

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA EN PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN
AGROPECUARIA



TESIS DE GRADO

**DINÁMICA DEL AGUA EN UN SUELO ARENOSO CON ADICIÓN DE SÁBILA Y
PENCA DESHIDRATADAS Y SU INFLUENCIA EN EL CULTIVO DE ACELGA**
(Beta vulgaris) EN EL MUNICIPIO DE VIACHA

NIDIA VIOLETA MORALES ALCON

LA PAZ-BOLIVIA

2019

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA EN PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN
AGROPECUARIA

**DINÁMICA DEL AGUA EN UN SUELO ARENOSO CON ADICIÓN DE SÁBILA Y
PENCA DESHIDRATADAS Y SU INFLUENCIA EN EL CULTIVO DE ACELGA
(*Beta vulgaris*) EN EL MUNICIPIO DE VIACHA**

*Tesis de Grado presentado como
requisito para optar al título de
Ingeniero en Producción y
Comercialización Agropecuaria*

Nidia Violeta Morales Alcon

Tutor:

Ing. Brigido Moises Quiroga Sossa

Tribunal revisor:

Ing. Ph. D. Félix Mamani Reynoso

Ing. Ph. D. Roberto Miranda Casas

Ing. M. Sc. Ramiro Augusto Mendoza Nogales

Presidente tribunal revisor:

La Paz – Bolivia

2019

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado a mi mamá, Primitiva Alcón Tancara, mi maestra de vida, por todo lo que ella es, hace e hizo, a mi abuelito, Marcelino Alcón Torres por ser un ejemplo de vida, lucha y superación de toda mi familia.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser el guía espiritual que me da fuerzas en todo momento.

A la Universidad Mayor de San Andrés por acogerme durante más de 4 años, a los docentes de la carrera de Ingeniería en Producción y Comercialización Agropecuaria, quienes contribuyeron en mi formación profesional.

A mi familia por brindarme su apoyo incondicional y su aliento para seguir adelante a pesar de las dificultades.

Un agradecimiento especial a mi asesor Ing. Moisés Quiroga Sossa, por brindarme su conocimiento, tiempo, paciencia, consejos y dedicación para la realización de este trabajo y especialmente su amistad.

Al Ing. Eduardo Oviedo Farfán por su apoyo y amistad durante mis años de estudio.

Al tribunal revisor: Ing. M. Sc. Ramiro Mendoza Nogales, Ing. Ph. D. Roberto Miranda Casas e Ing. Ph. D. Félix Mamani Reynoso, por la colaboración brindada en la revisión y corrección que hicieron posible la conclusión del documento final.

CONTENIDO

RESUMEN	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS	3
1.1.1. Objetivo General	3
1.1.2. Objetivos Específicos	3
2. REVISION BIBLIOGRAFICA	4
2.1. El suelo	4
2.2. Composición del suelo	4
2.3. Textura del suelo	5
2.4. Estructura del suelo	6
2.5. Capacidad de campo	8
2.6. Punto de marchitez permanente	8
2.7. Factores que influyen sobre el contenido de humedad en el suelo	9
2.7.1. Clima	9
2.7.2. Propiedades del suelo	9
2.7.3. Topografía	10
2.8. Acondicionadores del suelo	10
2.8.1. Materia orgánica	11
2.8.2. Materiales minerales	11
2.8.3. Polímeros sintéticos	11
2.9. Utilización de hidrogel como una estrategia para la retención de agua en el suelo	12
2.10. Comportamiento del hidrogel en el suelo	12
2.11. Clasificación del hidrogel	13
2.11.1. Polímeros solubles en agua	13
2.11.2. Hidrogel	13
2.11.3. Polímeros naturales	14
2.12. Polímeros	14
2.13. Sistema coloidal	14

2.14.	La penca (<i>Opuntia ficus indica</i>) y su mucílago como fuente de gel y su obtención.....	15
2.15.	La sábila (<i>Aloe vera</i>) y su mucílago como fuente de gel y su obtención	16
2.16.	Crecimiento	17
2.17.	Análisis de crecimiento de la planta.....	17
2.18.	Formulación matemática del crecimiento.....	18
2.19.	Parámetros medibles en la dinámica del crecimiento	18
2.19.1.	Área foliar.....	18
2.19.2.	Tasa de crecimiento relativo de la hoja	18
2.19.3.	Tasa de crecimiento relativo de la planta	18
2.19.4.	Tasa de crecimiento absoluto de la planta	19
2.19.5.	Tasa de asimilación neta.....	19
2.19.6.	Índice de área foliar.....	19
2.20.	El cultivo de acelga (<i>Beta vulgaris</i>).....	19
2.20.1.	Origen	19
2.20.2.	Taxonomía de la Acelga.....	20
2.20.3.	Descripción botánica	20
2.20.4.	Ciclo vegetativo.....	21
2.20.5.	Requerimientos del cultivo	21
2.20.6.	Manejo del cultivo	22
3.	LOCALIZACIÓN	23
3.1.	Descripción del municipio de Viacha	23
3.2.	Clima	23
4.	MATERIALES Y MÉTODO.....	24
4.1.	Materiales.....	24
4.1.1.	Material experimental.....	24
4.1.2.	Material de campo.....	24
4.1.3.	Material de gabinete.....	24
4.2.	Método	24
4.2.1.	Limpieza y protección del área experimental.....	24
4.2.2.	Preparación de suelo	25

4.2.3.	Obtención de sábila deshidratada y penca deshidratada	25
4.2.4.	Preparación del sustrato	25
4.2.5.	Evaluación de las unidades experimentales	25
4.2.6.	Determinación de la humedad a capacidad de campo (%).....	26
4.2.7.	Trasplante de la acelga	26
4.3.	Variables evaluadas	26
4.3.1.	Adición de agua (cm ³)	26
4.3.2.	Intervalo de días entre adición de agua (días).....	27
4.3.3.	Área foliar (cm ²)	27
4.3.4.	Tasa de crecimiento relativo de la hoja (cm ²)	27
4.3.5.	Tasa de crecimiento relativo de la planta (g g ⁻¹ día ⁻¹)	27
4.3.6.	Tasa de crecimiento absoluto de la planta (g día ⁻¹)	28
4.3.7.	Tasa de asimilación neta (g cm ⁻² día ⁻¹).....	28
4.3.8.	Índice de área foliar.....	28
4.3.9.	Materia seca (%)	29
4.3.10.	Número de hojas por planta (No. de hojas)	29
4.3.11.	Longitud de hoja (cm).....	29
4.3.12.	Ancho de hoja (cm)	29
4.3.13.	Determinación y comparación del costo de penca deshidratada y sábila deshidratada (Bs.).....	30
4.4.	Diseño experimental	30
4.4.1.	Unidad experimental	30
4.4.2.	Análisis de varianza y polinomios ortogonales	30
4.4.2.1.	Modelo lineal aditivo.....	31
4.4.3.	Análisis de regresión	31
4.4.4.	Análisis de medias	31
4.5.	Factores de estudio	32
4.5.1.	Tratamientos	32
4.6.	Croquis del área experimental	33
4.6.1.	Características del área experimental	33
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34

5.1.	Dinámica del agua.....	34
5.1.1.	Humedad a capacidad de campo (HCC).....	34
5.1.2.	Adición de agua (AA)	36
5.1.2.1.	Agua adicionada y formación de materia verde para el tratamiento penca deshidratada.....	38
5.1.2.2.	Agua adicionada y formación de materia verde para el tratamiento sábila deshidratada	40
5.1.3.	Reposición de agua (RA)	41
5.1.4.	Intervalo de días entre reposiciones de agua (IR)	43
5.2.	Crecimiento del cultivo	45
5.2.1.	Variables fisiológicas.....	45
5.2.1.1.	Área foliar (AF).....	45
5.2.1.2.	Tasa de crecimiento relativo de la hoja (TCRH).....	49
5.2.1.3.	Tasa de crecimiento relativo de la planta (TCRP)	52
5.2.1.4.	Tasa de crecimiento absoluto de la planta (TCAP)	53
5.2.1.5.	Tasa de asimilación neta (TAN)	54
5.2.1.6.	Índice de área foliar (IAF).....	55
5.2.2.	Variables agronómicas.....	58
5.2.2.1.	Materia seca (MS).....	58
5.2.2.2.	Número de hojas por planta (NHP)	61
5.2.2.3.	Longitud de hoja (LH).....	62
5.3.	Determinación de los costos de la sábila y penca deshidratada	64
6.	CONCLUSIONES.....	65
7.	RECOMENDACIONES	67
8.	BIBLIOGRAFÍA	68
	ANEXOS.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición del suelo.	5
Figura 2. Triángulo textural	6
Figura 3. Función ajustada de la humedad a capacidad de campo (%) en respuesta a los niveles de sábila y penca deshidratadas.	36
Figura 4. Función ajustada de la adición total de agua en respuesta a los niveles de sábila y penca deshidratada.....	38
Figura 5. Cantidad total de agua adicionada (cm^3) y formación de materia verde (g) por niveles en relación al requerimiento de agua en condiciones normales en el tratamiento penca deshidratada.	39
Figura 6. Cantidad total de agua adicionada (cm^3) y formación de materia verde (g) por niveles en relación al requerimiento de agua en condiciones normales en el tratamiento sábila deshidratada.....	40
Figura 7. Función ajustada del número de reposiciones de agua (No) en respuesta a los niveles de sábila y penca deshidratada.	42
Figura 8. Función ajustada del intervalo de días entre reposiciones de agua (Día) en respuesta a los niveles de sábila y penca deshidratada.	44
Figura 9. Funciones ajustadas del área foliar (cm^2) en respuesta a los niveles de sábila y penca deshidratadas.	47
Figura 10. Incremento del área foliar (cm^2) en respuesta a los tratamientos y niveles de sábila y penca deshidratadas en un periodo de 51 días.....	48
Figura 11. Funciones ajustadas para la tasa de crecimiento relativo de la hoja (cm^2) en respuesta a los tratamientos y niveles de sábila y penca deshidratadas....	50
Figura 12. Funciones ajustadas de la tasa de crecimiento relativo de hoja (cm^2) en respuesta a los tratamientos y niveles de sábila y penca deshidratadas en un periodo de 51 días.	51
Figura 13. Función ajustada para el índice de área foliar en respuesta a los niveles de sábila y penca deshidratadas.....	57
Figura 14. Funciones ajustadas para la materia seca de acelga (%) en respuesta a los tratamientos y niveles de sábila y penca deshidratadas.	60

Figura 15. Número de hojas (hojas pl^{-1}) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.	62
Figura 16. Promedio de la longitud (cm) en respuesta a los tratamientos y niveles de sábila y penca deshidratadas.	63

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Parámetros físicos del suelo.....	9
Cuadro 2. Requerimiento hídrico.....	22
Cuadro 3. Formulación y descripción de los tratamientos.	32
Cuadro 4. Análisis de varianza para la humedad a capacidad de campo (%) en respuesta a los tratamientos de sábila deshidratada y penca deshidratada.	34
Cuadro 5. Medias y prueba HSD de Tukey (0.05) de la humedad a capacidad de campo (%) en respuesta a los niveles de los tratamientos sábila y penca deshidratadas.	35
Cuadro 6. Análisis de varianza para la adición total de agua (cm ³) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.	37
Cuadro 7. Medias y prueba HSD de Tukey (0.05) de la de adición total de agua (cm ³) en respuesta a los niveles de los tratamientos sábila y penca deshidratadas.	37
Cuadro 8. Análisis de varianza para el número de reposiciones de agua (No) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.....	41
Cuadro 9. Medias y prueba HSD de Tukey (0.05) del número de reposiciones de agua en respuesta a los niveles de los tratamientos sábila y penca deshidratadas.	42
Cuadro 10. Análisis de varianza para el intervalo entre reposiciones de agua (días) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.....	43
Cuadro 11. Medias y prueba HSD de Tukey (0.05) del intervalo de días entre reposiciones de agua (día) en respuesta a los niveles de sábila y penca deshidratadas.	44
Cuadro 12. Análisis de varianza para el área foliar (cm ²) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.....	45
Cuadro 13. Medias y prueba HSD de Tukey (0.05) del área foliar (cm ²) en respuesta a los niveles de sábila y penca deshidratadas.	46
Cuadro 14. Medias y prueba HSD de Tukey (0.05) del área foliar (cm ²) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.....	46
Cuadro 15. Análisis de varianza para la tasa de crecimiento relativo de la hoja (cm ²) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.	49

Cuadro 16. Medias y prueba HSD de Tukey (0.05) de la tasa de crecimiento relativo de la hoja (cm^2) en respuesta a los tratamientos y niveles de sábila y penca deshidratadas.....	50
Cuadro 17. Análisis de varianza para la tasa de crecimiento relativo de la planta ($\text{g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.	52
Cuadro 18. Medias y prueba HSD de Tukey (0.05) de la tasa de crecimiento relativo de la planta ($\text{g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.	52
Cuadro 19. Análisis de varianza para la tasa de crecimiento absoluto de la planta (g día^{-1}) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.	53
Cuadro 20. Medias y prueba HSD de Tukey (0.05) de la tasa de crecimiento absoluto de la planta (g día^{-1}) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.	54
Cuadro 21. Análisis de varianza para la tasa de asimilación neta ($\text{g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.....	54
Cuadro 22. Medias y prueba HSD de Tukey (0.05) de la tasa de asimilación neta ($\text{g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.....	55
Cuadro 23. Análisis de varianza para el índice de área foliar en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.....	56
Cuadro 24. Medias y prueba HSD de Tukey (0.05) del índice de área foliar en respuesta a los niveles de sábila y penca deshidratadas.	56
Cuadro 25. Medias y prueba HSD de Tukey (0.05) del índice de área foliar en respuesta a los tratamientos sábila y penca deshidratadas.....	57
Cuadro 26. Análisis de varianza para materia seca (%) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.....	58
Cuadro 27. Media y prueba HSD de Tukey (0.05) de materia seca (%) de acelga en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.....	59
Cuadro 28. Media y prueba HSD de Tukey (0.05) de materia seca (%) de acelga en respuesta a los tratamientos y niveles de sábila y penca deshidratadas.	59
Cuadro 29. Análisis de varianza para el número de hojas (hoja pl^{-1}) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.	61

Cuadro 30. Análisis de varianza para la longitud de hoja (cm) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.....	63
Cuadro 31. Costo (Bs) por gramo de penca y sábila deshidratadas.....	64

RESUMEN

El trabajo de investigación se llevó a cabo en la Carrera de Ingeniería en Producción y Comercialización Agropecuaria del municipio de Viacha, se evaluó la dinámica del agua en un suelo arenoso con adición de penca deshidratada (PD), sábila deshidratada (SD), con niveles de 0%, 0.5% ,1%, 2% y la influencia en el cultivo de acelga. Los tratamientos fueron PD-0, PD-0.5, PD-1, PD-2, SD-0, SD-0.5, SD-1 y SD-2, cada uno con tres repeticiones, el trabajo fue realizado en macetas dispuestas en un área cubierta para evitar el agua de precipitación, el ensayo se realizó entre diciembre del 2016 hasta abril del 2017 con la finalidad de incrementar la capacidad de retención de humedad en el suelo y su influencia en el cultivo de la acelga. Previamente se determinó la humedad a capacidad de campo de cada tratamiento para calcular la adición de agua, posteriormente se realizó el trasplante de acelga. El ensayo se realizó bajo un diseño de bloques al azar con arreglo bifactorial y el análisis estadístico con el programa InfoStat, de acuerdo a la significancia de los tratamientos se establecieron funciones ajustadas con el método de mínimos cuadrados. De acuerdo a los resultados la humedad a capacidad de campo fue 21.15% con PD-2 y SD-2, la adición total de agua fue 8608.17 cm³ con PD-2 y SD-2. El menor número total de reposiciones de agua fue 13 veces con PD-2 y SD-2 y el mayor fue 16 veces con el nivel 0% de ambos tratamientos, el mayor número de días entre reposición fue 9 días con PD-2 y SD-2 y 7 días en el nivel 0% en ambos tratamientos. El área foliar fue 336.81 cm² con PD-05 y SD-05, una tasa de crecimiento relativo de hoja de 0.48 cm² con PD-2, una tasa de crecimiento relativo de la planta de 0.01 g g⁻¹ día⁻¹ en el tratamiento penca deshidratada, una tasa de crecimiento absoluto de la planta de 0.07 g día⁻¹ con el tratamiento penca deshidratada, una tasa de asimilación neta de 0.000143 g cm⁻² día⁻¹ con penca deshidratada, un índice de área foliar de 1.02 con PD-05 y SD-05, el porcentaje de materia seca de 24.25% con el tratamiento sábila deshidratada. En cuanto al número de hojas se obtuvo 7 hojas pl⁻¹ con PD-05 y PD-1 y la mayor longitud de hoja fue 14.68 cm con SD-05. En relación al costo por gramo de penca deshidratada fue 0.08/100 Bs. y por gramo de sábila deshidratada 0.31/100 Bs.

ABSTRACT

The present research was carried out at the Carrera de Ingeniería en Producción y Comercialización Agropecuaria in Viacha, it was evaluated the water dynamic in sandy soil with addition of penca dehydrated (PD) and sabila dehydrated (SD), their application with different levels 0%, 0.5%, 1% y 2% and the influence on chard farming. The treatments were PD-0, PD-05, PD-1, PD-2 SD-0, SD-05, SD-1 and SD-2 each one with three repetitions, they were evaluated in flowerpot spots and set in a covered place to avoid the rain, the research was realized during December from 2016 to April from 2017 and the objective was increasing the water retention in the soil and their influence on the chard. Previously the humidity at field capacity was determined to replace water then the chard plants were placed on the flowerpot spots. The evaluation was according to the random block design with dual factor and the results were analyzed by a statistic program called InfoStat then the analysis of each function was performed by the minimum square method. According to the results the humidity at field capacity was 21.15% with PD-2 y SD-2, the total addition of water was 8608.17cm³ with PD-2 and SD-2. The least number of repositions was 13 times with PD-2 and SD-2 and the most was 16 times with 0% from both treatments too, for the days between repositions the most number of days was 9 days with PD-2 y SD-2 and the least number of days was 7 days with 0% from both treatments. The foliar area was 336.81 cm² with PD-05 y SD-05, a relative growth rate of the leaf of 0.48 cm² with PD-2, a relative growth rate of the plant of 0.01 g g⁻¹day⁻¹ with penca dehydrated, an absolute growth rate of the plant of 0.07 g day⁻¹ with penca dehydrated treatment, a net assimilation rate of 0.000143 g cm⁻² day⁻¹ with penca dehydrated treatment, a leaf area index of 1.02 with PD-05 and SD-05 and a dry matter of 24.25% with sabila dehydrated treatment. The number of leaves was 7 leaves in PD-05 and PD-1 and the largest leaf length was 14.68 cm in SD-05. The cost for each gram of penca dehydrated was 0.08/100 Bs. and each gram of sabila dehydrated was 0.31/100 Bs.

