



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE EDAFOLOGÍA

**POTENCIAL OSMÓTICO EN LA ABSORCIÓN
NUTRIMENTAL Y CALIDAD DE FRUTO EN CHILE
MANZANO (*Capsicum pubescens* R. y P.)**

MARIA TERESA BAUTISTA CRUZ

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

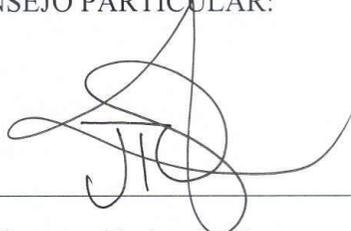
2010

La presente tesis titulada: **Potencial osmótico en la absorción nutrimental y calidad de fruto en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.)** realizada por la alumna: María Teresa Bautista Cruz, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
EDAFOLOGIA

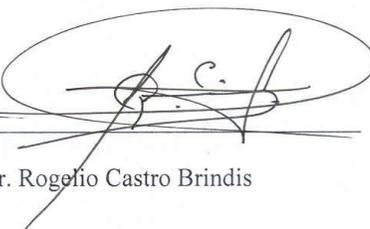
CONSEJO PARTICULAR:

Consejero: _____



Dr. Prometeo Sánchez García

Asesor: _____



Dr. Rogelio Castro Brindis

Asesor: _____



Dr. Mario Pérez Grajales

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Julio de 2010

POTENCIAL OSMÓTICO EN LA ABSORCIÓN NUTRIMENTAL Y CALIDAD DE FRUTO EN CHILE MANZANO (*Capsicum pubescens* R. y P.)

María Teresa Bautista Cruz, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2010

RESUMEN

Con el objeto de estudiar la absorción nutrimental y determinar el potencial osmótico (PO) de la solución nutritiva, óptimo para incrementar la calidad de fruto de chile manzano se desarrolló un experimento factorial en condiciones de hidroponía. Se evaluaron 5 niveles de PO: -0.036, -0.054, -0.072, -0.09 y -0.108 MPa, y dos variedades: Puebla y Zongolica. Se evaluó la concentración de macro y micronutrientes en la planta, además de algunos aspectos de calidad del fruto como: peso medio del fruto, grosor del pericarpio en la parte del hombro del fruto, firmeza, sólidos solubles totales, ácido ascórbico y acidez titulable.

Los frutos que presentaron mejores parámetros de calidad, fueron aquellos a los que se aplicó la solución nutritiva con PO desde -0.072 hasta -0.108 MPa.

Palabras clave: Hidroponia, macronutrientes, micronutrientes.

**EFFECT OF OSMOTIC POTENTIAL ON NUTRIMENTAL ABSORPTION AND
QUALITY OF MANZANO HOT PEPPER FRUIT (*Capsicum pubescens* R. y P.)**

María Teresa Bautista Cruz, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2010

ABSTRACT

With the aim to study the effect of osmotic potential (OP) on nutrimental absorption and quality of manzano hot pepper fruit a factorial experiment was carried out on hydroponics conditions. Five osmotic potential levels were determined: - 0.054, - 0.09 - 0.072 - 0.036 - 0.108 MPa, and two varieties: Puebla and Zongolica. Were evaluated the concentration of macro and micronutrients in plants, and some aspects of fruit quality as: average weight of the fruit, thickness of the pericarp at the shoulder of the fruit, firmness, total soluble solids, ascorbic acid, titulable acidity. Fruits that presented best quality parameters were those that the nutritive solution with OP from - 0.072 until - 0.108 MPa was applied.

Key words: Soilless culture, macronutrients, micronutrients.

AGRADECIMIENTOS

Al **Colegio de Postgraduados**: por el excelente nivel que brinda en la formación académica y por ser una institución de gran calidad y miras hacia el bienestar del pueblo de México al que igualmente agradezco.

A la **Universidad Autónoma Chapingo**: por el apoyo brindado durante la licenciatura, maestría y desde luego, porque siempre será mi *alma mater*.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología**: por la beca otorgada durante la realización de mis estudios de maestría.

Al **Dr. Prometeo Sánchez García, Dr. Rogelio Castro Brindis, Dr. Mario Pérez Grajales y Dr. Manuel Sandoval Villa**, por ser excelentes académicos, gracias a cada uno de ellos por su valioso apoyo en este proceso y sobre todo por ser personas de gran calidad humana.

A **Laura Santamaría** por su apoyo, eficiencia y por ser una gran persona.

Dedico esta tesis a:

- **Dios** porque gracias a él también existe la ciencia.

- Mis padres **Filogonia Cruz** y **Matilde Bautista**, por el cariño que nos une.

- Mi hermano predilecto y consentido, **Jorge** y a su familia que también es la mía, **Alicia** y **Jesúsito**.

- Mis amigos, **Aquilino V.**, **Elyel G.**, **Manuel A.**, **Ibar T.**, **Israel C.**, **Iván C.**, “y anexos”, que me han acompañado en momentos clave de la vida.

- Todo mi linaje y en todas direcciones, las familias **Cruz González** y **Bautista González**.

CONTENIDO

Página

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
2.1. Potencial osmótico.....	2
2.2. Absorción nutrimental.....	5
2.4. La solución nutritiva.....	7
2.5. Cultivo de chile manzano.....	9
2. 6. Conclusión de la revisión de literatura.....	16
III. OBJETIVO E HIPITESIS.....	18
3.1. Objetivo general.....	18
3.2. Hipótesis general.....	18
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
4.1. Localización del experimento.....	19
4.2. Material vegetativo.....	19
4.3. Producción de plántula.....	19
4.4. Establecimiento y conducción del experimento.....	20
4.5. Manejo del experimento.....	22
4.6. Variables evaluadas.....	23
4.7. Análisis estadístico.....	25
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
5.1. Potencial osmótico de la solución nutritiva.....	26
5.2. Macronutrientes.....	26
5.3. Micronutrientes.....	30
5.4. Variables de calidad.....	33
5.5. Correlaciones entre variables.....	42
5.6. Discusión general.....	45
VI. CONCLUSIÓN.....	47
VII. LITERATURA CITADA.....	48

