

Universidad Autónoma de Sinaloa
Colegio de Ciencias Agropecuarias
Doctorado en Ciencias Agropecuarias



TESIS:

“Identificación molecular del canal iónico de potasio akt1 y efecto del potasio y calcio en la calidad de plántula y producción de chiles *Capsicum annum*”

**Que para obtener el grado de
Doctor en Ciencias Agropecuarias**

PRESENTA:

M.C. Pedro Alberto Rojas Rojas

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Saúl Parra Terraza

CO-DIRECTOR DE TESIS

Dr. Sixto Velarde Félix

Culiacán, Sinaloa, México; enero de 2018

ESTA TESIS FUE REALIZADA POR PEDRO ALBERTO ROJAS ROJAS BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA, HA SIDO APROBADO POR EL MISMO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

CONSEJO PARTICULAR

DIRECTOR:

DR. SAÚL PARRA TERRAZA

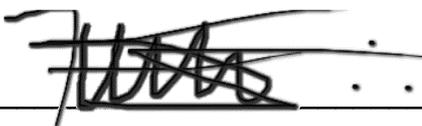
CO-DIRECTOR

DR. SIXTO VELARDE FÉLIX

ASESOR

DR. PEDRO SÁNCHEZ PEÑA

ASESOR


DR. LUIS ALBERTO LIGHTBOURN ROJAS

CULIACÁN, SINALOA, ENERO DE 2018



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Culiacán, Sinaloa el día 31 del mes enero del año 2018
, el (la) que suscribe Pedro Alberto Rojas Rojas alumno (a) del Programa de
con número de cuenta 13313061, de la
Unidad Académica

Facultad de agronomía, manifiesta que es autor (a)
intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de
Saul Parra Terraza y de acuerdo al artículo 27 de la Ley
Federal de Derechos de Autor, cede los derechos del trabajo
intitulado "IDENTIFICACION MOLECULAR DEL CANAL IONICO DE POTASIO
AKAT1 Y EFECTO DEL POTASIO Y CALCIO EN LA CALIDAD DE PLANTULA Y
PRODUCCION DE CHILES *Capsicum annum*", a la Universidad Autónoma de
Sinaloa para su publicación, difusión, edición, reedición, traducción, compilación,
distribución y explotación en medios impresos y digitales, con fines académicos y
de investigación, la que será titular del mismo, en forma conjunta o separada con el
autor.

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de
Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de ésta tesis. El uso de imágenes,
tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor,
será *exclusivamente para fines educativos e informativos* y *deberá citar la fuente*
correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico.
Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin
autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido
y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

En apego al Art. 27 de la Ley Federal de Derechos de Autor Cedo el derecho de
publicación, difusión, edición, reedición, traducción, compilación, distribución y
explotación en medios impresos y digitales, con fines académicos y de investigación
a la Universidad Autónoma de Sinaloa.

PEDRO ALBERTO ROJAS ROJAS

Nombre completo y firma



UAS- Dirección General de Bibliotecas

Repositorio Institucional

Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual, 4.0 Internacional.

DEDICATORIAS

A MIS PADRES

Guadalupe Rojas Anzaldo, madre abnegada con esfuerzo siempre velo por que siguiéramos adelante estudiando, como a su vez lo fue mi abuela, la madre de mi madre, pilar de nuestra crianza ¡Gracias Madre!. A mi padre modelo de hombre trabajador quién me fortaleció y aconsejó para salir de las adversidades, gracias en especial a ti Mario quién me enseñó el valor de la amistad y del trabajo lo cual me hizo sacar el máximo potencial, gracias por la paciencia y el valor de criarme con disciplina pero a la vez con amor siempre te llevaré en mi corazón.

A MIS HERMANOS

Lupita, Jesús y en especial a Lindever⁺ que desde el lugar que se encuentre nos espera para abrazarnos y felicitarnos en persona por los logros de ambos mis hermanos con quienes crecí y desarrollé mis capacidades de amar y con lo cuales aprendí que la vida es sencilla.

Mis hermanos “mayores” Adrián⁺, Catalina y Petra Rojas quienes siempre han estado ahí apoyándome y enseñándome el valor de la familia, han sido la fortaleza que me ayudo a creer en mi mismo y luchar para salir adelante.

Mis hermanos “cercaos” Arturo⁺, Adelita, Pedro, Martha y Javier Rojas, con quienes aprendí que le debemos a Dios el milagro de estar aquí y que soy feliz al saber que cuento con ellos siempre.

A MI FAMILIA

A Martha Lidia Gutiérrez Pérez, mi complemento en esta vida quien me dio la oportunidad de vivir lo mejor que me ha pasado en la vida, te dedico este logro porque sin tu apoyo no hubiera sido posible, eres el pilar que me sostiene, Constanza y Victoria Rojas Gutiérrez, mis hijas les dedico este logro por ser luz en mi camino y amalgama de nuestra familia, las amo a las tres.

AGRADECIMIENTOS

A LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

Gracias al calor humano de esta benemérita casa de estudios pude concluir esta etapa tan importante, gracias a que en sus aulas he cursado parte de mi vida y dejado en ellas un poco de lo mucho que he recibido.

AL PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

Gracias al programa de doctorado en el cual están integrados los mejores perfiles de la Universidad Autónoma de Sinaloa para formar alumnos de posgrado de alta calidad.

A MI CONSEJERO ACADÉMICO

DR. SAÚL PARRA TERRAZA, por el tiempo de calidad que me compartió, atesoró las experiencias y enseñanzas que recolecté en este periodo corto de tiempo que me llevó y lo guardo para siempre.

AL INSTITUTO LIGHTBOURN A.C.

Por darme la oportunidad y el espacio de desarrollarme en sus filas como pionero del Instituto Lightbourn, la parte científica de BIOTEKSA y que ambas empresas me proveyeron de los materiales y espacios que utilizamos.

A CONACYT

Por el apoyo económico recibido durante este tiempo de estudio, recursos que han sido el sostén de mi familia y gracias a este apoyo pude superarme

CONTENIDO	PÁGINA
DEDICATORIAS	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE CUADROS	vi
INDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	xi
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN DE LITERATURA	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
1.2.1. NUTRICIÓN VEGETAL	3
1.2.2. CULTIVOS PROTEGIDOS	3
1.2.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL CHILE	4
1.2.4. CONTAMINACIÓN POR NUTRIENTES	5
1.2.5. LA EUTROFIZACIÓN COMO RESULTADO DE FERTIRRIGACIÓN	6
1.2.6. NUTRICIÓN VEGETAL	8
1.2.7. FUNCIÓN DEL POTASIO (K ⁺) EN LAS PLANTAS	8
1.2.8. FUNCIÓN DEL CALCIO (Ca ²⁺) EN LAS PLANTAS	10
1.2.9. CALIDAD DE PLANTA	10
1.2.10. TRASPORTE CELULAR	12
1.2.11. CANALES IÓNICOS	12
1.2.12. <i>ARABIDOPSIS THALIANA</i>	14
1.2.13. MEDICIONES DE POTASIO TRASMENBRANA	15
1.2.14. DETERMINACIÓN DE CARBOHIDRATOS TOTALES POR EL MÉTODO DE ANTRONA	16
1.2.15. CANALES DE POTASIO ACTIVADOS POR VOLTAJE	17
1.2.16. PRODUCCIÓN DE PIMIENTO	19

CAPÍTULO 2. AKT1 MOLECULAR IDENTIFICATION IN BELL PEPPER	21
2.1. INTRODUCTION	22
2.2. MATERIALS AND METHODS	23
2.3. RESULTS AND DISCUSSION	24
2.4. CONCLUSIONS	24
2.5. REFERENCES	24
CAPÍTULO 3. POTASIO Y CALCIO EN LA CALIDAD DE PLÁNTULAS DE CHILE	25
3.1. INTRODUCCIÓN	25
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.2.1. MATERIAL VEGETAL	28
3.2.2. MANEJO DE PLÁNTULA	28
3.2.3. TAMAÑO DE MUESTRA	29
3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
3.3.1. VARIABLES DE CRECIMIENTO	30
3.3.2. EFECTOS DE LA INTERACCIÓN	32
3.3.3. ANÁLISIS NUTRIMENTAL EN HOJAS Y TALLOS	33
3.3.4. CUANTIFICACIÓN DE CARBOHIDRATOS	35
CAPÍTULO 4. INFLUENCE OF THE K ⁺ AND Ca ²⁺ ON THE PRESENCE OF SUGARS IN THE PHLOEM, AND GROWTH PARAMETERS IN CAPSICUM	39
4.1. ABSTRACT	40
4.2. INTRODUCTION	40
4.3. MATERIALS AND METHODS	40
4.3. RESULTS AND DISCUSSION	42
4.5. CONCLUSIONS	44
4.6. REFERENCES	44
CAPÍTULO 5. LITERATURA CITADA	47

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Titulo	Página
1.	COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS SOLUCIONES NUTRITIVAS USADAS EN EL EXPERIMENTO.....	29
2.	EFECTO DE LA RELACIÓN K^+ /CACIONES Y Ca^{2+} /CACIONES EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA EN EL DIÁMETRO DE TALLO (DT), ALTURA DE PLANTA (AP), PESO FRESCO DE PLANTA (PFP), VOLUMEN RADICAL (VR) Y ÁREA FOLIAR (AF) DE CHILE, 45 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA.	30
3	EFECTO DE LA INTERACCIÓN K^+ /CACIONES X Ca^{2+} /CACIONES EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA EN EL DT, A, PFP, VR Y AF EN PLANTAS DE CHILE, 45 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA.	31
4.	EFECTO DE LA RELACIÓN K^+ /CACIONES Y Ca^{2+} /CACIONES EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA EN EL PESO SECO DE HOJA (PSH), PESO SECO DE TALLO (PST), PESO SECO DE RAÍZ (PSR), PESO SECO DE PLANTA (PSP), RELACIÓN PARTE AÉREA/PARTE RADICAL (RPA/PR), COCIENTE DE ESBELTEZ (CDE) E ÍNDICE DE DICKSON (IDD) EN PLANTAS DE CHILE, 45 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA.	32
5.	EFECTO DE LA INTERACCIÓN K^+ /CACIONES X Ca^{2+} /CACIONES EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA EN EL PESO SECO DE HOJA (PSH), PESO SECO DE TALLO (PST), PESO SECO DE RAÍZ (PSR), PESO SECO DE PLANTA (PSP), RELACIÓN PARTE AÉREA/PARTE RADICAL (RPA/PR), COCIENTE DE ESBELTEZ (CDE) E ÍNDICE DE	

	DICKSON (IDD) EN PLANTAS DE CHILE, 45 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA.....	33
6.	EFEECTO DE LA RELACIÓN K^+ /CACIONES Y Ca^{2+} /CACIONES EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA Y LA CONCENTRACIÓN DE N, P, K^+ , Ca^{2+} Y Mg^{2+} EN HOJAS Y TALLOS DE PLANTAS DE CHILE, 45 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA.....	34
7.	EFEECTO DE LA INTERACCIÓN K^+ /CACIONES X Ca^{2+} EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA EN LA CONCENTRACIÓN DE N, P, K^+ , Ca^{2+} Y Mg^{2+} EN HOJAS DE CHILE CHILE, 45 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA.....	35
8	EFEECTO DE LA INTERACCIÓN K^+ /CACIONES x Ca^{2+} EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA EN LA CONCENTRACIÓN DE N, P, K^2 , Ca^{2+} Y Mg^{2+} EN TALLOS DE CHILE, 45 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA.	36
9	EFEECTO DE LA RELACIÓN K^+ /CACIONES Y Ca^{2+} /CACIONES EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA EN LA CONCENTRACIÓN DE CARBOHIDRATOS TOTALES Y CARBOHIDRATOS REDUCTORES EN EXTRACTO CELULAR DE PECIOLO, EN HOJAS DE CHILE, 45 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA.	37
10	EFEECTO DE LA INTERACCIÓN K^+ /CACIONES X Ca^{2+} EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA NUTRITIVA EN LA CONCENTRACIÓN DE CARBOHIDRATOS REDUCTORES EN EXTRACTO CELULAR DE PECIOLO, EN HOJAS DE CHILE, 45 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA.	38

11. EFFECT OF K^+ AND Ca^{2+} INTERACTION ON NUTRIENT SOLUTION FOR PLANT HEIGHT (H), STEM DIAMETER (ST), TOTAL WEIGHT (TW), LEAF DRY WEIGHT (LDW) STEM DRY WEIGHT (SDW).41
12. EFFECT OF K^+ AND Ca^{2+} INTERACTION ON NUTRIENT SOLUTION FOR PLANT HEIGHT (H), STEM DIAMETER (ST), TOTAL WEIGHT (TW), LEAF DRY WEIGHT (LDW) STEM DRY WEIGHT (SDW)41
13. EFFECT OF K^+ AND Ca^{2+} INTERACTION ON NUTRIENT SOLUTION FOR ANALYSIS MINERAL OF LEAF AND STEM PEPPER PLANTS43
14. NUMBER OF SWEET PEPPER FRUITS AND SUGAR CONTENT IN LEAF, BASED OF K^+/Ca^{2+} RELATION IN THE NUTRITRIENT SOLUTION43
15. NUMBER OF MARKETABLE FRUITS EVALUATED BASED ON K^+/Ca^{2+} RELATION ON NUTRITRIENT SOLUTION44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1.	DNA QUALITY AND INTEGRITY. THE 1ST LANE SHOWS DNA PEPPER ROOTS (1000 NG -1), 2ND LANE SHOWS DNA PEPPER ROOTS (100 NG -1), 3RD LANE SHOWS MOLECULAR SIZE MARKER HYPERLADDER III, 4TH LANE SHOWS DNA PEPPER LEAF (1000 NG -1) AND 5TH LANE SHOWS DNA PEPPER LEAF (100 NG -1).	24

RESUMEN

Los canales iónicos son fundamentales en la homeostasis celular para lograr una mayor eficiencia en la nutrición mineral. La asimilación de K^+ en las células vegetales es debida a canales iónicos que facilitan la entrada de K^+ en la célula. Uno de los objetivos de este trabajo fue detectar en plántulas de chile de 45 días, el gen que codifica el canal de K^+ AKT1, para ello se estandarizó la técnica de detección molecular AKT1 normalizada a partir de la síntesis del oligo (D) -AAG-ATC-AGA-TGC-ACC-TTG-ACT-T a una temperatura de 62 °C, secuenciado, analizado posteriormente en Centro Nacional de Información de Biotecnología (Abreviatura en inglés: NCBI) y se obtuvo un 94-97% de identidad con el gen AKT1.

