



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
INSTITUTO DE HORTICULTURA**

**NIVELES DE CALCIO EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA Y SU
RELACIÓN CON PUNTA QUEMADA DE LECHUGA (*Lactuca
sativa* L. var. capitata)**

TESIS
COMO REQUISITO PARA
OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:
LEÓN MEDINA OMAR

BAJO LA DIRECCIÓN DE:
Dr. ROGELIO CASTRO BRINDIS

TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO.

JULIO 2019



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
CÓDIGO DE SERVICIOS ESCOLARES
REGISTRO DE EXÁMENES PROFESIONALES



Instituto de Horticultura

La tesis titulada **NIVELES DE CALCIO EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA Y SU RELACIÓN CON PUNTA QUEMADA DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L. var. *capitata*)** fue realizada por el C. Omar León Medina, bajo la dirección del Dr. Rogelio Castro Brindis, asesoría del Dr. Joel Pineda Pineda y el Dr. Juan Enrique Rodríguez Pérez, ha sido revisada y aprobada por el honorable jurado examinador como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Horticultura

Comité asesor

PRESIDENTE: _____

Dr. Rogelio Castro Brindis

ASESOR: _____

Dr. Joel Pineda Pineda

ASESOR: _____

Dr. Juan Enrique Rodríguez Pérez

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Mater la **Universidad Autónoma Chapingo**, por darme la oportunidad de superarme en todos los ámbitos; siendo así una persona de bien.

Al **Departamento De Fitotecnia** que, a través del Instituto de Horticultura y todo su personal, me brindó la oportunidad de realizar la Maestría en Ciencias en Horticultura, en el cual pude consolidar todos mis conocimientos y de cuyo lugar guardo gratos recuerdos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACyT**) por la beca otorgada para la realización de mis estudios de Maestría.

Dr. Rogelio Castro Brindis, por su acertada dirección y apoyo durante el desarrollo de esta investigación, por compartir experiencias y conocimientos, así como el ser uno de mis mejores amigos.

Al Dr. Joel Pineda Pineda, por su acertada dirección y apoyo durante el desarrollo de esta investigación, por su amistad sincera.

Al Dr. Juan Enrique Rodríguez Pérez, por su acertada dirección y apoyo en la parte estadística de esta investigación, por su sincera amistad y confianza de amigo.

Por su valioso apoyo en la fase experimental, mi gratitud sincera a: Azael, Sebastián Citlali y Julieta. A los laboratoristas de los laboratorios de Nutrición Vegetal del departamento de Suelos y Hortalizas del Departamento de Fitotecnia. A todos los administrativos del instituto de Horticultura y Maestría en Ciencias en Horticultura, Anita, Ángeles, Roger, Juan por su amistad y apoyo.

A la familia Cortes Medina, por ofrecerme su hogar, por sus consejos y su hermosa amistad y amor. Que siempre me brindaron su confortable cariño y apoyo incondicional.

DEDICATORIA

A Dios una gratitud eterna por haber hecho eco de mis ruegos y forjar en mí la fortaleza, valor y humildad para enfrentar la vida alcanzando mis metas. A mis padres Venancio León Flores (t) y Cristina Medina Lara, con amor y respeto, mil gracias por su amor, fuerza y apoyo moral en todo momento, que hacen que llegue cada vez más lejos. Ustedes y toda la familia son el pilar que ha motivado mis esfuerzos.

A ustedes hermanos Leonardo y Marco Aldo de todo corazón gracias por todo el apoyo. Por todo lo que significan en mi vida a pesar de los obstáculos del camino.

A mamá Ma. Guadalupe Medina Lara, que es la persona que siempre enciende el sendero de toda mi vida, que, con su ternura, alegría y amor, siempre me alienta a esforzarme cada día más, convirtiéndose en mi más grande inspiración y motivación.

A mis abuelitos Florentina (t), Juan (t), Juana (t) y Rosa (t) que a pesar que no están conmigo siempre me iluminan este camino lleno de aciertos y me levantan de los errores, solo basta decir que son mis ángeles que me cuidan.

A todos mis tí@s Socorro, Rita, Edith, Roberto, Antonio y Enrique que siempre confían y me alientan a la superación con palabras, hechos y me brindaron su apoyo.

A mis primos Diego Crispín, Victoria Cristina, Itzel Monserrat, Miroslava, Roberto, Gael y Amor. Quienes aun conociéndome poco me han brindado en todo momento una sonrisa, han compartido conmigo sus travesuras, por darme cariño y respeto lo cual ha sido aliciente básico en mi superación constante. A la Ingeniera Claudia Pérez, gracias por todo el apoyo para la culminación de la presente investigación. Por su calidad moral, profesionalismo, sencillez, amistad y apoyo brindado.

A ti Mariana, esposa y cómplice mía, gracias por tu amor, comprensión y apoyo incondicional en todo momento, por ser la alegría, ternura y motivar mi vida personal y profesional enseñándome a ser constante y responsable.

DATOS PERSONALES



Nombre: Omar León Medina
Fecha de nacimiento: 01 de mayo de 1991
Lugar de nacimiento: Guarapo, Municipio de Valle de Santiago, Guanajuato
CURP: LEMO910501HGTNDM03
Profesión: Ingeniera Agrónomo Especialista en Parasitología Agrícola

Desarrollo académico

Preparatoria: 2006-2009 Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo

Licenciatura: 2009-2013 Ingeniero Agrónomo Especialista En Parasitología Agrícola.

Desarrollo Profesional

Taylor Farms de México Técnico De Producción - Forecast & Cosecha De Cultivos
2014 -2016 De Lechuga y Brócoli.

“Creo que mis ojos son cada vez mejores. En lugar de una gran mancha oscura, veo una gran mancha de luz.”

Han Solo

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	3
DEDICATORIA	4
DATOS PERSONALES.....	5
I. RESUMEN.....	13
II. INTRODUCCIÓN.....	15
III. OBJETIVO GENERAL	17
IV. REVISION DE LITERATURA.....	18
4.1. DESARROLLO HISTÓRICO DE LA LECHUGA	18
4.2. ESTADÍSTICA NACIONAL E INTERNACIONAL	19
4.3. IMPORTANCIA DE LAS FISIOPATÍAS	20
4.4. PUNTA QUEMADA DE LA LECHUGA	20
4.5. FACTORES IMPLICADOS EN LA APARICIÓN DE PUNTA QUEMADA EN LECHUGA	22
4.5.1. Luz	22
4.5.2. Humedad relativa.....	22
4.5.3. Suelo.....	23
4.5.4. Temperatura.....	23
4.6. NUTRICIÓN VEGETAL.....	24
4.6.1. Nitrógeno (N).....	25
4.6.2. Fósforo (P)	25
4.6.3. Potasio (K)	25
4.6.4. Calcio (Ca).....	25
4.6.5. Magnesio (Mg)	25

4.6.6. Boro (B)	26
4.7. SOLUCIÓN NUTRITIVA.....	27
4.8. RELACIÓN NUTRIMENTAL	28
4.9. DESARROLLO VEGETAL.....	29
4.10. METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DEL CRECIMIENTO VEGETAL 30	
4.11. COSECHA Y CALIDAD	32
V. MATERIALES Y MÉTODOS	33
5.1. LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO	33
5.2. FACTORES DE ESTUDIO	33
5.2.1. Material vegetal.....	33
5.2.2. Niveles de calcio en la solución nutritiva.....	33
5.3. TRATAMIENTOS	39
5.4. UNIDAD Y DISEÑO EXPERIMENTAL.....	39
5.4.1. Modelo lineal.....	40
5.5. CARACTERES EVALUADOS	40
5.6. RECOLECCIÓN DE LAS MUESTRAS	41
5.7. ESTABLECIMIENTO, MANEJO Y CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO	41
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
6.1. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO.....	43
6.1.1. Número de hojas y altura de planta	43
6.1.2. Rendimiento del cultivo	50
6.2. CONTENIDO DE NUTRIMENTOS EN LECHUGA	58
6.3. RELACIONES NUTRIMENTALES.....	65
VII. CONCLUSIONES	68
VIII. RECOMENDACIONES.....	68

IX. ANEXOS.....	69
X. REFERENCIAS	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comparación de los valores de β de la regresión no lineal del modelo exponencial con el intervalo al 95% para los tratamientos en la variable a) número de hojas y b) altura de planta del muestreo a los 53 días después del trasplante.	47
Figura 2. Modelo exponencial del comportamiento del número de hojas en el híbrido a) Boomerang, b) Mejía y C) Toscanas; con niveles de calcio diferentes en la solución nutritiva.	48
Figura 3. Modelo exponencial del comportamiento de altura de planta en el híbrido a) Boomerang, b) Mejía y C) Toscanas; con niveles de calcio diferentes en la solución nutritiva.	49
Figura 4. Comparación de los valores de β de la regresión no lineal del modelo exponencial con el intervalo al 95% para los tratamientos en la variable peso total del muestreo a los 53 días después del trasplante.	54
Figura 5. Modelo exponencial del comportamiento del peso total en el híbrido a) Boomerang, b) Mejía y C) Toscanas; con niveles de calcio diferentes en la solución nutritiva.	56
Figura 6. Comparación de medias a los 46 y 53 días después del trasplante para las siguientes variables a) Peso Total, b) Peso de Roseta y c) Incidencia de punta quemada de lechuga.	57

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Guía para la interpretación de resultados de análisis foliar de lechuga propuesta por (Medina J., 2019).....	26
Cuadro 2. Concentraciones iónicas de calcio en la solución nutritiva de los tratamientos utilizados en el experimento.....	34
Cuadro 3. Cantidad de fertilizante para preparar 1000 litros de solución nutritiva con $12.39 \text{ meq}\cdot\text{l}^{-1}$ de calcio, para el cultivo de lechuga. Chapingo, México. 2018.	35
Cuadro 4. Cantidad de fertilizante para preparar 1000 litros de solución nutritiva con $9.00 \text{ meq}\cdot\text{l}^{-1}$ de calcio, para el cultivo de lechuga. Chapingo, México. 2018.	36
Cuadro 5. Cantidad de fertilizante para preparar 1000L de solución nutritiva con $4.29 \text{ meq}\cdot\text{l}^{-1}$, para el cultivo de lechuga. Chapingo, México. 2018.....	37
Cuadro 6. Cantidad de fertilizante para preparar 1000L de solución nutritiva con $1.55 \text{ meq}\cdot\text{l}^{-1}$, para el cultivo de lechuga. Chapingo, México. 2018.....	38
Cuadro 7. Tratamientos estudiados en el experimento sobre relaciones nutrimentales de calcio en la punta quemada de lechuga	39
Cuadro 8. Comparación de medias de los tratamientos evaluados en el experimento de punta quemada de lechuga.	43
Cuadro 9. Comparación de medias de número de hojas y altura entre híbridos.	44
Cuadro 10. Comparación de medias de número de hojas y altura de planta entre soluciones nutritivas con diferente concentración de calcio.....	45
Cuadro 11. Modelos matemáticos obtenidos del número de hojas.....	46
Cuadro 12. Comparación de medias de los tratamientos evaluados en el experimento de punta quemada de lechuga.	50
Cuadro 13. Comparación de medias de peso total, peso de roseta e incidencia de punta quemada entre híbridos.	52

Cuadro 14. Comparación de medias de peso total, de roseta e incidencia de punta quemada entre soluciones nutritivas con diferente concentración de calcio.....	53
Cuadro 15. Modelos matemáticos obtenidos de la medición del peso total.....	55
Cuadro 16. Comparación de medias de contenido de nutrimentos entre híbridos cultivados en soluciones nutritivas con diferente concentración de calcio a los 46 días después del trasplante.	58
Cuadro 17. Comparación de medias de contenido de nutrimentos entre híbridos a los 46 días después del trasplante.....	59
Cuadro 18. Comparación de medias de contenido de nutrimentos entre diferentes niveles de calcio en la solución nutritiva a los 46 días después del trasplante.	60
Cuadro 19. Comparación de medias de contenido de nutrimentos entre híbridos cultivados en soluciones nutritivas con diferente concentración de calcio a los 53 días después del trasplante.	62
Cuadro 20. Comparación de medias de contenido de nutrimentos entre híbridos a los 53 días después del trasplante.....	63
Cuadro 21. Comparación de medias de contenido de nutrimentos entre diferentes niveles de calcio en la solución nutritiva a los 53 días después del trasplante.	64
Cuadro 22. Relaciones nutrimentales de calcio con nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio a los 53 días después del trasplante.	65
Cuadro 23. Comparación de medias de relaciones nutrimentales de calcio entre híbridos a los 53 días después del trasplante.	66
Cuadro 24. Comparación de medias de relaciones nutrimentales de calcio entre niveles de calcio en la solución nutritiva a los 53 días después del trasplante.	67

ANEXOS

Anexo 1. Análisis de agua del pozo de riego, del Campo experimental “El Ranchito”.	69
Anexo 2. Croquis de distribución del experimento en el invernadero.	70
Anexo 3. Registro de eventos meteorológicos durante la fase experimental en el invernadero.	71
Anexo 4. Análisis de varianza de a los 46 días después del trasplante, en las variables número de hojas, altura, peso total y peso de roseta en plantas de tres híbridos de Lactuca sativa L. var. capitata, con cuatro concentraciones de calcio diferente en la solución nutritiva.....	73
Anexo 5. Análisis de varianza de a los 53 días después del trasplante, en las variables número de hojas, altura, peso total y peso de roseta en plantas de tres híbridos de Lactuca sativa L. var. capitata, con cuatro concentraciones de calcio diferente en la solución nutritiva.....	73
Anexo 6. Análisis de varianza de contenido de nutrimentos en plantas de tres híbridos de Lactuca sativa L. var. capitata, con cuatro concentraciones de calcio diferente en la solución nutritiva. Chapingo, 2018.	74
Anexo 7. Análisis de varianza de relaciones nutrimentales de calcio en plantas de tres híbridos de Lactuca sativa L. var. capitata, con cuatro concentraciones de calcio diferente en la solución nutritiva. Chapingo, 2018.	74

NIVELES DE CALCIO EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA Y SU RELACIÓN CON PUNTA QUEMADA DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L. var. capitata)

Omar León-Medina¹, Rogelio Castro-Brindis², Joel Pineda-Pineda² y Juan Enrique Rodríguez-Perez²

I. RESUMEN

El cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. capitata), presenta un desorden fisiológico conocido como “punta quemada”, el cual tiene su origen en la nutrición. La investigación se llevó a cabo con el objetivo de determinar las relaciones nutrimentales que no favorecen la aparición de punta quemada en lechuga. Se emplearon tres híbridos de lechuga; Toscanas®, Boomerang® y Mejía® y se evaluaron cuatro niveles de calcio (meq·l⁻¹): N1 (1.55), N2 (4.29), N3 (9) y N4 (12.39) en la solución nutritiva.

Existió respuesta favorable de las plantas de lechuga a niveles altos de calcio en la solución nutritiva, a la no expresión de sintomatología de punta quemada de lechuga, esto es debido a que el nivel de calcio en el tejido, medido a través a su contenido en tejido vegetal, juega un papel determinante en las funciones fisiológicas de la planta y el grado de abastecimiento establece la relación para la aparición de síntomas de la fisiopatía. Los niveles de calcio en los tratamientos no influyeron en las variables de número de hojas, altura y peso de planta, debido a que estos caracteres se encuentran ligados al genotipo. Los genotipos utilizados en la investigación mostraron susceptibilidad a esta fisiopatía y solo se tuvo respuesta favorable con la interacción de niveles altos de calcio en la solución nutritiva, que no permitieron la manifestación de síntomas y se obtuvo mayor número de piezas comercializables.

Palabras clave: híbridos, fisiopatía, nutrimentos y solución nutritiva.

¹ Estudiante de la Maestría en Horticultura, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. C.P. 56230. Chapingo, México.

² Profesor investigador, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. C.P. 56230. Chapingo, México.

ABSTRACT

Omar León-Medina

CALCIUM LEVELS IN THE NUTRIENT SOLUTION AND ITS RELATIONSHIP WITH TIP BURN LETTUCE (*Lactuca sativa* L. var. capitata)

Under the direction of Rogelio Castro-Brindis

The cultivation of lettuce (*Lactuca sativa* L. var. capitata), presents a physiological disorder known as "tip burn", which has its origin in nutrition. The research was carried out with the objective of determining the nutritional relationships that do not favor the appearance of burned tip in lettuce. Three lettuce hybrids were used; Toscanas®, Boomerang® and Mejía® and four calcium levels (meq·l⁻¹) were evaluated: N1 (1.55), N2 (4.29), N3 (9) and N4 (12.39) in the nutrient solution.

There was favorable response of the lettuce plants to high levels of calcium in the nutrient solution, to the non-expression of tip burn symptoms of lettuce, this is due to the level of calcium in the tissue, measured through its content in plant tissue plays a decisive role in the physiological functions of the plant and the degree of supply establishes the relationship for the appearance of symptoms of physiopathy. The calcium levels in the treatments did not influence the variables of number of leaves, height and weight of the plant, because these characters are linked to the genotype. The genotypes used in the research showed susceptibility to this physiopathy and there was only a favorable response with the interaction of high levels of calcium in the nutrient solution, which did not allow the manifestation of symptoms and a greater number of marketable pieces was obtained.

Key words: hybrids, physiopathy, nutrients and nutritive solution.

NIVELES DE CALCIO EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA Y SU RELACIÓN CON PUNTA QUEMADA DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L. var. capitata)

II. INTRODUCCIÓN

La lechuga (*Lactuca sativa* L. Var. capitata) es el cultivo más importante para el mercado de hortalizas que se comercializan en fresco en términos de peso, producción y valor de mercado. La tendencia internacional es la exportación de lechuga para su consumo en fresco y producción de ensaladas en trozos, en sitios de cosecha, industria de conservación y el consumo empaquetado para tiendas de autoservicio y restaurantes (Salazar, 2011).

En los últimos años el consumo de lechuga registró un incremento continuo, por lo que existe la necesidad de elevar su volumen de producción para satisfacer la demanda de mercado en crecimiento, ya que el mayor porcentaje de producción se ubica en Asia con 66.4%, seguido por América con 19 % y el resto del mundo con 14.6% (FAO, 2018).

