



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS  
DEL NOROESTE, S.C.

---

---

Programa de Estudios de Posgrado

**TAMAÑO DE HOJA Y SU RELACIÓN CON LA  
FISIOLOGÍA Y ABSORCIÓN DE MINERALES DE  
ACELGA (*Beta vulgaris* var. *cicla* L.)**

**T E S I S**

Que para obtener el grado de

**Maestro en Ciencias**

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales  
(Orientación en Agricultura Sustentable)

Presenta

**María Fernanda Ochoa Espinosa**

La Paz, Baja California Sur, septiembre de 2019

## ACTA DE LIBERACIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 10:00 horas del día 10 del mes de septiembre de 2019, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

**TAMAÑO DE HOJA Y SU RELACIÓN CON LA FISIOLÓGÍA Y ABSORCIÓN DE MINERALES DE ACELGA (*Beta vulgaris* var. *cicla* L.)**

Presentada por la alumna:

**María Fernanda Ochoa Espinosa**

Aspirante al Grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACIÓN EN AGRICULTURA SUSTENTABLE.

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

### LA COMISIÓN REVISORA



Dr. Bernardo Murillo-Amador

Director de Tesis



Dra. Alejandra Nieto Garibay

Cotutor



Dr. Satoshi Yamada

Cotutor



Dra. Gracia Alicia Gómez Anduro,  
Directora de Estudios de Posgrado y  
Formación de Recursos Humanos

## **Conformación de Comités**

### **Comité Tutorial**

Dr. Bernardo Murillo Amador

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

### **Director de tesis**

Dra. Alejandra Nieto Garibay

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

### **Co-tutora de tesis**

Dr. Satoshi Yamada

Tottori University, Japan

### **Co-tutor de tesis**

### **Comité Revisor de Tesis**

Dr. Bernardo Murillo Amador

Dra. Alejandra Nieto Garibay

Dr. Satoshi Yamada

### **Jurado de Examen**

Dr. Bernardo Murillo Amador

Dra. Alejandra Nieto Garibay

Dr. Satoshi Yamada

### **Suplentes**

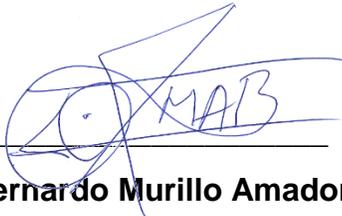
Dr. Enrique Troyo Diéguez

## Resumen

La irrigación produce gran parte de los alimentos del mundo, pero cerca de una 1/10 de la tierra irrigada del mundo está afectada por salinidad. En este trabajo se estudió la fisiología y la capacidad de absorción de minerales en acelga (*Beta vulgaris* var. cicla L.) cosechada en dos tamaños de hoja, así como, los parámetros de calidad y consumo de agua del medio acuaponico donde se cultivó. El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con dos tratamientos y tres repeticiones. El tratamiento uno consistió en realizar cosechas de hojas denominadas baby-leaf de 10 cm (de la base al ápice) y el tratamiento dos consistió en realizar la cosecha de tamaño convencional, a los 40 cm (de la base al ápice). Se utilizó la variedad Fordhook Giant y un efluente proveniente de una producción de robalo plateado (*Centropomus viridis*) con un nivel promedio de salinidad de 3.48 psu, conductividad eléctrica de 6.34 mS cm<sup>-1</sup> y pH de 6.53. Se realizaron 19 cosechas para el tratamiento uno y cinco cosechas para el tratamiento dos. Se evaluaron semanalmente las variables fisiológicas y de crecimiento como son el contenido de clorofila de manera indirecta (SPAD), clorofila a, b y total, peso fresco, peso seco, área foliar, contenido relativo de agua, tasa de transpiración, fotosíntesis, conductividad estomática. Los minerales (Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>) en tejido vegetal se cuantificaron mediante espectrofotometría de absorción atómica, además se tomó una muestra del medio acuaponico para determinar concentraciones de Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> y K<sup>+</sup>. El consumo de agua se evaluó semanalmente midiendo la altura del agua de cada recipiente de cultivo. Los resultados demostraron que las variables fisiológicas no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos. El contenido de Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> y Ca<sup>2+</sup> fue mayor en el tejido vegetal de acelga cuyas hojas se cosecharon en tamaño convencional (40 cm). En el caso de K<sup>+</sup>, el contenido fue mayor en el tejido vegetal de acelga cuyas hojas se cosecharon de tamaño baby-leaf (10 cm). La translocación del Na<sup>+</sup> fue mayor en el tamaño de hoja cosechada de tamaño convencional (40 cm). Al evaluar los parámetros de calidad del efluente a remediar, no se observó reducción en las concentraciones de minerales. Las características de salt-loving plant en la acelga se desarrollan conforme a la madurez de la hoja, por lo que las hojas cosechadas en tamaño baby-leaf (10 cm) no cumplen con el objetivo de fitoremediación.

**Palabras clave:** acuaponia, salinidad, acelga, babyleaf.

VoBo



**Dr. Bernardo Murillo Amador**

Director de Tesis

## Summary

Irrigation produces a big part of the world's food, but about 1/10 of the world's irrigated land is affected by salinity. This research studied the physiology and absorption capacity of minerals in swiss chard (*Beta vulgaris* var. cicla L.) harvested in two leaf sizes, as well as the quality and consumption parameters of the aquaponic environment where it was grown. The experiment was established in a completely randomized design with two treatments and three repetitions. Treatment one consisted of carrying out of leaves called baby-leaf of 10 cm (from the base to the apex) and treatment two consisted of carrying out the harvest of conventional size, at 40 cm (from the base to the apex). The Fordhook Giant variety was used and an effluent from a production of silver bass (*Centropomus viridis*) with an average salinity level of 3.48 psu, electrical conductivity of 6.34 mS cm<sup>-1</sup> and pH of 6.53. Nineteen harvests were done for treatment one and five harvests for treatment two. The physiological and growth variables, chlorophyll indirect (SPAD), chlorophyll a, b and total, fresh weight, dry weight, leaf area, relative water content, transpiration rate, photosynthesis, stomatal conductivity, were evaluated weekly. The minerals (Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>) in plant tissue were quantified by atomic absorption spectrophotometry, in addition a sample of water (aquaponics medium) was taken to determine concentration of Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> y K<sup>+</sup>. Water consumption was evaluated weekly by measuring the water height of each experimental unit. The results showed that the physiological variables exhibited no significant difference between the treatments. The content of Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> and Ca<sup>2+</sup> was higher in swiss chard whose leaves were harvested in conventional size (40 cm). In the case of K<sup>+</sup>, the content was higher in swiss chard whose leaves were harvested in baby-leaf size (10 cm). The translocation of Na<sup>+</sup> was higher in those leaves harvested in conventional size (40 cm). When the quality of parameters of the effluent to be remedied was analyzed, no reduction in mineral concentrations was observed. The characteristics of salt-loving plant in swiss chard develop according to the maturity of the leaf, so the leaves harvested as baby-leaf do not meet the goal of phytoremediation.

**Keywords:** aquaponics, salinity, swiss chard, babyleaf.

VoBo

  
**Dr. Bernardo Murillo Amador**

Director de Tesis

## Dedicatoria

A las personas que más amo, Ma del Rosario, José Francisco, Zammary y Luis.

## **Agradecimientos**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por otorgarme la beca de manutención No. 853799.

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C., por permitirme realizar mis estudios de maestría y darme los recursos e instalaciones necesarias para concluirlos con éxito.

A la Dirección de Estudios de Posgrado, al Departamento de Control Escolar, al Departamento de Becas y Apoyo Estudiantil, por su disponibilidad y atención.

A mi comité tutorial, Dr. Bernardo Murillo Amador, Dra. Alejandra Nieto Garibay y Dr. Satoshi Yamada, pilares de este trabajo, gracias por compartir sus conocimientos, consejos y guiarme para concluir mi investigación.

Al Programa de Agricultura en Zonas Áridas por el proyecto PAZA.

Esta investigación se realizó con fondos del proyecto intitulado Modelo de aprovechamiento y eficiencia máxima de agua salinizada acoplado a un sistema unidireccional de acuaponia-agricultura CONACYT-PN-2017-I número 4631, Proyecto apoyado por el FOINS.

A la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) y a la Sociedad de Investigación en Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Sostenible por el proyecto número 806.

Al personal del Laboratorio de Fisiotecnia Vegetal, Lic. Lidia Hiraes Lucero, Ing. Kassandra Margarita Rodríguez Macías, por su apoyo durante mis análisis y el desarrollo de mi experimento. Así como también al personal del Laboratorio de Suelos y de Calidad del Agua.

Al técnico de campo agrícola, Pedro Luna García, por su orientación y atención brindada durante mi experimento.

Al personal de la Universidad de Tottori por permitirme realizar mi estancia de investigación.

A la Dra. Emi Kaburagi, integrante del Laboratorio de Nutrición Vegetal de la Universidad de Tottori, por instruirme y orientarme en el desarrollo de mis análisis, muchas gracias por tu apoyo incondicional y total disponibilidad.

A María del Carmen Mercado Guido, Hideki Tanaka y Kazuma Ueda, por apoyarme en todo momento, guiarme y brindarme la atención requerida, mil gracias por hacerme sentir como en casa durante mi estancia. Fue una experiencia inolvidable.

A mis compañeros y amigos, Alejandra, Lucero, Yoshio, Mariam, por tantas aventuras inolvidables, gracias por hacer de mi estancia en el CIBNOR algo ameno y divertido.

Muchas gracias a todas esas personas que pusieron de su parte para poder culminar mi investigación, especialmente a José Luis Romero, mi compañero de vida, por estar a mi lado para animarme a continuar y apoyarme con mi experimento.

Agradezco infinitamente a mi madre María del Rosario y mi padre José Francisco, quienes me han dado la posibilidad de estudiar un posgrado y me han impulsado a cumplir mis metas, han sido lo más importante para mí desarrollo profesional.

## Contenido

Resumen .....	i
Summary .....	ii
Contenido .....	vi
Lista de figuras.....	ix
Abreviaturas .....	xii
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. ANTECEDENTES .....</b>	<b>4</b>
2.1 Zonas áridas .....	4
2.2 Salinidad .....	4
2.3 Estrés salino y su efecto en la fisiología de las plantas .....	6
2.3 Hidroponía .....	9
2.3.1 Absorción de minerales y remoción de nutrientes .....	9
2.4 Acuaponía.....	9
2.5 La acelga ( <i>Beta vulgaris</i> var. Cicla) .....	11
2.5.1 Respuesta a la salinidad.....	12
2.5.2 Capacidad de remoción de sales .....	13
2.6 Absorción de minerales en condiciones de salinidad.....	13
2.7 Cultivos “baby-leaf” .....	15
<b>3. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>19</b>
<b>4. HIPÓTESIS .....</b>	<b>20</b>
<b>5. OBJETIVOS.....</b>	<b>21</b>
5.1 Objetivo general.....	21
5.2 Objetivos particulares .....	21
<b>6. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>22</b>
6.1 Descripción del sitio de estudio .....	22

6.2 Material vegetal.....	22
6.3 Siembra y trasplante .....	22
6.4 Sistema hidropónico (raíz flotante) .....	23
6.5 Calidad del agua del pozo que suministra al módulo.....	23
6.6 Calidad del agua del sistema acuícola.....	23
6.7 Diseño experimental .....	24
6.8 Evaluar características fisiológicas y morfométricas de plantas de <i>Beta vulgaris</i> var. Cicla cosechadas a diferentes tamaños de hoja y cultivadas en medio hidropónico salinizado.....	24
6.8.1 Peso fresco y seco de hoja .....	25
6.8.2 Área foliar .....	25
6.8.3 Clorofila por el método indirecto (SPAD-502).....	25
6.8.4 Tasa fotosintética, tasa de transpiración y conductancia estomática ....	25
6.8.5 Clorofila a, b y total por el método directo .....	26
6.8.6 Contenido relativo de agua.....	26
6.8.7 Potencial hídrico .....	27
6.9 Evaluar la capacidad de absorción de minerales de hojas de <i>Beta vulgaris</i> var. Cicla cosechadas a diferentes tamaños de hoja y cultivadas en medio hidropónico salinizado .....	27
6.10 Evaluar el consumo de agua y los parámetros de calidad del medio hidropónico salinizado de plantas de <i>Beta vulgaris</i> var. cicla cosechadas a diferentes tamaños de hoja.....	28
6.11 Análisis estadístico .....	29
<b>7. RESULTADOS .....</b>	<b>30</b>
7.1 Evaluar características fisiológicas y morfométricas de plantas de <i>Beta vulgaris</i> var. cicla cosechadas a diferentes tamaños de hoja y cultivadas en medio hidropónico salinizado.....	30
7.2 Evaluar la capacidad de absorción de minerales de plantas de <i>Beta vulgaris</i> var. cicla cosechadas a diferentes tamaños de hoja y cultivadas en medio hidropónico salinizado .....	32
7.2.1 Análisis de correlación entre variables fisiológicas, morfométricas y contenido mineral en hojas de <i>Beta vulgaris</i> var. cicla cosechadas a diferentes tamaños y cultivadas en medio hidropónico salinizado .....	38

7.3 Evaluar el consumo de agua y los parámetros de calidad del medio hidropónico salinizado de plantas de <i>Beta vulgaris</i> var. cicla cosechadas a diferentes tamaños de hoja.....	44
7.3.1 Consumo de agua .....	44
7.3.2 Parámetros de calidad del agua de cultivo .....	45
<b>8. DISCUSIÓN .....</b>	<b>52</b>
8.1 Evaluar características fisiológicas y morfométricas de plantas de <i>Beta vulgaris</i> var. cicla cosechadas a diferentes tamaños de hoja y cultivadas en medio hidropónico salinizado.....	52
8.2 Evaluar la capacidad de absorción de minerales en plantas de <i>Beta vulgaris</i> var. cicla cosechadas a diferentes tamaños de hoja y cultivadas en medio hidropónico salinizado .....	54
<b>9. CONCLUSIONES .....</b>	<b>58</b>
<b>10. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>60</b>

## Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Valores promedio de la translocación del Na <sup>+</sup> calculado mediante el factor de concentración del flujo de transpiración (TSCFNa). Letras diferentes son diferentes estadísticamente (Tukey HSD p=0.05).....	33
<b>Figura 2.</b> Relación entre el peso seco de hojas (g) cosechadas de tamaño convencional (40 cm) y el contenido de Na <sup>+</sup> en el tejido de la hoja.....	34
<b>Figura 3.</b> Relación entre el peso seco de hojas (g) cosechadas de tamaño baby-leaf (10 cm) y el contenido de Na <sup>+</sup> en el tejido de la hoja.....	35
<b>Figura 4.</b> Relación entre el peso seco de hojas (g) y la tasa fotosintética neta (Pn) de hojas cosechadas de tamaño convencional (40 cm).....	36
<b>Figura 5.</b> Relación entre el peso seco de hojas (g) y la tasa fotosintética neta (Pn) de hojas cosechadas de tamaño baby-leaf (10 cm).....	36
<b>Figura 6.</b> Translocación del Na <sup>+</sup> a través del tiempo (cosechas) en hojas de acelga tamaño convencional (40 cm).....	37
<b>Figura 7.</b> Translocación del Na <sup>+</sup> a través del tiempo (cosechas) en hojas de acelga tamaño baby-leaf (10 cm).....	38
<b>Figura 8.</b> Respuesta de la conductividad eléctrica a través del tiempo en el medio hidropónico de acelga cuyas hojas se cosecharon de dos tamaños, baby-leaf (10 cm) y convencional (40 cm).....	47
<b>Figura 9.</b> Respuesta de la salinidad través del tiempo en el medio hidropónico de acelga cuyas hojas se cosecharon de dos tamaños, baby-leaf (10 cm) y convencional (40 cm).....	48
<b>Figura 10.</b> Respuesta de los sólidos disueltos totales través del tiempo en el medio hidropónico de acelga cuyas hojas se cosecharon de dos tamaños, baby-leaf (10 cm) y convencional (40 cm).....	48
<b>Figura 11.</b> Respuesta del pH través del tiempo en el medio hidropónico de acelga cuyas hojas se cosecharon de dos tamaños, baby-leaf (10 cm) y convencional (40 cm).....	49
<b>Figura 12.</b> Respuesta de la temperatura través del tiempo en el medio hidropónico de acelga cuyas hojas se cosecharon de dos tamaños, baby-leaf (10 cm) y convencional (40 cm).....	49
<b>Figura 13.</b> Respuesta de la concentración de Na <sup>+</sup> a través del tiempo en el medio hidropónico de acelga cuyas hojas se cosecharon de dos tamaños, baby-leaf (10 cm) y convencional (40 cm).....	50
<b>Figura 14.</b> Respuesta de la concentración de Ca <sup>2+</sup> a través del tiempo en el medio hidropónico de acelga cuyas hojas se cosecharon de dos tamaños, baby-leaf (10 cm) y convencional (40 cm).....	51
<b>Figura 15.</b> Respuesta de la concentración de K <sup>+</sup> a través del tiempo en el medio hidropónico de acelga cuyas hojas se cosecharon de dos tamaños, baby-leaf (10 cm) y convencional (40 cm).....	51

## Lista de tablas

<b>Tabla I.</b> Clasificación de los suelos afectados por sales.....	5
<b>Tabla II.</b> Clasificación de aguas.....	6
<b>Tabla III.</b> Clasificación de las plantas de ambientes salinos.....	8
<b>Tabla IV.</b> Análisis de varianza (cuadrados medios) para variables fisiológicas y morfológicas de plantas de acelga cuyas hojas se cosecharon a diferentes tamaños (10 y 40 cm). .....	31
<b>Tabla V.</b> Valores promedio de variables fisiológicas y morfológicas de plantas de acelga cuyas hojas se cosecharon a diferentes tamaños (10 y 40 cm). .....	31
<b>Tabla VI.</b> Análisis de varianza (cuadrados medios) para el contenido de $\text{Na}^+$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{K}^+$ y $\text{Ca}^{2+}$ en hojas de acelga cosechadas a diferentes tamaños (10 y 40 cm).....	32
<b>Tabla VII.</b> Valores promedio del contenido de $\text{Na}^+$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{K}^+$ y $\text{Ca}^{2+}$ en hojas de acelga cosechadas a diferentes tamaños (10 y 40 cm). .....	32
<b>Tabla VIII.</b> Análisis de varianza (cuadrados medios) para la translocación del $\text{Na}^+$ calculada mediante el factor de concentración del flujo de la transpiración ( $\text{TSCF}_{\text{Na}}$ ) en acelga cuyas hojas se cosecharon a diferentes tamaños (10 y 40 cm). .....	33
<b>Tabla IX.</b> Matriz de correlación entre variables fisiológicas, morfológicas y contenido mineral de plantas de acelga cuyas hojas se cosecharon como baby-leaf (10cm). El valor superior representa el valor del coeficiente de correlación y el valor inferior el valor de la probabilidad ( $p$ ). .....	41
<b>Tabla X.</b> Matriz de correlación entre variables fisiológicas, morfológicas y contenido mineral de plantas de acelga cuyas hojas se cosecharon como convencional (40cm). El valor superior representa el valor del coeficiente de correlación y el valor inferior el valor de la probabilidad ( $p$ ). .....	42
<b>Tabla XI.</b> Matriz de correlación del contenido de $\text{Na}^+$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{K}^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ ( $\text{mg g}^{-1}$ peso seco) y $\text{TSCF}_{\text{Na}}$ de plantas de acelga cuyas hojas se cosecharon de tamaño baby-leaf (10 cm) y convencional (40 cm). El valor superior representa el valor del coeficiente de correlación y el valor inferior el valor de la probabilidad ( $p$ ). .....	43
<b>Tabla XII.</b> Matriz de correlación de la tasa de transpiración y el contenido de $\text{Na}^+$ de plantas de acelga cuyas hojas se cosecharon de tamaño baby-leaf (10 cm) y convencional (40 cm). El valor superior representa el valor del coeficiente de correlación y el valor inferior el valor de la probabilidad ( $p$ ). .....	44
<b>Tabla XIII.</b> Análisis de varianza (cuadrados medios) para el consumo de agua en acelga cuyas hojas se cosecharon a diferentes tamaños (10 y 40 cm). .....	45
<b>Tabla XIV.</b> Valores promedio del consumo de agua en acelga cuyas hojas se cosecharon a diferentes tamaños (10 y 40 cm). .....	45

<b>Tabla XV.</b> Análisis de varianza (cuadrados medios) para la conductividad eléctrica (C.E), pH, sólidos disueltos totales (TDS) y salinidad del agua de cultivo de acelga cuyas hojas se cosecharon a diferentes tamaños (10 y 40 cm).....	46
<b>Tabla XVI.</b> Valores promedio de conductividad eléctrica (C.E.), pH, sólidos disueltos totales (TDS) y salinidad del agua de cultivo de acelga cuyas hojas se cosecharon a diferentes tamaños (10 y 40 cm). .....	46
<b>Tabla XVII.</b> Análisis de varianza (cuadrados medios) para la concentración final de Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> y K <sup>+</sup> en el agua de cultivo de acelga cuyas hojas se cosecharon a diferentes tamaños (10 y 40 cm).....	46
<b>Tabla XVIII.</b> Valores promedio de la concentración final de Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> y K <sup>+</sup> en el agua de cultivo de acelga cuyas hojas se cosecharon a diferentes tamaños (10 y 40 cm). .....	47

## Abreviaturas

<b>Na<sup>+</sup></b>	Sodio
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	Magnesio
<b>K<sup>+</sup></b>	Potasio
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	Calcio
<b>CONACYT</b>	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
<b>JICA</b>	Agencia de Cooperación Internacional Japonesa
<b>FOINS</b>	Fondo Institucional del Conacyt
<b>WRG</b>	Water Resources Group
<b>FAO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
<b>WWAP</b>	World Water Assessment Programme
<b>NaCl</b>	Cloruro de Sodio
<b>SATREPS</b>	Sociedad de Investigación en Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Sostenible
<b>INEGI</b>	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
<b>DGA</b>	Dirección General de Aguas
<b>C.E</b>	Conductividad Eléctrica
<b>SEMARNAT</b>	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
<b>SAGARPA</b>	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Carbono
<b>UNESCO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
<b>SRA</b>	Sistema de Recirculación Acuícola
<b>NFT</b>	Nutrient Film Technique
<b>JST</b>	Agencia de Ciencia y Tecnología Japonesa
<b>pH</b>	Potencial de Hidrogeno
<b>PS</b>	Peso Seco
<b>TSCF</b>	Factor de Concentración del Flujo de la Transpiración
<b>TDS</b>	Sólidos Disueltos Totales
<b>DPV</b>	Déficit de Presión de Vapor
<b>CRA</b>	Contenido Relativo de Agua

## 1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento demográfico, la urbanización, la industrialización y el aumento de la producción y el consumo han generado una demanda de agua dulce cada vez mayor. Se prevé que en 2030 el mundo tendrá que enfrentarse a un déficit mundial del 40% de agua en un escenario climático en que todo sigue igual (2030 WRG, 2013). La humanidad se enfrenta a problemáticas complejas que ponen en riesgo la alimentación, el agua está cada día más contaminada y la capa fértil del suelo se está perdiendo (FAO, 2016).