La producción comercial de plántulas de pimiento para trasplante a campo o condición protegida, tiene como objetivo plántulas sanas, vigorosas y con raíces profundas, por lo que es necesario evaluar parámetros morfológicos y fisiológicos con el fin de tener plántulas de calidad, en función de una adecuada fertilización, Por las funciones fisiológicas y metabólicas del K^+ y el Ca^{2+} en las plantas una adecuada nutrición con estos nutrimentos puede ser determinante en la producción de plántulas de calidad, por ello en la segunda etapa de la investigación se determinó el efecto de la relación K^+ /cationes y Ca^{2+} /cationes en la solución nutritiva en el vigor, en las concentraciones de nutrimentos en hojas y tallos, y en la concentración de azúcares en plántulas de chile (*Capsicum annuum* L.) cv. Cannon. El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial 3^2 , con cuatro repeticiones. Los factores fueron: 1) relaciones K^+ /cationes (27/100, 35/100 y 43/100), y 2) relaciones Ca^{2+} /cationes (37/100, 45/100 y 53/100). Se realizó un análisis de varianza y las medias de los tratamientos se compararon con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Hubo interacción entre los factores evaluados en las variables diámetro de tallo, altura, peso fresco, volumen radical, área foliar, pesos secos de hojas, tallos, raíces y de plántula, relación parte aérea / entre parte radical, cociente de esbeltez e índice de Dickson, y concentraciones de N, P, K^+ y Mg^{2+} en hojas, donde los mayores valores fueron obtenidos con la combinación 27/100 K^+ /cationes x 37/100 Ca^{2+} /cationes. En contraste, en esta combinación las

concentraciones de azúcares reductores fueron reducidos significativamente. Con la combinación 27/100 K⁺/cationes x 37/100 Ca²⁺/cationes se obtuvieron plántulas de mayor calidad al obtener mayor vigor de plántulas, superior acumulación de biomasa aérea y radical, mayores concentraciones nutrimentales en hojas y tallos y menor concentración de azúcares reductores.

En México se siembran aproximadamente 26 especies de chiles verdes, de las cuales el pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) es una de las más importantes en el sector hortícola de México, ya que la mayor parte de la producción se destina a la exportación; en el año 2016 el 96 % de la superficie cosechada de pimiento 3 266 hectáreas (h) se realizó en Sinaloa, generando un valor de producción cercano a los mil millones de pesos. El K⁺ y el Ca son dos macronutrientes esenciales para las plantas por sus funciones en el crecimiento y desarrollo, por lo que una adecuada nutrición con estos nutrientes puede ser determinante en el rendimiento y calidad de las hortalizas, por ello en la tercera etapa de la investigación se evaluó en casa sombra y riego por goteo el efecto de nueve soluciones nutritivas conteniendo tres niveles de K⁺ (27, 35 y 43%) combinados con tres niveles de Ca²⁺ (37, 45 y 53%); el diseño experimental fue bloques al azar con arreglo factorial 3² de tratamientos. Las plantas tratadas con la combinación 27 % de K⁺ y 53 % de Ca²⁺ tuvieron un rendimiento mayor de 500 g por planta, respecto al tratamiento testigo (solución Steiner) y produjeron dos frutos más por planta; una concentración del 27 % de K⁺ en la solución nutritiva redujo la concentración de azúcares en los frutos.

ABSTRACT

Ion channels are fundamental to cellular homeostasis to achieve greater efficiency in mineral nutrition. Assimilation of K^+ in plant cells is due to ionic channels that facilitate K^+ access to the cell. One goal of this work was detected in seedlings chili with 45 days snowed, the encoding gene of K^+ channel “akt1”, this technique for akt! molecular detection, was standardized from the synthesis of the oligo (D) -AAG -ATC AGA-TGC-ACC-TTG-ACT-T- it was performed at a temperature of 62 °C, after that was sequenced, and analyzed at National Center for Biotechnology Information (NCBI) and obtain a 94-97% of identity with akt1 gene reported.

In commercial production of pepper seedlings for transplantation to field or protected crops, they have the objective of plants healthy, vigorous and profuse root seedlings, so it is necessary to evaluated on plants the morphological and physiological parameters in order to have quality seedlings, according to a proper fertilization, plants require an proper nutrition for an adequate physiological and metabolic functions of K^+ and Ca^{2+} and these nutrients can be decisive in seedling production quality, so in the second stage of the research we determined the effect of the ratio K^+ /cations and Ca^{2+} /cations in the nutrient solution in the plant in nutrient concentrations in leaves and stems, and the concentration of sugars in seedlings pepper (*Capsicum annuum*) cv. Cannon. The experimental design was completely randomized factorial 32 ,with four replications. The factors were: 1) relations K^+ / cations (27/100, 35/100 and 43/100), and 2) relationships Ca^{2+} /cations (37/100, 45/100 and 53/100). An analysis of variance (ANOVA) was performed and the treatment means were compared with Tukey test ($P \leq 0.05$). There was interaction between the factors evaluated in variables: stem diameter, plant height, fresh plant weight, root volume, leaf area, dry weights of: leaves, stems, roots and seedlings. Relation air plant part between radical plant part, ratio of slenderness and index Dickson. The mineral concentrations of N, P, K^+ and Mg^{2+} in leaves, the highest values were obtained with the combination 27/100 K^+ /cations x 37/100 Ca^{2+} /cations. however, in this combination the reducing sugars concentrations were significantly reduced. With the combination 27/100 K^+ /cations x 37/100 Ca^{2+} /cations obtained the

higher quality seedlings measured by seedling vigor, higher accumulation of shoot and root biomass, increased nutrient concentrations in leaves and stems and lower concentration of reducing sugars.

Mexico grown about 26 species of green chillies each year, from which bell pepper (*Capsicum annuum* L.) is the most important in the horticultural sector in Mexico, because the most of the production is exported; in 2016 the 96% of the nacional area harvested of pepper (3,266 h) was held in Sinaloa, which created a production value of around one billion mexican pesos. K^+ and Ca^{2+} are two essential macronutrients for plants for their roles in growth and development, so that a proper nutrition with those nutrients can be decisive on yield and quality of this vegetables, so in the third stage of the research was evaluated in shade house and drip effect of nine nutrient solutions which containing three levels of K^+ (27, 35 and 43%) combined with three levels of Ca^{2+} (37, 45 and 53%); The experimental design was randomized block factorial arrangement of 32 treatments. The plants treated with the combination 27% K^+ and 53% Ca^{2+} get an higher yield, of 500 g per plant compared to control treatment (Steiner solution) and produced two more fruits per plant; the concentration of 27% of K^+ in the nutrient solution reduced the concentration of sugars in leaf.

Keywords: Plant nutrition, chili, PCR, gene.

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, en 2014 se produjeron 32.3 millones de toneladas (t) de chiles verdes en 1.9 millones de hectáreas (FAOSTAT, 2017); en este mismo año, México produjo 2.45 millones de t en 129 476 h, de los cuales 9.7 % de la superficie cosechada y 19.8 % de la producción obtenida correspondió al estado de Sinaloa (SIAP, 2017). En México se siembran aproximadamente 26 especies de chiles verdes, de las cuales el pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) es una de las más importantes en el sector hortícola de México, ya que la mayor parte de la producción se destina a la exportación; en el año 2016 el 96 % de la superficie cosechada de pimiento (3 266 h) se realizó en Sinaloa, generando un valor de producción cercano a los mil millones de pesos (SIAP, 2017). El K^+ y el Ca^{2+} son dos macronutrientes esenciales para las plantas por sus funciones en el crecimiento y desarrollo, por lo que una adecuada nutrición con estos nutrientes puede ser determinante en la producción de plántulas, en el rendimiento y calidad de las hortalizas. El K^+ participa en el gradiente de potencial eléctrico en las membranas celulares, la turgencia, la activación de enzimas, la fotosíntesis, el metabolismo de azúcares y de almidón, la síntesis de proteínas, la apertura y cierre de estomas, la estabilización del pH celular, y en el balance catión-anión celular (Marschner, 1995; Mengel y Kirkby, 2000; Zhang *et al.*, 2010). La asimilación de potasio (K^+) en las células vegetales se realiza mediante proteínas de membrana llamadas canales iónicos. Los canales AKT1, KAT1 y KAT2 facilitan la entrada de K a la célula, aunque son sensibles a las concentraciones externas de K^+ (Meinke *et al.*, 1998; Garriga *et al.*, 2017). El K^+ es absorbido por los canales iónicos membranales de la raíz, los cuales son activados por acción eléctrica en respuesta al K^+ en el exterior de las células, variando en concentraciones de 10 μ M a 10 mM (Maathuis y Sanders, 1994). La deficiencia de K^+ aumenta la concentración de azúcares en las hojas para sustituir las moléculas osmóticas (Zörb *et al.*, 2014). La absorción de K^+ es regulada a bajas

concentraciones de K^+ por cotrasportadores y en altas concentraciones por canales iónicos.

El Ca^{2+} tiene funciones estructurales en la pared celular y en la membrana (Tuna *et al.*, 2007), actúa como catión contrario para los aniones orgánicos e inorgánicos en la vacuola y es un mensajero extracelular en el citosol (Marschner, 1995; Parre *et al.*, 2007), regula el transporte de iones y la selectividad, y es un activador de enzimas en la pared celular (Zhao *et al.*, 2007). Zhang *et al.*, (2010) mencionan que el efecto del K^+ en las plantas es afectado por las prácticas del cultivo, las especies de cultivos y las condiciones ambientales. En papa (*Solanum tuberosum* L.), la aplicación de K^+ aumentó el número de tubérculos, aunque disminuyó la materia seca de los tubérculos (Kavvadias *et al.*, 2012). En tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado en suelo la aplicación de $1.43 \text{ meq } K^+ L^{-1}$ aumentó el rendimiento y la calidad de los frutos (Armenta *et al.*, 2001). En contraste, Parra *et al.*, (2012) y Bugarín *et al.*, (2002) reportaron que el rendimiento de frutos de tomate en hidroponía no fue afectado por la aplicación de 7 y 9 $\text{meq } K^+ L^{-1}$, y 3, 6 y 9 $\text{meq } K^+ L^{-1}$, respectivamente. En tulipán (*Tulipa gesneriana* L.) la relación K^+/Ca^{2+} 8.5/9.0 registró la mayor altura de tallos florales, firmeza, contenido de clorofilas, azúcares totales y vida de florero (Ramírez *et al.*, 2010). En tomate hidropónico, Parra *et al.*, (2008) y Ortiz (2012) mencionan que la aplicación de 4.5, 6.75, 7, 9 y 11 $\text{meq } Ca^{2+} L^{-1}$, y 2.25, 4.50, 6.75, 9.0, 11.25 y 13.25 $\text{meq } Ca^{2+} L^{-1}$ no afectaron el rendimiento de frutos. En rosa (*Rosa hybrida* L.) el Ca^{2+} aumentó el crecimiento de la planta y la firmeza de los tallos (Torre *et al.*, 1999). Los objetivos de esta investigación son: 1) estandarizar el método de detección del canal iónico de K^+ AKT1 mediante PCR, 2) evaluar el efecto de tres relaciones (27/100, 35/100 y 43/100) K^+ /cationes y tres relaciones (37/100, 45/100 y 53/100) Ca^{2+} /cationes en soluciones nutritivas, en los índices morfológicos y fisiológicos relacionados con la calidad de plántulas de pimiento morrón y 3) evaluar el efecto de tres relaciones (27/100, 35/100 y 43/100) K^+ /cationes y tres relaciones (37/100, 45/100 y 53/100) Ca^{2+} /cationes en soluciones nutritivas en la producción de azúcares, la composición mineral y el rendimiento de pimiento morrón en casa sombra.

1.2. REVISIÓN DE LITERATURA

1.2.1. *Nutrición Vegetal*

El riego con nutrientes se denomina fertirrigación, esta actividad promueven el incremento de los rendimientos (Fonseca y Antúnez, 2006). Las plantas nutridas correctamente utilizan al máximo su capacidad metabólica para producir biomasa y soportar los cambios ambientales. Sin embargo, como ejemplo: la sobrefertilización con nitrógeno (N) en el cultivo anterior afecta la calidad del grano de la cebada, poder diastásico para degradar almidón, destinada a la industria de la cerveza; las crucíferas son altamente demandantes de boro (B), pero en exceso afecta al subsecuente cultivo de frijol o fresa; como herramienta auxiliar la fertilización foliar puede ser estratégica para el aprovechamiento de los nutrientes, ya que se estima que el 95% de las emisiones a la atmósfera de óxido nitroso (N_2O) provienen de los fertilizantes empleados en la agricultura (Kakuturu *et al.*, 2013).

1.2.2. *Cultivos protegidos*

El uso de cultivos protegidos es decir armar estructuras en campo como invernaderos, mallas y casa sombra redujo la contaminación de suelos. El agricultor tradicional inició una etapa de conciencia por los costos y empezó a proteger el suelo. Una opción fue la nutrición orgánica, sin embargo, esta práctica de producción encaja en el mercado de forma limitada, siguen contaminando por lixiviación de nitratos y en ocasiones patógenos de acuerdo a la calidad de algunas compostas (Jin *et al.*, 2010). La tendencia de la agricultura moderna es el cuidado de los suelos, reducir dosis de fertilizantes, evitar lixiviaciones y considerar fuentes alternas de nutrición (Nahar, 2009), tomar en cuenta el aporte natural del suelo para cultivos redituables como las hortalizas de exportación, hacer uso de la tecnología agrícola, conocer el tipo de suelo y manejo consiente de los fertilizantes (Fonseca y Antúnez, 2006).

1.2.3. Características generales del chile

El chile (*Capsicum annuum* L.) es una planta anual, angiosperma, dicotiledónea, de la familia de las solanáceas, de flor actinomorfa y hermafrodita con gineceo de 3 ó 4 carpelos cuyo fruto es una baya hueca carnosa, del género *Capsicum* que incluye aproximadamente 25 especies y tiene su origen en las regiones tropicales y subtropicales de América. Es la segunda hortaliza de mayor producción mundial (FAO, 2016). México es el segundo mayor productor mundial de chile con una producción nacional de 601,736 t, de las cuales Sinaloa aporta 85%, asimismo es la segunda hortaliza más importante en Sinaloa (SIAP, 2017). Sinaloa produce 175,694 t. En 2016 se produjeron 29.9 millones de t en 1.9 millones de hectáreas (ha) (FAOSTAT, 2017); en este mismo año, México produjo 2.1 millones de t en 144,391h, de los cuales 7.5 % de la superficie cosechada y 14.1 % de la producción obtenida correspondió al estado de Sinaloa (SIAP, 2017). En el país la mayor parte de la producción de chile morrón se destina a la exportación, tanto la que se genera a campo abierto como bajo condiciones protegidas; de esta variedad se siembran aproximadamente 5,800h, con rendimientos en campo hasta de 50 th^{-1} año⁻¹, y la exportación a los Estados Unidos de América y Canadá fue de 240,000 t en 2006 (Castellanos *et al.*, 2000).