La producción agrícola nacional de lechuga busca incrementar la calidad, sanidad, rendimientos y obtener productos con mayor vida de consumo en Mercado. La lechuga se encuentra en cualquier época del año y como el resto de las hortalizas, es fuente de vitaminas y minerales indispensables para el organismo. La conciencia que existe por mantener la salud a través del mayor consumo de vegetales y frutas, ha provocado un mayor consumo de éstas, como es el caso de la lechuga, que por lo que toca a México, ha crecido constantemente en el campo de las exportaciones de este producto, a partir de la transformación y conservación en producto empaquetado a Estados Unidos (**ASERCA, 2014**).

De acuerdo con lo anterior, en el proceso productivo de lechuga, es primordial la elaboración de paquetes tecnológicos de producción, que garanticen rentabilidad y sostenibilidad del cultivo y uno de los problemas más importantes es la nutrición de esta especie, puesto que determina la calidad, vida postcosecha y rendimiento.

Entre los principales problemas que enfrenta el cultivo de lechuga, relacionado al aspecto nutrimental, es la punta quemada; ya que demerita directamente la calidad e impacta negativamente la comercialización y transformación de este producto, lo que afecta intereses socioeconómicos, tanto en el desarrollo de la producción en campo; como en el proceso y/o destino. Una de las razones por la que no se cultiva mayor superficie de lechuga es fundamentalmente debido a la gran incidencia de la fisiopatía denominada “punta quemada”, ésta se caracteriza por la desecación de los bordes de los limbos foliares, especialmente de las hojas más jóvenes del interior de la planta. Esta fisiopatía se presenta normalmente cuando el cogollo está ya formado (Marotto, 2002).

La presencia de esta fisiopatía reduce la calidad de producto lo que constituye un grave problema para su comercialización. Desde hace algún tiempo se han hecho estudios, para conocer la causa que la provoca y su posible corrección. Se sabe que aparece cuando el nivel de calcio es bajo en los tejidos de las hojas afectadas. Los factores que influyen pueden ser varios como: alta temperatura, baja humedad del suelo, presencia de salinidad, problemas de transporte dentro de la planta, etc., aunque no se conoce bien todavía, todas las causas.

Así se encuentran referencias en la bibliografía que mencionan que además del bajo nivel en calcio influyen otros nutrimentos como el boro o el manganeso. Las deficiencias de calcio y boro presentan síntomas parecidos en diversos cultivos, como es el caso de la lechuga y escarola, provocando reducción del crecimiento, malformación de hojas jóvenes y la formación de zonas ennegrecidas cerca de los márgenes de las hojas, que terminan por necrosarse. Estos síntomas conllevan a la muerte del punto de crecimiento (Islam & et al., 2004).

Carrasco (2014) mencionó que las deficiencias en calcio y en boro en escarola provocan mayor afección de punta quemada. Por otro lado, existe un creciente interés por cultivar más lechuga, en México, especialmente por empresas que se dedican a la producción de ensaladas; pero encuentran que, a pesar de ser un cultivo relativamente sencillo de producir, el problema de punta quemada, hace inviable su comercialización, obligando a no sembrar más superficie.

Considerando lo anterior, para garantizar calidad en el producto no solo es necesario un buen manejo de suelo, clima, fenología, aspecto fitosanitario, sino también el factor nutrimental. Por lo que el presente trabajo se llevó a cabo para determinar las concentraciones nutrimentales que impiden la aparición y desarrollo de la fisiopatía de puntas quemadas en lechuga, a través de análisis de crecimiento del cultivo, el contenido de calcio en el tejido y sus relaciones nutrimentales.

III. OBJETIVO

Evaluar el estado nutrimental de plantas de tres híbridos de lechuga tipo Iceberg en cuatro niveles de calcio en la solución nutritiva, a través de su ciclo agrícola, mediante la determinación de análisis de crecimiento y químicos de su contenido de N, P, K, Ca y Mg en el tejido, para obtener las relaciones nutrimentales del calcio en la planta, que eviten la aparición de la fisiopatía punta quemada.

IV. REVISION DE LITERATURA

4.1. DESARROLLO HISTÓRICO DE LA LECHUGA

Las lechugas son nativas de las regiones templadas de Europa, Asia y América del Norte. Esta planta fue domesticada por los egipcios hacia el 4500 a.C. y se cultiva desde la antigüedad griega. Fue traída a América en los años 1 600 por los europeos. Casi todos los botánicos consideran que la escarola es el origen de las variedades cultivadas de lechuga. Es una planta herbácea anual rústica, tiene hojas grandes, blandas, enteras o aserradas (Cerdas A., 2004).

Sin embargo, es posible que sea mucho más antigua y que esta planta represente la transición entre la lechuga silvestre y la lechuga cultivada. De esta forma, la domesticación de la lechuga habría sido realizada en el valle del Nilo o en la región del Tigris y el Éufrates, que se corresponden con la zona de diversidad máxima de las especies adventicias de *Lactuca* y de formas emparentadas. Se conocía la lechuga en Persia, alrededor de 550 años a.C., y más tarde en Grecia y en Roma donde han sido descritas formas.

Llevaban entonces nombres que hacían referencia a las diferencias de color o de origen geográfico. Tras el momento en que la lechuga se dispersó alrededor de la cuenca mediterránea debió aparecer la lechuga romana bajo diferentes formas, incluyendo tipos erguidos y otras parecidas a las lechugas de corte. Las formas acogolladas (trocadero, Batavia) habrían aparecido probablemente más tarde al Norte de la zona mediterránea. El ultimo tipo creado es la lechuga iceberg, una variante del tipo Batavia. Vio la luz en California en los años 40's, sustituyendo así las demás variantes de lechuga en el mercado (Blancard, 2005).

Estados Unidos, Reino Unido, Alemania, Holanda, y Suecia son los principales compradores de lechuga del tipo Iceberg a nivel mundial. No obstante, en los últimos años se ha despertado el interés por otros tipos de lechuga, como las variedades gourmet teniendo éxito la producción y mercado de las lechugas como la romana, mantequilla, escarola, japónica y otras, las cuales están tomando gran auge en los mercados internacionales (Cerdas A., 2004).

Los tipos de lechuga que existen, se clasifican en el mercado internacional como: a) romanas (*Lactuca sativa* var. *longuifolia*), b) acogolladas (*Lactuca sativa* var. *capitata*) y c) de hojas sueltas: no forma cabeza (*Lactuca sativa* var. *intybacea*) (Cerdas A., 2004).

4.2. ESTADÍSTICA NACIONAL E INTERNACIONAL

La lechuga es un vegetal que se consume principalmente en fresco, en ensaladas, una ventaja agronómica que tiene este cultivo es su ciclo vegetativo corto, lo que permite su producción todo el año (Marotto, 2002). La producción internacional de lechuga en el año 2016 fue de 24, 489,059 toneladas y China fue el principal productor con 13, 434,500 toneladas, Estados Unidos de América, ocupó el segundo lugar con 4,070,780 toneladas y México ocupó el noveno lugar (SIAP, 2018).

En México la producción de esta hortaliza es superior a 3,813,127 de toneladas, provenientes de diversas áreas geográficas, exportando el 56 % de la producción anual principalmente a Estados Unidos, de 2010 a 2014 la superficie de cultivo aumento 1.71 % y la producción 2.38 % (FAO, 2018). En México, los estados con mayor superficie de producción de esta hortaliza son: Guanajuato, seguido por Zacatecas y Puebla con 6033, 3497 y 2790.5 ha, respectivamente; con un rendimiento promedio nacional de 21.43 toneladas por hectárea (SIAP, 2018).

El estado de Guanajuato cuenta con gran cantidad de productores que tienen situado su mercado de venta en la costa este de Estados Unidos de Norteamérica a través de ventas de oportunidad, es decir, cuando ocurre algún fenómeno que afecta a ese mercado, mientras que, en el estado de Puebla, la producción es utilizada principalmente para abastecer el mercado nacional, donde la mayoría se vende en el Valle de México (ASERCA, 2014).

4.3. IMPORTANCIA DE LAS FISIOPATÍAS

Cuando las condiciones ambientales no cumplen con los requerimientos exigidos para el desarrollo adecuado de los cultivos pueden aparecer en las plantas determinadas manifestaciones indeseables, denominadas fisiopatías, que son el resultado de desarreglos fisiológicos. También el inadecuado manejo de la infraestructura de cultivo o el desconocimiento de su uso correcto origina la aparición de fisiopatías (Fernández H. & et al., 2003).

El interés por el control de las fisiopatías en los cultivos hortícolas ha aumentado notablemente en los últimos años, debido, entre otras razones, a la gran importancia que tiene la calidad en la producción y su posterior comercialización (Fernández H. & et al., 2003).

Las fisiopatías son alteraciones fisiológicas causadas por diversos factores: nutricionales, climáticos y culturales, entre otros, y su evidencia no tiene origen con algún problema fitopatológico (Muñoz, 2003).

4.4. PUNTA QUEMADA DE LA LECHUGA

La punta quemada o “tip burn” es una alteración que se relaciona con las condiciones climáticas, variedad y nutrición mineral. Las hojas de las plantas con esta fisiopatía tienen una apariencia desagradable y el margen de la hoja dañada es más débil y susceptible a pudriciones (Salazar, 2011).

Es una alteración que se manifiesta como una quemadura de las puntas de las hojas jóvenes e interiores de la planta, que está ocasionada por una deficiente translocación de calcio y que puede ser el origen de distintas podredumbres originadas por infecciones criptogámicas o bacterianas, teniendo incidencia negativa en su valor comercial (Maroto, 2002).

La punta quemada en lechuga ha sido un problema desde hace muchos años causando graves pérdidas en muchas áreas de cultivo. Cuando las temperaturas y los niveles de radiación son elevados, tanto en la producción en invernadero, como en el campo en los meses de verano, constituye un problema grave. En la actualidad las pérdidas se han reducido mediante la selección de plantas resistentes, pero la creciente demanda de lechuga y escarola de alta calidad hace que esta fisiopatía

sea una preocupación constante para el agricultor ya que ocasiona grandes pérdidas (Collier, G. F. & Tibbitts, 1982) .

Antes de la aparición de la necrosis marginal, se observa decoloración en las venas más grandes del margen de la hoja causadas por la ruptura del tejido laticífero liberándose el látex en los tejidos colindantes. Dicha liberación causa el colapso del parénquima y la obstrucción de los elementos del xilema provocando disminución de la turgencia de la hoja y el colapso de las células del mesófilo y su posterior necrosis (Collier, G. F. & Tibbitts, 1982).

Según Cox (1980), esta fisiopatía está relacionada con una deficiencia en calcio en las hojas internas más jóvenes, el calcio participa en la solidez de las paredes y de las membranas celulares. El calcio se absorbe y transporta en la planta de forma iónica en el apoplasto, vía xilema mediante el flujo radicular de agua, por lo que los órganos que solo reciben la mayor parte del agua por el floema tendrán una concentración inadecuada de calcio (Guardiola & García, 1990).

Al igual que el calcio, el boro se mueve en el interior de la planta vía xilema y no puede ser distribuido en el floema. Sin la presencia de boro, el calcio no puede ser incorporado funcionalmente a la estructura de las células (Davis & et al., 2012).

De acuerdo con Morgan (1999) además del calcio, bajos niveles de manganeso y boro pueden causar punta quemada en lechuga.

Por otra parte, en situaciones de crecimiento excesivamente rápido, en los tejidos jóvenes hay una gran demanda de calcio para la formación de membranas. En estos casos la fisiopatía suele presentarse más intensamente. En condiciones de alta humedad relativa nocturna, la presión radicular impulsa un flujo de sabia ascendente a presión superior que ocasiona la gutación foliar. Las hojas en desarrollo tienen altas demandas de calcio que son necesarias para la expansión y formación de la pared celular (Barta & Tibbitts, 1991.).

4.5. FACTORES IMPLICADOS EN LA APARICIÓN DE PUNTA QUEMADA EN LECHUGA

Marotto (2002) explico que los factores externos, altas temperaturas, estrés hídrico, salinidad y déficit de calcio en el suelo, e internos como el crecimiento rápido de la planta, que aumentan la evaporación o la concentración de calcio en la solución, incrementan la aparición de esta fisiopatía. A continuación, se describen los principales factores externos que influyen en esta fisiopatía:

4.5.1. Luz

En varios estudios realizados, se determinó que el incremento de la intensidad de luz y los fotoperiodos largos aceleran la aparición de esta fisiopatía. También se ha observado que el cambio rápido de baja a elevada intensidad luminosa, acompañado de un descenso de humedad, impulsa la aparición de punta quemada. Se ha visto que la punta quemada aparece primeramente en plantas que se desarrollan bajo invernadero que en las que se cultivan en el exterior (Saure, 1998).

En un ensayo bajo invernadero en condiciones de baja intensidad lumínica no apareció esta fisiopatía, por lo que su incidencia no está solamente relacionada con la intensidad de luz, sino que tiene que estar conjuntamente relacionada con cambios de temperatura y humedad relativa (Islam & et al., 2004).

4.5.2. Humedad relativa

No existe acuerdo entre diversos autores sobre la incidencia de la humedad relativa y la punta quemada. Estudios realizados determinaron que plantas establecidas en condiciones de elevada humedad relativa durante la noche desarrollaron síntomas de esta fisiopatía, en cambio las plantas con bajo nivel de humedad relativa no presentaron síntomas. Estos autores llegaron a dos conclusiones: la primera, que la concentración de calcio en hojas se redujo debido al incremento de crecimiento de las plantas, aumentando el calcio en los tejidos meristematicos, y segundo que, al reducir la transpiración, disminuye el flujo de agua hacia las hojas y con ello las translocacion de calcio (Blancard, 2005).

Según Collier y Tibbitts (1982), la concentración de calcio en hojas interiores aumenta con el descenso de la humedad relativa durante el periodo de luz, lo que no ocurre en el periodo oscuro.

4.5.3. Suelo

Un alto nivel de nitrógeno asimilable en suelo puede promover la incidencia de punta quemada en lechuga. El nitrógeno aplicado de forma amoniacal aumenta la incidencia de esta fisiopatía mientras que con la aplicación en forma nítrica no es tan severa. El aumento de nitrógeno incrementa el crecimiento de la planta provocando que la concentración de calcio disminuya. La salinidad es un factor que se relaciona con esta fisiopatía debido a que un aumento de la conductividad eléctrica aumenta la deficiencia de calcio en plantas (Olle & Bender, 2009).

4.5.4. Temperatura

Las elevadas temperaturas o temperaturas alternantes están relacionadas con la punta quemada de lechuga. En diversos estudios se ha observado cómo el porcentaje de plantas afectadas y su grado de afección aumentan en cuanto se incrementa la temperatura (Miranda , 2004).

En un ensayo realizado por Carrasco (2014), en condiciones de laboratorio se demostró que la fisiopatía se presentaba dos veces más rápido con altas temperaturas constantes, que alternando altas y bajas temperaturas. Se observó que las hojas de las plantas que presentan punta quemada eran de mayor tamaño, ya que contenían mayor contenido en agua que las hojas de las plantas que no presentan síntomas.

Saure (1998) mencionó que la disminución del crecimiento de la planta, debido a la reducción de los niveles de temperatura o limitando la fertilización nitrogenada, puede atenuar la incidencia de la punta quemada, o aplicando inhibidores de crecimiento.

Las temperaturas excesivamente altas aceleran la respiración aumentando el contenido de ácidos orgánicos y otros metabolitos intermedios que quelatan el calcio

disponible. El déficit de calcio no es un factor determinante en la aparición de punta quemada. Aunque haya concentración suficiente de este nutrimento en el suelo, puede ocurrir que la distribución a través de la planta no sea la correcta. Como se comentó con anterioridad, el calcio es absorbido principalmente por los órganos con grandes tasas de transpiración, de ahí que la concentración de calcio en las hojas nuevas sea menor (Barta & Tibbitts, 1991.).

4.6. NUTRICIÓN VEGETAL

La nutrición de las plantas es un aspecto importante en cada etapa fenológica, tomando mayor interés al inicio del crecimiento y el desarrollo; dado que enmarcan el rendimiento y la productividad. Una adecuada nutrición permite obtener plantas y frutos de calidad, tamaño y características organolépticas, disminuir la incidencia de ataque de plagas y enfermedades durante el ciclo de producción, lo que se ve reflejado en una vida postcosecha más larga (Baca & et al, 2016).

Por ello, es necesario conocer los requerimientos del cultivo mediante la realización de análisis edáficos y foliares, para conocer los nutrimentos que se encuentran disponibles en el suelo y las deficiencias múltiples de nutrimentos del cultivo de interés. Considerando que la demanda nutrimental de cada cultivo se basa en la capacidad para absorber nutrimentos necesarios para obtener un rendimiento máximo posible el cual se contabiliza a partir de la acumulación de materia seca de los productos cosechados (tallo, frutos y follaje), influenciadas por variables genéticas y ambientales (Grageda, 1999).

Las deficiencias nutrimentales y las toxicidades por niveles no adecuados de nutrimentos en el suelo y por factores ambientales limitan la disponibilidad de nutrimentos para las raíces de las plantas. Alcántar (2016) mencionó que los nutrimentos principales que afectan a la lechuga son:

4.6.1. Nitrógeno (N)

Un bajo contenido en nitrógeno en tejido vegetal provoca descenso inmediato del crecimiento y pronunciado amarillamiento de las hojas inferiores. El exceso de amoníaco puede ser tóxico para la lechuga produciendo marchitamiento, como consecuencia de un sistema radicular dañado. Los bordes de las hojas se rizan hacia abajo y se desarrollan lesiones necróticas de color pardo claro (Baca & et al, 2016) (Cuadro 1).

4.6.2. Fósforo (P)

La deficiencia en fósforo provoca reducción del crecimiento con otros síntomas característicos (Cuadro 1). Las hojas verdes cambian de color, a veces se desarrollan colores bronce o violáceo, pardo amarillo y mueren pronto (Alcántar G. & et al, 2016).

4.6.3. Potasio (K)

La carencia de potasio, se caracteriza por que los bordes y las puntas de las hojas maduras se hacen necróticas (Cuadro 1). También aparecen quemadura en el tejido intervenal y el resto de las hojas permanecen un color verde oscuro o moteado (Resh, 2006).

4.6.4. Calcio (Ca)

Como se ha descrito anteriormente, las hojas más jóvenes muestran los primeros indicios de carencia en calcio produciendo necrosis en los bordes. También pueden presentar otros síntomas como lesiones de color gris y pardo oscuro a lo largo de las nervaduras (Cuadro 1). El crecimiento se reduce pudiendo llegar a morir el punto de crecimiento (Alcántar G. & et al, 2016).