A nivel mundial, 2,500 millones de personas dependen exclusivamente de los recursos de aguas subterráneas para satisfacer sus necesidades básicas diarias de agua (WWAP, 2012) y se estima que el 20% de los acuíferos mundiales está siendo sobreexplotado (Gleeson *et al.*, 2012), presentando graves consecuencias como el hundimiento del suelo y la intrusión de agua salada, fenómeno que se agrava año con año de acuerdo con estudios que datan de 1994 a la fecha (Conrads y Darby, 2017). No existen zonas en el mundo libres de salinización, aunque la percepción general se centra en las regiones áridas y semiáridas (Rengasamy, 2006). En México el reto es aún más grande porque el 50% del territorio se considera zona árida o semiárida, lo que significa que la precipitación anual es muy poca, además, por el calor que caracteriza a estas zonas, la evaporación de agua es mayor que la cantidad de agua que cae en forma de lluvia (Tarango-Arámbula, 2005).

El cultivo de las tierras mediante riego produce el 40% de los alimentos del mundo, pero cerca de 1/10 de la tierra irrigada del mundo está afectada por salinidad, precisamente porque un manejo inadecuado del riego provoca dos problemas, el primero, el agotamiento de las reservas de aguas subterráneas y la segunda, como consecuencia de lo primero, la degradación del suelo por salinización, debido al arrastre de sales en el agua, además el manejo inapropiado

de la fertilización en cultivos, lo cual es una amenaza intensa para la seguridad alimentaria (Guida-Johnson *et al.*, 2017).

La intrusión de agua de mar en los acuíferos es otra causa importante de salinización de los recursos hídricos en las zonas costeras. Con frecuencia esta intrusión salina es consecuencia de la excesiva extracción de aguas subterráneas para la agricultura (DGA, 2005; Mateo-Sagasta y Burke, 2010).

La salinización reduce las tierras de regadío del mundo entre 1 y 2% cada año y es mayor en regiones áridas y semiáridas. No existe certeza de las cifras, pero por lo menos el 8% de las tierras irrigadas del mundo están afectadas por salinidad (Martínez-Beltrán *et al.*, 2007); sin embargo, en regiones áridas y semiáridas, se incrementa en 25%. Aproximadamente 1,600 millones de hectáreas de las tierras más productivas del mundo se utilizan actualmente para cultivar. Estas tierras se degradan por las prácticas agrícolas que resultan de la salinización agua-suelo, erosión, pérdida de materia orgánica y nutrientes, compactación del suelo y en las últimas décadas, el drenaje de aguas salobres y la generación de agua lixiviada provenientes de la agricultura crecieron de forma proporcional al aumento de la irrigación. Hoy en día el agua que se extrae de los pozos es de mala calidad y los agricultores al regar con esa agua salinizan sus suelos, provoca una disminución en la productividad y el abandono de la tierra (Flores-Lezama, 2005).

Una de las estrategias para mitigar los efectos de la salinidad, es el uso de especies tolerantes a la salinidad, conocidas como salt-loving plants, que tienen la capacidad de excluir las sales de sodio de sus células (Shabala *et al.*, 2014; Stallard, 2014; ScienceDaily, 2014). La acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla*) cumple con estas características, además de ser una especie que se utiliza como alimento para el ser humano, posee una ventana comercial amplia y por supuesto es rentable; sin embargo, esta hortaliza de hoja tiene requerimientos altos de agua para su desarrollo al ser cosechada en su tamaño comercial (aproximadamente 40 cm) que, en conjunto con la evaporación del medio hidropónico, provoca un

incremento en la concentración de las sales (principalmente NaCl) en el medio hidropónico de cultivo. Esta condición, anula completamente las propiedades fito remediadoras, pues no se observa una mejora en la calidad del agua, es decir, que el contenido de NaCl disminuya (Comunicación personal, Grupo de trabajo Proyecto SATREPS-JICA-CIBNOR, 2017). Se espera que, al cosechar las hojas de acelga con tamaño aproximado de 10 cm, llamadas comúnmente baby-leaf, es decir, hojas tiernas para consumirse en fresco como ensalada, es posible lograr disminuir el requerimiento de agua y a su vez, mejorar la absorción de minerales (Comunicación personal, Murillo-Amador, 2017), ya que una característica de las hojas jóvenes es su actividad metabólica alta (D'imperio *et al.*, 2016). Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue comparar la fisiología, absorción de sales minerales y el requerimiento de agua de plantas de acelga cultivadas en hidroponía con agua salinizada, realizando cosechas de hojas de dos tamaños, 40 cm (tamaño comercial) y 10 cm (baby-leaf) durante un periodo de 30 días.

## **2. ANTECEDENTES**

### **2.1 Zonas áridas**

Se denomina zonas áridas a las áreas que reciben una precipitación pluvial media anual menor a 350 mm y semiáridas a las que reciben entre 350 y 600 mm anuales. Sin embargo, la evaporación potencial máxima de estas zonas es mayor que la precipitación promedio anual, poniendo en evidencia el déficit hídrico. A su vez, estas regiones se caracterizan por sus eventos de precipitaciones de tipo torrencial, lo que propicia al arrastre de cantidades grandes de suelo y erosión de las zonas afectadas. Esta situación limita el desarrollo de las actividades agropecuarias por su productividad baja (Tarango-Arámbula, 2005).

En América Latina, México ocupa el tercer lugar en extensión territorial y el segundo lugar en población, la cual, según el INEGI para el año 2015 ya ascendía a casi 120 millones de habitantes. Solo un 10% de la superficie total del país se puede destinar a la producción agrícola, esto debido a que aproximadamente la mitad del territorio se considera zona árida o semiárida.

### **2.2 Salinidad**

Las áreas de suelo afectadas por los problemas de salinidad y sodicidad se distribuyen por todo el mundo; en México, este problema se presenta principalmente en zonas áridas que se cultivan mediante irrigación (Tarango-Arámbula, 2005). Los acuíferos costeros entran en contacto con el océano en condiciones naturales, el agua dulce se almacena y lentamente es descargada al mar; sin embargo, existen actividades antropológicas, como el riego, que extraen el agua de los acuíferos modificando la dinámica y ocasionando la entrada de flujo de agua salada, a este fenómeno se le conoce como intrusión salina (DGA, 2005). Al irrigar con el agua de dichas cuencas, las sales se acumulan en la zona radical de los cultivos, con evidentes repercusiones sobre el desarrollo de las plantas,

limitando considerablemente la productividad de los cultivos (González-Romero *et al.*, 2011). En México se encuentran alrededor de 100 millones de hectáreas de suelos con problemas de salinidad y sodicidad (Orosco-Alcalá, 2018).

La salinidad en el suelo se define como la presencia de sales más solubles que el yeso y se estima por medio de la capacidad de la solución del suelo para conducir la electricidad, a esto se le conoce como conductividad eléctrica (CE). El agua también tiene una capacidad de conducir electricidad por medio de las sales minerales que contiene. Las valoraciones de la CE proporcionan información de la cantidad de sales que presenta el suelo, el agua o cualquier otra solución. La lectura de la CE se realiza por medio de un conductímetro y las unidades que se utilizan son en  $\text{dSm}^{-1}$  (Flores-Lezama, 2005). En la tabla I podemos apreciar la clasificación de los suelos afectados por sales en base a su CE (SEMARNAT-SAGARPA, 2010).

**Tabla I.** Clasificación de los suelos afectados por sales.

<b>Condición de salinidad</b>	<b>de</b>	<b>Efecto sobre las plantas</b>	<b>CE (<math>\text{dSm}^{-1}</math>)</b>
Libres de sales		No hay restricciones para ningún cultivo	< 0.75
Muy bajo en sales		No hay restricciones para ningún cultivo	0.76 – 1.15
Muy salino	ligeramente	Afecta rendimiento de cultivos muy sensibles	1.16 – 2.00
Ligeramente salino		Afecta rendimiento de cultivos sensibles	2.01 – 4.00
Medianamente salino		Afecta rendimiento de casi todos los cultivos	4.01 – 8.00
Fuertemente salino		Pueden crecer cultivos tolerantes a la salinidad	8.01 – 12.00
Muy salino	fuertemente	Pueden crecer cultivos muy tolerantes a la salinidad	12.01 – 16.00
Extremadamente salino		Ningún cultivo agrícola crece rentablemente	> 16.00

Fuente: SEMARNAT-SAGARPA (2010).

El centro de conocimiento de la fundación salt farm a través de la página saline agriculture worldwide (2019) ha publicado una clasificación de aguas dependiendo de su contenido de NaCl y su conductividad eléctrica (Tabla II).

**Tabla II.** Clasificación de aguas.

Clasificación	C.E (dS m <sup>-1</sup> )	C.E (μS/cm)	mM NaCl	ppt	ppm	mg Cl <sup>-</sup> L <sup>-1</sup>
Agua dulce	0.8	800	8	0.5	500	280
Poco salobre	1.7	1700	7	1	1000	600
Medianamente salobre	1.7-8	1700-8000	17-80	1-5	1000-5000	600-2800
Salobre	8-25	8000-25000	80-250	5-15	5000-15000	2800-9000
Fuertemente salobre	25-58	25000-58000	250-580	15-35	15000-35000	9000-18000
Agua de mar	58	58000	580	35	35000	18000
Salmuera	>58	>58000	>580	>35	>35000	>18000

Fuente: Saline Agriculture Worldwide (2019).

### 2.3 Estrés salino y su efecto en la fisiología de las plantas

La sequía, la salinidad y las inundaciones son estreses abióticos que limitan en gran medida la producción de alimentos, provocando pérdidas de más de cien mil millones de dólares por año en el sector agrícola (Shabala *et al.*, 2015). El estrés salino inhibe el crecimiento de la planta; una característica importante de los vegetales en zonas salinas es una disminución en su crecimiento. La tasa de crecimiento parece estar inversamente relacionada a la capacidad de tolerar la salinidad (Alcaraz-Ariza, 2012). Los niveles elevados de cloruro de sodio (NaCl) en la solución del suelo provocan un estrés osmótico, dando como resultado una reducción en la tasa de expansión celular en el tejido en crecimiento y una apertura estomática menor, lo que limita la entrada de CO<sub>2</sub> (Shabala *et al.*, 2015; Alcaraz-Ariza, 2012). Una célula vegetal expuesta a un medio salino pierde agua para equilibrar su potencial hídrico, esto produce una disminución del potencial osmótico y el de turgencia (Martínez-Villavicencio *et al.*, 2011). Por otra parte, la extracción de agua por las raíces de las plantas se dificulta porque la concentración alta de sales en la solución del suelo incrementa las fuerzas potenciales que retienen al agua (Ben-Amor *et al.*, 2010).

La absorción excesiva de sodio ( $\text{Na}^+$ ) y de cloro ( $\text{Cl}^-$ ) normalmente se asocia con la toxicidad iónica y con un desequilibrio nutricional debido a la interferencia de los iones salinos con la absorción de los nutrientes esenciales que requiere la planta como el potasio ( $\text{K}^+$ ) (Martínez-Villavicencio *et al.*, 2011). Al ser el sodio un inhibidor enzimático, la glucólisis, el ciclo de Krebs y la fotofosforilación se afectan por las soluciones salinas, dando como resultado una menor disponibilidad de energía, adquisición de nutrientes y una disminución de la germinación de la semilla y del crecimiento de la planta (Ben-Amor *et al.*, 2010).

A lo largo de los años las plantas han desarrollado diferentes técnicas o adaptaciones para tolerar la salinidad. Se conoce como glicófitas a aquellas plantas que son susceptibles a la salinidad y como halófitas a todas aquellas que son nativas de suelos salinos y completan su ciclo vital en estos ambientes. Sin embargo, algunas glicófitas poseen mecanismos de adaptación para tolerar salinidades moderadas (Parra-Boronat, 2012). Estas adaptaciones se clasifican en fisiológicas, morfológicas y fenológicas. De las adaptaciones fisiológicas se incluye el retraso de la germinación y/o maduración ante condiciones desfavorables, engrosamiento de las cutículas para disminuir la transpiración y la selectividad a iones específicos para compensar desequilibrios. La disminución del tamaño foliar, la succulencia en tallos y hojas, la presencia de un parénquima acuífero, la reducción del número de nervios y estomas y el desarrollo de tricomas y glándulas excretoras de sal, son ejemplos de adaptaciones morfológicas. La adaptación fenológica para tolerar la salinidad es el retraso de la floración. A su vez, se ha realizado una clasificación de plantas en base a su comportamiento en ambientes salinos (Tabla III) (Alcaraz-Ariza, 2012).

**Tabla III.** Clasificación de las plantas de ambientes salinos.

<b>Denominación</b>	<b>Características</b>	<b>Ejemplos</b>
Euhalófitos	Acumulan sales en tejidos	<i>Arthrocnemum</i> , <i>Salicornia</i> , <i>Sarcocornia</i>
Criohalófitos	Glándulas o pelos excretorios	<i>Atriplex spongiosa</i> , <i>Limonium</i> , <i>Tamarix</i>
Glicohalófitos	Absorción selectiva de sales	<i>Hordeum</i> , <i>Rhizophora</i>
Locahalófitos	Confinan sal en estructuras especiales	<i>Atriplex halinus</i> , <i>Salsola oppositifolia</i>

Fuente: Alcaraz-Ariza (2012).

Otras formas de tolerancia son aquellas adaptaciones que están más ligadas al metabolismo y a procesos bioquímicos. Se ha encontrado que las plantas tolerantes regulan su ajuste osmótico para mantener la actividad enzimática y el transporte del floema, de esta manera se evita la deshidratación y por consecuencia la muerte. Este ajuste osmótico se encuentra relacionado con la síntesis de solutos orgánicos, como la betaína, glicina-betaína, prolina y sacarosa y/o a la acumulación de iones inorgánicos (Bargmann *et al.*, 2009). Algunas glicófitas tolerantes evitan el riesgo de toxicidad de iones restringiendo el movimiento de iones a los brotes mediante la limitación de la entrada de iones dentro de la raíz (Flowers y Colmer, 2008). Un mecanismo utilizado por algunas glicófitas es la mejora de la selectividad sodio-potasio, con una liberación preferente de potasio en el xilema o la reabsorción de sodio de la savia xilemática (Demidchik *et al.*, 2010). Este mecanismo confiere tolerancia a una salinidad de intensidad y duración moderada, porque las capacidades de almacenamiento de estas células son rápidamente saturadas. Para evitar la acumulación excesiva de sales en tejidos fotosintéticos, algunas plantas acumulan diferencialmente el NaCl en determinadas zonas de la hoja, en hojas maduras o en las raíces (Alcázar *et al.*, 2010).

## 2.3 Hidroponía

El término hidroponía procede de las palabras griegas *hydros* (agua) y *ponos* (labor, cultivo). El Diccionario de la Real Academia Española de la Lengua lo define como “cultivo de plantas en soluciones acuosas”. Se trata de un método basado en la teoría que los minerales son la principal alimentación de los vegetales. La FAO y la UNESCO (1969) subrayan la importancia del cultivo hidropónico en la economía agraria mundial, al constituir un instrumento vital en la lucha contra el hambre; para incrementar la producción y aprovechar áreas improductivas. Esta tecnología consiste en colocar el sistema radicular de la planta en un medio líquido con nutrientes, o en un sustrato relativamente inerte (grava arena o espuma de plástico) alimentado con la solución nutritiva (Samperio, 1997).

### 2.3.1 Absorción de minerales y remoción de nutrientes

La fitorremediación aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular o metabolizar componentes contaminantes en suelos y efluentes (Delgadillo-López *et al.*, 2011). Por lo tanto, la hidroponía por sus características, funciona como un sistema fito remediador, sustituyendo la solución nutritiva con el efluente a remediar y seleccionando plantas capaces de remover ciertos componentes como compuestos orgánicos y elementos e incluso metales pesados (Lozita-Theilig, 2015). En esta investigación las plantas de acelga se centran en remover los nutrientes provenientes de los desechos de los peces y a reducir la salinización del agua.

## 2.4 Acuaponia

Ante los desafíos para la producción de alimentos, se han generado propuestas, entre ellas la producción en el esquema de la acuaponía, la cual inició hace más de 2,500 años en Xochimilco, México, como chinampas aztecas donde se utilizaban sedimentos para formar una cama sobre algún cuerpo de agua donde

habitaban diversos organismos acuáticos que aportaban minerales a los cultivos establecidos. Las chinampas se reconocen como un agroecosistema tradicional donde se obtiene una cantidad alta y variada de productos. Hoy en día, la acuaponía se define como un sistema de recirculación acuícola (SRA) que combina la acuicultura con hidroponía. Los desechos producidos por algún organismo acuático; por lo general peces, son mineralizados por acción bacteriana para su uso en algún cultivo hidropónico. Las ventajas principales de este sistema es su uso eficiente del agua y el impacto bajo al ambiente porque se minimizan las descargas de efluentes acuícolas (Martínez-Yáñez, 2013).

Somerville *et al.* (2014) propone a la acuaponia como una solución a los problemas de seguridad alimentaria en las zonas rurales, por ser un sistema altamente eficiente. Algunos ejemplos de iniciativas de acuaponia se observan en países en desarrollo como Barbados, Brasil, Botswana, Etiopía, Ghana, Guatemala, Haití, India, Jamaica, Malaysia, México, Nigeria, Panamá, Filipinas, Tailandia y Zimbabwe. Hoy en día es muy común escuchar la palabra acuaponia en los congresos de hidroponía y acuicultura, muchos de estos paneles describen las inquietudes de los investigadores de diferentes ramas y especializaciones, los políticos responsables y otras partes interesadas en encontrar soluciones sostenibles que garanticen una producción de alimentos mayor para una población mundial creciente.

Por otra parte, la integración de la acuicultura salobre con la agricultura proporciona formas nuevas de producir alimentos en áreas costeras o propensas a la salinidad como las zonas áridas de México, donde la agricultura tradicional no es factible, a este tipo de sistema se le denomina acuaponia salina (Pantanella y Bhujel, 2015). A pesar de que el agua salada no es ideal para las plantas, limita su crecimiento y produce intoxicaciones por sodio, con estrategias agronómicas es posible cultivar plantas comestibles en un nivel bajo de salinidad. Uno de los desafíos mayores de la agricultura moderna es la adaptación de las plantas

hortícolas al agua salina. Sin embargo, es factible cultivar algunas especies hortícolas directamente con agua salobre. La mayoría de las plantas que pertenecen a la familia de las Chenopodiaceas (betabel, acelga) crecen fácilmente en una sexta a una tercera parte de la salinidad del mar (Somerville *et al.*, 2014). En la acuaponía salina los cultivos hortícolas reducen su rendimiento, pero su calidad mejora en aspectos como aumento en el porcentaje de materia seca, alargamiento de la vida de anaquel, aumento en la cantidad de sólidos solubles, así como incremento en antioxidantes (Pantarella y Bhujel, 2015).

### 2.5 La acelga (*Beta vulgaris* var. Cicla)

La acelga (*Beta vulgaris* var. Cicla) pertenece a la familia de las quenopodiáceas. También se le conoce como espinaca perpetua, remolacha marina o remolacha forrajera. Es una hortaliza de hoja, descendiente de *Beta vulgaris* sp. *Marítima*. Las primeras variedades de esta hortaliza se colectaron en Sicilia, Italia. Las hojas nuevas y frescas pueden consumirse crudas en ensaladas. Las hojas y los tallos maduros de la acelga son amargos; sin embargo; al cocinarse, el sabor se vuelve aún más suave que el de las espinacas. Las variedades más utilizadas en la agricultura son Lucullus, Fordhook Giant, Ruby Chard, Rainbow Chard y Rhubarb Chard, las cuales son de tallo rojizo. Todos los órganos de la acelga contienen ácido oxálico (Traunfeld *et al.*, 2010). La acelga, por su adaptación climática amplia (6°C a 33°C) se cultiva durante todo el año. La cosecha de esta especie puede ser de dos formas, recolectando la planta completa cuando muestre un tamaño comercial o bien recolectando las hojas a medida que estas van presentando un tamaño óptimo; en esta última forma de cosecha, es importante no dañar al punto de crecimiento, porque esto provoca la muerte de la planta; sin embargo, la producción será mayor (García-Zumel, 2013). Trinidad-Cruz (2006) menciona que otros autores reportan propiedades de bioacumulación en acelga para elementos como sodio, plomo y cadmio. A su vez, la familia de las quenopodiáceas posee especies identificadas como hiper-acumuladoras.

### 2.5.1 Respuesta a la salinidad

El agua salina puede utilizarse para la producción sustentable de acelga en un sistema hidropónico de raíz flotante. En la investigación desarrollada por Mwazi *et al.* (2010) y Adams y Ray (2018) los resultados muestran que la acelga posee cierta tolerancia al agua salina (5 ppt) porque no se observaron diferencias significativas entre la altura de planta, número de hojas y ancho de la hoja comparado con el grupo control; sin embargo, en el tratamiento de 10 ppt se presentó una reducción del crecimiento. *Beta vulgaris* var. *cicla* es una planta que tolera concentraciones superiores a 100 mM de NaCl e incluso se observa un efecto positivo en su crecimiento; sin embargo, en concentraciones mayores de 150 mM de NaCl, la planta se afecta en su morfometría, causando un efecto negativo en su crecimiento, aun así, su fisiología no se afecta (Hernández-Montiel, 2016).

Kim *et al.* (2002) en un estudio sobre adaptaciones y características fisiológicas de tres especies de quenopodiáceas cultivadas en ambientes salinos, compararon la respuesta de *Suaeda japonica*, *Salicornia herbacea* y *Beta vulgaris* var. *cicla* analizando el balance iónico y osmoregulaciones en un gradiente de salinidad. Las tres especies de quenopodiáceas acumularon sal en sus tejidos a diferencia de algunas especies sensibles a la salinidad, mostrando patrones de adaptación únicos para superar los ambientes salinos. Para *Salicornia herbácea*, la salinidad fue una estimulación fuerte del crecimiento, en *Suaeda japonica* se observó una respuesta negativa al crecimiento y *Beta vulgaris* var. *cicla* mostró una respuesta positiva en el crecimiento. La absorción de calcio se inhibió notablemente debido a la absorción excesiva de sodio al aumentar la salinidad. El contenido de potasio en las plantas se redujo significativamente al incrementar la salinidad. Se presentó una reducción en el contenido de nitrógeno a medida que aumentaban los nutrientes minerales y la salinidad.

