

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO HORTICULTURA



Efecto De La Alcalinidad De La Solución Nutritiva En El Crecimiento De La  
Lechuga (*Lactuca sativa* L.) Bajo Invernadero

Por:

**ALEJANDRO LOZANO MIRELES**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRONOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO HORTICULTURA

Efecto De La Alcalinidad De La Solución Nutritiva En El Crecimiento De La  
Lechuga (*Lactuca sativa* L.) Bajo Invernadero

Por:

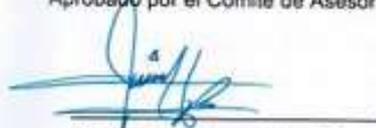
**ALEJANDRO LOZANO MIRELES**

TESIS

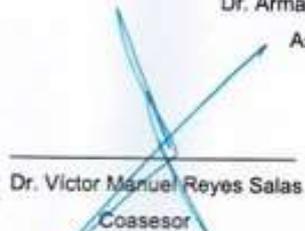
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRONOMO EN HORTICULTURA**

Aprobado por el Comité de Asesoría:



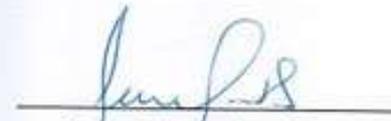
Dr. Armando Hernández Pérez  
Asesor Principal



Dr. Víctor Manuel Reyes Salas  
Coasesor



Dra. Fabiola Aureoles Rodríguez  
Coasesor



Dr. Jerónimo Landeros Flores  
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México  
Diciembre, 2022

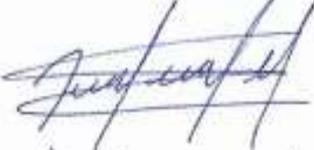
## Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta academia incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia a documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



Alejandro Lozano Mirales

Firma y Nombre.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por darme la vida y por permitirme acabar mi carrera profesional, por darme la salud y los ánimos para seguir adelante en este proceso.

A mis papás el Sr. Vicente Lozano Medina y a la Sra. Dora Cruz Mireles Castor por darme la vida, la oportunidad de seguir con mi sueño de niño, por todas esas palabras de apoyo para darme ánimos o para corregirme, así como la muestra de cariño que siempre me dieron en mis momentos más duros.

A mis hermanos Vicente y Berenice por todas esas palabras de apoyo que me dieron para siempre estar de ánimos, también por su cariño que nunca me faltó durante esta carrera.

A mis amigos que me acompañaron en todo momento, en especial a Everardo por la compañía, a Billy por sus buenos consejos y los buenos ratos que pasamos, pero muy en especial a mi primo Rubén por todo el apoyo que me dio cuando más lo necesite y siempre estuvo ahí para mí

A mis amigos de otras carreras como Karen con quien pase muchos buenos momentos y pláticas, a Xóchitl, Bris, Omar, Will, Amy, Maye, Raúl y Roy, con quien pase muchos momentos de risa, a Sait por ser quien me recibió en la escuela y me aconsejó, a mi paisa y amigo Jorge alguien con quien pase buenos momentos.

A Merari por ayudarme y apoyarme durante tanto tiempo, por nunca dejar que me derrumbara ante las cosas que pase, por ser quien me animo en todo momento y por sacarme una sonrisa con tan solo platicar con ella, por siempre estar ahí cuando más la necesite, por ser quien me dio las fuerzas para seguir adelante y aspirar a más.

A la generación CX de la carrera de forestal donde tuve a muchos amigos con que pasé buenos momentos.

A mis compañeros de generación les agradezco cada momento que pasamos, pero en especial le quiero agradecer a mis amigos Agustín, Verónica (Vero), Regina, Santiago (chago), Humberto y Efrén por cada consejo, palabra de apoyo, por la ayuda que siempre me dieron en mis momentos malos al igual que me acompañaron en mis momentos buenos, donde todo fue felicidad, risas y tardes muy buenas.

A el Dr. Armando Hernández Pérez por todo ese apoyo para acabar mi experimento al igual por estar ahí para resolver mis dudas y ayudarme cuando no podía, así como por todos los buenos momentos que pasamos entre risa y platicas, al igual quiero agradecer a las doctoras Juana Cruz García Santiago y Fabiola Aureoles Rodríguez.

En especial le doy gracias a la Dra. Juana cruz García Santiago por ayudarme en todo este proceso de redacción de mi tesis, por estar al pendiente de mi experimento y ayudarme a solucionar mis dudas.

Al personal del departamento de horticultura, a los profesores que me dieron clases y con los que conviví y juanita por tanto año soportando tanto horario mal.

Pero sobre todo le doy gracias A MI ALMA, TERRA, MATER por recibirme como uno más de su historia para cumplir mi sueño.

## **DEDICATORIAS**

A mi familia le dedico mi carrera y mi tesis, por todo ese apoyo, ayuda, cariño y comprensión, porque todo esto no solo es mío sino de ustedes también porque yo no sería nadie, no sería el profesionalista ni la persona que hoy soy, no tengo con que pagar todos estos años que me ayudaron a cumplir mi sueño.

A mi asesor de tesis el Dr. Armando Hernández Pérez porque gracias a él pude terminar mi titulación, porque esta tesis también es de él porque sin su apoyo no hubiera salido tan bien.

A la Dra. Juana Cruz García Santiago porque con su apoyo y sus buenos consejos pude terminar mi tesis, ella estuvo muy al pendiente de que este trabajo terminara bien y así fue.

A mi ALMA TERRA MATER porque ella fue quien cumplió mi sueño de ser un ingeniero agrónomo.

A Merari Magdali Velázquez Castillo porque siempre estuvo para ayudarme en mi tesis, resolvió mis dudas y siempre me animo a seguir adelante y no dejar de lado todo mi esfuerzo, me apoyó a terminar mi tesis y hoy le dedico este logro porque ella también formo parte de todo esto.

A mi abuelo Estanislao Mireles Ayala porque fue la persona que siempre me recibió cuando regresaba a casa, pero en esta ocasión no estará para eso y no pudo verme lograr mi última meta... por eso abuelo te dedico mi tesis.

## INDICE GENERAL

<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	iii
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	iv
<b>RESUMEN</b> .....	5
<b>1.- INTRODUCCIÓN</b> .....	6
<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	7
Objetivo específico .....	7
<b>HIPÓTESIS</b> .....	7
<b>2.- REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	4
2.1. Lechuga.....	4
2.1.1. Descripción botánica.....	4
2.1.2. Requerimientos de cultivo.....	5
2.2. Sistemas de producción .....	6
2.3. Hidroponía .....	6
2.4. Solución nutritiva .....	7
2.4.1. Solución de Steiner .....	7
2.4.2. Aspectos importantes a controlar en la preparación de la solución nutritiva. 7	
2.5. pH.....	8
2.6. Alcalinidad.....	8
2.6.1. Efectos de la alcalinidad en la absorción de los nutrientes .....	9
3.1. Localización .....	10
3.2. Material vegetal.....	10
3.2.1. Trasplante.....	10
3.3. Tratamientos evaluados .....	10
3.4. Manejo del experimento .....	12
3.4.1. Riegos .....	12
3.4.2. Deshoje.....	12
3.4.3. Control de plagas y malezas .....	12
3.5. Variables evaluadas y formas de evaluación.....	13
3.5.1. Peso fresco aéreo .....	13
3.5.2. Peso fresco de cabeza .....	13
3.5.3. Peso fresco y seco de raíz.....	13
3.5.4. Longitud de raíz.....	13
3.5.5. Volumen de raíz.....	13
3.5.6. Altura de planta.....	13

3.5.7. Diámetro de planta.....	13
3.5.8. Peso seco de hoja.....	14
3.5.9. Peso seco de tallo.....	14
3.5.10. Peso seco total.....	14
3.6. Diseño experimental y análisis estadístico.....	14
<b>5. CONCLUSIÓN .....</b>	<b>22</b>
<b>6. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>23</b>

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Solución Nutritiva empleada para la producción de lechuga bajo diferentes niveles de bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ).....	12
<b>Cuadro 2.</b> Cantidades de fertilizantes disueltos para la preparación de las soluciones nutritivas.....	13
<b>Cuadro 3.-</b> Efecto de la concentración de bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) de la solución nutritiva en el diámetro de planta, peso fresco de raíz, volumen de raíz, peso seco de hoja y tallo de las plantas de lechuga tipo orejona cv. Lulu.....	17