4.6.5. Magnesio (Mg)

La carencia de magnesio se manifiesta en las hojas de la planta como un rayado clorótico en las hojas más maduras, especialmente en la parte distal de las hojas (Cuadro 1). Los síntomas pueden generar confusión con una infección vírica, siendo

necesario el análisis de los tejidos para confirmar el diagnóstico (Alcántar G. & et al, 2016).

4.6.6. Boro (B)

La deficiencia en boro produce síntomas de necrosis cerca de los puntos de crecimiento, que se vuelven negros y dejan de producir nuevas hojas. Cuando se produce toxicidad de boro las hojas jóvenes muestran un fino margen amarillo alrededor de los bordes. En las hojas más viejas aparecen manchas de color gris (Fernández H. & et al., 2003).

Cuadro 1. Guía para la interpretación de resultados de análisis foliar de lechuga propuesta por (Medina J., 2019).

Nutrimento	Rango de suficiencia		
	Bajo	Suficiente	Alto
	------(%)-----		
Nitrógeno	< 2.5	2.6 – 5.0	> 5.1
Fósforo	< 0.2	0.3 – 0.6	> 0.61
Potasio	< 2.5	4.5 – 6.3	> 6.4
Calcio	< 0.28	0.5 – 0.75	> 0.76
Magnesio	< 0.20	0.25 – 0.35	> 0.36

El cuadro anterior es una herramienta que permite, obtener información sobre el contenido de los nutrimentos en las hojas de la lechuga. Para su uso, es importante hacer análisis de las hojas, a mitad del periodo de cultivo, para evaluar el estado nutricional de la lechuga en ese momento y tomar la decisión sobre si es necesario o no (de acuerdo a los datos del cuadro) hacer aplicaciones.

4.7. SOLUCIÓN NUTRITIVA

La solución nutritiva consiste en agua de buena calidad agronómica, en la cual están disueltos: oxígeno, CO_2 y todos los nutrimentos requeridos por la planta, para su crecimiento y desarrollo óptimos. Los nutrimentos en general son suministrados a partir de fuentes inorgánicas, sin embargo, en ocasiones pueden ser de origen orgánico, como por ejemplo el quelato de hierro (Baca & et al, 2016)

La solución nutritiva es uno de los factores más importantes a considerar, de esta depende el buen desarrollo del cultivo, así como la expresión de todo el potencial de la especie en particular, se deben tomar en consideración la dosis a cada etapa fenológica, las condiciones climáticas y la carga de fruta (Alcántar G. & et al, 2016).

Los experimentos fisiológicos sobre nutrición han sido realizados para investigar, entre otras cosas, la influencia de una amplia gama de composiciones de soluciones nutritivas sobre el desarrollo y comportamiento de las plantas. Durante el sexto coloquio del Instituto Internacional de la Potasa en Florencia, Italia en 1968, Steiner presentó la composición de su solución nutritiva universal. Esta fórmula todavía es la más usada y ha sido empleada para incrementar la magnitud del crecimiento de las plantas cultivadas con métodos en agua para experimentos concernientes a investigaciones en fisiología vegetal y para la producción comercial de plantas con diversos métodos de cultivo sin suelo (Steiner A., 1984).

La solución nutritiva se formula con base al requerimiento nutrimental que necesitan las plantas, y el equilibrio en la concentración de nutrimentos, es de acuerdo a cada etapa fenológica en los sistemas de hidroponía (Baca & et al, 2016).

Los nutrimentos que demandan las plantas dependen de la etapa fenológica, ya que cada etapa fenológica se caracteriza por cambios en la actividad bioquímica. Dentro de los aspectos más importantes de la solución nutritiva que influyen en mayor medida en la producción de un cultivo son: la relación entre cationes NH_4^+ , K^+ , Ca^{++} y Mg^{++} , la relación entre aniones NO_3^- , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} y SO_4^{2-} , la

concentración entre los nutrimentos representada por la conductividad eléctrica, el pH, la relación $\text{NO}_3:\text{NH}_4$ y la temperatura. Es importante que los iones estén disueltos, la pérdida por precipitación de los nutrimentos puede ocasionar una deficiencia en la planta provocando un desbalance en la relación mutua entre los iones (Steiner A., 1984).

La solución nutritiva universal de Steiner satisface las siguientes condiciones: 1) Las relaciones mutuas entre aniones; 2) Las relaciones mutuas entre cationes; 3) La concentración total de iones y 4) El valor deseado de pH con una tolerancia de ± 0.1 . De esta manera el crecimiento y desarrollo de las plantas son respuesta a la solución nutritiva del sistema hidropónico, dependiente de factores, como su concentración, que depende de la cantidad de solutos disueltos (Steiner A., 1984).

Al momento de preparar la solución nutritiva debe tomarse en cuenta el grado de solubilidad de los fertilizantes empleados, la solubilidad se define como la medida de la concentración de sal que permanece en solución cuando esta disuelta en el agua (Resh, 2006).

4.8. RELACIÓN NUTRIMENTAL

El estado nutrimental del cultivo es uno de los factores que determina la cantidad y calidad de la estructura de interés de la planta, por ello es necesario conocer que nutrimentos se encuentran en niveles limitantes (Lucena, 1997).

Existen diversas metodologías para diagnosticar el estado nutrimental de las plantas, por ejemplo, diagnóstico visual, análisis vegetal, análisis químico del suelo y bioensayos. El análisis de tejido vegetal es muy versátil pues permite evaluar cuantitativamente el estado nutricional de los cultivos, además de identificar directamente desordenes nutrimentales e indirectamente la disponibilidad de los nutrimentos del suelo (Alcántar G. & et al, 2016).

Los órganos que se utilizan con mayor frecuencia para el análisis vegetal son las hojas, las cuales son colectadas con características precisas de edad, orientación, altura, posición dentro del árbol y hora del día (Jones, 1991).

Las relaciones nutrimentales de cada cultivo, se establecen a partir de que las plantas alcanzan su etapa óptima de desarrollo y se expresa en el contenido de los nutrimentos acumulados en el tejido vegetal. Los valores de intervalo de suficiencia para 300 cultivos realizada por Jones (1991) no indican las variedades ni las condiciones de suelo y clima en que se desarrollaron los cultivos, por lo que sólo es útil como referencia. La relación nutrimental se obtiene con la siguiente ecuación:

$$\text{Relación Nutrimental} = \frac{\text{Contenido (\%) de Ca}}{\text{Contenido (\%) de (N, P, K y Mg)}}$$

La relación del nutriente de estudio determina si existe tiene un balance en contenido del nutriente con respecto de otro, muestra un rango de suficiencia (RS) que se basa en una recopilación de valores contra los cuales se comparan los resultados obtenidos en laboratorio (Jones, 1991).

4.9. DESARROLLO VEGETAL

El ciclo de vida de las plantas inicia con la germinación, el primer órgano que se desarrolla son las raíces que son las responsables de la absorción de agua y nutrimentos. Tan pronto aparecen los brotes, se induce la síntesis de clorofila, las hojas jóvenes dado que no son autosuficientes abastecen sus necesidades de carbohidratos y aminoácidos a partir de las reservas de materiales orgánicos almacenados en la semilla. El crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas requieren de suministro continuo y adecuado de nutrimentos, pero si este es limitado, el crecimiento y desarrollo de la planta se retrasa o detiene, y en última instancia resulta en desórdenes nutricionales o fisiológicos. El análisis químico de tejido vegetal es una técnica de diagnóstico que permite determinar el contenido de nutrimentos en plantas e indica su situación nutrimental, requerimiento y

disponibilidad, para asociarla al logro de altos rendimientos y mejores características de calidad del producto (Almeida, 1992).

Según Bidwell (1993), el desarrollo es un cambio ordenado o progresivo, a menudo (aunque no siempre) hacia un estado superior más ordenado o complejo. Generalmente la tasa de crecimiento de una planta disminuye conforme aumenta su tamaño hasta que se vuelve cero, cuando alcanza la madurez o tamaño final. La velocidad de crecimiento se expresa como aumento de peso, volumen, área o longitud por unidad de tiempo (Wild, A. , 1992).

4.10. METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DEL CRECIMIENTO VEGETAL

Desde el punto de vista agronómico, el crecimiento y la productividad de una planta o un cultivo, están determinados por cinco características fisiológicas del crecimiento: a) La cantidad de energía luminosa interceptada por el dosel; b) La eficacia con que la energía luminosa interceptada se usa en la producción de nueva materia seca; c) La proporción de la nueva materia seca asignada a las diferentes partes de la planta; d) La proporción de pérdida de materia seca de la planta, por cualquier causa; e) La duración del crecimiento en la planta de la parte de interés (Hunt, 2017). Uno de los métodos que se emplea con más frecuencia para expresar el crecimiento vegetal, es la acumulación del peso seco, se tiene la gran ventaja de que al determinar el peso seco, se elimina totalmente el agua de los tejidos vegetales, factor que puede distorsionar los resultados finales, sin embargo, también tiene la gran desventaja de que para realizar las mediciones hay que destruir totalmente el órgano vegetal objeto de estudio, lo que lo hace inviable en ciertas ocasiones (Pérez G., & Martínez L., 1994). Las hojas son los órganos más ricos en elementos minerales (hasta el 50 % de la materia seca) en comparación con las raíces. Con el cambium, las yemas y los órganos florales son el centro más activo de la fisiología de la planta, sin embargo, aquí también es muy grande la variabilidad (5 al 25 %) (Baeyens J., 1970).

El índice de crecimiento evalúa cuantitativamente el desarrollo de las plantas e involucra técnicas mediante comparaciones que permiten estudiar los patrones de

crecimiento vegetal. Existen diversas formas de analizar el crecimiento vegetal, una de ellas es mediante el cálculo de los índices de eficiencia fisiológica, las cuales son: Tasa Absoluta de Crecimiento (TAC), Tasa Relativa de Crecimiento (TRC), Tasa de Asimilación Neta (TAN) y Razón de Área Foliar (RAF) que se pueden calcular con los datos periódicos de la biomasa total o de algunos órganos y del área foliar de la planta. Puede efectuarse mediante dos métodos que son el clásico y funcional. El método clásico evalúa el crecimiento con base en datos que provienen de muestras con un alto número de repeticiones, pero a intervalos prolongados, no realiza ajuste de datos mediante modelos matemáticos, aunque pueden analizarse estadísticamente (Hunt, R., 1982).

En el método funcional el crecimiento es evaluado con datos obtenidos de pocas repeticiones pero a intervalos cortos sobre todo cuando existe mucha variación en la información, los cuales pueden ser utilizados para ajuste de modelos, el desarrollo de estos modelos utilizan datos a partir de muestras colectadas periódicamente y se ha utilizado con éxito en plantas anuales, bianuales y perennes (Brand G. & Weetman, 1987).

Estos métodos tienen su base en la medición de la producción de materia seca (MS) y del área foliar (AF). Con MS y AF se calculan índices cuya interpretación sirve para describir el crecimiento de las plantas y sus partes, así como las relaciones entre el aparato asimilatorio y la producción de materia seca.

La Tasa Absoluta de Crecimiento (TAC) es la medición de la velocidad de incremento en peso seco de la planta por unidad de tiempo, es un índice importante para cuantificar la fuerza de demanda de cualquier órgano de la planta, expresado en gramos acumulados por día, por lo general adopta una forma sigmoideal y la diferencia entre dos puntos consecutivos de cualquier serie proporciona la tasa de crecimiento en este periodo (Hunt, R., 1982); al principio su comportamiento es ascendente hasta llegar a un punto máximo y luego comienza a disminuir, debido a que la senescencia de las hojas es mayor respecto al crecimiento nuevo (Milthorpe & Moorby, 1982).

4.11. COSECHA Y CALIDAD

Para la lechuga los principales índices de madurez utilizados son: el tamaño del producto, la compactación de la cabeza o grado de arrepollamiento y el tiempo desde el trasplante (de 40 a 60 días, dependiendo del cultivar, la zona de producción y factores climáticos). Ambos, el tamaño y la compactación de la cabeza son los criterios de cosecha más usados (Cerdas A., 2004).

La manifestación de punta quemada en lechuga, representa pérdidas significativas en calidad de plantas para su comercialización, causando gran daño económico. La calidad de la lechuga puede ser determinada objetivamente midiendo sus componentes físicos o químicos. Propiedades como textura, firmeza, sabor, olor y calidad nutricional pueden determinarse mediante métodos destructivos y no destructivos. Los atributos de interés para los consumidores son: madurez o apariencia visual, textura, firmeza, valor nutricional y seguridad alimentaria. Estos atributos pueden ser estimados por métodos destructivos y algunos de ellos por métodos no destructivos (Watada, 1999).

La madurez en lechuga es una característica de calidad que está basada en la compactación de la cabeza. Una cabeza compacta se define como aquella que requiere de firmeza manual moderada para ser comprimida, y es considerada apta para ser cosechada. Una cabeza muy suelta es considerada como inmadura y una muy firme o extremadamente dura es considerada sobremadura (Cantwell , 2010).

La lechuga es muy susceptible a la pérdida de agua, debido a que tiene una gran superficie expuesta al ambiente, por lo que se debe cortar en las primeras horas del día; los síntomas de pérdida de agua se reflejan como pérdida de firmeza y turgencia en las hojas y un deterioro en la apariencia de las mismas; pierden su apariencia fresca y se ven marchitas (Cerdas A., 2004).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO

La presente investigación se llevó a cabo en un invernadero del Departamento de Fitotecnia, ubicado en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, en Chapingo, Estado de México, localizado a 19° 29' LN y 98° 53' LO, con altitud de 2249 m, en el periodo del 2 febrero al 5 de abril del 2018.

5.2. CLIMA

El clima prevaleciente está clasificado como CW0 (W) b (í) g. definido como un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, el más seco en su tipo, con precipitación invernal menor al 5%, con una oscilación térmica y veranos frescos; régimen de precipitación anual de 636mm. La temperatura media anual se ubica entre 12 y 18°C, con una variación menor a 5°C (García E. , 1988).

5.3. FACTORES DE ESTUDIO

5.3.1. Material vegetal

Se emplearon semillas de tres híbridos de lechuga (*Lactuca sativa* L. *var capitata*); Toscanas RZ®, Boomerang® y Mejía® del tipo iceberg, de las casas semilleras Rijk Zwaan, Seminis y Nunhems, respectivamente. El ciclo de cultivo en Boomerang, Toscanas y Mejía es de 50, 55 y 60 días a madurez comercial, respectivamente. Todas producen cabezas redondas, respecto al color Mejía es verde-claro; Boomerang y Toscanas son verde-oscuro. Los híbridos son para establecerse en las estaciones de primavera y otoño; y se consideran tolerante a la punta quemada.

5.3.2. Niveles de calcio en la solución nutritiva

Se evaluaron cuatro niveles (N) de calcio (Ca^{++}) ($\text{meq}\cdot\text{l}^{-1}$): N1 (1.55), N2 (4.29), N3 (9) y N4 (12.39), a los cuales les corresponde una presión osmótica diferente y como base para diseñar los tratamientos se empleó la solución nutritiva de Steiner (1984) (Cuadro 2).

Para preparar las soluciones nutritivas de los tratamientos, se realizó un análisis químico del agua para conocer el pH, la CE y el contenido de cationes (K^+ , Ca^{2+} ,

Mg²⁺, Na⁺) y aniones (Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, CO₃²⁻), y de esa manera ajustar y balancear cada una de las soluciones nutritivas del estudio. La solución nutritiva con el valor más bajo de calcio, corresponde al valor de contenido de calcio del agua, el cual es 1.55 meq·l⁻¹ (Anexo 1).

Cuadro 2. Concentraciones iónicas de calcio en la solución nutritiva de los tratamientos utilizados en el experimento.

Ca ⁺⁺ en SN*	Aniones			Cationes		PO (MPa)
	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	K ⁺	Mg ²⁺	
	-----meq·l ⁻¹ -----					
1.55	10.954	0.912	6.39	11.62	6.639	-0.0657
4.29	11.453	0.9544	6.681	9.414	5.379	-0.0687
9.00	12	1	7	7	4	-0.0720
12.39	12.394	1.032	7.230	5.258	3.004	-0.0743

PO = Presión Osmótica, SN*(Solución nutritiva)

Para realizar el ajuste de pH en la preparación de las soluciones nutritivas, se utilizó ácido sulfúrico³ (H₂SO₄) para bajar el pH de 8.56 a un intervalo de 5.6 a 6.2. Para la preparación de las soluciones nutritivas, se emplearon fuentes comerciales de nutrimentos (Cuadros 3, 4, 5 y 6). Durante los primeros seis días solo se aplicó agua, este periodo fue de adaptación de la planta a las condiciones del invernadero, posteriormente los tratamientos se aplicaron con solución nutritiva a partir del séptimo día, hasta los 52 días después del trasplante.

³ Pureza del 77% y densidad de 1.7 g·ml⁻¹

Cuadro 3. Cantidad de fertilizante para preparar 1000 litros de solución nutritiva con 12.39 meq·l⁻¹ de calcio, para el cultivo de lechuga. Chapingo, México. 2018.

Solución Nutritiva con 12.39 meq·l ⁻¹ Ca ⁺⁺							
Solución Nutritiva	meq·l ⁻¹	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
		12.39	1.03	7.23	5.258	12.39	3.004
Contenido en el agua		0	0	0.33	0.14	1.55	0.63
Solución Final		12.39	1.03	6.90	5.118	10.84	2.374
FERTILIZANTES		NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
H ₃ PO ₄	meq·l ⁻¹	1.03					
Ca(NO ₃) ₂ *4H ₂ O		11.55					10.84
KNO ₃		0.84	0.84				
K ₂ SO ₄		4.278				4.278	
MgSO ₄ *7H ₂ O		2.374					2.374
CONTENIDO EN PPM		NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
		173.52	32.02	115.68	205	247.8	36.056

Cuadro 4. Cantidad de fertilizante para preparar 1000 litros de solución nutritiva con 9.00 meq·l⁻¹ de calcio, para el cultivo de lechuga. Chapingo, México. 2018.

