

Capacidad de retención de agua en un suelo arenoso con adición de hojas de sábila (*Aloe barbadensis* Miller) y pencas de tuna (*Opuntia ficus-indica* sp.) deshidratadas y su influencia en el desarrollo fisiológico de la acelga (*Beta vulgaris* var. cicla)

Water retention capacity in a sandy soil with addition of aloe vera leaves (*Aloe barbadensis* Miller) and prickly pear stalks (*Opuntia ficus-indica* sp.) dehydrated and their influence in physiological development of chard (*Beta vulgaris* var. cicla)

Nidia V. Morales A.¹, Moises Quiroga S.²

¹ Ingeniero en Producción y Comercialización Agropecuaria, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia.

E-mail de contacto: munheca7@gmail.com

Resumen

El trabajo se realizó en la ciudad de Viacha-Bolivia, el objetivo fue evaluar la capacidad de retención de agua en un suelo arenoso en respuesta a la adición de hojas de sábila y pencas de tuna deshidratadas y su influencia en el desarrollo fisiológico de la acelga. Se inició en diciembre del 2016 hasta abril del 2017, bajo dos tratamientos: penca deshidratada (PD) y sábila deshidratada (SD) con cuatro sub tratamientos (0%, 0.5%, 1% y 2%) y tres repeticiones (24 unidades experimentales) distribuidas bajo un diseño de bloques al azar con dos factores (2x4). Se realizó el análisis de varianza, comparación de medias de Tukey (Honestly Significant Difference), análisis de polinomios ortogonales y regresión con el programa Infostat 2017. Los resultados de la capacidad de retención de agua en ambos tratamientos indican se incrementa en función a los niveles (PD2 y SD2) hasta 21,5% con lo que la reposición total de agua tiende a reducir hasta 8608.17cm³, el área foliares mayor (en PD y SD) con 323,65 cm², la tasa de crecimiento relativo de la hoja (PD2, SD1) con 0,48 cm² y 0.343 cm² respectivamente, la tasa de crecimiento relativo para PD con 0.01 g g⁻¹ día⁻¹, 0.07 g día⁻¹ para la tasa de crecimiento absoluto, 0.000143 g cm⁻² día⁻¹ para la tasa de asimilación neta y 0,98 para el índice de área foliar. Por tanto, la adición de penca y/o sábila incrementan la capacidad de retención de agua del suelo arenoso, se reduce el consumo de agua y el periodo entre reposiciones es más largo, los niveles altos tienen un efecto negativo en el desarrollo fisiológico de la planta.

Palabras clave: Retención de humedad, suelo arenoso, crecimiento, acelga, penca, sábila.

Abstract

The following research was carried out in Viacha- Bolivia the main objective was to evaluate the water retention capacity in a sandy soil in response to the addition of prickly pear stalks (penca) and aloe vera (sabila) leaves and also the effect in the physiological development of chard. It started in December 2016 to April 2017, there were 2 treatments, penca dehydrated (PD) and sabila dehydrated (SD) we also got 4 subtreatments which were levels of application (0%, 0.5%, 1% and 2%) each one with three repetitions then we got 24 experimental units and they were settled down under a random block design with dual factor (2x4). It was performed an analysis of variance, comparison means Tukey (Honestly Significant Difference), orthogonal polynomial analysis and regression analyzed by the program Infostat 2017. The results for water retention capacity for both treatments show that there is an increase in function of the levels (PD2 and SD2) to 21.15%, which makes to decrease the reposition of water to 8608.17 cm³, the foliar area is higher (in PD and SD) with 323.65 cm², relative growth of leave (PD2: 0.48-SD1:0.343 cm²), relative growth of plant PD with 0.01 g g⁻¹ día⁻¹, absolute growth rate PD with 0.07 g día⁻¹, to the net assimilation rate 0.000143 g cm⁻² día⁻¹, and leaf area index (0.98). Therefore, the addition of stalk and/or aloe vera increase the water retention capacity of a sandy soil, the water consumption reduced and period

between replacement is longer, high levels have a negative effect on the physiological development of the plant.