Acorde con Papp *et al.* (1983) el efecto de la salinidad en la capacidad de acumulación de carbono en *Beta vulgaris* L., ocurre a través de la reducción en el área de la superficie fotosintética. La acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla* L.), remolacha (*Beta vulgaris* L. spp. *vulgaris*), romerito (*Suaeda edulis*) y verdolaga (*Portulaca oleracea*) se consideran como salt-loving plants, porque su crecimiento se promueve por la presencia de sodio, al incrementar la concentración de sodio se incrementa su crecimiento. En estas especies, el sodio promueve la succulencia de tallos y la expansión celular. Toma el papel del potasio manteniendo la presión de turgencia, también funciona como osmolito, beneficiando la absorción de agua. El ajuste osmótico en estas plantas se produce a través de la acumulación de betaína y prolina. Todas estas características no han podido explicarse por mecanismos de tolerancia a la salinidad (Yamada *et al.*, 2016).

#### 2.5.2 Capacidad de remoción de sales

Hernández-Montiel (2016) concluye que las plantas de acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla* L.) tienen la capacidad de remover sales de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  de la solución nutritiva hidropónica, porque observó que dichas sales disminuyeron ligeramente en las últimas semanas de experimentación en el medio hidropónico de cultivo. Asimismo, Kaburagi *et al.* (2014) concluyen que la presencia de sodio aumenta la absorción de nitratos en la acelga y esto puede relacionarse con la translocación del nitrato desde las raíces a las hojas.

#### 2.6 Absorción de minerales en condiciones de salinidad

Ciertos nutrientes esenciales para las plantas regulan su metabolismo incluso en condiciones de estrés, actuando como cofactores o activadores enzimáticos. Un ejemplo es el magnesio, componente de la clorofila, así como el hierro forma parte de la ferredoxina y de citocromos. La movilización, absorción y utilización de ciertos minerales por las plantas puede estar influenciado por las condiciones

adversas o favorables del crecimiento ambiental. Los nutrientes minerales generalmente desempeñan funciones celulares fundamentales. Por otra parte, los iones tóxicos interrumpen mecanismos celulares, compiten con elementos esenciales y los desplazan de los sitios funcionales y a su vez actúan como inhibidores enzimáticos (Alam, 1999).

El estrés por salinidad en ciertas condiciones reduce o promueve la absorción de nutrientes. La presencia simultánea de sales y minerales en la rizosfera influye en la absorción de minerales por las plantas y, por lo tanto, afectar su composición química. En un ambiente salino las plantas toman cantidades excesivas de sodio a costa de potasio y calcio. Las proporciones altas de  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  en una solución nutritiva salina puede causar un aumento de la permeabilidad de la membrana celular y esto puede dar como resultado la acumulación pasiva de Na y Cl en la raíz y parte aérea de las plantas afectadas por el estrés salino. La tolerancia a la salinidad de un cultivo depende en mayor medida a la eficiencia de las raíces, las cuales regulan el exceso de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ , reteniendo estos iones en los tejidos radiculares para impedir su paso a la parte aérea. El contenido alto de  $\text{Na}^+$  en la solución del suelo o solución nutritiva también tiene un efecto antagonista sobre la absorción del  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ . El sodio desplaza al calcio de las membranas de las células radiculares volviendo a la membrana disfuncional. La salinidad tiene un efecto inhibitor en la concentración de  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , sin embargo, también puede ser un estimulador sobre estos nutrientes. El potasio ( $\text{K}^+$ ) es un elemento citoplasmático elemental, porque participa en procesos de regulación osmótica y por su efecto competitivo con el  $\text{Na}^+$ , se considera importante en condiciones de salinidad. El potasio también tiene una relación importante en las respuestas mediadas por la turgencia, como la apertura estomática. En vainas de sorgo, se encontró que el  $\text{K}^+$  era el catión predominante y se sugiere que el ion  $\text{K}^+$  puede funcionar como contraión de  $\text{Na}^+$  contribuyendo así al ajuste osmótico en sorgo sometido a estrés salino (Alam, 1999).

## 2.7 Cultivos “baby-leaf”

Las hortalizas conocidas como “baby-leaf” no son una fase de desarrollo de la planta; este término se generó para comercializar a lo que se define como hortalizas de hoja cosechadas antes de completar su crecimiento. En resumen, son hojas jóvenes, cosechadas en una etapa muy temprana de maduración cuando aún poseen una actividad metabólica alta, a su vez, representan una fuente importante de minerales, vitaminas y antioxidantes (D’imperio *et al.*, 2016).

Las hortalizas “baby-leaf” constituyen una parte importante del mercado de los “ready to eat” o listos para comer. El término “baby-leaf” se refiere a las hojas jóvenes con peciolo de cualquier cultivo cosechado desde la primera hasta la octava hoja verdadera. El futuro de la acuaponía apunta a germinados, micro-greens y cultivos “baby-leaf”, por su costo bajo de mantenimiento, valor comercial y nutricional alto (Coroiu, 2017). Existen estudios sobre cultivos de hortalizas de hoja en medio acuapónico, pero son pocos los estudios que se han realizado sobre cultivos baby-leaf en acuaponía, como los desarrollados en Italia por Coriou (2017) y Nicoletto (2018), quienes implementaron un sistema NFT (nutrient film technique, por sus siglas en inglés) con agua proveniente de acuacultura para la producción de baby-leaf de mizuna (*Brassica rapa* var. niposinica) y arúgula (*Eruca vesicaria* ssp. sativa) y concluyen que, para un rendimiento óptimo de ambas especies, el efluente debe ser complementado con macro-nutrientes como fosforo y potasio.

Las hortalizas baby-leaf se cosechan en una etapa temprana de su desarrollo cuando el metabolismo es intenso, esto puede afectar la respuesta a la salinidad (Neocleous *et al.*, 2014).

Generalmente, una salinidad elevada del agua en los cultivos hidropónicos o acuaponicos limita el desarrollo de estos; sin embargo, se ha demostrado el efecto positivo de la salinidad durante el proceso de postcosecha de hortalizas “baby-

leaf”, alargando su vida útil. Otro beneficio es la reducción de nitratos, un aspecto importante para la producción de hortalizas de hojas, por sus efectos negativos sobre la salud humana (Fernández *et al.*, 2015). En la bibliografía revisada no se encontraron reportes previos que estudien la fisiología de cultivos baby-leaf en sistemas acuaponicos.

Este estudio está soportado por dos proyectos, el primero intitulado “Modelo de aprovechamiento y eficiencia máxima de agua salinizada acoplado a un sistema unidireccional de acuaponia-agricultura”, financiado por el fondo del CONACYT problemas nacionales 2017-I con número de identificación 4631 y el segundo proyecto intitulado “Desarrollo de acuaponia combinada con cultivo abierto adaptado a regiones áridas para la producción sustentable de alimentos”, cuyo título en inglés es “Development of aquaponics combined with open culture adapting to arid regions for sustainable food production”. Este proyecto binacional (México-Japón) está financiado por la Sociedad de Investigación en Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Sostenible (SATREPS), programa creado por la Agencia de Ciencia y Tecnología Japonesa (JSTA) en conjunto con la Agencia de Cooperación Internacional Japonesa (JICA). Estos proyectos surgen después del año de 1998, en que se constituyó un equipo de investigadores mexicanos y japoneses dedicados a formular proyectos para producir más alimento de forma sustentable en zonas áridas. En términos generales, la propuesta de ambos proyectos se basa precisamente en hacer incluyente y sostenible el recurso agua, a la vez que se producen alimentos de origen animal y vegetal, utilizando fuentes de energía renovables. El proyecto genera un modelo de relevancia científica y con originalidad en su planteamiento dado que no existe a nivel mundial un modelo que desarrolle conocimiento científico y tecnología de frontera para el aprovechamiento y eficiencia máxima de agua salinizada acoplado a un sistema unidireccional de acuaponia-agricultura. El proyecto está diseñado para la producción de alimentos fortalecidos en su sanidad e inocuidad mediante el modelo de aprovechamiento y eficiencia máxima del uso de agua subterránea

salinizada, acoplado a un sistema unidireccional que integra tres subsistemas de producción de alimentos: acuícola (peces y crustáceos), hidropónico (plantas comestibles con capacidad de absorber sales) y agrícola (cultivo en suelo con riego automatizado). El modelo propuesto evita la salinización progresiva del suelo, funciona con energía solar y se pretende que sea adoptado y consolidado en clúster para comunidades y productores de México. El modelo espera producir alimentos mejorados en su sanidad e inocuidad, la gestione integral del agua, evitar la salinización progresiva del suelo, aprovechamiento de energías renovables limpias, generación de conocimiento y tecnología de frontera que asegure su apropiación social al ser adoptado y consolidado en clúster para comunidades y productores. Lo anterior se logrará al implementar un sistema de producción de alimentos fortalecidos en su sanidad e inocuidad mediante un modelo de aprovechamiento y eficiencia máxima del uso de agua subterránea salinizada, acoplado a un sistema unidireccional que integre el sistema acuícola (peces y crustáceos), hidropónico (plantas comestibles con capacidad de absorber sales –fitorremediación-) y agrícola (cultivo en suelo con riego automatizado). La propuesta de ambos proyectos considera el cuidado al medio ambiente, la perspectiva de género, es decir, el impacto de este en las oportunidades de las personas, sus roles sociales y las interacciones que llevan a cabo, enfatiza en proyectos productivos sostenibles, el desarrollo de capacidades técnicas, productivas y comerciales, así como la integración de circuitos o clúster locales de producción, comercialización, inversión, financiamiento y ahorro y promueve el desarrollo de las capacidades productivas y creativas de niños, jóvenes, mujeres, personas de la tercera edad y de pequeños y medianos productores. El modelo está propuesto para que sea fácil de adoptar, cuyas actividades pueden desarrollarlas los niños, los jóvenes, las mujeres y personas de la tercera edad, quienes recibirán capacitación para operar los diferentes módulos o sistemas que integran el modelo.

El sistema modular integra seis grupos de trabajo para alcanzar los objetivos planteados. Específicamente este estudio se desarrolló en el módulo de cultivo en

medio hidropónico, cuyo objetivo es seleccionar especies vegetales con tolerancia a la salinidad (salt-loving plants), con valor comercial, aptas para consumo humano, con capacidad para remover sales ( $\text{Na}^+$ ) del agua, eficientes en la absorción e interacción con los nutrientes derivados del sistema acuícola y cultivadas en sistema hidropónico. En este módulo se pretende generar las bases científicas y conocimiento de frontera en el cultivo, manejo, nutrición, fisiología y producción de especies con tolerancia a salinidad con valor comercial y calidad nutritiva que se cultivan en módulo de sistema hidropónico con manejo orgánico para absorber el  $\text{Na}^+$  del agua y mejorar calidad, conectado con el sistema acuícola, con agua salobre, no apta para cultivar plantas. Un reto son las evidencias científicas que las salt-loving-plants absorben el  $\text{Na}^+$ , determinar los mecanismos por los que lo translocan, como se transforma en el interior de la planta y dónde se acumula; determinar los procesos fisiológicos involucrados; la información al respecto es limitada e hipotética.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

El uso de agua salobre para la producción de alimentos en sistemas acuaponicos se considera una solución factible para aumentar la seguridad alimentaria en zonas áridas. En estos sistemas, los cultivos tolerantes a la salinidad (salt-loving-plants) se utilizan con el objetivo de reducir los niveles de salinidad de los efluentes acuícolas. La acelga es una hortaliza de hoja, tolerante a la salinidad, pero su demanda de consumo de agua afecta la remediación y reutilización del efluente. La acelga tipo “baby-leaf” posee un requerimiento menor de agua; sin embargo, se requiere evaluar su fisiología en acuaponia salobre, así como cuantificar la absorción de sales, especialmente sodio. Este trabajo de investigación se inserta en los proyectos citados con antelación, por lo que se estima que tendrá un impacto científico al generar conocimiento en producción de alimentos aprovechando agua salobre. También se distingue un impacto tecnológico al contribuir en la solución del problema del aprovechamiento eficiente de agua salinizada. El impacto social se circunscribe a generar paquetes tecnológicos de alimentos aprovechando agua salinizada, acorde a condiciones ambientales y socioeconómicas de comunidades y productores. Se genera un impacto económico al contribuir al producto interno bruto e incrementar productividad de la cadena acuaponia-agricultura, reduciendo el impacto ambiental, al evitar contaminación de litorales y suelos, fomentar el aprovechamiento de agua salinizada, a la vez que se fortalece la política de cambio climático hacia economía competitiva, sustentable, resiliente y bajo carbono; se impulsa innovación y tecnología energética, manejo sustentable de recursos y actitud hacia el entorno ecológico.

#### **4. HIPÓTESIS**

Si la tasa de transpiración se relaciona positivamente con la absorción de  $\text{Na}^+$ , se espera que las hojas de tamaño menor (más jóvenes) de *Beta vulgaris* var. Cicla incrementen la translocación del  $\text{Na}^+$  y lo reduzcan del medio de cultivo hidropónico.

## 5. OBJETIVOS

### 5.1 Objetivo general

Evaluar el efecto del tamaño de corte de hoja en la fisiología y capacidad de absorción de minerales de *Beta vulgaris* var. cicla cultivada en medio hidropónico salinizado.

### 5.2 Objetivos particulares

- Evaluar características fisiológicas y morfométricas de plantas de *Beta vulgaris* var. cicla cosechadas a diferentes tamaños de hoja y cultivadas en medio hidropónico salinizado.
- Evaluar la capacidad de absorción de minerales de plantas de *Beta vulgaris* var. cicla cosechadas a diferentes tamaños de hoja y cultivadas en medio hidropónico salinizado.
- Evaluar el consumo de agua y los parámetros de calidad del medio hidropónico salinizado de plantas de *Beta vulgaris* var. cicla cosechadas a diferentes tamaños de hoja.

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 Descripción del sitio de estudio

El trabajo de investigación se realizó en el periodo de enero a abril de 2018, en las instalaciones del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR<sup>®</sup>), ubicado en la Ciudad de La Paz, Baja California Sur, dentro del módulo piloto BIOHELIS<sup>®</sup>, el cual está estructurado en tres secciones acuacultura, hidroponía y cultivo en suelo. El experimento se desarrolló en la sección de hidroponía, cuya estructura está protegida por una malla antiáfido blanco cristal de 10 × 12 hilos cm<sup>-2</sup>. Para el registro de las variables climatológicas (temperatura promedio, humedad relativa, precipitación, radiación solar y radiación fotosintéticamente activa) se instaló dentro de la estructura, una estación climatológica portátil (Vantage Pro2 Davis Instruments<sup>®</sup>, USA). La estación registró una temperatura promedio de 23.22° C, la humedad relativa promedio fue de 52.06%, la radiación solar fue de 181.95 watts m<sup>-2</sup>, la precipitación fue de 0.00 mm y la radiación fotosintéticamente activa fue de 422.83 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

### 6.2 Material vegetal

Las semillas de acelga (*Beta vulgaris* var. Cicla. L.) se obtuvieron en una empresa local de insumos agrícolas y la variedad utilizada fue Fordhook Giant.

### 6.3 Siembra y trasplante

La siembra se realizó el 25 de enero 2018 en charolas de germinación de poliestireno de 200 cavidades. En total se utilizaron cinco charolas sembrando una semilla por cada cavidad. El sustrato utilizado fue peat-moss<sup>®</sup>. El trasplante se realizó el 6 de marzo 2018 cuando las plántulas presentaron altura promedio de 3 cm, las plántulas se colocaron en una esponja para darles soporte, la esponja con la plántula se colocó en canastillas para hidroponía.

#### 6.4 Sistema hidropónico (raíz flotante)

El sistema hidropónico de raíz flotante se conformó por seis tinas rectangulares de fibra de vidrio con medidas de 1 m ancho x 2 m largo x 4 m de alto. Para el almacenamiento del agua, cada tina rectangular se conectó a una tina cilíndrica donde se depositaron 950 litros del efluente para cada unidad experimental. El efluente se recirculaba con ayuda de una bomba sumergible (Evans<sup>®</sup> de 18 W, modelo Aqua18W) la cual estaba colocada en la tina cilíndrica. La aireación u oxigenación de las tinas de cultivo, se efectuó con un tubo de Venturi conectado a la salida del efluente bombeado. Cada tina contaba con una placa de poliestireno de alta densidad (Foamular<sup>®</sup> 250, de 2 pulgadas de espesor) con 150 cavidades. El efluente provenía de una producción acuícola de robalo plateado (*Centropomus viridis*).

#### 6.5 Calidad del agua del pozo que suministra al módulo

Se analizó la calidad del agua del pozo que suministra al módulo de acuicultura. La temperatura fue de 26° C, la conductividad eléctrica fue de 6.27 dS m<sup>-1</sup>, el pH fue de 7.8. El pH y la temperatura se determinaron con un potenciómetro Thermo Scientific<sup>®</sup> Orion Star A221. La conductividad eléctrica se determinó con un conductímetro portátil (Thermo Scientific<sup>®</sup> Orion Star A222). También se analizaron el contenido de Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> y K<sup>+</sup>, cuyos valores fueron, Na<sup>+</sup> 890 ppm, Ca<sup>2+</sup> 450 ppm, K<sup>+</sup> 19 ppm. Se utilizaron medidores portátiles LAQUAtwin Na11 mod. B-722 para Na<sup>+</sup>, LAQUAtwin Ca11 mod. B-751 para Ca<sup>2+</sup> y LAQUAtwin K11 mod. B-731 para K<sup>+</sup> (Horiba<sup>®</sup>, Kioto).

#### 6.6 Calidad del agua del sistema acuícola

Se analizó la calidad del agua proveniente del sistema acuícola al momento de la transferencia; esta corresponde al agua de descarga posterior al cultivo de robalo plateado (*Centropomus viridis*). La conductividad eléctrica (CE) del agua

proveniente del sistema acuícola fue de  $6.3027 \text{ dS m}^{-1}$ , mientras que el valor del pH fue de 6.41, contenido de  $\text{Na}^+$  1144 ppm,  $\text{Ca}^{2+}$  2909 ppm,  $\text{K}^+$  51 ppm. El pH se determinó con un potenciómetro Thermo Scientific® Orion Star A221. La conductividad eléctrica se determinó con un conductímetro portátil (Thermo Scientific® Orion Star A222). La concentración de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{K}^+$ , se determinó con medidores portátiles LAQUAtwin Na11 mod. B-722 para  $\text{Na}^+$ , LAQUAtwin Ca11 mod. B-751 para  $\text{Ca}^{2+}$  y LAQUAtwin K11 mod. B-731 para  $\text{K}^+$  (Horiba®, Kioto, Japón).

### 6.7 Diseño experimental

El experimento se estableció en un diseño completamente al azar con dos tratamientos y tres repeticiones. El tratamiento uno consistió en realizar cortes (cosechas) de hojas con un tamaño aproximado de 10 cm (longitud desde la base al ápice) y el tratamiento dos consistió en realizar los cortes de hojas con un tamaño de 40 cm (longitud desde la base al ápice). Cada tina representó una unidad experimental. La altura de corte para las cosechas se determinó en base el tamaño promedio de la acelga comercial y baby-leaf de venta en los supermercados. Para el tratamiento uno, se acordó dejar crecer una hoja en cada planta para evitar que murieran a causa de las cosechas excesivas.

### 6.8 Evaluar características fisiológicas y morfométricas de plantas de *Beta vulgaris* var. Cicla cosechadas a diferentes tamaños de hoja y cultivadas en medio hidropónico salinizado

Para evaluar las características fisiológicas y morfométricas de plantas de *Beta vulgaris* var. Cicla cosechadas a diferentes tamaños de hoja y cultivadas en medio hidropónico salinizado, se midieron las variables, peso fresco y seco de hojas, área foliar, clorofila por el método indirecto (SPAD-502), fotosíntesis neta, tasa de transpiración, conductancia estomática, clorofila a, b y total por el método directo (laboratorio), contenido relativo de agua y potencial hídrico.

### 6.8.1 Peso fresco y seco de hoja

Después de cada cosecha de hojas, la biomasa total cosechada se trasladó al laboratorio para determinar el peso fresco de la cosecha con una balanza (AND<sup>®</sup> HF-6000G). De cada cosecha se tomaron 10 hojas al azar por cada unidad experimental. El peso fresco se determinó con una balanza analítica (Mettler<sup>®</sup> Toledo, modelo AG204). Para determinar el peso seco, cada hoja se colocó en una bolsa de papel y se introdujeron a una estufa de secado (Terlab<sup>®</sup> TE-H80DM) a 70°C durante 48 h. El peso seco se registró en una balanza analítica (Mettler<sup>®</sup> Toledo, modelo AG204).

### 6.8.2 Área foliar

De cada cosecha se tomaron 10 hojas al azar por cada unidad experimental. El valor del área foliar de las hojas seleccionadas se determinó con un equipo integrador de área foliar LI-3000A (Li-Cor<sup>®</sup> Bioscience, Lincoln, NE, USA).

### 6.8.3 Clorofila por el método indirecto (SPAD-502)

La clorofila también se cuantificó por el método indirecto, utilizando un equipo portátil SPAD-502 (Minolta<sup>®</sup>, Tokio, Japón). De cada unidad experimental se eligieron dos plantas, a las cuales se les seleccionaron hojas completamente sanas y fotosintéticamente activas. Las lecturas se realizaron en tres diferentes puntos de la hoja, registrándose el valor promedio.

### 6.8.4 Tasa fotosintética, tasa de transpiración y conductancia estomática

Estas variables se analizaron cada semana. Se incluyeron la tasa fotosintética ( $P_n$ ,  $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ ), la tasa de transpiración ( $E$ ,  $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ ), la conductancia estomática ( $g_s$ ,  $\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$ ), el  $\text{CO}_2$  intercelular ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1}$ ), el DPV basado en la temperatura foliar (kpa) y la temperatura de la hoja calculada (°C) utilizando

un equipo portátil de fotosíntesis LI-6400XTP (Li-Cor<sup>®</sup>, NE, USA). De cada unidad experimental se escogieron dos plantas, de cada planta se seleccionó una hoja completamente sana y fotosintéticamente activa. El registro de las variables se realizó entre las 12:00 y las 14:00 horas.

#### 6.8.5 Clorofila *a*, *b* y *total* por el método directo

La clorofila *a*, *b* y *total* de las hojas de acelga, se determinó cada semana, seleccionando para ello, una hoja completamente sana y fotosintéticamente activa de una planta por cada unidad experimental. De cada hoja, se cortaron tres círculos de material vegetal (previamente lavado con agua destilada), utilizando un sacabocado de 1.3 cm de diámetro. Los tres círculos se colocaron en un tubo de ensayo con una solución de acetona al 80% y se dejaron reposar por 72 h en oscuridad. La lectura se realizó por medio de un espectrofotómetro UV (Hach<sup>®</sup> DR-3900) y las concentraciones de clorofila se calcularon usando la siguiente ecuación:

$$Chl\ a\ (ug\ cm^2) = [12.70 \times (A663) - 2.6 \times (A645)]/3.9 \quad (1)$$

$$Chl\ b\ (ug\ cm^2) = [(A645) \times 22.9 - (A663) \times 4.68]/3.9 \quad (2)$$

$$Chl\ total\ (ug\ cm^2) = (Chl\ a + Chl\ b)/3.9 \quad (3)$$

Donde:

(A663) y (A645) representan los valores de absorbancia 663 y 645 nm de longitud de onda.