Solución Nutritiva con 9 meq·l ⁻¹ Ca ⁺⁺							
Solución Nutritiva		NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
	meq·l ⁻¹	12.00	1.00	7.00	7.00	9.00	4.00
Contenido en el agua		0.00	0.00	1.12	0.18	1.55	0.14
Solución Final		12.00	1.00	5.88	6.82	7.45	3.86
FERTILIZANTES		NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
H ₃ PO ₄			1.00				
Ca(NO ₃) ₂ *4H ₂ O		7.45				7.45	
KNO ₃	meq·l ⁻¹	4.55			4.55		
K ₂ SO ₄				2.27	2.27		
MgSO ₄ *7H ₂ O				3.86			3.86
CONTENIDO EN PPM		NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
		168	31	112	273	180	48

Cuadro 5. Cantidad de fertilizante para preparar 1000L de solución nutritiva con 4.29 meq·l⁻¹, para el cultivo de lechuga. Chapingo, México. 2018.

Solución Nutritiva con 4.29 meq·l ⁻¹ Ca ⁺⁺								
Solución Nutritiva		meq·l ⁻¹	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
Contenido en el agua			11.45	0.95	6.681	9.41	4.29	5.38
Solución Final			0.000	0.00	1.120	0.18	1.55	0.14
			11.45	0.95	5.561	9.23	2.74	5.24
FERTILIZANTES			NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
H ₃ PO ₄		meq·l ⁻¹	0.95					
Ca(NO ₃) ₂ *4H ₂ O			2.74					
KNO ₃			8.71					
K ₂ SO ₄			0.53					
MgSO ₄ *7H ₂ O			5.24					
CONTENIDO EN PPM			NO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	K ⁺	Ca ⁺⁺
			173.5	160.3	29.5	106.8	367.1	85.9

Cuadro 6. Cantidad de fertilizante para preparar 1000L de solución nutritiva con 1.55 meq·l⁻¹, para el cultivo de lechuga. Chapingo, México. 2018.

Solución Nutritiva con 1.55 meq·l ⁻¹ Ca ⁺⁺							
Solución Nutritiva		NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
	meq·l ⁻¹	10.954	0.913	6.390	11.62	0.00	6.64
Contenido en el agua		0.000	0.000	1.120	0.18	1.55	0.14
Solución Final		10.954	0.913	5.270	11.44	1.55	6.50
FERTILIZANTES		NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
H ₃ PO ₄			0.91				
Ca(NO ₃) ₂ *4H ₂ O							
KNO ₃	meq·l ⁻¹	12.50			12.50		
K ₂ SO ₄							
MgSO ₄ *7H ₂ O				6.50			6.50
CONTENIDO EN PPM		NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
		153.3	28.2	102.2	453.1	31	79.6

5.4. TRATAMIENTOS

La combinación de los tres niveles del factor material vegetal y los cuatro niveles del factor niveles de calcio en la solución nutritiva, dio como resultado 12 tratamientos (Cuadro 7).

Cuadro 7. Tratamientos estudiados en el experimento sobre relaciones nutrimentales de calcio en la punta quemada de lechuga

Tratamiento	Hibrido	Nivel de calcio (meq·l ⁻¹)
1	Boomerang	12.39
2	Boomerang	9.00
3	Boomerang	4.29
4	Boomerang	1.55
5	Mejía	12.39
6	Mejía	9.00
7	Mejía	4.29
8	Mejía	1.55
9	Toscanas	12.39
10	Toscanas	9.00
11	Toscanas	4.29
12	Toscanas	1.55

5.5. UNIDAD Y DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó el diseño experimental bloques completos al azar, con dos factores de estudio y cuatro repeticiones (bloques). Dentro de cada bloque se colocaron 112 plántulas, distribuidas en 4 líneas de 28 plantas cada una (se incluyó una línea de plantas como bordes). Cada planta corresponde a la unidad experimental.

5.5.1. Modelo lineal

En diseño experimental corresponde a bloques completamente al azar, a los datos obtenidos se aplicó análisis de varianza empleando el modelo lineal descrito por Castillo (2008):

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + T_j + \varepsilon_{ij}$$

$$i= 1,2,\dots, b; j= 1,2,\dots, t$$

Y_{ij} = respuesta obtenida en el j-ésimo tratamiento del i-ésimo bloque.

μ =Efecto medio general.

β_i =Efecto atribuido al i-ésimo bloque.

T_j =Efecto atribuido al j-ésimo tratamiento.

ε_{ij} =Termino de error aleatorio. Donde los ε_{ij} tienen una distribución normal e independientes con media 0 y varianza σ^2 .

Mediante el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS, 2002). Se determinaron las diferencias significativas y pruebas de comparación de medias (Tukey, $P \leq 0.05$). Para el análisis de crecimiento se utilizó el programa para la estimación de parámetros de modelos no lineales del modelo logístico propuesto por Rodríguez, et al., (2006).

5.6. CARACTERES EVALUADOS

Las variables respuestas evaluadas durante el experimento fueron:

1. Diámetro de la roseta⁴ (cm), se registró con vernier digital marca Mitutoyo®, modelo 500-196-30.
2. Altura de la planta (cm), medida desde el cuello de la planta y de este punto a la hoja desplegada más alta.
3. Número de hojas desplegadas en la planta.
4. Peso de planta (g) (planta sin raíz).
5. Rendimiento de roseta (esta variable se registró a los 46 y 53 días después del trasplante).

⁴ Marotto (2002) describe que la estructura de interés de la lechuga tiene nombre de Roseta.

Después de realizar los muestreos destructivos, el material fue llevado al laboratorio para determinar materia seca, para ello fue empleada una estufa marca RIOSSA, modelo ECF-102.

La temperatura de secado fue 70 °C durante 72 horas, posteriormente se trituró en un molino para material vegetal y obtener muestras para digestión húmeda y determinar el contenido (%) de los nutrimentos: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), en el laboratorio de nutrición vegetal del departamento de Suelos.

5.7. RECOLECCIÓN DE LAS MUESTRAS

Se realizaron dos muestreos durante el experimento, a los 46 y 53 días después del establecimiento de la planta. Las plantas se cortaron con un cuchillo a nivel del sustrato y se registró número de hojas, peso y altura de planta; posteriormente el material se colocó en bolsas de papel identificadas con etiquetas y se trasladaron rápidamente al laboratorio para su secado en estufa. La recolección de muestras se realizó a las 8:00 am del día del muestreo, cuando las plantas presentaban un grado máximo de hidratación.

5.8. ESTABLECIMIENTO, MANEJO Y CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO

Las plántulas de los tres híbridos comerciales de lechuga iceberg, se establecieron en macetas de polietileno, color negro, calibre 500, con volumen de 4.8 litros, cuando las plántulas tenían 28 días después de la siembra, se trasplantaron. Las macetas fueron colocadas en línea a una distancia de 30 cm y a 20 cm entre ellas, la distancia entre bloques (pasillos) fue de 1.0 m (Anexo 2), como sustrato se utilizó tezontle rojo nuevo de granulometría media. Las plantas presentaban de 4 a 5 hojas, con el cepellón bien formado y presencia de raíces abundantes. El trasplante se realizó a primeras horas de la mañana para que las plántulas no sufrieran estrés por déficit hídrico.

El volumen de solución nutritiva aplicado por maceta de los 7 a los 30 días fue de 900 ml por planta, dividido en tres tiempos de riego de 5 minutos cada uno.

Posteriormente del día 31 al día 52 el volumen aumento a 1300 ml por maceta, dividido en 5 momentos de riego por día de 5.33 minutos.

Durante la fase experimental se midieron variables ambientales dentro del invernadero con higrómetro- termómetro de la marca EXTECH, modelo 445702 con el que diariamente se medía humedad relativa (mínima y máxima) y temperatura (mínima y máxima); desde el día 1 al 53 después del trasplante (Anexo 3).

Los nutrimentos se determinaron en el laboratorio de nutrición vegetal del departamento de Suelos, a partir de la digestión húmeda de la muestra (Shirin & *et al.*, 2008) que contenía los nutrimentos en solución. El nitrógeno se midió con el método de micro-Kjeldahl (García & Fernández, 2012) y fósforo mediante espectrofotometría de tinción descrita Cáñez & *et al.* (2015).

Mientras que el análisis de los nutrimentos Potasio, Calcio y Magnesio se llevó a cabo en el laboratorio NUTRELAB de Texcoco, las pruebas que se realizaron fueron utilizando la metodología descrita por Yagues (2008) sobre espectrofotometría de absorción atómica (ICP).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO

Con la información obtenida durante la fase experimental, se realizó análisis de crecimiento de número de hojas, altura de planta y peso de planta, con el fin de asociar su comportamiento, con el desarrollo de los caracteres evaluados y establecer modelos de predicción de crecimiento y demanda nutrimental del cultivo.

6.1.1. Número de hojas y altura de planta

Cuadro 8. Comparación de medias de los tratamientos evaluados en el experimento de punta quemada de lechuga.

Tratamiento		Días después del trasplante			
Hibrido	Ca ⁺⁺ en SN*	46		53	
	(meq·l ⁻¹)	Número de hojas		Altura de planta (cm)	
Boomerang	12.39	37.25 a	45.08 a	19.605 cd	22.093 bc
Boomerang	9.00	36.375 a	43.25 a	20.03 bcd	22.55 abc
Boomerang	4.29	36.37 a	42.83 a	18.023 d	20.693 c
Boomerang	1.55	35.37 a	43 a	18.135 d	19.953 c
Mejía	12.39	36.45 a	43.50 a	23.255 ab	25.875 ab
Mejía	9.00	36.12 a	42.83 a	21.95 abc	24.15 abc
Mejía	4.29	34.75 a	42.58 a	20.805 abcd	22.89 abc
Mejía	1.55	34.87 a	42.41 a	19.89 bcd	22.73 abc
Toscanas	12.39	37.75 a	43.41 a	23.293 ab	25.623 ab
Toscanas	9.00	36.75 a	43.33 a	23.818 a	26.45 a
Toscanas	4.29	36.12 a	42.41 a	20.015 bcd	22.02 c
Toscanas	1.55	34.25 a	41.75 a	19.79 bcd	23.45 abc
DMSH		3.59	5.61	3.59	3.533

Medias con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey, P≤0.05); DMSH: Diferencia mínima significativa honesta. SN*: Solución nutritiva.

Los resultados obtenidos a los 46 y 53 días, muestran que las plantas presentaron el mismo número de hojas, independientemente del material vegetal y el nivel de calcio en la solución nutritiva, ya que estas tienen características agronómicas similares genéticamente determinadas para esta variable (Cuadro 8).

La variable altura de planta presentó diferencia significativa a los 46 y 53 días después del trasplante, con el híbrido Toscanas en la condición de 9 meq·l⁻¹ de Ca, presentó la mayor media ya que logro 32 % altura, respecto a Boomerang en la condición de 1.55 meq·l⁻¹ de calcio, que manifestó menor altura (Cuadro 8).

Cuadro 9. Comparación de medias de número de hojas y altura entre híbridos.

Híbrido	Días después del trasplante			
	46	53	46	53
	Número de hojas		Altura de planta (cm)	
Boomerang	36.34 a	43.54 a	18.95 b	21.322 b
Toscanas	36.22 a	42.73 a	21.729 a	24.386 a
Mejía	35.55 a	42.83 a	21.477 a	23.914 a
DMSH	1.96	1.30	1.234	1.513

Medias con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$); ddt: días después del trasplante; DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

De acuerdo con Cox (1980), las hojas en desarrollo están relacionadas con deficiencia en calcio, por lo que posiblemente al formarse mayor número de hojas en etapas avanzadas, poseen mayor demanda nutrimental y está se encuentra en función a la diversidad de material vegetal. Sin embargo, a los días 46 y 53, el número de hojas entre híbridos fue estadísticamente igual. Por otro lado, en relación al material vegetal evaluado, los resultados mostraron a los 46 y 53 días después del trasplante, que existió diferencia significativa de altura de planta en los híbridos Mejía y Toscanas, respecto de Boomerang, ya que lograron 14.35 % y 12.14 % mayor altura, respectivamente (Cuadro 9).

Cuadro 10. Comparación de medias de número de hojas y altura de planta entre soluciones nutritivas con diferente concentración de calcio.

Ca ⁺⁺ en SN* (meq·l ⁻¹)	Días después del trasplante			
	46	53	46	53
	Número de hojas		Altura de planta (cm)	
1.55	34.83 a	42.39 a	19.274 b	22.048 b
4.29	35.75 a	42.61 a	19.614 b	21.867 b
9.00	36.42 a	43.14 a	21.936 a	24.385 a
12.39	37.15 a	44.00 a	22.05 a	24.53 a
DMSH	2.50	1.66	1.571	1.925

Medias con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$); DMSH: Diferencia mínima significativa honesta. SN*: Solución nutritiva.

Respecto de las concentraciones de calcio evaluadas, los resultados mostraron que la respuesta a la disponibilidad de calcio entre las soluciones nutritivas no provocó diferencia significativa en el número de hojas a los 46 y 53 días. Sin embargo, se observó que a los 46 y 53 días, los niveles de calcio de 9.00 y 12.39 meq·l⁻¹, favorecieron la altura de la planta en 13 % y 11 %, respectivamente (Cuadro 10).

Los valores observados de número de hojas y altura de planta de los tratamientos fueron ajustados mediante regresión no lineal, con el modelo exponencial para describir y establecer un índice de crecimiento de altura de los tratamientos en el tiempo (Cuadro 11 y Figura 2).

Cuadro 11. Modelos matemáticos obtenidos del número de hojas.

Híbrido	Ca ⁺⁺ en SN* (meq·l ⁻¹)	Modelos Y=Be ^{CX}	R ² ‡	Modelos Y=Be ^{CX}	R ² ‡
Boomerang	12.39	Y=7.925e ^{0.0329X}	0.94	Y=8.253e ^{0.022X}	0.97
Boomerang	9.00	Y=8.219e ^{0.0313X}	0.94	Y=8.268e ^{0.0225X}	0.97
Boomerang	4.29	Y=7.9449e ^{0.0318X}	0.94	Y=8.3619e ^{0.0201X}	0.97
Boomerang	1.55	Y=7.7528e ^{0.0323X}	0.94	Y=8.5395e ^{0.0194X}	0.98
Mejía	12.39	Y=6.603e ^{0.0358X}	0.96	Y=8.0747e ^{0.0262X}	0.861
Mejía	9.00	Y=6.6759e ^{0.0353X}	0.96	Y=7.9156e ^{0.0253X}	0.856
Mejía	4.29	Y=6.3167e ^{0.0361X}	0.96	Y=7.8196e ^{0.0242X}	0.84
Mejía	1.55	Y=6.292e ^{0.0361X}	0.96	Y=7.8113e ^{0.0238X}	0.84
Toscanas	12.39	Y=7.106e ^{0.035X}	0.94	Y=8.106e ^{0.035X}	0.932
Toscanas	9.00	Y=6.7573e ^{0.0353X}	0.95	Y=7.9573e ^{0.0253X}	0.95
Toscanas	4.29	Y=6.5265e ^{0.0355X}	0.96	Y=8.2265e ^{0.0255X}	0.961
Toscanas	1.55	Y=6.2218e ^{0.036X}	0.96	Y=8.2218e ^{0.026X}	0.94

*SN: Solución nutritiva. ‡Correlación lineal entre valores observados y estimados; entre híbridos y niveles de calcio de la solución nutritiva de Steiner.

La comparación de los valores de β de la regresión no lineal del modelo exponencial con el intervalo al 95% para los tratamientos en la variable número de hojas y altura de planta del muestreo a los 53 días después del trasplante son estadísticamente iguales, lo que indica que no hay diferencia entre las interacciones híbridos y niveles de calcio en la solución nutritiva (Figura 1).

Figura 1. Comparación de los valores de β de la regresión no lineal del modelo exponencial con el intervalo al 95% para los tratamientos en la variable a) número de hojas y b) altura de planta del muestreo a los 53 días después del trasplante.

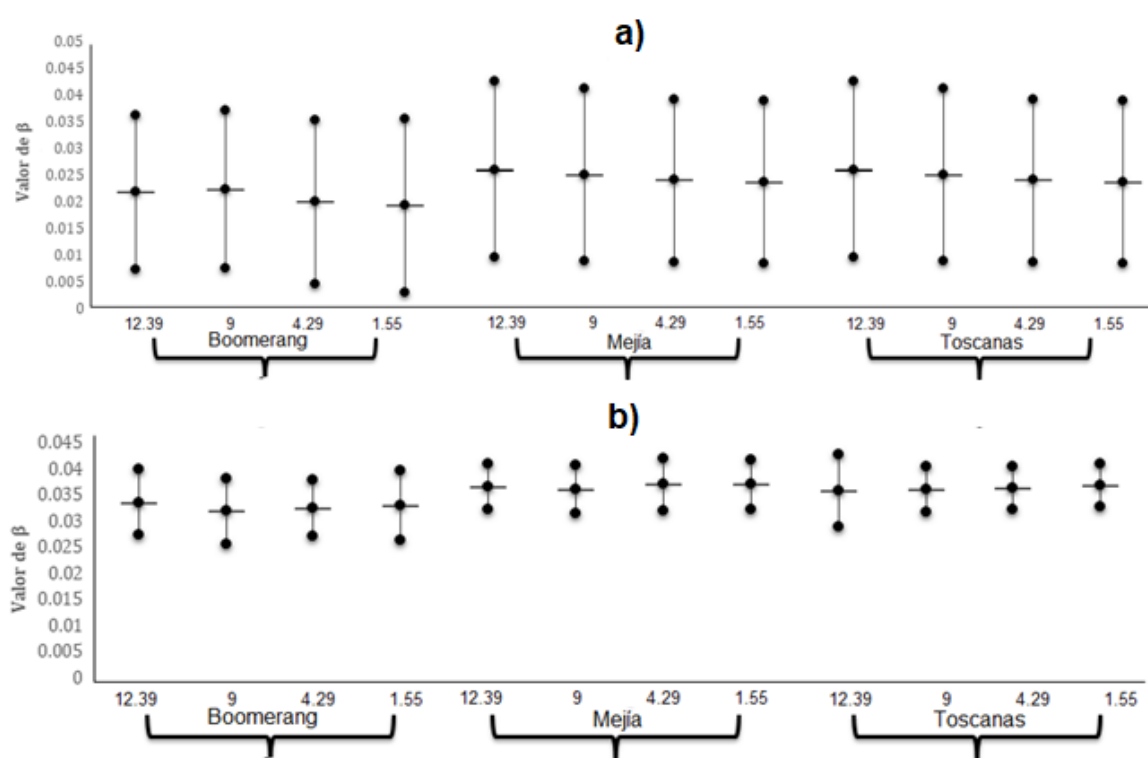


Figura 2. Modelo exponencial del comportamiento del número de hojas en el híbrido a) Boomerang, b) Mejía y C) Toscanas; con niveles de calcio diferentes en la solución nutritiva.