1. INTRODUCCIÓN

En la producción agrícola el suelo cumple un rol determinante, principalmente almacenar humedad para las plantas, los suelos arenosos se caracterizan por su baja capacidad de almacenamiento lo que influye en el desarrollo de los cultivos, según Rojas *et al.* (2004) mencionados por Idrobo *et al.* (2010) indican que el uso racional y eficiente del agua para riego cada vez toma mayor importancia. Actualmente se emplea polímeros (hidrogel) para incrementar la capacidad de retención de humedad del suelo proveniente del agua de lluvia o riego evitando pérdidas por filtración minimizando costos, según Estrada *et al.* (2010) el hidrogel tiene la capacidad de absorber y ceder agua y otras soluciones acuosas sin disolverse. Katime *et al.* (2004) mencionan que la utilización de polímeros mejora la aireación y estructura de suelos en terrenos desérticos incrementando la humedad y fertilidad natural. La penca y sábila son plantas que almacenan gran cantidad de agua en forma de un sistema coloidal, con una densidad similar a los líquidos pero con una estructura semejante a un sólido, el uso de penca y sábila pueden constituirse como una nueva alternativa al uso de hidrogel, al respecto Sustek *et al.* (2011) indican que se desarrollan tecnologías eco amigables para contrarrestar amenazas medioambientales, reemplazando estos materiales sintéticos por materiales naturales que pueden ser utilizados en agricultura, horticultura y silvicultura, asimismo Martínez *et al.* (1997) mencionados por Idrobo *et al.* (2010) indican que las propiedades de estos materiales no solamente están relacionados con la mejora de las características del suelo sino también con la actividad biológica y disponibilidad de nutrientes, que contribuyen al óptimo desarrollo de las plantas.

El presente trabajo de investigación se realizó en la Carrera de Ingeniería en Producción y Comercialización Agropecuaria localizada en la ciudad de Viacha, se evaluó la dinámica del agua en un sustrato compuesto por suelo arenoso con adición de penca deshidratada (PD), sábila deshidratada (SD) y su efecto en el cultivo de acelga, el trabajo se desarrolló entre los meses de diciembre del 2016 hasta abril del 2017, bajo un diseño de bloques al azar con arreglo bifactorial con tres repeticiones,

los tratamientos fueron: penca deshidratada con 0% (PD-0), penca deshidratada con 0,5% (PD-05), penca deshidratada con 1% (PD-1), penca deshidratada al 2% (PD-2), sábila deshidratada con 0% (SD-0), sábila deshidratada con 0,5% (SD-05), sábila deshidratada con 1% (SD-1) y sábila deshidratada con 2% (SD-2). El análisis de los resultados se realizó con el programa estadístico InfoStat versión 2017e, de acuerdo a la significancia estadística de los tratamientos se establecieron funciones ajustadas con el método de mínimos cuadrados, para determinar los valores mayores y menores.

La penca deshidratada y sábila deshidratada pulverizadas fueron adicionadas al suelo arenoso en cuatro niveles (0%, 0.5%, 1% y 2%). Los sustratos estuvieron formados por: 4200 g de suelo arenoso (24 porciones) a los que se le adicionaron 0, 21, 42 y 84 g de penca y sábila respectivamente. El sustrato fue colocado en macetas de plástico con capacidad de 5 kilogramos. La evaluación se realizó semanalmente pesando cada maceta para determinar la cantidad de agua a adicionar y al mismo tiempo el registro de datos del cultivo. Las variables evaluadas en el sustrato fueron: porcentaje de humedad a capacidad de campo (HCC), adición total de agua (ATA), número total de reposiciones (NR) y el número de días entre reposición (ND), en el cultivo se evaluaron: área foliar (AF), tasa de crecimiento relativo de la hoja (TCRH), tasa de crecimiento relativo de la planta (TCRP), tasa de crecimiento absoluto de la planta (TCAP), tasa de asimilación neta (TAN), índice de área foliar (IAF), número de hojas por planta (NHP), longitud de hoja (LH) y ancho de hoja (AH), materia seca (MS), finalmente se realizó un análisis de costo por gramo de penca y sábila deshidratada.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo General

Evaluar la dinámica del agua en un suelo arenoso con adición de cuatro niveles de penca deshidratada, sábila deshidratada y su influencia en el desarrollo de la acelga.

1.1.2. Objetivos Específicos

Evaluar la dinámica del agua en un suelo arenoso con adición de cuatro niveles (0%, 0.5%, 1% y 2%) de sábila deshidratada y penca deshidratada.

Evaluar el desarrollo de la acelga en respuesta a la adición de sábila deshidratada y penca deshidratada en el suelo.

Determinar el costo de los tratamientos en estudio.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. El suelo

La palabra suelo es usada en mecánica de suelos para referirse a cualquier material mineral naturalmente formado que no sea roca, de esta manera cubre todo el material suelto que varía en tamaño de partícula de arcilla, limo, arena, grava y roca (Wesley, 2010), por otra parte Buol *et al.* (1973) mencionados por Shukla, (2014) definen al suelo como un medio para el crecimiento de la planta y soporte, también para retener y filtrar agua y otros compuestos químicos que se forman en él. En ingeniería se considera al suelo como un material trifásico compuesto de rocas o partículas minerales, agua y aire, estos últimos son contenidos en los espacios entre las partículas del suelo (Reddy, 2010). Los suelos son considerados los más antiguos y en términos de periodo geológico se considera que tienen una antigüedad de más de 65 millones de años.

2.2. Composición del suelo

Según el INIA, (2015) el material mineral es el componente más abundante del suelo y está formado por partículas de diferente tamaño desde pequeñas piedras hasta partículas de arcilla no visibles en microscopio, estas se agrupan según su tamaño en tres fracciones: arena, limo y arcilla. La materia orgánica o humus se forma con la incorporación de restos animales y vegetales y es muy importante para la fertilidad, ya que los microorganismos presentes en ella liberan nutrientes para las plantas, la presencia de materia orgánica le da una coloración oscura al suelo. Entre el material sólido se ubican los poros que son ocupados por aire y agua, donde los poros grandes están llenos de aire, necesarios para que respiren las raíces y microorganismos que viven el suelo, en los poros pequeños se almacena el agua que es importante pues contiene a las sustancias minerales para la nutrición de las plantas. Jordán, (2006) indica que el suelo puede ser considerado como un sistema disperso en el que se presentan tres fases: la fase sólida comprendida por

agregados minerales y orgánicos, la fase líquida que llega a ser el agua de la solución del suelo y la fase gaseosa considerada como la atmósfera del suelo contenida en el espacio poroso. Como promedio un suelo cultivado contiene aproximadamente 45% de material mineral, 5% de materia orgánica, entre 15-35% de agua y el resto es aire (Fig. 1).

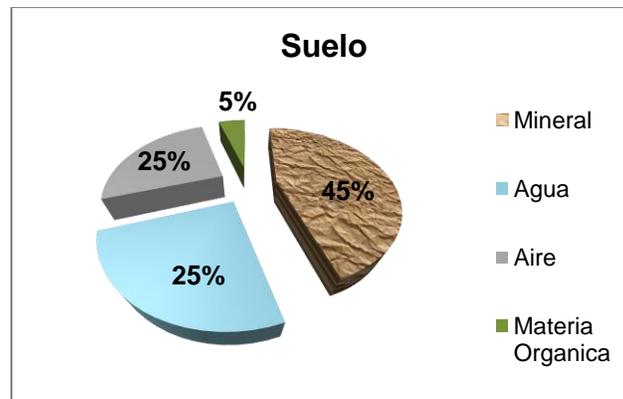


Figura 1. Composición del suelo. Elaboración propia en base a Jordán, 2006

2.3. Textura del suelo

Shukla, (2014) menciona que la textura es una de las primeras propiedades en ser identificada y que usualmente cambia con el incremento de la profundidad, también puede cambiar espacialmente, así pueden ser altamente variables a través de cualquier paisaje. Los términos textura del suelo y distribución del tamaño de partícula se deben diferenciar, la distribución del tamaño de partícula es una medida cuantitativa de los diferentes tamaños de partículas dentro de un área y la textura del suelo es más cualitativa, usa rangos de diferentes tamaños de partículas para clasificar al suelo dentro de los diferentes grupos, al respecto Koorevaar *et al.* (1999) mencionan que los suelos muestran una infinidad de combinaciones de las fracciones de masa a los que se les otorga una clase textural de acuerdo a los porcentajes de peso de arena, limo y arcilla. Todas las posibles combinaciones son representadas en el triángulo textural (Fig. 2) y las clases texturales del suelo están

demarcadas por líneas gruesas. Según Jordán, (2006) la textura del suelo se refiere a la granulometría de la fracción inorgánica del suelo y existen diversos tipos de clasificación los que en su mayoría utilizan términos como grava, arena, limo y arcilla y difieren ligeramente en los límites establecidos para cada clase por otra parte explica que se debe tomar en cuenta el tamaño de las partículas del suelo ya que afectan la superficie interna, como el número y tamaño de poros; así cuando menor es el tamaño de la partícula mayor es la superficie interna del suelo y disminuye el tamaño de los poros del suelo. Koorevaar *et al.* (1999) indica que existen varios sistemas de clasificación del suelo que actualmente están en uso, una de los cuales es reconocida por la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo y sus diámetros equivalentes son: arena gruesa (2000- 200 μm), arena fina (200- 20 μm), limo (20- 2 μm) y arcilla (< 2 μm).

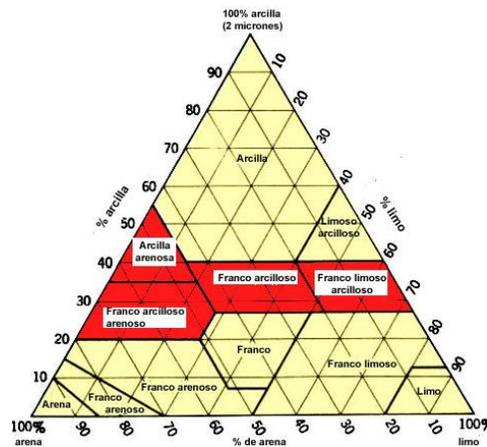


Figura 2. Triángulo textural
Extraído de
[http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO Training/FAO Training/General/x6706s/x6706s06.htm](http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO%20Training/FAO%20Training/General/x6706s/x6706s06.htm)

2.4. Estructura del suelo

Otra característica física del suelo es su estructura, este término fue introducido al mundo científico por el famoso científico en suelos Dokuchaev en el siglo XIX, él no lo inventó sino que lo tomó de los granjeros quienes distinguían entre la buena

estructura de un suelo de alto rendimiento y un suelo con pobre fertilidad y sin estructura (Kutílek y Nielsen, 2015). De esta manera Marshall y Holmes, (1979) mencionados por Shukla, (2014) definen a la estructura del suelo como la posición de diferentes componentes; hay espacios porosos ocupados por agua y aire rodeados por partículas sólidas que consisten en materiales orgánicos e inorgánicos. Un suelo con una buena estructura tiene baja compactación, alta densidad y una gran cantidad de espacios porosos. Estos suelos tienen alta infiltración, movimiento rápido del agua a través del perfil, alta retención de agua, alta disponibilidad de agua para las raíces, bajo encostramiento, alto intercambio de gases, alta disponibilidad de nutrientes, facilidad de penetración de las raíces, baja superficie de escorrentía y reducida erosión. Por otra parte los suelos con una estructura pobre tendrán baja retención de agua y transporte, bajo sostenimiento para las raíces y bajo crecimiento que llevara a bajos rendimientos de estos campos.

La estructura gobierna características de mayor interés para el crecimiento de la planta: aireación, temperatura, movimiento de la solución del suelo, actividad microbiana y penetración de la raíz (Koorevaar *et al.*, 1999).

Tisdall y Oades, (1982); Ochoa *et al.* (2009) mencionados por Shukla, (2014) indican que la estructura del suelo puede ser mejorada cuando las partículas del mismo se mezclan con partículas inorgánicas y llegan a formar agregados. Vásquez *et al.* 2017 señala que los tipos de agregados determinan la estructura del suelo los que pueden ser: laminar, prismático, columnar, poliédrico, granuloso y glomerular la que se denomina la mejor estructura pues tiene una óptima hidroestabilidad entre los espacios capilares de los agregados. Las plantas, exudaciones de las raíces, organismos vivos y la actividad de la población microbiana contribuyen hacia la formación estable de agregados, otras prácticas, como la adición de biomasa al suelo, la reducción del arado del suelo, provisión de cubierta para eliminar el impactos de las gotas de agua en el suelo, cultivos de cubrimiento, rotación de cultivos, evitar las operaciones del campo cuando está demasiado mojado o seco.

2.5. Capacidad de campo

Vásquez *et al.* (2017) definen la capacidad de campo como la máxima capacidad de retención de agua en el suelo sin problemas de drenaje, que alcanza según la textura del suelo, entre 6 y 72 horas después de un riego pesado o una lluvia que permitió saturar momentáneamente al suelo, donde el drenaje del agua gravitacional haya cesado (Cuadro 1). Sin embargo Taylor y Ashcroft, (1972) mencionados por Kirkham, (2005) indican que con el paso del tiempo la capacidad de campo es un término impreciso porque nunca se alcanza el equilibrio. El agua del suelo es dinámica, la extracción del agua ocurre debido al drenaje, evaporación, transpiración y la adición de agua ocurre con las gotas de rocío, precipitaciones y el riego. La capacidad de campo no es el más alto nivel de agua disponible para las plantas porque toda el agua que no es retenida fuertemente por el suelo puede ser usada por las plantas mientras este en contacto con las raíces, aún si el paso del agua se apresura por un drenaje rápido. Uno de los límites para el contenido de agua, es la aireación del suelo, la que debe ser por lo menos el 10% en volumen del espacio poroso, para que la mayoría de las raíces pueda sobrevivir.

2.6. Punto de marchitez permanente

El punto de marchitez permanente es el contenido de humedad del suelo en el cual la planta manifiesta síntomas de marchitamiento (Cuadro 1), caída de hojas, escaso desarrollo o fructificación, debido a un flujo muy lento del agua del suelo hacia la planta (Vásquez *et al.*, 2017). Para Kirkham, (2005) el punto de marchitez permanente puede ser definido como la cantidad de agua por unidad de peso o por el volumen de la unidad de masa en el suelo, expresado en porcentaje, que es retenida fuertemente por la matriz del suelo, que las raíces no pueden absorber ocasionando que la planta se marchite. Al igual que la capacidad de campo, muchos investigadores se dieron cuenta que el punto de marchitez permanente no tiene un valor único ya que es dinámico, dependiendo del perfil del suelo (textura,

compactación, estratificación); las cantidades de agua en el suelo a diferentes profundidades, la tasa de transpiración de las plantas y la temperatura.

Cuadro 1. Parámetros físicos del suelo

Parámetros	Textura del suelo					
	Arenoso	Franco arenoso	Franco	Franco arcilloso	Arcilloso arenoso	Arcilloso
Capacidad de campo	9 (6-12)	14 (10-18)	22 (18-26)	27 (23-31)	31 (27-35)	35 (31-39)
Punto de marchitez permanente	4 (2-6)	6 (4-8)	10 (8-12)	13 (11-15)	15 (13-17)	17 (15-19)

Fuente: Elaboración propia en base a Vásquez *et al.*, 2017.

2.7. Factores que influyen sobre el contenido de humedad en el suelo

2.7.1. Clima

Principalmente los cambios en la atmosfera, cuanto más seca y caliente en comparación de la superficie del suelo, mayor es la velocidad de evaporación del mismo. Los vientos transversales a la superficie de la tierra causan macro y micro turbulencias alrededor de las plantas, lo que resulta en un cambio constante del contenido de vapor de agua en sus inmediaciones. Además de la perdida de humedad del suelo, también están los periodos de sequía dentro de un año que pueden iniciarse tarde alargando los periodos secos ocasionando momentos críticos para el cultivo (FAO, 2000).

2.7.2. Propiedades del suelo

El contenido del suelo varía con el tipo, la profundidad y la cantidad de materia orgánica del suelo, además se deben considerar tres capacidades físicas las cuales son: la infiltración, la permeabilidad y la capacidad de retención de agua. También

se debe considerar que el número de espacios porosos juega un papel determinante para la cantidad de agua que el suelo puede absorber, retener y suministrar, un suelo con bastante vegetación tiene una gran porosidad este factor varía de acuerdo al tipo de suelo y al manejo del mismo (FAO, 2000).

2.7.3. Topografía

Las formaciones geológicas, junto con los procesos climáticos y de levantamiento, influyen a las formas empinadas y poco profundas de las pendientes. El agua captada en una cuenca fluirá hacia puntos más bajos donde la superficie del suelo divide la lluvia en infiltración y escorrentía, entonces a mayor escorrentía menor es la proporción que se convierte en humedad del suelo y agua subterránea (FAO, 2000)

2.8. Acondicionadores del suelo

Los materiales sólidos de los suelos agrícolas son mezclas variables de partículas minerales, gas, agua en un 95% y 5% de materia orgánica proveniente de animales, plantas, hongos y bacterias, capaz de soportar la vida de la planta y determinar el tipo de suelo, también están los materiales poliméricos que son incorporados al suelo para recuperar y mejorar la composición y estructura del suelo. Estos materiales mejoran la estructura formando terrones de suelo convenientes para la vegetación y el mejoramiento del crecimiento vegetal. Reducen la demanda de agua, especialmente para suelos arenosos, incrementando la capacidad de retención de agua, reduciendo el estrés hídrico, previenen la erosión de suelo por alteración mecánicas en la estructura del suelo, evitando la friabilidad, incrementando el establecimiento del almacigo e incrementado el rendimiento del cultivo. Hay varios materiales naturales y sintéticos usados para el mejoramiento del suelo, los cuales son adheridos a la superficie del suelo, alrededor de las raíces o semillas al momento de la plantación, consecuentemente mejora las propiedades físicas del suelo (Akelah, 2013).

2.8.1. Materia orgánica

Abono animal, residuos de cultivos, compost orgánico, aserrín y varios materiales como comida, textiles y residuos de papel procesado son usados para el mejoramiento del suelo, para incrementar la infiltración y retención, promueve agregación, provee un sustrato para la actividad biológica, mejora la aireación y reduce la compactación del suelo (Akelah, 2013).