El cultivo de chile se determina en fases fenológicas que divide en tres grandes etapas: 1) 50% desde la siembra hasta el aclareo, 2) 75% del aclareo o establecimiento a amarre de fruto y 3) 100 % desde amarre de fruto a la cosecha o fin de esta y se cultiva a una densidad de 28,000 plantas por h (USDA, 2003), se determinan fases fenológicas específicas de acuerdo al origen de las plantas (siembra directa o trasplante) y las divide en tres grandes etapas: 1) 50 % desde la siembra hasta el aclareo, 2) 75 % del aclareo o trasplante a amarre de fruto y 3) 100 % del amarre de fruto a la cosecha o fin de esta. En un análisis detallado de 13 variedades de chile determinaron la media de d por etapa: 10.4 d a primera bifurcación; 16.5 d a segunda bifurcación; 24.6 d a tercera bifurcación; 30 d a cuarta bifurcación; 33.4 d a floración; 43.8 d a fructificación; 92.6 d a cambio de color del fruto; 102.3 d a cosecha (Moreno *et al.*, 2011). Las etapas de desarrollo del cultivo de

chile facilita la toma de decisiones para abono de nutrimentos, el estado nutricional del cultivo considera el tipo de suelo, niveles nutrimentales en la planta y aporte del suelo (K, Ca, P, N, etc.) (Cruz, *et al.*, 2011), ayuda a reducir el efecto antagónico de sales, aportes de agua dura, nivel de abatimiento del suelo, las limitantes genéticas de los híbridos o variedades (Castellanos *et al.*, 2000). Considerando que suelos fríos reducen la descomposición de materia orgánica, suelos secos provocan deficiencias de boro, ambientes de alta humedad relativa y nublados reducen traslocación de Ca^{2+} , factores biológicos como daño por insectos se confunden con deficiencias nutricionales, similitud entre enfermedades bacterianas y fungosas, etapa fenológica, preparación de suelo y fertilización de fondo, entre otros afectan al manejo. Por esa razón se propone un conocimiento más profundo en relación a las estructuras involucradas en el transporte celular de los iones de importancia.

1.2.4. Contaminación por nutrientes

La fertirrigación afecta la calidad, el crecimiento y rendimiento de los cultivos (Fonseca y Antúnez, 2006). Con el subsecuente daño ecológico la tendencia ha sido el convertir la nutrición tradicional por manejos amigables con el ambiente; que no provoquen excesos; como es la liberación lenta de los nutrientes que no se lixivian sino que se expanden permaneciendo en la superficie hasta que es tomado por las plantas (Tyliszczak *et al.*, 2009).

Las etapas fenológicas del cultivo de chile se encuentran correlacionadas a niveles óptimos de minerales (Jones *et al.*, 1991), sin embargo a causa del clima, tipo de suelo, material vegetal, entre otros, las necesidades nutricionales cambian, ya que el suelo almacena minerales formando complejas moléculas indisponibles para las plantas. En cultivos protegidos como invernadero, mallas, casa sombra y en campo abierto se han desarrollado fórmulas nutritivas balanceadas (Steiner, 1964), que confieren un mejor desempeño del cultivo por etapas fenológicas en ocasiones con un control climático e hidropónico (Duffy y Defago, 1999; Zúñiga *et al.*, 2004), “La revolución verde” integró prácticas culturales, selección de materiales genéticos y

aplicaciones altas de fertilizantes que provocaron salinización, contaminación de mantos freáticos y proliferación de patógenos por monocultivo (Tsuneyoshi *et al.*, 2006; Khan y Shah 2010).

La importancia del riego agrícola se complementa con la aplicación de fertilizantes y ambas actividades afectan la calidad, el crecimiento y rendimiento de los cultivos (Uvalle, 2012). Un aspecto negativo de la agricultura intensiva es la contaminación de las aguas superficiales con fertilizantes (eutrofización), la cual provoca trastornos en el equilibrio biológico; por ejemplo, la presencia de nitratos está contaminando aguas subterráneas y generando condiciones no aptas para consumo humano (FAO, 1997). Por lo anterior, el factor de manejo nutricional de plantas, es determinante en la productividad agrícola; sin embargo, es necesario implementar modelos amigables con el medio ambiente. Así surge la alternativa de nutrir plantas con abonos orgánicos, más estos no son suficientes ya que son de lenta liberación y requieren un control estricto en su elaboración debido a que provienen de fuentes orgánicas con riesgo de contener o desarrollar microorganismos patógenos.

1.2.5. La eutrofización como resultado de fertirrigación

La fertilización de las aguas superficiales (eutrofización) da lugar al crecimiento excesivo de algas, que ocasiona trastornos en el equilibrio biológico incluyendo mortandad de peces. Así ocurre tanto en las aguas continentales (acequias, ríos, lagos) como costeras (Marco, 2002). El agua subterránea se contamina fundamentalmente por la presencia de nitratos (Calatrava y Garrido, 2001), fósforo (P) y otros, estos problemas se deben fundamentalmente a la presencia de fertilizantes minerales diluidos en el agua y en algunos lugares la situación está especialmente asociada a la aplicación extensiva e intensiva de fertilizantes orgánicos (FAO, 1997).

La tendencia de la agricultura moderna obliga al cuidado de los suelos, reducir las dosis de fertilizantes, evitar lixiviaciones y considerar fuentes alternas de nutrición,

tomar en cuenta el aporte natural del suelo, la eficiencia del cultivo, la tecnología agrícola, el tipo de suelo y características de fertilizantes (Uvalle, 2012). Hernández (2009), menciona que los requerimientos nutricionales basados en una receta de reposición por tablas originan contaminación del manto freático, gastos elevados de fertilización y mayor trabajo realizado por la planta para utilizar los nutrientes.

Conocer las etapas de desarrollo de la planta facilita la toma de decisiones para fertilizar abonos orgánicos o productos sintetizados y controlar la oferta de nutrientes para las plantas. Antes de determinar el estado nutricional del cultivo se debe considerar el criterio de interpretación de la fertilidad, el tipo de suelo y niveles nutrimentales presentes en planta y suelo (K, Ca, P, N, etc.), el efecto antagónico de sales, aportes de agua dura, nivel de abatimiento del suelo, las limitantes genéticas como los híbridos o variedades. Todo lo anterior se define como el Diagnóstico Diferencial Integral (DDI) (Castellanos *et al.*, 2000). Este diagnóstico nos ayuda a comprender como el clima adverso como suelo frío reduce la descomposición de materia orgánica, suelos secos provocan deficiencias de boro, alta humedad relativa y nublados provocan poca traslocación de Ca^{2+} , por medio de este diagnóstico diferenciamos factores biológicos como la confusión del daño por insectos, de algunas deficiencias nutricionales, diferencias entre enfermedades bacterianas y fungosas, etapa fenológica, preparación de suelo y fertilización de fondo, entre otros. Todos estos factores ayudan a indicar un DDI por ejemplo: en hojas viejas con clorosis localizada marginal podemos diagnosticar una deficiencia de K^+ a nivel foliar, pero es necesario saber que está sucediendo a nivel membranas de peciolo o raíz. Por lo que el DDI es una evaluación subjetiva en función de lo observado, es necesario el monitoreo contante e incluso la predicción. Por esa razón se propone un conocimiento más profundo en relación a la genómica y fisiología de las estructuras involucradas en el transporte celular de los iones de importancia.

1.2.6. Nutrición en suelo

Los coloides del suelo tienen una sinergia con microorganismos y nutrientes necesarios para la planta (Enwall, 2005) y se introducen por medio de canales iónicos en la membrana celular pasando por rutas metabólicas específicas que son las responsables directas del metabolismo primario y secundario (Martínez, 2005), estos coloides en presencia de materia orgánica se acomplejan con los nutrientes en una matriz de humatos que provocan lenta liberación logrando un equilibrio con el suelo, planta y agua (Tyliszczak *et al.*, 2009). La nutrición en agricultura moderna requiere de nutrientes más eficientes en función de la arquitectura de las células y en sinergia con los procesos metabólicos que expresan proteínas de entrada de nutrientes (Xiaokun, 2009).

1.2.7. Función del potasio (K^+) en las plantas

El K^+ se absorbe como catión monovalente y participa en los procesos celulares de producción de proteínas, promueve la fotosíntesis, intensifica el transporte y almacenaje de asimilados, mejora la eficiencia de uso del agua y regula la apertura y cierre estomático (Kant *et al.*, 2005). Es el catión más abundante en los tejidos celulares de planta y tiene una función importante en procesos bioquímicos incluyendo fotosíntesis (Barber, 1985). Los iones de K^+ tienen efecto en el crecimiento meristemático, catálisis enzimática de por lo menos 60 enzimas diferentes induciendo cambios conformacionales de la enzima para mejorar su afinidad por el sustrato (Suelter, 1986) y metabolismo de proteínas, el cual ayuda a coordinar la unión del ácido ribonucleico de transferencia (ARNt) a la superficie ribosomal en el citoplasma durante la fase de traslación (Wyn y Pollard, 1983).

K^+ tiene una función principal en el mecanismo de abrir y cerrar estomas para regular la turgencia celular por medio del potencial osmótico (Rending y Taylor, 1989). K^+ también está asociado con la química de los azúcares (carbohidratos), K^+ facilita el asimilamiento de sucrosa de la hoja al floema aumentando el gradiente osmótico y facilita el paso de nutrientes a la fruta, manteniendo balance iónico en la planta y

afectando la calidad de la fruta (Jones, 1991). El K^+ es necesario para varios procesos celulares, ha sido estudiado en cada etapa de la planta y se han cuantificado los requerimientos de manera biocinética, de tal manera que al eliminarlo de la solución nutritiva el resto de los cationes como el Ca^{2+} se incrementa de manera sustancial para balancear el contenido iónico celular (Menguel y Kirkby, 2000).

De los 17 minerales esenciales para las plantas, el K^+ es el elemento más abundante en las células de parénquima (Xu *et al.*, 2002), participa en producción de proteínas, fotosíntesis (Dibb y Thompson, 1985), transporte, almacenaje de asimilados, regula la apertura y cierre estomático (Kant *et al.*, 2005; Rending y Taylor, 1989). El K^+ es uno de los cationes más abundantes en las plantas, las cuales absorben fuertes cantidades por la raíz, en un intervalo muy amplio desde 10 micromolar (μM) hasta 10 milimolar (mM) (Maathuis y Sanders, 1994). En contraste, la habilidad para absorber bajas concentraciones de K^+ desde la matriz del suelo, se la confieren los canales iónicos de K^+ presentes en las membranas de células de raíz.

Los minerales esenciales para las plantas son: carbono, hidrógeno, oxígeno, N, P, K, Ca, Mg, S, etc. hasta micro elementos. K^+ se absorbe como catión monovalente K^+ y participa en los procesos celulares de producción de proteínas, promueve la fotosíntesis, intensifica el transporte y almacenaje de asimilados, mejora la eficiencia de uso del agua y regula la apertura y cierre estomático (Kant *et al.*, 2005) y tiene una función importante en procesos bioquímicos incluyendo fotosíntesis (Dibb y Thompson, 1985). Tiene una función principal en el mecanismo de abrir y cerrar estomas para regular la turgencia celular por medio del potencial osmótico (Rending y Taylor, 1989).

1.2.8. Función del calcio (Ca^{2+}) en las plantas

El Ca^{2+} se encuentra en mayor proporción en el apoplasto, el ingreso de mismo al citoplasma desde la reserva extracelular es de amplio efecto fisiológico debido la

formación de precipitados con el fósforo inorgánico (Pi) y adenosin trifosfato (ATP) (Honk y Yu, 2005), participa en los procesos metabólicos de absorción de otros nutrientes, fortalece la estructura de la pared celular en la lámina media formando pectatos entre paredes, regula la temperatura interna, ayuda a proteger la planta contra las enfermedades y afecta a la calidad de la fruta, es esencial para el crecimiento de las raíces por medio de la formación de lubricantes mucilaginosos para penetración de la raíz y acumula callosa para proteger cofia y es constituyente del tejido celular de las membranas (Menguel y Kirkby, 2000), promueve el alargamiento celular en brotes por medio de auxinas que hace que ingrese al citoplasma e inicia la formación de compuestos inorgánicos para una nueva pared celular (Brummell y Hall, 1987).

Principalmente Ca^{2+} es identificado como segundo mensajero, señales del medio externo son recibidas por la superficie celular y retransmitido por un flujo de Ca^{2+} citosólico cuyo objetivo son proteínas de membrana como la calmodulina y provoca cambios conformacionales para activar enzimas específicas como las quinasas (Zielinska y Michniewicz, 2001).

1.2.9. Calidad de planta

La acumulación de biomasa mide la calidad de planta, se obtiene del peso seco total de la plántula, del follaje y de la raíz, el diámetro de tallo la altura de planta, también son considerados (Gaytán *et al.*, 2006). Con estos datos se desarrolló un parámetro de calidad que aseguró la supervivencia de las plántulas de especies forestales en campo (Dickson *et al.*, 1960). Los cultivos hortícolas miden la calidad de planta directamente de las variables de crecimiento (Birchler *et al.*, 1998) con datos de altura de planta, grosor de tallo, peso seco de vástago, peso seco de raíz, área foliar, número de hojas. Flores *et al.*, (2004) evaluaron plantas de pimiento var. Orlando en tres niveles de Ca^{2+} K^+ y NO_3^- en invernadero bajo hidroponía, la variables fueron contenido nutrimental, licopeno, β -caroteno, vitamina C, fenólicos totales, azúcares, contenido de NO_3^- y K^+ así como actividad antioxidante. Preciado *et al.*, (2008)

evaluaron concentraciones de NH_4^+ y H_2PO_4^- en la solución nutritiva, en plantas de chile jalapeño, reportan una mayor acumulación de biomasa con la adición de 1.5 mmol L^{-1} de N-NH_4^+ . En otro trabajo bajo invernadero evaluaron chiles picosos var. Demre, bajo moderado nivel de salinidad (75 ppm NaCl) y probaron el efecto de dos micorrizas (*G. intraradice* y *G. margarita*) en la calidad de planta. Ambos materiales mostraron efecto positivo sobre la tolerancia a la sal basado en parámetros de crecimiento, *G. intraradice* promueve una mayor calidad de planta que *G. margarita* aunque sin diferencia estadística (Turkment *et al.*, 2008).