Key words: Humidity retention, sandy soil, chard, prickly pear stalks, aloe vera

INTRODUCCIÓN

Los suelos arenosos se caracterizan por la baja capacidad de retención de humedad y nutrientes. Fitz Patric (1996) indica que estos factores son generalmente muy bajos en suelos arenosos. Según Koorevaar, Menelik & Dirksen (1999), la textura de los suelos minerales determina en gran medida el comportamiento físico y químico. La Sociedad Internacional de Ciencia del Suelo (ISSS) mencionada por Koorevaar P. *et al.* (1999) clasifican las partículas del suelo en: arena gruesa (2000 – 200 micras), arena fina (200 – 20 micras), limo (20 – 2 micras), arcilla (menor a 2 micras). Según Khan (2013), los suelos arenosos, arenos francos y franco arenosos contienen entre 50 a 100% de partículas primarias (arena), asimismo, señala que las arcillas poseen mayor área superficial y cargas eléctricas, lo que favorece a la retención de agua en el suelo, mientras que las partículas de arena son 1000 veces mayor a una partícula de arcilla, la que genera espacios porosos grandes, al respecto Buckman & Braddy (1993), señalan que la percolación a través de suelos arenosos es generalmente mayor que en suelos arcillosos, por lo que el agua es un factor determinante en el metabolismo de las plantas cultivadas en este tipo de suelo, Sanchez & Aguirreolea (2008), señalan que el agua participa en los procesos de naturaleza física, del total de agua absorbida solo utiliza el 0,01% en el proceso fotosintético. Para AKinci & Losel, (2012) la escasez de agua restringe el rendimiento de los cultivos y el crecimiento de los brotes se inhibe más que el crecimiento de la raíz. Según Hopkins & Huner (2009), para producir un kilogramo de materia seca se requiere cientos de kilogramos de agua. Considerando la baja capacidad de retención y la importancia del agua para el desarrollo de las plantas, es una necesidad encontrar alternativas que mejoren las condiciones potenciales de suelos arenosos. Gamed (1986) citado por Hillel (1998, p. 131), menciona que existen métodos directos e indirectos para medir la humedad del suelo, así mismo que no existe un método de medición estándar. El contenido volumétrico de

agua es una variable importante que indica la cantidad de agua en un volumen de suelo, influida por fuerzas del suelo que actúan sobre el agua, así como en su estado (potencial hídrico) (White 2006), para Hillel (1998), el método gravimétrico es tradicional, a partir de una muestra se toma el peso húmedo del suelo, se seca a 105°C hasta obtener peso constante y por diferencia se determina la masa del agua. Van Babel y Myers (1962); Hanks y Ashcroft (1965); Harrold (1966); Phene et al. (1989) citado por Hillel (1998, p. 593-594), mencionan que el método más directo para medir el balance hídrico en campo es a través de lisímetros. En el trabajo se empleó un método similar a un lisímetro, determinando el peso (g) semanalmente de cada unidad experimental (maceta). La masa de agua perdida (agua de evaporación o evapotranspiración) se determinó por el método gravimétrico (Raviv & Lieth, 2008), y se restituyó el agua al 100% de la capacidad de campo de cada unidad experimental. Con la adición de penca y sábila al suelo (fase dispersa o soluto), se planteó la hipótesis de que el agua (fase dispersante o solvente) sea retenido en mayor cantidad y mayor tiempo en el suelo arenoso creando un sistema coloidal.

Hunt (1978), indica que el crecimiento es el incremento irreversible en el tamaño de las plantas para Radosevich y Holt (1984), Gardner *et al.*, (1985) mencionados por Barrera *et al.*, (2010), se puede definir como un proceso complejo dependiente de varios factores como la fotosíntesis, división celular, la elongación entre otros (Mohr, 1995 mencionado por Barrera *et al.* 2010). Para cuantificar el crecimiento se utilizan variables directas como la materia seca, área foliar y medidas derivadas como la tasa de crecimiento relativo (TCR), tasa de crecimiento del cultivo (TCC), la tasa de asimilación neta (TAN), duración del área foliar (DAF), relación del área foliar (RAF) y el índice de área foliar (IAF). El análisis del crecimiento es una aproximación cuantitativa que utiliza datos básicos para interpretar el crecimiento de las plantas en diferentes ambientes (Hunt, 1978). Para medir el crecimiento Gardner, *et al.* (2003) mencionan el método clásico que consiste en la toma de datos en función del tiempo (cada 1 o 2 semanas) con los que se generan funciones

paramétricas para interpretar y explicar el crecimiento, o el método de análisis funcional o dinámico que comprende en la toma de datos a intervalos cortos de tiempo y en un número reducido de plantas.