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Composición química de la SNUS (1984).....	8
Cuadro 2. Concentraciones de micronutrientes en la SNUS (Steiner, 1984).....	9
Cuadro 3. Niveles de macro y microelementos en hojas de chile (Argos <i>et al.</i> , 1998).....	15
Cuadro 4. Composición nutritiva del chile manzano en fresco (Werner, 2000).	16
Cuadro 5. Tratamientos para el experimento sobre PO en absorción nutrimental	20
Cuadro 6. Composición química de las soluciones nutritivas a utilizar	21
Cuadro 7. Fuentes de macronutrientes para la solución nutritiva Steiner completa	21
Cuadro 8. Fuentes de micronutrientes para la solución madre.....	22
Cuadro 9. Concentración de macronutrientes en relación a cinco niveles de PO	26
Cuadro 10. Concentración de macronutrientes en relación a variedades	27
Cuadro 11. Concentración de micronutrientes en relación a cinco niveles de PO.....	30
Cuadro 12. Concentración de macronutrientes en relación a variedades	31
Cuadro 13. Variables de calidad en relación a cinco niveles de PO.....	35
Cuadro 14. Variables de calidad en relación a las variedades Puebla y Zongolica.....	36
Cuadro 15. Correlaciones entre nutrientes en plantas de chile manzano	43
Cuadro 16. Correlaciones entre nutrientes y variables en plantas de chile manzano.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Interacción de potencial osmótico y variedades en acidez titulable (%).....	39
Figura 2. Interacción de PO y variedades en peso de materia seca en raíz (g).....	42

I. INTRODUCCIÓN

El chile manzano es originario de las partes altas de Sudamérica, principalmente de Bolivia, Perú y Chile. Se adapta a regiones con climas templados y fríos, en México, generalmente se cultiva, entre 1700 a 2500 msnm, en huertos semicomerciales no mayores de cinco hectáreas (Pérez y Castro, 1998). No obstante, desde 1994 se ha propuesto su cultivo en condiciones de invernadero – hidroponía y actualmente se cuenta con unas 20 ha con este sistema de producción (Pérez y Castro, 2008).

En dicho sistema se emplea al tezontle rojo como sustrato y a la Solución Nutritiva Universal de Steiner (SNUS) como la fuente de nutrimentos para las plantas en un sistema de manejo caracterizado por emplear: invernadero con plástico lechoso del 50% de sombra, maya antiáfidos, alta densidad de población (1 planta·m²), sistema de tutorio de plantas y sistema de riego por goteo (Pérez y Castro, 2008).

Se desconoce el efecto del potencial osmótico de la solución nutritiva (PO) en la absorción nutrimental y en calidad del fruto de chile manzano, por lo cual se propone valorar su influencia en las variables mencionadas.

El PO, es una propiedad fisicoquímica de las soluciones que depende de la cantidad de partículas o solutos disueltos (Segal, 1989), un PO bajo, disminuye la energía libre del agua y por lo tanto su absorción y la de nutrimentos. Contrariamente, un PO alto puede inducir deficiencias nutrimentales al presentar un déficit en la cantidad de nutrimentos en la solución nutritiva y en otros casos se puede mejorar el contenido de azúcares en frutos (Maschner, 1995).

En virtud de que la producción de chile manzano en hidroponía permite el control de la nutrición mediante el manejo selectivo del PO y de nutrimentos, que influyen sobre las plantas, y dada la importancia de manejar correctamente el cultivo, se planteó determinar la forma en que el PO modifica la absorción nutrimental en el cultivo de chile manzano.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Potencial osmótico

2.1.1. Ósmosis

Es la difusión de una sustancia a través de una membrana semipermeable (aquella que permite el paso de solventes, pero no los solutos). Si de un lado de la membrana hay una solución, y del lado opuesto otra con diferente concentración, ocurrirá el proceso de ósmosis (Salisbury y Ross, 1994).

2.1.1.1. Osmoregulación

Azcon-Bieto (1996) menciona que la osmoregulación es el fenómeno mediante el cual las células acumulan, en condiciones de estrés, una serie de solutos compatibles con el funcionamiento normal de la maquinaria celular, entre estos solutos se encuentran los azúcares, alcoholes, poliaminas y fundamentalmente prolina, glicina y betaína. Estos compuestos son considerados osmoprotectores, es decir, permiten el funcionamiento celular en condiciones de estrés osmótico. Se ha sugerido que podrían actuar estabilizando macromoléculas y membranas en condiciones acuosas de estrés. Por ello Melgarejo (1998) menciona que existen técnicas de osmocondicionamiento como los tratamientos con nitrato de sodio, que coadyuvan a la osmoregulación y permiten la reducción en el tiempo de la germinación, aumentando el porcentaje de la misma, la altura, el peso de materia fresca y seca en plantas de chile manzano, lo que se traduce en un ahorro en la producción de plántulas en el ámbito comercial, a la vez que se mejora la calidad de las mismas.

2.1.1.2. Ajuste osmótico

El ajuste osmótico es la acumulación de solutos en el interior de la planta en respuesta al déficit hídrico y la disminución del potencial hídrico total de hojas, tallos y raíces; como resultado las plantas pueden absorber agua y mantener la actividad fisiológica (Silva-Robledo *et al.*, 2007). Cuando disminuye el potencial osmótico de los tejidos en respuesta a déficits hídricos se da una concentración pasiva de solutos en la célula debido a la deshidratación del tejido, originado por

una acumulación activa de los mismos. Es a éste último caso de osmoregulación al que se le denomina ajuste osmótico (Azcon-Bieto, 1996).

Papadopoulus (2004) menciona que ajustes en la conductividad eléctrica de la solución nutritiva, y por lo tanto del ajuste osmótico, permite a los productores modificar la disponibilidad de agua para el cultivo, mejorando así la calidad del fruto.

El potencial hídrico es el potencial químico del agua en un sistema o parte de un sistema, expresado en unidades de presión (Salisbury y Ross, 1994). En un sistema particular, el potencial hídrico total es la suma algebraica de varios componentes: $\Psi = \psi_p + \psi_s + \psi_m + \psi_g$. Siendo ψ_p , ψ_s , ψ_m y ψ_g respectivamente, componentes debidos a las fuerzas de presión, osmótica, mátrica y gravitacional. El componente osmótico (ψ_s) es consecuencia de los solutos disueltos, disminuye la energía libre del agua y es siempre negativo (Azcon-Bieto y Talon, 1996).

El potencial osmótico de la célula está determinado por la concentración de sustancias osmóticamente activas (electrolitos) en la vacuola. En una célula vegetal, el potencial osmótico siempre posee valores negativos, que varían con el volumen celular, siendo más próximo a cero en células totalmente hidratadas que en las deshidratadas (Azcon-Bieto y Talon, 1996). La importancia del PO en una solución nutritiva es que al disminuir este potencial debido al aumento en el contenido de nutrientes, disminuye la energía libre del agua afectándose la absorción de nutrientes: N, P, K, Ca y Mg, principalmente. Esto se manifiesta según Marschner (1995) en la reducción del crecimiento y desarrollo de las plantas.

2.1.2. Conductividad eléctrica, presión osmótica y potencial osmótico

La conductividad eléctrica se expresa en deciSiemens por metro (dS m^{-1}), en miliSiemens por centímetro (mS cm^{-1}) o en milimhos por centímetro (mmhos cm^{-1}) a 25°C . La CE es una medida indirecta y empírica del PO: este último puede obtenerse al multiplicar (CE) x (-0.036) para ser expresado como PO con unidades en megapascales (MPa); o bien, para ser expresado como presión osmótica: CE x 0.36 como atmósferas (atm) (Salisbury y Ross, 1994).