Hernández *et al.*, (2015) evaluaron en plántulas de chile variedad “Yolo wonder” la calidad de planta en función de la presencia de Cd como metal pesado, el material utilizado es muy susceptible al metal pesado por lo que mostró efecto negativo en altura de planta con una disminución de crecimiento de 36%, asimismo el diámetro de tallo, el número de hojas, el área foliar y la longitud de raíz fueron severamente afectados por la presencia del metal pesado. Moreno *et al.*, (2010) evaluaron en pimiento el comportamiento fenológico y rendimiento de fruto de 13 híbridos, los cuales mostraron un comportamiento similar entre ellos, con promedio de altura de planta de 59 cm y un diámetro de tallo de 1.5 cm. Preciado *et al.*, (2002) evaluaron en el cultivo de melón dos híbridos en invernadero con 3 niveles de NO_3^- (12, 14 y 16 meq L^{-1}) y K^+ (7, 8.5 y 10 meq L^{-1}) en un DCA (diseño completo al azar) con arreglo factorial 3^2 con 12 repeticiones, el híbrido Gold eagle mostró una mayor calidad de planta, mientras que el híbrido cruiser mostró una menor altura de plántula, número de hoja, peso seco de vástago, relación vástago/raíz, área y contenido de clorofila (SPAD), en la comparación entre tratamientos nutricionales, el K^+ a 10 mmol m^{-3} indujo planta de mayor vigor en el híbrido “cruiser”, en los mismos parámetros mencionados ($p \leq 0.05$), mientras que el híbrido “golden eagle” no mostró diferencia estadística. Trejo *et al.*, (2007) evaluaron el vigor en planta de tomatillo (*Physalis ixocarpa*), por medio de la altura, grosor de tallo y área foliar, se estableció un tratamiento control, un manejo tradicional (120-40-00) y un tratamiento foliar, el tratamiento tradicional más el foliar mostró el mayor peso seco y área foliar además de otros parámetros de calidad como grados brix, que le confirió mayor calidad al

cultivo. Ramírez *et al.*, (2010) evaluaron en tulipán (*Tulipa gesneriana* L.) el efecto de K^+ (5.5, 7 y 8.5 meq L^{-1}) y Ca^{2+} (7.5, 9 y 10.5 meq L^{-1}) sobre indicadores de crecimiento del cultivo y calidad poscosecha, la mejor respuesta correspondió a la relación K^+/Ca^{2+} (8.5/9) en la que se observaron mayor acumulación de azúcares al momento del corte y vida de anaquel, la segunda fue la relación K^+/Ca^{2+} (7/9) con mejor balance de acumulación de Ca^{2+} bulbo-tallo, que le confiere mayor calidad a la flor.

1.2.10. Transporte celular

Un aspecto importante lo representa el proceso de absorción de las raíces el cual puede explicarse diferenciando el transporte a corta distancia de la larga distancia, donde la última es el acarreo de agua por sistema apoplasto desde raíz, xilema hasta las hojas. Los canales iónicos de raíces permiten la difusión en función de la concentración (Maathuis y Sanders, 1994). En el transporte a corta distancia o simplasto, los transportadores se agrupan en familias de portadores y canales, los primeros unen al sustrato con estereoespecificidad elevada, catalizan el transporte y son saturables. El transporte primario se debe a la acumulación del soluto en relación al gasto de ATP, genera moléculas a través de la membrana en una sola dirección, el transporte activo secundario interviene después del primario y se consideran dos tipos en antiporte que generando moléculas a través de la membrana en ambos sentidos y el simporte traslada moléculas junto a otro elemento generalmente protones (Lehninger *et al.*, 2001). En el transporte activo regula el paso de K^+ enviando protones al exterior para acidificar y aumentar el potencial electroquímico que favorece el simporte de K^+ y H^+ (Maathuis y Sanders, 1994).

1.2.11. Canales iónicos

Los canales iónicos activados han sido ampliamente descritos en animales, sin embargo, la identificación molecular de esos iones son de importancia en tejidos vegetales por su impacto en la nutrición y en consecuencia en el desarrollo y crecimiento vegetal. Plantas y microorganismos son capaces de adaptarse a cambios del ambiente incluyendo la disponibilidad de nutrientes, la respuesta a K^+ es

relevante, por que es el ion de mayor concentración celular que promueve la turgencia y permite el crecimiento celular y mantienen una concentración celular de 100 mM aunque extracelular varía entre 1M y 100 mM (Maathuis y Sanders, 1994).

En general el canal iónico internaliza minerales mediante transporte pasivo, es decir sin gasto de energía. En su descubrimiento se aceptó la hipótesis de la existencia de poros celulares que actuaban por ósmosis, fue hasta que Hodgkins y Huxley, (1952), publicaran su trabajo sobre el axón del calamar gigante quienes teorizaron que además de ósmosis actuaba un gradiente electroquímico. Así se desarrolló la técnica de electrofisiología, por medio de mediciones eléctricas en membrana descubrieron la existencia separada de canales de Na^+ y K^+ y su estructura tetramera. En 1987 se clonó el primer gen de un canal de K^+ de *Drosophila melanogaster*, se identificó la secuencia de aminoácidos y se le llamó Shaker por su naturaleza electroquímica. El gen se identifica en una región conservada transmembrana con actividad electroquímica “shaker” concluye que está presente también en plantas. En un trabajo con *Streptomyces lividans*, Doyle *et al.*, (1998) caracterizaron la proteína del canal iónico de K^+ por medio de rayos X y obtuvieron su tamaño de 3.2 Å (angstroms) del poro con una longitud de 12 Å de un total transmembrana de 34 Å y un ancho en la región interna de 10 Å, explicaron su selectividad y eficiencia de conducción así como su secuencia de aminoácidos. El primer gen de canal de K^+ en plantas lo identificaron Anderson *et al.*, (1992) quienes aislaron el ADNc (Ácido Desoxirribonucleico complementario) de *Arabidopsis thaliana* que codifica para un canal de K^+ , lo clonaron en una célula mutante de *Saccharomyces cerevisiae*, la asimilación específica se debe a proteínas de membrana denominadas “canales iónicos” los que se subdividen en 4 grupos funcionales: canal de entrada, de silencio, entrada alta afinidad y de salida, canales iónicos facilitan la entrada de nutrientes a la célula, son sensibles a la concentración iónica exterior (Meinke *et al.*, 1998). Li *et al.*, (2006) indica que suelos con bajo nivel de K^+ promueve alta producción de peróxido de hidrógeno (H_2O_2), que genera señalización para alterar la expresión de ciertos genes. La presencia de familias de multigenes de CBL y CIPKs en *Arabidopsis thaliana* sugiere que esta unión está relacionada con muchos procesos de

señalización en plantas. Se identificaron dos genes de CBL (1 y 9) que tienen un rol importante en el estrés por ácido abscísico (ABA), además CBL1 y CBL2 tienen función en la regulación de K^+ transmembrana en condiciones de deficiencia, estos dos CBL comparte una quinasa CIPK23 que también se participa en movimiento de K^+ estomático, aunque no se conoce como se unen estas dos subunidades para su funcionalidad. Se reporta que AKT1, un canal de entrada de voltaje, permite la absorción de K^+ en función de la presencia del complejo CBL1-9 y CIPK23.

1.2.12. *Arabidopsis thaliana*

La descripción de la planta de laboratorio conocida como Arabis, de acuerdo con Linneo y del griego opsis que se traduce por parecido o con apariencia. Thaliana en honor al médico alemán Johannes Thal (1542-1583), quien descubrió la planta, comúnmente conocida como arabidopsis u oruga. Pertenece al reino: Plantae, División: Magnoliophyta, Clase: Magnoliopsida, Subclase: Dilleniidae, Orden: Capparales, Familia: Brassicaceae, Género: *Arabidopsis*. La distribución es en los cinco continentes; escasa en América del Sur, Asia y Canadá. En la Península Ibérica se encuentra en todas las provincias. De periodo anual, con ciclo corto inferior a cinco meses. Se encuentra por los bordes de los caminos, terrenos sueltos y secos (Koornneef *et al.*, 1983).

Es endémica de Europa, Asia, noroeste de África, islas Británicas, sur de Azores y Marruecos, este de Japón e India. Se describe como pequeña planta herbácea con una altura comprendida normalmente entre los 10 y 30 cm, de tallo erecto con ramificación un poco alejada de la base. Desde la base de la planta está cubierto de tricomas ramificados, dispuestos muy densamente y cortos, que van desapareciendo o se reduce su densidad a medida que nos aproximamos a las inflorescencias de hojas simples en forma elíptica hasta ovals con los bordes enteros. Tiene dos tipos de hojas, las basales de hasta 2 X 0,5 cm, con hojas caulinares más pequeñas y sésiles. Las inflorescencias se presentan en racimos con flores hermafroditas de 5 milímetros (mm) de diámetro y cuatro pétalos blancos, espatulados. El fruto es una

silicua linear al centro de la flor, alargado, de unos 3 cm de longitud y 1 mm de ancho, cilíndrico, contienen dos cavidades en las que se alojan las semillas ovoideas en hilera, sin tocarse entre ellas, en número elevado; unas 30 por silicua. En la madurez tienen un color anaranjado son lisas y miden medio milímetro (mm) aproximadamente (Koornneef *et al.*, 1983).

En el año 1907, el Dr. F. Laibach (1885-1966) descubrió el número de cromosomas de la *Arabidopsis thaliana*: $2n = 10$; sugiriendo el potencial para la experimentación genética, entre otras razones por la brevedad de su ciclo vital. En el año 1996, crean el proyecto de investigación, AGI (Iniciativa para el Genoma de *Arabidopsis*) su genoma posee un tamaño de aproximadamente 135 Megabases (Mb) y durante bastante tiempo se pensó que su genoma era el más pequeño de entre las plantas con flores. Actualmente se sabe que las plantas del género *Genlisea* poseen un tamaño de genoma más pequeño, del orden de 63,5 Mb. En diciembre del año 2000 se presentó por vez primera el mapa genético de la planta con 25,498 genes identificados que codifican proteínas de 11, 000 familias, la *Arabidopsis thaliana*, se convertía así en la primera planta cuyo genoma ha sido secuenciado (Meinke *et al.*, 1998).

1.2.13. Mediciones de potasio transmembrana

El potasio es el más abundante en el citosol por lo que regula la actividad osmótica (turgencia), su función osmótica regula la influencia de apertura estomática, bajo condiciones de luminosidad, el ATP producto de la fosforilación en células guarda de estomas, activa bombas de H^+ e importa K^+ acompañado de malato de células vecinas, reduciendo el potencial osmótico de la célula guarda, favorece la entrada de agua y el estoma es forzado a abrir (Humble y Raschke 1971). Mediante la técnica de electrofisiología es posible detectar los flujos de corrientes transmembrana, tal como se reporta en raíz de *A. thaliana* la cual en un trabajo de investigación donde en presencia de K^+ presentó dos mecanismos de absorción; uno de alta y otro de baja afinidad (Maathuis y Sanders, 1994). En esta misma planta se midió el flujo de

K^+ en células del mesófilo y xilema para demostrar por electrofisiología y electroforesis la expresión de canales de salida de K^+ (SKOR) hacia el xilema (Tester y Leigh, 2000). La baja concentración de K^+ en el suelo provocó en la planta un mecanismo de adaptación a través de la activación del canal de K^+ AKT1. Li *et al.*, (2006) demostraron que el Ca^{2+} es un promotor de la activación del canal de K^+ por medio de una enzima quinasa que interactúa en señalización a nivel de membrana citoplasmática.

1.2.14. Determinación de carbohidratos totales por el método de antrona

Los carbohidratos han sido motivo de estudio en plantas como *A. thaliana*, en leguminosas, cítricos, pinos, espinaca, arroz y caña de azúcar, los valores de carbohidratos pueden variar en cantidad y tipo de señalización en ausencia o exceso de los nutrientes (Verbruggen y Hermans, 2013), los carbohidratos son fuente de energía producto derivado de la fotosíntesis y regulan el desarrollo de semillas, embrión, floración, hoja y fruto (Rolland *et al.*, 2006). Participan en la regulación de genes y crean un mecanismo de adaptación en la planta para cambios ambientales (Koch, 1996; Mengutay *et al.*, 2013), cuando es necesaria la cuantificación de carbohidratos estos, generalmente se encuentran en forma de polisacáridos los cuales a través de una hidrólisis ácida son convertidos en sus componentes estructurales más simples (monosacáridos) los cuales en presencia del ácido sulfúrico (H_2SO_4) sufren una deshidratación y se convierten en hidroximetilfurfural o furfural, estos compuestos pueden condensarse con aminas aromáticas, fenoles o antrona, para formar complejos coloridos los cuales son utilizados para medir cuantitativamente la concentración de carbohidratos presentes en la muestra la cual está directamente relacionada con la intensidad en su coloración (Gross, 1982).

1.2.15. Canales de potasio activados por voltaje

La cuantificación de carbohidratos se hace basada en el color de la muestra utilizando el espectrofotómetro para realizar la lectura, que mide la cantidad de luz que absorbe la muestra (absorbancia) y la luz que pasó a través de la solución (transmitancia). Estos complejos coloridos presentan su máxima absorbancia a 620 nm (nanomolar). Es necesaria la realización de una curva de calibración con valores de absorbancia mostrados por distintas soluciones de concentraciones conocidas. Estos valores son ajustados a una recta usando regresión lineal y con la ecuación de la recta se determina la concentración de carbohidrato según haya sido el valor de absorbancia que mostró (Rodríguez, 1987).