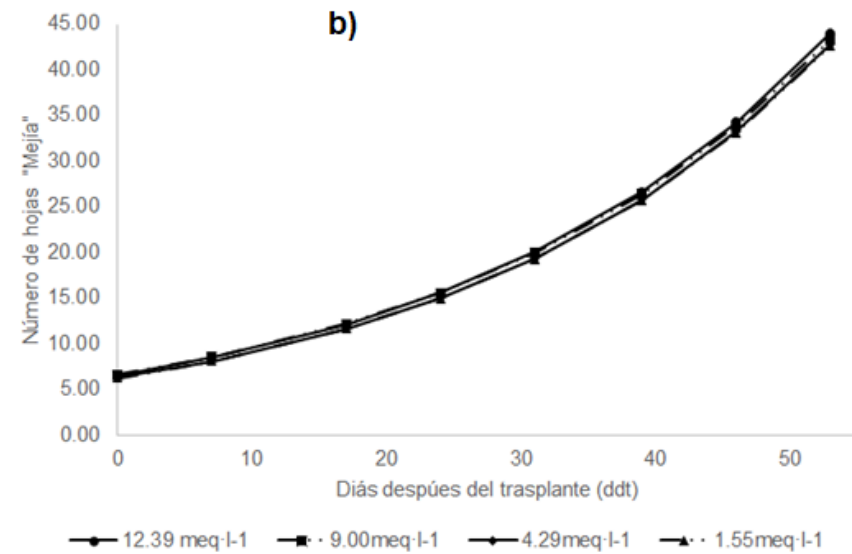
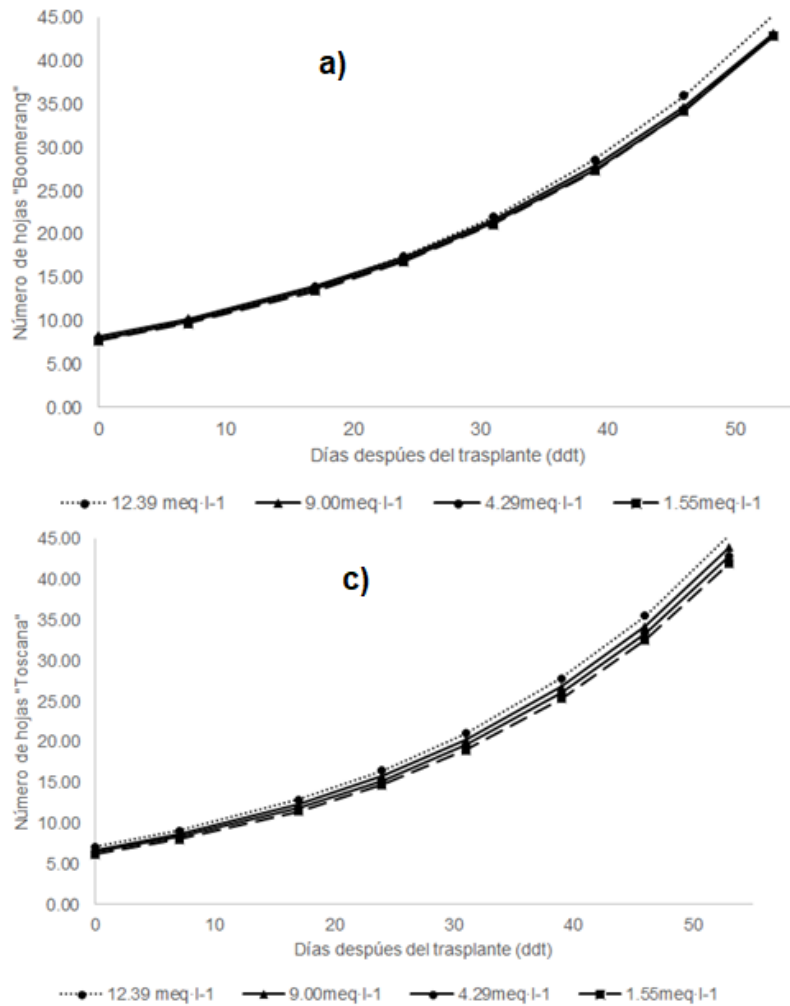
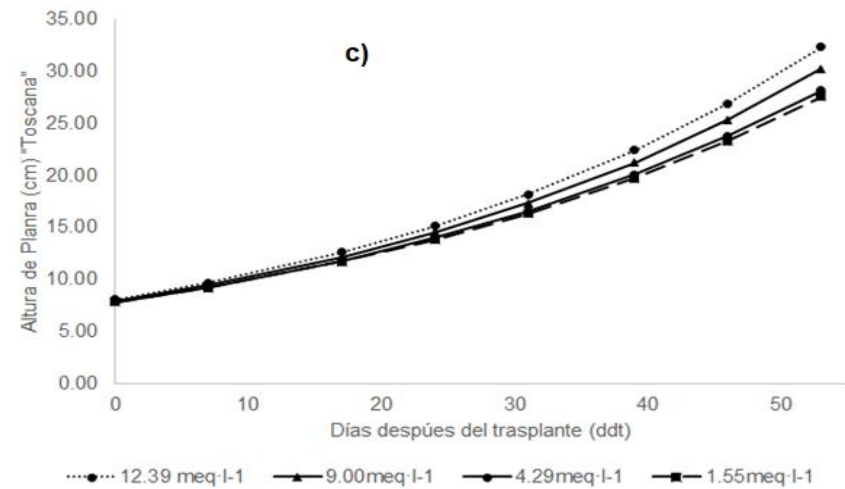
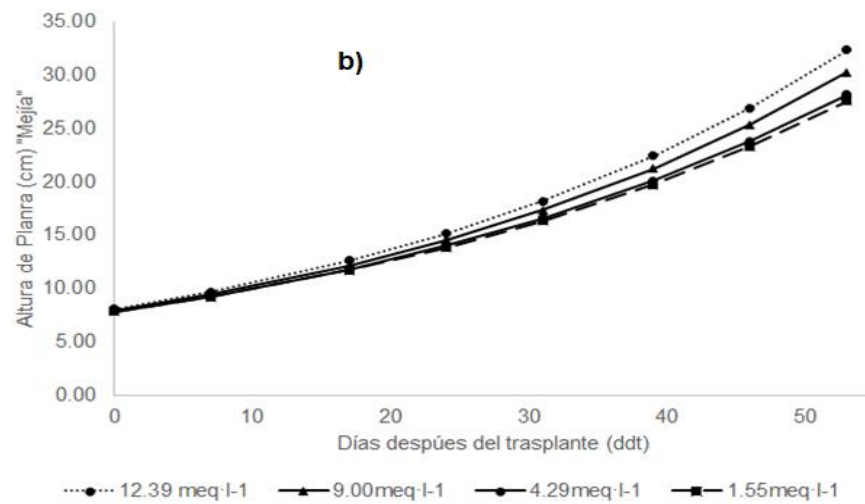
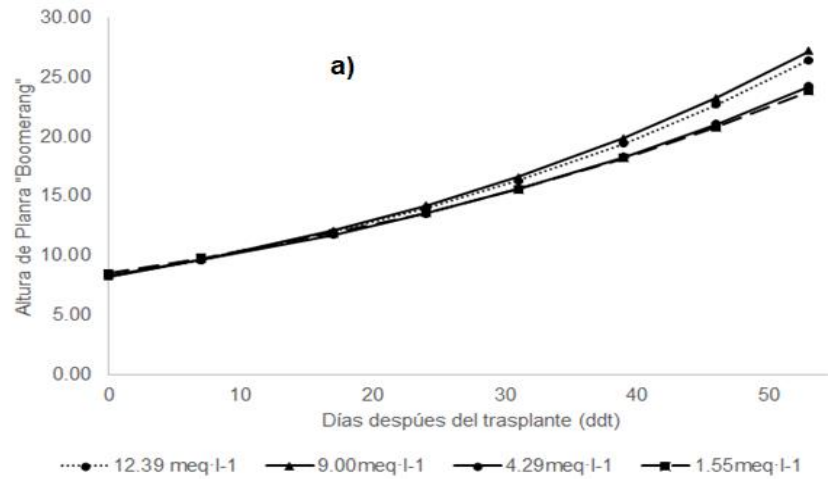


Figura 3. Modelo exponencial del comportamiento de altura de planta en el híbrido a) Boomerang, b) Mejía y C) Toscanas; con niveles de calcio diferentes en la solución nutritiva.



6.1.2. Rendimiento del cultivo

6.1.2.1. Peso total, peso roseta e incidencia de punta quemada en lechuga

Cuadro 12. Comparación de medias de los tratamientos evaluados en el experimento de punta quemada de lechuga.

Tratamiento		Días después del trasplante					
Hibrido	Ca ⁺⁺ en SN* (meq·l ⁻¹)	46	53	46	53	46	53
		Peso Total		Peso Roseta		Incidencia ^{PQ} (%)	
Boomerang	12.39	346.25 abc	462.5 abc	296.25 ab	367.5 abc	0.0 c	0.0 b
Boomerang	9.00	341.67 abc	405.83 bcd	279.17 ab	310.83 bcd	8.3 b	33.3 a
Boomerang	4.29	275.84 c	340.83 ef	213.75 ab	245.83 ef	25.0 a	33.3 a
Boomerang	1.55	328.75 abc	330.84 f	248.75 ab	235.84 f	33.3 a	54.3 a
Mejía	12.39	399.17 ab	484.17 a	294.58 ab	389.17 a	0.0 c	0.0 b
Mejía	9.00	373.75 abc	473.75 a	285.83 ab	378.75 a	0.0 c	0.0 b
Mejía	4.29	287.5 bc	369.25 def	212.92 ab	278.25 def	8.3 b	8.3 a
Mejía	1.55	343.75 abc	363.75 def	253.33 ab	268.75 def	25.0 a	33.3 a
Toscana	12.39	419.17 a	464.59 ab	305.83 a	369.59 ab	0.0 c	0.0 b
Toscana	9.00	361.25 abc	462.5 abc	267.09 ab	367.5 abc	0.0 c	0.0 b
Toscana	4.29	310.42 abc	377.92 def	235.83 ab	282.92 def	16.6 a	25.0 a
Toscana	1.55	345.83 abc	401.92 cde	208.34 b	306.92 cde	25.0 a	41.7 a
DMSH		116.58	61.837	73.279	74.125	7.41	32.34
CV		13.63	6.06	14.85	10.71	85.3	101.3

Medias con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$); DMSH: Diferencia mínima significativa honesta. SN*: Solución nutritiva. PQ; Punta quemada de la lechuga.

Los resultados obtenidos a los 46 y 53 días, muestran que todos los tratamientos presentaron diferencias significativas en las variables peso total, peso roseta e incidencia de la punta quemada de la lechuga (Cuadro 12). El tratamiento que presento la mayor media de peso total a los 53 días después del trasplante, fue Mejía con la condición de $12.39 \text{ meq}\cdot\text{l}^{-1}$ de calcio en la solución nutritiva, 46.34 % mayor con respecto, a las plantas de Boomerang con la condición $1.55 \text{ meq}\cdot\text{l}^{-1}$ de Ca^{++} en Solución nutritiva.

En la variable peso de roseta fue el mismo tratamiento quien obtuvo 65.01% mayor peso con respecto a las plantas de Boomerang con $1.55 \text{ meq}\cdot\text{l}^{-1}$ de Ca en SN, de acuerdo con Baca & *et al*, (2016) mencionan que la diferencia se atribuye a la mayor disponibilidad y concentración de nutrimentos, tienden a tener mayor peso, en el ciclo del cultivo y sus diferentes etapas.

Además, en ambos muestreos presento la menor medía de incidencia de punta quemada de lechuga y se obtuvo el 100% de piezas comercializables, por lo anterior, es considerado el mejor tratamiento en acumulación de biomasa.

Los tratamientos que no presentaron incidencia de punta quemada, entre los días 46 y 53, fueron las plantas de Boomerang, Mejía y Toscanas, con las condiciones de 12.39 y $9.0 \text{ meq}\cdot\text{l}^{-1}$ de calcio en la solución nutritiva, quienes presentaron el 100% de piezas comercializables a excepción de Boomerang con $9.0 \text{ meq}\cdot\text{l}^{-1}$ de calcio en la solución nutritiva; mientras que los demás tratamientos presentaron manifestación de síntomas de punta quemada a los 46 y 53 días, donde las plantas se encuentran en el mayor desarrollo y plena madurez comercial, generando altos porcentajes de piezas no comercializables (Cuadro 12). Fernández & *et al*. (2003) mencionaron que la aparición de la punta quemada de la lechuga se encuentra principalmente en rosetas maduras y está relacionada con el transporte de agua y calcio por la tasa elevada de transpiración durante el día.

Cuadro 13. Comparación de medias de peso total, peso de roseta e incidencia de punta quemada entre híbridos.

Híbrido	Días después del trasplante					
	46	53	46	53	46	53
	Peso Total		Peso Roseta		Incidencia ^{PQ} (%)	
Boomerang	259.48 a	385.00 b	219.10 b	290.00 b	16.66 a	31.25 a
Mejía	261.67 a	421.22 a	227.26 b	326.22 a	8.33 a	10.41 b
Toscanas	281.21 a	426.72 a	253.75 a	331.72 a	8.33 a	16.66 ab
DMSH	32.92	21.40	23.98	21.40	14.71	16.81

Medias con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$); DMSH: Diferencia mínima significativa honesta. PQ; Punta quemada de la lechuga.

El peso total entre los híbridos a los 46 días después del trasplante no mostro diferencias significativas en sus medias. Mientras que, a los 53 días, los híbridos Toscanas y Mejía, presentaron la mayor media con 10.83 y 9.4% mayor peso con respecto, a las plantas de Boomerang. En cuanto a los resultados de peso de roseta de los tres híbridos, a los 46 y 53 días tuvieron diferencia significativa, donde Toscanas y Mejía tienen 14.38 y 12.48 % mayor peso con respecto a Boomerang (Cuadro 13 y Figura 6).

Muñoz (2003) mencionó que el mayor peso de una planta está determinado por el requerimiento y acumulación de nutrimentos en tejido vegetal, por lo que plantas de Mejía presentaron medias más altas de peso total y de roseta a los 53 días después del trasplante y la menor media de incidencia de punta quemada de lechuga.

Barta & Tibbitts (1991) mencionaron que el mayor peso de la planta, está relacionado con la concentración de calcio que existe en tejido vegetal, por lo que las plantas de Mejía registraron el mayor peso y menor media de incidencia de punta quemada y mayor porcentaje de piezas comercializables; es decir, mostró ser un híbrido eficiente en el uso de nutrimentos expresado en cantidad y calidad.

Los resultados de incidencia de punta quemada, mostraron que existen diferencias significativas en la incidencia de la fisiopatía entre las tres poblaciones de híbridos de lechuga (Cuadro 13), revelando el nivel de susceptibilidad que presenta cada uno a su aparición, siendo Boomerang el híbrido con mayor media de incidencia de punta quemada, como lo reporta también Barta & Tibbitts (1991), quienes indican que la susceptibilidad de los individuos, está otorgada por la expresión genética de cada híbrido, por la tasa de transpiración y absorción y desplazamiento de calcio en tejido vegetal durante el desarrollo de la lechuga (Figura 6).

Cuadro 14. Comparación de medias de peso total, de roseta e incidencia de punta quemada entre soluciones nutritivas con diferente concentración de calcio.

Ca⁺⁺ en SN* (meq·l⁻¹)	Días después del trasplante					
	46	53	46	53	46	53
	Peso Total		Peso Roseta		Incidencia ^{PQ} (%)	
12.39	297.34 a	470.42 a	298.89 a	375.42 a	00.00 b	00.00 b
9.00	281.67 a	447.36 a	277.36 ab	352.36 a	5.55 b	11.11 ab
4.29	230.92 b	360.67 b	220.83 c	265.50 b	13.88 ab	30.55 a
1.55	236.56 b	365.5 b	236.81 bc	270.67 b	25.00 a	36.11 a
DMSH	44.62	33.88	52.54	33.88	16.35	27.72

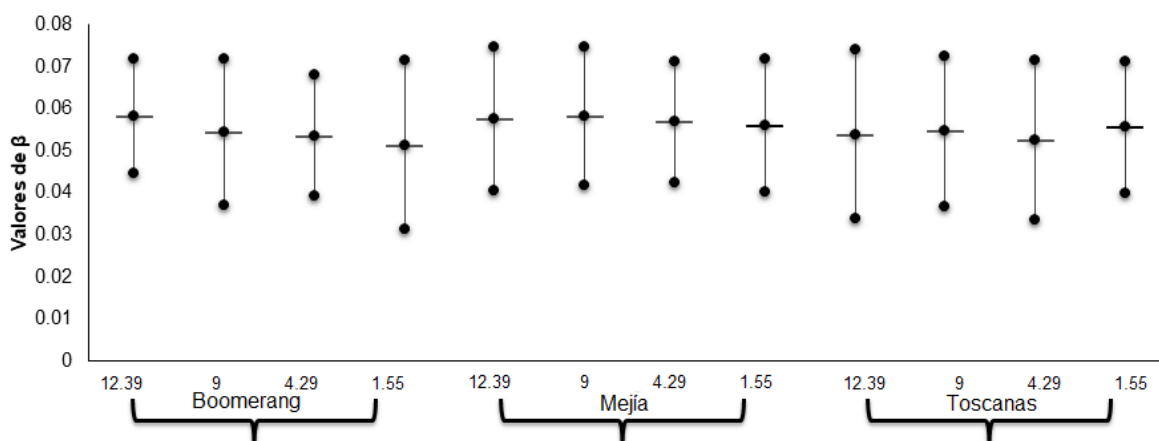
Medias con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$); DMSH: Diferencia mínima significativa honesta. PQ; Punta quemada de la lechuga.