Para mejorar la retención de agua se realizaron distintos trabajos, Huaygua (2016), en especies forestales aplicó poliacrilato de sodio (20 g/planta) y obtuvo 20.9% de humedad, Terra Cottem con hidrogel (100 g/planta) 20.8%, con estiércol ovino (2 kg/planta) 21.3%, Andrada & Di Barbo (2018), con enmiendas de acrilamida y acrilato de potasio incrementaron el contenido de humedad en el cultivo de lechuga. Grez & Gerding (1995) con serrín mejoraron el contenido de humedad en texturas arcillosas y arenosas. Actualmente se están utilizando polímeros como el hidrogel de origen sintético para mejorar la capacidad de retención de agua en el suelo por mayor tiempo, al respecto Katime *et al.*, (2004) mencionan que estos materiales no solamente mejoran la humedad sino también la estructura y aireación de los suelos especialmente en suelos arenosos. En cuanto a trabajos con polímeros de origen orgánico no existen muchas referencias, por tanto, el objetivo principal del trabajo fue evaluar la capacidad de retención de agua en un suelo arenoso con la adición de hojas de sábila (*Aloe barbadensis* Miller) y pencas de tuna (*Opuntia ficus-indica* sp.) deshidratadas y la influencia en el desarrollo fisiológico de la acelga (*Beta vulgaris* var. cicla).

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo en la Carrera de Ingeniería en Producción y Comercialización Agropecuaria en la ciudad de Viacha, ubicada a 16°39'18'' latitud sur y 68°18'06'' longitud oeste y una altitud entre 3850 y 3940 m.s.n.m. con una temperatura promedio de 9°C, durante el periodo de diciembre 2016 a abril 2017.

Tabla 1. Variables fisiológicas

Variable	Unidades	Fórmulas para determinación
Área Foliar	cm ²	$A = b * L * B$
Tasa de crecimiento relativo de la hoja	cm ²	$TCRH = \ln A_2 - \ln A_1$
Tasa de crecimiento relativo de la planta	g g ⁻¹ día ⁻¹	$TCRP = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{(t_2 - t_1)}$
Tasa de crecimiento absoluto de la planta	g día ⁻¹	$TCAP = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1}$
Tasa de asimilación neta	g cm ⁻¹ día ⁻¹	$TAN = \frac{W_2 - W_1}{A_2 - A_1} * \frac{\ln A_2 - \ln A_1}{t_2 - t_1}$
Índice de área foliar	Adimensional	$IAF = \frac{Ah}{As}$

Fuente: Hunt (1982)

Análisis estadístico

Se empleó el diseño bloques al azar con arreglo bi-factorial 2x4 (Ochoa, 2016), dos tratamientos

El suelo arenoso fue proveniente de la comunidad Irpuma provincia Ingavi fue secado en bandejas de acero en unamufa a 105 °C hasta obtener un peso constante, posteriormente fue tamizado (2 mm) y pesado en porciones iguales de 4200 g. La sábila y penca fueron trozadas, deshidratadas, molidas y tamizadas (2 mm), se incorporaron al suelo arenoso en cantidades de 21 g (0.5%), 42 g (1%) y 84 g (2%) en relación al peso del suelo, posteriormente los sustratos fueron colocados en macetas (peso/maceta vacía 203 g).

La capacidad de campo se determinó mediante la fórmula:

$$CC = \frac{WSh - WSs}{WSs} * 100$$

CC = Capacidad de campo
 WSh = Peso de suelo húmedo
 WSs = Peso de suelo seco

La humedad a capacidad de campo se determinó saturando 1200 cm³ de agua para el nivel 0% de penca deshidratada (PD) y sábila deshidratada (SD), 1300 cm³ para el nivel 0.5% de PD y SD, 1400 cm³ para el nivel 1% (PD y SD), 1500 cm³ para el nivel 2% de PD y 1600 cm³ de SD, el escurrimiento finalizó a los dos días determinando así la humedad a capacidad de campo, en el nivel 0% fue 14.73%.