Las células de animales y plantas ocupan iones como el K^+ para mantener turgencia, es K^+ el mayor factor de resistencia a enfermedades, salinidad, el cual pasa a través de membrana debido a los genes que codifican a proteínas para reconocer el ion, incluyendo afinidad hace que sobreviva en condiciones de alta y baja concentración, K^+ entra más de 90% por canales en la mayoría de los casos, AKT1 de *A. thaliana* es un canal de entrada y es regulado por voltaje, favorece la apertura el bajo voltaje, que promueve la entrada de K^+ y viceversa, AKT1 es una proteína tetrámera con un poro central, depende de una H^+ adenosina trifosfato sintetasa (ATPasa) que genera la membrana negativa y promueve la entrada de K, en contraste otros canales son de salida: rectificador de K^+ de salida (SKOR: por sus siglas en inglés) y rectificador de K^+ de células guarda (GORK: por sus siglas en inglés), en raíz SKOR se localiza en parénquima y xilema, permite la entrada del K^+ al xilema hacia las hojas, GORK está en células guarda de estomas que le permite la adaptación al clima, todos requieren que la membrana despolarice a voltaje positivo para equilibrio, al contrario del AKT1 se abren en exceso de K^+ (Kant *et al.*, 2005).

Dreyer y Blatt (2009), mencionan que el reconocimiento del canal a entrada o salida de K^+ se debe a la proteína transmembrana está formada de 6 alfa hélices S1-S6, con extremo amino y carboxilo en el citosol, el poro está en la hélice S5 y S6 formando un estrecho seguido de una región conservada TxGYGD que selecciona K^+ , otros

trabajos de cristalografía de canales muestra esta actividad, el oxígeno carbonilo de los 5 residuos TxGYGD de las cuatro subunidades queda de frente al K^+ , forma 5 anillos que proveen 4 sitios coordinados del ion, es atrapado por el oxígeno polar sustituyendo el oxígeno del agua, durante la entrada el baja un espacio de K^+ y otro libre para que la fuerza de repulsión los empuje hacia dentro y vuelve a rehidratarse en el citosol y libera el oxígeno del filtro, este proceso discrimina otras cargas y tamaños como el Na^+ más pequeño (Doyle *et al.*, 1998), los canales del grupo funcional de entrada como: AKT1, KAT1 y KAT2, facilitan entrada de K^+ a la célula, normalmente se activan a voltajes de 80-100 mV (milivoltios) y es insensible a la concentración exterior de K^+ , los canales silenciados, son estructuras que acaban de abrirse y al terminar su función se bloquean, tienen afinidad con los de entrada son ejemplo AtKC1 en raíces y tienen afinidad con AKT1 y se pueden activar con mayor negatividad de la membrana celular como adaptación a niveles bajos de K^+ , el tercer grupo los de alta afinidad de entrada son AKT2/3 y se ensambla a AKT1 (Martínez *et al.*, 2005), son funcionales como homotetrameros, en pruebas de células modelos; estos canales se comportan como entrada o salida dependiendo del voltaje, a pesar de algunas diferencia estos tres tipos de canales son de entrada de K^+ a la célula y tienen la capacidad de unirse a otras subunidades para completar su función, sin embargo SKOR abre con despolarización para permitir la salida de K^+ , este intercambio usualmente se da con canales de Cl^- , los cuales funcionan como homotetrameros, no ocupan ensamblarse con otro para hacer su función, pero obedece a dos situaciones para activarse por sensibilidad a voltaje de membrana y extracelular alcalinización, aplica sólo a voltajes positivos y elimina K^+ a pesar de la concentración exterior, la activación del canal se debe a la concentración del aminoácido de arginina (R) en la hélice S4 que le confiere carga positiva a la capa lipídica, las hélices 5 y 6 forman una especie de cono invertido que permite que se acerque a la región del filtro sólo iones de K^+ atraídos por la carga de los residuos de arginina (R), en la S4 conserva unos residuos de cisteína (C) (Dreyer y Blatt, 2009).

1.2.16. Producción de pimienta

México produjo en 2014, 2.45 millones de t de chile en 129 476 h FAOSTAT, (2017), de los cuales 9.7% de la superficie cosechada y 19.8 % de la producción obtenida correspondió al estado de Sinaloa, así mismo en México el chile tipo “pimiento” se produce principalmente en la región noroeste y parte del centro, con una producción nacional de 206,227 t, de las cuales Sinaloa aporta 175,694 t, es decir el 86% del total nacional (SIAP, 2017).

Flores *et al.*, (2004) evaluaron plantas de pimienta var. Orlando en tres niveles de Ca^{2+} (1.5, 4, 8 mol m^{-3}), tres niveles de K^+ (2.5, 7, 12) y tres niveles de NO_3^- (4, 14, 20), en invernadero bajo hidroponía, las variables fueron contenido nutrimental, peso de fruto fresco, peso seco, licopeno, β -caroteno, vitamina C, fenólicos totales, azúcares, contenido de NO_3^- y K^+ así como actividad antioxidante, concluyen que al incrementar niveles de calcio al sustrato reduce significativamente pudrición apical de fruto, por otra parte incremento de NO_3^- incrementa capacidad antioxidante sin embargo K^+ no tuvo efecto en calidad nutrimental del fruto de chile. En otro trabajo de investigación con pimienta híbrido atlantis Topssed®, en invernadero se establecieron tres tratamientos, tratamiento 1 con 215 y 314 unidades de N y K^+ h^{-1} respectivamente, un tratamiento dos con seis niveles de K^+ y N (0, 50, 100, 150, 200 y 300%) y como tratamiento 3 basado en monitoreo de CE (0, 1.4, 2.1, 3.2, 4 y 4.7 dS m^{-1}). Los mejores tratamientos fueron 2 y 3, aunque en el tratamiento 2 hubo mejores indicadores de calidad, mayor frutos por planta, mayor peso específico de fruto y producción, con la dosis de K^+ (200-250%) en hidroponía (Oliveira *et al.*, 2013), por su parte Núñez *et al.*, (2017) en un trabajo similar evaluaron 5 niveles NO_3^- y K^+ (0, 50, 100, 150 y 200%) para el mismo tratamiento 2, basados en las recomendaciones nutricionales para pimienta, obtuvieron mayor número de frutos y rendimiento en el tratamiento 3 y de acuerdo a la ecuación de regresión concluyen un óptimo de 144 y 165% de NK de la recomendación regional. Por su parte, Zúñiga *et al.*, (2004) evaluaron dos sistemas de riego (superficial y subirrigación) y tres densidades de siembra (12, 16 y 24 plantas m^{-2}) con pimienta “california wonder”, el riego superficial superó al otro en la etapa de producción, mayor ganancia de materia seca así como un mayor rendimiento de 38 kg m^{-2} , siendo la densidad de 22 plantas

por metro la de mayor producción. Lester *et al.*, (2010), mencionan que aplicaciones foliares de K^+ aumenta la calidad de fruto de melón, como firmeza, contenido de azúcares, la fuente de KNO_3 no mostró un efecto positivo en la etapa de fructificación pero si en desarrollo probablemente por la interacción del N en esta etapa inicial. Por su parte Rojas y Lightbourn (2017), en tomate evaluaron tres niveles de NO_3^- y Ca^{2+} reportan un efecto positivo del N sobre el vigor de la planta que le confiere resistencia a patógenos del suelo. Parra *et al.*, (2012), evaluaron tomate en 8 tratamientos, cuatro relaciones porcentuales ($NO_3^-/NH_4^+/CO (NH_2)_2$) y dos niveles de K^+ (7 y 9 mol m^{-3}), reportan una mayor extracción de P y Ca^{2+} en análisis nutrimental de hojas, N y Mg^{2+} en tallos, pero no encontraron efecto de los nutrientes en la producción de fruto, por lo que recomienda el uso alternativo de fuentes nitrogenadas sin demeritar la calidad de fruto.

Chapagain *et al.*, (2003), evaluaron el efecto de K^+ sobre rendimiento de tomate, compararon las fuentes de pot K^+ , KCl y KNO_3 , demostrando que la fuente no marca diferencia en los parámetros de crecimiento de planta, frutos por planta, peso específico de fruto así como calidad y cantidad de fruto, incluso mejorando algunos parámetro en KCl.

CAPÍTULO 2. AKT1 MOLECULAR IDENTIFICATION IN BELL PEPPER

CAPÍTULO 4. POTASIO Y CALCIO EN LA CALIDAD DE PLÁNTULAS DE CHILE

3.1 INTRODUCCIÓN

En México, en el año agrícola 2014 se sembraron 129 839 h de chile (*Capsicum* spp.) (SIAP, 2017), de las cuales el chile morrón o chile (*Capsicum annuum* L.) es la de mayor importancia económica. En Sinaloa, el chile se siembra en agricultura protegida y en campo abierto, en ambos sistemas de producción, se utilizan plántulas que se producen en invernadero y después, son trasplantadas al sistema correspondiente. La producción de plántulas inicia con la siembra de las semillas en charolas de poliestireno, cuyas cavidades se llenan con sustratos orgánicos e inorgánicos. Debido a que la mayoría de los sustratos no aportan nutrimentos en cantidades suficientes para cubrir los requerimientos de las plántulas, la composición química y la concentración de la solución nutritiva determinan el crecimiento y el estado nutrimental de las plántulas (Villegas *et al.*, 2005; Preciado *et al.*, 2008; Parra *et al.*, 2010). La plántula es la primera fase y la más sensible en el proceso de producción de especies hortícolas y su crecimiento está directamente relacionado con precocidad, rendimiento, tamaño y número de frutos (Marković *et al.*, 1997). De los 17 nutrimentos esenciales para las plantas, generalmente el productor de plántulas aplica una solución nutritiva que contienen 12 nutrimentos (N, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, S, Fe, Cu, Zn, Mn, B y Mo), ya que el C, H, O, Cl y Ni no son aplicados, porque los cuatro primeros las plantas los obtienen del agua o del aire, mientras que el Ni (níquel) no se aplica porque se desconoce su impacto en las plántulas o se considera que está como contaminante en los fertilizantes utilizados para preparar las soluciones nutritivas (Brown *et al.*, 1987). El K⁺ participa en el gradiente de potencial eléctrico en las membranas celulares, la turgencia, la activación de enzimas, la fotosíntesis, el metabolismo de carbohidratos y de almidón, la síntesis de proteínas, la apertura y cierre de estomas, la estabilización del pH

(potenciómetro) celular y en el balance catión-anión celular (Marschner, 1995; Mengel y Kirkby, 2000; Zhang *et al.*, 2010). El Ca^{2+} tiene funciones estructurales en la pared celular y en la membrana (Tuna *et al.*, 2007), actúa como catión contrario para los aniones orgánicos e inorgánicos en la vacuola y es un mensajero extracelular en el citosol (Marschner, 1995; Parra *et al.*, 2008), regula el transporte de iones y la selectividad y es un activador de enzimas en la pared celular (Zhao *et al.*, 2007). La producción comercial de plántulas de chile es una actividad que realizan invernaderos sinaloenses, a petición de los productores, los cuales proporcionan las semillas y pagan una remuneración económica al productor de plántulas, para que se encargue de las labores culturales (siembra, riegos, fertilización, control de plagas y enfermedades) hasta que la plántula está lista para el trasplante. Aunque los productores comerciales tratan de producir plantas de buena calidad, poco se conoce de los parámetros que deben tener las mismas. En contraste, en cultivos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), melón (*Cucumis melo* L.), tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) y chile poblano (*Capsicum annuum* L.) hay información disponible (Parra *et al.*, 2010; Preciado *et al.*, 2002). De igual manera, en plantaciones forestales la calidad está bien definida (Rodríguez, 2008), considerando las características morfológicas y fisiológicas de las plántulas (Haase, 2007). Algunos caracteres morfológicos usados para evaluar la calidad de plántulas de hortalizas y forestales son similares en ambas especies: altura, diámetro del tallo, biomasa aérea y radical y área foliar. En especies forestales, a diferencia de las hortalizas, también se usa el índice de esbeltez de los tallos y el índice de Dickson (Rueda *et al.*, 2014), los cuales pueden ser de utilidad en las hortalizas, considerando que estos índices relacionan atributos morfológicos. El carácter fisiológico de calidad en plántulas hortícolas y forestales que se evalúa es la concentración de nutrimentos en los órganos vegetales, mientras que en especies forestales también se cuantifica los carbohidratos (Villar, 2003), los cuales afectan la tasa de crecimiento de las hortalizas después del trasplante (Dufault, 1998). Sallaku *et al.*, (2009) mencionan que la distribución de productos fotosintéticos en los órganos vegetales son los principales parámetros de calidad en plántulas de hortalizas, de tal manera que a mayor altura de planta y mayor acumulación de

materia seca, se tendrá una mejor calidad de plántula (Rosca, 2009). El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de tres relaciones (27/100, 35/100 y 43/100) K^+ /cationes y tres relaciones (37/100, 45/100 y 53/100) Ca^{2+} /cationes en soluciones nutritivas, en los índices morfológicos y fisiológicos relacionados con la calidad de plántulas de un híbrido de chile tipo morrón.

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1. *Material vegetal*

El estudio se realizó en un invernadero del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, en Campo Experimental Valle de Culiacán, Sinaloa, México, a 24° 63' latitud norte y 107° 44' longitud oeste, a 22 m de altitud; la temperatura máxima promedio fue 28 °C, y la mínima 6.1 °C en el periodo del 25 de noviembre de 2015 al 9 de enero de 2016. Las semillas de chile cv. Cannon fueron sembradas en charolas de poliestireno de 200 cavidades con volumen individual de 30 cm³ que contenían turba como sustrato. El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial de tratamientos 3² y cuatro repeticiones, para un total de 36 unidades experimentales, donde cada unidad experimental consistió de 30 plántulas. Los factores y niveles evaluados fueron: 1) tres relaciones (27/100, 35/100 y 43/100) porcentuales K^+ /cationes (K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+}), y 2) tres relaciones (37/100, 45/100 y 53/100) porcentuales Ca^{2+} /cationes (K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+}). Al combinar las tres relaciones porcentuales K^+ /cationes con las tres relaciones porcentuales Ca^{2+} /cationes resultaron nueve soluciones nutritivas (SN), las cuales se diseñaron a partir de modificaciones de la solución nutritiva universal de Steiner (Steiner, 1984) y consistieron en variar las concentraciones de K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , manteniendo constantes las concentraciones de NO_3^- , $H_2PO_4^-$ y SO_4^{2-} . La composición química de las SN, se calculó y ajustó a un potencial osmótico de -0.072 megapascales (Mpa) (Cuadro 1), de acuerdo con lo propuesto por Steiner (1984). Las SN se prepararon con sales inorgánicas grado reactivo y agua destilada y se añadieron las concentraciones de micronutrientes (mg L⁻¹) siguientes: Fe 2.5, Mn 0.5, B 0.5, Cu 0.02 y Zn 0.05. El Fe se proporcionó como Fe-EDTA (ácido

etilendiaminotetraacético) y el pH de las SN se ajustó a 5.5 ± 0.1 con HCl (ácido clorhídrico) 1N o NaOH (hidróxido de sodio) 1N. 10 d después de la siembra (primeras hojas verdaderas) se inició la aplicación de las SN, cuyas concentraciones se incrementaron cada 10 d en el orden 50, 75 y 100 %.