2.1.3. Efectos de la presión osmótica sobre los cultivos

Zarate (2005) menciona que las variaciones en el desarrollo del cultivo de jitomate cherry en condiciones de hidroponía fueron producto de la interacción de la presión osmótica de la solución nutritiva y condiciones ambientales, obteniendo diferencias significativas en intervalos de concentración bajo condiciones de verano. Sin embargo; no encontró variaciones significativas en rendimiento, pero observó una tendencia favorable en la solución nutritiva con mayor potencial osmótico (-0.057 MPa). Este autor indica que es factible la producción de jitomate cherry con una solución nutritiva Steiner al 50%. Al disminuir la presión osmótica, disminuye la concentración de sólidos solubles, acidez titulable, y la relación entre estos dos últimos.

Por su parte Gutiérrez (1997) menciona que en producción del fruto (tamaño de frutos, números de frutos y diámetro de frutos) y número de semillas, no se tuvieron diferencias estadísticas entre los niveles evaluados de presión osmótica (0.7, 1 y 1.3 atm), sin embargo, se manifestó la tendencia a incrementar la calidad del fruto y la cantidad de semillas con una solución nutritiva más diluida (0.52 atm). En contraste, Rodríguez *et al.*, (1998) no encuentran diferencias estadísticas entre el efecto producido entre niveles de presión osmótica de la solución nutritiva, pero si observa tendencias a incrementarse la producción y calidad fisiológica de la semilla de jitomate con una mayor presión osmótica (0.9 atm).

2.1.4. Efectos del potencial osmótico (ψ_o) sobre los cultivos

Lara (1998) establece en la variedad de jitomate Humaya un incremento de materia seca de plántula de 12.7% al reducir el PO de -0.073 a -0.097 MPa mientras que Villegas *et al.* (2005) para el mismo cultivo mencionan un incremento de 7.89% del diámetro ecuatorial del fruto y 15.03% del peso promedio de la materia fresca, con un PO de -0.072 MPa, todo esto sin traducirse a un incremento estadísticamente significativo en el rendimiento del cultivo.

Molinos *et al.*, (2004) evaluaron el efecto de diferentes PO (-0.106; -0.113; -0.120; -0.128; -0.143 y -0.157 MPa) y concentración de Ca en el medio de cultivo sobre la distribución de Ca y K, y el peso de biomasa seca en explantes de vid. El mayor PO del medio de cultivo (-0.106

MPa) favoreció la translocación de Ca y K de los tallos hacia las hojas, mientras que el PO más negativo (-0.157 MPa) permitió que los mayores contenidos se acumularan en los tallos. El mayor peso de biomasa seca (57 mg) y los menores porcentajes de explantes con síntomas de deficiencia de Ca (20%) se obtuvieron con el PO de -0.106 MPa.

Por otro lado Preciado-Rangel *et al.*, (2003) evaluaron el efecto de varios PO y concentraciones de la solución modificada universal de Steiner, evaluaron el crecimiento y la absorción de nutrientes de plántulas en dos híbridos de melón (Crusier y Águila de Oro), y obtuvieron el mejor crecimiento y la mayor absorción nutrimental en las plántulas de melón con un PO de -0.072 MPa de la solución nutritiva. Pero no se tuvo efecto significativo en el crecimiento y la absorción de nutrimentos en los tratamientos.

2.2. Absorción nutrimental

Las membranas por lo general tienen de 7.5 a más de 10 nm de espesor. Toda membrana consta en su mayor parte de proteínas y lípidos. Casi siempre las proteínas representan de la mitad a dos terceras partes del peso seco de las membranas. Los lípidos principales de las membranas vegetales son fosfolípidos, glicolípidos y esteroides (Salisbury y Ross, 1994).

Otro componente de las membranas es el Ca, sin el cual pierden su capacidad para transportar solutos hacia el interior y son incapaces de retener los solutos que ya contienen. Las proteínas integrales o intrínsecas, se extienden más allá de la bicapa, y las proteínas periféricas o extrínsecas, están unidas a uno u otro lado de la superficie de la membrana. (Salisbury y Ross, 1994).

Al hablar de la absorción de nutrientes debe distinguirse, de acuerdo a Rojas (1978), entre absorción de moléculas y absorción de iones. La planta toma sus nutrimentos minerales como iones, pero eventualmente puede absorber moléculas, sea por la hoja o por la raíz. La absorción molecular es importante en la aplicación de ciertos fertilizantes y pesticidas generalizados.

Según Azcon-Bieto y Talon (2000) varios canales y transportadores intervienen en el intercambio de solutos a través de la membrana plasmática y entre los diferentes compartimentos

celulares. Este intercambio está fuertemente regulado, de forma que la composición del citoplasma se mantiene dentro de límites relativamente estrechos (homeostasis). La afinidad por un ion transportado puede verse afectada por la concentración de este ion en el interior de la raíz. Las raíces con carencias de K, lo absorben con mucha mayor afinidad que las raíces crecidas con una amplia disponibilidad de este nutrimento.

Adams (1999) menciona que el ambiente físico en donde se desarrolla la planta afecta la tasa de absorción y la distribución de nutrimentos, dentro de la misma planta, y afecta también la tasa de crecimiento. Por ejemplo, la temperatura del sistema de raíces generalmente tiene influencia en la tasa de absorción de agua y nutrientes (Papadopoulus, 2004).

Villegas *et al.*, (2005), obtiene que con el híbrido de jitomate Gabriela el PO tuvo efecto significativo en la concentración de nutrimentos en los órganos de las plántulas ya que con - 0.112 MPa se incrementó la concentración de N (11.53%) y P (33.33%) en la raíz y en tallo (42.85%), aunque esto no se tradujo a un incremento en el rendimiento del cultivo.

2.3. Cultivo sin suelo (hidroponía)

La hidroponía es una tecnología para crecer plantas en soluciones nutritivas, o en un sentido general, en un medio separado del suelo *in situ* (por ejemplo, arena, grava, tezontle, vermiculita, lana de roca, peat moss, fibra, aserrín, bolitas de arcilla, entre otros). Es el método de producción de cultivos más intensivo en la industria agrícola actual, y por lo general, permite la producción de frutos de alta calidad (Papadopoulos, 2004).

León y Martínez (2004) señalan que en un sistema hidropónico se debe registrar diariamente el PO, aunque sea indirectamente como conductividad eléctrica de la solución a la salida de los goteros, entrada del sustrato y drenaje, para asegurarse que el sistema de riego trabaja adecuadamente y detectar la probable acumulación de sales en el sustrato.