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.-</b> Efecto de la concentración de $\text{HCO}_3^-$ de la solución nutritiva en la altura de las plantas de lechuga tipo orejona cv. Lulu. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).....	18
<b>Figura 2.-</b> Efecto de la concentración de $\text{HCO}_3^-$ de la solución nutritiva en la longitud de raíz de las plantas de lechuga tipo orejona cv. Lulu. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).....	19
<b>Figura 3.-</b> Efecto de la concentración de $\text{HCO}_3^-$ de la solución nutritiva en el peso fresco de la parte aérea de las plantas de lechuga tipo orejona cv. Lulu. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).....	20
<b>Figura 4.-</b> Efecto de la concentración de $\text{HCO}_3^-$ de la solución nutritiva en el peso seco de raíz de las plantas de lechuga tipo orejona cv. Lulu. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).....	21
<b>Figura 5.-</b> Efecto de la concentración de $\text{HCO}_3^-$ de la solución nutritiva en el peso seco total de las plantas de lechuga tipo orejona cv. Lulu. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).....	22

## RESUMEN

El experimento se realizó con el propósito de observar los efectos del contenido de bicarbonatos en la solución nutritiva (SN) sobre el crecimiento y producción de biomasa de las plantas de lechuga bajo invernadero. Se evaluaron plantas de lechuga orejona cv. Lulú en un medio de crecimiento de peat moss y perlita (70/30 % v/v). En el experimento se utilizó la SN propuesta por Steiner al 80%. Se evaluaron siete tratamientos con distintas concentraciones de bicarbonato (0.66, 1.66, 2.66, 3.66, 4.66, 5.66 y 6.66 meq L<sup>-1</sup>). Los datos fueron analizados en el programa SAS (Statistical Analysis Systems) versión 9.2 y se utilizó la prueba de Tukey para la comparación de medias. Los resultados mostraron que el peso fresco de la raíz, diámetro de la planta y volumen de raíz fueron afectados significativamente, el mayor diámetro se observó al dejar 2.66 meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> en la SN y un menor valor con 5.66 y 6.66 meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>; por otro lado, el mayor peso fresco de la raíz se obtuvo al dejar 0.66 meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> en la SN y menor con 6.66 meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> lo cual representa una disminución del 56%; además, el volumen de raíz presentó un mejor desarrollo con 0.66 y 3.66 meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> en la SN, pero con 6.66 meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> mostró el menor volumen reduciendo un 57%. Otros parámetros afectados fueron la altura de planta donde con 5.66 meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> en la SN se obtuvo la mayor altura, pero con 1.66 meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> la altura fue menor. La longitud de la raíz empezó a disminuir al superar los 3.66 meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> en la SN. El mayor peso fresco de la cabeza de lechuga se obtuvo con 2.66 meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> en la SN, sin embargo, la biomasa seca fue mayor con 3.66 y 4.66 meq L<sup>-1</sup> de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Lo que sugiere que una concentración de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> superior a 5.66 meq L<sup>-1</sup> en la SN reduce el crecimiento de las plantas.

## 1.- INTRODUCCIÓN

La FAO informó que para el 2017 se cultivó alrededor de 1´148,353 hectáreas de lechuga en el mundo, teniendo una producción de 24´896,115 toneladas, esto se ha duplicado durante los últimos años. China es uno de los principales productores mundiales de lechuga seguido por Estados Unidos de América y la India. México ocupa el noveno puesto en la producción mundial (Marhuenda y García, 2017). Las principales variedades que se cultivan en el país son baby leaf, escarola, orejona y romana (SIAO, 2018). SIAP (2019) reportó que en agosto de 2019 se produjo 231,923 mil toneladas de lechuga en México, donde Guanajuato aportó 74,953 mil toneladas, Baja California 31,034 mil toneladas, Aguascalientes 28,964 mil toneladas, Zacatecas 25,564 mil toneladas y Puebla con 23,924 mil toneladas, siendo estos los principales productores. La lechuga es una de las especies más importantes del grupo de las hortalizas de hoja, es una verdura cultivada al aire libre en zonas templadas, pero actualmente la superficie bajo invernadero ha ido en constante crecimiento por su alta demanda como ensalada en fresco, a nivel nacional e internacional (Santos et al., 2009; Fu et al., 2012; Balsam et al., 2013).

El efecto negativo de la alta concentración de  $\text{HCO}_3^-$  en el agua de riego es atribuida a la baja absorción de elementos esenciales por las raíces de las plantas, lo cual ocurre como efecto indirecto del aumento del pH de la solución del medio de crecimiento por la presencia de un alto contenido de  $\text{HCO}_3^-$  (Roosta, 2011; Cartmill *et al.*, 2007). Así mismo, el crecimiento inhibido de las plantas es atribuido al efecto directo del  $\text{HCO}_3^-$  sobre la respiración celular, las estructuras y crecimiento de la raíz (Roosta, Tavakkoli y Hamidpour 2016; Alhendawi *et al.*, 1997; Zhang *et al.*, 2017).

Actualmente hay poca información disponible sobre niveles aceptables de alcalinidad o los umbrales establecidos para la toxicidad. Por esta razón, este estudio tuvo como objetivo examinar los efectos de las concentraciones de bicarbonato en la solución nutritiva sobre el crecimiento y producción de biomasa de las plantas de lechuga bajo invernadero.

## **OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar los efectos de las diferentes concentraciones de bicarbonatos en la solución nutritiva sobre el crecimiento y producción de biomasa fresca y seca de plantas de lechuga tipo orejona cv. Lulu bajo invernadero.

### **Objetivo específico**

- Determinar el efecto de la concentración de bicarbonatos en la solución nutritiva sobre el crecimiento aéreo y radicular del cultivo de lechuga.
- Determinar el efecto de la concentración de bicarbonatos en la solución nutritiva sobre la producción de biomasa fresca de las plantas de lechuga.
- Determinar el efecto de la concentración de bicarbonatos en la solución nutritiva sobre la producción de biomasa seca de las plantas de lechuga.

## **HIPÓTESIS**

Alguna de las concentraciones de bicarbonato en la solución nutritiva afectará favorablemente el crecimiento y producción de las plantas de lechuga tipo orejona cv. Lulu bajo invernadero.

## 2.- REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Lechuga

La lechuga es considerada una de las primeras hortalizas que cultivó el hombre, esta se originó en el sur del Mediterráneo siendo domesticada probablemente en Egipto. Se le domesticó en su fase vegetativa, al ser domesticada se expandió a Europa occidental, los italianos llevaron especies en proceso de domesticación y seleccionaron las del tipo romana, en este país se apreció tanto que su nombre deriva de un ilustre italiano llamado Lactuccini (Vallejo y Estrada, 2004).

#### 2.1.1. Descripción botánica

La lechuga (*Lactuca sativa*) pertenece a la familia *Compositae*, esta familia es considerada la más grande de las angiospermas, con cerca de 1000 géneros y tal vez 20 000 especies, el nombre de esta familia deriva de la cabezuela compacta que se parecen a flores individuales, pero en realidad son una flor compuesta. Las especies de las regiones templadas, como la lechuga, son herbáceas, mientras las de clima templado-cálido y tropicales son leñosas y algunas llegan a ser verdaderos árboles (Barreiro, 1993).

Según Ruano (2002), la lechuga es una planta anual, que dispone de un sistema radicular profundo y hojas dispuestas, más o menos apretadas dependiendo del cultivar, las hojas pueden tener muchas formas desde redondeadas hasta ovaladas, con bordes lisos o rizados. Su tallo es cilíndrico al final se ramifica dando a lugar a numerosas hojas y flores amarillas, las cuales están dispuestas en capítulos y su polinización es autógama.