La reposición de agua se realizó semanalmente en función a la disminución de humedad, se determinó por diferencia de pesos hasta una reducción aproximada del 40%, para saturar nuevamente al 100% de la capacidad de campo.

En el cultivo se evaluaron variables agronómicas: largo y ancho de hoja (cm), pesode planta (g) al momento del trasplante y la cosecha para determinar materia seca (%), y posteriormente las variables fisiológicas (Tabla 1).

con sábila y penca deshidratadas (PD y SD) y cuatro sub tratamientos con niveles de penca y sábila deshidratada: (0%, 0.5%, 1% y 2%), tres

repeticiones haciendo un total de 24 unidades experimentales: PD-0, PD-0.5, PD-1, PD-2, SD-0, SD-0.5, SD-1 y SD-2.

El análisis de varianza se realizó con el paquete estadístico InfoStat versión 2017a. De acuerdo a la significancia de los efectos simples o interacción se realizó un análisis de polinomios ortogonales y determinación del grado de significancia de las funciones para las variables cuantitativas y análisis de medias Tukey (Honestly Significant Difference) para las variables cualitativas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Capacidad de campo del suelo

La capacidad de campo del suelo según el análisis de varianza presenta diferencia significativa entre PD y SD ($p < 0.05$) y diferencia altamente significativa ($p < 0.01$) en los niveles y la interacción. En la figura 1 se observa la tendencia ajustada en la interacción niveles de SD y PD con la humedad del suelo, el porcentaje de humedad se incrementa en 3.16% por cada 1% de PD y/o SD.

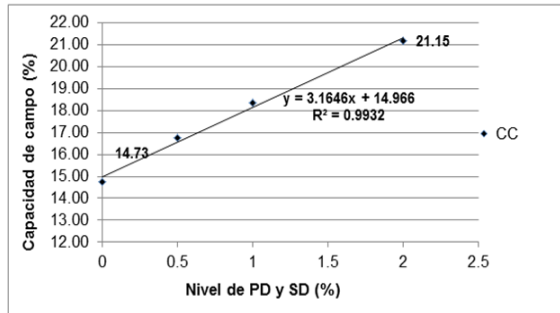


Figura 1. Función ajustada de la humedad a capacidad de campo en respuesta a niveles de sábila y penca deshidratadas.

La SD y PD cumplen una función floculante que incrementa la densidad del agua. Andía, 2000 menciona que los hidrocoloides tienen la capacidad de absorber agua a través de sus partículas y hacen que el agua esté disponible para la planta, según Abrajan (2008), esta propiedad influye en el incremento de la retención de agua en el suelo.

Adición de agua

La adición de agua presenta diferencia significativa ($p < 0.05$) para los niveles SD y PD. La función ajustada para la adición de agua indica que por cada 1% de SD y/o PD, la reposición de agua se reduce en 850.5 cm³.

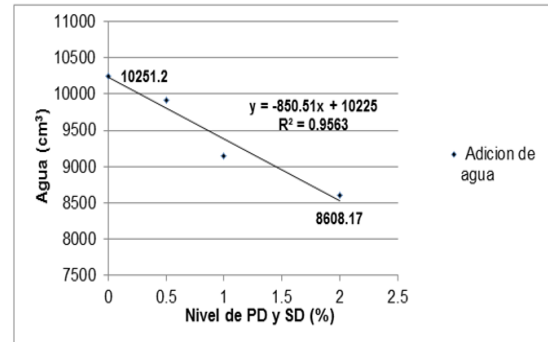


Figura 2. Función ajustada de la adición total de agua en respuesta a los niveles de sábila y/o penca deshidratada.

Formación de materia verde y consumo de agua

La mayor formación de materia verde de acelga con PD fue 87.63 g en el nivel 0.5% para lo cual se utilizaron 9978.8 cm³ de agua (Figura 3), según los cálculos realizados por Mekonnen & Hoekstra, (2010), para esta misma cantidad de materia verde el requerimiento hídrico es 28217.9 cm³, esta diferencia representa una disminución del 64.64% con relación a lo utilizado en el trabajo.