2.8.2. Materiales minerales

Estos materiales pueden modificar las características físicas o químicas de los suelos tales como aumento de la saturación de bases del suelo (reducción del porcentaje de sodio intercambiable), incremento de la floculación de partículas, la estabilización de agregados y la reducción de la dispersión de partículas. En suelos salinos, las fuentes de calcio son agregados para reducir el porcentaje de sodio intercambiable del agua y del suelo. Los óxidos de hierro también son utilizados para promover la agregación de suelos con baja cantidad de materia orgánica. Otros materiales inorgánicos como la sílice modificada son usados como acondicionadores para mejorar las propiedades del suelo (Akelah, 2013).

2.8.3. Polímeros sintéticos

Son utilizados específicamente para producir cambios físicos y químicos en el suelo, mejorar el rendimiento en la agricultura, son cantidades muy pequeñas de material que se incorpora al suelo. El modo de acción de estos materiales mejoradores puede ser como: **Surfactantes**; afectan la tensión de la superficie del suelo para el agua y son comúnmente usados para realzar el remojo y la infiltración del suelo, **Floculantes**; realzan la atracción cohesiva entre finas partículas dispersas y dirigen la formación de agregados en un medio acuoso que logra suficiente tamaño y peso (Akelah, 2013).

2.9. Utilización de hidrogel como una estrategia para la retención de agua en el suelo

Según Sustek *et al.* (2011) recientemente se han generado varios productos ecológicos y tecnologías las cuales son desarrolladas en la agricultura, horticultura y floristería para mejorar la retención de agua del suelo y la utilización de nutrientes por las plantas. Rojas *et al.* (2004), mencionados por Idrobo *et al.* (2010) indican que el uso racional y eficiente del agua en riego de cultivos es un factor que cada día toma mayor importancia, en este sentido emplear polímeros que permitan incrementar la capacidad de retención de agua del suelo, aprovechar mejor el agua de lluvia o riego y disminuir las pérdidas por filtración, contribuyen a mejorar la eficiencia en el manejo del agua, minimizar los costos y proteger los ecosistemas.

2.10. Comportamiento del hidrogel en el suelo

Según Katime *et al.* (2004) mencionados por Idrobo *et al.* (2010) la utilización de hidrogel mejora la aireación y la estructura de suelos que se encuentran en terrenos desérticos, incrementando la humedad y fertilidad natural, esto puede ser muy útil en regiones montañosas, donde las lluvias erosionan el suelo, lavan los nutrientes afectando el desarrollo de los cultivos.

Para Akelah, (2013) la aplicación de hidrogeles ayuda a recuperar la suelos con estructura pobre, la acción que realizan son la estabilización y solidificación de características físicas y químicas de los suelos para construcción donde el movimiento del suelo es eliminado o reducido, menciona también que en la aplicación interviene más de un polímero para lograr su objetivo. Los hidrogeles también funcionan como acondicionadores, al estar distribuidos con las partículas del suelo ayudan a mejorar la retención de agua y evitan la pérdida por evaporación permitiendo que los intervalos entre riego se incremente, esta técnica está diseñada para permitir el desarrollo de cultivos sin riego, en áreas donde la presencia de lluvia es inadecuada o en zonas áridas.

La capacidad del hidrogel de absorber agua y proporcionarla lentamente a las raíces de las plantas mejora algunas características del suelo, tales como la retención y disponibilidad de agua, aireación y disminución de compactación. El hidrogel es utilizado en diversos sectores, como la agricultura y la arquitectura paisajista, logrando reducir el consumo de agua hasta en un 50% (Plaza, 2006 mencionado por Idrobo *et al.*, 2010).

2.11. Clasificación del hidrogel

2.11.1. Polímeros solubles en agua

Son polímeros lineales, hidrófilos o iónicos solubles en agua, utilizados como agentes humectantes que llevan a una retención de humedad más efectiva y agregados de suelo más estables. Son utilizados para la retención de humedad y prevenir la formación de costras en la superficie del suelo. Los polielectrolitos mejoran aspectos químicos, físicos, bacteriológicos y agronómicos del suelo, aparte del soporte para recuperar suelos salinos y alcalinos. La aplicación de estos componentes en aspersores de agua de riego para suelos arenosos ayuda a mantener la estabilidad, infiltración y la prevención de costras en el suelo. Sin embargo, el uso de polímeros solubles en la corrección de suelos arcillosos, reducen el crecimiento de las raíces de las plantas, esto como resultado de la inadecuada aireación (Akelah, 2013).

2.11.2. Hidrogel

Son polímeros hidrófilos insolubles y tienen la habilidad de retener agua, mucho más que su propio peso dependiendo de su estructura y tienen la capacidad de liberar el agua retenida una vez que el medioambiente llegue a ser seco. Se presentan en diferentes estados como: solución, gel, solución visco elástica o pequeños cristales (Akelah, 2013).

2.11.3. Polímeros naturales

Son aquellos que se producen por las reacciones bioquímicas naturales en animales y plantas. Son polímeros que muchas veces no tienen una sola composición química bien definida, pues están constituidos principalmente por varios polisacáridos (almidón, celulosa, glucósidos, etc.) y proteínas (caseína, olieratina, colágeno, etc.) los que pueden tener propiedades coagulantes o floculantes (CEPIS, 1975).

2.12. Polímeros

Los polímeros son moléculas de gran tamaño que están formados por monómeros unidos por enlaces covalentes, estos monómeros están formados a su vez de átomos de carbono que pueden poseer grupos laterales o radicales con uno más átomos. Estas moléculas orgánicas son las que constituyen los materiales plásticos que se conocen y también los tejidos de los seres vivos (piel, músculos, tela de araña, seda, etc.). La formación de los polímeros se lleva a cabo mediante un proceso denominado polimerización, en este proceso se produce la reacción de miles de monómeros que pasan a formar parte de una larga cadena macromolecular (Hermida, 2011).

2.13. Sistema coloidal

Los coloides son mezclas intermedias entre las soluciones y suspensiones, las partículas que forman parte del coloide son más grandes que las moléculas que forman las soluciones, están comprendidas entre 10 y 100 nm (1 nanómetro = 1×10^{-9} m) mientras que las moléculas en la solución están entre 0.1 y 10 nm. Un sistema coloidal está compuesto de dos fases:

- La fase dispersa o partículas dispersas, que corresponde al soluto en las soluciones, constituida por moléculas sencillas o moléculas gigantes como el almidón.

- La fase de la dispersión o medio dispersante: es la sustancia en la cual las partículas coloidales están distribuidas, esta fase corresponde al solvente en la solución.

Se debe tomar en cuenta que todos los tejidos vivos son coloidales, el suelo en parte está constituido por un sistema coloidal y los alimentos que consumimos como la leche, mantequilla, jalea, etc. son coloides. (Universidad de San Carlos de Guatemala, 2005)

2.14. La penca (*Opuntia ficus indica*) y su mucílago como fuente de gel y su obtención

El mucilago está presente tanto en pencas o cladodios, así como en la piel y la pulpa de la fruta aunque en muy diversas proporciones. Estudios efectuados por Sáenz y Sepúlveda, (2006) indican que el rendimiento en todos los casos es bajo: 0,5% en la cascara y 1,2% en los cladodios. El mucilago es un carbohidrato complejo, entre los monómeros contenidos en la cadena se encuentran: L- arabinosa, D- galactosa, L- ramnosa, D- xilosa y ácido galacturónico. La proporción de estos monómeros en la molécula varía de acuerdo a diversos factores como: variedad, edad, condiciones ambientales y estructura empleada para la extracción (fruto, cascara, penca), entre otros factores. El mucilago está presente como una sal de calcio en las células de mucilago del parénquima de la penca (Trachtenberg y Mayer, 1982 mencionados por Abrajan, 2008). Este mucilago constituye un hidrocoloide que podría integrar la oferta de una gran gama de agentes espesantes de amplio uso en la industria de alimentos y farmacéutica, además de que tiene una gran capacidad de absorción de agua. Su poder espesante está siendo actualmente estudiado (Cárdenas *et al.*, 1997; Mediana-Torres *et al.*, 2000; Medina-Torres *et al.*, 2003; Cárdenas *et al.*, 2008 mencionados por Abrajan 2008)

Gardiner *et al.* (1999), mencionados por Abrajan, (2008), informan sobre las primeras investigaciones relacionadas con la acción de un extracto de penca para mejorar la

infiltración del agua en el suelo. Los autores comparan poliacrilamidas con un extracto de penca sin diluir y diluido y concluyeron que la aplicación del extracto aumenta la infiltración de agua en la tierra, en una magnitud similar a las poliacrilamidas, sin embargo, todavía quedan muchas preguntas al respecto. Se ignora la persistencia de los efectos del extracto, así como el ingrediente activo y el mecanismo de acción.

El mucilago de penca en la actualidad encuentra múltiples aplicaciones en la industria de los alimentos, cosméticos y farmacéutica, construcción y ambiental, entre otras más que surgen conforme avanza la investigación sobre sus propiedades (Sepúlveda, 2006).

Para la obtención del mucilago de las pencas Martínez y Gonzales, (2012) indican que debe cortar y removerla cutícula de la penca en pequeñas tiras, las que deben ser secadas por 48 horas continuas, a una temperatura entre 59-61°C, posteriormente se trituran para obtener un material granulado, tamizándolo para garantizar que las partículas sean uniformes.

2.15. La sábila (*Aloe vera*) y su mucílago como fuente de gel y su obtención

Según Vélez y Villa, (2012), la composición, las propiedades físico-químicas y farmacológicas del mucilago de sábila pueden variar en función de la lluvia o el riego, del terreno, de la época de recolección de las hojas, de su edad y almacenamiento; y según la forma de obtención del gel y almacenamiento. Un 99.4% del peso del gel de sábila es agua. Más del 60% de sólidos totales son los polisacáridos mucilaginosos ligados a los azúcares. Debajo de la superficie de la piel de la hoja de aloe esta las células pericíclicas que producen un látex amarillo amargo que contiene aproximadamente 80 antraquinonas fenólicas. En la composición química se puede encontrar la vitamina A, B₁, B₂, B₅ y trazas de B₁₂, C y E, enzimas como la lipasa, amilasa, catalasa, oxidasa, fosfatasa alcalina, minerales como zinc, cobre, azufre, sodio, cromo, magnesio, aluminio, magnesio y germanio, y los azúcares divididos en

dos grandes grupos; los polisacáridos; fructuosa, aleorido, celulosa, glucomananos neutros, galactogalacturonanos, glucogalactomananos, arabinosa, entre otras y entre los monosacáridos; glucosa, manosa, xilosa, galactosa, ramnosa, arabinosa y ácidos urónicos, entre otros componentes (Vélez y Villa, 2012).

Para la obtención del mucilago se pueden seguir la metodología que inicia con la cosecha de la sábila; esta consiste en cortar las hojas desde la base de la planta. El proceso de corte puede generar cierto oscurecimiento en las zonas de los cortes debido a la oxidación enzimática, posteriormente se procede a moler por 10 a 20 minutos para evitar el pardeamiento, el gel obtenido es de alto rendimiento. (Beppuy *col.*, 2006; Sierra y *col.*, 2000, mencionados por Domínguez *et al.*, 2012).

2.16. Crecimiento

El crecimiento se refiere a un incremento irreversible de materia seca o volumen, cambios en el tamaño, masa, forma y/o número, como una función del genotipo y el complejo ambiental, dando como resultado un aumento cualitativo del tamaño y peso de la planta (Kru, 1997 mencionado por Santos *et al.*, 2010). Para Gómez *et al.* (1999) mencionados también por Santos *et al.* (2010) el crecimiento se define como un proceso complejo que incluye muchos procesos como división celular, elongación, fotosíntesis, síntesis de otros compuesto, respiración, translocación, absorción y transpiración.

2.17. Análisis de crecimiento de la planta

Según Clavijo, (1989) mencionado por Santos *et al.* (2009) es una aproximación cuantitativa para entender el crecimiento de una planta o de una población de plantas bajo condiciones ambientales naturales o controladas. El análisis de crecimiento se practica de dos maneras: el análisis clásico que contempla medidas hechas a intervalos relativamente largos de tiempo con un gran número de plantas; el análisis

funcional que contempla medidas hechas en intervalos de tiempo más frecuentes y con un número pequeño de plantas (Hunt, 1978 mencionado por Santos *et al.*, 2010).

2.18. Formulación matemática del crecimiento

El análisis de crecimiento puede ser representado mediante fórmulas matemáticas o modelos que facilitan la realización de comparaciones entre diversos factores y condiciones experimentales que afecten al crecimiento. Para aplicar cualquiera de los índices de crecimiento es necesario medir cada intervalo de tiempo (Δt), el material vegetal presente (W) que se expresara en peso seco/ unidad de área (m^2 , cm^2), en algunos casos también se pueden determinar el peso exacto de las raíces por ejemplo en ensayos de crecimiento en macetas (Hunt, 1981 mencionado por Roque, 2016).

2.19. Parámetros medibles en la dinámica del crecimiento

2.19.1. Área foliar

El área foliar se define como la superficie de las hojas las cuales cubren una superficie de terreno en las que son cultivadas. Puede ser expresada en unidades de superficie o ser convertida a índices varios (Hunt, 1982).

2.19.2. Tasa de crecimiento relativo de la hoja

La tasa de crecimiento relativo de la hoja se define como: $TCRH = Ln A_2 - Ln A_1$ expresado en cm^2 , dm^2 ; donde “Ln” es el logaritmo natural y “A” es el área foliar.

2.19.3. Tasa de crecimiento relativo de la planta

La tasa de crecimiento relativo de la planta representa la relación de aumento de peso en un momento dado además es comparativa con otros pues incluye el peso de

la masa que crece y expresa el porcentaje de incremento en peso por unidad de tiempo (Lallana y Lallana, 2004).

2.19.4. Tasa de crecimiento absoluto de la planta

Según Hunt, (1982) la tasa de crecimiento absoluto de la planta, es la ganancia en peso expresada en gramos en relación al tiempo transcurrido desde la siembra o emergencia.

2.19.5. Tasa de asimilación neta

La tasa de asimilación neta mide la eficiencia fotosintética y determina el incremento de peso por unidad de área foliar en una unidad de tiempo (Gómez *et al.*, 1999 mencionado por Roque, 2016).

2.19.6. Índice de área foliar

El índice de área foliar se define como la suma de las superficies de hojas fotosintéticamente activas dividida entre la superficie del terreno que ocupan dichas hojas. Además es un parámetro básico que relaciona la radiación interceptada por el cultivo con relación a la radiación total incidente (Watson, 1947 mencionado por Lallana y Lallana, 2004).

2.20. El cultivo de acelga (*Beta vulgaris*)

2.20.1. Origen

Seymour, (1980) mencionado por Núñez, (2016) indica que el centro de origen de esta especie se sitúa en Europa y Norte de África, siendo la región oriental del Mediterráneo su mayor centro de diversificación a partir de la cual ha sido llevada a diversos países del mundo y actualmente se la puede encontrar en América y Asia.

2.20.2. Taxonomía de la Acelga

Según Rojas, (2006) mencionado por Núñez, (2016) la Acelga presenta la siguiente clasificación taxonómica:

División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida (dicotiledóneas)
Subclase:	Caryophyllidae
Orden:	Caryophylliales
Familia:	Chenopodiaceae
Género:	Beta
Especie:	<i>B. vulgaris var. cicla</i>
Nombre común:	Acelga
Otros nombres:	beta, betarraga blanca, selga

2.20.3. Descripción botánica

Según Vavilov, (1992) mencionado por Núñez, (2016) la acelga es una remolacha que se cultiva por sus peciolos y hojas suculentas. Durante los primeros años las plantas forman una raíz principal carnosa, un tallo corto y un gran número de hojas simples y bien desarrolladas en el segundo año forman los tallos florales que sostienen el fruto y las semillas. Las hojas exteriores maduran primero y a medida que se cortan se forman nuevas hojas así la planta está en producción durante una temporada relativamente larga. Para Salgado e Igarza, (2009) la acelga es una planta Chenopodiaceae, se supone originaria de Sicilia y descendiente de una remolacha blanca, no forma raíz carnosa, pero el follaje es muy desarrollado, las hojas pueden alcanzar un tamaño de 30 cm según la variedad. Los nervios de las hojas son anchos, gruesos y muy tiernos. En algunos países se la denomina remolacha de hojas.

2.20.4. Ciclo vegetativo

El tiempo de germinación de la semilla es de 13 a 24 días y su ciclo vegetativo es de aproximadamente un año (SEMATA, 1993 mencionado por Núñez, 2016).

2.20.5. Requerimientos del cultivo

Salgado e Igarza, (2009) indican los siguientes requerimientos para el cultivo de la acelga:

- **Temperatura:** Para la germinación de semillas la temperatura más adecuada está entre los 20°C a 25°C mientras que para el desarrollo óptimo del cultivo se requieren temperaturas entre 21°C a 30°C.
- **Luz:** La acelga es una planta de día largo, muy exigente a la intensidad de la luz por lo que la insuficiencia de esta provoca reducción de los rendimientos afectando la calidad del producto
- **Humedad:** Es algo exigente con relación a la humedad del suelo, sobre todo durante la germinación de las semillas y durante las fases tempranas. Se considera una humedad normal para la acelga de un 60% a 70% de la capacidad de campo. La acelga no soporta excesos de humedad ni un alto nivel de agua subterránea.
- **Suelo:** Se debe tener en cuenta que la elección de un correcto tipo de suelo evitara futuros problemas, los tipos de suelo más adecuados para este cultivo son los arcillosos-arenosos, arcillas rojas, arenosos.
- **Agua:** Inmediatamente después de la siembra o trasplante se debe aplicar agua y se continúa los mismos cada 2-3 días hasta los 5-7 días después del germinado. Posteriormente se continúa cada 3-5 días hasta la cosecha siempre dependiendo del tipo de suelo.

Cuadro 2. Requerimiento hídrico

Etapa del cultivo	Dosis de agua	Intervalos
1º Etapa: Desde la siembra hasta los 5-7 días posteriores a la germinación	100-130 m ³ /ha	Cada 2-3 días
2º Etapa: Desde los 5-7 días posteriores a la germinación hasta la cosecha	140-170 m ³ /ha	Cada 3-5 días

Fuente: Salgado e Igarza, 2009

2.20.6. Manejo del cultivo

- **Densidad de plantación en líneas:** Se preparan platabandas de 1.5 m de ancho por 2 m de largo, los surcos deben estar distanciados entre 30 a 40 cm en los que se distribuye la semilla (Giacconi, 2014). Para De La Paz *et al.* (2003) mencionados por Nuñez, (2016) si se realiza la siembra directa se deben colocar 2 a 3 semillas por golpe, los que deben estar a 0.35 m de distancia, una vez que las plantas tengan entre 4-5 hojas se procede al raleo, dejando una sola planta.
- **Trasplante:** El trasplante de acelga debe ser realizado una vez que las plántulas han alcanzado un tamaño de 10 a 12 cm o cuando estas tienen 4 a 5 hojas (Producción de hortalizas, 2011).
- **Labores culturales:** Las principales actividades son el aclareo, control de malezas, fertilización, riego y cosecha. La acelga puede llegar a tener una producción media de 15 kilos por metro cuadrado 0.75 – 1 kg/planta/corte.