#### 6.8.6 Contenido relativo de agua

El contenido relativo de agua (CRA) del tejido vegetal se determinó semanalmente mediante el método de Yamasaki y Dillenburg (1999). De cada unidad experimental se seleccionó una planta y se eligió una hoja completamente sana y fotosintéticamente activa. De cada hoja, se tomaron tres discos foliares que se

obtuvieron con la ayuda de un sacabocados de 17 mm de diámetro. El peso fresco (PF), peso turgente (PT) y peso seco (PS) de los discos foliares se determinó con una balanza analítica (Mettler® Toledo, modelo AG204). Posteriormente los discos se colocaron en una caja Petri de plástico con agua destilada por un periodo de por 24 h, con el fin de obtener el peso turgente (PT). Para obtener el peso seco (PS) los discos foliares se colocaron en una estufa (Terlab® TE-H80DM) a 70° C por 48 h. El CRA se determinó mediante la ecuación:

$$CRA(\%) = \left[ \frac{PF-PS}{PT-PS} \right] \times 100 \quad (4)$$

Donde:

PF= peso fresco; PT= peso turgente; PS= peso seco

#### 6.8.7 Potencial hídrico

EL potencial hídrico (MPa) de la hoja se determinó cada semana. Para ello, se seleccionó una planta por cada unidad experimental, a la cual se le eligió una hoja sana, del tamaño de cosecha correspondiente (10 y 40 cm) y sin presencia de alteraciones. Las mediciones se realizaron al mediodía solar. El potencial hídrico se determinó mediante un equipo de laboratorio (WP4-T, Decagon® Devices) el cual opera bajo el principio del punto de rocío.

#### 6.9 Evaluar la capacidad de absorción de minerales de hojas de *Beta vulgaris* var. Cicla cosechadas a diferentes tamaños de hoja y cultivadas en medio hidropónico salinizado

Para evaluar la capacidad de absorción de minerales de plantas de acelga cosechadas a diferentes tamaños de hoja y cultivadas en medio hidropónico salinizado, se pulverizaron las muestras secas provenientes de cada cosecha y cada unidad experimental. De cada muestra se pesó entre 0.200 g y 0.250 g y se colocaron en matraces Erlenmeyer de 50 mL. Se sometieron a un proceso de

digestión ácida, agregando a cada matraz 15 mL de una solución stock (200 mL ácido sulfúrico, 2000 mL de ácido nítrico y 800 mL de ácido perclórico). Las muestras con la solución stock se dejaron reposar por 3 h aproximadamente para posteriormente colocarlas en una placa de calentamiento, la cual se programó para que alcanzara una temperatura de 350°C. Una porción de la solución se evaporó dejando 1 mL de una solución incolora, la cual se transfirió a un matraz de 50 mL para aforar con agua destilada hasta dicha cantidad. De la solución final de 50 mL se realizaron diluciones (1:5000, 1:25000, 1:2500, 1:500), respectivamente, para cuantificar los iones sodio, magnesio, potasio y calcio (Na, Mg, K y Ca) por medio de un espectrofotómetro de absorción atómica (Hitachi® Z-2300, Japón). La absorción de minerales en hojas se estimó multiplicando el peso seco (PS) de hojas por la concentración del mineral ( $\text{mg g}^{-1}$  PS). Estos análisis se realizaron en el laboratorio de nutrición vegetal de la Universidad de Tottori, Japón.

Para evaluar la translocación del sodio, se utilizó la fórmula del factor de concentración del flujo de la transpiración (TSCF), mediante la ecuación siguiente:

$$TSCF Na = \frac{Na \text{ en plantas (mg)} / \text{transpiración (L)}}{Na \text{ en medio acuaponico (mg/L)}} \quad (5)$$

6.10 Evaluar el consumo de agua y los parámetros de calidad del medio hidropónico salinizado de plantas de *Beta vulgaris* var. cicla cosechadas a diferentes tamaños de hoja

Para evaluar el consumo de agua de plantas de acelga, se realizaron mediciones semanales de la altura del agua contenida en el tanque de almacenamiento.

Con estos datos se calculó el volumen de agua perdida ( $\text{L dia}^{-1}$ ) mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen de agua (L)} = [(\text{área del fondo del tanque (cm}^2) \times \text{altura del agua (cm)})] / 1000 \quad (6)$$

$$\text{Volumen de agua perdida (L dia}^{-1}) = (\text{volumen de agua 1} - \text{volumen de agua 2}) / 7 \quad (7)$$

Los parámetros de calidad, conductividad eléctrica (C.E.), sólidos totales disueltos (TDS), Salinidad, pH y temperatura se evaluaron diariamente durante el experimento. El pH y la temperatura se determinaron con un potenciómetro Thermo Scientific® Orion Star A221. La conductividad eléctrica, TDS y salinidad se determinaron con un conductímetro portátil (Thermo Scientific® Orion Star A222). Se tomaron muestras semanalmente para determinar la concentración de Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> y K<sup>+</sup> por medio de un espectrofotómetro de absorción atómica (Hitachi® Z-2300, Japón). Se realizaron diluciones 1:500 para cuantificar los iones de Na<sup>+</sup> y Ca<sup>2+</sup>, para K<sup>+</sup> se realizaron diluciones 1:10.

#### 6.11 Análisis estadístico

Se realizaron análisis de varianza, considerando como fuente principal de variación (una vía o un factor) los tratamientos (dos tamaños de corte). En las variables que mostraron diferencias significativas entre los tratamientos, se realizó comparación de medias (Tukey HSD  $p=0.05$ ). El nivel de significancia estadístico para todos los análisis se definió con un  $\alpha=0.05$ . Se realizaron análisis de correlación mediante el método de Pearson ( $p=0.05$ ). Todos los análisis se realizaron con el programa Statistica® ver. 7.0 para Windows® (StatSoft, Inc., 2011).

## 7. RESULTADOS

### 7.1 Evaluar características fisiológicas y morfométricas de plantas de *Beta vulgaris* var. cicla cosechadas a diferentes tamaños de hoja y cultivadas en medio hidropónico salinizado

El análisis de varianza mostró que las variables fisiológicas tasa fotosintética neta, conductancia estomática, tasa de transpiración,  $\text{CO}_2$  intercelular, DPV basado en la temperatura foliar, temperatura de la hoja, los valores de clorofila por el método indirecto (SPAD-502) y el potencial hídrico, no presentaron diferencias significativas entre los tamaños de corte de hoja (Tabla IV). Sin embargo, la tasa fotosintética neta ( $P_n$ ,  $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ ), DPV basado en la temperatura foliar, temperatura de la hoja, los valores de clorofila por el método indirecto (SPAD-502) así como el  $\text{CO}_2$  intercelular ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1}$ ) mostraron valores ligeramente superiores en hojas cosechadas con una longitud de 40 cm. El potencial hídrico, mostró valores más negativos en las hojas de 40 cm de longitud (Tabla V). Lo contrario mostraron la tasa de transpiración ( $E$   $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ ) y la conductancia estomática ( $g_s$ ,  $\text{mmol m}^2 \text{s}^{-1}$ ) las cuales presentaron valores superiores en las hojas cosechadas de tamaño baby-leaf (10 cm) (Tabla V). El contenido de clorofila a, b y total, así como el contenido relativo de agua mostraron diferencias significativas entre los tamaños de corte de hoja (Tabla IV), presentando valores superiores en las hojas cosechadas con una longitud de 40 cm (Tabla V). Las variables morfométricas peso fresco y seco de hoja, área foliar y biomasa total mostraron diferencias significativas entre tamaños de corte de hoja (Tabla IV). Los valores de todas las variables mencionadas fueron mayores en las hojas cuyo tamaño fue de 40 cm de longitud (Tabla V).

**Tabla IV.** Análisis de varianza (cuadrados medios) para variables fisiológicas y morfométricas de plantas de acelga cuyas hojas se cosecharon a diferentes tamaños (10 y 40 cm).

FV	gl	Tasa fotosintética neta	Conductancia estomática	Tasa de transpiración	CO <sub>2</sub> intercelular	Peso fresco	Peso seco	Área foliar	Biomasa total
Tamaño de hoja	1	0.033 ns	0.0843 ns	2.006 ns	437.00 ns	3,585.69**	19.80**	457,922.30**	11,206,940.00**
Error	25	16.20	0.0483	5.702	1,938.00	53.86	0.31	4,808.30	310,453.00
FV	gl	DPV basada en la temperatura foliar	Temperatura de la hoja	Valores de clorofila método SPAD-502	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total	Contenido relativo de agua	Potencial hídrico
Tamaño de hoja	1	0.6589ns	5.55ns	9.805ns	97.42*	44.48**	273.56**	689.90**	0.9226ns
Error	25	0.2901	2.48	4.743	14.19	1.30	22.54	66.68	0.7514

FV= fuente de variación, gl= grados de libertad. ns= no significativo. \*= significancia estadística a una  $p \leq 0.05$ , \*\*= significancia estadística a una  $p \leq 0.01$

**Tabla V.** Valores promedio de variables fisiológicas y morfométricas de plantas de acelga cuyas hojas se cosecharon a diferentes tamaños (10 y 40 cm).

Tamaño de hoja (cm)	Tasa fotosintética neta ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Conductancia estomática ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Tasa de transpiración ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	CO <sub>2</sub> intercelular ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1}$ )	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	Área foliar ( $\text{cm}^2$ )	Biomasa total (g)
10 (Baby-leaf)	14.24 a	0.5793 a	10.40 a	286.36 a	1.87 b	0.17 b	32.34 b	2647.46 b
40 (Conven.)	14.31 a	0.4669 a	9.85 a	294.45 a	25.06 a	1.89 a	294.43 a	5380.83 a
Tamaño de hoja (cm)	DPV basada en la temperatura foliar (Kpa)	Temperatura de la hoja (°C)	Valores de clorofila método SPAD-502	Clorofila a ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ )	Clorofila b ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ )	Clorofila total ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ )	Contenido relativo de agua (%)	Potencial hídrico (MPa)
10 (Baby-leaf)	2.43 a*	31.62 a	32.67 a	19.49 b	5.95 b	25.44 b	52.32 b	-3.4113 a
40 (Conven.)	2.75 a	32.53 a	35.23 a	23.31 a	8.53 a	31.84 a	62.49 a	-3.7833 a

\*Valores promedio en columnas con letras diferentes son diferentes estadísticamente (Tukey HSD  $p=0.05$ ). Conven=tamaño de hoja convencional (comercial)

## 7.2 Evaluar la capacidad de absorción de minerales de plantas de *Beta vulgaris* var. cicla cosechadas a diferentes tamaños de hoja y cultivadas en medio hidropónico salinizado

El contenido de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$  en la hoja mostraron diferencias significativas entre el tamaño de corte de hoja (Tabla VI). El valor promedio superior del contenido de  $\text{Na}^+$  se presentó en el tamaño de hoja convencional de 40 cm, siendo dos veces mayor que en el tamaño de hoja baby-leaf (10 cm) (Tabla VII). El contenido de  $\text{Mg}^+$  y  $\text{Ca}^+$  también fue superior en las hojas de 40 cm (Tabla VII), mientras que el contenido de  $\text{K}^+$  fue mayor en el tamaño de hoja baby-leaf de 10 cm de longitud (Tabla VII).

**Tabla VI.** Análisis de varianza (cuadrados medios) para el contenido de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$  en hojas de acelga cosechadas a diferentes tamaños (10 y 40 cm).

FV	gl	$\text{Na}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$
Tamaño de hoja	1	6.7236E+08**	3,207,191.00*	5.5935E+07*	4,172,150.00*
Error	4	8.0277E+05	134,074.00	4.05103E+06	391,709.00

FV= fuente de variación, gl= grados de libertad, \*= significancia estadística a una  $p \leq 0.05$ , \*\*= significancia estadística a una  $p \leq 0.01$

**Tabla VII.** Valores promedio del contenido de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$  en hojas de acelga cosechadas a diferentes tamaños (10 y 40 cm).

Tamaño de hoja (cm)	$\text{Na}^+$ (mg)	$\text{Mg}^{2+}$ (mg)	$\text{K}^+$ (mg)	$\text{Ca}^{2+}$ (mg)
Baby-leaf (10 cm)	10,084.90 b	4,844.75 b	19,945.56 a	2,923.51 b
Convencional (40 cm)	31,256.59 a	6,306.98 a	13,838.98 b	4,591.27 a

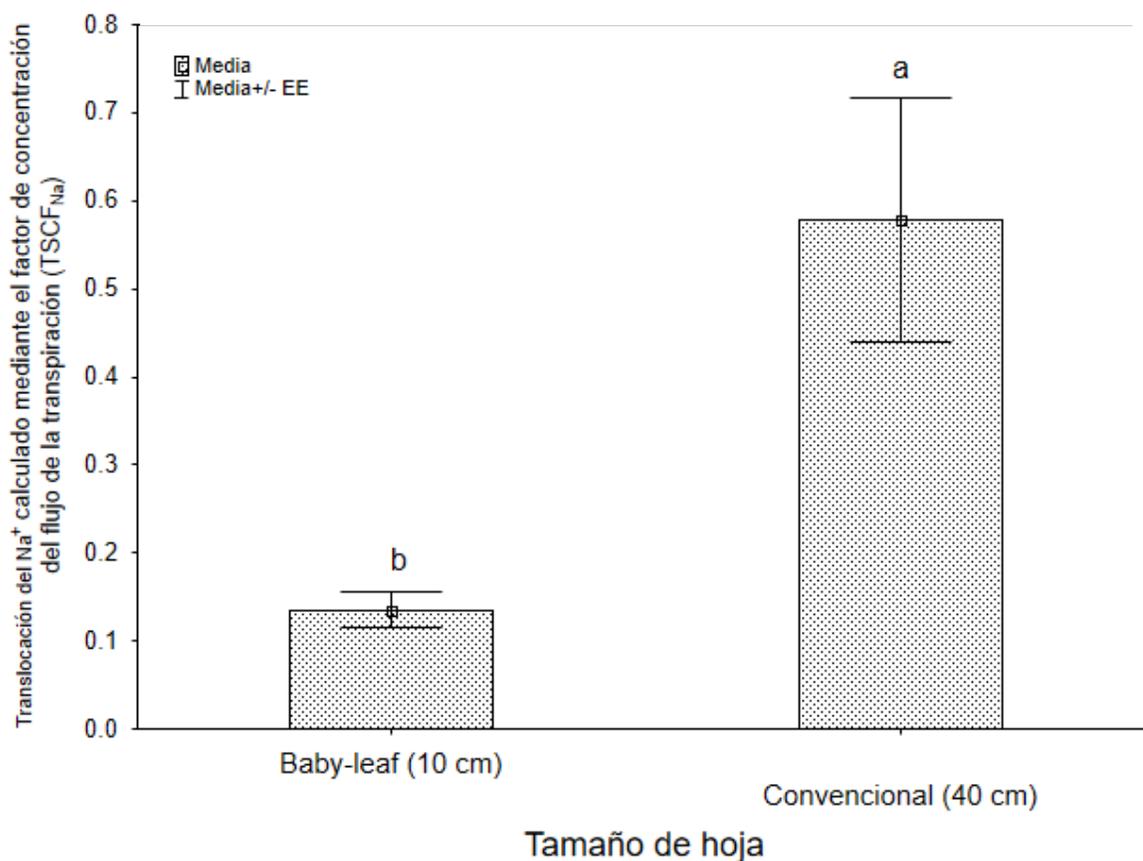
Medias en columnas con letras diferentes son diferentes estadísticamente (Tukey HSD  $p=0.05$ ).

La translocación del  $\text{Na}^+$  calculada mediante el factor de concentración del flujo de la transpiración (TSCF) mostró diferencias significativas entre el tamaño de hoja (Tabla VIII), observándose una tasa de translocación de  $\text{Na}^+$  mayor en las hojas de 40 cm (Fig. 1).

**Tabla VIII.** Análisis de varianza (cuadrados medios) para la translocación del  $\text{Na}^+$  calculada mediante el factor de concentración del flujo de la transpiración ( $\text{TSCF}_{\text{Na}}$ ) en acelga cuyas hojas se cosecharon a diferentes tamaños (10 y 40 cm).

FV	gl	$\text{TSCF}_{\text{Na}}$
Tamaño de hoja	1	1.912091**
Error	61	0.058112

FV= fuente de variación, gl= grados de libertad, \*\*= significancia estadística a una  $p \leq 0.01$

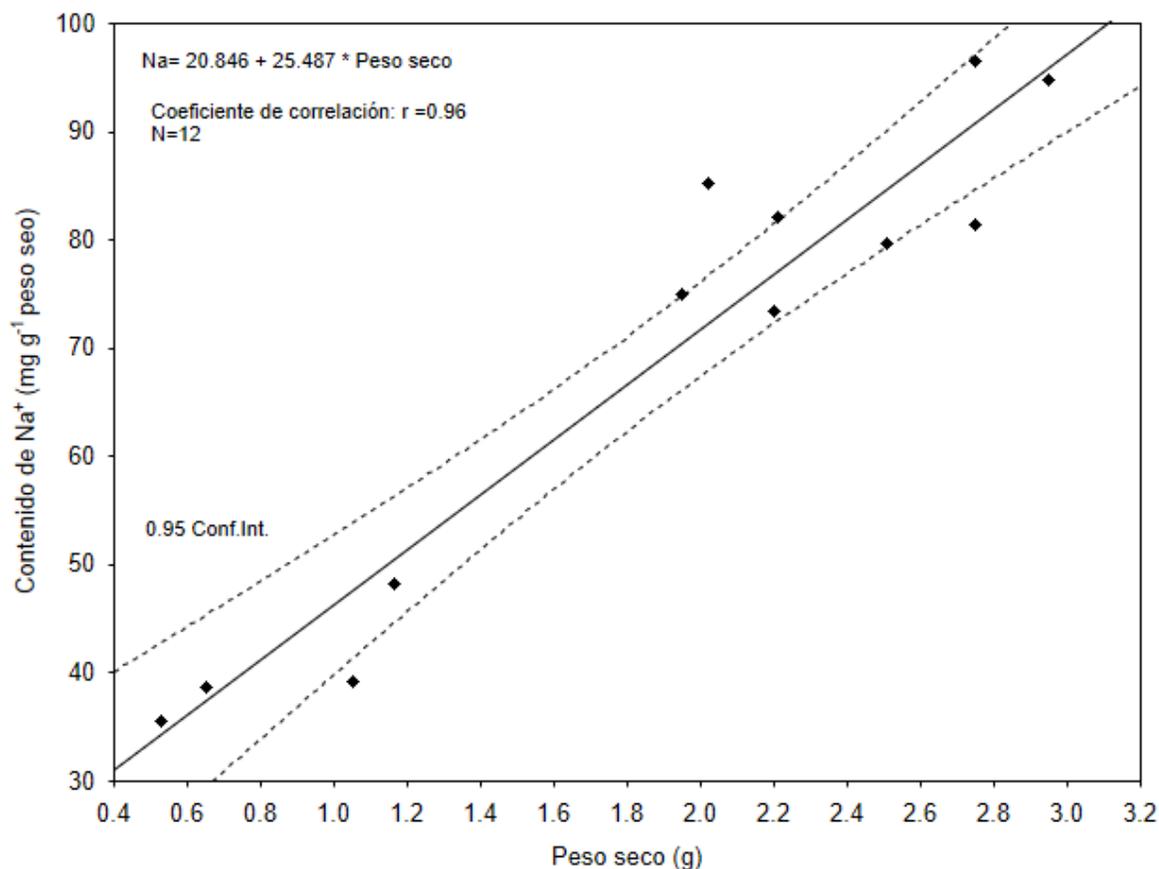


**Figura 1.** Valores promedio de la translocación del  $\text{Na}^+$  calculado mediante el factor de concentración del flujo de transpiración ( $\text{TSCF}_{\text{Na}}$ ). Letras diferentes son diferentes estadísticamente (Tukey HSD  $p=0.05$ ).

El coeficiente de correlación entre el contenido de  $\text{Na}^+$  en la hoja y el peso seco de la hoja mostró un valor significativo y positivo en hojas de tamaño convencional

(40 cm) observándose que a medida que el peso seco de la hoja incrementó, también el contenido de  $\text{Na}^+$  en la hoja incrementó (Fig. 2).

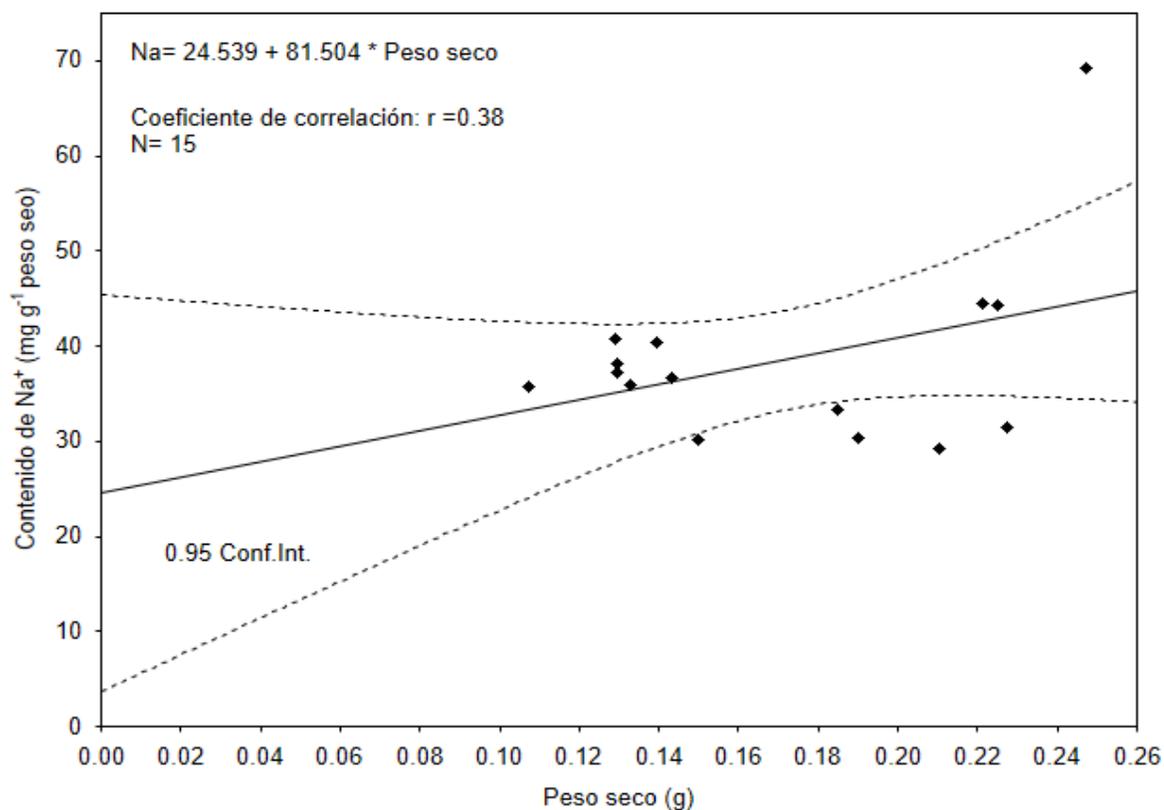
En hojas de tamaño baby-leaf, el coeficiente de correlación entre el contenido de  $\text{Na}^+$  en la hoja y el peso seco mostró un valor positivo, pero no significativo (Fig. 3).