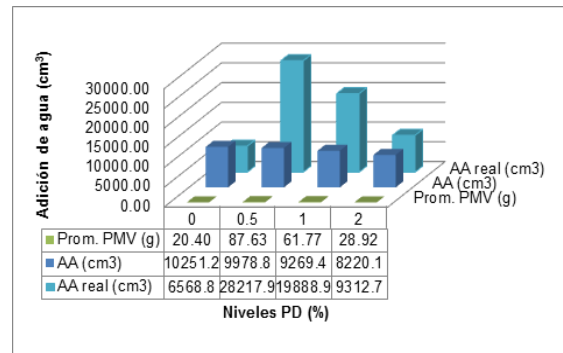


Figura 3. Formación de materia verde (g) y consumo de agua (cm³) por niveles en relación al requerimiento de agua en suelos

Con SD (Fig. 4) la producción la mayor producción de materia verde fue 39.36 g en el nivel 1% lo que requirió de 9027.4 cm³ de agua (Figura 4), los cálculos realizados por Mekonnen & Hoekstra, (2010), indican que para la formación de esta misma cantidad de materia verde el requerimiento hídrico es 12672.8 cm³, la diferencia entre los volúmenes de agua representa una disminución de 28.77% en relación a lo utilizado en el trabajo.

Contrariamente en el nivel 0% se produjo 20.40 g de materia verde para lo que se utilizaron 10251.2 cm³ de agua (Figura 3 y 4), los datos calculados por Mekonnen & Hoekstra, (2010) indican que para esta cantidad de materia verde se requieren 6568.8 cm³ de agua, la diferencia entre cantidades de agua representa un

incremento en relación a utilizado en el trabajo, este incremento se debería a la textura del suelo, al respecto Wesley (2010), menciona que los suelos arenosos debido al tamaño de sus partículas y la fuerza de gravedad, facilitan el escurrimiento del agua.

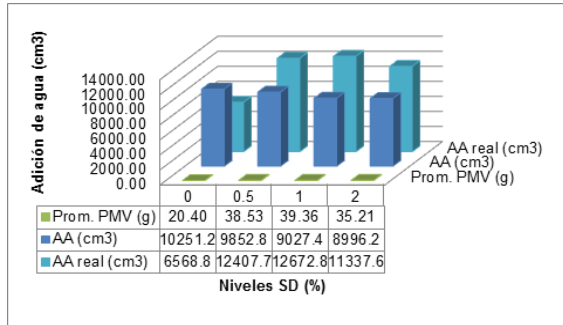


Figura 4. Formación de materia verde (g) y consumo de agua (cm³) por niveles en relación al requerimiento de agua en suelos sin incorporación de sábila deshidratada.

Área foliar

El área foliar de acelga (Fig. 5) presenta diferencia altamente significativa (p<0.01) en los niveles, diferencia significativa (p<0.05) en SD - PD y la interacción. De acuerdo a la función de los niveles la mayor área foliar (323.65 cm²) se logra con un nivel de 0.97%, sin embargo, si se incrementa el porcentaje en el nivel SD y PD el área foliar no incrementa.

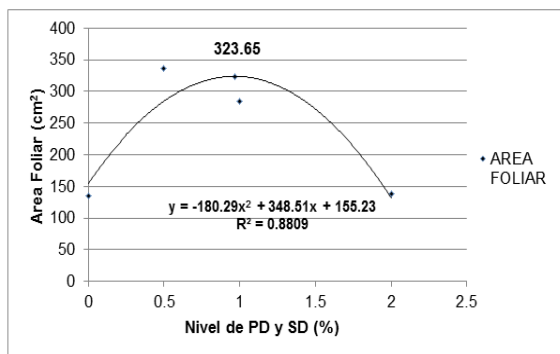


Figura 5. Función ajustada para el área foliar (cm²) en respuesta a los niveles de sábila y/o penca deshidratadas.

En el nivel 2% se observa menor área foliar, esto podría suceder a causa de una excesiva saturación de agua por efecto de la SD y PD, Kozłowski (1997), indica que la excesiva retención de humedad disminuye el desarrollo radicular, la disponibilidad de oxígeno para las raíces lo que inhibe la fotosíntesis y causa cierre de estomas.