Papadopoulos (2004) menciona que una forma de mejorar, no solo la productividad, tipo de fruto, resistencia a enfermedades y color del fruto, sino también la calidad sensorial y nutracéutica de los frutos de invernadero, es mantener los parámetros ambientales apropiados

para el invernadero (luz, temperatura, humedad, enriquecimiento con CO₂) e implementar nuevos métodos de cultivo como irrigación, soluciones nutritivas óptimas, y un manejo hidropónico adecuado.

2.4. La solución nutritiva

La solución nutritiva es el agua con los nutrientes minerales esenciales disueltos en ella, en concentraciones y proporciones adecuadas para lograr un crecimiento y desarrollo óptimo de las plantas. En los sistemas hidropónicos, todos los nutrientes minerales esenciales deben estar en la solución nutritiva en concentraciones adecuadas para lograr una nutrición balanceada de las plantas, y por lo tanto, obtener mayores rendimientos (Rodríguez-Delfín, 2004).

Existe una estrecha relación entre agua utilizada y cantidad de materia seca producida. Si se tiene en cuenta que existe un intervalo de concentración de nutrimentos referido a la materia seca acumulada por la planta, evidentemente las soluciones nutritivas deberán contener los iones en una concentración suficiente para satisfacer a tiempo las necesidades de agua y nutrimentos de la planta (Gariglio y Marano, 1997).

De acuerdo con Juárez *et al.*, (2006) las características químicas de la solución nutritiva se reflejan en la respuesta de las plantas, siendo el PO la más importante al respecto. Steiner (1968) establece que la presión osmótica de una solución nutritiva es el factor más importante en el rendimiento de la planta, y basta que la diferencia entre dos soluciones sea del orden de 0.2 atm para que sea estadísticamente significativa.

2.4.1. Calidad del agua

En cuanto a la calidad del agua, Steiner (1984) explicó que todas sus soluciones nutritivas, las fórmulas que se deseen preparar, dependerán solamente del uso de agua destilada o completamente desmineralizada.

Es necesario ajustar la fórmula de fertilización de acuerdo a la composición química del agua (León y Martínez, 2004). Para preparar la solución nutritiva se debe tener en cuenta la

concentración de nutrientes en el agua de riego. Generalmente el agua contiene Ca, Mg, S y B. También el agua contiene Na y Cl que en cantidades altas aumentan la salinidad del agua y pueden provocar toxicidad a las plantas.

En los cultivos sin suelo se puede establecer cualquier relación de nutrimentos y cualquier concentración total de sales, siempre que no supere los límites de precipitación para ciertas combinaciones de iones. Así, la selección de la concentración de una solución nutritiva debe ser tal que el agua y los iones totales sean absorbidos por la planta en la misma proporción en la cual están presentes en la solución (Steiner, 1968).

La publicación original de la solución nutritiva universal planteada por Steiner, se basó en una presión osmótica de 0.7 atmósferas (-0.072 MPa como PO) y pH de 6.5. Estos valores no son universales, solamente las relaciones mutuas entre los aniones y los cationes se conciben como universales, permitiendo diferentes preparaciones a distintos PO deseados y valores de pH. En la publicación original de la SNUS solamente son mencionados los macronutrimentos. Sin embargo, Steiner (1984), aclara que es lógico que también los micronutrimentos indispensables como Fe, Mn, Zn, B, Cu y Mo, deben estar presentes en la solución nutritiva.

En la SNUS todo el N está presente como NO_3^- . La razón es que los iones NH_4^+ en una solución nutritiva son tóxicos, de acuerdo a Steiner (1984), en mayor o menor grado para muchas plantas. La fórmula de la SNUS (Cuadro 1) satisface las siguientes condiciones: 1) las relaciones mutuas deseadas entre aniones; 2) las relaciones mutuas deseadas entre cationes; 3) la concentración total de iones deseada; y 4) el valor deseado de pH con una tolerancia de ± 0.1 .

Cuadro 1. Composición química de la SNUS (1984).

K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NO_3^-	H_2PO_4	SO_4^{2-}	Total
-----meq L ⁻¹ -----						
7.080	9.103	4.046	11.888	0.991	6.934	40

Para complementar Steiner (1984) hizo una mención general de los límites de las concentraciones de los micronutrientes por litro de solución nutritiva (Cuadro 2).

Cuadro 2. Concentraciones de micronutrientes en la SNUS (Steiner, 1984).

Elemento	$\mu\text{mol L}^{-1}$	mg L^{-1}
Fe	9-36	0.5-2.0
Mn	4-36	0.2-2.0
Zn	1.5-9	0.1-0.6
B	19-56	0.2-0.6
Cu	0.2-1	0.01-0.06
Mo	0.4-0.6	0.04-0.06

2.4.3. El tezontle como sustrato

Lara (1998) identifica que el tezontle rojo es uno de los sustratos más utilizados y que es un mineral aluminosilicatado que se puede usar en forma natural o después de ser fragmentado. También es muy usado en la hidroponía, según Pérez y Castro (1999), por su buena capacidad de retención de humedad, buena aireación, es inerte, estéril y económicamente accesible en la parte central del país. También Vargas (2007) concluye que el tezontle es un buen material para ser usado como sustrato, y que solo requiere de tener una adecuada combinación de fracciones granulométricas. La fracción de 0.25 a 0.50 mm afecta fuertemente la capacidad de aireación y retención de agua.

2.5. Cultivo de chile manzano

2.5.1. Requerimientos ambientales

Mosso (1994) menciona que las temperaturas óptimas para su desarrollo se encuentran entre los 16.2 y 21.5°C; Pérez y Castro (2008) indican que el intervalo óptimo es de 18 a 22°C en el día y 10 a 12°C en la noche y la temperatura cero vegetativo es de 5°C.

El chile manzano se distribuye generalmente en el intervalo de 1700 a 2400 m (Rivera, 1996), la radiación óptima promedio que demanda la especie es de 550 μmol de fotones $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$. El cultivo requiere baja intensidad en las fases anteriores a la plena floración, tanto que generalmente se maneja en condiciones de sombra con aproximadamente un 40% de luz (Mora, 1996).

La humedad relativa debe estar entre 70 y 80% (Pérez, 2002) al igual que la humedad aprovechable del suelo o sustrato (Pérez y Castro, 1998).

2.5.2. Etapas fenológicas del cultivo

Domínguez y Carnalla (1997) caracterizaron las siguientes etapas fenológicas: germinación-emergencia, tercera hoja verdadera a los 39 días después de la siembra (dds), bifurcación (134 dds), aparición de brotes laterales (176 dds), floración (193 dds), fructificación (200 dds) y madurez fisiológica de los primeros frutos (281 dds).