3.2.2. Manejo de plántula

Las plantas se regaron diariamente a las 08:00 y 14:00 h asperjando al follaje los tratamientos con atomizadores (1 L de capacidad) hasta el escurrimiento de la solución por los orificios inferiores de las cavidades. 45 d después de la siembra se evaluó el efecto de los factores sobre las variables de estudio. Para ello se seleccionaron 10 plantas por tratamiento para análisis de número de hojas completamente formadas; altura de planta, medida desde la base del tallo hasta el ápice, con un escalímetro; diámetro de tallo, medido inmediatamente debajo de los cotiledones con un vernier digital; volumen de raíz, por desplazamiento de volumen de agua en una probeta graduada; peso fresco de hojas, tallos y raíces, cuantificados con una balanza analítica después de extraer las plantas de la charola y eliminarle el sustrato adherido a las raíces con agua potable; el peso seco de hojas, tallos y raíces, después de haber permanecido estos órganos en una estufa con circulación forzada de aire a una temperatura de 70 °C durante 48 h. La relación parte aérea/parte radical se cuantificó considerando los pesos secos de ambas partes. El índice de esbeltez se determinó mediante la relación entre la altura de la plántula (centímetros=cm) y el diámetro del tallo (milímetros=mm) y el índice de calidad de Dickson, el cual reúne varios atributos morfológicos (altura, diámetro y peso seco) en un sólo valor. Se calcula con la siguiente fórmula (Dickson *et al.*, 1960):

Índice de calidad:

$$\frac{\frac{\text{Peso seco total (g)}}{\text{Altura tallo (cm)} + \text{Peso seco tallo (g)}}}{\text{Diámetro tallo (mm)}} \times \text{Peso seco raíces (g)}$$

Cuadro 1. Composición química de las soluciones nutritivas usadas en el experimento.

Tratamiento	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
	-----mol _c m ⁻³ -----					
1	12.33	1.03	7.19	5.55	7.60	7.40
2	12.00	1.00	7.00	7.00	7.40	5.60
3	11.69	0.97	6.82	8.38	7.21	3.90
4	12.33	1.03	7.19	5.55	9.25	5.75
5	12.00	1.00	7.00	7.00	9.00	4.00
6	11.69	0.97	6.82	8.38	8.77	2.34
7	12.33	1.03	7.19	5.55	10.89	4.11
8	12.00	1.00	7.00	7.00	10.60	2.40
9	11.69	0.97	6.82	8.38	10.32	0.78

3.2.3. Tamaño de muestra

Para la composición mineral del vástago se eligieron 30 plantas y se integraron en tres repeticiones compuestas, cada una con 10 plantas, cuyos vástagos se fraccionaron en hojas y tallos. En estos órganos se realizó el análisis químico para determinar la concentración de N, P, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺, conforme a las metodologías propuestas por Motsara y Roy (2008). Los carbohidratos totales fueron cuantificados por el método de antrona (Yemm y Willis, 1954), los carbohidratos reductores los cuales se determinaron con la metodología de Gross (1982). El análisis de varianza incluyó los factores principales y su interacción. Los análisis estadísticos se hicieron con el programa SAS versión 8 (SAS, 1999).

3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1. Variables de crecimiento

El análisis de varianza mostró efectos significativos de la interacción K^+ /cationes x Ca^{2+} /cationes en las variables de crecimiento de las plántulas, 45 d después de la siembra (Cuadro 2). Los mayores valores de DT, PFP, VR y AF fueron obtenidos con la combinación 27/100 K^+ /cationes y 37/100 Ca^{2+} /cationes y al aumentar a 43/100 la relación K^+ /cationes combinada con 37/100 Ca^{2+} /cationes los valores fueron reducidos significativamente (Cuadro 2), lo cual sugiere que la relación 27/100 K^+ /cationes cubrió los requerimientos de K^+ y obtuvo el mayor vigor de las plántulas y al aumentar la relación K^+ /cationes, se excedió dicha demanda, provocando la reducción en los valores de estas variables. El mayor vigor de las plántulas podría reflejarse posteriormente en mayor precocidad y rendimiento, como está reportado para tomate (Sánchez *et al.*, 1999) y en chile (Weston, 1988).

Cuadro 2. Efecto de la relación K^+ /cationes y Ca^{2+} /cationes en la solución nutritiva en el diámetro de tallo (DT), altura de planta (AP), peso fresco de planta (PFP), volumen radical (VR) y área foliar (AF) de chile, 45 días después de la siembra.

Factor	DT mm	A cm	PFP g	VR mL	AF cm ²
Relación K^+ /cationes					
27/100	3.7 a	25.4 a	4.0 a	15.2 a	14.2 a
35/100	3.5 b	21.1 b	3.1 b	8.8 c	10.2 b
43/100	3.7 ab	18.7 c	3.8 a	10.5 b	11.4 b
Relación Ca^{2+} /cationes					
37/100	3.8 a	24.2 a	4.0 a	11.1 a	13.9 a
45/100	3.5 a	21.9 a	3.2 ab	10.4 a	11.9 ab
53/100	3.4 b	18.1 b	3.3 b	11.2 a	10.3 b
K^+ /cationes x Ca^{2+} /cationes	**	**	**	**	**

Medias con letras iguales en cada columna para cada factor son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05); ns = no significativo.

La producción de materia seca en los órganos de las plántulas de Chile, la relación parte aérea/parte radical, el cociente de esbeltez y el índice de Dickson fueron afectados estadísticamente por la interacción K^+ /cationes x Ca^{2+} /cationes en la SN (Cuadros 9 y 10). La mayor acumulación de biomasa e índice de Dickson se obtuvieron en las plántulas tratadas con la combinación 27/100 K^+ /cationes y 37/100 Ca^{2+} /cationes (Cuadro 3); en cambio, con 35/100 K^+ /cationes y 37/100 Ca^{2+} /cationes en la SN se presentó un menor crecimiento de las plántulas, lo que coincide con lo encontrado en las variables del crecimiento discutidas anteriormente. Díaz *et al.*, (2008) mencionan que el peso seco de la raíz y el peso seco de la biomasa aérea son variables importantes para evaluar la calidad de plántulas de Chile; por ello, las plántulas obtenidas con la combinación 27/100 K^+ /cationes y 37/100 Ca^{2+} /cationes son de mejor calidad para el trasplante. De igual manera, el índice de Dickson al agrupar atributos morfológicos representativos de la calidad de plántulas indica que la combinación 27/100 K^+ /cationes y 37/100 Ca^{2+} /cationes al tener el mayor índice tiene la mejor calidad por representar plántulas balanceadas en su biomasa aérea y radical.

Cuadro 3. Efecto de la interacción K^+ /cationes x Ca^{2+} /cationes en la solución nutritiva en el DT, A, PFP, VR y AF en plantas de Chile, 45 días después de la siembra.

Factor	DT	A	PFP	VR	AF
K^+ /cationes x Ca^{2+} /cationes	mm	cm	g	mL	cm ²
27/100 x 37/100	4.2 a	28.0 ab	5.1 a	17.3 a	18.8 a
35/100 x 37/100	3.8 ab	24.5 b	3.0 cd	7.3 d	11.0 b
43/100 x 37/100	3.6 bc	20.0 c	4.0 bc	8.7 cd	12.1 b
27/100 x 45/100	4.0 ab	30.5 a	4.1 ab	12.3 bc	14.7 ab
35/100 x 45/100	3.5 bc	27.3 ab	3.5 bd	10.7 cd	10.1 b
43/100 x 45/100	3.7 ab	17.0 c	3.5 bd	11.8 bc	11.0 b
27/100 x 53/100	3.1 c	17.8 c	2.8 c	15.9 ab	9.1 b
35/100 x 53/100	3.2 c	17.5 c	3.2 bd	6.8 d	10.6 b
43/100 x 53/100	3.9 ab	19.0 c	4.0 bc	10.9 cd	11.1 b

Medias con letras iguales en cada columna y para cada relación Ca^{2+} /cationes, son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

La relación parte aérea entre la parte radical indica la proporción de la biomasa aérea respecto a la radical o el balance entre la parte traspirante y la parte absorbente; los mayores valores se obtuvieron con las tres relaciones K^+ /cationes dentro de la relación 37/100 Ca^{2+} /cationes (Cuadro 4). El cociente de esbeltez (CDE) es la relación que hay entre la altura y el diámetro y en coníferas valores bajos están asociados con una mejor calidad de planta debido al menor daño por acción del viento, sequías y heladas en el sitio de plantación (Pineda *et al.*, 2004).

Cuadro 4. Efecto de la relación K^+ /cationes y Ca^{2+} /cationes en la solución nutritiva en el peso seco de hoja (PSH), peso seco de tallo (PST), peso seco de raíz (PSR), peso seco de planta (PSP), relación parte aérea/parte radical (RPA/PR), cociente de esbeltez (CDE) e índice de Dickson (IDD) en plantas de chile, 45 días después de la siembra.

Factor	PSH	PST	PSR	PSP	RPA/PR	CDE	IDD
	g	g	g	g			
Relación K^+ /cationes							
27/100	0.223 a	0.159 a	0.099 a	0.482 a	4.0 a	6.8 a	0.05 a
35/100	0.174 b	0.127 b	0.078 b	0.379 b	4.0 a	6.6 a	0.04 b
43/100	0.222 a	0.162 a	0.098 ab	0.482 a	4.2 a	5.1 b	0.05 a
Relación Ca^{2+} /cationes							
37/100	0.238 a	0.175 a	0.097 a	0.510 a	4.4 a	6.3 a	0.05 a
45/100	0.203 b	0.152 ab	0.087 a	0.450 ab	3.8 b	6.7 a	0.04 a
53/100	0.182 b	0.127 b	0.083 a	0.393 b	4.0 ab	5.5 b	0.04 a
K^+ /cationes x Ca^{2+} /cationes	*	*	*	**	*	*	** *

Medias con letras iguales en cada columna para cada factor son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05); ns = no significativo.

3.3.2. Efectos de la interacción

Los mayores valores de CDE se obtuvieron con las tres relaciones K^+ /cationes dentro de la relación 45/100 Ca^{2+} /cationes, mientras que los valores menores fueron obtenidos con 53/100 Ca^{2+} /cationes (Cuadro 5). Los valores intermedios de CDE se obtuvieron con las tres relaciones K^+ /cationes dentro de la relación 37/100 Ca^{2+} /cationes, lo cual posiblemente indique una mejor calidad de plántulas, debido a que los valores altos indican plantas esbeltas susceptibles al acame o caída por vientos fuertes.

Cuadro 5. Efecto de la interacción K^+ /cationes x Ca^{2+} /cationes en la solución nutritiva en el peso seco de hoja (PSH), peso seco de tallo (PST), peso seco de raíz (PSR), peso seco de planta (PSP), relación parte aérea/parte radical (RPA/PR), cociente de esbeltez (CDE) e índice de Dickson (IDD) en plantas de chile, 45 días después de la siembra.

Factor	PSH	PST	PSR	PSP	RPA/PR	CDE	IDD
K^+ /cationes x Ca^{2+} /cationes	g	g	g	g			
27/100 x 37/100	0.28 a	0.20 ab	0.12 a	0.60 a	4.0 ab	6.7 ab	0.059 a
35/100 x 37/100	0.18 cd	0.12 cd	0.07 b	0.37 cd	4.2 ab	6.6 ab	0.037 bc
43/100 x 37/100	0.26 ab	0.21 a	0.09 ab	0.55 ab	5.1 a	5.6 bc	0.051 abc
27/100 x 45/100	0.23 ac	0.17 ac	0.10 ab	0.50 ac	4.4 ab	7.8 a	0.042 abc
35/100 x 45/100	0.18 cd	0.15 ad	0.10 ab	0.43 bc	3.5 b	7.8 a	0.039 bc
43/100 x 45/100	0.19 bd	0.13 cd	0.10 ab	0.42 bc	3.5 b	4.6 c	0.054 abc
27/100 x 53/100	0.16 d	0.10 d	0.08 b	0.34 d	3.5 b	5.9 bc	0.038 bc
35/100 x 53/100	0.17 d	0.13 cd	0.07 b	0.37 cd	4.5 ab	5.6 bc	0.036 c
43/100 x 53/100	0.22 bd	0.15 bd	0.10 ab	0.47 ad	4.0 ab	5.0 c	0.056 ab

Medias con letras iguales en cada columna y para cada relación Ca^{2+} /cationes, son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

3.3.3. Análisis nutrimental en hojas y tallos

Hubo efecto significativo de la interacción K^+ /cationes x Ca^{2+} /cationes en la SN para todos los nutrimentos, excepto para N en tallos (Cuadro 6). Las mayores concentraciones de P, Ca^{2+} y Mg^{2+} en hojas y tallos se obtuvieron con las tres relaciones K^+ /cationes dentro de la relación 37/100 Ca^{2+} /cationes (Cuadros 12 y 13). Además, las concentraciones de N y K^+ en hojas obtenidas con estas combinaciones, y de K^+ en tallos fueron similares a las otras combinaciones.

Cuadro 6. Efecto de la relación K^+ /cationes y Ca^{2+} /cationes en la solución nutritiva y la concentración de N, P, K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} en hojas y tallos de plantas de chile, 45 días después de la siembra.

Factor	N	P	K	Ca	Mg
-----%-----					
Hojas					
Relación porcentual K^+ /cationes					
27/100	4.6 a	0.07 a	6.9 a	1.2 b	0.63 a
35/100	4.5 a	0.07 a	6.9 a	1.3 a	0.63 a
43/100	4.4 a	0.07 a	6.9a	1.1 b	0.56 b
Relación porcentual Ca^{2+} /cationes					
37/100	4.5 a	0.07 a	7.1 a	1.3 a	0.68 a
45/100	4.3 a	0.07 a	7.1 a	1.2 a	0.59 b
53/100	4.6 a	0.07 a	6.6 a	1.2 a	0.56 b
K ⁺ /cationes x Ca ²⁺ /cationes					
	**	**	*	**	*
Tallos					
Relación porcentual K^+ /cationes					
27/100	2.9 a	0.1 a	7.2 a	1.0 b	0.68 b
35/100	2.9 a	0.1 a	7.6 a	1.1 a	0.75 ab
43/100	3.0 a	0.1 a	6.9 a	1.0 b	0.80 a
Relación porcentual Ca^{2+} /cationes					
37/100	2.6 b	0.1 a	6.9 b	1.1 a	0.89 ab
45/100	3.2 a	0.1 a	7.2 ab	1.1 a	0.70 b
53/100	2.9 ab	0.1 a	7.6 a	0.9 b	0.63 b
K ⁺ /cationes x Ca ²⁺ /cationes					
	ns	**	*	**	**

Medias con letras iguales en cada columna para cada factor, son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05); ns = no significativo; ** = altamente significativo.