Tasa de crecimiento relativo de la hoja (TCRH)

La tasa de crecimiento relativo de la hoja (Fig. 6) presenta diferencia significativa (p<0.05) en la interacción (tratamiento por niveles). De acuerdo a la función de PD la función lineal es significativa (p<0.05), indicando que por cada 1% de incremento en los niveles, la tasa de crecimiento relativo de la hoja incrementa en 0.142cm². En SD la función cuadrática es significativa (p<0.05) donde la máxima tasa de crecimiento relativo de la hoja es 0.343 cm² con 1% de SD.

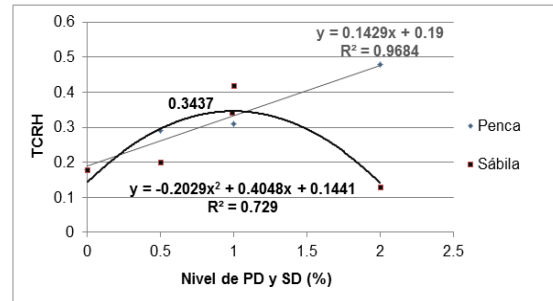


Figura 6. Funciones ajustadas para la tasa de crecimiento relativo de la hoja (cm²) en respuesta a los tratamientos y niveles de sábila y penca deshidratadas.

En la figura 7 entre las funciones ajustadas para el comportamiento de la tasa de crecimiento relativo de la hoja (TCRH) la PD a nivel de 0,5% se destaca. El comportamiento en todos los tratamientos presenta un comportamiento típico, entre los días 62 al 85 el crecimiento decrece, a partir de este día la TCRH se incrementa.

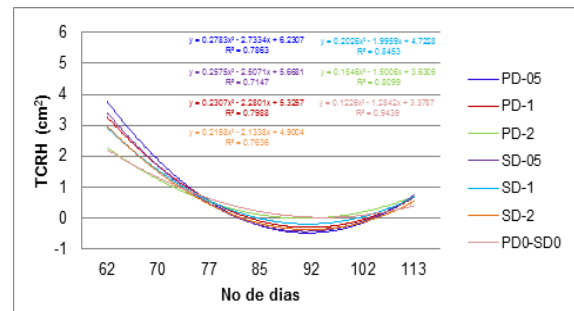


Figura 7. Funciones ajustadas para la tasa de crecimiento relativo de la hoja (cm²) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas, en un periodo de 51 días.

Tasa de crecimiento relativo y absoluto de la acelga

La tasa de crecimiento relativo de acelga presenta significancia (p<0.05) solamente en los tratamientos, la comparación de medias (0.05) según Tukey (Tabla 2), destaca al tratamiento PD.

Tabla 2. Medias y prueba Tukey (0.05) para la tasa de crecimiento relativo de acelga ($\text{g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.

Tratamiento	Medias ($\text{g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$)	n	E.E.	
Penca deshidratada	0.01	12	0.00041	a
Sábila deshidratada	0.0028	12	0.00041	b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Los promedios de la tasa de crecimiento relativo de acelga en un periodo de 64 días (Tabla 1) indican una mayor TCRP con $0.01 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ en PD, Barrientos *et al.*, (2015) obtuvieron una TCRP de $0.293 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ en un periodo de 120 días bajo ambiente controlado.

Para la tasa de crecimiento absoluto de la planta existe significancia ($p < 0.05$) solamente en la

interacción. En la comparación de medias (0.05) según Tukey (Tabla 3) el tratamiento penca deshidratada es el que mejor promedio presenta con 0.07 g día^{-1} . Roque (2016), obtuvo 2 g día^{-1} en un periodo de 120 días bajo ambiente controlado.

Tabla 3. Medias y prueba Tukey (0.05) para la tasa de crecimiento absoluto de acelga (g día^{-1}) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.

Tratamiento	Medias (g día^{-1})	n	E.E.	
Penca deshidratada	0.07	12	0.01	a
Sábila deshidratada	0.02	12	0.01	b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Tasa de asimilación neta de la acelga

La tasa de asimilación neta de la acelga presenta significancia ($p < 0.05$) en los tratamientos SD y PD, de acuerdo a la comparación de medias

(0.05) según Tukey (Tabla 4) el tratamiento PD es la que se destaca.