2.5.3. Calidad del chile manzano

La calidad de los vegetales es un parámetro importante que influye en la aceptación del consumidor a nivel local e internacional. El concepto *calidad* involucra una serie de criterios relacionados con diferentes aspectos físicos, nutricionales, químicos y biológicos, que los productores deben considerar para seguir estrategias que les permita competir con sus productos en el mercado (Baudoin, 1999).

Pérez *et al.*, (2004) evaluaron seis variedades de chile manzano para identificar aquellos que tuvieran características deseadas (estatura baja, entrenudos cortos, rápida acumulación de biomasa, alto índice de cosecha, buena calidad de fruto y alta proporción de fotosintatos) con la finalidad de determinar las que podrían ser los progenitores de un híbrido, todas mostraron alguna ventaja sobre las otras, se concluyó que las variaciones fisiológicas y agronómicas observadas, entre seis tipos de chile manzano, permiten proporcionar un ideotipo para un sistema intensivo de producción bajo condiciones de invernadero; debe tener una proporción relativamente alta de crecimiento en la fase vegetativa; intermedios o bajos valores de crecimiento y área foliar durante la producción de frutos, entrenudos cortos, fruta larga con pericarpio grueso, alto rendimiento de fruto y altos índices de cosecha. Lo anterior indica las características deseables de calidad de las plantas de chile manzano.

2.5.3.1. Grosor del pericarpio

Es una característica del fruto que le permite resistir el transporte y manejo durante el mercadeo. Los frutos poseen gran cantidad de agua, por lo que su manejo debe ser cuidadoso para evitar rupturas y daños. Se prefieren frutos con pericarpio grueso de 4 a 6 mm de espesor, esto da firmeza y resistencia (Juárez, 1999). En estudios realizados por Cuevas (1999) se encontró que al evaluar grosor del pericarpio en la parte ecuatorial de frutos de chile manzano, el tratamiento que alcanzó el mayor grosor de pericarpio fue de 2000 ppm, con tres aplicaciones de B-9 y en estudios realizados por Pérez y Castro (2008) se encontró que el grosor del pericarpio en la parte ecuatorial del fruto, varía de 2 a 6 mm.

2.5.3.2. Firmeza

Para obtener frutos firmes es necesario un suministro adecuado de Ca hacia los frutos y está relacionado con la temperatura adecuada para cada cultivo (De Kreij, 1995); Papadopoulos (2004) menciona que las temperaturas altas en frutos de jitomate incrementan el número de frutos deformes o suaves reduciendo la firmeza, así mismo menciona que los frutos producidos con baja humedad relativa son más firmes; y Cuevas (1999), al analizar algunos aspectos de calidad en el cultivo de chile manzano, entre ellos la firmeza del fruto, encuentra que en esta característica no se presentan diferencias estadísticas significativas, al realizar aplicaciones de B-9. Por otra parte, el incremento en las concentraciones de CO₂ tiene efecto casi nulo sobre la firmeza del fruto durante el verano (Nederhoff, 1994).

2.5.3.3. Sólidos solubles totales

Entre los componentes químicos más usuales que se determinan en frutas y hortalizas se encuentran la acidez titulable y los sólidos solubles totales. Asociado a la acidez titulable se encuentra el pH. La acidez titulable se mide neutralizando los jugos o extractos de frutas con una base fuerte, el pH se incrementa durante la neutralización y la acidez titulable se calcula a partir de la cantidad de base necesaria para alcanzar el pH del punto final de la prueba (Bosquez, 1992).

En plantas de chile pimiento (*Capsicum annum* L.) debido a la morfología de su sistema radicular, es exigente a la humedad del suelo y un exceso de humedad reduce el contenido de sólidos solubles totales (Gámez, 1989).

La intensidad de luz recibida por las plantas afecta la cantidad de azúcares solubles, produciendo un incremento (Janse, 1984), así como en ácido ascórbico (Davies y Hobson, 1981).

Li *et al.*, (1999) observaron que una alta concentración de CO₂ (1200 ppm) incrementa ligeramente la cantidad de sólidos solubles totales de plantas de jitomate que crecen bajo condiciones de alta salinidad (5.2 y 7.0 mS cm⁻¹).

2.5.3.4. Ácido ascórbico

Desde el punto de vista práctico los sólidos solubles totales, así como la acidez titulable son de los componentes más útiles en el campo de la fisiología postcosecha de frutas y hortalizas por que constituye un parámetro preciso y confiable para la determinación del estado de madurez adecuado para la cosecha de algunas frutas como cítricos y uvas; es decir, se emplean como referencia del estado de madurez postcosecha y como información objetiva relacionada con el sabor (Bosquez, 1992).

El género *Capsicum*, entre las hortalizas, es considerado el que contiene mayor cantidad de ácido ascórbico, estimando un promedio de 150 mg en fruto (Baudui, 1993). Ibar y Serrat (1989) en pimiento fresco describen el contenido bromatológico y encuentran que el ácido ascórbico se concentra 120 mg en 100 g de fruto y Castaños (1999), encuentra un contenido de 242.5 mg en 100 gramos de fruto en la composición nutritiva de pimiento.

En *Capsicum annum* L. existe correlación entre el contenido de ácido ascórbico y concentración de Ca. El nitrato de calcio en la solución nutritiva hace disminuir el contenido de Ca y concentración de ácido ascórbico en frutos, no así para frutos cultivados con 50 mM de NaCl, de acuerdo a lo estudiado por Walker *et al.*, (1980). También Giovanelli *et al.*, (1998) mencionan que la acumulación de ácido ascórbico es mayor bajo deficiencia de N.

El ácido ascórbico o vitamina C probablemente se encuentra distribuido universalmente en todos los tejidos de las plantas (Davies *et al.*, 1969). Ayranci y Tunc (2003) explican que la posible aplicación de ácido ascórbico sobre *Capsicum annuum* L. resalta el efecto antioxidante. La hidrosolubilidad del ácido ascórbico y la fácil oxidación a ácido deshidroascórbico, lo hacen ser un antioxidante importante (Mathews, 2002). Este efecto también es atribuido a la baja presencia de oxígeno permeable. Guardando O en el exterior de *Capsicum annuum* L., retarda la deteriorativa reacción de oxidación de ácido ascórbico. La carga de los tejidos vegetales es fácilmente convertida en ácido dehidroascórbico por oxidación, la mayor parte del ácido naturalmente presente en los vegetales se presenta en forma reducida. En los vegetales, la síntesis de ácido ascórbico se forma a partir de una hexosa sin dividirse su cadena de carbono y que la D-glucosa y D-galactosa son los únicos azúcares que pueden actuar como precursores. La conversión de estos D-azúcares en ácido L-ascórbico debe aplicar o bien, una inversión de los grupos en el C5, o bien una reducción en el C1 acompañada de la oxidación en el C6, de modo que C6 se convierte en el carbono de referencia. En el último caso la representación convencional de la molécula se invertirá completamente y se convertirá en C1.