3. LOCALIZACIÓN

3.1. Descripción del municipio de Viacha

Viacha es la capital de la provincia Ingavi, se encuentra a 22 km de la ciudad de La Paz y está conectada a la misma por una carretera asfaltada y una línea de tren que se encuentra de nuevo en funcionamiento desde finales de 2008. En esta población, se encuentra la fábrica de cemento más grande de Bolivia, SOBOCE. (INE, Atlas de Municipios).

Ubicada a 16°39'18" de latitud sur y 68°18'06" de longitud oeste, con una altitud entre 3850 y 3940 m.s.n.m. (Plan Maestro de Agua Potable y Saneamiento La Paz - El Alto, Bolivia).

3.2. Clima

Viacha se encuentra en el Altiplano boliviano y posee un clima frío y seco la mayor parte del año con una estación lluviosa entre diciembre y febrero. Las temperaturas máximas oscilan entre 16°C y 18°C y las mínimas entre 7°C y 9°C. Posee una precipitación anual de 500 mm (INE, Atlas de Municipios).

4. MATERIALES Y MÉTODO

4.1. Materiales

4.1.1. Material experimental

- Penca deshidratada
- Sábila deshidratada
- Plántulas de acelga
- Suelo
- Agua
- Macetas de plástico

4.1.2. Material de campo

- Planillas de control
- Balanza de precisión
- Pipeta
- Vasos de precipitado
- Material de escritorio
- Cámara fotográfica
- Mufla

4.1.3. Material de gabinete

- Cuaderno y libreta de notas
- Material bibliográfico
- Equipo de computación

4.2. Método

4.2.1. Limpieza y protección del área experimental

En fecha 2,3 4 de diciembre de 2016 se realizó la limpieza del área y se procedió a armar la cubierta que fue utilizada para la evitar el agua de las precipitaciones pluviales, posteriormente se realizó la distribución de las unidades experimentales en el área.

4.2.2. Preparación de suelo

El suelo se obtuvo de la comunidad Irpuma provincia Ingavi, la clase textural del suelo fue franco arenoso (Anexo 1), determinada por el Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear (IBTEN). Se procedió al secado del suelo en bandejas en una mufla a 105°C hasta conseguir un peso constante en aproximadamente tres días, luego fue tamizado (2 mm) y fraccionado en 24 porciones, cada una de 4200 gr.

4.2.3. Obtención de sábila deshidratada y penca deshidratada

La penca y sábila se obtuvieron en mercados de la ciudad de La Paz, de la penca solamente se eliminaron las espinas, se fraccionó en trozos de 3x3 cm, de la sábila se eliminó solamente la parte basal y se fraccionó en trozos de 3 cm, ambas fueron deshidratadas a una temperatura de 75°C durante un periodo de tres días, posteriormente se realizó el molido y tamizado de cada una (2 mm) con la finalidad de obtener un material homogéneo. Se pesaron porciones de 21 g (0.5%), 42 g (1%) y 84 g (2%) que están en relación al peso del suelo.

4.2.4. Preparación del sustrato

La sábila deshidratada y penca deshidratada se mezcló con el suelo de manera homogénea obteniendo pesos de 4221, 4242 y 4284 g de sustrato. Para el testigo o nivel 0% el peso fue 4200 g de suelo, colocados en macetas de plástico con capacidad de 5000 g y un peso promedio de 203 g solo de la maceta.

4.2.5. Evaluación de las unidades experimentales

La evaluación de las unidades experimentales se realizó una vez por semana, cada unidad experimental fue pesada en una balanza analítica para la adición de agua en función a su humedad a capacidad de campo. Paralelamente se evaluó el desarrollo de la acelga.

4.2.6. Determinación de la humedad a capacidad de campo (%)

La humedad a capacidad de campo inicial del suelo utilizado fue 14.73%, una vez incorporada las especies deshidratadas al suelo se determinó la humedad a capacidad de campo de cada unidad experimental.

Para la determinación de la humedad a capacidad de campo se procedió a la saturación del sustrato en cada unidad experimental. El nivel 0% se saturó con 1200 cm³ de agua tanto para la sábila deshidratada y penca deshidratada, para el nivel 0.5% se saturó con 1300 cm³, para el nivel 1% se saturó con 1400 cm³, para el nivel 2% de penca deshidratada (PD) se saturó con 1500 cm³ y 1600 cm³ en sábila deshidratada (SD), en el segundo día finalizó el escurrimiento, posteriormente las unidades experimentales fueron pesadas para determinar la humedad a capacidad de campo mediante la siguiente fórmula:

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

Dónde: %CC = Humedad a capacidad de campo (%)
 WSh = Peso de suelo húmedo
 WSs = Peso de suelo seco

4.2.7. Trasplante de la acelga

En cada maceta (unidad experimental) se trasplantó la plántula de acelga cuando estas presentaban 4 hojas, además cada plántula fue pesada. El trasplante se realizó el 23 de febrero de 2017.

4.3. Variables evaluadas

4.3.1. Adición de agua (cm³)

Se determinó el peso de cada unidad experimental con el 100% de humedad, las macetas fueron constantemente pesadas hasta llegar a una pérdida del 40% de

humedad para poder adicionar agua y mantener el 100% de humedad. La cantidad de agua a adicionar fue pesada en vasos de precipitado y de acuerdo a la densidad del agua (1 g/cm³) se obtuvo el resultado en cm³.

4.3.2. Intervalo de días entre adición de agua (días)

A partir del día que se pesaron las unidades experimentales con el 100% de humedad se contaron los días transcurridos hasta que la humedad se redujo en un 40%. Nuevamente se adicionó agua hasta alcanzar el 100% de humedad a capacidad de campo.

4.3.3. Área foliar (cm²)

El área foliar se determinó mediante la siguiente fórmula (Hunt, 1978):

$$A = b * L * B$$

Dónde: A = Área foliar (cm²)
 b = Coeficiente de área foliar ($\frac{\Sigma A}{\Sigma(LxB)}$)
 L = Largo de hoja
 B = Ancho de hoja

4.3.4. Tasa de crecimiento relativo de la hoja (cm²)

La tasa de crecimiento de la hoja se obtuvo con la siguiente fórmula (Hunt, 1978):

$$TCRH = \ln A_2 - \ln A_1$$

Dónde: TCRH = Tasa de crecimiento relativo de la hoja (cm²)
 ln = Logaritmo natural
 A = Área de hoja (cm²)

4.3.5. Tasa de crecimiento relativo de la planta (g g⁻¹ día⁻¹)

Para la obtención de la tasa de crecimiento relativo de la planta se utilizó la siguiente fórmula (Hunt, 1978):

$$TCRP = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{(t_2 - t_1)}$$

Dónde: TCRP = Tasa de crecimiento relativo de la planta (g g⁻¹ día⁻¹)
 ln = Logaritmo natural
 W = Peso de planta (g)
 t = Tiempo (días)

4.3.6. Tasa de crecimiento absoluto de la planta (g día⁻¹)

Para la tasa de crecimiento absoluto de la planta se utilizó la siguiente fórmula (Hunt, 1978):

$$TCAP = \frac{W_2 - W_1}{(t_2 - t_1)}$$

Dónde: TCAP = Tasa de crecimiento absoluto de la planta (g día⁻¹)
 W = Peso de la planta (g)
 t = Tiempo (días)

4.3.7. Tasa de asimilación neta (g cm⁻² día⁻¹)

Los valores para la tasa de asimilación neta se obtuvieron con la siguiente fórmula (Hunt, 1978):

$$TAN = \frac{W_2 - W_1}{A_2 - A_1} * \frac{\ln A_2 - \ln A_1}{t_2 - t_1}$$

Dónde: TAN = Tasa de asimilación neta (g día⁻¹)
 W = Peso de la planta (g peso seco)
 ln = Logaritmo natural
 A = Área foliar (cm²)
 t = Tiempo (días)

4.3.8. Índice de área foliar

Los valores de índice foliar se obtuvieron con la siguiente fórmula (Hunt, 1978):

$$IAF = \frac{Ah}{As}$$

Dónde: IAF = Índice de área foliar (adimensional)
Ah = Área de la hoja (cm²)
As = Área del suelo (cm²)

4.3.9. Materia seca (%)

Esta variable fue medida en porcentaje y se utilizó la siguiente fórmula:

$$MS = \frac{WMs}{WMv} * 100$$

Dónde: MS = Materias seca (%)
WMs = Peso de materia seca (g)
WMv = Peso materia verde (g)

4.3.10. Número de hojas por planta (No. de hojas)

Semanalmente, se contabilizó el número de hojas por planta de cada unidad experimental.

4.3.11. Longitud de hoja (cm)

La medida de cada hoja se realizó una vez por semana, para esto se utilizó una regla metálica graduada, se midió la hoja desde la base del peciolo hasta la punta del ápice.

4.3.12. Ancho de hoja (cm)

La evaluación del ancho de hoja se realizó conjuntamente con la longitud de hoja, una vez por semana, esta medida se realizó con una regla metálica graduada en la parte central de cada hoja.

4.3.13. Determinación y comparación del costo de penca deshidratada y sábila deshidratada (Bs.)

Se realizó una relación entre el costo de cada unidad de penca y sábila y la cantidad de material deshidratado obtenido.

4.4. Diseño experimental

Las unidades experimentales fueron distribuidas en bloques al azar en un arreglo bifactorial 2x4 (Ochoa, 2016) con dos tratamientos (sábila y penca deshidratadas) y cuatro sub tratamientos (4 niveles) cada uno con tres repeticiones, haciendo un total de 24 unidades experimentales. El modelo en bloques se empleó para controlar la variación de la vegetación circundante, la influencia del viento y posible precipitación.

4.4.1. Unidad experimental

La unidad experimental estuvo conformada por una maceta de plástico, la que contenía el sustrato y la planta de acelga.

4.4.2. Análisis de varianza y polinomios ortogonales

Los datos fueron tabulados y se realizó el análisis de varianza, en algunas variables con un coeficiente de variación alto se realizó transformaciones de los datos. De acuerdo a la significancia de tratamientos, subtratamientos e interacción se realizó el análisis de polinomios ortogonales, a fin de determinar la significancia de las funciones con el programa estadístico InfoStat versión 2017e. El cuadro de análisis de varianza presenta la siguiente estructura:

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo.	139.89	7	19.98	253.8	<0.0001
PD-SD	3.01	1	3.01	38.23	<0.0001
NIVEL	129.89	3	43.3	549.8	<0.0001
PD-SD*NIVEL	6.98	3	2.33	29.56	<0.0001
PENCA D.					
F. Lineal	41	1	41	512.5	0.00
F. Cuadrática	0.05	1	0.05	0.625	0.44
F. Cúbica	0.29	1	0.29	3.625	0.08
SABILA D.					
F. Lineal	92.01	1	92.01	1150.1	0.00
F. Cuadrática	2.9	1	2.9	36.25	0.00
F. Cúbica	0.62	1	0.62	7.75	0.01
Error	1.26	16	0.08		
Total	141.15	23			

Análisis de varianza acuerdo al modelo

Análisis de varianza para polinomios ortogonales

4.4.2.1. Modelo lineal aditivo

El modelo lineal para el diseño de Bloques al Azar con arreglo bifactorial es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_k + \alpha_i + \gamma_j + (\alpha\gamma)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

- Dónde:
- Y_{ijk} = Una observación cualquiera
 - μ = Media poblacional
 - β_k = Efecto del k-ésimo bloque
 - α_i = Efecto del i-ésimo nivel del factor A (material deshidratado)
 - γ_j = Efecto del j-ésimo nivel del factor B (niveles %)
 - $(\alpha\gamma)_{ij}$ = Efecto del i-ésimo nivel del factor A con el j-ésimo nivel del factor B (interacción Ax B)
 - ε_{ijk} = Error experimental

4.4.3. Análisis de regresión

A partir del análisis de varianza para polinomios ortogonales con el promedio de datos se trazó un gráfico de regresión, donde los promedios fueron ajustados por el método de mínimos cuadrados.

4.4.4. Análisis de medias

Se realizó el análisis de medias para cada variable con la prueba HSD (Honestly-Significant - Difference) de Tukey (Fallas, 2012).

4.5. Factores de estudio

El factor A estuvo constituido por dos especies, penca deshidratada y sábila deshidratada y el factor B compuesto por cuatros niveles de aplicación.

- **Factor A (material deshidratado)**

SD= Sábila Deshidratada

PD= Penca Deshidratada

- **Factor B (niveles de aplicación)**

Nivel 1 = 0% de penca o sábila deshidratada = 0 gramos.

Nivel 2 = 0.5% de penca o sábila deshidratada = 21 gramos.

Nivel 3 = 1% de penca o sábila deshidratada = 42 gramos.

Nivel 4 = 2% de penca o sábila deshidratada = 84 gramos.

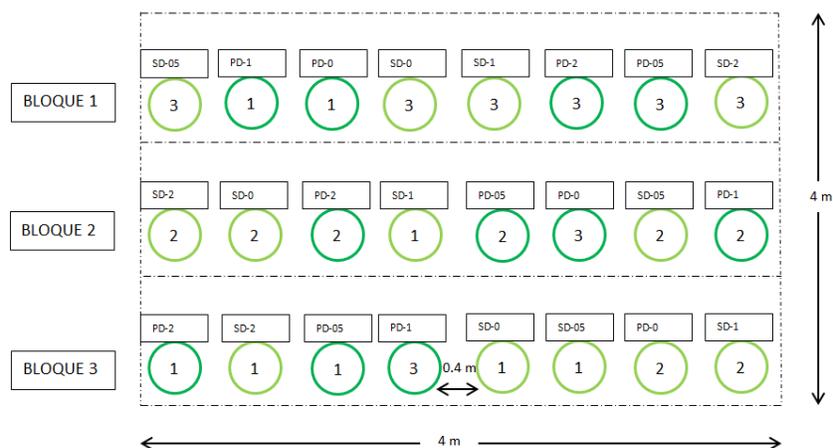
4.5.1. Tratamientos

En el cuadro 2 se muestran la composición de los tratamientos y su respectiva interacción.

Cuadro 3. Formulación y descripción de los tratamientos.

Tratamientos	Descripción	Código
T1 = A ₁ B ₀	Suelo + 0% de penca deshidratada	PD-0
T2 = A ₁ B ₁	Suelo + 0.5% de penca deshidratada	PD-05
T3 = A ₁ B ₂	Suelo + 1% de penca deshidratada	PD-1
T4 = A ₁ B ₃	Suelo + 2% de penca deshidratada	PD-2
T5 = A ₂ B ₀	Suelo + 0% de sábila deshidratada	SD-0
T6 = A ₂ B ₁	Suelo + 0.5% de sábila deshidratada	SD-05
T7 = A ₂ B ₂	Suelo + 1% de sábila deshidratada	SD-1
T8 = A ₂ B ₃	Suelo + 2% de sábila deshidratada	SD-2

4.6. Croquis del área experimental



4.6.1. Características del área experimental

- Área de unidad experimental (maceta): 330.06 cm²
- Área total cubierta y utilizada: (4m x 4m) = 16 m²
- Tratamientos: 2 (penca deshidratada y sábila deshidratada)
- Subtratamientos (4 niveles de penca - 4 niveles de sábila)
- Repeticiones: 3 por cada tratamiento
- Unidades experimentales: 24 unidades (macetas)

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Dinámica del agua

5.1.1. Humedad a capacidad de campo (HCC)

El análisis de varianza para la humedad a capacidad de campo (%) presenta un coeficiente de variación de 1.60% y coeficiente de determinación de 0.99 (Anexo 2).

Cuadro 4. Análisis de varianza para la humedad a capacidad de campo (%) en respuesta a los tratamientos de sábila deshidratada y penca deshidratada.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	141.10	9	15.68	193.53	<0.0001
Bloque	0.15	2	0.08	0.94	0.4135
PD/SD	2.34	1	2.34	28.93	0.0001
Nivel	132.20	3	44.07	543.96	<0.0001
PD/SD*Nivel	6.40	3	2.13	26.35	<0.0001
Nivel					
F. Lineal	130.42	1	130.42	1630.25	0.00
F. Cuadrática	1	1	1	12.50	0.00
F. Cúbica	0.78	1	0.78	9.75	0.01
Error	1.13	14	0.08		
Total	142.24	23			

FV= Fuente de variación; SC= Sumatoria de cuadrados; gl= Grados de libertad; CM= Cuadrados medios; F= Valor F calculado; p-valor= Significancia; PD=penca deshidratada; SD=sábila deshidratada; F. Lineal= Función lineal; F. Cuadrática= Función cuadrática; F. cúbica= Función cúbica.

La humedad a capacidad de campo (%) presenta un análisis de varianza (Cuadro 4) donde no existe diferencia significativa ($p < 0.05$) entre bloques, pero si existe diferencia significativa ($p < 0.05$) entre tratamientos y diferencia altamente significativa ($p < 0.01$) entre niveles y la interacción tratamientos por niveles, lo que indica que al menos uno de los niveles afecta a la humedad a capacidad de campo. Al existir significancia se realiza el análisis de polinomios ortogonales (Cuadro 4) para el nivel, ya que este efecto es determinante en el incremento de la humedad a capacidad de

campo, donde la función lineal es significativa ($p < 0.05$) con un coeficiente de determinación de 0.99.

Cuadro 5. Medias y prueba HSD de Tukey (0.05) de la humedad a capacidad de campo (%) en respuesta a los niveles de los tratamientos sábila y penca deshidratadas.

Nivel (%)	Medias (%)	N	E.E.	
2	21.15	6	0.27	a
1	18.33	6	0.27	b
0.5	16.73	6	0.27	c
0	14.73	6	0.27	d

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

De acuerdo al cuadro 5 de la prueba de medias Honestly-Significant-Difference (HSD) de Tukey (0.05), todos los niveles son estadísticamente diferentes sin embargo el nivel 2% presenta el mayor promedio con 21.15% de humedad a capacidad de campo.

En la figura 3 se observa el análisis de la función de humedad a capacidad de campo en relación a los niveles, la función al tener un ajuste de 0.99 expresa que a medida que se incrementa el porcentaje del nivel de ambos tratamientos (PD/SD) se incrementa el porcentaje de humedad a capacidad de campo, de acuerdo a la ecuación de la función, por cada unidad porcentual que se incrementa al nivel la humedad a capacidad de campo se incrementa en 3.16%.