De acuerdo con la comparación de medias de Tukey, existió diferencia significativa en las variables peso total, peso de roseta e incidencia de punta quemada con relación a las concentraciones de calcio en la solución nutritiva, a los 46 y 53 días después del trasplante. Se observó que las plantas desarrolladas en las concentraciones de calcio 12.39 y 9.00 meq·l⁻¹ expresaron mayor peso total con 24.03 y 30.42%, así como 41 y 32 % en el peso de roseta, respecto a lo que fue obtenido en la solución nutritiva con 4.29 meq·l⁻¹, a los 53 días, respectivamente; etapa final en donde se realizó la última cosecha (Cuadro 14).

En cuanto a la incidencia de punta quemada de lechuga, la solución nutritiva con el nivel de $12.39 \text{ meq}\cdot\text{l}^{-1}$ de calcio, presento la media más baja de aparición de síntomas a los 46 y 53 días después del trasplante, se tuvo en consideración que el nivel de calcio en la solución nutritiva influye directamente en la aparición de síntomas, considerado el principal nutrimento relacionado con la fisiopatía. Baeyens (1970) y Carrasco (2014) mencionaron que este desorden fisiológico se presenta cuando se tiene limitaciones en abastecimiento y translocación de calcio en tejido vegetal, principalmente en hojas maduras y en desarrollo, durante etapas próximas a cosecha y a el grado de susceptibilidad que presenta cada híbrido. Los síntomas de la punta quemada se caracterizaron por la presencia de manchas y desecaciones en los márgenes de la parte superior de las hojas, del cual recibe el nombre de punta quemada.

La comparación de los valores de β de la regresión no lineal del modelo exponencial con el intervalo al 95% para los tratamientos de la variable peso total del muestreo a los 53 días después del trasplante son estadísticamente iguales, lo que indica que no hay diferencia entre las interacciones híbridos y niveles de calcio en la solución nutritiva (Figura 4).

Figura 4. Comparación de los valores de β de la regresión no lineal del modelo exponencial con el intervalo al 95% para los tratamientos en la variable peso total del muestreo a los 53 días después del trasplante.



Los valores observados de peso total de las plantas de lechuga de los tratamientos fueron ajustados mediante regresión no lineal, con el modelo exponencial para establecer la ganancia de peso de cada uno de los tratamientos a través del tiempo (Cuadro 15 y Figura 5).

Cuadro 15. Modelos matemáticos obtenidos de la medición del peso total.

Hibrido	Ca ⁺⁺ en SN* (meq·l ⁻¹)	Modelos Y=Be ^{cx}	R ² ‡
Boomerang	12.39	Y=22.0236e ^{0.0583X}	0.941
Boomerang	9.00	Y=24.5533e ^{0.0545X}	0.943
Boomerang	4.29	Y=21.1935e ^{0.0536X}	0.946
Boomerang	1.55	Y=24.3548e ^{0.0514X}	0.942
Mejía	12.39	Y=24.4917e ^{0.0577X}	0.935
Mejía	9.00	Y=23.1655e ^{0.0582X}	0.937
Mejía	4.29	Y=18.8349e ^{0.0569X}	0.929
Mejía	1.55	Y=20.094e ^{0.056X}	0.929
Toscanas	12.39	Y=29.5248e ^{0.0539X}	0.925
Toscanas	9.00	Y=27.3999e ^{0.0546X}	0.927
Toscanas	4.29	Y=25.455e ^{0.0525X}	0.924
Toscanas	1.55	Y=22.3837e ^{0.0556X}	0.926

*SN: Solución nutritiva. ‡Correlación lineal entre valores observados y estimados; entre híbridos y niveles de calcio de la solución nutritiva de Steiner.

Figura 5. Modelo exponencial del comportamiento del peso total en el híbrido a) Boomerang, b) Mejía y C) Toscanas; con niveles de calcio diferentes en la solución nutritiva.

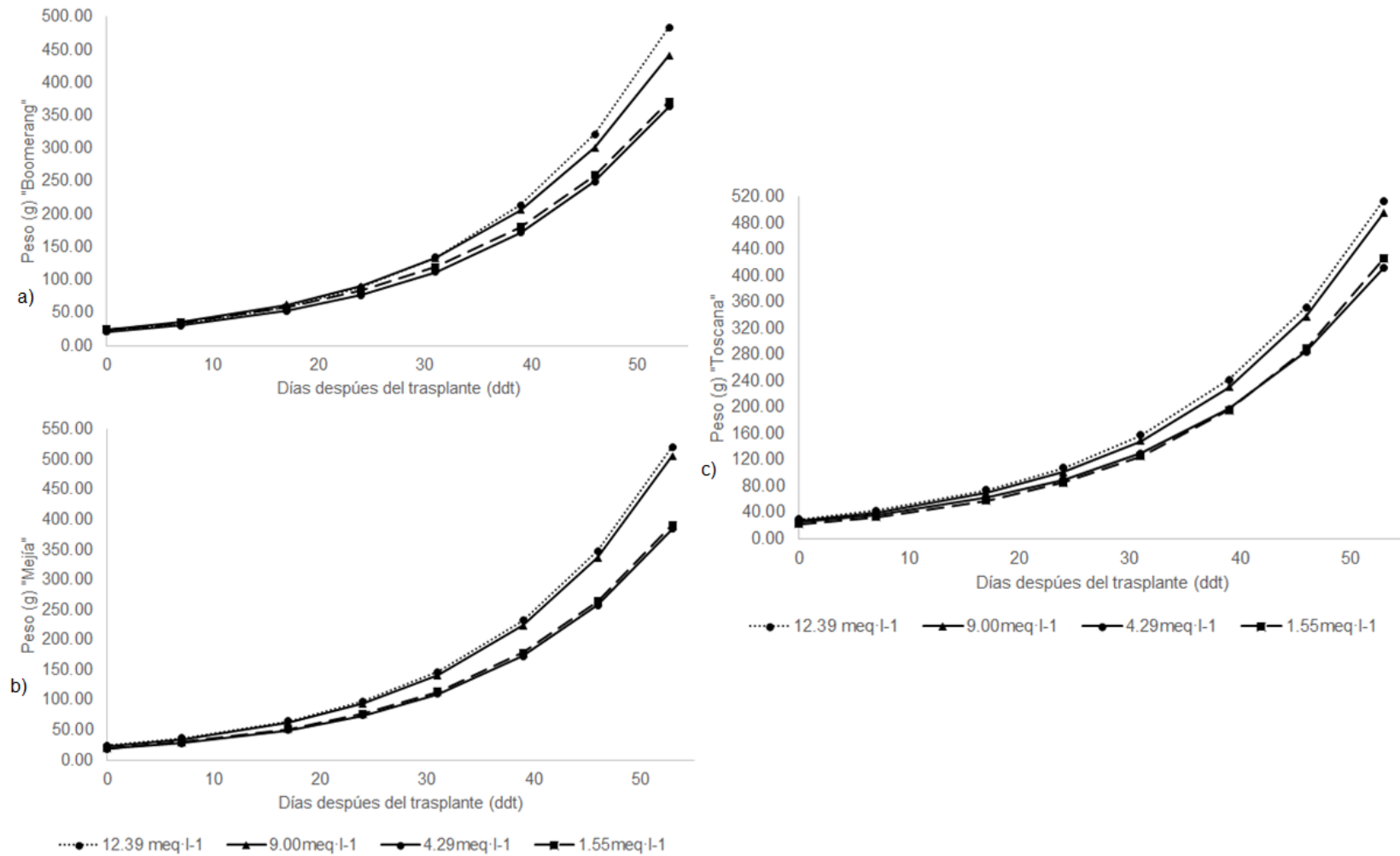
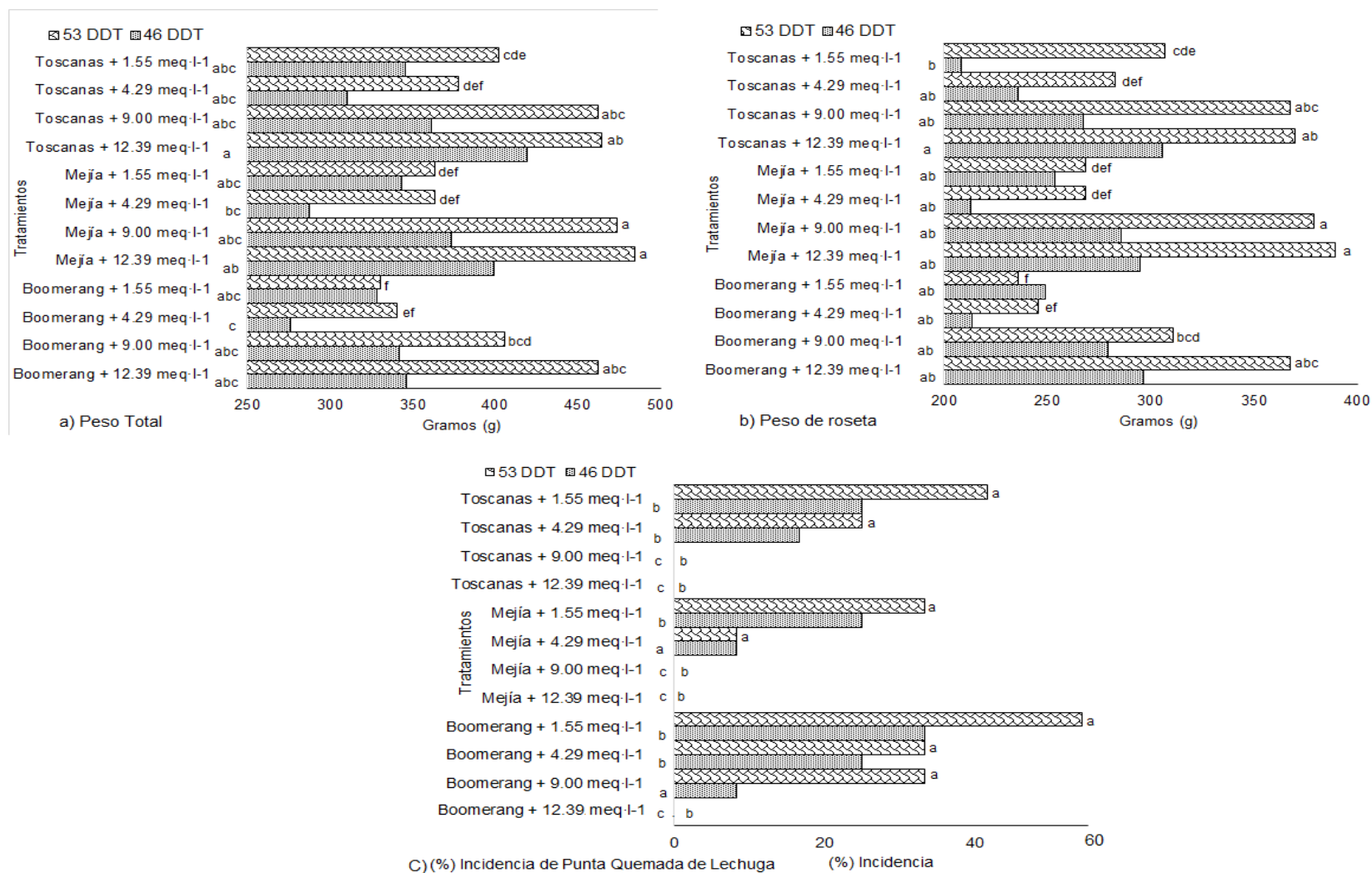


Figura 6. Comparación de medias a los 46 y 53 días después del trasplante para las siguientes variables a) Peso Total, b) Peso de Roseta y c) Incidencia de punta quemada de lechuga.



6.2. CONTENIDO DE NUTRIMENTOS EN LECHUGA

Con el fin de comprobar el efecto que tuvieron los niveles de calcio en la solución nutritiva en la manifestación de la punta quemada en los híbridos cultivados, se analizó el tejido vegetal los 46 y 53 días después del trasplante, ya que durante esta etapa fue próxima a cosecha y se manifestó la fisiopatía, debido a esto se determinó el contenido de los nutrientes nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, por estar relacionados con la aparición de síntomas de la fisiopatía de punta quemada de la lechuga.

Cuadro 16. Comparación de medias de contenido de nutrientes entre híbridos cultivados en soluciones nutritivas con diferente concentración de calcio a los 46 días después del trasplante.

Ca ⁺⁺ en SN* (meq·l ⁻¹)	Híbrido	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio
------(%)-----						
12.39	Boomerang	3.08 ab	0.77 ab	6.18 a	0.43 a	0.77 a
9	Boomerang	3.04 ab	0.72 ab	6.56 a	0.33 a	0.65 a
4.29	Boomerang	3.22 ab	0.72 ab	5.95 a	0.38 a	0.55 a
1.55	Boomerang	2.99 ab	0.97 a	7.22 a	0.34 a	0.96 a
12.39	Mejía	3.62 a	0.57 ab	6.93 a	0.56 a	0.92 a
9	Mejía	3.39 a	0.70 ab	7.00 a	0.47 a	0.93 a
4.29	Mejía	2.67 b	0.72 ab	6.33 a	0.40 a	0.90 a
1.55	Mejía	3.62 a	0.68 ab	6.59 a	0.25 a	0.59 a
12.39	Toscanas	3.50 a	0.26 b	5.22 a	0.53 a	0.56 a
9	Toscanas	3.16 ab	0.59 ab	5.29 a	0.49 a	1.10 a
4.29	Toscanas	2.59 b	0.56 ab	5.17 a	0.30 a	0.85 a
1.55	Toscanas	3.04 ab	0.59 ab	3.69 a	0.26 a	0.63 a
DMSH		0.80	0.6768	1.8591	0.3316	0.9808

Medias con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$); SN*: Solución nutritiva; DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

De acuerdo con la comparación de medias y agrupamiento de Tukey al 95% de confiabilidad; a los 46 días después del trasplante, el contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio entre los tratamientos son estadísticamente iguales y no existen diferencias. De acuerdo con Medina (2019) los valores de concentración de nitrógeno en el tejido foliar varían de 2.6 a 5 %, por lo que los valores obtenidos en este estudio se encuentran dentro del intervalo de suficiencia óptimo, mientras que el contenido de fósforo se encuentra con intervalo de suficiencia alto, excepto por el tratamiento de Toscanas con condición de 12.39 meq·l⁻¹ de calcio, el cual mostró el valor más bajo.

No obstante, para los valores de contenido de potasio y magnesio descrito por Medina (2019), los rangos de suficiencia óptimos son de 4.5 a 6.3 y 0.25 a 0.35 respectivamente. Los valores obtenidos en este experimento se encuentran dentro del intervalo de suficiencia, propuesto por este autor, encontrándose valores de óptimos a altos, interpretando este análisis la planta posee un abastecimiento adecuado en cantidad y tiempo, este suministro de nutrimentos es idóneo para evitar la aparición de deficiencias nutrimentales que son comunes en el cultivo; Alcántar (2016) describió que la deficiencia de potasio o magnesio simultáneamente ocasiona toxicidad o desequilibrio en la absorción de otros nutrimentos (Cuadro 16).

Cuadro 17. Comparación de medias de contenido de nutrimentos entre híbridos a los 46 días después del trasplante.

Híbrido	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio
	------(%)-----				
Boomerang	3.08 b	0.79 a	6.48 ab	0.37 a	0.73 a
Mejía	3.07 b	0.50 b	4.84 b	0.39 a	0.79 a
Toscanas	3.32 a	0.67 ab	6.71 a	0.42 a	0.84 a
DMSH	0.22	0.2137	1.6883	0.1114	0.3295

Medias con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$); DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

Los resultados indican que existió efecto entre híbridos respecto al contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, mientras que para los nutrimentos calcio y magnesio no hubo diferencia significativa. Las medias generales de los híbridos presentaron intervalo de suficiencia óptimos propuestos por Medina (2019) para los nutrimentos nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio, sin embargo, para el caso de calcio todos mostraron tener valores bajos para el intervalo de suficiencia, de esta manera se explica la susceptibilidad de los híbridos a la aparición de síntomas de la fisiopatía de la punta quemada de lechuga (Cuadro 17).

Por otro lado Arcos & *et al.* (1998) y Medina (2019) mencionan que el contenido óptimo de calcio es de 0.5 a 0.75%; considerando este intervalo, los valores obtenidos en los tratamientos se encuentran por debajo del intervalo óptimo, ello explica la deficiencia de calcio y la manifestación de síntomas de punta quemada de lechuga a excepción de los tratamientos de Toscanas y Mejía con la condición de 12.39 meq·l⁻¹ de calcio en la solución nutritiva, quienes presentan niveles altos y no existió manifestación de síntomas de la fisiopatía.

Cuadro 18. Comparación de medias de contenido de nutrimentos entre diferentes niveles de calcio en la solución nutritiva a los 46 días después del trasplante.

Ca ⁺⁺ en SN* (meq·l ⁻¹)	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio
	------(%)-----				
12.39	3.22 a	0.53 a	5.83 a	0.49 a	0.73 a
9.00	2.82 b	0.66 a	5.82 a	0.43 a	0.77 a
4.29	3.20 a	0.67 a	6.28 a	0.38 ab	0.89 a
1.55	3.40 a	0.75 a	6.11 a	0.28 b	0.75 a
DMSH	0.2827	0.2746	2.1695	0.1432	0.4235

Medias con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey, P≤0.05); SN*: Solución nutritiva; DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

De acuerdo con la comparación de medias solo hubo diferencia significativa para los nutrimentos nitrógeno y calcio; los valores de fósforo, potasio y magnesio son estadísticamente iguales.

El intervalo de suficiencia de Medina (2019) y Arcos (1989), determinan que los valores de los nutrimentos obtenidos en la fase experimental en las soluciones nutritivas con diferente nivel de calcio, se encuentran con abastecimiento óptimo de nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio, nuevamente el calcio se encuentra deficiente y son propensas a la aparición de punta quemada, a excepción de la solución nutritiva con $12.39 \text{ meq}\cdot\text{l}^{-1}$ de calcio, que se encuentra en valores óptimos; por otra parte Fernández & *et al*, (2003) mencionaron que la disponibilidad excesiva de nitrógeno y potasio, generan desequilibrios e incremento rápido del crecimiento de la planta, promoviendo la incidencia de punta quemada, con niveles altos de nitrógeno y con valores bajos de calcio.

A los 53 días después del trasplante se realizó el último análisis foliar de tejido vegetal, debido a que durante esta etapa se realizó la cosecha, fue el último muestreo donde se manifestó problemas de punta quemada en tratamientos.