Esta planta tiene una raíz corta de 30 cm a 60 cm de profundidad, contiene látex y se desarrollan muchas raíces laterales las cuales son las que absorben las nutrientes y se encuentran de los 5 cm de profundidad hacia abajo, tiene un tallo cilíndrico y corto donde se desarrollan las hojas y cuando pasa su punto de maduración se desarrolla hasta 1.2 metros de longitud, la planta contiene látex cuando es joven pero al paso del tiempo este disminuye, sus flores se agrupan en racimos de 10 a 25 flores, el androceo de cada flor está compuesto por cinco estambres unidos por la base y cinco antenas unidas que forman el tubo polínico (Jaramillo *et al.*, 2016)

### **2.1.2. Requerimientos de cultivo**

El cultivo de la lechuga (*Lactuca sativa L.*) tiende a desarrollarse en suelos del tipo franco, franco arenoso, franco arcillosos y en orgánicos, aunque tiene un mejor desarrollo en los suelos franco arcilloso y franco arenoso con bastante materia orgánica, un buen drenaje y relación de humedad, suelos profundos con topografía plana o pendientes menores a 30 %, son medianamente tolerantes a la salinidad (4 a 10 mmho) y a los suelos ácidos, el rango de pH en el que se desarrollan óptimamente están entre 6.5 y 7.5, cuando tiene un valor de 5.5 es pobre su desarrollo teniendo como límite 7.3 para desarrollar un buen crecimiento (Jaramillo, *et al*, 2016).

Según Vallejo y Estrada (2004) es una hortaliza que se adapta a climas suaves que están entre los 15°C y los 20°C, en climas tropicales tienen un excelente desarrollo con temperaturas moderadas. Para el desarrollo del área foliar la temperatura medio óptimo debe de estar entre los 15 °C y los 18 °C, la temperatura máxima entre 21 ° C y 24 ° C y la mínima de 7 ° C. La lechuga tiene dos etapas de desarrollo, la primera es la vegetativa y la segunda es la reproductiva, generalmente cuando se siembra en lugares con temperaturas altas estas florecen prematuramente antes de finalizar la primera etapa de desarrollo.

Martínez (2015) menciona que este es un cultivo que ocupa una cantidad superior a los 134 milímetros de agua para todo el ciclo, y tiene un mejor desarrollo con una humedad relativa (HR) entre 60 % y 80%, aunque también puede tolerar una HR menor de 60%.

## **2.2. Sistemas de producción**

Existen dos tipos de sistemas el sistema a campo abierto y el sistema de cultivos protegidos. En el campo abierto se utilizan por lo regular el sistema de mulch o cubierta plástica, las cuestiones climáticas y de suelos pueden influir en la decisión de los colores que se pueden usar, en el otro sistema se utiliza la producción bajo estructuras cubiertas como invernaderos, mallas, túneles y sombreaderos, los principales métodos para la producción son la hidroponía o cultivos sin suelo, la hidroponía puede ser por valsas, NFT, etc., también se utilizan las mezclas de sustratos orgánicos e inorgánicos (Saavedra, 2017).

Moreno (2015) menciona que la mayor parte de la producción de lechuga se cultiva en suelo y a cielo abierto, por otro lado, en algunas partes del mundo se utiliza un manejo que consiste en la reutilización de la solución nutritiva, donde se recircula y se colecta para incorporarla nuevamente (sistema cerrado) se le da una esterilización antes, se ajusta los nutrientes, pH y CE, utilizando un sustrato como soporte. Igualmente, la lechuga se puede producir en sistemas de cultivo en solución (raíz flotante), en la cual no se utiliza un sustrato crece directamente en la solución nutritiva.

## **2.3. Hidroponía**

Proviene de las palabras griegas HIDRO (agua) y PONOS (trabajo o labor) que significa trabajo en agua, mediante este concepto del uso de agua como medio de cultivo se desarrollaron otras técnicas como el apoyo en sustratos y los sistemas de soluciones nutricionales estáticas o circulantes, pero sin perder de vista la temperatura, humedad, agua y nutrientes. Estas técnicas permiten tener cultivos sin suelo o tierra y se utilizan para producción hortalizas ya sea en pequeños espacios o en invernaderos climatizados o no, optimizando espacios y obteniendo calidad y sanidad (Beltrano, 2015).

De acuerdo a Brenes y Jiménez (2014) la definen como la ciencia del cultivo de plantas sin uso de tierra, utilizando medios inertes como lo son el agua o sustratos distintos al suelo tal como se conoce, por ejemplo; granaza de arroz, grava, carbón o piedra volcánica, por mencionar algunos, a estos medios se les debe agregar una solución con todos los nutrientes esenciales que necesita la planta para desarrollarse normalmente.

## **2.4. Solución nutritiva**

Es una solución acuosa de agua con oxígeno y todos los elementos necesarios para el desarrollo de las plantas en formas iónicas y puede tener algunos compuestos orgánicos como los quelatos de Fe y algunos micronutrientes que se puedan presentar. Están regidas por las leyes de la química inorgánica, por lo cual tienen reacciones que dan como resultado complejo y conducen a la precipitación de los iones de la misma, evitando que estén disponibles para las raíces (Benavides *et al*, 2006).

### **2.4.1. Solución de Steiner**

En Holanda, Steiner propuso el concepto de la solución nutritiva universal en el año de 1961, donde clasifico a los nutrientes según su carga eléctrica, según Steiner los agrupo en aniones como  $\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{NO}_3$  y  $\text{SO}_4$ , por otro lado, agrupo a los cationes como K, Ca y Mg. Al igual propuso que debería existir una relación entre los aniones y los cationes para así ser aprovechados al máximo por la planta, estableció que la solución nutritiva universal debería contener las proporciones de 60%  $\text{NO}_3$ , 5%  $\text{H}_2\text{PO}_4$  y 35%  $\text{SO}_4$  en los aniones, mientras que en los cationes fueron 35% K, 45% Ca y 20% Mg (Intagri, 2019).

Juárez *et al* (2006) menciona que Steiner obtuvo una solución nutritiva universal la cual se caracterizó por sus relaciones mutuas entre cationes y aniones los cuales se representan en por ciento del total de  $\text{mM}^{-1}$ . El uso de estas soluciones nutritivas universales está determinado únicamente por la presión osmótica requerida por el cultivo en particular en una época del año.

La solución nutritiva universal está compuesta por aniones y cationes como lo son  $\text{NO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4$  y  $\text{SO}_4$ , así como K, Ca y Mg respectivamente en lo anterior mencionado, cada uno de estos expresados en  $\text{mEq/L}$ , los aniones contenidos en la solución son 12, 1 y 7  $\text{mEq}$  respectivamente, al igual que en los cationes que se encuentran en 7, 9 y 4  $\text{mEq}$  cada uno (Villegas *et al*, 2005).

### **2.4.2. Aspectos importantes a controlar en la preparación de la solución nutritiva**

Según Lara (1999) existen varios aspectos en las soluciones nutritivas que se deben tener en cuenta ya que son importantes, estos aspectos son la relación entre los aniones y los cationes mutuamente, el pH y la temperatura, la relación  $\text{NO}_3:\text{NH}_4$ , la concentración de nutrientes expresados con la conductividad

eléctrica (C.E), la relación que existe entre los aniones y cationes debe corresponder a la demanda nutricional de las plantas.

## **2.5. pH**

Es la escala que mide la concentración de los iones de hidrógenos ( $H^+$ ) presentes en una solución. La escala tiene un intervalo del 0 al 14, un valor de 7.0 es considerado neutro, en los valores menores de 7.0 son ácidos mientras que los mayores son básicos o alcalinos (Torres, *et al.*).

Esta medida se utiliza para calcular la acidez (pH bajos) o la alcalinidad (pH altos) de algunos medios, este parámetro controla las reacciones químicas que determinan si están disponibles o no los nutrientes para su absorción. Cuando el pH está dentro del rango óptimo de 5.5 a 6.5 los nutrientes estarán en su mayor nivel de solubilidad, si está por debajo se pueden presentar deficiencias de nitrógeno (N), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), mientras que si se encuentran por encima se disminuye la solubilidad del hierro (Fe), fósforo (P), manganeso (Mn), zinc (Zn) y cobre (Cu). (Barbaro *et al.*, 2014)

## **2.6. Alcalinidad**

Es la capacidad de una solución para neutralizar los ácidos, es también conocida como capacidad buffer (o de amortiguamiento) del agua, se puede medir en mEq/L o en partes por millón (ppm o mg/L). En una solución la alcalinidad es contribuida por carbonatos, bicarbonatos, amonio, boratos, fosfatos y silicatos, ya en campo los contribuyentes más frecuentes a la alcalinidad del agua son los carbonatos y los bicarbonatos (Torres *et al.*, 2018).