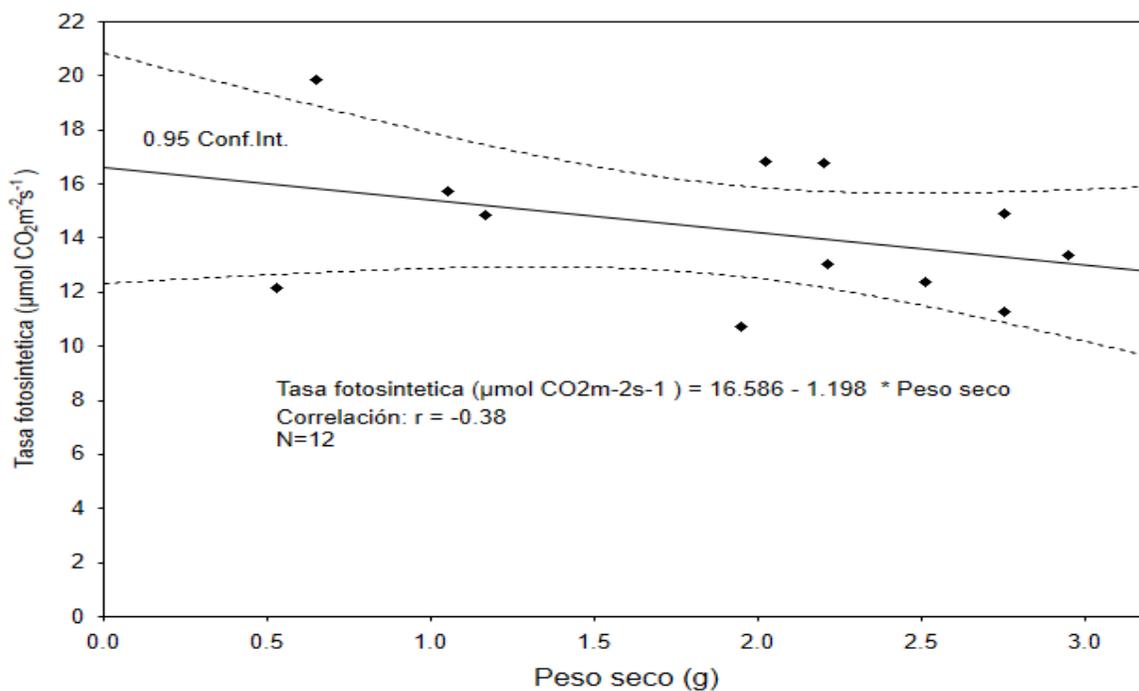
**Figura 2.** Relación entre el peso seco de hojas (g) cosechadas de tamaño convencional (40 cm) y el contenido de  $\text{Na}^+$  en el tejido de la hoja.

El valor del coeficiente de correlación entre el peso seco y la tasa fotosintética neta ( $P_n$ ) de hojas de tamaño convencional (40 cm), mostró un valor negativo, pero no fue significativo estadísticamente (Fig. 4), mientras que en hojas de tamaño baby-leaf (10 cm) mostró un valor negativo y significativo estadísticamente, demostrando que conforme el peso seco de la hoja aumentó en

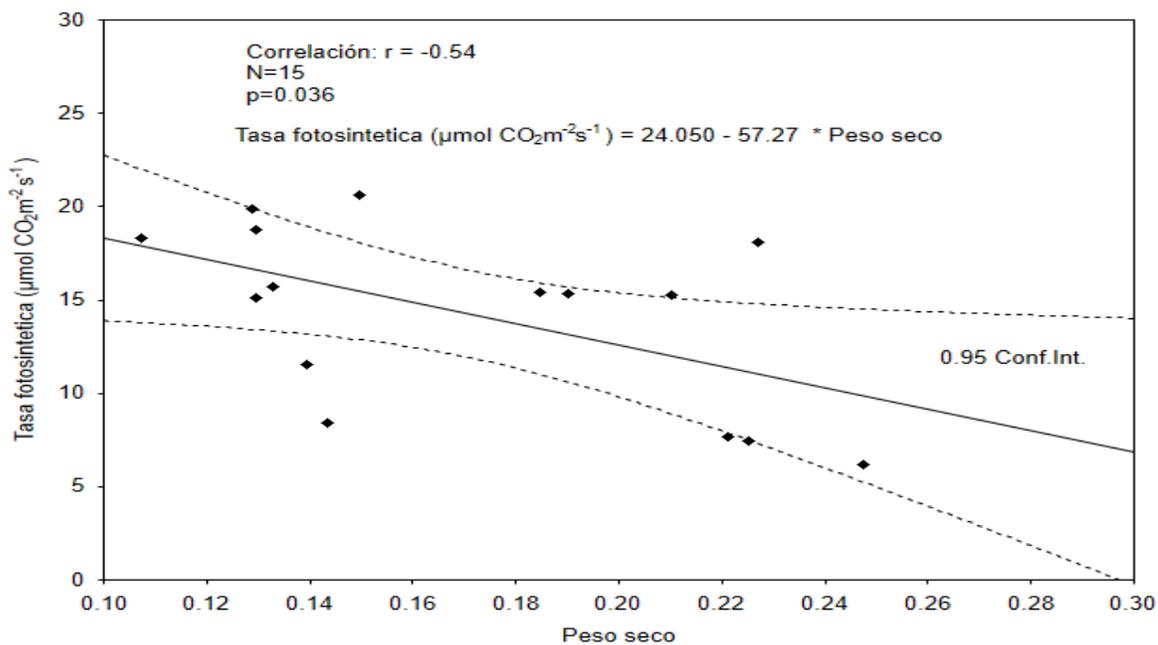
las hojas de tamaño baby-leaf, la tasa fotosintética disminuyó en la misma proporción de incremento del peso seco (Fig. 5).



**Figura 3.** Relación entre el peso seco de hojas (g) cosechadas de tamaño baby-leaf (10 cm) y el contenido de Na<sup>+</sup> en el tejido de la hoja.



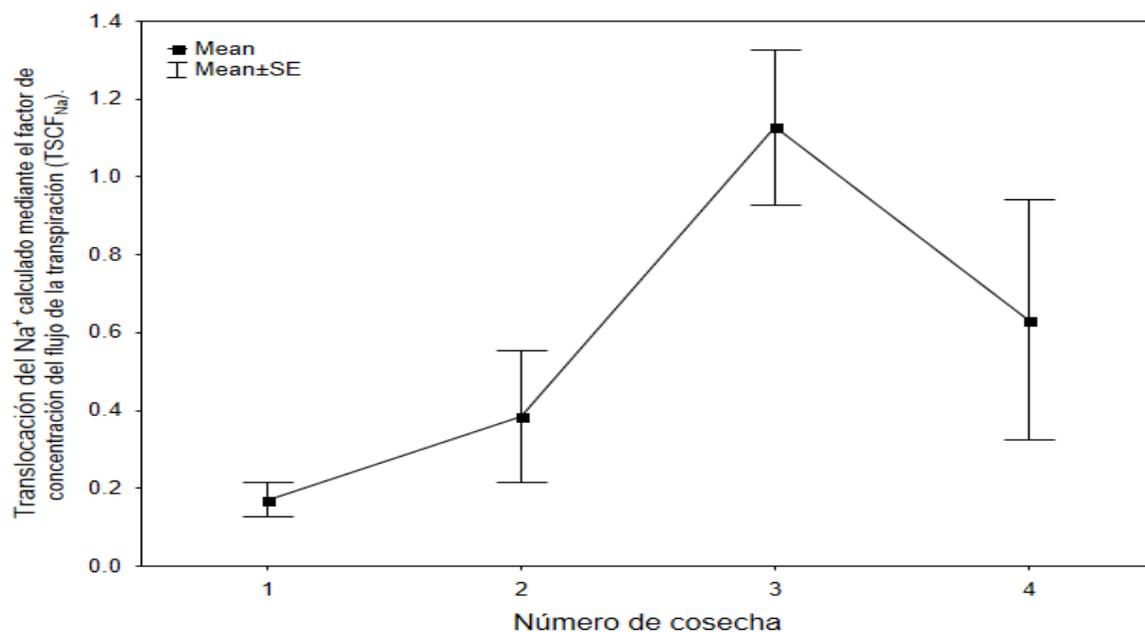
**Figura 4.** Relación entre el peso seco de hojas (g) y la tasa fotosintética neta (Pn) de hojas cosechadas de tamaño convencional (40 cm).



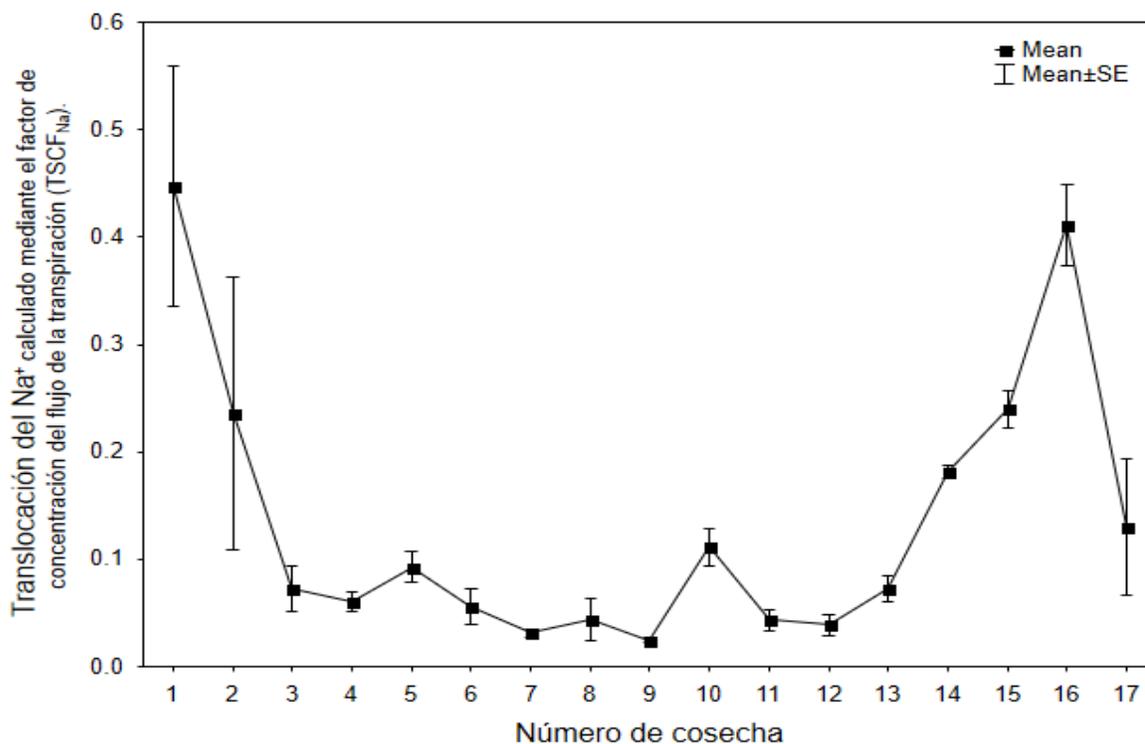
**Figura 5.** Relación entre el peso seco de hojas (g) y la tasa fotosintética neta (Pn) de hojas cosechadas de tamaño baby-leaf (10 cm).

La translocación del  $\text{Na}^+$  calculado mediante el factor de concentración del flujo de la transpiración ( $\text{TSCF}_{\text{Na}}$ ) en hojas de acelga cosechadas de tamaño convencional (40 cm) mostró que el contenido de  $\text{Na}^+$  fue menor en la cosecha número 1 (27 de marzo de 2018) e incrementó conforme se realizaron las cosechas número 2 (6 de abril de 2018), número 4 (23 de abril de 2018) y número 3 (16 de abril de 2018) (Fig. 6).

Por su parte, la translocación del  $\text{Na}^+$  calculado mediante el factor de concentración del flujo de la transpiración ( $\text{TSCF}_{\text{Na}}$ ) en hojas de acelga cosechadas de tamaño baby-leaf (10 cm) mostró que el contenido de  $\text{Na}^+$  fue mayor en la cosecha número 1 (20 de marzo de 2018), seguido por el número de cosecha 16 (16 de abril de 2018), número 15 (13 de abril de 2018), número 2 (21 de marzo de 2018) y número 14 (11 de abril de 2018). Para el resto de las cosechas, el contenido de  $\text{Na}^+$  disminuyó significativamente (Fig. 7).



**Figura 6.** Translocación del  $\text{Na}^+$  a través del tiempo (cosechas) en hojas de acelga tamaño convencional (40 cm).



**Figura 7.** Translocación del  $\text{Na}^+$  a través del tiempo (cosechas) en hojas de acelga tamaño baby-leaf (10 cm).

### 7.2.1 Análisis de correlación entre variables fisiológicas, morfométricas y contenido mineral en hojas de *Beta vulgaris* var. cicla cosechadas a diferentes tamaños y cultivadas en medio hidropónico salinizado

La tabla IX muestra la matriz de correlación entre las variables fisiológicas y morfométricas de las hojas cosechadas como baby-leaf (10 cm). La tasa de transpiración se correlacionó positivamente con la conductancia estomática, la tasa fotosintética neta y el  $\text{CO}_2$  intercelular; sin embargo, esta correlación fue negativa con el DPV basado en la temperatura foliar, así como con el peso seco. La conductancia estomática presentó valores positivos del coeficiente de correlación con la tasa fotosintética neta y con el  $\text{CO}_2$  intercelular, pero mostró valores negativos del coeficiente de correlación con temperatura foliar y con el DPV basado en la temperatura foliar. El área foliar se correlacionó de manera positiva con el peso fresco, el peso seco y con el potencial hídrico. El contenido de clorofila *a* mostró una correlación positiva con el contenido de clorofila *b*. La tasa

fotosintética neta presentó una correlación positiva con el  $\text{CO}_2$  intercelular y con el peso seco. El coeficiente de correlación fue negativo entre el DPV basado en la temperatura foliar con la tasa fotosintética neta y con el  $\text{CO}_2$  intercelular. La correlación del DPV basado en la temperatura foliar y la temperatura foliar fue positiva. El  $\text{CO}_2$  intercelular mostró una correlación negativa con el peso seco. Los valores de la clorofila indirecta (valores de SPAD) se correlacionaron significativamente y de manera positiva con el  $\text{CO}_2$  intercelular. El peso fresco mostró una correlación positiva con el potencial hídrico y el peso seco.

La tabla X corresponde a la matriz de correlación entre las variables fisiológicas y morfométricas de las hojas cosechadas a un tamaño convencional (40 cm). Se presentó una correlación significativa y positiva entre la tasa de transpiración con la conductancia estomática, el CRA, la tasa fotosintética y el  $\text{CO}_2$  intercelular. La conductancia estomática se correlacionó positivamente con la tasa fotosintética neta, la conductancia estomática con el DPV basado en la temperatura foliar, mientras que el peso fresco y el peso seco se correlacionaron negativamente. El área foliar se correlacionó positivamente con el peso fresco, peso seco, temperatura foliar y DPV basado en temperatura foliar. El contenido de clorofila *a* y clorofila *b* se correlacionaron significativa y positivamente, al igual que el contenido de clorofila *a* con el contenido de clorofila indirecta (valores de SPAD). El DPV basado en la temperatura foliar se correlacionó positivamente con la temperatura foliar y con el peso seco y negativamente con el  $\text{CO}_2$  intercelular. El  $\text{CO}_2$  intercelular se correlacionó con valores negativos con el peso seco. La correlación del peso fresco con el DPV basado en la temperatura foliar y con el peso seco fue positiva, mientras que el peso fresco y  $\text{CO}_2$  intercelular mostraron un coeficiente de correlación negativo.

La matriz de correlación del contenido mineral de hojas cosechadas como baby-leaf (10 cm) se presenta en la tabla XI. En hojas de este tamaño, el  $\text{Na}^+$  y el  $\text{Mg}^{2+}$  mostraron un coeficiente de correlación significativo y positivo. En hojas cosechadas de tamaño convencional (40 cm) se presentaron tres correlaciones

significativas, el  $\text{Na}^+$  y el  $\text{Mg}^{2+}$  con un coeficiente de correlación negativo al igual que el  $\text{Na}^+$  y el  $\text{K}^+$ , mientras que el  $\text{K}^+$  y el  $\text{Mg}^{2+}$  mostraron una correlación positiva (Tabla XI).

Si la tasa de transpiración se relaciona positivamente con la absorción de  $\text{Na}^+$ , se espera que las hojas de tamaño menor (más jóvenes) de *Beta vulgaris* var. Cicla incrementen la translocación del  $\text{Na}^+$  y lo reduzcan del medio de cultivo hidropónico.

La matriz de correlación de la tasa de transpiración y el contenido de  $\text{Na}^+$  en las hojas cosechadas de tamaño baby-leaf (10 cm) y convencional (40 cm) se presenta en la tabla XII. El coeficiente de correlación entre la tasa de transpiración y el contenido de  $\text{Na}^+$  en las hojas de los dos tamaños de cosecha no fue significativo cuando los análisis de correlación se realizaron por separado. Asimismo, este coeficiente tampoco mostró valores significativos cuando el análisis se realizó con la base de datos de ambos tamaños de cosecha. Sin embargo, en todos los casos, el valor del coeficiente de correlación fue negativo.

**Tabla IX.** Matriz de correlación entre variables fisiológicas, morfométricas y contenido mineral de plantas de acelga cuyas hojas se cosecharon como baby-leaf (10cm). El valor superior representa el valor del coeficiente de correlación y el valor inferior el valor de la probabilidad ( $p$ ).

	<i>E</i>	<i>gs</i>	<i>AF</i>	<i>CRA</i>	<i>Chla</i>	<i>Chlb</i>	<i>Chltot</i>	<i>SPAD</i>	<i>PF</i>	<i>Pn</i>	<i>DPV</i>	<i>T</i>	<i>CO<sub>2</sub></i>	<i>PH</i>	<i>PS</i>	<i>TSCF<sub>Na</sub></i>
<i>E</i>	1.00	0.83	-0.49	0.04	0.08	0.08	0.08	0.34	-0.50	0.85	-0.63	-0.15	0.71	-0.12	-0.58	-0.47
	---	0.000	0.062	0.884	0.771	0.787	0.770	0.208	0.060	0.000	0.011	0.588	0.003	0.665	0.022	0.075
<i>gs</i>	0.83	1.00	-0.24	0.33	0.16	0.19	0.17	0.38	-0.28	0.85	-0.90	-0.56	0.76	0.01	-0.44	-0.43
	0.000	---	0.397	0.225	0.561	0.507	0.537	0.157	0.307	0.000	0.000	0.031	0.001	0.963	0.100	0.111
<i>AF</i>	-0.49	-0.24	1.00	0.37	0.05	0.02	0.04	-0.36	0.98	-0.32	0.02	-0.31	-0.48	0.58	0.92	0.53
	0.062	0.397	---	0.175	0.874	0.949	0.890	0.183	0.000	0.239	0.938	0.254	0.071	0.022	0.000	0.043
<i>CRA</i>	0.04	0.33	0.37	1.00	0.12	0.18	0.14	0.51	0.38	0.40	-0.50	-0.40	0.40	0.10	0.13	-0.32
	0.884	0.225	0.175	---	0.668	0.520	0.622	0.053	0.166	0.139	0.053	0.140	0.144	0.713	0.636	0.236
<i>Chla</i>	0.08	0.16	0.04	0.12	1.00	0.87	0.99	0.48	0.04	-0.03	-0.14	-0.05	0.10	0.10	0.09	-0.05
	0.771	0.561	0.874	0.668	---	0.000	0.000	0.069	0.878	0.902	0.625	0.868	0.715	0.710	0.744	0.856
<i>Chlb</i>	0.08	0.19	0.02	0.18	0.87	1.00	0.92	0.48	0.01	0.11	-0.24	-0.26	0.20	0.23	0.06	-0.11
	0.787	0.507	0.949	0.520	0.000	---	0.000	0.068	0.958	0.702	0.382	0.348	0.479	0.471	0.820	0.694
<i>Chltot</i>	0.08	0.17	0.04	0.14	0.99	0.92	1.00	0.49	0.04	0.00	-0.17	-0.10	0.13	0.14	0.09	-0.07
	0.770	0.537	0.890	0.622	0.000	0.000	---	0.061	0.895	0.999	0.551	0.718	0.646	0.624	0.757	0.811
<i>SPAD</i>	0.34	0.38	-0.36	0.51	0.48	0.48	0.49	1.00	-0.34	0.40	-0.28	0.08	0.64	-0.41	-0.43	-0.64
	0.208	0.157	0.183	0.053	0.069	0.068	0.061	---	0.212	0.139	0.317	0.783	0.009	0.129	0.107	0.011
<i>PF</i>	-0.50	-0.28	0.98	0.38	0.04	0.01	0.04	-0.34	1.00	-0.35	0.08	-0.23	-0.49	0.54	0.95	0.53
	0.060	0.307	0.000	0.166	0.878	0.958	0.895	0.212	---	0.201	0.772	0.416	0.066	0.037	0.000	0.044
<i>Pn</i>	0.85	0.85	-0.32	0.40	-0.03	0.11	0.00	0.40	-0.35	1.00	-0.80	-0.45	0.76	0.02	-0.54	-0.53
	0.000	0.000	0.239	0.139	0.902	0.702	0.999	0.139	0.201	---	0.000	0.096	0.001	0.953	0.036	0.041
<i>DPV</i>	-0.63	-0.90	0.02	-0.50	-0.14	-0.24	-0.17	-0.28	0.08	-0.80	1.00	0.81	-0.76	-0.22	0.27	0.36
	0.011	0.000	0.938	0.056	0.625	0.382	0.551	0.317	0.772	0.000	---	0.000	0.001	0.421	0.324	0.188
<i>T</i>	-0.15	-0.56	-0.31	-0.40	-0.05	-0.26	-0.10	0.08	-0.23	-0.45	0.81	1.00	-0.39	-0.45	-0.10	0.06
	0.588	0.031	0.254	0.140	0.868	0.348	0.718	0.783	0.416	0.096	0.000	---	0.153	0.093	0.717	0.822
<i>CO<sub>2</sub></i>	0.71	0.76	-0.48	0.40	0.10	0.20	0.13	0.64	-0.49	0.76	-0.76	-0.39	1.00	-0.23	-0.62	-0.76
	0.003	0.001	0.071	0.144	0.715	0.479	0.646	0.009	0.066	0.001	0.001	0.153	---	0.413	0.013	0.001
<i>PH</i>	-0.12	0.01	0.58	0.10	0.10	0.23	0.14	-0.41	0.54	0.02	-0.22	-0.45	-0.23	1.00	0.46	0.41
	0.665	0.963	0.022	0.713	0.710	0.417	0.624	0.129	0.037	0.953	0.421	0.093	0.413	---	0.085	0.126
<i>PS</i>	-0.58	-0.44	0.92	0.13	0.09	0.06	0.09	-0.43	0.95	-0.54	0.27	-0.10	-0.62	0.46	1.00	0.59
	0.022	0.100	0.000	0.636	0.744	0.820	0.757	0.107	0.000	0.030	0.324	0.717	0.013	0.085	---	0.020
<i>TSCF<sub>Na</sub></i>	-0.47	-0.43	0.53	-0.33	-0.05	-0.11	-0.07	-0.64	0.53	-0.53	0.36	0.06	-0.76	0.41	0.59	1.00
	0.075	0.111	0.043	0.236	0.856	0.694	0.811	0.011	0.044	0.041	0.188	0.822	0.001	0.126	0.020	---

Significancia a  $p < 0.05$ ;  $N=15$ ; *E*: Tasa de transpiración; *gs*: conductividad estomática; *AF*: área foliar; *CRA*: contenido relativo de agua; *Chl a*: clorofila a; *Chl b*: clorofila b; *Chl tot*: clorofila total; *PF*: peso fresco; *Pn*: tasa fotosintética; *DPV<sub>temp foliar</sub>*: déficit de presión de vapor basada en la temperatura foliar; *T*: Temperatura de la hoja, *CO<sub>2</sub>*: *CO<sub>2</sub>* intercelular, *PH*: potencial hídrico; *PS*: peso seco, *TSCF<sub>Na</sub>*: factor de concentración del flujo de la transpiración.