Tabla 4. Medias y prueba Tukey (0.05) para la tasa de asimilación neta de acelga ($\text{g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratada

Tratamiento	Medias ($\text{g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$)	n	E.E.	
Penca deshidratada	0.000143	12	0.000016	a
Sábila deshidratada	0.000063	12	0.000016	b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Barrientos, *et al.*, (2015), para el cultivo de acelga en ambiente controlado obtuvo una tasa de

asimilación neta de $0.112 \text{ g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ en un periodo de 120 días

Índice de área foliar para acelga

El índice de área foliar es altamente significativo en los niveles ($p < 0.01$) y significativo ($p < 0.05$) en PD-SD e interacción. En el análisis de la tendencia la función cuadrática es significativa ($p < 0.05$) obteniéndose el mayor índice de área foliar (0.98) con un nivel de 0.97% de PD y SD.

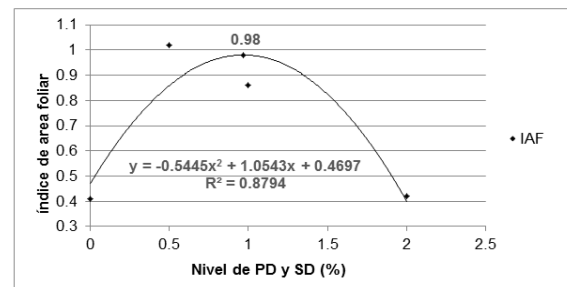


Figura 8. Función ajustada para el índice de área foliar en respuesta a los niveles de sábila y penca deshidratadas.

El índice de área foliar (Tabla 5) de acuerdo a la comparación de medias entre PD y SD, indica

que son estadísticamente diferentes, donde el tratamiento penca deshidratada presenta el mayor índice de área foliar con 0.77 frente al tratamiento sábila deshidratada con 0.58. Roque (2016), obtuvo un IAF de 0.42 a los 120 días en ambiente controlado.

Tabla 5. Medias y prueba Tukey (0.05) para el índice de área foliar en respuesta a los tratamientos sábila y penca deshidratadas.

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Penca deshidratada	0.77	12	0.04	a
Sábila deshidratada	0.58	12	0.04	b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

CONCLUSIONES

La humedad del suelo a capacidad de campo incrementa con penca y/o sábila deshidratadas, con un nivel de 2% hasta 43.58%, por otra parte, la reposición de agua tiende a disminuir a medida que incrementa el nivel de penca y/o sábila deshidratadas, con un nivel 2% disminuye 16.03%.

La formación de materia verde de acelga fue mayor en el tratamiento penca deshidratada con 87.63 g en el nivel 0.5% donde el consumo de agua se reduce en un 64.64%, con sábila deshidratada la mayor formación de materia verde fue 39.36 g en el nivel 1% y el consumo de agua se reduce en un 28.77%.

El área foliar de acelga es mayor al incrementar el nivel del tratamiento (PD y SD) hasta 1%, a partir de este nivel el área foliar no incrementa. El mejor resultado en cuanto a esta variable es de 255.96 cm² fue con el tratamiento penca deshidratada.

La tasa de crecimiento relativo de la hoja incrementa a medida que incrementa el nivel de penca deshidratada y sábila deshidratada hasta 2% a partir del cual la tasa tiende a disminuir. La tasa de crecimiento relativo, tasa de crecimiento absoluta y tasa de asimilación neta en el cultivo de acelga es mayor con el tratamiento penca deshidratada. El índice de área foliar es mayor en el tratamiento penca deshidratada en relación al tratamiento sábila deshidratada, sin embargo, en ambos tratamientos el índice tiende a disminuir a partir del nivel 1%.