Martínez (2015) lo define como una medida utilizada para conocer la capacidad de las bases para neutralizar los ácidos, las aguas que tienen una baja alcalinidad son más propensas a tener cambios de pH porque no tienen la capacidad tampón. También se le relaciona con la dureza del agua la cual está determinada por la concentración de los cationes  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$ .

La mayoría de las fuentes de agua contienen  $Ca(HCO_3)_2$ ,  $NaHCO_3$ ,  $Mg(HCO_3)_2$  y  $CaCO_3$ , estos alcalinos disueltos tienden a elevar el pH del medio a lo largo del tiempo. Para fuentes de agua de invernadero, la alcalinidad puede estar entre 50-500 ppm, teniendo un punto óptimo de 80-120 ppm ya que con ello aumenta la capacidad de amortiguamiento del medio, cuando es menor de 100-120 ppm,

la fluctuación del pH puede ocurrir muy rápido, si es mayor o muy alto hace que el pH del medio aumente fuera del rango óptimo (Mattson, 2019).

Por otra parte, Will (2019) dice que los  $\text{CO}_3$  y los  $\text{HCO}_3$  son los responsables en causar la alcalinidad, los cuales están disueltos de materiales geológicos de los acuíferos de donde se extrae el agua como lo son la piedra caliza y la dolomita. Cuando la alcalinidad del agua es muy baja y no proporciona el amortiguamiento contra los cambios de pH. Cuando esto pasa el pH de la solución disminuye rápido cuando se utilizan fertilizantes de residuos ácidos.

### **2.6.1. Efectos de la alcalinidad en la absorción de los nutrientes**

Según Douglas (1995) la deficiencia de elementos y el desequilibrio del calcio y el magnesio resulta del riego con aguas alcalinas, cuando se riega por un plazo muy largo con aguas altas en carbonatos y bicarbonatos el rendimiento se limita por la deficiencia de elementos y se debe corregir con fertilizantes específicos, aunque también se puede tener un efecto benéfico cuando la alcalinidad es moderada (30-60 ppm) ya que pueden aportar el  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  que algunos fertilizantes solubles no los aportan y así beneficiar a las plantas propensas a la deficiencia, por otro lado las precipitaciones altas pueden causar el desplazamiento del  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  del suelo y a su vez ser remplazadas por  $\text{H}^+$  que acidifica el suelo.

La baja cantidad de nutrientes puede ser causado por varios factores como la inhibición de los procesos metabólicos por los  $\text{HCO}_3$ , por la disminución en la actividad de la raíz, también puede ser por una baja disponibilidad de nutrientes causados por un pH alto. Por otro lado, se puede tener una concentración alta de nutrientes asociada a una mayor concentración de compuestos orgánicos los cuales se liberaron por los  $\text{HCO}_3$  (Valdez, 2004).

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Localización**

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en el invernadero ubicado en el Departamento de Horticultura, mismo que se encuentra en las coordenadas: latitud 25° 21' 20.88" N y longitud 101° 2' 9.48" O, a una altura de 1742 msnm en Buenavista, Saltillo, Coahuila.

#### **3.2. Material vegetal**

El material vegetal empleado para este experimento fue plantas de lechuga orejona cv. Lulú, la cual se caracteriza por su marcado color verde en las hojas viejas, y uno claro en hojas jóvenes, sus bordes son ondulados y su raíz fibrosa; la altura puede ir de los 20 a los 30 cm desde la base al ápice de la hoja más alta.

##### **3.2.1. Trasplante**

Las plantas se trasplantaron 30 días después de la siembra, cuando las plantas tenían de tres a cuatro hojas verdaderas bien desarrolladas. Como medio de crecimiento se usó una mezcla de *sphagnum peat moss* y perlita en las proporciones 70/30 % v/v, respectivamente. La mezcla se colocó en contenedores de 7" con una capacidad de 1.5 litros. Se colocó una planta por contenedor, obteniendo un total de 4 contenedores por tratamiento.

#### **3.3. Tratamientos evaluados**

Los tratamientos evaluados consistieron en siete concentraciones de bicarbonatos ( $\text{HCO}_3$ ) en la solución nutritiva (0.66, 1.66, 2.66, 3.66, 4.66, 5.66 y 6.66 meq  $\text{L}^{-1}$ ). La solución nutritiva empleada fue la propuesta por Steiner (1986) a una concentración del 80% (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Solución Nutritiva empleada para la producción de lechuga bajo diferentes niveles de bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ).

Aniones/Cationes	(meq L <sup>-1</sup> )
$\text{NO}_3^-$	9.6
$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	0.8
$\text{SO}_4^{2-}$	5.6
$\text{Ca}^{2+}$	7.2
$\text{K}^+$	5.6
$\text{Mg}^{2+}$	3.2

Para preparar la solución nutritiva se consideró el análisis de agua. El análisis de agua indicó una concentración de bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) de 6.66 meq L<sup>-1</sup>, considerando ésta concentración como el tratamiento con mayor cantidad de bicarbonatos en la solución nutritiva, por lo que en la preparación de la solución nutritiva de éste tratamiento no se adicionó ningún ácido. Mientras que para obtener las otras concentraciones de bicarbonato (0.66, 1.66, 2.66, 3.66, 4.66 y 5.66) en la solución nutritiva se adicionó cierta cantidad de ácido para la eliminación de una determinada cantidad de bicarbonatos del agua. Para obtener las concentraciones de bicarbonato de 0.66, 1.66, 2.66, 3.66, 4.66 y 5.66 se adicionó 6.00, 5.66, 4.66, 3.66, 2.66 y 1.66 meq L<sup>-1</sup> de ácido ( $\text{HNO}_3$ ).

Los fertilizantes usados en la preparación de las soluciones nutritivas fueron fosfato monopotásico ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ), sulfato de potasio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ), cloruro de potasio ( $\text{KCl}$ ), nitrato de calcio ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ), ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), nitrato de amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) y sulfato de amonio ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ), estos dos últimos variaron la cantidad adicionada según la cantidad de ácido adicionado. Las cantidades adicionada de cada fertilizante se indicadas en el cuadro 2. En cuanto a los micronutrientes, se adicionó 1.013 g L<sup>-1</sup> en los diferentes tratamientos. Cada solución nutritiva se colocó en botes de 19 L, los cuales se cubrieron con plástico negro y se taparon. La solución nutritiva se renovaba cada semana.

**Cuadro 2.** Cantidades de fertilizantes disueltos para la preparación de las soluciones nutritivas.

HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq L <sup>-1</sup> )	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	KCl	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HNO <sub>3</sub>
				g L <sup>-1</sup>				ml L <sup>-1</sup>
0.66	2.068	4.402	2.83	6.08	2.605	0.805	0.841	9.74
1.66	2.068	4.402	2.83	6.08	2.605	0.805	2.094	8.12
2.66	2.068	4.402	2.83	6.08	2.605	2.325	2.094	6.50
3.66	2.068	4.402	2.83	6.08	2.605	3.845	2.094	4.87
4.66	2.068	4.402	2.83	6.08	2.605	5.365	2.094	3.25
5.66	2.068	4.402	2.83	6.08	2.605	6.885	2.094	1.62
6.66	2.068	4.402	2.83	6.08	2.605	8.405	2.094	0

### 3.4. Manejo del experimento

#### 3.4.1. Riegos

Los riegos con solución nutritiva iniciaron a los cuatro días después del trasplante, esto con el propósito de que las plantas se adaptaran al medio de crecimiento. En las primeras dos semanas de adaptación los riegos fueron dados cada tercer día; cuatro semanas después del ciclo de desarrollo se incrementó a dos riegos por día, debido a las condiciones climáticas y de desarrollo del cultivo.

#### 3.4.2. Deshoje

Eliminación de hojas viejas o cloróticas de la parte inferior de la planta, con el propósito de evitar la intervención en la llegada de los nutrientes a las hojas jóvenes.

#### 3.4.3. Control de plagas y malezas

Las principales plagas fueron mosquita blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) y trips (*Frankiniella occidentalis*), las cuales se controlaron con la aplicación de diversos productos comerciales como actara, movento, abamectina, entre otros. Se eliminaron manualmente las malezas alrededor del experimento.