Cuadro 7. Efecto de la interacción K^+ /cationes x Ca^{2+} en la solución nutritiva en la concentración de N, P, K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} en hojas de chile chile, 45 días después de la siembra.

Factor	N	P	K	Ca	Mg
K^+ /cationes x Ca^{2+} cationes	-----%-----				
27/100 x 37/100	4.4 a	0.08 ab	6.9 ab	1.1 b	0.67 ab
35/100 x 37/100	4.6 ab	0.09 a	7.3 ab	1.6 a	0.75 a
43/100 x 37/100	4.5 b	0.06 b	6.9 ab	1.2 b	0.62 bc
27/100 x 45/100	3.9 b	0.07 ab	7.7 a	1.2 b	0.64 bc
35/100 x 45/100	4.6 b	0.06 b	6.6 b	1.2 b	0.54 bc
43/100 x 45/100	4.5 b	0.07 ab	6.9 ab	1.1 b	0.58 bc
27/100 x 53/100	5.6 a	0.06 b	6.2 b	1.2 b	0.59 bc
35/100 x 53/100	4.3 b	0.06 b	6.7 ab	1.3 ab	0.61 bc
43/100 x 53/100	4.0 b	0.08 a	6.8 ab	1.1 b	0.48 c

Medias con letras iguales en cada columna, son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

En plantaciones forestales, las concentraciones de nutrientes en los órganos vegetales, es una característica importante para el desarrollo de las plantas en el campo, por ello, plantas con altas concentraciones se desarrollan mejor en las plantaciones (Villar, 2003). Por lo anterior, es posible que las plántulas de chile obtenidas con la combinación 27/100 K^+ /cationes y 37/100 Ca^{2+} /cationes son de mejor calidad para el trasplante, además de resistir los efectos de los patógenos y reducir la incidencia de enfermedades (Ben *et al.*, 2006), ya que un adecuado estado nutricional ayuda a soportar los factores bióticos adversos.

3.3.4. Cuantificación de carbohidratos

La concentración de carbohidratos totales fue afectada estadísticamente por la relación porcentual K^+ /cationes, y la concentración de carbohidratos reductores, por la interacción K^+ /cationes x Ca^{2+} /cationes en la solución nutritiva (Cuadro 3). El

mayor valor de carbohidratos totales (3.66 mg mL^{-1}) se obtuvo con 43/100 K^+ /cationes y el menor (3.28 mg mL^{-1}) con 27/100 K^+ /cationes. Las mayores concentraciones de carbohidratos reductores fueron obtenidas con las tres relaciones K^+ /cationes dentro de la relación 53/100 Ca^{2+} /cationes (Cuadro 4), mientras que las menores concentraciones se obtuvieron con las tres relaciones K^+ /cationes dentro de la relación 37/100 Ca^{2+} /cationes.

Zhang *et al.*, (2009) mencionan que cuando la demanda por carbohidratos es reducida por niveles subóptimos de nutrimentos los carbohidratos se acumulan en las hojas. De igual manera, Aloni *et al.*, (1991) reportan que en plántulas de Chile, deficientes en N, hubo acumulación de carbohidratos. Patrick y Colyvas (2014) indican que desbalances entre la fuente de carbohidratos en la planta y la demanda en los órganos vegetales ocasionan diferencias en el contenido de carbohidratos y que un bajo contenido de ellos, indica que las plantas usan los carbohidratos para satisfacer la demanda.

Cuadro 8. Efecto de la interacción K^+ /cationes x Ca^{2+} en la solución nutritiva en la concentración de N, P, K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} en tallos de Chile, 45 días después de la siembra.

Factor	P	K	Ca	Mg
K^+ /cationes x Ca^{2+} cationes	-----%-----			
27/100 x 37/100	0.11 a	7.4 ab	0.88 c	0.65 bcd
35/100 x 37/100	0.09 ab	7.0 ab	1.23 a	0.85 b
43/100 x 37/100	0.09 ab	6.3 b	1.26 a	1.17 a
27/100 x 45/100	0.10 ab	7.6 ab	1.21 a	0.78 bc
35/100 x 45/100	0.09 ab	7.0 ab	1.04 abc	0.61 cd
43/100 x 45/100	0.08 ab	6.9 ab	1.02 abc	0.72 bc
27/100 x 53/100	0.08 b	6.8 b	0.91 bc	0.60 cd
35/100 x 53/100	0.09 ab	8.6 a	1.18 ab	0.80 bc
43/100 x 53/100	0.10 ab	7.5 ab	0.79 c	0.49 d

Medias con letras iguales en cada columna, son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Cuadro 9. Efecto de la relación K^+ /cationes y Ca^{2+} /cationes en la solución nutritiva en la concentración de carbohidratos totales y carbohidratos reductores en extracto celular de peciolo, en hojas de chile, 45 días después de la siembra.

Factor	Carbohidratos totales (mg mL ⁻¹)	Carbohidratos reductores (mg mL ⁻¹)
Relación K^+ /cationes		
27/100	3.28 b	2.90 b
35/100	3.64 a	2.91 b
43/100	3.66 a	3.58 a
Relación Ca^{2+} /cationes		
37/100	3.44 a	3.04 a
45/100	3.45 a	3.18 a
53/100	3.69 a	3.18 a
K^+ /cationes	x ns	**
Ca^{2+} /cationes		

Medias con letras iguales en cada columna para cada factor, son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05); ns = no significativo; ** = altamente significativo.

Los resultados de estos investigadores explican lo encontrado en el presente estudio, por lo que las menores concentraciones de carbohidratos obtenidas en los tres niveles K^+ /cationes dentro de la relación 37/100 Ca^{2+} /cationes son las combinaciones con las cuales se obtuvieron las mayores producciones de biomasa seca de hojas, tallos, raíces y de plantas, relación parte aérea/parte radical e índice de Dickson, así como también se obtuvieron las mayores concentraciones de P, Ca^{2+} y Mg^{2+} en hojas y tallos.

Cuadro 10. Efecto de la interacción K^+ /cationes x Ca^{2+} en la solución nutritiva nutritiva en la concentración de carbohidratos reductores en extracto celular de peciolo, en hojas de chile, 45 días después de la siembra.

Factor	Carbohidratos reductores ($mg mL^{-1}$)
K^+ /cationes x Ca^{2+} cationes	
27/100 x 37/100	2.83 d
35/100 x 37/100	2.95 d
43/100 x 37/100	3.33 bc
27/100 x 45/100	2.79 d
35/100 x 45/100	2.90 d
43/100 x 45/100	3.83 a
27/100 x 53/100	3.08 cd
35/100 x 53/100	2.89 ab
43/100 x 53/100	3.58 ab

Medias con letras iguales en cada columna, son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

**CAPÍTULO 4. INFLUENCE OF THE K^+ AND Ca^{2+} ON THE PRESENCE
OF SUGARS IN THE PHLOEM, AND GROWTH PARAMETERS IN
*CAPSICUM***

CAPÍTULO 5. LITERATURA CITADA

- Aloni, B., Pashkar, T., and Karni, L. 1991. Nitrogen supply influences carbohydrate partitioning of pepper seedlings and trasplant development. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 116: 995-999.
- Anderson, J. A., Huprikar, S. S., Leon, V. K., William, J. L., and Richard, F. G. 1992. Functional expression of a probable *Arabidopsis thaliana* potassium channel in *Saccharomyces cerevisiae*. Plant biology. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 89, 3736-3740.
- Barber, S.A. 1985. Potassium availability at the soil–root interface and factors influencing potassium uptake. In: Munson RD (ed) Potassium in agriculture. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, USA, pp 309-324.
- Ben, Y.Y., Reuven, M., Zviebil, A., Szmulewick, Y., Lavkovits, I., Markovits, T., Soriano, S., Bar, Y. B. 2006. Effect of nutrition on deformation disease in *Gyosophila paniculata* mother plants. Phytopathology, 96: 771-776.
- Birchler, T; Rose, R. W; Royo, A; Pardos, M. 1998. La planta ideal: revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales, v.7, n. ½.
- Brown, P.H., Welch, R.M., and Cary, E.E. 1987. Nickel: A Micronutrient Essential for Higher Plants. Plant Physiol. 85: 801-803.
- Brummell, D. and Hall, J. 1987. Rapid cellular responses to auxin and the regulation of growth. Plant Cell Environ. 10:523-543.
- Bugarín, M. R., A. Galvis S., P. Sánchez G., D. García P. 2002. Demanda de potasio del tomate saladette. Terra Latinoamericana 20:391-399.
- Calatrava, L. y Garrido, A. 2001. Análisis del efecto de los mercados de agua sobre el beneficio de las explotaciones, la contaminación por nitratos y el empleo eventual agrario Economía Agraria y Recursos Naturales, 1578-0732,1, 2, pp. 149-169.

- Castellanos, J.Z, Uvalle, B., J. X. y Aguilar, S., A. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos, aguas agrícolas, plantas y ECP. Edit. Intagri. 2da Edición. Celaya, Guanajuato. México.
- Chapagain, B. P., Wiesman, Z., Zaccai, M., Imas, P., and Magen, H. 2003. Potassium Chloride Enhances Fruit Appearance and Improves Quality of Fertigated Greenhouse Tomato as Compared to Potassium Nitrate. *Journal of Plant Nutrition*, 26(3), 643-658. <https://doi.org/10.1081/PLN-120017671>.
- Cruz, D. J., Sánchez, G. P., Galvis, S. A. y Carrillo, S. J. 2011. Índices espectrales en pimiento para el diagnóstico nutrimental de N. *Terra Latinoamericana*. ISSN (Versión impresa): 1870-9982 terra@correo.chapingo.mx.
- Diaz, P.J.C., Granberry, D.M., Germishuizen, P. 2008. Transplant growth and stand establishment of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) plants as affected by compost-amended substrate. *Acta Hort.* 782: 223-228.
- Dickson, A., Leaf, A. L., Hosner, J. F. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forestry Chronicle*, 36:10-13, 10.5558/tfc36010-1.
- Doyle, D. A., Cabral, J. M., Pfuetzner, R. A., Kuo, A., Gulbis, J. M., Cohen, S. L., Chait, B. T., and MacKinnon, R. 1998. The structure of the potassium channel: molecular basis of K⁺ conduction and selectivity. *Science* 280, 5360, 69-77.
- Dreyer, I., and Blatt, M. R. 2009. What makes a gate? The ins and outs of Kv-like K⁺ channels in plants. *Trends in Plant Science*, 14(7), 383–390. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.04.001>
- Dufault, R.J. 1998. Vegetable transplant nutrition. *HortTechnology* 8: 515-523.
- Duffy, B. K. and Defago, G. 1999. Macro and microelement fertilizers influence the severity of *Fusarium* crown and root rot of tomato in a soilless production system. *HortScience* 34:287-291.
- Enwall, K., Philippot, L., and Hallin, S. 2005. Activity and Composition of the Denitrifying Bacterial Community Respond Differently to Long-Term

- Fertilization. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(12), 8335-8343. doi: 10.1128/AEM.71.12.8335-8343.2005.
- FAO 1997. Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. (Estudio FAO Riego y Drenaje - 55) FAO capítulo 3. Los fertilizantes, en cuanto contaminantes del agua. E.D. Ongley. ISBN 92-5-303875-6. GEMS/Water Collaborating Centre Canadá Centre for Inland Waters Burlington, <http://www.fao.org/docrep/W2598S/W2598S00.htm>.
 - FAO 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. Roma. Italia. 117 p.
 - FAO (2017). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en <http://faostat.fao.org> (Octubre 2017).
 - Flores, P., Navarro, J. M., Garrido, C., Rubio, J. S., y Martínez, V. 2004. Influence of Ca²⁺, K⁺ and NO₃⁻ fertilisation on nutritional quality of pepper. *Journal of the Science of Food and Agriculture. F. Sci Food Agric* 84:569–574. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1694>
 - Fonseca, R. F. y Antúnez, E. P. 2006. Efecto de niveles de nitrógeno sobre el rendimiento y la calidad del fruto del pimiento (*Capsicum annuum* L.), cultivar Bouquet-50. *Revista Centro Agrícola*, 33(1), 15-20.
 - Garriga, M., Raddatz, N., Véry, A., Sentenac, H., Rubio, M. M. E., González, W., and Dreyer, I. 2017. Cloning and functional characterization of HKT1 and AKT1 genes of *Fragaria* spp.-Relationship to plant response to salt stress, 210, 9-17.
 - Gaytán, A. E. A., Ochoa, M. D., García, V. R., Zavaleta, M. E. y Mora, A. G. 2006. Producción y calidad comercial de flor de crisantemo. *Terra* 24: 541-548.
 - Gross, K.C. 1982. A rapid and sensitive spectrophotometric method for assaying polygalacturonase using 2-cyanoacetamide. *HortScience* 17, 933-934.
 - Hernández, R. E. 2009. Fertilización convencional vs líquida en la producción comercial de bell pepper, Culiacán, Sinaloa. Tesis de licenciatura. México. Universidad Autónoma Chapingo.

- Hernández, V. S., López, E. R. G., Porras, F., Parra, T. S., Villarreal, R. M. y Osuna, E. T. 2010. Variación en la germinación entre poblaciones y plantas de chile silvestre. *Agrociencia*, 44(6), 667-677.
- Hodgkin, A. L. and Huxley A. F. 1952. A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve. University of Cambridge *J. Physiol.* 117, 500-544.
- Honk, Q. Y., and Yu, L. J. 2005. Uptake and transport of calcium in plants. *Journal of Plants Physiology and Molecular Biology*, 31 (3): 227-234.
- Humble, G. D., and Raschke, A. K. 1971. Stomatal Opening Quantitatively Related to Potassium Transport Evidence from Electron Probe Analysis'. *Plant Physiol.* 48, 447-453.
- Jin, A., He, J., Chen, S., and Huang, G. 2010. Impact of reclaimed water irrigation on PAHs in agricultural soil and groundwater. *AIP Conference Proceedings*, 1251(1), 37-40. doi: 10.1063/1.3529328.
- Jones, J. B. Jr., Wolf, B. and Mills, H. A. 1991. *Plant analysis handbook*. Micro-Macro Pubs. Athens, Georgia. USA. pp. 23-26.
- Kakuturu, S., Chopra, M., Hardin, M. and Wanielista, M. 2013. Total Nitrogen Losses from Fertilized Turfs on Simulated Highway Slopes in Florida. *Journal of Environmental Engineering*, 139(6), 829-837. doi: 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000690.
- Kant, S., Kant P. and Kafkafi, U. 2005. Potassium uptake by higher plants: from field application to membrane transport. *Acta Hungarica*, 53(4). pp 43-459.
- Khan, M. A., and Shah, S. A. A. 2010. Agricultural Development and Associated Environmental and Ethical Issues in South Asia. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 24(6), 629-644. <http://doi.org/10.1007/s10806-010-9280-4>.
- Koch, K. E. 1996. Carbohydrate-modulated gene expression in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 47(1), 509-540.