En el día 53 (Cuadro 19), la prueba de medias determinó que solo hubo diferencias significativas en nitrógeno, mientras que no existe diferencia estadística en fósforo, potasio, calcio y magnesio. Arcos & *et al*. (1998) y Medina (2019) mencionaron que los valores de concentración de nitrógeno en el tejido foliar varían de 2.5 a 5 %, con intervalo de suficiencia en 3 a 5 %. Los valores obtenidos en este experimento se encuentran dentro del intervalo de suficiencia, propuesto por estos autores.

Cuadro 19. Comparación de medias de contenido de nutrimentos entre híbridos cultivados en soluciones nutritivas con diferente concentración de calcio a los 53 días después del trasplante.

Ca ⁺⁺ en SN* (meq·l ⁻¹)	Híbrido	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio
------(%)-----						
12.39	Boomerang	3.53 d	0.63 a	6.31 a	0.49 a	0.57 ab
9	Boomerang	3.55 d	0.48 a	5.30 a	0.41 ab	0.73 ab
4.29	Boomerang	3.95 b	0.21 a	5.61 a	0.29 b	0.90 ab
1.55	Boomerang	4.25 a	0.24 a	7.00 a	0.28 b	0.96 a
12.39	Mejía	3.39 d	0.16 a	6.95 a	0.46 ab	0.62 ab
9	Mejía	3.81 bc	0.19 a	6.84 a	0.44 ab	0.48 b
4.29	Mejía	3.41 d	0.19 a	6.77 a	0.36 b	0.75 ab
1.55	Mejía	3.60 cd	0.20 a	6.90 a	0.33 b	0.63 ab
12.39	Toscanas	3.60 cd	0.11 a	3.73 a	0.48 b	0.61 ab
9	Toscanas	3.55 d	0.21 a	7.24 a	0.45 ab	0.54 ab
4.29	Toscanas	2.97 e	0.18 a	6.93 a	0.27 b	0.96 a
1.55	Toscanas	3.13 e	0.23 a	4.96 a	0.28 b	0.92 ab
DMSH		0.65	0.2052	5.0251	0.2901	0.4566

Medias con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$); SN*: Solución nutritiva; DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

El fósforo para el cultivo de lechuga está en valores de suficiencia entre 0.2 y 0.4 % en hojas recién maduras, considerando valores críticos menores a 0.2 % y mayores a 1 % (Jones, 1991); mientras que Arcos *et al.* (1998) y Medina (2019), mencionan como valores adecuados de 0.3 a 0.6 %. De acuerdo con ambos autores, los valores encontrados en lechuga no se encuentran dentro los intervalos, con excepción de los tratamientos de Boomerang con las condiciones de 9.0 y 12.39 meq·l⁻¹ de calcio donde los tratamientos muestran valores altos (Cuadro 19).

Jones *et al.* (1991) señalan que los valores de suficiencia están en el intervalo de 2.6 a 6.3 %, considerando este intervalo, los valores obtenidos en todos los tratamientos se encuentran dentro del intervalo, ello explica la ausencia de síntomas de deficiencia en las plantas.

Medina (2019) determino en investigaciones relacionadas que el contenido de calcio en tejido vegetal, tiene sus intervalos de requerimiento entre 0.5 y 0.75%, se encontró que las concentraciones obtenidas en los tratamientos no son óptimas para su crecimiento y por lo tanto es causante del desarrollo de la manifestación de punta quemada en lechuga, debido a este último muestreo el porcentaje de incidencia fue considerablemente alto (Figura 6), a excepción de los tratamientos de Toscanas y Mejía con las condiciones de 9.0 y 12.39 meq·l⁻¹ de calcio, respectivamente, en la solución nutritiva y Boomerang con 12.39 meq·l⁻¹ no presentaron síntomas debido a que su abastecimiento fue suficiente para que no se manifestara la punta quemada de la lechuga (Alcántar G. & et al, 2016). Jones *et al.* (1991) señalan que el contenido de magnesio de una planta varía, con valores de suficiencia de 0.25 a 0.35% en la mayoría de los cultivos. Los valores obtenidos en esta investigación para la lechuga se encuentran ligeramente superiores al intervalo de suficiencia óptimo en todos tratamientos, lo que justifica la ausencia de síntomas de deficiencia en las plantas.

Cuadro 20. Comparación de medias de contenido de nutrimentos entre híbridos a los 53 días después del trasplante.

Híbrido	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio
	------(%)-----				
Boomerang	3.46 ab	0.60 a	6.84 a	0.39 a	0.81 a
Mejía	3.52 a	0.54 ab	6.80 ab	0.44 a	0.82 a
Toscanas	3.35 b	0.51 b	6.24 b	0.45 a	0.83 a
DMSH	0.1598	0.077	0.5673	0.0776	0.092

Medias con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$); DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

En esta investigación los datos obtenidos para los híbridos cultivados de lechuga son similares a lo señalado por Arcos *et al.* (1998) y Medina (2019), mostrando que los contenidos de nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio de los tratamientos, se encontraron en el intervalo de abastecimiento adecuado. Mientras que el intervalo

de suficiencia de calcio es bajo, sin embargo, la tendencia de los valores es hacia el óptimo de abastecimiento (Cuadro 20).

Cuadro 21. Comparación de medias de contenido de nutrimentos entre diferentes niveles de calcio en la solución nutritiva a los 53 días después del trasplante.

Ca ⁺⁺ en SN* (meq·l ⁻¹)	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio
	------(%)-----				
12.39	3.50 a	0.57 a	6.64 a	0.51 a	0.79 a
9.00	3.44 a	0.55 a	6.72 a	0.49 a	0.76 a
4.29	3.39 a	0.54 a	6.53 a	0.41 b	0.90 a
1.55	3.44 a	0.53 a	6.62 a	0.39 b	0.83 a
DMSH	0.1174	0.0774	1.09	0.078	0.155

Medias con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$); SN*: Solución nutritiva; DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

En los resultados de la comparación de medias en las soluciones nutritivas no existe diferencia significativa en el contenido de nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio. Sin embargo, existe diferencia en el contenido de calcio, donde hubo más acumulación en plantas que se desarrollaron bajo las condiciones de 9.0 y 12.39 meq·l⁻¹ de calcio, de esta manera fueron las soluciones nutritivas donde obtuvieron la menor media de incidencia de la fisiopatía de punta quemada de la lechuga (Figura 6). Jones *et al.* (1991) y Medina (2019) señalaron que el contenido de nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio en el tejido foliar fue superior al intervalo de suficiencia óptimo, con tendencia positiva. Mientras en los resultados obtenidos de calcio en la solución nutritiva de 9.0 y 12.39 meq·l⁻¹ de calcio, las soluciones nutritivas estuvieron dentro de este intervalo óptimo; por otro lado, las soluciones nutritivas con 4.29 y 1.55 meq·l⁻¹ de calcio presentaron valores por debajo de los mínimos, ello explica la presencia de síntomas visuales de la fisiopatía, estableciendo manifestación de síntomas de acuerdo con Maroto, (2002) que reportó que la falta de calcio en tejido vegetal causa alteración de quemadura de las puntas de las hojas de la planta, por una deficiente translocación de calcio, teniendo incidencia negativa en su valor comercial (Cuadro 21).

6.3. RELACIONES NUTRIMENTALES

Los resultados obtenidos de las relaciones nutrimentales con calcio a los 53 días después del trasplante (Cuadro 22), son determinantes para obtener valores que pueden explicar la manifestación de la punta quemada de lechuga, en los híbridos y niveles de calcio en la solución nutritiva. La comparación de medias indica que las relaciones nutrimentales Ca/N, Ca/P, Ca/K y Ca/Mg no presentan diferencias. Sin embargo, las relaciones nutrimentales de Ca/N, Ca/P, Ca/K y Ca/Mg obtenidas en las plantas de Boomerang (0.139, 0.778, 0.078 y 0.86), Mejía (0.126, 2.25, 0.052 y 0.581) y Toscanas (0.096, 1.818, 0.073 y 0.328), con concentración de 12.39 meq·l⁻¹ de calcio en la solución nutritiva, no presentaron manifestación de síntomas de punta quemada (Cuadro 22).

Cuadro 22. Relaciones nutrimentales de calcio con nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio a los 53 días después del trasplante.

Tratamiento		Ca/N	Ca/P	Ca/K	Ca/Mg	Incidencia ^{PQ} (%)
Híbridos	Ca ⁺⁺ en SN* (meq·l ⁻¹)					
Boomerang	12.39	0.139a	0.778 a	0.078 a	0.860 a	0.0 b
Boomerang	9.00	0.099 ab	0.583 a	0.053 a	0.384 a	33.3 a
Boomerang	4.29	0.068 ab	0.905 a	0.034 a	0.211 a	33.3 a
Boomerang	1.55	0.062 ab	0.750 a	0.026 a	0.188 a	54.3 a
Mejía	12.39	0.126 ab	2.250 a	0.052 a	0.581 a	0.0 b
Mejía	9.00	0.083 ab	1.263 a	0.035 a	0.500 a	0.0 b
Mejía	4.29	0.067 ab	0.842 a	0.024 a	0.213 a	8.3 a
Mejía	1.55	0.056 b	0.650 a	0.019 a	0.206 a	33.3a
Toscanas	12.39	0.096 ab	1.818 a	0.073 a	0.328 a	0.0 b
Toscanas	9.00	0.102 ab	1.381 a	0.040 a	0.537 a	0.0 b
Toscanas	4.29	0.077 ab	0.944 a	0.025 a	0.177 a	25.0 a
Toscanas	1.55	0.078 ab	0.783 a	0.036 a	0.196 a	41.7 a
DMSH		0.068	1.89	0.071	0.64	32.34

Medias con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey, P≤0.05); SN*: Solución nutritiva; DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

De acuerdo con los agrupamientos de Tukey, no hubo efecto de las interacciones de Ca/N, Ca/P, Ca/K y Ca/Mg sobre la aparición de punta quemada de la lechuga, sin embargo, de acuerdo con Olle & Bender (2009) el incremento de nitrógeno aumenta el crecimiento de la planta en función a la concentración de calcio disminuya, considerando que es el factor principal que determina la punta quemada, debido a que el aumento de nitrógeno en forma de nitratos y amonio, aumenta el déficit de calcio en las plantas (Cuadro 23).

Cuadro 23. Comparación de medias de relaciones nutrimentales de calcio entre híbridos a los 53 días después del trasplante.

Híbrido	Ca/N	Ca/P	Ca/K	Ca/Mg	Incidencia ^{PQ} (%)
Boomerang	0.133 a	0.822 a	0.066 a	0.582 a	31.25 a
Mejía	0.126 a	0.889 a	0.068 a	0.561 a	10.41 b
Toscanas	0.130 a	1.014 a	0.084 a	0.578 a	16.66 ab
DMS	0.0209	0.3151	0.0288	0.1262	16.81

Medias con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$); DMSH: Diferencia mínima significativa honesta. PQ; Punta quemada de la lechuga.

A los 53 días después del trasplante no hubo diferencias significativas entre las relaciones nutrimentales de calcio. Las concentraciones de $12.39 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}$ de calcio en la solución nutritiva, presentan la menor media de incidencia de punta quemada de la lechuga con las siguientes relaciones nutrimentales de Ca/N (0.138), Ca/P (0.948), Ca/K (0.092) y Ca/Mg (0.61).

Ventura (2012) mencionó que el decremento en la disponibilidad de Ca, el incremento del Mg, el K y el valor alcanzado en la relación Ca/Mg, inciden desfavorablemente en la absorción de calcio en los cultivos, manifestándose síntomas visibles de deficiencia del nutriente (Cuadro 24).

Cuadro 24. Comparación de medias de relaciones nutrimentales de calcio entre niveles de calcio en la solución nutritiva a los 53 días después del trasplante.

Ca ⁺⁺ en SN* (meq·l ⁻¹)	Ca/N	Ca/P	Ca/K	Ca/Mg	Incidencia ^{PQ} (%)
12.39	0.138 a	0.948 ab	0.092 a	0.610 a	00.00 b
9.00	0.138 a	1.147 a	0.072 a	0.689 a	11.11 ab
4.29	0.122 a	0.787 b	0.064 a	0.465 a	30.55 a
1.55	0.121 a	0.751 b	0.064 a	0.531 a	36.11 a
DMSH	0.0209	0.3415	0.0508	0.3464	27.72

Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$); SN*: Solución nutritiva; DMSH: Diferencia mínima significativa honesta. PQ; Punta quemada de lechuga.

VII. CONCLUSIONES

Las plantas de los tres híbridos de lechuga mostraron respuesta favorable a niveles altos de calcio en la solución nutritiva ya que no expresaron síntomas de punta quemada.

Los genotipos mostraron susceptibilidad a esta fisiopatía y solo se tiene respuesta favorable con la interacción de niveles altos de calcio en la solución nutritiva, que no permitieron la manifestación de síntomas.

Los niveles de calcio no influyeron en las variables número de hojas, altura y peso de planta, debido a que estos caracteres se encuentran ligados al genotipo.

VIII. RECOMENDACIONES

Se sugiere analizar más a fondo el estudio del híbrido Boomerang como indicador de la fisiopatía, debido a la gran utilización y distribución en zonas agrícolas importantes de producción de lechuga como el Bajío y Puebla, ya que representa pérdidas importantes de calidad lo que imposibilita su comercialización en el mercado nacional e internacional.

Realizar experimentos posteriores donde se amplíe el rango de soluciones nutritivas y el uso de otros híbridos y estaciones de producción. Realizar análisis de tejido de raíz, para conocer el papel que desenvuelve este órgano y con ello elaborar la curva completa de abastecimiento nutrimental del cultivo, con la finalidad de poder identificar con claridad las fases de deficiencia severa, deficiencia media o hambre oculta, límites de superfluo (valor crítico, suficiencia) y límites de toxicidad, para encontrar el manejo óptimo de la solución nutritiva en el desarrollo de este cultivo.

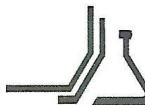
IX. ANEXOS

Anexo 1. Análisis de agua del pozo de riego, del Campo experimental "El Ranchito".



UACH

DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO CENTRAL UNIVERSITARIO



18 DE ABRIL DE 2018.
No. DE OFICIO: 53

USUARIO: **OMAR LÉON MEDINA**
PROCEDENCIA: **CHAPINGO, EDO. DE MÉX.**
TIPO DE MUESTRA: **AGUA (1 MUESTRA)**

Nº CONTROL	pH	CE dSm ⁻¹	Ca meqL ⁻¹	Mg meqL ⁻¹	Na meqL ⁻¹
A-527	8.56	0.59	1.55	0.14	0.57

Nº CONTROL	K meqL ⁻¹	CO ₃ meqL ⁻¹	HCO ₃ meqL ⁻¹	Cl meqL ⁻¹	SO ₄ meqL ⁻¹	B mgL ⁻¹
A-527	0.18	1.85	0.86	0.95	1.12	0.20

ND: NO DETECTADO POR EL MÉTODO EMPLEADO

METODOLOGIA:

pH: POTENCIOMETRICO .

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (CE): PUENTE DE CONDUCTIVIDAD.

CALCIO, MAGNESIO (Ca, Mg): ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCION ATOMICA.

SODIO, POTASIO (Na, K): ESPECTROFOTOMETRIA DE EMISION DE FLAMA.

CARBONATOS, BICARBONATOS (CO₃, HCO₃): VOLUMETRIA DE ACIDO SULFURICO (H₂SO₄).

CLORUROS (Cl): VOLUMETRIA DE NITRATO DE PLATA (AgNO₃)

SULFATOS (SO₄): TURBIDIMETRIA DE CLORURO DE BARIO (BaCl₂).

BORO (B): FOTOCOLORIMETRIA CON AZOMETINA H.

IDENTIFICACION:

A-527: POZO CHAPINGO, "RANCHITO", AGUA AGRÍCOLA.

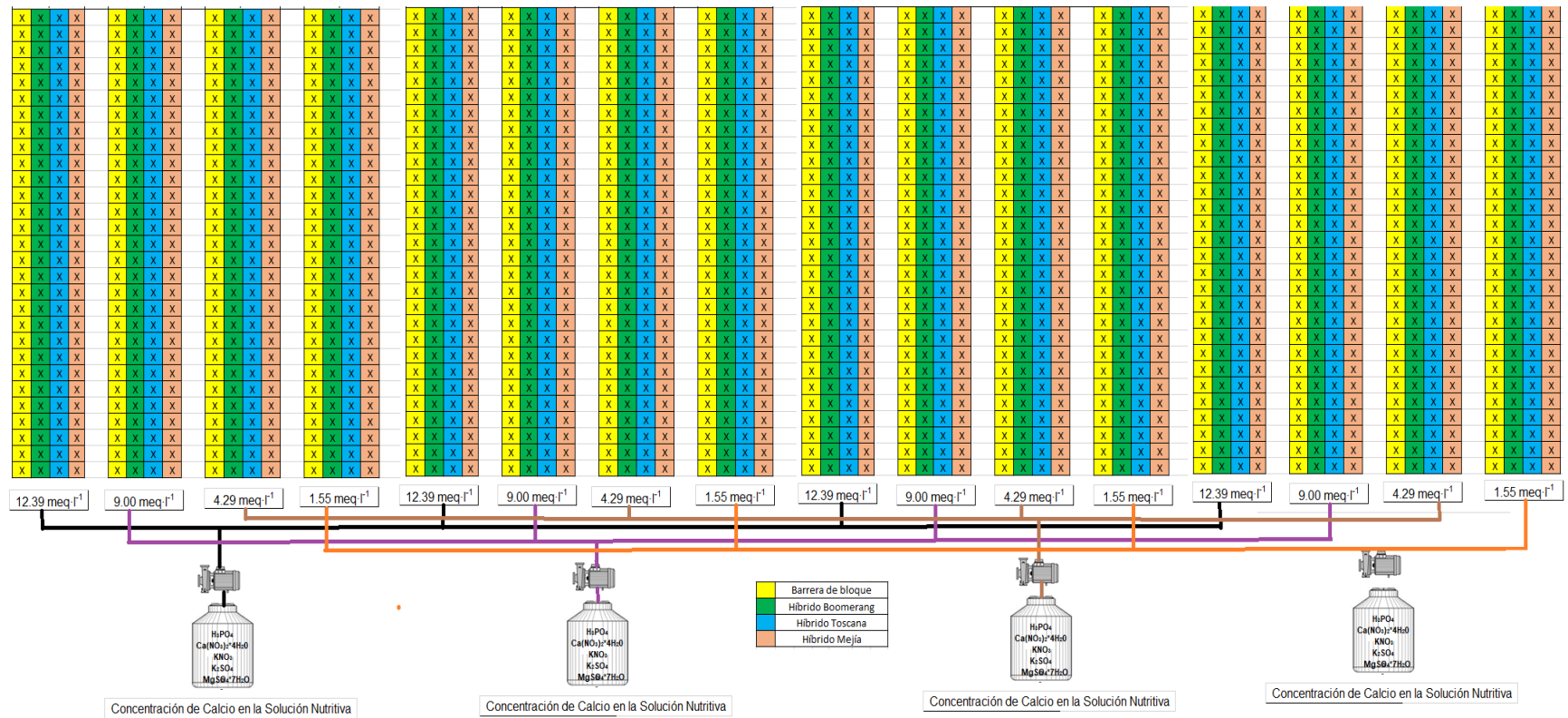
ATENTAMENTE.