**Tabla X.** Matriz de correlación entre variables fisiológicas, morfométricas y contenido mineral de plantas de acelga cuyas hojas se cosecharon como convencional (40cm). El valor superior representa el valor del coeficiente de correlación y el valor inferior el valor de la probabilidad (*p*).

	<i>E</i>	<i>gs</i>	<i>AF</i>	<i>CRA</i>	<i>Chl a</i>	<i>Chl b</i>	<i>Chltot</i>	<i>SPAD</i>	<i>PF</i>	<i>Pn</i>	<i>DPV</i>	<i>T</i>	<i>CO<sub>2</sub></i>	<i>PH</i>	<i>PS</i>	<i>TSCF<sub>Na</sub></i>
<i>E</i>	1.00	0.86	-0.26	0.65	0.04	0.14	0.06	-0.14	-0.42	0.69	-0.43	0.16	0.58	0.36	-0.43	-0.19
	---	0.000	0.422	0.022	0.904	0.663	0.843	0.671	0.169	0.013	0.164	0.608	0.049	0.247	0.164	0.549
<i>gs</i>	0.86	1.00	-0.42	0.46	0.35	0.29	0.35	0.28	-0.58	0.66	-0.60	-0.07	0.52	0.31	-0.59	-0.42
	0.000	---	0.168	0.134	0.270	0.361	0.271	0.380	0.047	0.019	0.039	0.832	0.079	0.318	0.041	0.175
<i>AF</i>	-0.26	-0.42	1.00	-0.15	0.09	0.48	0.18	-0.24	0.97	-0.26	0.72	0.65	-0.55	-0.46	0.96	0.68
	0.422	0.168	---	0.643	0.780	0.115	0.564	0.453	0.000	0.413	0.009	0.023	0.065	0.136	0.000	0.014
<i>CRA</i>	0.65	0.46	-0.15	1.00	-0.27	-0.17	-0.26	-0.24	-0.34	0.19	0.01	0.38	0.44	-0.03	-0.32	-0.01
	0.022	0.134	0.643	---	0.394	0.588	0.418	0.450	0.286	0.557	0.973	0.224	0.157	0.921	0.303	0.972
<i>Chl a</i>	0.04	0.35	0.09	-0.27	1.00	0.80	0.99	0.79	0.07	0.14	-0.07	0.09	-0.11	-0.20	0.02	-0.19
	0.904	0.270	0.780	0.394	---	0.002	0.000	0.002	0.829	0.672	0.827	0.769	0.729	0.534	0.938	0.552
<i>Chl b</i>	0.14	0.29	0.48	-0.17	0.80	1.00	0.88	0.48	0.41	0.04	0.07	0.28	-0.05	-0.30	0.36	0.24
	0.663	0.361	0.115	0.588	0.002	---	0.000	0.115	0.186	0.892	0.839	0.382	0.867	0.341	0.249	0.449
<i>Chltot</i>	0.06	0.35	0.18	-0.26	0.99	0.87	1.00	0.75	0.15	0.12	-0.04	0.14	-0.10	-0.23	0.10	-0.10
	0.843	0.271	0.564	0.418	0.000	0.000	---	0.005	0.636	0.711	0.898	0.661	0.751	0.470	0.745	0.766
<i>SPAD</i>	-0.14	0.28	-0.24	-0.24	0.79	0.48	0.75	1.00	-0.23	-0.07	-0.26	-0.28	0.03	-0.14	-0.26	-0.28
	0.671	0.380	0.453	0.450	0.002	0.115	0.005	---	0.474	0.824	0.405	0.380	0.914	0.663	0.422	0.383
<i>PF</i>	-0.42	-0.58	0.97	-0.34	0.07	0.41	0.15	-0.23	1.00	-0.36	0.74	0.57	-0.61	-0.46	0.99	0.65
	0.169	0.047	0.000	0.286	0.829	0.186	0.636	0.474	---	0.254	0.005	0.055	0.034	0.137	0.000	0.021
<i>Pn</i>	0.69	0.66	-0.26	0.19	0.14	0.04	0.12	-0.07	-0.36	1.00	-0.45	-0.05	0.03	0.41	-0.38	-0.27
	0.013	0.019	0.413	0.557	0.672	0.892	0.711	0.824	0.254	---	0.146	0.881	0.935	0.179	0.227	0.403
<i>DPV</i>	-0.43	-0.60	0.72	0.01	-0.07	0.06	-0.04	-0.26	0.74	-0.44	1.00	0.80	-0.64	-0.48	0.73	0.51
	0.164	0.039	0.009	0.973	0.827	0.839	0.898	0.405	0.005	0.146	---	0.002	0.024	0.116	0.007	0.087
<i>T</i>	0.16	-0.07	0.65	0.38	0.09	0.28	0.14	-0.28	0.57	-0.05	0.80	1.00	-0.35	-0.35	0.54	0.36
	0.608	0.832	0.023	0.224	0.769	0.382	0.661	0.380	0.055	0.881	0.002	---	0.266	0.264	0.070	0.254
<i>CO<sub>2</sub></i>	0.58	0.52	-0.55	0.44	-0.11	-0.05	-0.10	0.03	-0.61	0.03	-0.64	-0.35	1.00	0.40	-0.59	-0.22
	0.049	0.079	0.065	0.157	0.729	0.867	0.751	0.914	0.034	0.935	0.024	0.266	---	0.202	0.042	0.498
<i>PH</i>	0.36	0.31	-0.46	-0.03	-0.20	-0.30	-0.23	-0.14	-0.46	0.41	-0.48	-0.35	0.40	1.00	-0.47	0.00
	0.247	0.318	0.136	0.921	0.534	0.341	0.470	0.663	0.137	0.179	0.116	0.264	0.202	---	0.124	0.996
<i>PS</i>	-0.43	-0.60	0.96	-0.32	0.02	0.36	0.10	-0.26	0.99	-0.38	0.73	0.54	-0.59	-0.47	1.00	0.62
	0.164	0.041	0.000	0.303	0.938	0.249	0.745	0.422	0.000	0.227	0.007	0.070	0.042	0.124	---	0.031
<i>TSCF<sub>Na</sub></i>	-0.19	-0.42	0.68	-0.01	-0.19	0.24	-0.10	-0.28	0.65	-0.27	0.51	0.36	-0.22	0.002	0.62	1.00
	0.549	0.175	0.014	0.972	0.552	0.449	0.766	0.383	0.021	0.403	0.087	0.254	0.498	0.996	0.031	---

Significancia a  $p < 0.05$ ;  $N=12$ ; *E*: Tasa de transpiración; *gs*: conductividad estomática; *AF*: área foliar; *CRA*: contenido relativo de agua; *Chl a*: clorofila a; *Chl b*: clorofila b; *Chl tot*: clorofila total; *PF*: peso fresco; *Pn*: tasa fotosintética; *DPV<sub>temp foliar</sub>*: déficit de presión de vapor basada en la temperatura foliar; *T*: Temperatura de la hoja, *CO<sub>2</sub>*: *CO<sub>2</sub>* intercelular, *PH*: potencial hídrico; *PS*: peso seco, *TSCF<sub>Na</sub>*: factor de concentración del flujo de la transpiración.

**Tabla XI.** Matriz de correlación del contenido de Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> (mg g<sup>-1</sup> peso seco) y TSCF<sub>Na</sub> de plantas de acelga cuyas hojas se cosecharon de tamaño baby-leaf (10 cm) y convencional (40 cm). El valor superior representa el valor del coeficiente de correlación y el valor inferior el valor de la probabilidad (p).

		Tamaño baby-leaf (10 cm)				
	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	TSCF <sub>Na</sub>	
Na <sup>+</sup>	1.00	0.78	-0.12	0.06	0.57	
	---	0.001	0.668	0.836	0.026	
Mg <sup>2+</sup>	0.78	1.00	-0.07	0.08	0.41	
	0.001	---	0.815	0.782	0.132	
K <sup>+</sup>	-0.12	-0.07	1.00	-0.04	0.19	
	0.668	0.815	---	0.880	0.491	
Ca <sup>2+</sup>	0.06	0.08	-0.04	1.00	0.48	
	0.836	0.782	0.880	---	0.073	
TSCF <sub>Na</sub>	0.57	0.41	0.19	0.48	1.00	
	0.026	0.132	0.491	0.073	---	
		Tamaño convencional (40 cm)				
	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	TSCF <sub>Na</sub>	
Na <sup>+</sup>	1.00	-0.81	-0.97	-0.14	0.66	
	---	0.001	0.000	0.668	0.019	
Mg <sup>2+</sup>	-0.81	1.00	0.79	0.34	-0.85	
	0.001	---	0.002	0.281	0.000	
K <sup>+</sup>	-0.97	0.79	1.00	-0.00	-0.67	
	0.000	0.002	---	0.995	0.016	
Ca <sup>2+</sup>	-0.14	0.34	-0.00	1.00	-0.36	
	0.668	0.281	0.995	---	0.245	
TSCF <sub>Na</sub>	0.66	-0.85	-0.67	-0.36	1.00	
	0.019	0.000	0.016	0.245	---	

Significancia a  $p < 0.05$ ; N=15 para baby-leaf; N=12 para tamaño convencional; TSCF<sub>Na</sub>: translocación del sodio mediante el factor de concentración del flujo de la transpiración (TSCF).

**Tabla XII.** Matriz de correlación de la tasa de transpiración y el contenido de Na<sup>+</sup> de plantas de acelga cuyas hojas se cosecharon de tamaño baby-leaf (10 cm) y convencional (40 cm). El valor superior representa el valor del coeficiente de correlación y el valor inferior el valor de la probabilidad (*p*).

		Tamaño baby-leaf (10 cm)	
		E	Na <sup>+</sup>
E		1.00	-0.46
		---	0.82
Na <sup>+</sup>		-0.46	1.00
		0.82	---
		Tamaño convencional (40 cm)	
		E	Na <sup>+</sup>
E		1.00	-0.28
		---	0.38
Na <sup>+</sup>		-0.28	1.00
		0.38	---
		Baby leaf (10 cm) + convencional (40 cm)	
		E	Na <sup>+</sup>
E		1.00	-0.31
		---	0.12
Na <sup>+</sup>		-0.31	1.00
		0.12	---

Significancia a  $p < 0.05$ ; N=15 para baby-leaf; N=12 para tamaño convencional; N=27 para baby-leaf+convencional. E: Tasa de transpiración.

7.3 Evaluar el consumo de agua y los parámetros de calidad del medio hidropónico salinizado de plantas de *Beta vulgaris* var. cicla cosechadas a diferentes tamaños de hoja

#### 7.3.1 Consumo de agua

El análisis de varianza del consumo de agua mostró diferencias significativas entre los tamaños de hoja (Tabla XIII). El consumo de agua fue mayor en las tinas donde se cultivaron las acelgas cuyas hojas se cosecharon de tamaño convencional (40 cm) respecto a las hojas cosechadas del tamaño baby-leaf (10 cm) (Tabla XIV). Por tal motivo se realizó un segundo traspaso de agua (efluente) proveniente del módulo del cultivo de los peces (módulo acuícola) en las tinas donde se cultivaron las acelgas cuyas hojas se cosecharon de un tamaño convencional (40 cm).

**Tabla XIII.** Análisis de varianza (cuadrados medios) para el consumo de agua en acelga cuyas hojas se cosecharon a diferentes tamaños (10 y 40 cm).

<b>FV</b>	<b>gl</b>	<b>Consumo de agua</b>
Altura de corte	1	64,466.20*
Error	4	1,282.30

FV= fuente de variación, gl= grados de libertad, \*= significancia estadística a una  $p \leq 0.05$ .

**Tabla XIV.** Valores promedio del consumo de agua en acelga cuyas hojas se cosecharon a diferentes tamaños (10 y 40 cm).

<b>Altura de corte</b>	<b>Consumo de agua (L)</b>
Baby leaf (10 cm)	269.70 b
Convencional (40 cm)	477.01 a

Medias en columnas con letras diferentes son diferentes estadísticamente (Tukey HSD  $p=0.05$ ).

### 7.3.2 Parámetros de calidad del agua de cultivo

El análisis de varianza para conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales (TDS) y salinidad del agua de cultivo mostraron diferencias significativas entre los tamaños de corte de hoja, observándose que la conductividad eléctrica, los sólidos disueltos totales y la salinidad (Tabla XV) mostraron valores promedio superiores en las tinas donde se cultivaron las acelgas cuyas hojas se cosecharon de tamaño convencional (Tabla XVI). El pH y la temperatura del agua no mostraron diferencias significativas entre los tamaños de corte de hoja (Tabla XV).

El análisis de varianza mostró diferencias significativas para la concentración final de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{K}^+$  del agua de cultivo entre tamaños de corte de hoja (Tabla XVII). Los valores promedio de estos minerales fueron mayores en las tinas donde se cultivaron plantas cuyas hojas se cosecharon de un tamaño convencional (40 cm) (Tabla XVIII).

**Tabla XV.** Análisis de varianza (cuadrados medios) para la conductividad eléctrica (C.E), pH, sólidos disueltos totales (TDS) y salinidad del agua de cultivo de acelga cuyas hojas se cosecharon a diferentes tamaños (10 y 40 cm).

<b>FV</b>	<b>gl</b>	<b>C.E.</b>	<b>pH</b>
Tamaño de hoja	1	24.30**	0.000ns
Error	192	0.98	1.155
<b>FV</b>	<b>gl</b>	<b>TDS</b>	<b>Salinidad</b>
Tamaño de hoja	1	5.994**	11.191**
Error	186	0.234	0.447
<b>FV</b>	<b>gl</b>	<b>Temperatura del agua de cultivo</b>	
Tamaño de hoja	1	0.0 ns	
Error	178	1.5	

FV= fuente de variación, gl= grados de libertad, ns= no significativo, \*\*= significancia estadística a una  $p \leq 0.01$

**Tabla XVI.** Valores promedio de conductividad eléctrica (C.E.), pH, sólidos disueltos totales (TDS) y salinidad del agua de cultivo de acelga cuyas hojas se cosecharon a diferentes tamaños (10 y 40 cm).

<b>Tamaño de hoja (cm)</b>	<b>C.E. (mS/cm)</b>	<b>pH</b>	<b>TDS (ppt)</b>	<b>Salinidad (psu)</b>	<b>Temperatura del agua de cultivo (°C)</b>
Baby-leaf (10 cm)	7.22 b	5.13 a	3.55 b	4.02 b	24.02 a
Convencional (40 cm)	7.93 a	5.13 a	3.91 a	4.51 a	24.03 a

Medias en columnas con letras diferentes son diferentes estadísticamente (Tukey HSD  $p=0.05$ ).

**Tabla XVII.** Análisis de varianza (cuadrados medios) para la concentración final de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{K}^+$  en el agua de cultivo de acelga cuyas hojas se cosecharon a diferentes tamaños (10 y 40 cm).

<b>FV</b>	<b>gl</b>	<b><math>\text{Na}^+</math></b>	<b><math>\text{Ca}^{2+}</math></b>	<b><math>\text{K}^+</math></b>
Tamaño de hoja	1	343,404 *	3,405,067 *	3105.38 **
Error	4	33,604	206,042	89.81

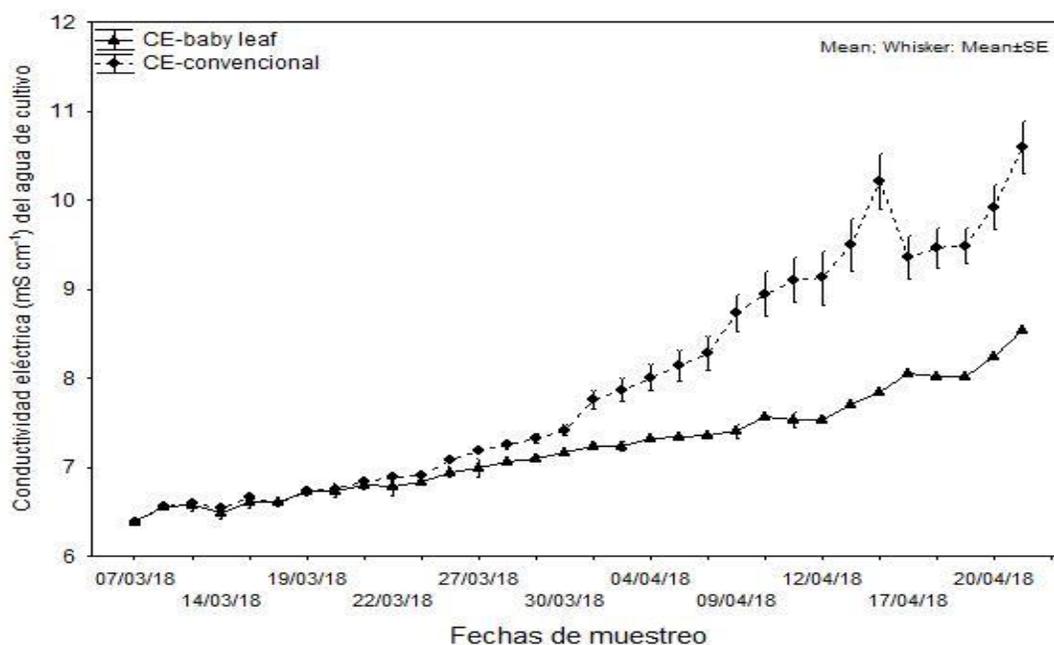
FV= fuente de variación, gl= grados de libertad, \*= significancia estadística a una  $p \leq 0.05$ , \*\*= significancia estadística a una  $p \leq 0.01$

**Tabla XVIII.** Valores promedio de la concentración final de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{K}^+$  en el agua de cultivo de acelga cuyas hojas se cosecharon a diferentes tamaños (10 y 40 cm).

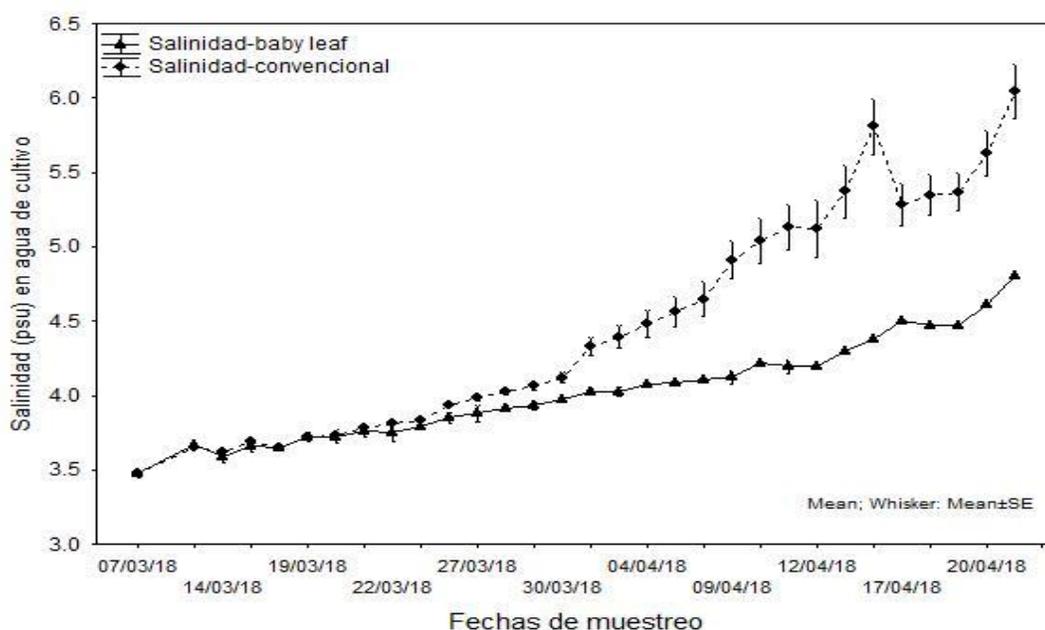
Tamaño de hoja (cm)	$\text{Na}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{K}^+$
Baby-leaf (10 cm)	1140 b	2755 b	46.53 a
Convencional (40 cm)	1618.3 a	4261.70 a	1.03 b

Medias en columnas con letras diferentes son diferentes estadísticamente (Tukey HSD  $p=0.05$ ).