Davies *et al.*, (1969) mencionan que se tiene la impresión de que los vegetales pueden convertir la galactosa en ascorbato a través de sus ácidos urónico y aldónico y que existe una vía similar para la glucosa. Además hay un camino completamente diferente desde la hexosa al ascorbato, en el que el cambio de la configuración D a la L se logra por una inversión en el C5 (Davies *et al.*, 1969).

Avalos *et al.*, (2007) indican que la intensidad el corte que se realice en frutos de pimientos cherry afecta la evolución del contenido de ácido ascórbico de estos productos y por lo tanto la capacidad antioxidante, al estudiar frutos refrigerados a 10°C durante 10 días, en las modalidades de enteros, sin corazón y cortados por mitad, éstos últimos perdieron mayor cantidad de ácido ascórbico.

2.5.3.5. Acidez titulable

El uso de la técnica de película de nutrientes (NFT) comparada con el sistema tradicional en suelo, incrementa las concentraciones de ácidos titulables en frutos según estudios de Benoit y Ceustermans, 1987), de igual manera Adams y Winsor (1976) encontraron que las plantas crecidas bajo el sistema NFT, en comparación con aquellas crecidas en sustratos sólidos, producen frutos con mayor contenido de ácidos titulables y en fruto de jitomate en estado rojo, observaron que el contenido de acidez titulable disminuye con el aumento de la intensidad luminosa en la estación de primavera.

Davies y Winsor (1976) observaron una respuesta positiva de las plantas de jitomate al K en términos de acidez titulable. También una proporción alta de K:Ca, incrementa la acidez a tiempo de que reduce el contenido de azúcares (Janse y Gielesen, 1991). Y altos contenidos de N incrementan la concentración de ácidos en el fruto (Papadopoulus, 2004).

2.5.3.6. Color de la epidermis

Colorímetro de sensor óptico (Hunter Lab D25A). Se generan lecturas de color dando tres variables $L^*a^*b^*$, cuyo principio se basa en la medición de longitudes de onda reflejadas por dos haces de color opuesto. El haz de luz reflejado por la muestra es captado por un sensor que es capaz de detectar la longitud de onda, intensidad y opacidad. Los valores son transformados a valores de luminosidad (L), Chroma (pureza de color, C) y ángulo Hue (tinte o ángulo de tono, H°) (Mc Guire, 1992).

La luminosidad es la capacidad de reflejar la luz a partir del valor L dado por el colorímetro, el parámetro L incluye valores de 0-100, donde 0 = negro y 100 = blanco. El parámetro C es el Chroma o saturación del color (intensidad) que describe los grados de absorción selectiva, los valores cercanos al 0 indican mayor intensidad del color. El valor de Chroma es de 0 en el centro e incrementa acorde con la distancia del centro, se obtuvo con la fórmula: $Hue = \tan^{-1} (b/a)$. El colorímetro se calibra con una lamina blanca de reflectancia estándar ($x = 80.1$, $y = 82.1$ y $z = 94.4$) y una lámina negra (www.colorpro.com/info/tools/convert.htm).

En tratamientos con aire seco, desde 50 a 90°C Vega-Gálvez *et al.*, (2009) estudiaron que a bajas temperaturas (50, 60 y 70°C), los parámetros de color (L, C y H) son afectados por dichas temperaturas con aire seco, lo que contribuye a la decoloración de *Capsicum annuum* L. var. Hungarian durante este proceso.

2.5.4. Composición nutritiva de chile manzano

De todos los órganos vegetativos de la planta, las hojas han mostrado ser las que dan una información más precisa de la absorción de nutrimentos. De acuerdo a Argos *et al.*, (1996) los valores de referencia de la concentración mineral en hoja de chile son los que se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Niveles de macro y microelementos en hojas de chile (Argos *et al.*, 1998).

Nutrimento	Alto	Adecuado	Bajo
N (g·Kg ⁻¹)	51.0	31.5-50.0	0-30.0
P (g·Kg ⁻¹)	10.1	3.6-10.0	0-3.5
K (g·Kg ⁻¹)	60.1	40.1-60.0	0-40.0
Ca (g·Kg ⁻¹)	40.1	20.1-40.0	0-20.0
Mg (g·Kg ⁻¹)	10.1	3.1-10.0	0-3.0
S (g·Kg ⁻¹)	7.1	3.1-7.0	0-3.0
Mn (mg·g ⁻¹)	101	31-100	0-30
Fe (mg·g ⁻¹)	301	81-300	0-80
Cu (mg·g ⁻¹)	31	9-30	0-8
B (mg·g ⁻¹)	81	26-80	0-25
Zn (mg·g ⁻¹)	151	31-150	0-30

Werner (2000) indicó que en los análisis dietéticos practicados por el Departamento de Nutrición del Ministerio de Salud del Perú en 1978 encontraron los valores que se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Composición nutritiva del chile manzano en fresco (Werner, 2000).

Por 100 g de peso neto	Mínimo	Máximo
Agua	20.7 g	93.1 g
Hidratos de carbono	5.3 g	63.8 g
Proteínas	0.8 g	6.7 g
Extracto etéreo	0.3 g	0.8 g
Fibra	1.4 g	23.2 g
Cenizas	0.6 g	7.1 g
Calcio	7.0 mg	116.0 mg
Fósforo	31.0 mg	200.0 mg
Hierro	1.3 mg	15.1 mg
Caroteno	0.03 mg	25.2 mg
Tiamina	0.03 mg	1.09 mg
Riboflavina	0.07 mg	1.73 mg
Niacina	0.75 mg	3.30 mg
Ácido ascórbico	14.4 mg	157.5 mg
Calorías	23.0	233
Capsaicina	150 mg	33.5 mg por g de peso fresco

2. 6. Conclusión de la revisión de literatura

Una alternativa para disminuir los efectos adversos al ambiente de producción, es practicar el sistema intensivo de chile manzano, en el que se incluya el uso de invernaderos, sustratos, manejo de soluciones nutritivas adecuadas, entre otros componentes técnicos que van encaminados a obtener altos rendimientos y calidad de fruto por unidad de superficie.

El chile manzano es una hortaliza, poco cultivada en México, ya que hace falta difusión respecto al manejo del cultivo. Se manejan soluciones nutritivas que muchas veces no están totalmente probadas, las cuales hasta el momento no se han evaluado con respecto al PO, que puede influir en diversos aspectos del cultivo, como lo es la absorción nutrimental, la riqueza de sus

contenidos nutrimentales en los diversos órganos de la planta, y en especial en el fruto, mismo que puede presentar mermas en rendimiento, por el mal manejo del PO, e incluso puede presentarse mala calidad, como lo es el bajo peso o la poca firmeza de los frutos, entre otras cosas.