### **3.5. Variables evaluadas y formas de evaluación**

Al finalizar el experimento se realizaron las siguientes determinaciones:

#### **3.5.1. Peso fresco aéreo**

Para esta variable, la planta se cortó de la base, se arrancaron las primeras hojas para una mejor manipulación y se tomó el peso de éstas con el resto de la planta en una balanza digital.

#### **3.5.2. Peso fresco de cabeza**

Esta variable se determinó al retirar un par de hojas más que para el parámetro anterior y se pesó la cabeza o cogollo que forma la lechuga.

#### **3.5.3. Peso fresco y seco de raíz**

Para determinar el peso fresco se extrajo la raíz del contenedor y se lavó para eliminar la mayor cantidad de sustrato adherido a ella y con ayuda de una balanza digital se registró el peso fresco. En cuanto al peso seco, las raíces fueron llevadas a una estufa de secado a 65°C por 72 horas, culminado el tiempo se registró el peso seco de cada una.

#### **3.5.4. Longitud de raíz**

Una vez limpia la raíz, con la ayuda de una cinta métrica se midió la longitud que tenía; de la base hasta la parte apical de la raíz más larga.

#### **3.5.5. Volumen de raíz**

En una probeta con capacidad de 1 litro se agregaron 700 mililitros de agua y se introdujo la raíz hasta quedar completamente cubierta, una vez sumergida se registró el volumen desplazado.

#### **3.5.6. Altura de planta**

Por lo que se refiere a esta variable, con la ayuda de la cinta métrica se midió de la base de la planta a la punta de la hoja más larga.

#### **3.5.7. Diámetro de planta**

El diámetro se determinó en la parte media de la cabeza. La medición se realizó con una cinta métrica.

#### **3.5.8. Peso seco de hoja**

Se llevó a cabo la destrucción de la planta, las muestras de las hojas obtenidas se llevaron a la estufa de secado a 65°C por 72 horas, posteriormente se determinó el peso seco con ayuda de una balanza digital.

#### **3.5.9. Peso seco de tallo**

Una vez destruida la planta, dichos órganos se llevó a la estufa de secado a 65°C por 72 horas, posteriormente se determinó el peso seco con ayuda de una balanza digital.

#### **3.5.10. Peso seco total**

Esta variable resulta de la suma de los valores del peso seco de hoja, peso seco del tallo y peso seco de la raíz.

### **3.6. Diseño experimental y análisis estadístico**

El diseño experimental empleado fue el de bloques completos al azar con cuatro repeticiones por tratamiento. Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias fue de acuerdo a la prueba de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ) utilizando el programa SAS (Statistical Analysis Systems) versión 9.2.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las variables diámetro de planta, peso fresco de raíz y volumen de raíz fueron afectadas significativamente por las diferentes concentraciones de bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) de la solución nutritiva, mientras que el peso seco de hoja y de tallo no se observaron diferencias significativas (Cuadro 3). El mayor diámetro de la lechuga se presentó con  $2.66 \text{ me L}^{-1}$  de  $\text{HCO}_3^-$ , pues con  $5.66$  y  $6.66 \text{ me L}^{-1}$  de  $\text{HCO}_3^-$  fue donde se observó menor diámetro de las plantas. El peso fresco de raíz se incrementó con  $0.66 \text{ me L}^{-1}$  de  $\text{HCO}_3^-$  pero, con  $6.66 \text{ me L}^{-1}$  de  $\text{HCO}_3^-$  se redujo hasta un 56% del peso de las raíces. Asimismo, el volumen de la raíz se registró mayor incremento con  $0.66$  y  $3.66 \text{ me L}^{-1}$  de  $\text{HCO}_3^-$ , pero, con  $6.66 \text{ me L}^{-1}$  de  $\text{HCO}_3^-$  disminuyó un 57% de su volumen (Cuadro 3). Relacionado a lo anterior, Lucena (2000) indica que el síntoma más obvio de alta alcalinidad es la inducción de clorosis intervenal en las hojas más jóvenes y retraso en el crecimiento general de la planta. Por su parte, Alhendawi *et al.* (1997) al evaluar diferentes concentraciones de bicarbonato suministrado como  $\text{NaHCO}_3$  (0, 5, 10 y 20 mM) el crecimiento de la raíz y brotes se redujo al aumentar la concentración de  $\text{HCO}_3^-$  de los cultivos de maíz, sorgo y cebada, mostrando una reducción a partir de los 5 mM. Mientras que Roosta (2014) al trabajar con diferentes niveles de  $\text{HCO}_3^-$  (0, 25, 50 y 75 mM) suministrados como  $\text{NaHCO}_3$  en la solución nutritiva observó que el crecimiento general de las plantas de fresa se suprimió a medida que el  $\text{HCO}_3^-$  fue mayor de 25 mM en la solución nutritiva.

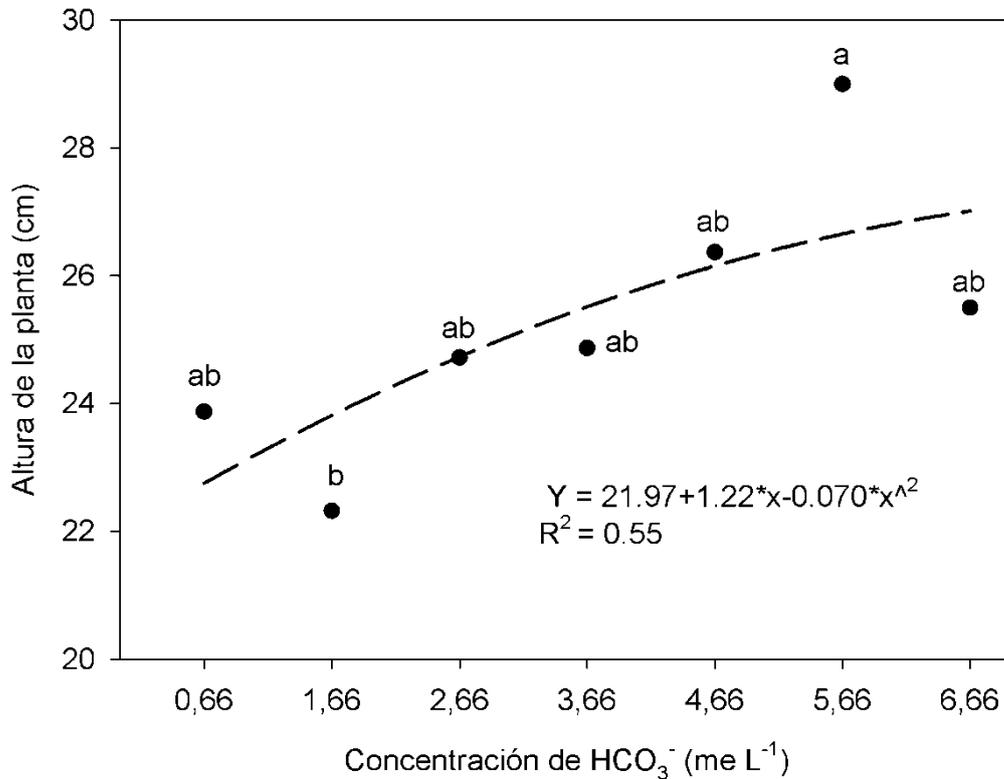
**Cuadro 3.-** Efecto de la concentración de bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) de la solución nutritiva en el diámetro de planta, peso fresco de raíz, volumen de raíz, peso seco de hoja y tallo de las plantas de lechuga tipo orejona cv. Lulu.

$\text{HCO}_3^-$ (me L <sup>-1</sup> )	Diámetro de planta (cm)	Peso fresco de raíz (g)	Volumen de raíz (ml)	Peso seco de hoja (g)	Peso seco de tallo (g)
0.66	42.75abc	62.67a	60.00a	17.92	2.20
1.66	46.87ab	46.62bc	52.50ab	19.12	2.27
2.66	49.12a	44.45bc	47.50ab	19.12	2.15
3.66	46.25abc	52.37ab	62.50a	20.37	2.32
4.66	40.37bc	45.12bc	52.50ab	18.45	2.15
5.66	38.12c	42.12bc	52.50ab	18.80	1.97
6.66	38.22c	35.25c	35.00b	15.50	2.05
Anova $P \leq$	0.001	0.001	0.02	0.07	0.44
Tukey <sup>0.05</sup>	8.429	11.424	22.66	4.5123	0.5624
CV (%)	8.369	10.414	18.726	10.454	11.139

$\leq 0.05$ ,  $0.01$  y  $\geq 0.05$  = Significativo y No Significativo. Anova = análisis de varianza; CV = coeficiente de variación. Las letras a, b y c son las categorías obtenidas de la comparación de medias con Tukey al 0.05.

