{15}N y conductividad eléctrica. *Terra Latinoamericana*, 29(2), 201-209. Retrieved from <https://chapingo.mx/terra/download.php?file=completo&id=MjkyMjAx>
- Rodríguez-García, R., Jaso-de Rodríguez, D., Gil-Marín, J. A., Angulo-Sánchez, J. L., & Lira-Saldivar, R. H. (2007). Growth, stomata resistance, and transpiration of *Aloe vera* under different soil potentials. *Industrial Crops and Products*, 25(2), 123-128. doi: 10.1016/j.indcrop.2006.08.005
- Rosen, J. C., & Bierman, M. P. (2005). *Using manure and compost as nutrient sources for vegetable crops*. Minnesota, USA: University of Minnesota.
- Statistical Analysis System (SAS Institute). (2002). *SAS/STAT 9.1 user's guide*. Cary, NC, USA: Author.
- Winter, K., Aranda, J., & Holtum, J. A. M. (2005). Carbon isotope composition and water use efficiency in plants with crassulacean acid metabolism. *Functional Plant Biology*, 32, 381-388. doi: 10.1071/FP04123