Se han realizado varios estudios sobre potenciales osmóticos, que en su mayoría muestran resultados favorables al aumentar el PO, ya que se mejora la absorción nutrimental, en presencia de sales solubles aplicadas con moderación, ya que si se excede de sales en la solución nutritiva, se disminuye generalmente el rendimiento en los cultivos no tolerantes a salinidad, como lo es el chile manzano. Entre los estudios realizados, destaca en gran parte el jitomate, que es una hortaliza que al igual que el chile manzano, se ve afectada por el PO; sin embargo, en este último cultivo, hace falta un estudio que efectivamente muestre la importancia de mantener la solución nutritiva en óptimas condiciones salinas para su óptimo desarrollo.

En la presente investigación, se tomo en cuenta la genética de los cultivares, el ambiente y el manejo agronómico, influyen en el comportamiento y desarrollo del chile manzano; por lo tanto, se tuvieron los cuidados necesarios para controlar los factores que estuvieron al alcance, para no tener sesgo en la investigación; ya que los efectos que pueden producirse, no necesariamente se comportan igual a los estudios citados con anterioridad, sobre jitomate, melón, vid, entre otros.

III. OBJETIVO E HIPITESIS

3.1. Objetivo general

Determinar el valor óptimo de potencial osmótico de la solución nutritiva, que permita una buena absorción nutrimental para incrementar la calidad del fruto de chile manzano desarrollado en hidroponía.

3.2. Hipótesis general

El potencial osmótico óptimo para la absorción nutrimental y para mejorar calidad de fruto de chile manzano, corresponde a valores menores de -0.072 MPa.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Localización del experimento

El trabajo experimental se realizó en un invernadero de las instalaciones de la UACH, en Texcoco, Estado de México. La fase analítica se llevó a cabo en el laboratorio de frutales del departamento de Fitotecnia de la misma Universidad.

4.2. Material vegetativo

El material vegetativo usado fue semilla de chile manzano de las variedades Puebla y Zongolica; la variedad Puebla tiene tallos de entrenudos largos, hojas y frutos grandes con pericarpio grueso, de color amarillo, forma cúbica o de manzana y de ciclo de crecimiento indeterminado. La variedad Zongolica tiene porte bajo (2.7 m) y entrenudos cortos (10 cm), frutos amarillos, de forma variada, que puede ser forma de pera o de manzana.

4.3. Producción de plántula

Antes de llevar a cabo la siembra, la semilla de chile manzano se remojó con agua destilada durante 24 horas, para reblandecer la testa lo cual permitió que germinara en aproximadamente doce días.

La producción de plántula se efectuó en charolas de unicel de 200 cavidades como sustrato se empleo peat moss, en el momento que las plantas tuvieron 4 hojas verdaderas, entonces se cambiaron a vasos de unicel del No. 10. Durante la fase de plántula, se mantuvo un 80% de humedad en el sustrato, la cantidad de agua que se necesitó estuvo en función de las condiciones de temperatura, radiación y humedad ambiental. A la aparición de las primeras hojas verdaderas se aplicó la SNUS diluida al 25% (-0.018 MPa).

4.4. Establecimiento y conducción del experimento

4.4.1. Diseño experimental

El experimento se estableció en el ciclo primavera-verano de 2007, la siembra se realizó el 10 de mayo, se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar, cada una de las dos variedades de chile manzano con cinco niveles de PO (Cuadro 5), cinco repeticiones, con lo cual se obtuvieron 50 unidades experimentales.

Cuadro 5. Tratamientos para el experimento sobre PO en absorción nutrimental y calidad de fruto de chile manzano

Tratamiento	Variedad	Potencial osmótico (MPa)
P-0.036	Puebla	-0.036
Z-0.036	Zongolica	-0.036
P-0.054	Puebla	-0.054
Z-0.054	Zongolica	-0.054
P-0.072	Puebla	-0.072
Z-0.072	Zongolica	-0.072
P-0.090	Puebla	-0.090
Z-0.090	Zongolica	-0.090
P-0.108	Puebla	-0.108
Z-0.108	Zongolica	-0.108

4.4.2. Transplante

El transplante se llevó a cabo cuando las plantas tenían seis hojas, a los 60 dds. Los contenedores fueron bolsas de polietileno bicolor (color negro en la parte interna y blanco por la parte externa) calibre 700 de 40 cm de alto y 40 cm de ancho con orificios en la base para permitir un buen drenaje en caso de un exceso de riego, ya que el sistema hidropónico fue en sistema abierto. Como sustrato se utilizó el tezontle rojo con granulometría de 0.1 a 10 mm.

4.4.3. Solución nutritiva

Previo al establecimiento del almácigo, se efectuó un análisis químico del agua a partir del cual se elaboraron las soluciones nutritivas, para considerar los iones aportados y balancear las concentraciones nutrimentales. Posteriormente se prepararon soluciones nutritivas a partir de la SNUS con concentraciones al 50, 75, 100, 125 y 150% (Cuadro 6). El cálculo del PO se realizó a partir de la conductividad eléctrica para considerar el contenido total de sales en el agua. Las soluciones nutritivas fueron suministradas desde el momento del transplante hasta la cosecha.

Cuadro 6. Composición química de las soluciones nutritivas a utilizar en el estudio de PO en la absorción nutrimental y calidad de fruto en chile manzano

Concentración de la SNUS (%)	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO
	meq·L ⁻¹						MPa
50	4.5	3.5	2	6	0.50	3.5	-0.036
75	6.75	5.25	3	9	0.75	5.25	-0.054
100	9	7	4	12	1	7	-0.072
125	11.25	8.75	5	15	1.25	8.75	-0.090
150	13.5	10.5	6	18	1.5	10.5	-0.108

P O = Potencial Osmótico de la solución nutritiva

Las fuentes de fertilizantes que se usaron para la adición de macronutrientes fueron las siguientes: nitrato de calcio, nitrato de potasio, sulfato de magnesio, sulfato de potasio y ácido fosfórico (Cuadro 7).

Cuadro 7. Fuentes de macronutrientes para la solución nutritiva Steiner completa en el experimento sobre PO en la absorción nutrimental y calidad de fruto en chile manzano.

Fertilizante	Steiner 100 %	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
	-----meq·L ⁻¹ -----						
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	9	9				9	
KNO ₃	3	3			3		
K ₂ SO ₄	4			4	4		
MgSO ₄ ·7H ₂ O	4			4			4
H ₃ PO ₄	1		1				

Para los micronutrientos, se utilizaron en grado reactivo las fuentes que se presentan en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Fuentes de micronutrientos para la solución madre en el estudio de PO en la absorción nutrimental y calidad de fruto en chile manzano

Reactivo	mg L ⁻¹	g L ⁻¹
H ₃ BO ₃	0.5	2.8
MnSO ₄ ·H ₂ O	0.7	2.2
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.09	0.4
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.02	0.08
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0.04	0.1
Fe-EDTA (7 % Fe)	3	43

De ésta solución se utiliza un mL por cada L de solución nutritiva a preparar.