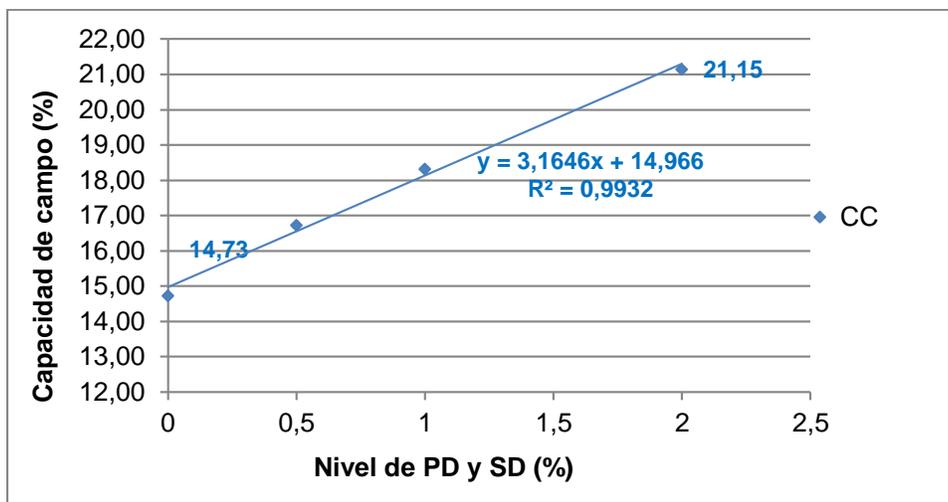


Figura 3. Función ajustada de la humedad a capacidad de campo (%) en respuesta a los niveles de sábila y penca deshidratadas.

La sábila y penca deshidratadas al ser adicionadas al suelo actúan como floculante y aporte de materia orgánica. Según Andía, (2000) actúa como floculante incrementando la densidad del agua, aglomerando las partículas del suelo, disminuyendo la fluidez del agua y la retención en los espacios porosos del suelo. Según Kirkham, (2005) la materia orgánica mejora la retención de humedad y la estructura del suelo, facilitando la entrada, distribución uniforme y almacenamiento del agua en forma disponible para la planta.

5.1.2. Adición de agua (AA)

La cantidad total de agua adicionada al sustrato por tratamiento presenta un coeficiente de variación de 7.21% y un coeficiente de determinación de 0.65 (Anexo 2).

Cuadro 6. Análisis de varianza para la adición total de agua (cm³) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	11932253	9	1325806	2.84	0.04
Bloque	988812.7	2	494406.3	1.06	0.37
PD/SD	62454.6	1	62454.6	0.13	0.72
Nivel	9928385	3	3309462	7.09	0.00
PD/SD*Nivel	952600.4	3	317533.5	0.68	0.58
Nivel					
F. Lineal	9735091	1	9735091	20.85	0.00
F. Cuadrática	62924.8	1	62924.8	0.13	0.72
F. Cúbica	130370	1	130370	0.28	0.61
Error	6538317	14	467022.7		
Total	18470571	23			

FV= Fuente de variación; SC= Sumatoria de cuadrados; gl= Grados de libertad; CM= Cuadrados medios; F= Valor F calculado; p-valor= Significancia; PD=penca deshidratada; SD= sábila deshidratada; F. Lineal= Función lineal; F. Cuadrática= Función cuadrática; F. cúbica= Función cúbica

La adición total de agua no presenta significancia estadística en los tratamientos PD y SD tampoco en la interacción, sin embargo presenta significancia ($p < 0.05$) en los niveles lo que indica que al menos uno de los niveles afecta a la adición total de agua. El análisis de polinomios ortogonales para los niveles (Cuadro 6) determina que la función lineal es significativa ($p < 0.05$) con un coeficiente de determinación de 0.95.

Cuadro 7. Medias y prueba HSD de Tukey (0.05) de la de adición total de agua (cm³) en respuesta a los niveles de los tratamientos sábila y penca deshidratadas.

Nivel (%)	Medias (cm³)	n	E.E.		
2	8608.17	6	278.99	a	
1	9148.38	6	278.99	a	b
0.5	9915.80	6	278.99		b
0	10251.2	6	278.99		b

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

De acuerdo a la comparación de medias Honestly-Significant-Difference (HSD) de Tukey (Cuadro 7) los niveles 2% y 0% son estadísticamente diferentes, entre ambos niveles el nivel 2% se destaca con la menor cantidad de agua adicionada de 8608.17 cm³, con una reducción de 1643.03 cm³ con relación a la cantidad de agua adicionada con el nivel 0%.

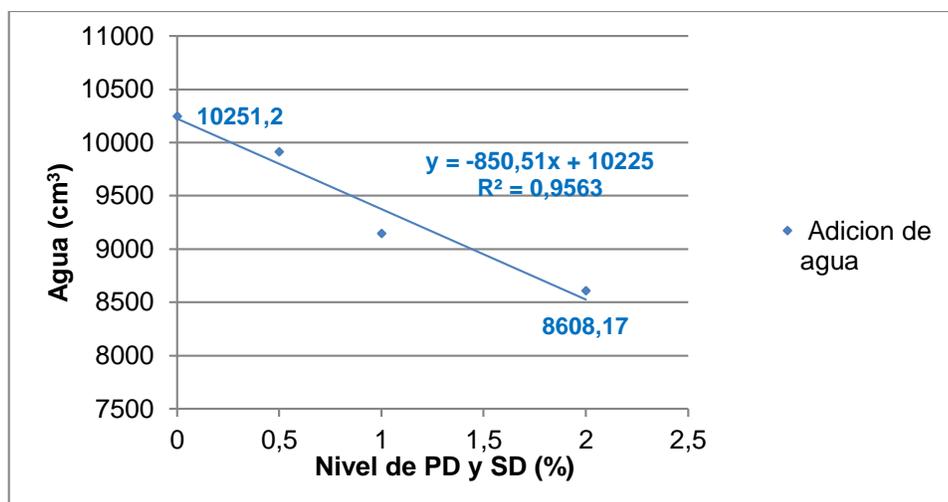


Figura 4. Función ajustada de la adición total de agua en respuesta a los niveles de sábila y penca deshidratada.

La relación entre la adición total de agua y niveles (Fig. 4), se ajusta a una función lineal con un coeficiente de determinación de 0.95, expresa que a medida que se incrementa el porcentaje del nivel de ambos tratamientos (PD/SD) disminuye la cantidad total de agua adicionada, por cada unidad porcentual que se incrementa en el nivel, la adición de agua se reduce en 850.51 cm³.

5.1.2.1. Agua adicionada y formación de materia verde para el tratamiento penca deshidratada

La cantidad total de agua que se adicionó en los diferentes niveles del tratamiento penca deshidratada, para la formación de materia verde del cultivo de acelga (Fig. 5) resulta comparativamente menor a la cantidad de agua requerida en condiciones normales.

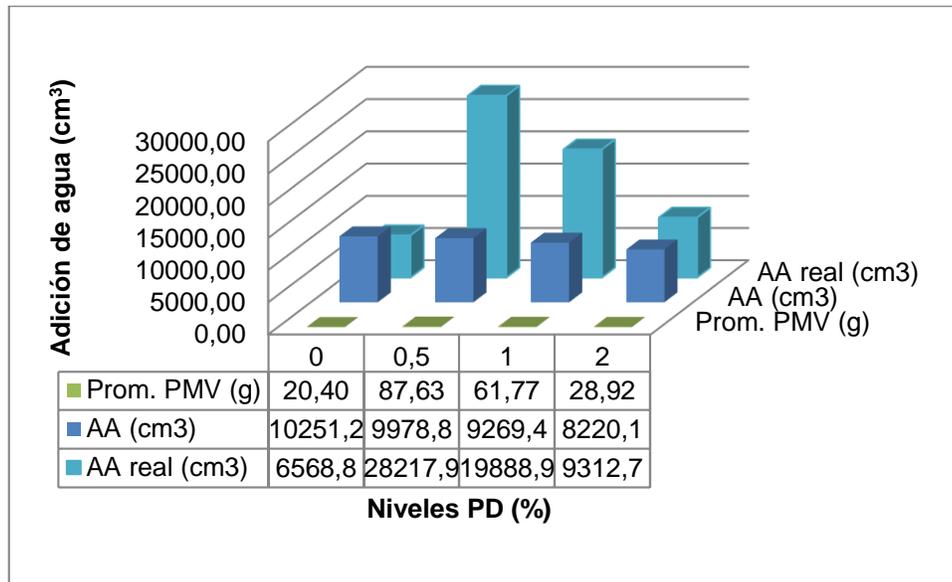


Figura 5. Cantidad total de agua adicionada (cm³) y formación de materia verde (g) por niveles en relación al requerimiento de agua en condiciones normales en el tratamiento penca deshidratada.

En el tratamiento PD con el nivel 0.5% se formó 87.63 g de materia verde con 9978.8 cm³ de agua, sin la aplicación de penca deshidratada, tomando en cuenta los datos presentados por Mekonnen y Hoekstra, (2010) para la misma cantidad de materia verde se ha estimado un requerimiento de 28217.9 cm³ de agua, por lo tanto con el nivel 0.5% la adición de agua se reduce en un 64.64% en el nivel 1% se formó 61,77 g con 9269.40 cm³ de agua, considerando un requerimiento de agua estimado de 19888.9 cm³ la reducción fue 53.40%, en el nivel 2% se formó 28.92 g con 8220.10 cm³ de agua, el requerimiento de agua estimado es 9312.70 cm³ por lo que la reducción es 13.30%. En el caso del nivel 0% se formó 20.40 g con 10251.20 cm³ y el requerimiento estimado es 6568.80 cm³ lo que significa que la adición de agua se incrementa en un 35.93%.

5.1.2.2. Agua adicionada y formación de materia verde para el tratamiento sábila deshidratada

En el tratamiento SD la cantidad total de agua adicionada en los diferentes niveles para la formación de materia verde, resulta comparativamente menor (Fig. 6) a la cantidad de agua estimada en condiciones normales presentado por Mekonnen y Hoekstra, (2010).

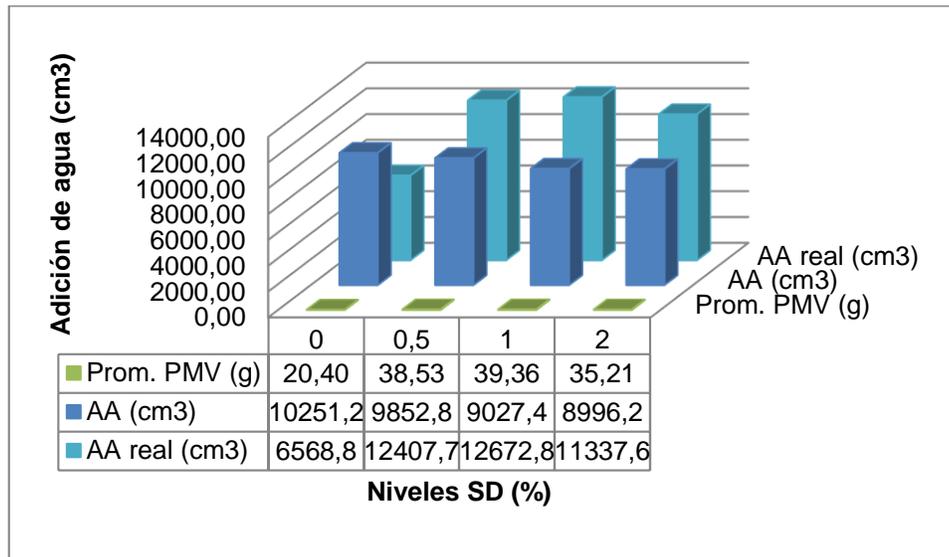


Figura 6. Cantidad total de agua adicionada (cm³) y formación de materia verde (g) por niveles en relación al requerimiento de agua en condiciones normales en el tratamiento sábila deshidratada.

En el tratamiento SD con el nivel 0.5% se formó 38.53 g de materia verde con 9852.80 cm³ de agua, el requerimiento de agua estimado sin aplicación de sábila deshidratada para esta cantidad de materia verde es 12407.70 cm³ de agua, por lo la cantidad de agua se reduce en 26.60%, en el nivel 1% se formó 39.36 g de materia verde con 9027.40 cm³ de agua con una reducción de 28.77%, en el nivel 2% se formó 35.21 g con 8996.20 cm³ de agua con una reducción de 20.66%. En el nivel 0% se formó 20.40 g de materia verde con 10251.20 cm³ de agua, con un incremento de 35.93%, en comparación al requerimiento en condiciones normales, este incremento podría ser debido a la textura arenosa 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.

5.1.3. Reposición de agua (RA)

El análisis de varianza para el número de reposiciones de agua presenta un coeficiente de variación de 5.24% y un coeficiente de determinación de 0.82 (Anexo 2).

Cuadro 8. Análisis de varianza para el número de reposiciones de agua (No) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	35.38	9	3.93	7.26	0.0006
Bloque	1.08	2	0.54	1	0.3927
PD/SD	0.38	1	0.38	0.69	0.4193
Nivel	33.46	3	11.15	20.59	<0.0001
PD/SD*Nivel	0.46	3	0.15	0.28	0.8375
Nivel					
F. Lineal	31.01	1	31.01	57.43	0.00
F. Cuadrática	1.04	1	1.04	1.93	0.1869
F. Cúbica	1.41	1	1.41	2.61	0.12842
Error	7.58	14	0.54		
Total	42.96	23			

FV= Fuente de variación; SC= Sumatoria de cuadrados; gl= Grados de libertad; CM= Cuadrados medios; F= Valor F calculado; p-valor= Significancia; PD=penca deshidratada; SD= sábila deshidratada; F. Lineal= Función lineal; F. Cuadrática= Función cuadrática; F. cúbica= Función cúbica

El número de reposiciones de acuerdo al análisis de varianza (Cuadro 8) no presenta diferencia significativa en los tratamientos (PD/SD) y la interacción, sin embargo existe diferencia altamente significativa ($p < 0.01$) en el nivel, por lo que al menos uno de los niveles interviene en el número de reposiciones. De acuerdo a la significancia en el nivel se realiza el análisis de polinomios ortogonales (Cuadro 8) donde la función lineal es significativa ($p < 0.05$) con un coeficiente de determinación de 0.81.

Cuadro 9. Medias y prueba HSD de Tukey (0.05) del número de reposiciones de agua en respuesta a los niveles de los tratamientos sábila y penca deshidratadas.

Nivel (%)	Medias (No)	n	E.E.	
2	13	6	0.3	a
1	13	6	0.3	a
0.5	15	6	0.3	b
0	16	6	0.3	b

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

El número de reposiciones de agua según la prueba Honestly-Significant-Difference (HSD) de Tukey (Cuadro 9), indica que existe diferencia estadística entre los nivel 2% y 0%, donde el menor número de reposiciones es 13 veces con el nivel 2% y el mayor número de reposiciones es 16 veces con el nivel 0%.

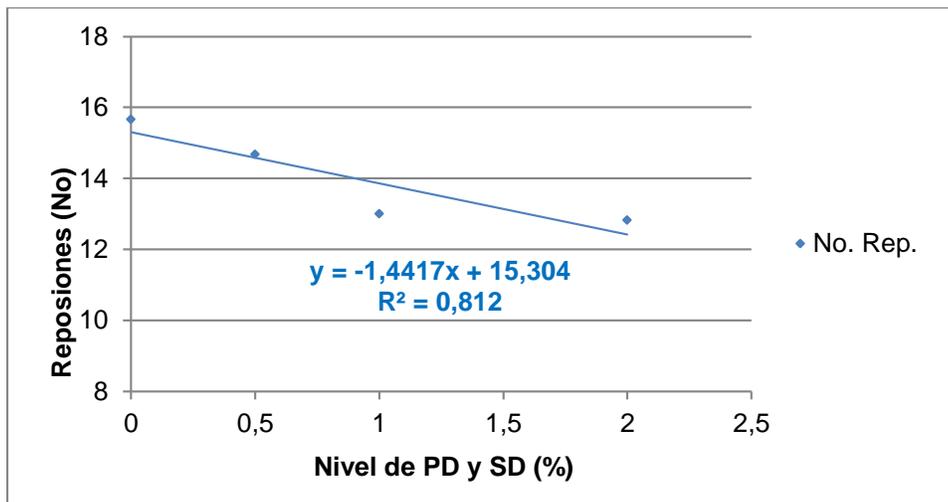


Figura 7. Función ajustada del número de reposiciones de agua (No) en respuesta a los niveles de sábila y penca deshidratada.

La relación entre el número de reposiciones de agua y niveles (Fig. 7), se ajusta a una función lineal con un coeficiente de determinación de 0.81, la función expresa que a medida que se incrementa el porcentaje del nivel de ambos tratamientos

(PD/SD) disminuye el número de reposiciones, por cada incremento en una unidad porcentual del nivel, disminuye una vez la reposición de agua.

5.1.4. Intervalo de días entre reposiciones de agua (IR)

El análisis de varianza para el intervalo de días entre reposiciones de agua (día) presenta un coeficiente de variación de 6.03% y un coeficiente de determinación de 0.76 (Anexo 2)

Cuadro 10. Análisis de varianza para el intervalo entre reposiciones de agua (días) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	11.17	9	1.24	7.87	0.0004
Bloque	0.41	2	0.2	1.29	0.306
PD/SD	0.11	1	0.11	0.67	0.4275
Nivel	10.55	3	3.52	22.3	<0.0001
PD/SD*Nivel	0.11	3	0.04	0.23	0.877
Nivel					
F. Lineal	9.84	1	9.84	61.5	0.00
F. Cuadrática	0.25	1	0.25	1.5625	0.23
F. Cúbica	0.46	1	0.46	2.875	0.11
Error	2.21	14	0.16		
Total	13.38	23			

FV= Fuente de variación; SC= Sumatoria de cuadrados; gl= Grados de libertad; CM= Cuadrados medios; F= Valor F calculado; p-valor= Significancia; PD=penca deshidratada; SD= sábila deshidratada; F. Lineal= Función lineal; F. Cuadrática= Función cuadrática; F. Cúbica= Función cúbica.

El intervalo entre reposiciones de agua de acuerdo al análisis de varianza (Cuadro 10) es altamente significativo ($p < 0.01$) en el nivel, respecto a los tratamientos e interacción no presenta significancia estadística. De acuerdo a la significancia del nivel se realiza el análisis de polinomios ortogonales, donde la función lineal es significativa ($p < 0.05$) con un coeficiente de determinación de 0.82.

Cuadro 11. Medias y prueba HSD de Tukey (0.05) del intervalo de días entre reposiciones de agua (día) en respuesta a los niveles de sábila y penca deshidratadas.