La altura de la planta de lechuga fue afectada significativamente por la concentración de  $\text{HCO}_3^-$  en la solución nutritiva (Figura 1). Esta variable presenta una tendencia a incremento con el aumento de la concentración de  $\text{HCO}_3^-$ , registrándose una mayor altura con 5.66 me L<sup>-1</sup> de  $\text{HCO}_3^-$  y la menor altura se obtuvo con 1.66 me L<sup>-1</sup> de  $\text{HCO}_3^-$ , además de mostrar una asociación cuadrática con el incremento de a la concentración de  $\text{HCO}_3^-$  en la solución nutritiva (Figura 1). Lo anterior no concuerda con lo reportado por Gómez *et al.* (2014), quienes al evaluar diferentes niveles de  $\text{HCO}_3^-$  en la solución nutritiva (1, 4, 7 y 10 mEq L<sup>-1</sup>), observaron que las plantas de *Lisianthus* exhibieron una disminución lineal en la longitud del brote al aumentar la concentración de  $\text{HCO}_3^-$ . Así mismo, Kramer y Peterson (1990), indicaron que las aplicaciones de aguas con niveles

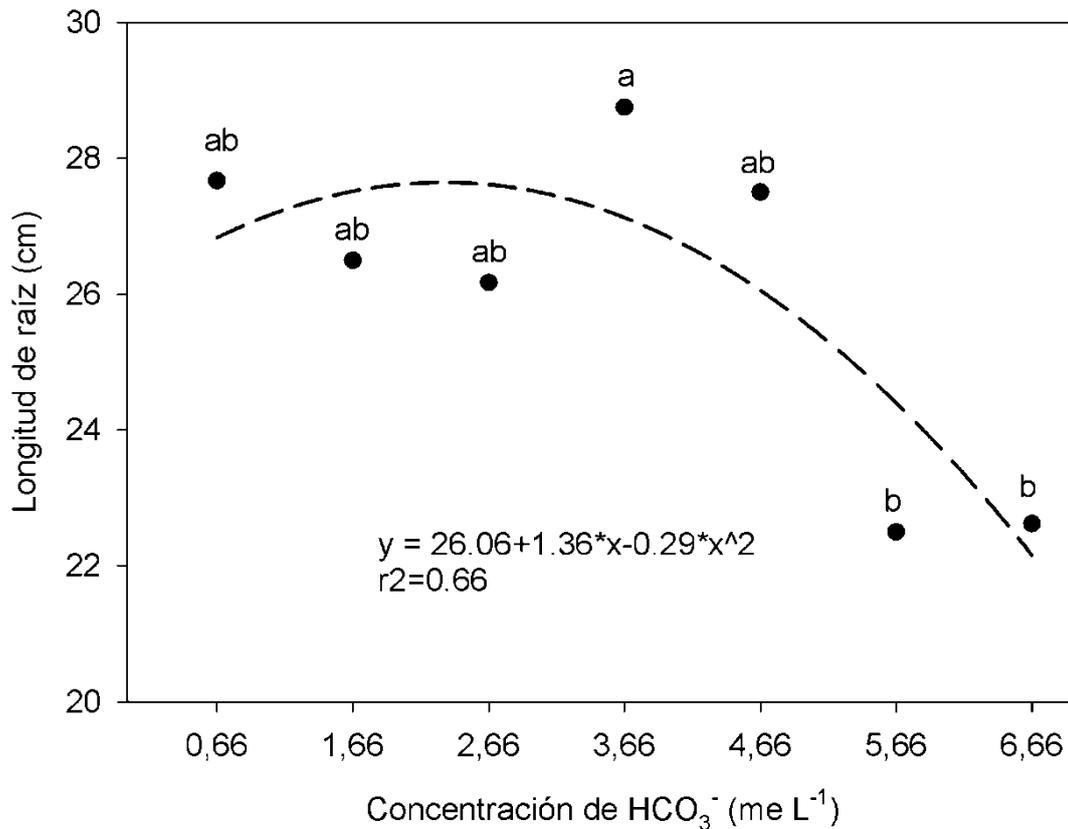
elevados de alcalinidad (100, 250, 500 y 1000 mg/litro de  $\text{HCO}_3^-$ ) durante 6 semanas condujeron a una reducción en la altura de las plantas de crisantemo.



**Figura 1.-** Efecto de la concentración de  $\text{HCO}_3^-$  de la solución nutritiva en la altura de las plantas de lechuga tipo orejona cv. Lulu. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

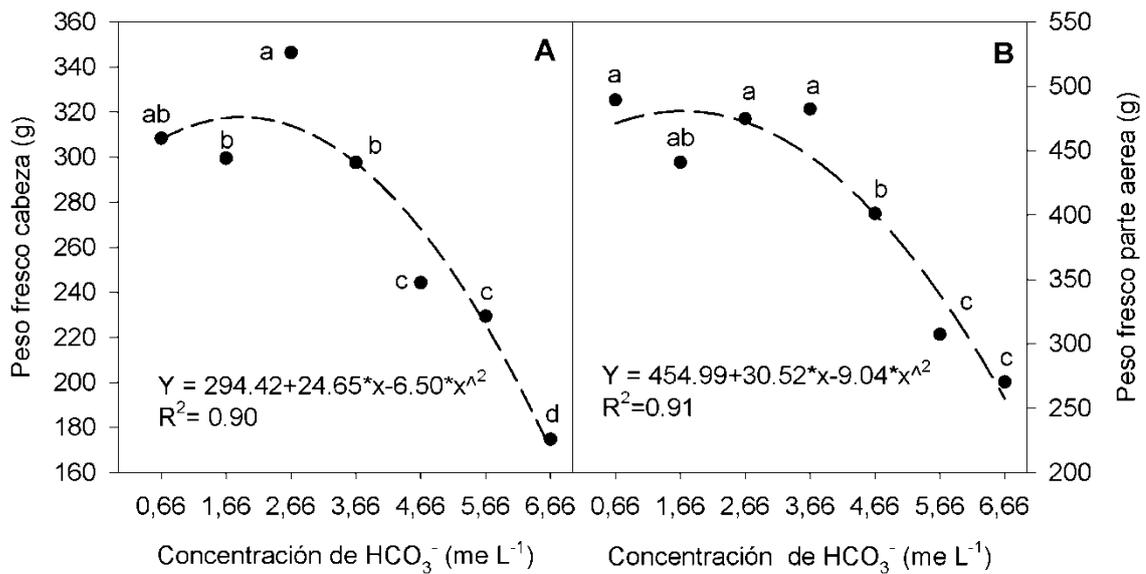
Las diferentes concentraciones de  $\text{HCO}_3^-$  en la solución nutritiva afecta significativamente la longitud de la raíz (Figura 2). El incremento de la concentración de  $\text{HCO}_3^-$  influye de manera negativa la longitud de raíz, pues con una concentración superior a 3.66 me  $\text{L}^{-1}$  de  $\text{HCO}_3^-$  disminuye drásticamente la longitud de las raíces de las plantas, mismo que, tuvo una relación cuadrática negativa con la concentración de  $\text{HCO}_3^-$  de las soluciones nutritivas (Figura 2). Se ha reportado que las plantas tratadas con concentraciones crecientes de  $\text{HCO}_3^-$  exhiben rápidamente un crecimiento inhibido, causado por el efecto inhibitor de  $\text{HCO}_3^-$  sobre la respiración y/o el deterioro de la actividad/crecimiento de la raíz (Alhendawi *et al.*, 1997; Kosegarten *et al.*, 1999) y/o solubilidad de nutrientes (Alcántara *et al.*, 1988; Pearce *et al.*, 1999). Aunque las especies de plantas y los cultivares pueden diferir en su tolerancia al estrés por  $\text{HCO}_3^-$ , la fisiología de la raíz y la solubilidad de nutrientes se ven afectadas

por la capacidad de amortiguación de  $\text{HCO}_3^-$ , que está relacionada con un aumento en el pH del sustrato (Cartmill *et al.*, 2007).