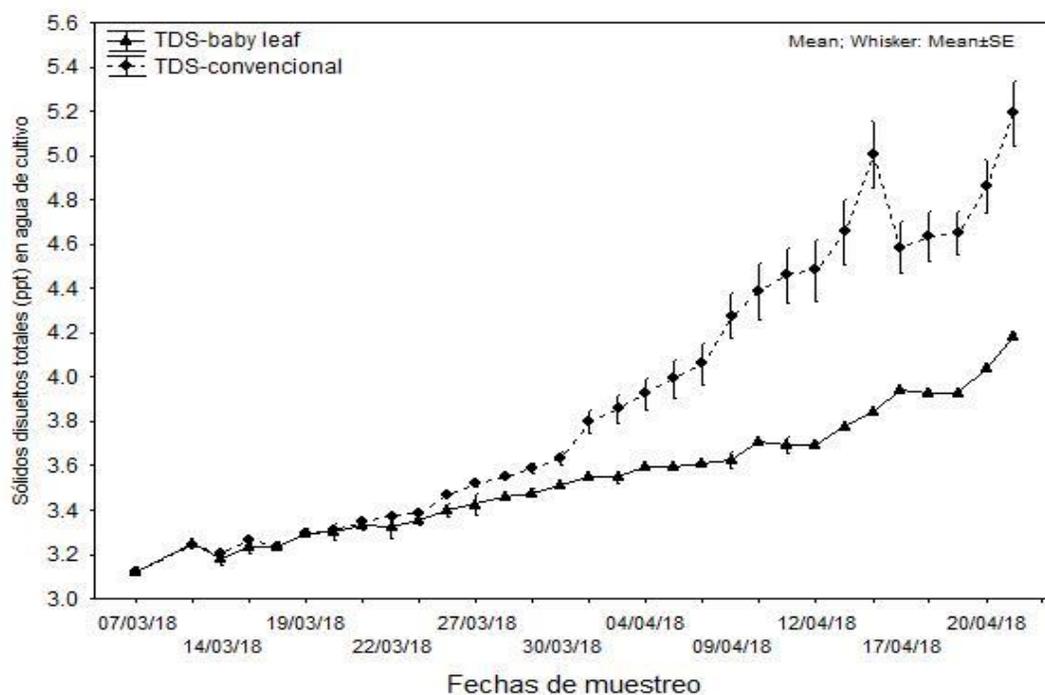
La conductividad eléctrica, salinidad y solidos disueltos totales mostraron una tendencia de incremento tanto en hojas baby-leaf como de tamaño convencional, conforme transcurrió el tiempo de cultivo (Figs. 8, 9 y 10). Por su parte, el pH mostró una disminución notable en las primeras semanas en ambos tamaños de corte de hoja (Fig. 11). La temperatura mostró una respuesta similar en los dos tamaños de hoja (Fig. 12).



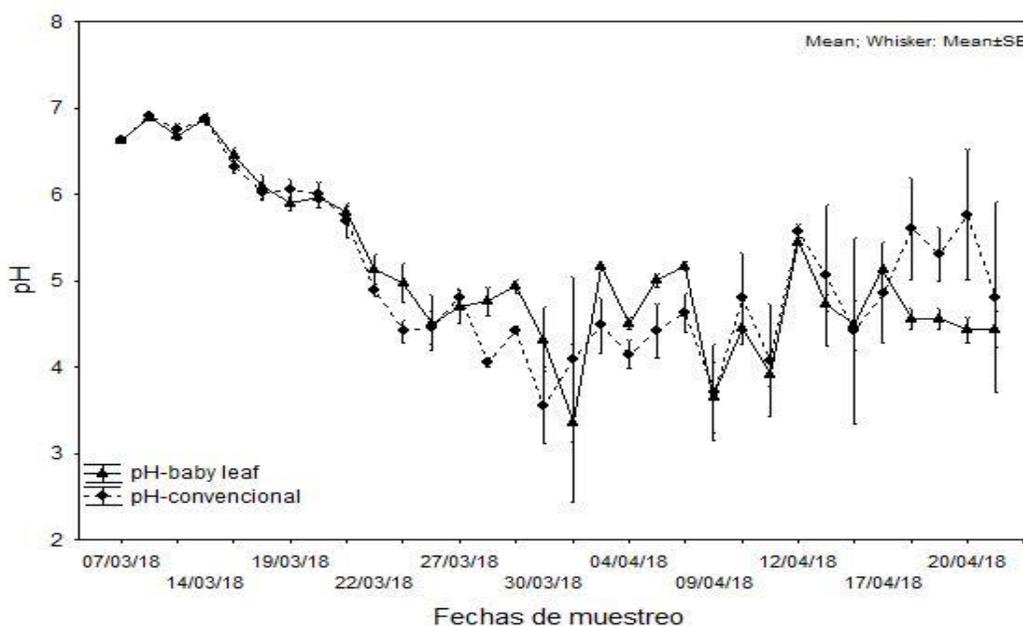
**Figura 8.** Respuesta de la conductividad eléctrica a través del tiempo en el medio hidropónico de acelga cuyas hojas se cosecharon de dos tamaños, baby-leaf (10 cm) y convencional (40 cm).



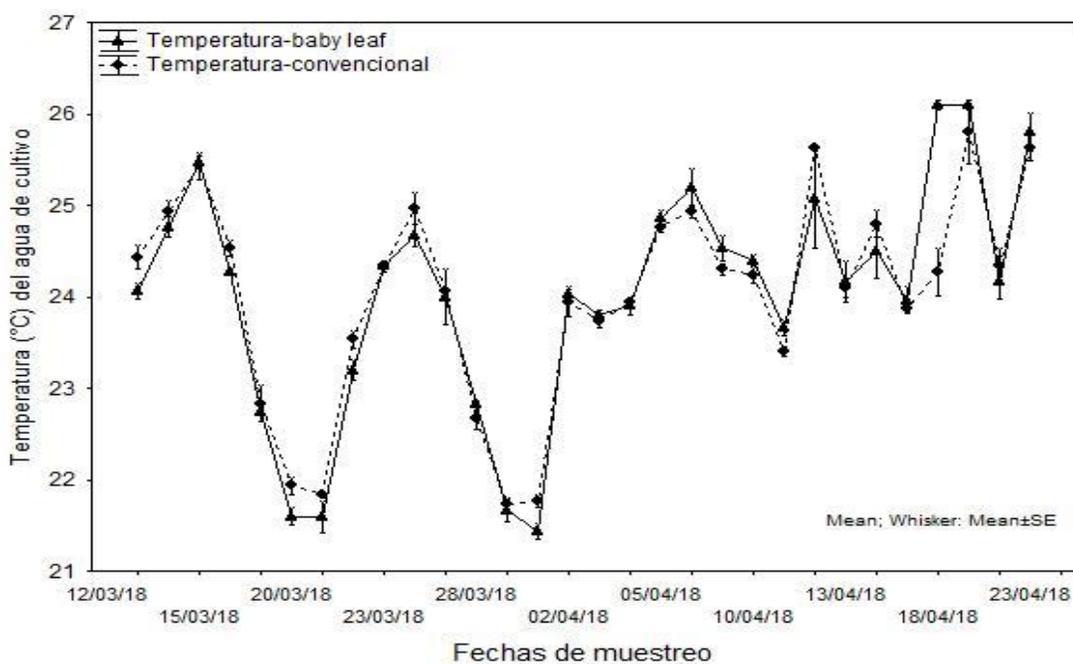
**Figura 9.** Respuesta de la salinidad través del tiempo en el medio hidropónico de acelga cuyas hojas se cosecharon de dos tamaños, baby-leaf (10 cm) y convencional (40 cm).



**Figura 10.** Respuesta de los sólidos disueltos totales través del tiempo en el medio hidropónico de acelga cuyas hojas se cosecharon de dos tamaños, baby-leaf (10 cm) y convencional (40 cm).

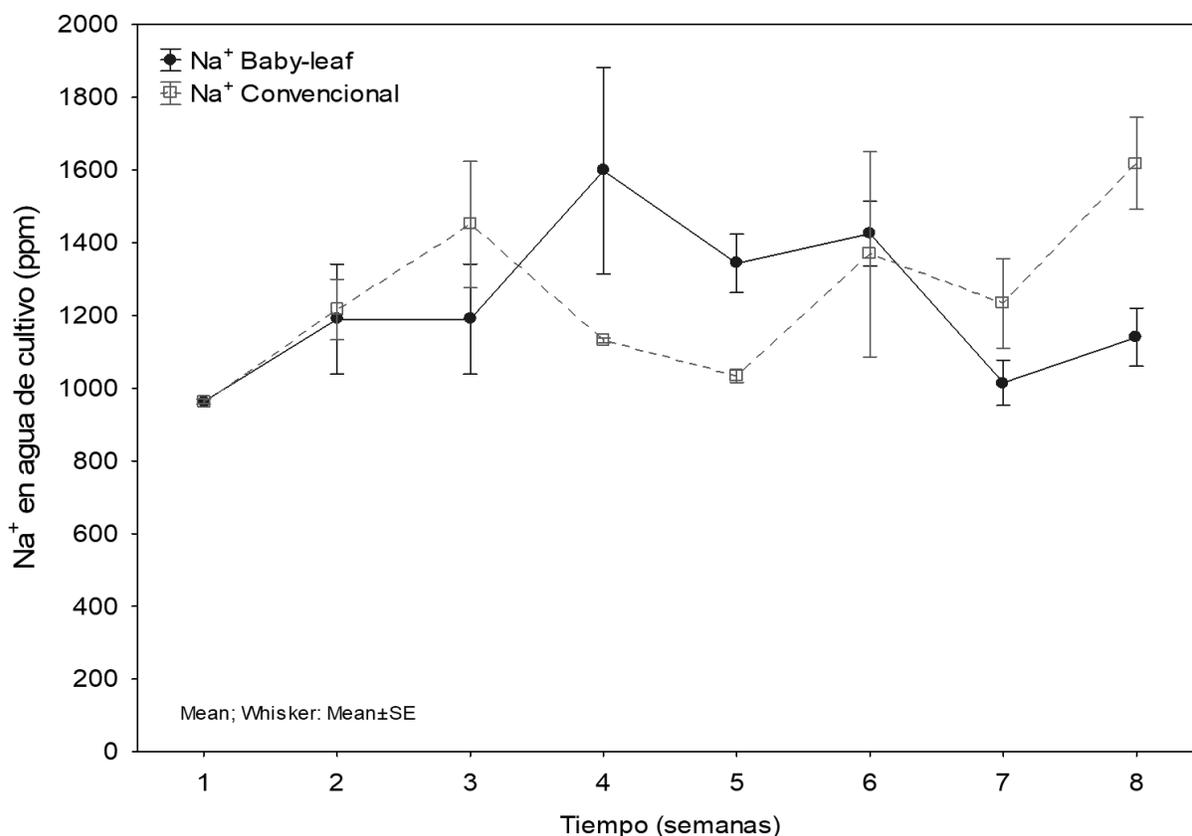


**Figura 11.** Respuesta del pH través del tiempo en el medio hidropónico de acelga cuyas hojas se cosecharon de dos tamaños, baby-leaf (10 cm) y convencional (40 cm).

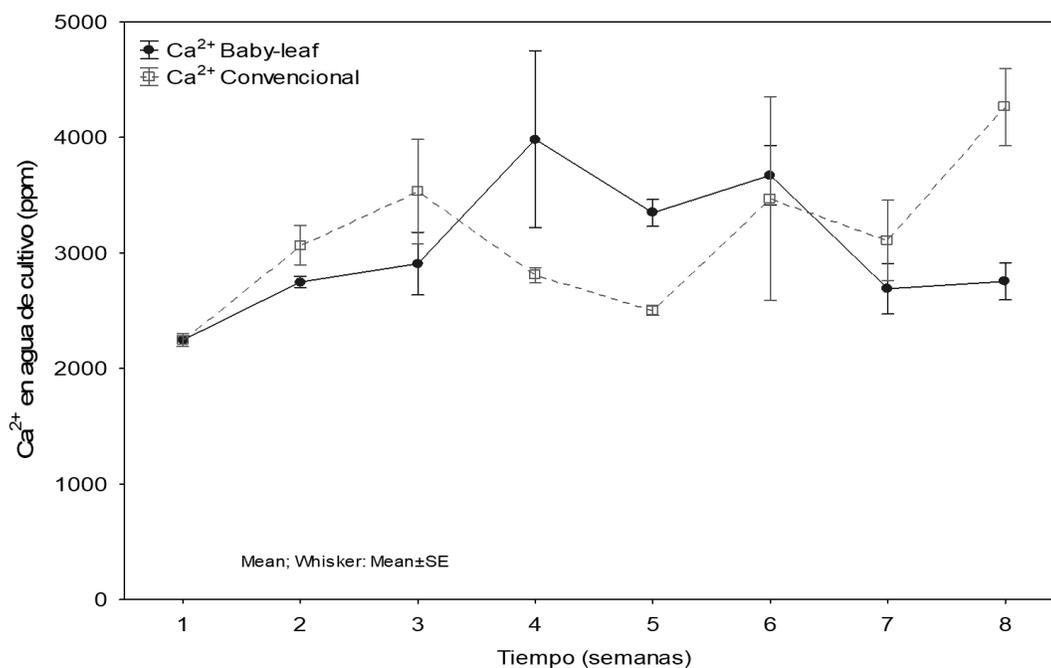


**Figura 12.** Respuesta de la temperatura través del tiempo en el medio hidropónico de acelga cuyas hojas se cosecharon de dos tamaños, baby-leaf (10 cm) y convencional (40 cm).

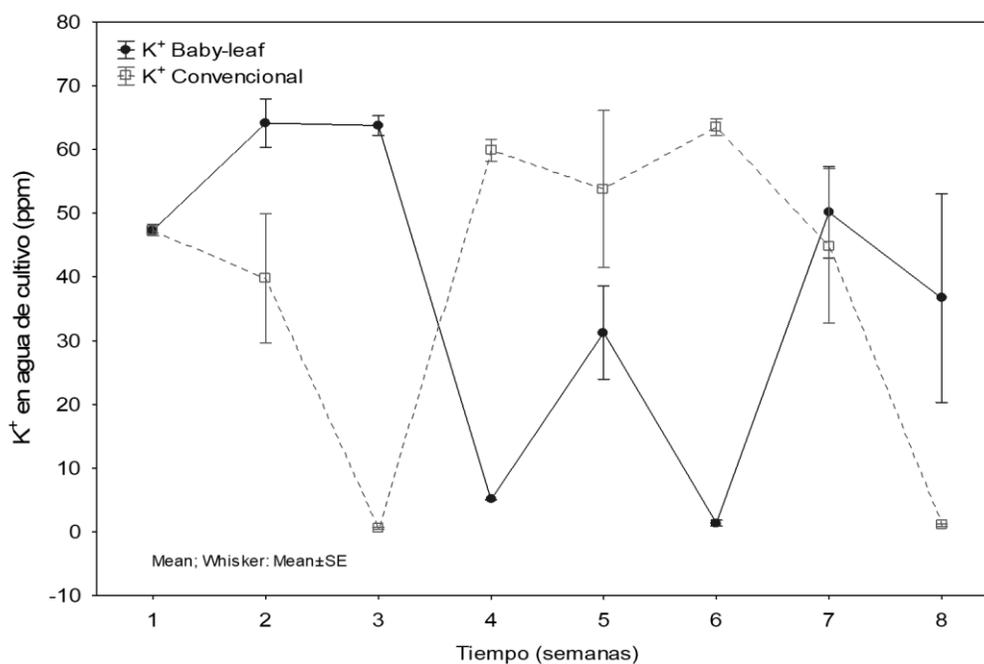
La concentración de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$  del agua de cultivo mostraron una respuesta similar en las tinas donde se cultivó acelga cuyas hojas se cosecharon de un tamaño baby-leaf, con un incremento entre la tercera y cuarta semana del experimento (Figs. 13 y 14). La concentración de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$  del agua de cultivo en las tinas donde se cultivó acelga cuyas hojas se cosecharon de tamaño convencional mostró una respuesta similar en ambos minerales, observándose un valor más bajo en la quinta semana y el valor más alto en la última semana del experimento (Figs. 13 y 14). La concentración de  $\text{K}^+$  del agua de cultivo se redujo durante las primeras semanas en las tinas donde se cultivó acelga cuyas hojas se cosecharon de tamaño baby-leaf, mientras que en las tinas donde se cosecharon hojas de tamaño convencional, la concentración de  $\text{K}^+$  primeramente se incrementó y posteriormente disminuyó (Fig. 15).



**Figura 13.** Respuesta de la concentración de  $\text{Na}^+$  a través del tiempo en el medio hidropónico de acelga cuyas hojas se cosecharon de dos tamaños, baby-leaf (10 cm) y convencional (40 cm).



**Figura 14.** Respuesta de la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  a través del tiempo en el medio hidropónico de acelga cuyas hojas se cosecharon de dos tamaños, baby-leaf (10 cm) y convencional (40 cm).



**Figura 15.** Respuesta de la concentración de  $\text{K}^+$  a través del tiempo en el medio hidropónico de acelga cuyas hojas se cosecharon de dos tamaños, baby-leaf (10 cm) y convencional (40 cm).

## 8. DISCUSIÓN

8.1 Evaluar características fisiológicas y morfométricas de plantas de *Beta vulgaris* var. cicla cosechadas a diferentes tamaños de hoja y cultivadas en medio hidropónico salinizado

El hecho que las variables morfométricas mostraron diferencias significativas entre los tamaños de corte de hoja, se le atribuye precisamente a que los tamaños de corte son diferentes por lo que inciden directamente en la morfometría de la hoja al momento de la cosecha. Sin embargo, las variables fisiológicas, tasa fotosintética neta, conductancia estomática, tasa de transpiración y  $\text{CO}_2$  intercelular, no mostraron diferencias, lo cual se atribuye a que las hojas de tamaño baby-leaf (10 cm) compensan su área foliar pequeña, expandiéndose en presencia de alta luminosidad, al no tener sombra proveniente de hojas maduras pueden presentar una eficiencia fotosintética mayor (Parsons, 1983). Se esperarían valores inferiores de  $\text{CO}_2$  intercelular en las hojas de tamaño baby-leaf (10 cm) por ser de tamaño menor; sin embargo, los valores promedio son muy similares en los dos tamaños de hoja, lo que implica un aumento en la densidad estomática para compensar la reducción de su dosel.

Al respecto, Hernández-Montiel (2016) evaluó variables fisiológicas de plantas de acelga sometidas a diferentes concentraciones de NaCl (0, 50, 100, 150 y 200 mM de NaCl). La tasa fotosintética neta no mostró diferencias significativas entre las concentraciones de NaCl y los valores fluctuaron en el rango de 4 a 7  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Los valores promedio de la tasa fotosintética neta de las plantas de acelga del presente estudio fueron de 14.24  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para hojas de tamaño baby-leaf (10 cm) y de 14.31  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para hojas de tamaño convencional (40 cm), sin diferencias estadísticas significativas.

El valor promedio de la tasa de transpiración de plantas de acelga reportada por Hernández-Montiel (2016) en el tratamiento control (0 mM de NaCl) fue de 3  $\mu\text{mol m}^2 \text{ s}^{-1}$ , mientras que la tasa de transpiración evaluada en esta investigación obtuvo

valores de 10.40 y 9.85 ( $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ ) en baby-leaf (10 cm) y convencional (40 cm), respectivamente. Esta diferencia entre los valores reportados por Hernández-Montiel (2016) pueden atribuirse a las temporadas en las que se realizaron los experimentos, porque este experimento se desarrolló en el periodo de marzo y abril, mientras que el de Hernández-Montiel entre los meses de diciembre y enero.

Algunos estudios demuestran que un tipo de adaptación fisiológica ante un estrés salino es la reducción de la transpiración para minimizar la absorción de  $\text{Na}^+$  a través del agua (Alcaraz-Ariza, 2012). En un ambiente con un contenido promedio de 1144.16 ppm de  $\text{Na}^+$ , procedente del agua residual de producción de robalo (*Centropomus viridis*), la cual se considera medianamente salobre, la acelga no requiere de esta adaptación fisiológica, lo que confirma que la absorción de  $\text{Na}^+$  promueve su desarrollo.

Las correlaciones significativas entre las variables fisiológicas de ambos tamaños de hoja, demuestran que el DPV basado en la temperatura foliar, aumenta cuando la temperatura foliar se eleva, esto provoca una disminución en la tasa de transpiración, la tasa fotosintética neta, la conductividad estomática y el  $\text{CO}_2$  intercelular. Una tasa fotosintética neta baja eleva el peso seco en la hoja.

Las diferencias que se presentan en las relaciones de las variables fisiológicas entre el tamaño de hoja baby-leaf (10 cm) y el tamaño convencional (40 cm) se atribuye principalmente a la morfometría. No se reportan estudios que comparen la fisiología de un cultivo de acelga cosechando hojas de tamaño baby-leaf (10 cm) y un cultivo de plantas de acelga cosechando hojas de tamaño convencional (40 cm).

Los resultados mostraron que la concentración de  $\text{Na}^+$  en el tejido foliar no afecta al peso seco en el tamaño de hoja baby-leaf (10 cm). Sin embargo, se observó una correlación positiva entre el peso seco y el contenido de  $\text{Na}^+$  en el tamaño de hoja convencional (40 cm). Acorde con Jennings (1976) el contenido de  $\text{Na}^+$  incrementa la producción de materia seca porque la fotosíntesis se ve afectada.

## 8.2 Evaluar la capacidad de absorción de minerales en plantas de *Beta vulgaris* var. *cicla* cosechadas a diferentes tamaños de hoja y cultivadas en medio hidropónico salinizado

Como se muestra en la figura 1, las hojas de acelga de tamaño convencional (40 cm) acumularon más  $\text{Na}^+$  en sus tejidos; esta capacidad de acumular  $\text{Na}^+$ , clasifica a esta especie como salt-loving plant (Yamada *et al.*, 2016). Sin embargo, en las hojas cosechadas como baby-leaf (10 cm) el contenido de  $\text{K}^+$  fue mayormente absorbido. En otras especies como remolacha se ha observado que el  $\text{Na}^+$  se excluye en presencia de  $\text{K}^+$  durante las primeras etapas de crecimiento (El-Sheikh y Ulrich, 1971). El incremento del crecimiento en plantas de acelga promovida por el  $\text{Na}^+$  se explica por un efecto ahorrador sobre el  $\text{K}^+$ ; sin embargo, el crecimiento de esta especie también se incrementa por la presencia de un contenido suficiente de  $\text{K}^+$  disponible (Jennings, 1976).

La correlación negativa entre el contenido de  $\text{Na}^+$  y el  $\text{Mg}^{2+}$  para hojas cosechadas de tamaño convencional (40 cm) y positiva para el tamaño baby-leaf (10 cm), así como la correlación positiva entre la concentración de  $\text{K}^+$  y  $\text{Mg}^{2+}$  en las hojas de tamaño convencional (40 cm), puede atribuirse a lo reportado por Alam (1999), quien sugiere que la salinidad puede tener un efecto inhibitor en la concentración de  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ ; sin embargo, también puede tener un efecto estimulador sobre estos nutrientes. Por otra parte, en ambientes salinos, la deficiencia de  $\text{K}^+$  puede provocar una disminución en la absorción de  $\text{Mg}^{2+}$  (Qu *et al.*, 2012). En las hojas de acelga cosechadas de tamaño convencional (40 cm), la acumulación de  $\text{Na}^+$  en los tejidos provoca una inhibición en la absorción de  $\text{K}^+$  y con ello una disminución en la absorción de  $\text{Mg}^{2+}$ . En la acelga de tamaño baby-leaf (10 cm) al no acumular cantidades elevadas de  $\text{Na}^+$ , la acumulación de  $\text{K}^+$  no se afecta, por el contrario, la absorción de  $\text{Na}^+$  estimula la absorción de  $\text{Mg}^{2+}$ .