Nivel (%)	Medias (día)	n	E.E.	
2	9	6	0.2	a
1	9	6	0.2	a
0.5	8	6	0.2	b
0	7	6	0.2	b

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

El intervalo de días entre reposiciones de acuerdo a la prueba Honestly-Significant-Difference (HSD) de Tukey, (Cuadro 11), indica que existe diferencia estadística entre los niveles 2% y 0%, donde el mayor intervalo de días entre reposiciones es 9 días con el nivel 2% y el menor intervalo de días entre reposiciones es 7 días con el nivel 0%.

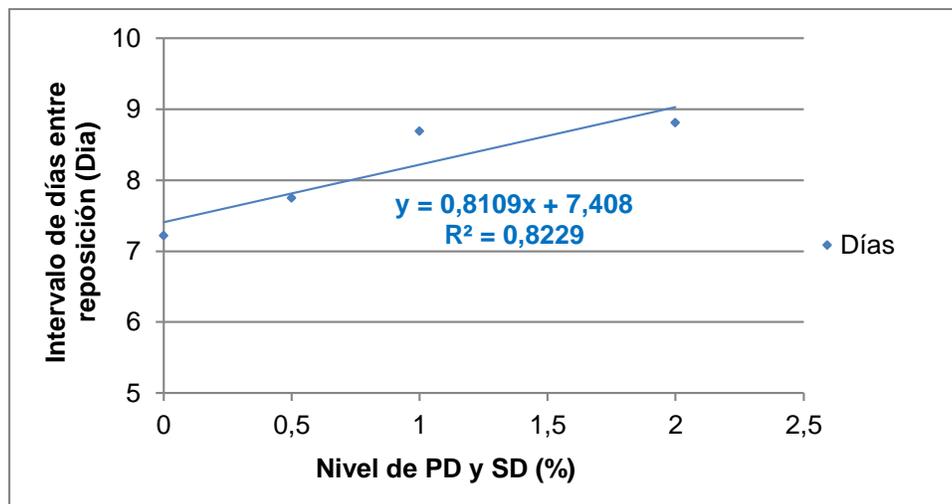


Figura 8. Función ajustada del intervalo de días entre reposiciones de agua (Día) en respuesta a los niveles de sábila y penca deshidratada.

El intervalo de días entre reposiciones de agua (Fig. 8) se ajusta a una función lineal con un coeficiente de determinación de 0.82, de acuerdo a esta función por cada incremento en una unidad porcentual del nivel, el intervalo de días entre reposiciones

de agua es aproximadamente un día. El intervalo de días entre reposiciones de agua depende fundamentalmente de la capacidad de almacenamiento del suelo y de la tasa de evapotranspiración del cultivo. Así suelos arenosos almacenaran poca agua debiendo reponerse frecuentemente, en cambio, suelos arcillosos retienen una mayor cantidad de agua y el intervalo entre reposiciones es mayor (Miranda, 1982).

5.2. Crecimiento del cultivo

5.2.1. Variables fisiológicas

5.2.1.1. Área foliar (AF)

El área foliar presenta un coeficiente de variación de 18.04% y un coeficiente de determinación de 0.91 (Anexo 2).

Cuadro 12. Análisis de varianza para el área foliar (cm²) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	244474.3	9	27163.81	16.71	<0.0001
Bloque	5884.27	2	2942.13	1.81	0.1999
PD/SD	25223.41	1	25223.41	15.52	0.0015
Nivel	189716.2	3	63238.73	38.91	<0.0001
PD/SD*Nivel	23650.39	3	7883.46	4.85	0.0162
Nivel					
F. Lineal	648.35	1	648.35	0.40	0.54
F. Cuadrática	181386.4	1	181386.40	111.59	0.00
F. Cúbica	7681.44	1	7681.44	4.73	0.05
Error	22756.34	14	1625.45		
Total	267230.6	23			

FV= Fuente de variación; SC= Sumatoria de cuadrados; gl= Grados de libertad; CM= Cuadrados medios; F= Valor F calculado; p-valor= Significancia; PD=penca deshidratada; SD= sábila deshidratada; F. Lineal= Función lineal; F. Cuadrática= Función cuadrática; F. cúbica= Función cúbica.

El área foliar de acuerdo al análisis de varianza (Cuadro 12) es altamente significativo ($p < 0.01$) en los niveles y es significativo ($p < 0.05$) en los tratamientos e interacción, sin embargo la mayor variabilidad se encuentra en los niveles y tratamientos que indica que al menos un nivel influye en el área foliar. De acuerdo a la significancia de los niveles se realiza el análisis de polinomios ortogonales (Cuadro 12), donde la función cuadrática es significativa ($p < 0.05$) con un coeficiente de determinación de 0.85 y de acuerdo a la significancia ($p < 0.05$) en los tratamientos, se realiza la prueba de medias HSD de Tukey.

Cuadro 13. Medias y prueba HSD de Tukey (0.05) del área foliar (cm²) en respuesta a los niveles de sábila y penca deshidratadas.

Nivel (%)	Medias (cm ²)	n	E.E.	
0.5	336.81	6	16.46	a
1	284.15	6	16.46	a
2	137.64	6	16.46	b
0	135.58	6	16.46	b

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

De acuerdo a la comparación de medias, Honestly-Significant-Difference (HSD) de Tukey (Cuadro 13), los niveles 0.5% y 0% son estadísticamente diferentes, donde el nivel 0.5% presenta la mayor área foliar con 336.81 cm² y el nivel 0% presenta la menor área foliar con 135.58 cm².

Cuadro 14. Medias y prueba HSD de Tukey (0.05) del área foliar (cm²) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Penca deshidratada	255.96	12	11.64	a
Sábila deshidratada	191.12	12	11.64	b

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

Los promedios del área foliar en relación a los tratamientos (Cuadro 14) son estadísticamente diferentes, donde el mayor desarrollo del área foliar se obtiene con el tratamiento penca deshidratada con 255.96 cm² y el menor desarrollo del área foliar se obtiene con el tratamiento sábila deshidratada con 191.12 cm².

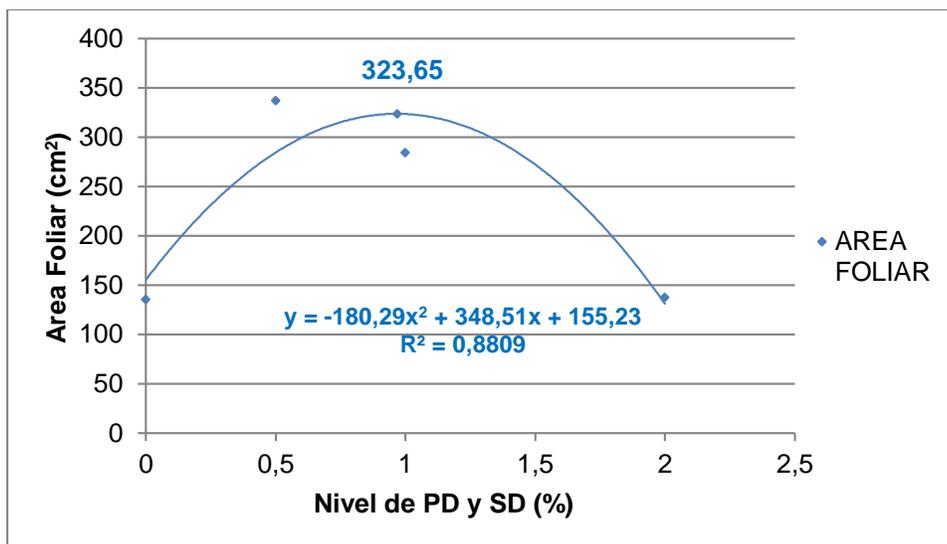


Figura 9. Funciones ajustadas del área foliar (cm²) en respuesta a los niveles de sábila y penca deshidratadas.

Los promedios de área foliar en relación a los niveles se ajustan a una función cuadrática con un coeficiente de determinación de 0.85, donde se determina la mayor área foliar de 323.65 cm² con un nivel de 0.97%, a partir de este punto no se incrementa el área foliar.

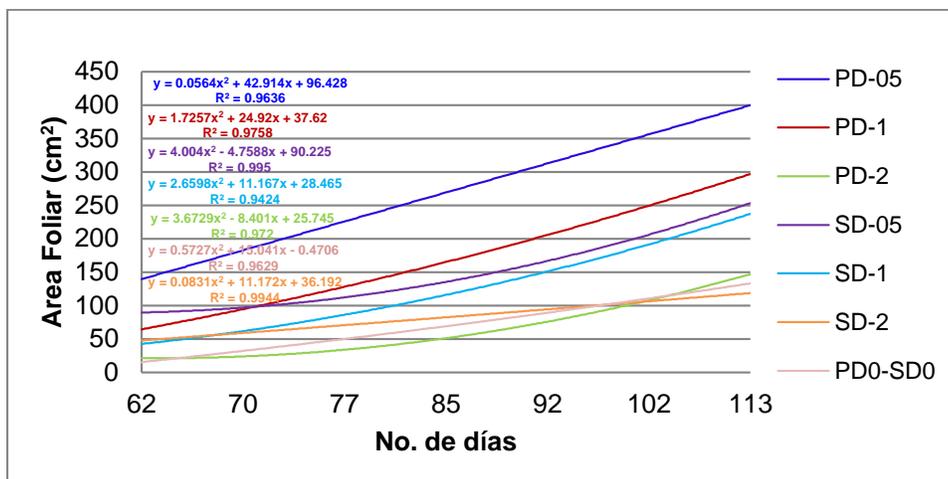


Figura 10. Incremento del área foliar (cm²) en respuesta a los tratamientos y niveles de sábila y penca deshidratadas en un periodo de 51 días.

Las funciones ajustadas del área foliar por tratamiento y nivel en un periodo de 51 días (Fig. 10) muestran que el tratamiento penca deshidratada con el nivel 0.5% alcanza la mayor área foliar con 420.80 cm², seguido del tratamiento penca deshidratada en el nivel 1% con 311.85 cm², el tratamiento sábila deshidratada en el nivel 0.5% con 252.81 cm², el tratamiento sábila deshidratada en el nivel 1% con 256.46 cm², el tratamiento penca deshidratada en el nivel 2% con 155.62 cm², el tratamiento penca deshidratada y sábila deshidratada en el nivel 0% con 135.58 cm² y finalmente el tratamiento sábila deshidratada en el nivel 2% con 119.65 cm².

El menor desarrollo de área foliar está en relación a lo enunciado por Kozłowski, (1997), que el exceso de agua en el suelo disminuye la disponibilidad de oxígeno para las raíces y un déficit de oxígeno, inhibe la fotosíntesis, el transporte de hidratos de carbono, causa cierre de estomas y ocasiona menor desarrollo radicular. Según Akelah, (2013), el uso de polímeros solubles en la corrección de suelos arcillosos, reducen el crecimiento de las raíces de las plantas, esto como resultado de la inadecuada aireación.

5.2.1.2. Tasa de crecimiento relativo de la hoja (TCRH)

La tasa de crecimiento relativo de la hoja presenta un coeficiente de variación de 22.26% y un coeficiente de determinación de 0.62% (Anexo 2).

Cuadro 15. Análisis de varianza para la tasa de crecimiento relativo de la hoja (cm²) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.29	9	0.03	2.56	0.0555
Boque	0.02	2	0.01	0.61	0.5555
PD/SD	0.04	1	0.04	3.16	0.0971
Nivel	0.09	3	0.03	2.44	0.1078
PD/SD*Nivel	0.14	3	0.05	3.79	0.0351
Penca deshidratada					
F. Lineal	0.1	1	0.1	10	0.01
F. Cuadrática	0.0006	1	0.0006	0.06	0.81
F. Cúbica	0.0037	1	0.0037	0.37	0.55
Sábila deshidratada					
F. Lineal	0.00014	1	0.00014	0.01	0.91
F. Cuadrática	0.07	1	0.07	7	0.02
F. Cúbica	0.06	1	0.06	6	0.03
Error	0.18	14	0.01		
Total	0.47	23			

FV= Fuente de variación; SC= Sumatoria de cuadrados; gl= Grados de libertad; CM= Cuadrados medios; F= Valor F calculado; p-valor= Significancia; PD=penca deshidratada; SD= sábila deshidratada; F. Lineal= Función lineal; F. Cuadrática= Función cuadrática; F. cúbica= Función cúbica

La tasa de crecimiento relativo de la hoja de acuerdo al análisis de varianza (Cuadro 15) presenta significancia ($p < 0.05$) solo en la interacción, lo que indica que tanto el tratamiento (PD/SD) como el nivel influyen en la tasa de crecimiento relativo de la hoja. De acuerdo a la significancia en la interacción se realiza el análisis de polinomios ortogonales, para el tratamiento penca deshidratada la función lineal es significativa ($p < 0.05$) con un ajuste de 0.96, para el tratamiento sábila deshidratada la función cuadrática y cúbica son significativas ($p < 0.05$), sin embargo la función cuadrática es la que presenta mayor variabilidad con un ajuste de 0.67.

Cuadro 16. Medias y prueba HSD de Tukey (0.05) de la tasa de crecimiento relativo de la hoja (cm²) en respuesta a los tratamientos y niveles de sábila y penca deshidratadas.

Tratamiento	Nivel (%)	Medias (cm ²)	n	E.E.	
Penca deshidratada	2	0.48	3	0.07	a
Sábila deshidratada	1	0.42	3	0.07	a
Penca deshidratada	1	0.31	3	0.07	a
Penca deshidratada	0.5	0.29	3	0.07	a
Sábila deshidratada	0.5	0.20	3	0.07	a
Sábila deshidratada	0	0.18	3	0.07	a
Penca deshidratada	0	0.18	3	0.07	a
Sábila deshidratada	2	0.13	3	0.07	a

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

La comparación de medias para la interacción (cuadro 16) según la prueba Honestly-Significant-Difference (HSD) de Tukey (0.05) demuestra que las diferencias entre los promedios de tratamientos no son significativas, sin embargo el tratamiento penca deshidratada con el nivel 2% obtuvo la mayor TCRH de 0.48 cm².

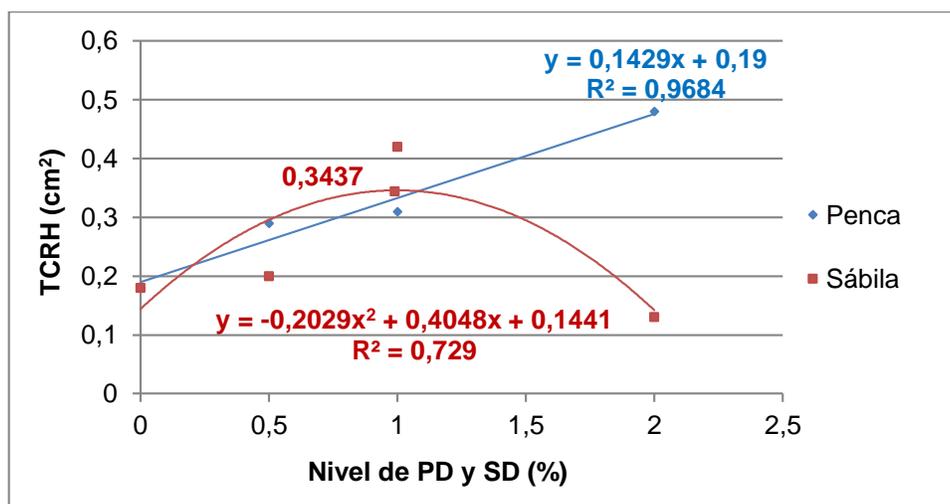


Figura 11. Funciones ajustadas para la tasa de crecimiento relativo de la hoja (cm²) en respuesta a los tratamientos y niveles de sábila y penca deshidratadas.

La tasa de crecimiento relativo de la hoja (Fig. 11) para el tratamiento penca deshidratada se ajusta a una función lineal con un coeficiente de determinación de 0.97, de acuerdo a la función por cada unidad porcentual que se incrementa en el nivel del tratamiento penca deshidratada la tasa de crecimiento relativo de la hoja se incrementa en 0.14 cm², el tratamiento sábila deshidratada se ajusta a una función cuadrática con un coeficiente de determinación de 0.73 donde la mayor tasa de crecimiento relativo de la hoja es 0.34 cm² con el nivel 1% y a partir de este nivel la tasa de crecimiento relativo de la hoja no se incrementa.

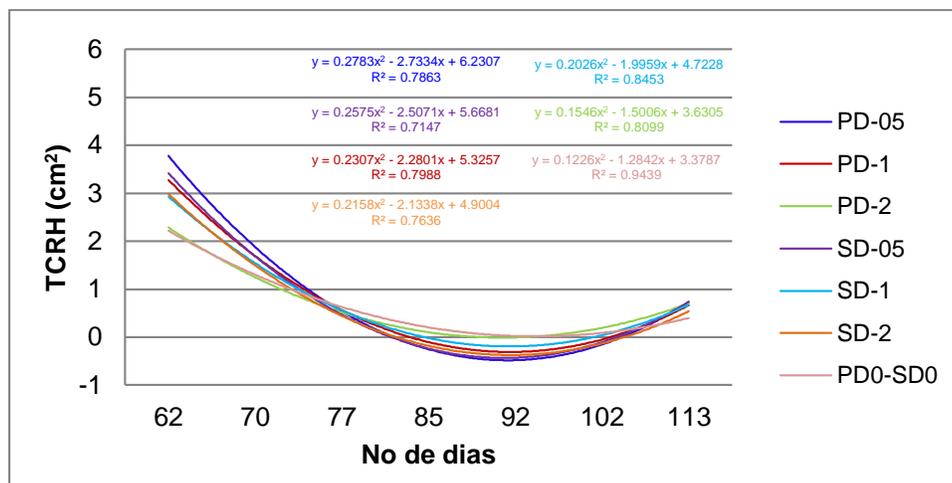


Figura 12. Funciones ajustadas de la tasa de crecimiento relativo de hoja (cm²) en respuesta a los tratamientos y niveles de sábila y penca deshidratadas en un periodo de 51 días.

En la figura 12 se observa el comportamiento de la tasa de crecimiento relativo de la hoja en un periodo de 51 días para cada tratamiento y nivel. Las funciones ajustadas representan el comportamiento típico de crecimiento relativo, donde se observa que a partir del día 85 hay una menor tasa de crecimiento, esta tendencia se prolonga hasta el día 92 a partir del cual la TCRH comienza a incrementarse hasta el día 113, donde todos los tratamientos presentan el mismo comportamiento.

5.2.1.3. Tasa de crecimiento relativo de la planta (TCRP)

La tasa de crecimiento relativo de la planta presenta un coeficiente de variación de 25.12% y un coeficiente de determinación de 0.95 (Anexo 2).