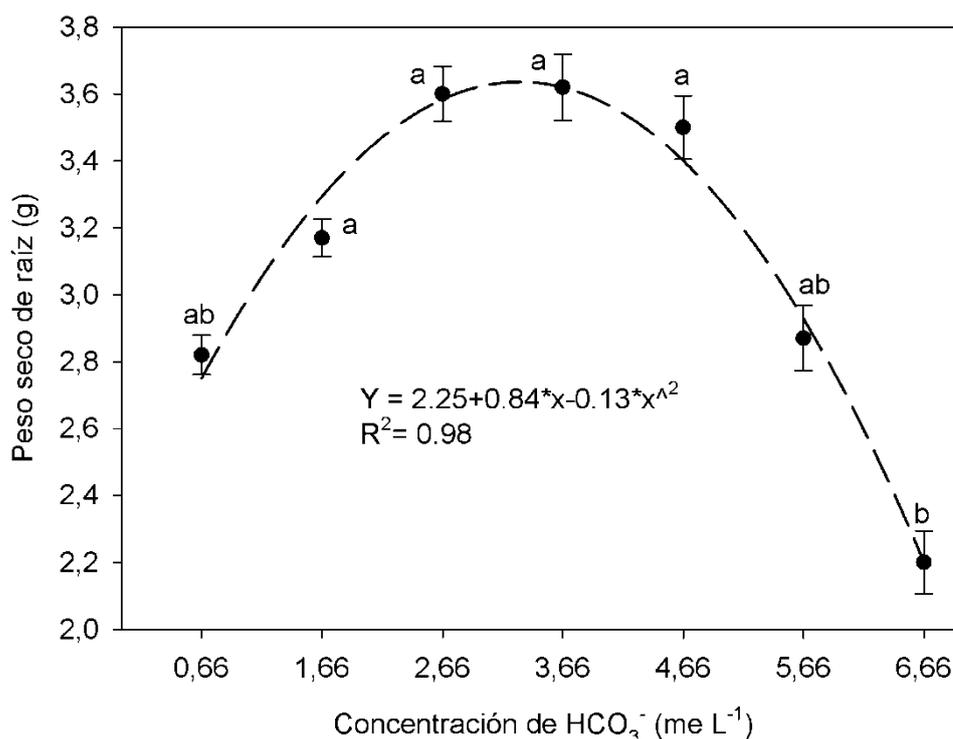
**Figura 2.-** Efecto de la concentración de  $\text{HCO}_3^-$  de la solución nutritiva en la longitud de raíz de las plantas de lechuga tipo orejona cv. Lulu. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

El crecimiento de la parte aérea y de la parte consumible de estas plantas fue afectado significativamente por la concentración de  $\text{HCO}_3^-$  en la solución nutritiva (Figura 3). El mayor peso fresco de cabeza se presentó con 2.66 me L<sup>-1</sup> de  $\text{HCO}_3^-$  en la solución, superior a esta concentración disminuye drásticamente el peso fresco, asimismo, tuvo una asociación cuadrática con la concentración de los  $\text{HCO}_3^-$  (Figura 3A); mientras que el peso fresco de la parte aérea soporto hasta una concentración de 3.66 me L<sup>-1</sup> de  $\text{HCO}_3^-$  en la solución nutritiva, mostrando además una asociación cuadrática con la concentración de los  $\text{HCO}_3^-$  (Figura 3B). La alcalinidad se considera crítica debido al efecto directo sobre el crecimiento y la calidad de la planta (Roosta, 2011; Cartmill *et al.*, 2007), ya que según Roberts (1991) si no se controla cuidadosamente, pueden representar una reducción de hasta un 50% en el rendimiento del cultivo.



**Figura 3** Efecto de la concentración de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> de la solución nutritiva en el peso fresco de la parte aérea de las plantas de lechuga tipo orejona cv. Lulu. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

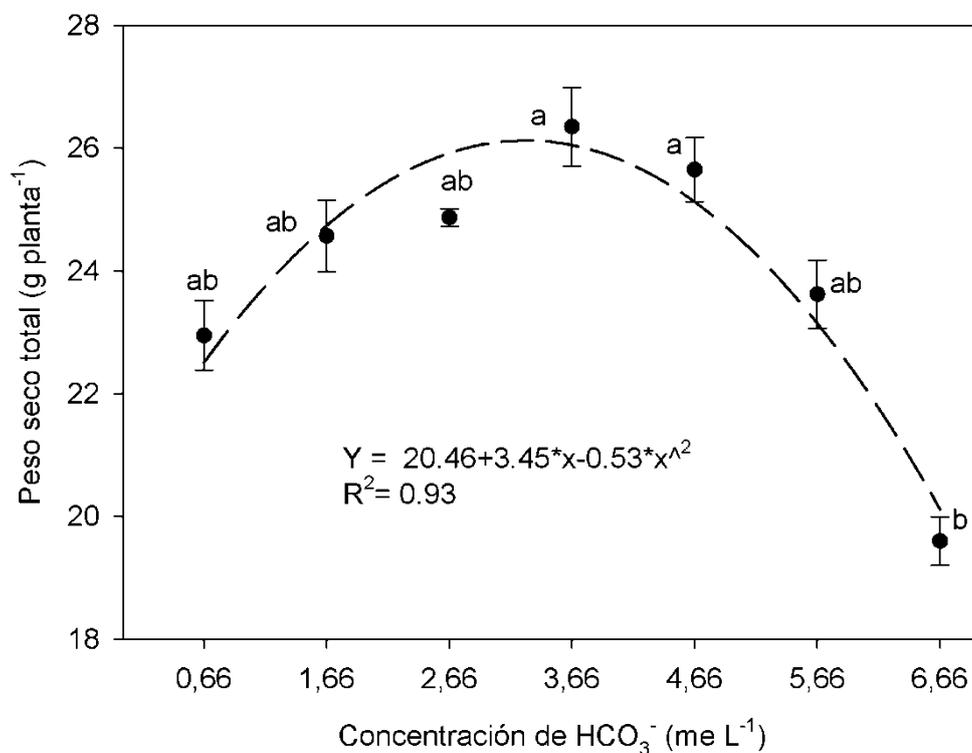
Las plantas irrigadas con las soluciones nutritivas a diferentes concentraciones de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> afectaron de manera significativa ( $P \leq 0.001$ ) el peso seco de las raíces (Figura 4). El incremento de los HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> en las soluciones de 0.6 a 4.66 me L<sup>-1</sup> se aumentó el peso seco de las raíces, pero a una concentración 5.66 y 6.66 me L<sup>-1</sup> disminuyó el peso de esta variable, además, registro una relación cuadrática con las concentraciones de los HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Figura 4). Lo que no concuerda con lo reportado por Gómez *et al.* (2014), los cuales indican que la alcalinidad no tuvo efecto sobre la materia seca de la raíz de las plantas de *lisianthus* al someterlas a diferentes niveles de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> en la solución nutritiva (1, 4, 7 y 10 mEq L<sup>-1</sup>). Mientras que las plantas de vid tratadas con una solución con 10 mM de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> exhibieron una disminución del 16% en la masa de la raíz (Römheld, 2000). Así mismo, los cultivares de arroz mostraron un deterioro severo de la masa seca de la raíz y la longitud y el número de raíces, después de dos días de crecimiento en el suelo con 5.0 mM de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Yang *et al.*, 1994).