La translocación del  $\text{Na}^+$  en los tejidos de hojas de acelga que se calculó mediante el factor de concentración del flujo de la transpiración (TSCF), fue menor en hojas cosechadas de tamaño baby-leaf (10 cm). De acuerdo con Dietz y Schoonor (2001), el

TSCF depende de las propiedades fisicoquímicas, la especiación química y de la propia planta. Los valores de TSCF fluctúan entre cero (no absorción) a 1.0 (absorción a la misma concentración que la concentración de la solución del medio) y puede ayudar a modelar la absorción de las plantas. Al respecto, en una investigación desarrollada por Tsuchiya *et al.* (1993), se evaluó la tasa de exclusión de sal en arroz (*Oryza sativa*), se encontró que el TSCF de cada catión ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Li}$ ) se correlacionó de forma negativa con la tasa de transpiración. Lo anterior indica que la tasa de transpiración afecta a la eficiencia de la filtración en las raíces para la absorción y translocación de  $\text{Na}^+$ . En un estudio previo (Tsuchiya *et al.*, 1992) con variedades de arroz sensibles a la salinidad, éstas mostraron un valor bajo de TSCF debido a que la eficiencia de filtración es alta. Se sugirió que las características de la planta en cuanto a la eficiencia de filtración en la absorción de  $\text{Na}^+$  y la estabilidad en el balance de agua al cambio ambiental, podrían determinar una absorción pasiva de  $\text{Na}^+$  y su transporte a la parte superior en condiciones salinas.

El valor bajo de  $\text{TSCF}_{\text{Na}}$  en las hojas tamaño baby-leaf indica una eficiencia alta de filtración para la absorción de  $\text{Na}^+$ . Por otra parte, el valor de  $\text{TSCF}_{\text{Na}}$  de las hojas de tamaño convencional puede corresponder a una modificación en esta característica y se atribuye a la absorción pasiva de  $\text{Na}^+$ . Lo anterior indica que la capacidad de la acelga para translocar y acumular  $\text{Na}^+$  en los tejidos es afectado por la edad de la hoja. A su vez en el corte de tamaño convencional se aprecia el incremento del  $\text{TSCF}_{\text{Na}}$  a través del tiempo mientras que en el corte baby-leaf no existe variación, porque en este tipo de corte las hojas se mantienen jóvenes.

8.3 Evaluar el consumo de agua y los parámetros de calidad del medio hidropónico salinizado de plantas de *Beta vulgaris* var. cicla cosechadas a diferentes tamaños de hoja

El consumo de agua por las plantas se define como toda el agua transpirada por la planta, evaporada de la superficie del suelo o del medio, más el agua retenida en los

tejidos de la planta (Jesen, 1968). Por tanto, el consumo de agua se encuentra estrechamente relacionado con el área foliar, lo cual se demostró en este estudio, cuando el consumo de agua en la acelga de tamaño convencional (40 cm) duplicó al consumo de agua de la acelga baby-leaf (10 cm).

En el análisis de varianza efectuado, las variables conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y salinidad mostraron diferencia significativa para la fuente de variación tamaño de hoja, mientras que las variables pH y temperatura del agua de cultivo no lo hicieron (Tabla XV). Esto debido a que el consumo de agua del cultivo afecta principalmente a la concentración de minerales y materia orgánica en el agua.

En las figuras 8 y 9 no se aprecian diferencias en la respuesta de la conductividad eléctrica, el pH, la salinidad, los sólidos disueltos totales y la temperatura del agua donde se cultivaron plantas cuyas hojas se cosecharon de tamaño baby-leaf y convencional. La conductividad eléctrica, salinidad y sólidos totales disueltos se incrementó conforme el desarrollo del experimento, esto como resultado de la concentración de algunos minerales, es decir, por efecto del consumo de agua. Por otra parte, el pH disminuyó su valor durante la primera semana del experimento, debido a la formación de ácido carbónico producto del  $\text{CO}_2$  liberado por los peces (Sedano-Vera y Anguís-Climent, 2016). Cabe mencionar que en el módulo de acuicultura (cultivo de peces) se regulaba el pH entre 6 y 7 con ayuda de carbonato de calcio para lograr la nitrificación por medio de bacterias, mientras que la temperatura del medio hidropónico se ajustó a la temperatura del ambiente, tanto en las tinajas de cultivo de plantas cuyas hojas se cosecharon de tamaño baby-leaf como tamaño convencional.

La remoción de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$  del agua por medio de acelgas cosechadas como baby-leaf y convencional es prácticamente nula (Figura 13 y 14). Sin embargo, la concentración final es considerablemente menor en comparación con la concentración de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$  en el agua de las acelgas cosechadas convencionalmente, ya que el consumo de agua es bajo. En el caso de la investigación desarrollada por Hernández-Montiel (2016) la remoción de  $\text{Na}^+$  en la solución nutritiva fue posible, sin embargo, su

experimento fue llevado a cabo en el mes de diciembre cuando la evaporación y transpiración es considerablemente baja, reduciendo el consumo de agua.

La respuesta de la concentración de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$  en el medio de cultivo cuyas plantas se cosecharon de tamaño baby-leaf y convencional fue similar, lo cual implica una relación estrecha entre  $\text{Na}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$ . Se ha reportado que el  $\text{Ca}^{2+}$  logra contrarrestar los efectos de la toxicidad de  $\text{Na}^+$ , así como, la inhibición del crecimiento (Cramer, 2002).

La concentración de  $\text{K}^+$  en el agua de cultivo de la acelga cuyas hojas fueron cosechadas como convencionales logró disminuirse considerablemente (Fig. 15). Se puede observar en ambos tratamientos que al llegar la concentración de  $\text{K}^+$  a un nivel bajo, aumenta de nuevo hasta un punto donde vuelve a disminuir gradualmente. Un medio salino donde los principales cationes son  $\text{Na}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$ , provoca una alteración en el transporte de iones por la raíz, esto incrementa el influjo de  $\text{Na}^+$  y un eflujo de  $\text{K}^+$  (Cramer, 2002).

## 9. CONCLUSIONES

El contenido de clorofila a, b y total, contenido relativo de agua mostraron diferencias significativas entre los tamaños de corte de hoja, con valores superiores en las hojas cosechadas de tamaño convencional (40 cm). La tasa fotosintética neta, el DPV basado en la temperatura foliar, temperatura de la hoja, los valores de clorofila por el método indirecto (SPAD-502) así como el  $\text{CO}_2$  intercelular mostraron valores ligeramente superiores en hojas cosechadas con una longitud de 40 cm. El potencial hídrico, mostró valores más negativos en las hojas de tamaño convencional (40 cm). Lo contrario mostraron la tasa de transpiración y la conductancia estomática que presentaron valores superiores en las hojas cosechadas de tamaño baby-leaf (10 cm). El peso fresco y seco de hoja, área foliar y biomasa total mostraron diferencias significativas entre tamaños de corte de hoja, con valores superiores en las hojas cosechadas de tamaño convencional (40 cm).

El contenido de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$  en la hoja mostraron diferencias significativas entre el tamaño de corte de hoja. El valor promedio superior del contenido de  $\text{Na}^+$  se presentó en hoja cosechada de tamaño convencional (40 cm) siendo dos veces mayor que hoja cosechada de tamaño baby-leaf (10 cm), lo cual se evidenció al evaluar la translocación del  $\text{Na}^+$  calculada mediante el factor de concentración del flujo de la transpiración (TSCF), observándose una tasa de translocación de  $\text{Na}^+$  mayor en las hojas cosechadas de tamaño convencional (40 cm). Sin embargo, la tasa de transpiración mostró una relación negativa con el contenido de  $\text{Na}^+$  de hojas cosechadas de tamaño baby-leaf (10 cm) y convencional (40 cm) y en ambos casos, incluso analizando los datos en conjunto, esta relación fue no significativa, por lo tanto, se rechaza la hipótesis propuesta. La relación entre el contenido de  $\text{Na}^+$  en la hoja y el peso seco de la hoja en hojas de tamaño convencional (40 cm) es evidencia que la tasa de translocación de  $\text{Na}^+$  fue mayor en este tamaño de hojas, mientras que en hojas cosechadas de tamaño baby-leaf (10 cm) esta relación fue positiva, pero no

significativa. El contenido de  $Mg^+$  y  $Ca^+$  también fue superior en las hojas de 40 cm mientras que el contenido de  $K^+$  fue mayor en el tamaño de hoja baby-leaf (10 cm).

Las características de salt-loving plants en la acelga se desarrollan conforme a la madurez de la hoja. Las hojas baby-leaf utilizan mecanismos de tolerancia como la selección de absorción de iones para evitar la entrada de  $Na^+$ , por lo que se determina que en acelga, las hojas cosechadas de tamaño baby-leaf no cumplen con el objetivo de fitoremediación, sin embargo, al mantener un bajo consumo de agua, se compensa la concentración de los cationes  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$  y  $K^+$ , lo que significa un beneficio en comparación a la acelga cosechada de manera convencional.

## 10. LITERATURA CITADA

2030 WRG (2030 Water Resources Group). 2009. Charting our water future: Economic framework to inform decision-making. Washington, DC, 2030 WRG.

Adams, A., A. J. Ray. 2018. Brackish Water Aquaponics. En: Ohio Aquaculture and Fish Management Conference (2018, Ohio, Estados Unidos). Conferencia. Ohio, Estados Unidos. United States Department of Agriculture. pp. 1-29.

Alam, S. M. 1999. Nutrient uptake by plants under stress conditions. En: Pessarakli, M. (ed.). Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker, Inc. Segunda Edición. Nueva York. pp 285-314.

Alcaraz-Ariza. 2012. Salinidad y vegetación. Geobotánica Tema 18. Universidad de Murcia, España (<http://www.um.es/docencia/geobotanica/ficheros/tema18.pdf>), (versión de 11 de marzo de 2012).

Alcázar, R., T. Altabella, F. Marco, C. Bortolotti, M. Reymond, M. Koncz, P. Carrasco, A. F. Tiburcio. 2010. Polyamines: molecules with regulatory functions in plant abiotic stress tolerance. *Planta*. 213:1237-1249.

Ayers, R. S., D. W. Wescott. 1989. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper. 29:737-746.

Bargmann, B. O., A. M. Laxalt, B. Riet, B. Schooten, E. Merquiol, C. Testerink, M. A. Haring, D. Bartels, T. Munnik. 2009. Multiple PLDs required for high salinity and water deficit tolerance in plants. *Plant Cell Physiol*. 50(1):78-89.

Ben-Amor, N., W. Megdiche, A. Jiménez, F. Sevilla, C. Abdell. 2010. The effect of calcium on the antioxidant systems in the halophyte *Cakile maritime* under salt stress. *Acta Physiol. Plant*. 32:453-461.

Cramer, G. R. 2002. Sodium-calcium interactions under salinity stress. En: Läuchli, A. y U. Lüttge (eds.). Salinity: Environment-plants-molecules. Kluwer Academic Publishers. Primera Edición. Dordrecht. pp 205-228.

Cell Press. 2014. Salt-loving plants may be key to global efforts for sustainable food production. *ScienceDaily*. Recuperado el 11 de junio de 2019, de [www.sciencedaily.com/releases/2014/10/141028122600.htm](http://www.sciencedaily.com/releases/2014/10/141028122600.htm)

Conrads, P. A., L. S. Darby. 2017. Development of a coastal drought index using salinity data. *B Am Meteorol Soc*. 98(4):753-766.

Coroiu, P. 2017. Baby-leaf NFT production and water management in aquaponic system. Tesis (Licenciatura en Ciencias Forestales y Ambientales). Padua, Italia. Università Degli Studi di Padova. 60p.

Delgadillo-López, A. E., C. A. González-Ramírez, F. Prieto-García, J. R. Villagómez-Ibarra, O. Acevedo-Sandoval. 2011. Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Trop. Subtrop. Agroecosyst*. 14(2011):597-612.

Demidchik, V., T. A. Cuin, D. Svistunenko, S. J. Smith, A. J. Miller, S. Shabala, A. Sokolik, V. Yurin. 2010. Arabidopsis root  $K^+$  efflux conductance activated by hydroxyl radicals: single-channel properties, genetic basis and involvement in stress-induced cell death. *J. Cell Sci*. 123:1468-1479.

DGA (Dirección General de Aguas). 2005. Estudio de intrusión salina en acuíferos costeros: Sector Costa Quebrada Los Choros, IV Region. (109, 2005, Santiago, Chile). Informe. Santiago, Chile, Ministerio de Obras Públicas.

D'imperio, M., M. Renna, A. Cardinali, D. Buttaro, F. Serio, P. Santamaria. 2016. Calcium biofortification and bioaccessibility in soilless "baby-leaf" vegetable production. *Food chem*. 213(2016):149-156.

Dietz, A. C., J. L. Schnoor. 2001. Advances in Phytoremediation. *Environ. Health Perspect*. 109:163-168.

El-Sheikh, A. M., A. Ulrich. 1971. Sodium absorption by intact sugar beet plants. *Plant Physiol*. 48:747-751.

FAO (Food and Agriculture Organization). 2016. Implementing aquaponics in the Gaza Strip. Resilience Promising Practice. Roma.

FAO (Food and Agriculture Organization), UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). 1969. Congreso Mundial de Hidroponía (1, 1969, Las Palmas, Gran Canaria).

Farooq, M., M. Hussain, A. Wakeel, K. H. M. Siddique. Salt stress in maize: effects, resistance mechanisms, and management. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 35(2):461-481.

Fernández, J. A., S. Nicola, C. Egea-Gilabert, D. Niñirola, E. Conesa. 2015. Producción de hortalizas de hoja baby leaf en bandejas flotantes. Publicaciones poscosecha. 17 p.

Flores-Lezama, B. 2005. Evaluación y selección de siete especies de hortalizas de fruto para la tolerancia en ambiente de salinidad a nivel de plántula. Tesis (Licenciatura en Biología). Puebla, México. Universidad de las Américas Puebla.

Flowers, T. J., T. D. Colmer. 2008. Salinity tolerance in halophytes. *New Phytol.* 179:945-963.

García-Zumel, M. 2013. El cultivo de la acelga (The chard growing). *Cultivos Herbáceos Intensivos*. Universidad de Valladolid. Palencia, España. 12p.

Ghaly, A. E., M. Kamal, N.S. Mahmoud. 2004. Phytoremediation of aquaculture wastewater for water recycling and production of fish feed. *Environ. Int.* 31(2005):1-13.

Gleeson, T., Y. Wada, M. F. P. Bierkens. 2012. Water Balance of Global Aquifers Revealed by Groundwater Footprint. *Nature.* 488(7410):197-200.

González-Romero, S. L., A. R. Quero-Carrillo, O. Franco-Mora, C. Ramírez-Ayala, H. M. Ortega-Escobar, C. Trejo-López. 2011. Efecto de la salinidad y la temperatura sobre el crecimiento del pasto Banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.] *Cienc. Ergo Sum.* 18(1):59-69.

Guida-Johnson, B., E. M. Abraham, M. A. Cony. 2017. Salinización del suelo en tierras secas irrigadas: perspectivas de restauración en Cuyo, Argentina. Rev. Fac. Cienc. Agrar., Univ. Nac. Cuyo. 49(1):205-215.

Hernández-Montiel, I. 2016. Remoción de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  de la solución nutritiva hidropónica utilizando plantas de acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla* L.) sometidas a diferentes concentraciones de NaCl. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Agronómica). Baja California Sur, México. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 62 p.

Hussain, T., A. K. Verma, V. K. Tiwari, C. Prakash, G. Rathore, A.P. Shete, K. K. T. Nuwansi. 2014. Optimizing Koi Carp, *Cyprinus carpio* var. *Koi* (Linnaeus, 1758), Stocking Density and Nutrient Recycling with Spinach in an Aquaponic System. J. World Aquac. Soc. 4(6):652-661.

Jennings, D. H. 1976. The effects of sodium chloride on higher plants. Biol. Rev. 51:453-486.

Jensen, M. E. 1968. Water consumption by agricultural plants. Academic press inc. Primera edición. New York. 22p.

Kaburagi, E., M. Yamada, H. Fujiyama. Sodium, but not potassium, enhances root to leaf nitrate translocation in Swiss chard (*Beta vulgaris* var. *cicla* L.). Environ. Exp. Bot. 112(2015):27-32.

Kim, J. A., Y. S. Choo, I. J. Lee, J. J. Bae, I. S. Kim, B. H. Choo, S. D. Song. 2002. Adaptations and Physiological Characteristics of Three Chenopodiaceae Species under Saline Environments. Korean J. Ecol. 25(3):171-177.

Lozita-Theilig, S. 2015. Eliminación de nutrientes mediante el empleo de cultivos hidropónicos. Tesis (Doctorado en Sistemas de Ingeniería Civil). Madrid, España. Universidad Politécnica de Madrid. 178 p.

Martínez-Beltrán, J., A. González-Casillas, R. Namuche-Vargas. 2007. A component of the FAO normative programme on land drainage: Mexico case study on the evaluation of the performance of subsurface drainage systems. Irrig. Drain. 56:179-190.

Martínez-Villavicencio, N., C. V. López-Alonzo, M. Basurto-Sotelo, R. Pérez-Leal. 2011. Efectos por salinidad en el desarrollo vegetativo. *Tecnociencia*. Chihuahua. 5(3):156-161.

Martínez-Yáñez, R. 2013. La acuaponía como alternativa de producción agropecuaria sostenible ¿Una posibilidad para tener en casa? *Rev. Divulg. Cient. Nutrición Ambiental y Seguridad Alimentaria*. 2(5):16-23.

Mateo-Sagasta, J. y J. Burke. 2010. Agriculture and water quality interactions: a global overview. SOLAW background thematic report-TR08. Roma, FAO.

Mwazi, F. N., S. Amoonga, F. S. Mubiana. 2010. Evaluation of the effects of salinity on spinach (*Beta vulgaris* var. *cicla*) grown in a hydroponic system along the coast of Namibia. *Agricola*. 20:14-17.

Neocleous, D., A. Koukounaras, A. S. Siomos, M. Vasilakakis. 2014. Assessing the salinity effects on mineral composition and nutritional quality of green and red "baby" lettuce. *J. Food Qual.* 37(1):1-8.

Nicoletto, C., C. Maucieri, A. Mathis, Z. Schmautz, T. Komives, P. Sambo, R. Junge. 2018. Extension of aquaponics water use for NFT baby-leaf production: mizuna and rocket salad. *Agron J.* 8(5):75.

Orosco-Alcalá, B. E., H. G. Núñez-Paleniús, L. Pérez-Moreno, M. Valencia-Posadas, L. Trejo-Téllez, F. R. Díaz-Serrano, J. E. Ruiz-Nieto, M. R. Abraham-Juárez. 2018. Tolerancia a salinidad en plantas cultivadas: Una visión agronómica. *Agroproductividad*. 11(7):51-57.

Pantanella, E., R. C. Bhujel. 2015. Saline Aquaponics: potential player in food, energy production. *Global Aquaculture Advocate*. 42-43.

Papp, J.C., M. C. Ball, N. Terry. 1983. A comparative study of the effects of NaCl salinity on respiration, photosynthesis, and leaf extension growth in *Beta vulgaris* L. (sugar beet). *Plant Cell Environ.* 1983(6):675-677.

Parra-Boronat, L. 2012. Efectos de distintos niveles de salinidad en especies halófilas en un saladar del Sud de Alicante. Trabajo final de carrera (Licenciatura en Ciencias Ambientales). Valencia, España. Universidad Politécnica de Valencia. 110 p.

Parsons, A. J., E. L. Leafe, B. Collet, W. Stiles. 1983. The physiology of grass production under grazing. I. Characteristics of leaf and canopy photosynthesis of continuously-grazed swards. *J. Appl. Ecol.* 20(1):117-126.

Qu, C., C. Liu, X. Gong, C. Li, M. Hong, L. Wang, F. Hong. 2012. Impairment of maize seedling photosynthesis caused by a combination of potassium deficiency and salt stress. *Environ. Exp. Bot.* 75:134-141.

Rengasamy, P. 2006. World salinization with emphasis on Australia. *J. Exp. Bot.* 57:1017-1023.

Samperio, R. G. 1997. Hidroponía Básica. Editorial Diana. 176 p.

Saline Agriculture Worldwide. 2019. Classification of saline water. Recuperado el 27 de junio de 2019 de <https://www.salineagricultureworldwide.com/classification-of-saline-water>

Sedano-Vera, F., V. Anguís-Climent. 2016. Calidad del agua en sistemas de recirculación para la acuicultura (SRA) marina. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. 1-17p.

SEMARNAT, SAGARPA, Fundación Produce Nayarit, A.C., Subsecretaria de Desarrollo Rural, & Instituto Mexicano de tecnología del Agua. 2010. Salinidad del Suelo. 9 p. México. Recuperado el 20 de marzo de 2019, de <https://es.scribd.com/document/388397679/folleto-6-salinidaddelsuelo-pdf#>

Shabala S., J. Bose, R. Hedrich. 2014. Salt bladders: do they matter? *Trends Plant Sci.* 19(11):687-691.

Somerville, C., M. Cohen, E. Pantanella, A. Stankus, A. Lovatelli. 2014. Small-scale aquaponics food production: integrated fish and plant farming. FAO Fisheries and aquaculture technical paper. Italia, Roma. 288p.

Stallard B. 2014. Salt-Loving super plants: Saviors of the Planet? Nature World News. Recuperado el 13 de junio de 2019, de [www.natureworldnews.com/articles/9986/20141031/salt-loving-super-plants-saviors-planet.htm](http://www.natureworldnews.com/articles/9986/20141031/salt-loving-super-plants-saviors-planet.htm)

Tarango-Arámbula, L. A. 2005. Problemática y alternativas de desarrollo de las zonas áridas y semiáridas de México. Rev. Chapingo ser. zonas áridas. IV(2):17-21.

Traunfeld, J., J. Smetana, B. Nixon, P. Yen. 2010. Swiss Chard. Grow it Eat it (GE128). University of Maryland Extension and the Home and Garden Information Center. [https://extension.umd.edu/sites/extension.umd.edu/files/\\_docs/programs/grow\\_it\\_eat\\_it/Publications/GE128%20Swiss%20Chard.pdf](https://extension.umd.edu/sites/extension.umd.edu/files/_docs/programs/grow_it_eat_it/Publications/GE128%20Swiss%20Chard.pdf)

Trinidad-Cruz, J. 2006. Uso de compuestos orgánicos y acelga (*Beta vulgaris* L. var. *cicla* (L.)) en la fitoextracción de plomo en un suelo contaminado. Tesis (Ingeniería en Agrobiología). Saltillo, Coahuila. Universidad Autónoma Agraria. 89p.

Tsuchiya, M., H. Naito, H. Ehara, T. Ogo. 1992. Physiological response to salinity in rice plant I. Relationship between Na<sup>+</sup> uptake and transpiration under different humidity and salinity conditions. Jpn. J. Crop Sci. 61(1):16-21.

Tsuchiya, M., H. Naito, Y. Takagi, S. Kumano. 1993. Salt exclusion rate in rice roots in relation to ion species. Sci. Rep. Fac. Agr. Okayama Univ. 82:17-23.

WWAP (World Water Assessment Programme). 2012. The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk. Paris, UNESCO.

Yamada, M., C. Kuroda, H. Fujiyama. 2016. Function of sodium and potassium in growth of sodium-loving Amaranthaceae species. J. Soil Sci. Plant Nutr. 26(1):20-26.