REFERENCIAS

- Andía, Y. (2000). SEDAPAL. Evaluación de plantas y desarrollo tecnológico. Tratamiento de agua coagulación y floculación. Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd27/andia.pdf>
- Abrajan, M. (2008). Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucilago del nopal (*Opuntia ficus-indica*) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible. (Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia). Recuperado de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/3794/tesisUPV2920.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Andrada, H. & Di Barbaro, G. (2018). Efecto de la aplicación de copolímeros sobre el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Revista de Ciencias Agrícolas. 35(2): 27-35. Doi:<http://dx.doi.org/10.22267/rcia.183502.89>
- Akinci, S. & Losel, D.M. (2012). Plant Water-Stress Responce Mechanims. En Mozifur Rahman, I. & Hasegawa, H. (Eds.), Water Stress (pp. 15). Croatia: InTech.
- Barrera, J. Suárez, D., Melgarejo, L.M. (2010). Analisis de crecimiento en plantas. Experimentos en fisiología vegetal. Universidad Nacional de Colombia. Colombia. Recuperado de:

- <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2019/02/Melgarejo-2010.pdf>
- Barrientos, H. Del Castillo, C. & García, M. (2015). Análisis de crecimiento funcional, acumulación de biomasa y translocación de materia seca de ocho hortalizas cultivadas en invernadero. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales. La Paz*, Vol. 2. N° 1 7 118, Junio 2015. Recuperado de: http://www.scielo.org.bo/pdf/rriam/v2n1/v2n1_a10.pdf
- FitzPatric, E.A. (1996). *Introducción a la ciencia de los suelos*. México: Trillas.
- Buckman, H., Brady, N. (1993). *Naturaleza y propiedades de los suelos*. México: Uthea.
- Gardner, F. P., Pearce, R. B., Mitchell, R. L. (2003). *Physiology of crop plants*. Jodhpur. India
- Grez, R. & Gerding, V. (1995). Aplicación de aserrín de la industria forestal para el mejoramiento del suelo. *Revista Bosque* 16(1): 115-119, 1995. Recuperado de <http://mingaonline.uach.cl/pdf/bosque/v16n1/art14.pdf>
- Hillel, D. (1998). *Environmental Soil Physics*. United States of America: Academic press.
- Hopkins, W.G. & Huner Norman, P.A. (2009). *Introduction to Plant Physiology* (pp. 19). Fourth Edition. United States of America: Wiley.
- Huaygua, S.R. (2016). Evaluación de la retención de humedad de un suelo en formación con diferentes mejoradores para el prendimiento de pino radiata (*Pinus radiata*) en la Estación Experimental Choquenaira. (Trabajo de grado). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- Hunt, R. 1978. *Plant growth analysis*. Edward Arnold Publishers, London.
- Katime, I. K.O. K.D. 2004. *Materiales inteligentes: Hidrogeles macromoleculares*. Universidad del País Vasco. España.
- Khan, O. (2013). *Principles, Properties and Management*. United States of America: Springer.
- Koorevaar, P., Menelik, G. & Dirksen, D. (1999). *Elements of soil physics*. The Netherlands: Elsevier.
- Kozłowski, T. (1997). *Responses of woody plants to flooding and salinity*. Victoria, Canada. *Tree Physiology Monograph* No.1. Recuperado de <https://watermark.silverchair.com/>
- Mekonnen, M. & Hoekstra, A. (2010). The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products. Recuperado de: <https://waterfootprint.org/media/downloads/Report-48-WaterFootprint-AnimalProducts-Voll.pdf>
- Ochoa, R. 2016. 2da. Ed. *Diseños experimentales*. Ochoa Ediciones. La Paz-Bolivia
- Raviv, M., Lieth, J.H. (2008). *Soilless culture. Theory and practice* (p. 47). United States of America: Elsevier.
- Roque, M. 2016. Análisis de crecimiento de cuatro hortalizas en sistema de producción orgánico en invernadero urbano-familiar en la ciudad de La Paz. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia.
- Sanchez Diaz, M. & Aguirreolea, J. (2008). El agua en la planta. Movimiento del agua en el sistema suelo-planta-atmósfera. En Azcon Bieto, J. & Talon, M. (Coords.), *Fundamentos de Fisiología Vegetal* (p. 25). 2ª Ed. España: McGraw-Hill Interamericana.
- Wesley, L. (2010). *Fundamentals of soil mechanics for sedimentary and residual soils*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken.
- White. R.E. (2006). *Principles and Practice of soil Science. The soil as a natural resource* (p. 107). 4ª Ed. United States of America: Blackell Publishing.