DR. EDMUNDO ROBLEDO SANTOYO
JEFE DEL LABORATORIO CENTRAL UNIVERSITARIO

ERS/

Km. 38.5 Carretera Federal México -Texcoco, Chapingo, Méx., CP. 56230, Tel. (01 595) 95-2-16-36, (01 595) 2 1500 ext.6738, 6739 Y 6681
Correo electrónico: labcen.chapingo@gmail.com

Anexo 2. Croquis de distribución del experimento en el invernadero.



Registro de datos de temperatura y humedad Relativa

Anexo 3. Registro de eventos meteorológicos durante la fase experimental en el invernadero.

Fecha	Temperatura °C			Humedad Relativa (%)		
	MÁXIMA	MÍNIMA	MEDIA	MÁXIMA	MÍNIMA	MEDIA
02-feb-18	19.7	9.4	14.6	79.70	31.50	55.60
03-feb-18	25.6	15.3	20.5	85.60	37.40	61.50
04-feb-18	24.9	14.6	19.8	84.90	36.70	60.80
05-feb-18	25.9	15.6	20.8	85.91	37.71	61.81
06-feb-18	25.3	11.0	18.2	85.30	33.10	59.20
07-feb-18	28.8	14.5	21.7	88.80	36.60	62.70
08-feb-18	27.6	13.3	20.5	87.60	35.40	61.50
09-feb-18	26.8	12.5	19.7	86.80	34.60	60.70
10-feb-18	30.0	12.7	21.4	90.00	34.80	62.40
11-feb-18	30.5	13.2	21.9	90.50	35.30	62.90
12-feb-18	29.3	12.0	20.7	89.30	34.10	61.70
13-feb-18	28.9	11.6	20.3	88.90	33.70	61.30
14-feb-18	28.6	11.3	20.0	88.60	33.40	61.00
15-feb-18	28.9	11.6	20.3	88.90	33.70	61.30
16-feb-18	27.8	10.5	19.2	87.80	32.60	60.20
17-feb-18	33.1	15.8	24.5	93.10	37.90	65.50
18-feb-18	34.1	16.8	25.5	94.10	38.90	66.50
19-feb-18	31.0	13.7	22.4	91.00	35.80	63.40
20-feb-18	31.0	12.8	21.9	91.00	34.89	62.95
21-feb-18	31.0	12.8	21.9	91.00	34.89	62.95
22-feb-18	33.0	14.8	23.9	93.00	36.89	64.95
23-feb-18	31.0	12.8	21.9	91.00	34.89	62.95
24-feb-18	29.0	10.8	19.9	89.00	32.89	60.95
25-feb-18	32.0	13.8	22.9	92.00	35.89	63.95
26-feb-18	31.5	13.3	22.4	91.50	35.39	63.45

27-feb-18	26.5	8.3	17.4	86.50	30.39	58.45
28-feb-18	34.1	15.9	25.0	94.10	37.99	66.05
01-mar-18	31.0	11.4	21.2	91.01	33.54	62.28
02-mar-18	30.3	10.7	20.5	90.31	32.84	61.58
03-mar-18	31.3	11.8	21.5	91.32	33.85	62.59
04-mar-18	30.7	11.1	20.9	90.71	33.24	61.98
05-mar-18	34.2	14.6	24.4	94.21	36.74	65.48
06-mar-18	33.0	13.4	23.2	93.01	35.54	64.28
07-mar-18	32.2	12.6	22.4	92.21	34.74	63.48
08-mar-18	35.4	15.8	25.6	95.41	37.94	66.68
09-mar-18	35.9	16.3	26.1	95.91	38.44	67.18
10-mar-18	34.7	15.1	24.9	94.71	37.24	65.98
11-mar-18	34.3	14.7	24.5	94.31	36.84	65.58
12-mar-18	34.0	14.4	24.2	94.01	36.54	65.28
13-mar-18	32.3	12.7	22.5	92.31	34.84	63.58
14-mar-18	31.2	11.6	21.4	91.21	33.74	62.48
15-mar-18	36.5	11.9	24.2	96.51	34.04	65.28
16-mar-18	37.5	12.6	25.1	97.51	34.74	66.13
17-mar-18	34.4	9.5	22.0	94.41	31.64	63.03
18-mar-18	34.4	9.5	22.0	94.41	31.64	63.03
19-mar-18	34.4	9.5	22.0	94.41	31.64	63.03
20-mar-18	36.4	11.5	24.0	96.41	33.64	65.03
21-mar-18	34.4	9.5	22.0	94.41	31.64	63.03
22-mar-18	32.4	10.4	21.4	92.41	32.54	62.48
23-mar-18	35.4	13.4	24.4	95.41	35.54	65.48
24-mar-18	34.9	12.9	23.9	94.91	35.04	64.98
25-mar-18	29.9	9.9	19.9	89.91	32.04	60.98
26-mar-18	36.9	10.6	23.8	96.94	32.66	64.80
27-mar-18	33.9	14.6	24.2	93.85	36.65	65.25

Anexo 4. Análisis de varianza de a los 46 días después del trasplante, en las variables número de hojas, altura, peso total y peso de roseta en plantas de tres híbridos de *Lactuca sativa* L. var. capitata, con cuatro concentraciones de calcio diferente en la solución nutritiva.

FV	GL	No. De hojas	Altura	Peso	Cabeza	Incidencia
Solución	3	11.68	26.25	11113.98	15505.70	1419.75
Bloque	3	12.61	9.24	6602.59	3337.65	61.72
Error _{solución}	3	6.54	3.24	1226.16	1699.63	164.60
Híbrido	2	2.89	37.20	5250.23	230.96	370.37
H*S	6	1.17	2.18	569.28	1135.51	123.45
Error	24	2.23	2.99	587.93	587.93	362.65
Total	47					
DMS		3.80	4.40	61.81	61.81	48.55
CV		8.20	6.04	11.64	14.42	150

FV: Fuente de variación; GL: Grados de libertad; CV: Coeficiente de variación: H*S interacción entre híbrido con Solución nutritiva.

Anexo 5. Análisis de varianza de a los 53 días después del trasplante, en las variables número de hojas, altura, peso total y peso de roseta en plantas de tres híbridos de *Lactuca sativa* L. var. capitata, con cuatro concentraciones de calcio diferente en la solución nutritiva.

FV	GL	No. De hojas	Altura	Peso	Cabeza	Incidencia
Solución	3	6.156	25.10	37824.65	37824.65	3395.06
Bloque	3	4.527	6.50	4749.53	4749.53	493.82
Error _{solución}	3	6.156	25.10	37824.65	37824.65	3395.06
Híbrido	2	3.127	43.50	8224.33	8224.33	1828.70
H*S	6	2.296	2.76	1368.21	1368.21	779.32
Error	24	2.231	2.99	587.93	587.93	362.65
Total	47					
DMS		3.80	6.04	61.81	61.81	48.55
CV		3.471	7.45	5.89	7.67	97.93

FV: Fuente de variación; GL: Grados de libertad; CV: Coeficiente de variación: H*S interacción entre híbrido con Solución nutritiva.

Anexo 6. Análisis de varianza de contenido de nutrimentos en plantas de tres híbridos de *Lactuca sativa* L. var. capitata, con cuatro concentraciones de calcio diferente en la solución nutritiva. Chapingo, 2018.

FV	GL	Nitrógeno	Fosforo	Potasio	Calcio	Magnesio
Solución	3	0.089	0.010	0.264	0.056	0.171
Bloque	1	0.001	0.0008	0.205	0.018	0.003
Error _{solución}	2	0.012	0.005	1.074	0.005	0.021
Híbrido	2	0.386	0.113	6.288	0.005	0.007
H*S	6	0.128	0.020	0.942	0.006	0.042
Error	152	0.127	0.029	1.608	0.030	0.042
Total	167					
DMS		0.65	0.567	4.22	0.577	0.683
CV		10.36	31.11	19.11	38.63	24.92

FV: Fuente de variación; GL: Grados de libertad; CV: Coeficiente de variación: H*S interacción entre híbrido con Solución nutritiva.

Anexo 7. Análisis de varianza de relaciones nutrimentales de calcio en plantas de tres híbridos de *Lactuca sativa* L. var. capitata, con cuatro concentraciones de calcio diferente en la solución nutritiva. Chapingo, 2018.

FV	GL	Calcio/Nitrógeno	Calcio/Fosforo	Calcio/Potasio	Calcio/Magnesio
Solución	3	0.0038	1.3709	0.0074	0.3951
Bloque	1	0.0013	0.3844	0.0033	0.0782
Error _{solución}	2	0.0003	0.1051	0.0023	0.1082
Variedad	2	0.0005	0.5311	0.0056	0.0065
V*S	6	0.0005	0.4880	0.0036	0.1175
Error	152	0.0021	0.4963	0.0041	0.0795
Total	167				
DMS		0.152	2.348	0.2134	0.9398
CV		35.94	77.52	87.69	49.15

FV: Fuente de variación; GL: Grados de libertad; CV: Coeficiente de variación: H*S interacción entre híbrido con Solución nutritiva.

X. REFERENCIAS

- Alcántar G., G., & et al. (2016). *Nutrición de Cultivos*. Texcoco de Mora, Estado de México., México: Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco.
- Almeida. (1992). *Agricultura Orgánica para la fertilidad del suelo*. Río de Janeiro, Brasil: IICA.
- Arcos, C., & et al. (1998). *Tecnología para producir Chile jalapeño en la planicie costera del Golfo de México*. Veracruz, México.: Instituto Nacional Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Folleto Técnico 24. Veracruz,.
- ASERCA. (2014). Lechuga. *Claridades Agropecuarias*, 2.
- Baca, & et al. (2016). *La Solución Nutitiva En Hidroponia*. Texcoco de Mora: Studio Litográfico.
- Bacópulos, T. (2001). *Apuntes de Olericultura*. Coahuila, México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN).
- Baeyens J. (1970). *Nutrición de las plantas (Fisiología aplicada a las plantas agrícolas)*. Madrid, España: Ed. Lemos.
- Barrera, & et al. (2006). *Análisis de crecimiento en plantas*. . Bogotá, Colombia.: Univeridad nacional de Colombia. .
- Barta, D., & Tibbitts, T. (1991.). Calcium localization in lettuce leaves with andwithout tipburn: Comparison of controlled-environment and field-grown plants. . *Journal of the American Society for Horticultural Science.*, 116(5), 870-875 .
- Bidwell R., G. (1993). *Fisiología Vegetal*. D.F., México.: 2da Edición. .
- Blancard, L. y. (2005). *Enfermedades de las lechugas Identificar, conocer y controlar*. Distrito Federal, México: Mundi–Prensa.
- Brand G., D., & Weetman, F. (1987). Growth Analysis of Perennial Plants:The Relative Production Rate and its Yield Components. *Annals of Botany.*, 59: 45-53.
- Burgueño, H. (1995). *La fertirrigación en cultivos horticolas con alcohado plástico*. Sinaloa, México: Bursag SA de CV.

- Cantwell , M. (2010). *Lechuga de cabeza o arrepollada (Crisphead o Iceberg): Recomendaciones para mantener la calidad poscosecha*. California: Departament of Vegetable Crops, University of California Davis, C.A.
- Cáñez , M., & et al. (2015). VALIDACIÓN DE UN MÉTODO ANALÍTICO PARA LA DETERMINACIÓN DEFÓSFORO POR ESPECTROFOTOMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE . *Biotecnia (Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud)*, 32-39.
- Carrasco , P. (2014). *Influencia del calcio y boro sobre Tipburn en la variedad de escarola rizada, Cichorium endivia L., cv. Foxie*. . Universidad de La Laguna. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria.
- Castillo Márquez, L. (2008). *Introducción a la estadística experimental*. Texcoco de Mora, Estado de Mexico: Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo.
- Cerdas A., M. (2004). *Guías técnicas del manejo poscosecha de apio y lechuga para el mercado en fresco*. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Collier, G. F. , & Tibbitts, T. (1982). Tipburn of lettuce. *In Horticultural Reviews.*, 49-65.
- Cox, E. (1980). *Growth of Lettuce Roots and its possible relationship to Tip-burn*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Davis, R., & et al. (2012). *Plagas y enfermedades de la lechuga*. . The American Phytopathological Society. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid-Barcelo-México.
- FAO, F. (16 de octubre de 2016). *Producción y distribución de cultivo lechuga*. Obtenido de <http://faostat.fao.org/>
- Fernández H., J., & et al. (2003). FISIOPATÍAS DEFICIENCIAS, TOXICIDADES Y OTROS FACTORES. *Master de Nutrición Vegetal* (pág. 45). España: Universidad Politecnica de Cartagena.
- García , M., & Fernández , S. (2012). *Determinación de proteínas de un alimento por el método Kjeldahl. Valoración con un ácido fuerte*. . Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.

- Grageda, G. (1999). *la fertilización en hortalizas*. Sonora; México.: INIFAP (Centro de investigación Regional del Noroeste).
- Guardiola, J., & García, L. (1990). *Fisiología vegetal: I. Nutrición y transporte*. Madrid (España): Colección: ciencias de la vida.
- Hunt R. (1990). *Basic growth analysis for beginners*. London, U.K.: Hyman L. T. D.
- Hunt R. (2017). *Growth analysis, individual plants*. . London, U.K.: Encyclopedia of Applied Plant Sciences 2: 421-429.
- Hunt, R. (1982). *Plant growth curves: the functional approach to plant growth analysis*. Edward Arnold (Publisher). . Ltd. London, UK.
- Islam, N., & et al. (2004). Effects of Relative Air Humidity, Light, and Calcium Fertilization on Tipburn and Calcium Content of the Leaves of *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn. . *Europ.J.Hort.Science.*, 69 (1):26-36 pp.
- Jones, e. (1991). *Plant analysis handbook. Micro-Macro*. USA.
- Lucena, J. (1997). Methods of diagnosis of mineral nutrition of plants a critical review. *Acta Hort.*, 448: 179-192.
- Marotto, B. (2002). *Horticultura (herbacéa especial)*. Madrid, España: Mundi-prensa.
- Medina J., F. (02 de Junio de 2019). Necesidades nutricionales y de riego de la lechuga. Las Palmas, España.
- Mengel K., & Kirby E. A. . (1978). *Principles of Plant Nutrition*. Switzerland: Internacional Potash Institute.
- Milthorpe, & Moorby. (1982). *Introduction to crop physiology*. Reino Unido: Cambridge University.
- Miranda , V. (2004). *Manejo De Cultivos Hidropónicos Bajo Invernadero*. . Texcoco: Edición Uach-Departamento De Preparatoria Agrícola. Serie De Publicaciones Agribot. México.
- Morgan. (1999). *Hydroponic lettuce production: a comprehensive, practical and scientific guide to commercial hydroponic lettuce production*. Casper Publications.
- Muñoz, J. (2003). Fisiopatías en el cultivo de Pimiento. *Revista de Riego*. , 4.

- Olle, M., & Bender, I. (2009). Causes and control of calcium deficiency disorders in vegetables: a review. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology.*, 84(6): 577-584.
- Pérez G., & Martínez L. (1994). *Introducción a la Fisiología Vegetal*. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Resh, H. (2006). *Cultivos Hidropónicos*. Madrid, España. : Quinta Edición. Ediciones Mundi Prensa. .
- Rodríguez P. J. E., & et al. (2006). Programas de cómputo para la estimación de parámetros de regresión no lineal útiles en el análisis de crecimiento de cultivos. . *52a reunión anual de la Sociedad Interamericana de Horticultura Tropical*. Sep. 24-30. (págs. 24-30). San Juan, Puerto Rico: Sociedad Interamericana de Horticultura Tropical.
- Salazar, O. (2011). *Identificación de razas de Bremia lactucae y caracterización de variedades de lechuga*. Montecillos, Texcoco de Mora, Edo. de México, México: Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados.
- Santamarina, M. P. (2007). *Biología y Botánica*. Valencia, España: UPV.
- Saure, M. (1998). Causes of the tipburn disorder in leaves of vegetables. *Scientia horticulturae*, 76(3): 131-147 pp.
- Shirin, K., & et al. (2008). *A comparison of digestion methods for the estimation of elements in Dodonaea Viscosa: a native flora of Wadh*. Balochistan, Pakistan: Chem. Soc. Pak., 30(1): 90-95.
- SIAP, S. (6 de Mayo de 2017). *SIAP: Estadísticas Agropecuarias*. Obtenido de www.siap.gob.mx/ Consulta: 08/08/16
- Steiner A. (1984). The Universal Nutrient Solution. *In: proceedings of the 6th International Congress on soilless Culture. ISOSC.*, (págs. 633-649). Wageningen, The Netherlands.
- Taiz, & Zieger . (2002). *Plant Physiology*. Massachusetts, United States.: 3 ed. Sinauer Associates, Inc.
- Ventura , F. (2012). MÉTODOS DE INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS NUTRIMENTAL EN NARANJA VALENCIA (*Citrus sinensis* L. Osbeck). *REDALYC*, 139-145.

- Watada, A. (1999). Quality control of minimally-processed vegetables. *Acta Horticulturae* , (págs. 483:209-220).
- Wild, A. . (1992). *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas*. Madrid, España.: Ed. Mundiprensa.
- Yagues, G. (2008). *Espectroscopia de emision y absorción atómica*. Ciudad de México: Universidad Autonoma de México.