Cuadro 17. Análisis de varianza para la tasa de crecimiento relativo de la planta ($\text{g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.000280	9	0.000031	15.2	<0.0001
Bloque	0.000003	2	0.000001	0.61	0.5549
PD/SD	0.000200	1	0.000200	96.1	<0.0001
Nivel	0.000012	3	0.000004	1.95	0.1685
PD/SD*Nivel	0.000068	3	0.000023	11.1	0.0005
Error	0.000029	14	0.000002		
Total	0.000310	23			

FV= Fuente de variación; SC= Sumatoria de cuadrados; gl= Grados de libertad; CM= Cuadrados medios; F= Valor F calculado; p-valor= Significancia; PD= Penca deshidratada; SD= Sábila deshidratada.

La tasa de crecimiento relativo de la planta de acuerdo al análisis de varianza (cuadro 17), es altamente significativo ($p < 0.01$) para los tratamientos y significativo ($p < 0.05$) para la interacción, indica que al menos uno de los tratamientos interviene en la tasa de crecimiento relativo de la planta. De acuerdo a la significancia de los tratamientos se realiza la prueba de comparación de medias.

Cuadro 18. Medias y prueba HSD de Tukey (0.05) de la tasa de crecimiento relativo de la planta ($\text{g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$) 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 ($p > 0.05$)

La comparación de medias Honestly-Significant-Difference (HSD) de Tukey (0.05) de la tasa de crecimiento relativo de la planta (Cuadro 18) evaluada durante un periodo

de 64 días, indica que existe diferencia estadística entre los promedios de cada tratamiento, donde el tratamiento penca deshidratada se destaca con $0.01 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$.

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 el mismo que es superior a los resultados obtenidos en un periodo de 64 días.

5.2.1.4. Tasa de crecimiento absoluto de la planta (TCAP)

La tasa de crecimiento absoluto de la planta presenta un coeficiente de variación de 34.89% y un coeficiente de determinación de 0.75 (Anexo 2).

Cuadro 19. Análisis de varianza para la tasa de crecimiento absoluto de la planta (g día^{-1}) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.18	9	0.02	4.62	0.0055
Bloque	0.0047	2	0.0023	0.54	0.593
PD/SD	0.08	1	0.08	17.58	0.0009
Nivel	0.05	3	0.02	3.77	0.0358
PD/SD*Nivel	0.05	3	0.02	3.87	0.0331
Error	0.06	14	0.0043		
Total	0.24	23			

FV= Fuente de variación; SC= Sumatoria de cuadrados; gl= Grados de libertad; CM= Cuadrados medios; F= Valor F calculado; p-valor= Significancia; PD=penca deshidratada; SD= sábila deshidratada.

La tasa de crecimiento absoluto de la planta de acuerdo al análisis de varianza (Cuadro 19) presenta significancia ($p < 0.05$) en el tratamiento, nivel e interacción. La mayor variabilidad entre tratamientos indica que tanto la penca deshidratada como la sábila deshidratada, tienen efecto en la tasa de crecimiento absoluto de la planta.

Cuadro 20. Medias y prueba HSD de Tukey (0.05) de la tasa de crecimiento absoluto de la planta (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 ($p > 0.05$)

La comparación de medias Honestly-Significant-Difference (HSD) de Tukey (0.05) para la tasa de crecimiento absoluto (Cuadro 20) indica que son estadísticamente diferentes, donde el tratamiento penca deshidratada es el que presenta mayor promedio con 0.07 g día⁻¹. Roque, (2016) obtuvo 2 g día⁻¹ en un periodo de 120 días bajo ambiente controlado.

5.2.1.5. Tasa de asimilación neta (TAN)

La tasa de asimilación neta presenta un coeficiente de variación de 27.27% y un coeficiente de determinación de 0.62 (Anexo 2).

Cuadro 21. Análisis de varianza para la tasa de asimilación neta (g cm⁻² día⁻¹) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.00016	9	0.000017	2.53	0.058
Bloque	0.00000093	2	0.00000047	0.07	0.935
PD/SD	0.000098	1	0.000098	14.14	0.002
Nivel	0.000019	3	0.0000063	0.92	0.46
PD/SD*Nivel	0.000039	3	0.000013	1.91	0.17
Error	0.000097	14	0.0000069		
Total	0.00025	23			

FV= Fuente de variación; SC= Sumatoria de cuadrados; gl= Grados de libertad; CM= Cuadrados medios; F= Valor F calculado; p-valor= Significancia; PD=penca deshidratada; SD= sábila deshidratada.

La tasa de asimilación neta de acuerdo al análisis varianza (Cuadro 21) indica que existe significancia ($p < 0.05$) solamente en los tratamientos, donde los tratamiento penca deshidratada y sábila deshidratada tienen efecto sobre la tasa de asimilación neta.

Cuadro 22. Medias y prueba HSD de Tukey (0.05) de la tasa de asimilación neta ($\text{g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.

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 ($p > 0.05$)

La comparación de medias Honestly-Significant-Difference (HSD) de Tukey (0.05) de la tasa de asimilación neta (Cuadro 22), indica que existe diferencia estadística entre tratamientos, donde el tratamiento penca deshidratada se destaca con el mayor promedio de $0.000143 \text{ g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$. Barrientos *et al.* (2015) obtuvo una tasa de asimilación neta para la acelga de $0.112 \text{ g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ en un periodo de 120 días bajo un ambiente controlado.

5.2.1.6. Índice de área foliar (IAF)

El índice de área foliar presenta un coeficiente de variación de 18.08% y un coeficiente de determinación de 0.91 (Anexo 2).

Cuadro 23. Análisis de varianza para el índice de área foliar en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2.24	9	0.25	16.63	<0.0001
Bloque	0.06	2	0.03	1.85	0.1944
PD/SD	0.23	1	0.23	15.25	0.0016
Nivel	1.74	3	0.58	38.79	<0.0001
PD/SD*Nivel	0.22	3	0.07	4.8	0.0167
Nivel					
F. Lineal	0.01	1	0.01	1	0.33
F. Cuadrática	1.66	1	1.66	166	0.00
F. Cúbica	0.07	1	0.07	7	0.02
Error	0.21	14	0.01		
Total	2.45	23			

FV= Fuente de variación; SC= Sumatoria de cuadrados; gl= Grados de libertad; CM= Cuadrados medios; F= Valor F calculado; p-valor= Significancia; PD=penca deshidratada; SD= sábila deshidratada; F. Lineal= Función lineal; F. Cuadrática= Función cuadrática; F. cúbica= Función cúbica

El índice de área foliar de acuerdo al análisis de varianza (Cuadro 23) indica que el nivel es altamente significativo ($p < 0.01$) y significativo ($p < 0.05$) para el tratamiento y la interacción, donde el nivel y los tratamientos presentan la mayor variabilidad y tienen efecto en el índice de área foliar. Para los niveles se realiza el análisis de polinomios ortogonales (Cuadro 23) donde la función cuadrática es significativa ($p < 0.05$) con un coeficiente de determinación de 0.84, para los tratamientos se realiza un prueba de comparación de medias.

Cuadro 24. Medias y prueba HSD de Tukey (0.05) del índice de área foliar en respuesta a los niveles de sábila y penca deshidratadas.

Nivel (%)	Medias	n	E.E.	
0.5	1.02	6	0.05	a
1	0.86	6	0.05	a
2	0.42	6	0.05	b
0	0.41	6	0.05	b

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

La comparación de medias Honestly-Significant-Difference (HSD) de Tukey (0.05) para el índice de área foliar (Cuadro 24) indica diferencia estadística entre los niveles 0.5% y 0%, donde el nivel 0.5% presenta el mayor índice de área foliar con 1.02 y el menor índice de área foliar de 0.41 con el nivel 0%.

Cuadro 25. Medias y prueba HSD de Tukey (0.05) del 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 ($p > 0.05$)

La comparación de medias Honestly-Significant-Difference (HSD) de Tukey (0.05) por tratamientos del índice de área foliar (Cuadro 25), indica que son estadísticamente diferentes, donde el tratamiento penca deshidratada presenta el mayor índice de área foliar con 0.77 y el menor índice de área foliar con el tratamiento sábila deshidratada con 0.58.

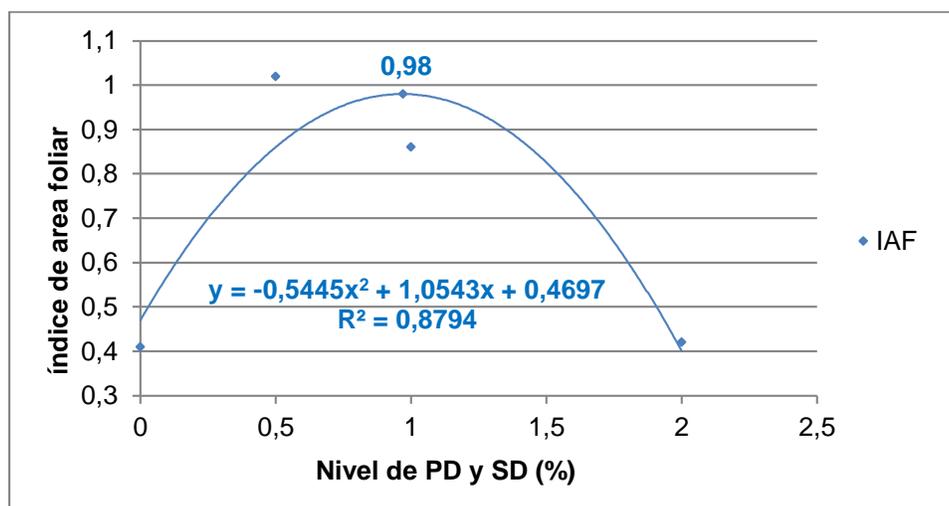


Figura 13. Función ajustada para el índice de área foliar en respuesta a los niveles de sábila y penca deshidratadas.

El índice de área foliar (Fig. 13) se ajusta a una función cuadrática con un coeficiente de determinación de 0.87, donde el mayor índice es 0.98 con un nivel de 0.97% y a partir de este nivel el índice de área foliar es menor Roque, (2016) obtuvo un índice de área foliar de 0.42 a los 120 días en ambiente controlado.

5.2.2. Variables agronómicas

5.2.2.1. Materia seca (MS)

La materia seca presenta un coeficiente de variación de 4.25% y coeficiente de determinación de 0.96 (Anexo 2).

Cuadro 26. Análisis de varianza para materia seca (%) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	325.6	9	36.2	41.31	<0.0001
Bloque	0.02	2	0.01	0.01	0.9872
PD/SD	119.6	1	120	136.6	<0.0001
Nivel	77.04	3	25.7	29.33	<0.0001
PD/SD*Nivel	128.9	3	43	49.08	<0.0001
Penca deshidratada					
F. Lineal	2.16	1	2.16	2.45	0.14
F. Cuadrática	4.4	1	4.4	5	0.04
F. Cúbica	21.09	1	21.1	23.97	0.00
Sábila deshidratada					
F. Lineal	174.9	1	175	198.8	0.00
F. Cuadrática	0.45	1	0.45	0.51	0.49
F. Cúbica	2.96	1	2.96	3.36	0.09
Error	12.26	14	0.88		
Total	337.8	23			

FV= Fuente de variación; SC= Sumatoria de cuadrados; gl= Grados de libertad; CM= Cuadrados medios; F= Valor F calculado; p-valor= Significancia; PD=penca deshidratada; SD= sábila deshidratada; F. Lineal= Función lineal; F. Cuadrática= Función cuadrática; F. cúbica= Función cúbica

El porcentaje de materia seca de acuerdo al análisis de varianza (Cuadro 26) es altamente significativo ($p < 0.01$) en los tratamientos, niveles e interacción, lo que

indica que los tratamientos y niveles tienen efecto en la formación de materia seca, sin embargo los tratamientos y la interacción presentan la mayor variabilidad. Para los tratamientos se realiza la prueba de comparación de medias y para interacción el análisis de polinomios ortogonales (Cuadro 26), para el tratamiento penca deshidratada la función cuadrática y cúbica son significativas ($p < 0.05$) y para el tratamiento sábila deshidratada la función lineal es significativa ($p < 0.05$).

Cuadro 27. Media y prueba HSD de Tukey (0.05) de materia seca (%) de acelga en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.

Tratamiento	Medias (%)	n	E.E.
Sábila deshidratada	24.25	12	0.27 a
Penca deshidratada	19.79	12	0.27 b

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

El porcentaje de materia seca en acelga de acuerdo a la comparación de medias Honestly-Significant-Difference (HSD) de Tukey (Cuadro 27) presentan diferencia estadística, donde el tratamiento sábila deshidratada se destaca con un porcentaje de 24.25% y el menor porcentaje con 19.79% en el tratamiento penca deshidratada.

Cuadro 28. Media y prueba HSD de Tukey (0.05) de materia seca (%) de acelga en respuesta a los tratamientos y niveles de sábila y penca deshidratadas.

Tratamientos	Nivel (%)	Medias (%)	n	E.E.
Sábila deshidratada	2	28.96	3	0.54 a
Sábila deshidratada	1	26.82	3	0.54 a
Penca deshidratada	0.5	22.36	3	0.54 b
Sábila deshidratada	0.5	22.07	3	0.54 b
Penca deshidratada	2	19.20	3	0.54 c
Sábila deshidratada	0	19.16	3	0.54 c
Penca deshidratada	0	19.16	3	0.54 c
Penca deshidratada	1	18.42	3	0.54 c

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

La comparación de medias de materia seca de los tratamientos y niveles (Cuadro 28), indica que son estadísticamente diferentes, el tratamiento sábila deshidratada en el nivel 2% se destaca con 28.96%, seguido del tratamiento penca deshidratada en el nivel 0.5% con 22.36% y el menor porcentaje de materia seca de 18.42% con el tratamiento penca deshidratada en el nivel 1%.

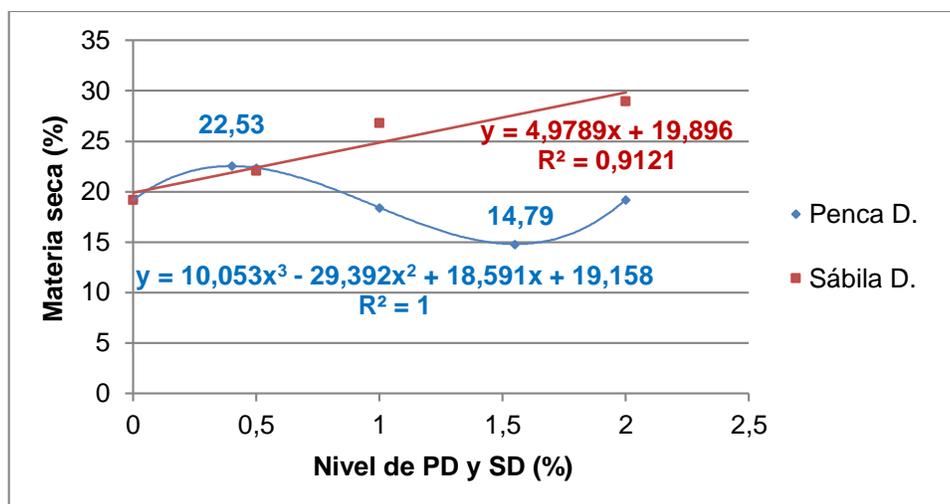


Figura 14. Funciones ajustadas para la materia seca de acelga (%) en respuesta a los tratamientos y niveles de sábila y penca deshidratadas.

En la figura 14 se observan las funciones ajustadas para materia seca de acelga, el tratamiento penca deshidratada tiene un ajuste cúbico con un coeficiente de determinación de 1, donde el mayor porcentaje de materia seca calculado es 22.53% con un nivel de 0.40% y el menor es 14.79% con un nivel de 1.55%, en la medida que se incrementa el porcentaje de penca deshidratada el porcentaje de materia seca disminuye, y a partir del valor mínimo hallado tiende a incrementar nuevamente. El tratamiento sábila deshidratada tiene un ajuste lineal con un coeficiente de determinación de 0.91 lo que indica que por cada unidad porcentual de sábila deshidratada que se incrementa en el nivel, el porcentaje de materia seca se incrementa en 4.97%.

Terán, (2009) obtuvo un promedio de 11.26% de materia seca en respuesta a distintos tipos de fertilizantes para un periodo de 90 días, sin embargo Hoyos *et al.* (2004) registraron promedios de 5.44% y 4.96% para el periodo comprendido entre Diciembre y Mayo.

5.2.2.2. Número de hojas por planta (NHP)

El análisis de varianza para el número de hojas presenta un coeficiente de variación de 26.71% y un coeficiente de determinación de 0.39 (Anexo 2).

Cuadro 29. Análisis de varianza para el número de hojas (hoja pl⁻¹) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	19.29	9	2.14	0.98	0.4963
Bloque	5.33	2	2.67	1.22	0.3255
PD/SD	2.04	1	2.04	0.93	0.3507
Nivel	6.46	3	2.15	0.98	0.429
PD/SD*Nivel	5.46	3	1.82	0.83	0.4989
Error	30.67	14	2.19		
Total	49.96	23			

FV= Fuente de variación; SC= Sumatoria de cuadrados; gl= Grados de libertad; CM= Cuadrados medios; F= Valor F calculado; p-valor= Significancia; PD=penca deshidratada; SD= sábila deshidratada.

El análisis de varianza (Cuadro 29) para el número de hojas indica que no existe significancia estadística en los tratamientos, niveles e interacción.

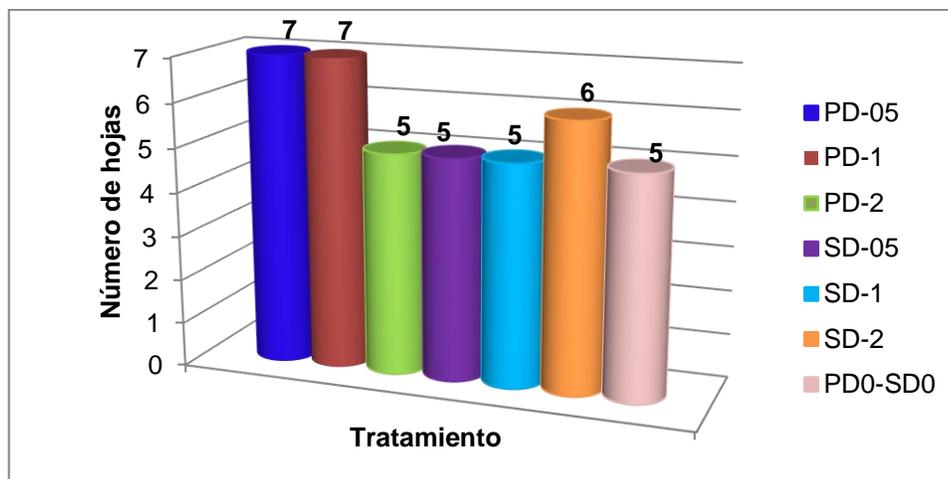


Figura 15. Número de hojas (hojas pl⁻¹) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.