**Figura 4.-** Efecto de la concentración de  $\text{HCO}_3^-$  de la solución nutritiva en el peso seco de raíz de las plantas de lechuga tipo orejona cv. Lulu. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

El peso seco de las plantas se incrementó con el aumento de la concentración de  $\text{HCO}_3^-$  en la solución nutritiva, sin embargo, aquellas que recibieron 6.66 me  $\text{L}^{-1}$  de  $\text{HCO}_3^-$  este disminuyó. Asimismo, la máxima acumulación de materia seca se registró con las concentraciones de 3.66 y 4.66 me  $\text{L}^{-1}$  de  $\text{HCO}_3^-$  en las soluciones, además, presenta una asociación cuadrática con las concentraciones de  $\text{HCO}_3^-$  (Figura 5). Se ha reportado que la alcalinidad puede afectar la tasa fotosintética (Gómez *et al.*, 2014; Prakash *et al.*, 2003; 1994; Kosegarten *et al.*, 1999) provocando la disminución en el crecimiento de los brotes (Roosta, 2011) y, por lo tanto, la producción de biomasa, ya que según Poorter *et al.* (1990) y Marschner (1995) mencionan que la producción de biomasa y rendimiento de un cultivo se determinan en gran medida por la fotosíntesis, ya que aproximadamente el 90% del peso seco de una planta se considera derivado de los productos formados durante este proceso. Relacionado a lo anterior, Valdez *et al.* (2007) reportaron que la masa seca del brote de crisantemo, vinca y geranio no se vio significativamente afectada por la concentración más alta de  $\text{NaHCO}_3$  analizado (10 mM); mientras que la masa

seca del brote en rosa se redujo al aumentar las concentraciones de  $\text{NaHCO}_3$  (concentración de  $\text{NaHCO}_3$  superior a 0.8 mM) e hibisco 'Mango Breeze' (concentración de  $\text{NaHCO}_3$  superior a 2.5 mM). Por su parte, Gómez *et al.* (2014) indican que la masa seca total de las plantas de *lisianthus* se redujo cuando la concentración de  $\text{HCO}_3^-$  en la solución nutritiva fue superior a 1 mEq  $\text{L}^{-1}$ . Por lo que el efecto del  $\text{HCO}_3^-$  en la solución nutritiva sobre la acumulación de biomasa seca puede depender de la concentración de  $\text{HCO}_3^-$  y especie con la que se trabaje.



**Figura 5.-** Efecto de la concentración de  $\text{HCO}_3^-$  de la solución nutritiva en el peso seco total de las plantas de lechuga tipo orejona cv. Lulu. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

## 5. CONCLUSIÓN

El  $\text{HCO}_3^-$  afecta el crecimiento y producción de biomasa del cultivo de lechuga, reflejándose en lechugas de mayor peso y tamaño, así como la mayor acumulación de biomasa seca principalmente cuando la concentración de  $\text{HCO}_3^-$  en la solución nutritiva fueron entre 2.66 y 3.66 meq  $\text{L}^{-1}$ .

En general el exceso de  $\text{HCO}_3^-$  en la SN (5.66 y 6.66 meq  $\text{L}^{-1}$ ) reduce el crecimiento de las plantas y por ende afecta la calidad de la misma.

## 6. LITERATURA CITADA

- Alcántara, E., F. J. Romera, and M. D. de la Guardia. 1988. Genotypic difference in bicarbonate-induced iron chlorosis in sunflower. *Journal of Plant Nutrition* 11: 65–75.
- Alhendawi R.A., V. Römheld, E.A. Kirkby, and H. Marschner. 1997. Influence of increasing bicarbonate concentrations on plant growth, organic acid accumulation in roots and iron uptake by barley, sorghum and maize. *Journal of Plant Nutrition*. 20:1731-1753.
- Balsam, M., F. Morales, I. Germendia, and N. Goicochea. 2013. Nutritional quality of outer and inner leaves of green and red pigmented lettuces (*Lactuca sativa* L.) consumed as salads. *Scientia Horticulturae* 151: 103-111.
- Cartmill, A. D., Alarcón, A., & Valdez-Aguilar, L. A. (2007). Arbuscular mycorrhizal fungi enhance tolerance of *Rosa multiflora* cv. Burr to bicarbonate in irrigation water. *Journal of plant Nutrition*, 30(9), 1517-1540.
- Fu, W., P. Li, and Y. Wu. 2012. Effects of different light intensities on chlorophyll fluorescence characteristics and yield in lettuce. *Sci. Hortic.* 135: 45-51.
- Gómez, J. J. C., Muñoz, R. B., & Rodríguez, M. D. L. H. (2015). Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala. *Ingeniería*, 19(1), 39-50.
- Gómez-Pérez, L., Valdez-Aguilar, L. A., Sandoval-Rangel, A., Benavides-Mendoza, A., Mendoza-Villarreal, R., & Castillo-González, A. M. 2014. Calcium ameliorates the tolerance of lisianthus [*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn.] to alkalinity in irrigation water. *HortScience*, 49(6), 807-811.
- Kosegarten, H., F. Grolig, A. Esch, K.-H. Gl"usenkamp, and K. Mengel. 1999. Effects of  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ , and  $\text{HCO}_3^-$  on apoplast pH in the outer cortex of root zones of maize, as measured by the fluorescence ratio of fluorescein boronic acid. *Planta* 209: 444–452.
- Kramer, L. L., & Peterson, J. C. 1990. Influences of water pH, alkalinity and acid additions on growth and nutrient relationships in chrysanthemum morifolium 'bright golden anne'. *Journal of plant nutrition*, 13(2), 169-186.
- Lucena, J. L. 2000. Effects of bicarbonate, nitrate and other environmental factors on iron deficiency chlorosis. A review. *Journal of Plant Nutrition* 23: 1591–1606.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London, p 889.

- Pearce, R. C., Y. Li, and L. P. Bush. 1999. Calcium and bicarbonate effects on the growth and nutrient uptake of burley tobacco seedlings: Hydroponic culture. *Journal of Plant Nutrition* 22: 1069–1078.
- Poorter, H., Remkes, C., y Lambers, H. 1990. Economía de carbono y nitrógeno de 24 especies silvestres que difieren en la tasa de crecimiento relativa. *Fisiología vegetal*, 94 (2): 621-627.
- Prakash, J. S. S., A. Srivastava, R. J. Strasser, and P. Mohanty. 2003. Senescence induced alternation in the photosystem II functions of *Cucumis sativus* cotyledons: Probing of senescence driven alternation of photosystem II by chlorophyll a fluorescence induction O–J I–P transients. *Indian Journal of Biochemistry Biophysics* 40: 160–168.
- Roberts, D.R. 1991. Water woes. *Greenhouse Manager* 10:60-62.
- Römheld, V. 2000. The chlorosis paradox: Fe inactivation as a secondary event in chlorotic leaves of grapevine. *Journal of Plant Nutrition*. 23:1629-1643.
- Roosta, H. R. 2014. Effect of ammonium: nitrate ratios in the response of strawberry to alkalinity in hydroponics. *Journal of Plant Nutrition*, 37(10), 1676-1689.
- Roosta, H. R. 2011. Interaction between water alkalinity and nutrient solution pH on the vegetative growth, chlorophyll fluorescence and leaf Mg, Fe, Mn and Zn concentrations in lettuce. *Journal of Plant Nutrition* 34: 717–731.
- Roosta, H. R., M. M. Tavakkoli, and M. Hamidpour. 2016. Comparison of different soilless media for growing gerbera under alkalinity stress condition. *Journal of Plant Nutrition* 39 (8):1063–73.
- Santos F., B. G., A. K. S. Lobato, R. B. Silva, D. Schimidit, R. C. L. Costa, G. A. R. Alves, and C. F. Oliveira N. 2009. Growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in protected cultivation and open field. *J. Appl. Sci. Res.* 5: 529-533.
- Valdez-Aguilar, L. A., & Reed, D. W. 2007. Response of selected greenhouse ornamental plants to alkalinity in irrigation water. *Journal of plant nutrition*, 30(3), 441-452.
- Valdez-Aguilar, L. A., & Reed, D. W. (2010). Growth and nutrition of young bean plants under high alkalinity as affected by mixtures of ammonium, potassium, and sodium. *Journal of Plant Nutrition*, 33(10), 1472-1488.
- Yang, X., V. Römheld, and H. Marschner. 1994. Effect of bicarbonate on root growth and accumulation of organic acids in Zn-inefficient and Zn-efficient rice cultivars (*Oryza sativa* L.). *Plant and Soil*. 164:1-7.
- Zhang, H., Liu, X. L., Zhang, R. X., Yuan, H. Y., Wang, M. M., Yang, H. Y., ... & Liang, Z. W. (2017). Root damage under alkaline stress is associated with reactive oxygen species accumulation in rice (*Oryza sativa* L.). *Frontiers in plant science*, 8, 1580.