- Koornneef, M., van Eden, J., Hanhart, C.J., Slam, P., Braaksma, F.J. and Feenstra, W.J. 1983. Linkage map of *Arabidopsis thaliana*. J. Hered. 74, 265-272.
- Lehninger A. L., Nelson D. L., and Cox M. M. 2001. Principios de bioquímica. Ediciones Omega 3ra. Edición. pp. 264.
- Lester, G. E., Jifon, J. L., and Makus, D. J. 2010. Impact of potassium nutrition on postharvest fruit quality: Melon (*Cucumis melo* L) case study. Plant and Soil, 335(1), 117-131. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0227-3>.
- Li, L., Kim B.G., Cheong Y.H., Pandey G.K. and Luan, S. 2006. A Ca(2)+ signaling pathway regulates a K(+) channel for low-K response in *Arabidopsis*. Proc. Natl Acad. Sci. USA, 103, 12625-12630.
- Maathuis, F. and Sanders, D. 1994. Mechanism of high-affinity potassium uptake in roots of *Arabidopsis thaliana*. Vol.91, pp. 9272-9276, Department of Biology, University of York, United Kingdom.
- Marco, A. 2002. Contaminación global por nitrógeno y declive de los anfibios. Estación Biológica de Doñana, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Rev. Esp. Herp. 97-109.
- Markovié, V., Djurovka, M., and Illin, Z. 1997. The effect of seedling quality on tomato yield, plant and fruit characteristics. Acta Hort. 462:3-167.
- Marschner H (1995) Mineral nutrition of higher plants. 2nd. edition. Academic, N. Y. pp. 299-312.
- Martínez, C. M. A., Martínez, V., and Rubio, F. 2005. High-affinity K⁺ uptake in pepper plants. Journal of Experimental Botany, 56(416), 1553-1562. doi: 10.1093/jxb/eri150.
- Meinke, D. W., Cherry, J. M., Dean, C., Rounsley, S. D. and Koornneef, M. 1998. *Arabidopsis thaliana*: a model plant for genome analysis. Science. 282(5389), 662, 679-82. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9784120>.
- Mengel K., and Kirkby E.A. 2000. Principios de Nutrición Vegetal. Traducción al Español de R.J. Melgar y M. Ruíz. 4ª edición (1987) International Potash Institute. Basel, Switzerland.

- Mengutay, M., Ceylan, Y., Kutman, U.B. and Cakmak, I. 2013. Adequate magnesium nutrition mitigates adverse effects of heat stress on maize and wheat. *Plant and Soil*. 368. 1, pp. 57-72.
- Moreno, P. E., Mora, A. R., Sánchez, C. F. y García, P. V. 2011. Fenología y rendimiento de híbridos de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) cultivados en hidroponía. *Serie Horticultura*, XVII, 2: 5-18.
- Motsara, M.R., and Roy, R.N. 2008. Guide to Laboratory Establishment for Plant Nutrient Analysis. *FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin* 19. Food and Agriculture Organization of the United Nations. pp. 220.
- Nahar, N. 2009. Causes and distribution of arsenic contamination in Bangladesh: evidence from the literature. *Water Policy*, 11(3): 362-378. doi: 10.2166/wp.2009.045
- Núñez, J. E. S., Medeiros, J. F. de, Oliveira, F. D. A. de, Lima, L. A., Bezerra, F. M. S., e Alves, R. D. C. 2017. Fertirrigação nitrogenada e potássica no cultivo do pimentão em ambiente protegido utilizando manejos de fertirrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola E Ambiental*, 21(3), 186-190. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n3p186-190>
- Oliveira, F. de A., Duarte, S. N., Medeiros, J. F. de, Dias, N. da S., Silva, R. C. P. da, Lima, C. J. G. de S. 2013. Manejos da fertirrigação e doses de N e K⁺ no cultivo de pimentão em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17, 152-1159. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001100004>.
- Ortiz, S. J. R., A. Lara H., J. J. Llamas LI., R. Castañeda M., J. J. Avelar M., M. Luna F. 2012. Calcium in the nutrient solution on tomato hydroponic production. *Acta Hort*. 947: 223-228.
- Parra, T. S., M. Villarreal R., P. Sánchez P., J. L. Corrales M., y S. Hernández Verdugo. 2008. Efecto del calcio y el potencial osmótico de la solución nutritiva en la pudrición apical, composición mineral y rendimiento de tomate. *Interciencia* 33:449-456.

- Parra, T. S., Mendoza, P. G. y Villarreal, R. M. 2012. Relación nitrato/amonio/urea y concentración de potasio en la producción de tomate hidropónico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(1), 113-124.
- Parra, T.S, Salas, N.E, Villarreal, R.M, Hernández, V.S., y Sánchez, P.P. 2010. Relaciones nitrato/amonio/urea y concentraciones de potasio en la producción de plántulas de tomate. *Serie Horticultura* 16: 37-47.
- Patrick, J.W., and Colyvas, K. 2014. ¿Crop yield components photoassimilates supply or utilization limited-organ development? *Funct. Plant Biol.* 41: 893-913.
- Pineda OT, Cetina AVM, Vera CJ, Cervantes MC, Khalil GA (2004) El trasplante contenedor-contenedor (1 + 1) y contenedor-raíz desnuda (P + 1) en la producción de planta de *Pinus greggii* Engelm. *Agrociencia* 38: 679-686.
- Preciado, R. P., Baca, G. A., Tirado, J.L., Kohashi, S. J., Tijerina, L., y Martínez, A. 2002. Nitrógeno y potasio en la producción de plántulas de melón. *Agronomía Mesoamericana* 23(2):247-257:1021-7444.
- Preciado, R. P., Lara-Herrera, A., Segura, C. M. Á., Rueda P. E. O., Orozco, V. J. A., Yescas, C. P., Y Montemayor, T. J. A. 2008. Amonio y fosfato en el crecimiento de plántulas de chile jalapeño. *Terra Latinoamericana*, 26(1), 37-42.
- Ramírez, M. M., L. I. Trejo T., F. C. Gómez M., y P. Sánchez G. 2010. La relación K^+/Ca^{2+} de la solución nutritiva afecta el crecimiento y calidad postcosecha del tulipán. *Rev. Fitotec. Mex.* 33:149-156.
- Rending, V. V., and Taylor H. M. 1989. *Principles of Soil-Plant Interrelationships*. Editorial. McGraw-Hill, New York, 275 p.
- Rodríguez, T.D.A. 2008. *Indicadores de calidad de planta forestal*. Mundi-Prensa México, D. F. 156 p.
- Rojas, R. P. A., and Lightbourn, R. L. A. 2017. Nitrogen and Calcium Dosage in Nutrient Solutions: Effect on Fusarium Wilt, Nutrition and Yield of Tomato Plants. *Global Advanced Research Journal of Agricultural Science*, 6(2), 65-74.

- Rolland, F., Baena, G. E. and Sheen, J. 2006. Sugar sensing and signaling in plants: conserved and novel mechanisms. *Annual Review of Plant Biology*, 57, 675-709.
- Rosca, V. 2009. Optimization of nitrogen concentration in the fertilization solution for production of seedlings in cell trays. *Acta Hort.* 807: 613-618.
- Rueda, S.A., Benavides, S.J. de D., Saenz, R.J.T., Muñoz, F.H.J., Prieto, R.J.A., y Orozco, G.G. 2014. Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit. *Rev. Mex. Cien. For.* 22: 58-73.
- Sallaku, G., Bani, A., and Balliu, A. 2009. The effects of N concentration in pretrasplant nutrient solution on the N use efficiency and dry mass partitioning of vegetables solanaceae seedlings. *Acta Hort.* 830: 405-412.
- Sánchez, del C.F., Ortiz, C.J., Mendoza, C.M. del C., González, H. V. A., y Colinas, L. M. T. 1999. Características morfológicas asociadas con un arquetipo de jitomate apto para un ambiente no restrictivo. *Agrociencia* 33:21-29.
- SAS. 1999. Statistical Analysis System Institute. Versión 8, SAS Institute. Cary, N. C. USA.
- SIAP. 2017. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en <http://www.siap.gob.mx> (Octubre 2017).
- Steiner, A. A. 1964. The influence of the chemical composition of a nutrient solution on the production of tomato plants. The Netherlands. *Journal of Plant and Soils*, 24:454-466.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. *In: Proceedings of the of the Sixth Int. Congress on Soilless Culture.* Soc. for Soilless Culture, Lunteren, Netherlands. pp 633-649.
- Suelter, C. H. 1986. Role of potassium in enzyme catalysts. *In Potassium in agricultura.* R.D. Munson ed. American Society of Agronomy, Crops Science Society of America, and soil Science Society of America. Madison Wisc. pp 337-349.

- Tester, M. and Leigh R. 2000. Partitioning of nutrient transport processes in roots. *Journal of Experimental Botany*, vol. 52 Department of Plant Sciences, University of Cambridge. Cambridge. UK. pp 445-447.
- Torre, S., A. Barochov., and A. Halevy. 1999. Calcium regulation of senescence in rose petals. *Physiol. Plant* 107: 214-219.
- Trejo T. L. I., Gómez, M. F. C., y Sánchez, G. P. 2010. La relación K^+/Ca^{2+} de la solución nutritiva afecta el crecimiento y calidad postcosecha del tulipán. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(2), 149–156.
- Tsuneyoshi, T., Yoshida, J., and Sasaoka, T. 2006. Hydroponic cultivation offers a practical means of producing selenium-enriched garlic. *Journal of Nutrition*, 136, 870S-872S.
- Tuna, A.L., Kaya, C., Ashraf, F., Altunlu, H., Yokas, I., and Yagmur, B. 2007. The effects of calcium sulphate on growth, membrane stability and nutrient uptake of tomato plants grown under salt stress. *Environmental and Experimental Botany* 59: 173-178.
- Turkmen, O., Sensoy, S., Demir, S., and Erdinc, C. 2008. Effects of two different AMF species on growth and nutrient content of pepper seedlings grown under moderate salt stress. *African Journal of Biotechnology*, 7(4), 392-396. <https://doi.org/10.5897/AJB07.603>
- Tyliczszak, B., Polaczek, J. and Pielichowski, K. 2009. PAA-Based hybrid organic-inorganic fertilizers with controlled release. *Polish Journal of Environmental Studies*, 18(3), 475-479.
- USDA. 2003. United States standards for grades of fresh bell peppers. Ed. Agricultural Marketing Service. United States Department of Agriculture. p 14.
- Uvalle, B. J. 2012. Estrategias de manejo nutricional de cultivos frente a escenarios de variabilidad y cambio climático. Memoria de III simposio internacional de nutrición vegetal. Guadalajara, México. pp 55-59.
- Verbruggen, N. and Hermans, C. 2013. Physiological and molecular responses to magnesium nutritional imbalance in plants, *Plant and Soil*, 368, 1/2. Academic Search Complete, EBSCO host, pp 87-99.

- Villar, S.P. 2003. Importancia de la calidad de planta en los proyectos de revegetación. In: Restauración de Ecosistemas Mediterráneos. Rey, B. J. M., Espigares, P. T., Ibarra, J. M. N. (editores). Universidad de Alcalá. Asociación Española de Ecología Terrestre. pp 66-86.
- Weston, L.A. 1988. Effect of flat cell size, transplant age, and production site on growth and yield of pepper transplant. Hortscience 23:709-711.
- Wyn, J. R. G. and Pollard A. 1983. Protein, enzymes, and inorganic ions. *In: Encyclopedia of Plant Physiology. New Series. Vol. 15B, Inorganic Plant Nutrition.* A. Läuchli and R. L. Bielecki, eds. Springer-Verlag, Berlin. pp 528-562.
- Xiaokun, L., Jianwei, L., Lishu, W., and Fang, C. 2009. The difference of potassium dynamics between yellowish red soil and yellow cinnamon soil under rapeseed (*Brassica napus* L.)–rice (*Oryza sativa* L. rotation. *Plant and Soil*, 320(1/2), 141-151. doi: 10.1007/s11104-008-9879-7.
- Xu, G., Wolf, S., and Kafkafi, U. 2002. Ammonium on Potassium Interaction in Sweet Pepper. *Journal of Plant Nutrition*, 25(4), 719.
- Yemm, E.W., Willis, A.J. 1954. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. *Biochem. J.* 57: 508-514.
- Zhang F, Niu J, Zhang W, Chen X, Li Ch, Yuan L, Xie J (2010) Potassium nutrition of crops under varied regimes of nitrogen supply. *Plant Soil* 335: 21-34.
- Zhang, C.K., and Turgeon, R. 2009. Downregulating the sucrose transporter VpSUT1 in *Verbascum phoeniceum* does not inhibit phloem loading. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 106: 18849-18854.
- Zhao, M.G., Tian, Q.Y., and Zhang, W.H. 2007. Nitric oxide synthase-dependent nitric oxide production is associated with salt tolerance in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 144: 206-217.
- Zielinska, M. and Michniewicz, M. 2001. The effect of calcium on the production of ethylene and abscisic acid by fungus *Fusarium culmorum* and by wheat seedlings infected with the pathogen. *Physiologiae Plantarum*, 23: 79-85.

- Zörb, C., Senbayram, M., and Peter, E. 2014. Potassium in agriculture – Status and perspectives. *Journal of Plant Physiology*, 171(9), 656-669.
- Zúñiga, E. L., Martínez, H. J. J., Baca, C. G. A., Martínez, G. A., Tirado, T. J. L. y Kohashi, S. J. 2004. Producción de chile pimiento en dos sistemas de riego bajo condiciones hidropónicas. *Agrociencia* 38: 207-218.