En la figura 15 se presentan los promedios del número de hojas por tratamiento. En el tratamiento penca deshidratada los tratamientos PD-05 y PD-1 tienen un promedio de 7 hojas seguido de los tratamientos PD-0 y PD-2 ambos con 5 hojas. En el tratamiento sábila deshidratada el tratamiento SD-2 presenta un promedio de 6 hojas seguida de los tratamientos SD-0, SD-05 y SD-1 con 5 hojas. Hoyos *et al.* (2004) registraron promedios mensuales para dos selecciones de semilla de una misma variedad con 2.31 a 10.94 hojas pl⁻¹ para la primera selección y 3.33 a 9.27 hojas pl⁻¹ en la segunda selección, por otra parte Núñez, (2016) registro promedios entre 12.1 y 8.5 hojas pl⁻¹ en respuesta a niveles de fertilizante en un periodo de tres meses.

5.2.2.3. Longitud de hoja (LH)

La longitud de hoja presenta un coeficiente de variación de 28.79% y un coeficiente de determinación de 0.37 (Anexo 2).

Cuadro 30. Análisis de varianza para la longitud de hoja (cm) en respuesta a los tratamientos de sábila y penca deshidratadas.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	84.07	9	9.34	0.92	0.5359
Bloque	0.52	2	0.26	0.03	0.9746
PD/SD	1.8	1	1.8	0.18	0.6802
Nivel	69.3	3	23.1	2.28	0.1246
PD/SD*Nivel	12.45	3	4.15	0.41	0.7491
Error	142.14	14	10.15		
Total	226.21	23			

FV= Fuente de variación; SC= Sumatoria de cuadrados; gl= Grados de libertad; CM= Cuadrados medios; F= Valor F calculado; p-valor= Significancia; PD=penca deshidratada; SD= sábila deshidratada.

El análisis de varianza (Cuadro 30) para la longitud de hoja indica que no existe significancia estadística en los tratamientos, niveles e interacción.

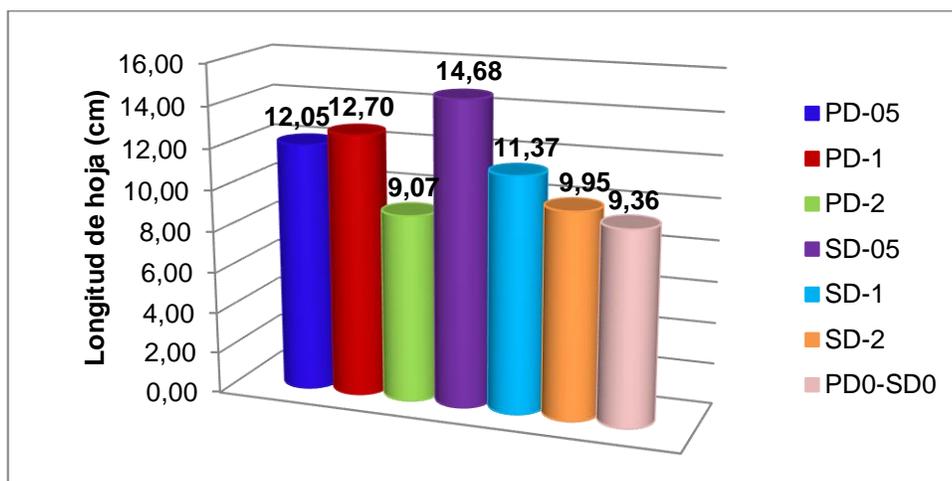


Figura 16. Promedio de la longitud (cm) en respuesta a los tratamientos y niveles de sábila y penca deshidratadas.

El largo de hoja (Fig. 16) en el tratamiento PD-1 alcanza 12.70 cm seguido de los tratamientos PD-05 y PD-2 con 12.05 cm y 9.06 cm respectivamente, en el tratamiento SD-05 alcanza 14.68 cm seguido de los tratamientos SD-1 y SD-2 con 11.37 cm y 9.95 cm respectivamente. En el caso de los tratamientos PD-0 y SD-0 se obtuvo una altura de 9.36 cm, al respecto Terán, (2009) obtuvo promedios de 21.7

cm y 22.9 cm en respuesta a la aplicación de distintos fertilizantes en el cultivo, por otra parte Núñez, (2016) registró promedios de la variedad Fordhook Giant y Ruirbabo con 38.4 cm y 35.5 cm respectivamente con la aplicación de distintos niveles de fertilizante foliar. De acuerdo a las menores longitudes de hoja obtenidas, en relación a los trabajos citados, podría ser el resultado que no se aplicó ningún tipo de fertilizante, Terán, (2009) señala que las hortalizas de hoja requieren de grandes cantidades de nitrógeno para la formación de tallos y hojas.

5.3. Determinación de los costos de la sábila y penca deshidratada

En el cuadro 30 se observa el costo de sábila y penca, para la obtención de 450 gramos de penca y sábila deshidratada se requirió 7 kilogramos de penca y 8 kilogramos de sábila aproximadamente. El costo por cada gramo de penca deshidratada es 0.08/100 bolivianos y el de sábila deshidratada 0.31/100 bolivianos.

Cuadro 31. Costo (Bs) por gramo de penca y sábila deshidratadas

Costos por obtención de material deshidratado						
Tratamiento	Cantidad	Precio unitario (Bs)	Precio total (Bs)	Peso M. verde (Kg)	Peso M. seca (g)	Costo por gramo (Bs)
PENCA	9	5	40	7 kg aprox.	450 g	0.08
SÁBILA	12	11.5	138	8 kg aprox.	450 g	0.31

6. CONCLUSIONES

- La humedad del suelo a capacidad de campo incrementa a medida que se adicionan los niveles de penca y/o sábila deshidratadas. Con el nivel 2% incrementa en 43.58%.
- La adición total de agua reduce a medida que se adicionan los niveles de penca y/o sábila deshidratadas. Con el nivel 2% reduce en 16.03%.
- El número total de reposición de agua es menor a medida que incrementa los niveles de penca y/o sábila deshidratadas. Con los niveles 1% y 2% el número de reposiciones es 13.
- El intervalo de días entre reposición de agua es mayor a medida que incrementa los niveles de penca y/o sábila deshidratadas. Con los niveles 1% y 2% el intervalo es 9 días.
- El área foliar es 255.56 cm² con el tratamiento penca deshidratada, sin embargo con el nivel 0.5% de ambos tratamientos es 336.81 cm².
- La tasa de crecimiento relativo de la hoja es mayor a medida que incrementa los niveles de penca y/o sábila deshidratadas, sin embargo tiende a ser menor con el nivel 2% de sábila deshidratada.
- La tasa de crecimiento relativo y absoluto de la planta es mayor con el tratamiento penca deshidratada con 0.01g g⁻¹ día⁻¹ y 0.07 g día⁻¹ respectivamente.
- La tasa de asimilación neta es mayor con el tratamiento penca deshidratada con 0.000143 g cm⁻² día⁻¹.

- El índice de área foliar con el tratamiento penca deshidratada es 0.77, sin embargo con el nivel 0.5% de ambos tratamientos es 1.02.
- El porcentaje de materia seca es mayor con el tratamiento sábila deshidratada con 24.25%, con el nivel 2% es 28.96%.
- El mayor número de hojas se obtiene con el tratamiento penca deshidratada. Con el nivel 0.5% se obtiene 7 hojas por planta.
- La mayor longitud de hoja se obtiene con el tratamiento sábila deshidratada. Con el nivel 0.5% la longitud es 14.68 cm.
- El costo por gramo de penca deshidratada es 0.08/100 bolivianos y por gramo de sábila deshidratada es 0.31/100 bolivianos.

7. RECOMENDACIONES

- Tomar en cuenta el diámetro de las partículas de penca y/o sábila deshidratadas para una mejor focalización de la humedad en el suelo.
- Evaluar las aplicaciones de penca y/o sábila deshidratadas en cultivos ya establecidos principalmente en plantas perennes.
- Evaluar el tiempo de mineralización de penca y/o sábila deshidratada en el suelo.
- Tomar en cuenta la etapa de desarrollo de la planta para la obtención de penca y/o sábila deshidratadas.

8. BIBLIOGRAFÍA

- ABRAJÁN, 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. Valencia.
- AKELAH, A., 2013. Funcionalized polimeryc materials and agriculture and the food industry. Tanta University. New York, Estados Unidos.
- ANDÍA, Y. 2000. Tratamiento de agua coagulación y floculación. SEDAPAL. Lima, Perú.
- BARRIENTOS, H. C.DC. M.G. 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. Vol. 2. La Paz, Bolivia.
- PRODUCCION DE HORTALIZAS. 2011. Proyecto “Ayuda humanitaria de asistencia y recuperación para comunidades afectadas por la sequía en el Chaco”. Bolivia.
- CEPIS. 1975. Polímeros naturales y su aplicación como ayudantes de floculación. Centro Panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente. Lima-Perú.
- DOMÍNGUEZ, R., Arzate I. 2012. El gel de *Aloe vera*: Estructura, composición química, procesamiento, actividad biológica e importancia en la industria farmacéutica y alimentaria. México.
- ESTRADA, R. L.D. M.D. 2010. Hidrogeles biopoliméricos potencialmente aplicables en agricultura. Revista Iberoamericana de Polímeros. México.
- FAO. 2000. Los principales factores ambientales y de suelos que influyen sobre la productividad y el manejo. Manual on integrated soil management and conservation practices.
- GARCIA, A. 2014. Cultivo de acelga. SAGARPA. México.
- GIACONI, V. 2004. Cultivo de hortalizas. Colección nueva técnica. Editorial Universitaria Novena Edición. Barcelona, España.
- HERMIDA, E. 2011. Polímeros. Guía didáctica. Instituto Nacional de Educación Tecnológica. Buenos Aires, Argentina.

- HOYOS, P. V.A. A.R. 2004. Producción de acelga en función del tipo de producción. Universidad Politécnica de Madrid. España.
- HUNT, R. 1978. Plant growth analysis. Edward Arnold Publishers, London.
- IDROBO, H. A.R. J.D. 2010. Comportamiento del hidrogel en suelos arenosos. Universidad del Valle. Cali, Colombia.
- INE, Atlas de Municipios. Bolivia.
- INIA. 2015. Semana de la ciencia y tecnología-Jornada de puertas abiertas. Tacuarembó.
- JORDÁN, A. 2006. Manual de edafología. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y química agrícola de la Universidad de Sevilla. España.
- KATIME, I. K.O. K.D. 2005. Materiales inteligentes: Hidrogeles macromoleculares. Universidad del País Vasco. España.
- KIRKHAM, M. 2005. Principles of soil and plant water relations. San Diego-California, Estados Unidos.
- KOOREVAAR, P. G.M. C.D. 1999. 5ta Ed. Elements of Soil Physics. Department of Soil and Plant Nutrition, Agricultural University of Wageningen. The Netherland.
- KOZLOWSKI, T. 1997. Responses of woody plants to flooding and salinity. Victoria, Canada.
- KUTILEK, M. N.D. 2015. Soil: The skin of the planet Earth. New York.
- LALLANA, V. L.M. 2004. Unidad temática: Crecimiento. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Entre Ríos. Oro Verde, Paraná.
- MARTINEZ, J. L.G. 2012. Evaluación del poder coagulante de la tuna (*Opuntia ficus indica*) para la remoción de turbidez y color en aguas crudas. Cartagena de Indias.
- MEKONNEN, M. A.H. 2010. The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products. Vol. 1. Institute for Water Education. The Netherlands.
- MIRANDA, O. 1982. Cuándo y cuánto regar. IPA. La Platina.
- NUÑEZ, C. 2016. Evaluación de dos variedades de acelga (*Beta vulgaris* var. *Cicla* L.) con tres niveles de fertilizante foliar (Vigor Top) en ambiente protegido. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia.

- OCHOA, R. 2016. 2da. Ed. Diseños experimentales. Ochoa Ediciones. La Paz-Bolivia
- PLAN MAESTRO METROPOLITANO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO LA PAZ – EL ALTO, BOLIVIA. 2013. Ministerio de Medio Ambiente y Agua. Bolivia.
- PEREZ, R. L.D. P.G. 2015. Caracterización, modelación morfológica y análisis proximales de *Opuntia ficus-indica* y *O. atropes* durante las épocas de estiaje y lluvias. Universidad de La Salle Bajío León. Guadalajara, México.
- REDDY, R. 2010. Soil engineering, testing, design and remediation. New Delhi, India.
- 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.
- SALGADO, J. A. I. 2009. Guía técnica para la producción del cultivo de la acelga. Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”. La Habana, Cuba.
- SANTOS, M. M.S. C.Ñ. 2009. Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundimarca, Colombia). Colombia.
- SEPÚLVEDA, E. S.C. A.E. 2006. Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. Journal of Arid Enviroments. Elsevier.
- SHUKLA, M. 2014. Soil physics an introduction. Estados Unidos.
- SUSTEK, S. S.L. Z.S. Z.K. 2011. Properties of hydrogel encapsulated in a mixture of collagen and nanostructured clay.
- TERÁN, M. 2009. Efecto de la aplicación de cuatro dosis de curinaza y gallinaza en el cultivo de acelga (*Beta vulgaris* L.). Universidad del Norte. Ibarra, Ecuador.
- TORRES, A. 2010. Composición química del nopal y sus implicaciones en la nutrición de rumiantes (Experiencias de Brasil). Revista Salud Pública y Nutrición. México.
- VÁSQUEZ, A. I.V. C.V. M.C. 2017. Fundamentos de Ingeniería de riegos. Lima, Perú.
- VELÉZ, M. N.V. 2012. Identificación y cuantificación de antraquinonas y cromonas en plantas de *Aloe vera* cultivadas en municipios de Risaralda por

cromatografía líquida de alta eficiencia. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia.

- WESLEY, L. 2010. Fundamentals of soil mechanics for sedimentary and residual soils. New Jersey.
- FALLAS, J. 2012. Análisis de varianza, comparando tres o más medias. Disponible en: http://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-2/complementarias/analisis_de_varianza_2012.pdf. Consultado el 28 de agosto de 2019.
- FAO. Textura del suelo. Disponible en: http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm#top. Consultado el 21 de mayo de 2019.
- UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA. 2005. Coloides. Disponible en: http://medicina.usac.edu.gt/quimica/coloides/Coloides_1.htm. Consultado el 28 de mayo de 2019.

ANEXOS

Anexo 1. Análisis de suelo



MINISTERIO DE HIDROCARBUROS Y ENERGÍA

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA NUCLEAR
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE SUELOS

INTERESADO : *NIDIA VIOLETA MORALES ALCON*
PROCEDENCIA : *Departamento LA PAZ,*
Provincia: INGAVI
IRPUMA - IRPAGRANDE

NO SOLICITUD: *0192 / 2016*
FECHA DE RECEPCIÓN : *16 / Noviembre / 2016*
FECHA DE ENTREGA : *22 / Diciembre / 2016*

DESCRIPCIÓN : *MUESTRA DE SUELO*

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método	
883-01 /2016	T E X T U R A	ARENA	71	%	Hidrómetro de Bouyoucos
883-02 /2016		ARCILLA	16	%	Hidrómetro de Bouyoucos
883-03 /2016		LIMO	13	%	Hidrómetro de Bouyoucos
883-04 /2016		CLASE TEXTURAL	FA	-	Hidrómetro de Bouyoucos
883-05 /2016		GRAVA	0,0	%	Gravimetría
883-06 /2016	CARBONATOS LIBRES	P	-	Reacción ácida	
883-07 /2016	pH en agua 1:5	5,99	-	Potenciometría	
883-08 /2016	pH en KCl 1:5	5,69	-	Potenciometría	
883-09 /2016	Conductividad eléctrica en agua, 1:5	0,038	dS/m	Conductancia	
883-10 /2016	C A T I O N E S	Acidez de cambio (Al + H)	0,17	meq/100 g	Volumetría
883-11 /2016		Calcio	0,95	meq/100 g	Absorción atómica
883-12 /2016		Magnesio	0,31	meq/100 g	Absorción atómica
883-13 /2016		Sodio	0,05	meq/100 g	Emisión atómica
883-14 /2016		Potasio	0,26	meq/100 g	Emisión atómica
883-15 /2016	Capacidad de Intercambio Catiónico	9,15	meq/100 g	Volumetría	
883-16 /2016	Materia orgánica	0,31	%	Walkley Black	
883-17 /2016	Nitrógeno total	0,04	%	Kjeldahl	
883-18 /2016	Fósforo asimilable	15,44	ppm	Espectrofotometría UV-Visible	

OBSERVACIONES,- ** Cationes de Cambio extraídos con Acetato de amonio 1 N.

C.I.C. Capacidad de Intercambio Catiónico.

CARBONATOS LIBRES; A: Ausente, P: Presente, PP: Presente en gran cantidad

CLASE TEXTURAL

F : Franco Y : Arcilloso FA : Franco Arenoso. YL : Arcilloso Limoso
L : Limoso YA : Arcilloso Arenoso AF : Arenoso Franco FYL : Franco Arcilloso Limoso
A : Arenoso FYA : Franco Arcilloso Arenoso FY : Franco Arcilloso FL : Franco limoso



Jorge Chungara C.
RESPONSABLE DE LABORATORIO
JORGE CHUNGARA C.

Anexo 2. Análisis de varianza

No.	VARIABLE	N	R ²	R ² Aj	CV
1	Adición de agua	24	0.65	0.42	7.21
2	Capacidad de campo	24	0.99	0.99	1.6
3	Número de reposiciones	24	0.82	0.71	5.24
4	Intervalo de días entre reposiciones	24	0.83	0.73	4.89
5	Área foliar	24	0.91	0.86	18.04
6	Tasa de crecimiento relativo de la hoja	24	0.62	0.38	22.26
7	Tasa de crecimiento relativo de la planta	24	0.91	0.85	25.12
8	Tasa de crecimiento absoluto de la planta	24	0.75	0.59	34.89
9	Tasa de asimilación neta	24	0.62	0.37	27.27
10	Índice de área foliar	24	0.91	0.86	18.08
11	Materia seca	24	0.96	0.94	4.25
12	Número de hojas por planta	24	0.39	0	26.71
13	Longitud de hoja	24	0.37	0	28.79

Anexo 3. Fotografías del experimento



Deshidratación del material vegetal



Secado del suelo



Peso de la unidad experimental



Adición del material deshidratado



Adición de agua



Área experimental