La aplicación de la solución nutritiva se realizó por un sistema de riego por goteo, formado por una red de contenedores de 250 L que suministraron la solución nutritiva mediante válvulas y distribuyéndola a cada planta.

La distancia entre macetas fue de 50 cm y a 1.5 m de distancia entre hileras; se controló el paso de la solución nutritiva por medio de un sistema abierto. En cada tratamiento la solución se distribuyó mediante redes independientes.

4.5. Manejo del experimento

4.5.1. Manejo agronómico del cultivo

El cultivo fue conducido después de la bifurcación a dos tallos; el sistema de tutores consistió en colocar un par de maderas a cada extremo de las hileras de plantas de chile y se colocaron hilos de rafia a diferentes niveles a 20 cm de separación entre ellos.

La poda consistió en eliminar los tres primeros brotes que salieron debajo de la primera bifurcación del tallo principal y todas las ramas emitidas encima de la octava bifurcación, lo que ocurrió cuando la planta alcanzó 1.8 m de altura.

4.6. Variables evaluadas

4.6.1. Concentración nutrimental en tejido vegetal

El muestreo de hojas se realizó a los 180 días después el trasplante, tomando la hoja recientemente madura. Los frutos se analizaron a los 150 días después del trasplante. El N total en hojas se determinó por el método microkjeldahl (Bremner y Breitenbeck (1983) y el P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn, y B por el método de digestión húmeda para su posterior análisis mediante Espectrofotometría de Emisión Atómica de Plasma por Inducción Acoplada (AES-ICP) (Alcántar y Sandoval, 1999).

4.6.2. Firmeza

Se midió con un penetrómetro manual con puntera de 11 mm de diámetro en la región ecuatorial del fruto y los valores se expresaron en Kg cm².

4.6.3. Grosor del pericarpio

El grosor del pericarpio se midió en centímetros en la parte del “hombro” del fruto de chile manzano utilizando un vernier en cinco frutos de cada tratamiento.

4.6.4. Sólidos solubles totales

Se utilizó un refractómetro digital de mano Binko No. 12214 con escala de 0-32%, depositando gotas del jugo del fruto sobre la lente del aparato. La medición se realizó en cinco frutos en total de cada tratamiento del primer al tercer corte de frutos, siendo los valores expresados en °Brix que equivale a porcentaje.

4.6.5. Ácido ascórbico

Se utilizaron cinco frutos de cada tratamiento del experimento, se procedió a pesar 5 g de cada fruto muestreado, se molieron con 50 ml de ácido oxálico (0.5%), se tomó una alícuota de 5 mL de solución tillman hasta que la alícuota se tornara de color rosa y permaneciera durante un

minuto (AOAC, 1990). La solución tillman (DFI-2,6 diclorofenol indofenol) al 0.2%. Para la preparación de ácido oxálico 0.5% se disolvieron 5 g de ácido oxálico en 500 mL de agua destilada, se aforó a 1000 mL. De la solución madre de ácido ascórbico, se tomó una cantidad de 5 mL de solución a diferentes concentraciones y se realizó la titulación. Con la curva de vitamina C, que tiene por ecuación: $y = (7.3439) \cdot (x) / 3.3964$, se obtuvieron las cantidades de ácido ascórbico en porcentaje, de las muestras de fruto fresco, esta cantidad a través de regresión lineal, se obtuvo la equivalencia en 100 g de fruto fresco.

4.6.6. Acidez titulable

La medición se realizó por el método de AOAC (1990), en una muestra de 5 g de fruto, diluidos en 50 mL de agua destilada, se filtró, se midió el volumen total, se agregaron tres gotas de fenolftaleína al 1%, se tomó una alícuota de 10 mL, mediante titulación con una bureta digital utilizando NaOH al 0.1 N hasta obtener una coloración violeta que permaneciera por un minuto, se observó el gasto del NaOH 0.1 N.

Posteriormente se calculó el porcentaje de acidez titulable en base aqI ácido cítrico, utilizando la formula: $\% \text{ ácido} = (\text{mL NaOH} \cdot \text{N} \cdot \text{Meq. Ac} \cdot \text{V}) / (\text{peso de la muestra} \cdot \text{alícuota}) \cdot 100$.

Donde

N = Normalidad NaOH;

V = Volumen total (mL de extracto después de licuar)

Meq. Ac = Miliequivalentes del ácido que se encuentra en mayor proporción.

4.6.8. Color

Se realizó con un colorímetro marca Minolta, modelo CR 300. La lectura se tomó en la parte coloreada del fruto. Se midieron los parámetros “L*”, “a*” y “b*” de la escala tridimensional del sistema CIELAB. Los valores se expresaron como Ligth, Chroma y Hue.

4.6.9. Peso medio del fruto

En cinco frutos de cada unidad experimental, se pesaron uno por uno en balanza de precisión utilizando como unidad el gramo para ser analizados estadísticamente.

4.7. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se realizó por medio del programa computacional statistical analyses system versión 9.0. Los resultados obtenidos se sometieron al análisis factorial y de varianza. Para la comparación de medias, se usó el test de Diferencia Mínima Significativa (DMS) con un nivel de significancia del 5%.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Potencial osmótico de la solución nutritiva

El PO es una característica que fue preestablecida de acuerdo a las características de la SNUS que fueron formuladas mediante las cinco concentraciones como se indica en el Cuadro 6.

5.2. Macronutrientes

En los cinco niveles de PO evaluados se presentaron diferencias significativas en la concentración de macronutrientes, ya que durante el desarrollo del experimento se observaron deficiencias de algunos nutrientes (P, K, Mg), específicamente en los tratamientos con los niveles de PO más bajos (-0.036 y -0.054 MPa), los que se discutirán más adelante.

Cuadro 9. Concentración de macronutrientes en relación a cinco niveles de PO en el estudio de absorción nutricional y calidad de fruto de chile manzano

PO (MPa)	N	P	K	Ca	Mg
	----- % -----				
-0.036	4.38 b	0.12 b	2.27 b	1.49 a	0.67 a
-0.054	4.94 a	0.14 b	2.27 b	1.21 b	0.60 ab
-0.072	5.19 a	0.17 a	2.85 a	1.03 bc	0.59 ab
-0.09	5.21 a	0.17 a	2.44 ab	0.84 c	0.59 ab
-0.108	5.29 a	0.20 a	2.77 ab	0.86 c	0.54 b*
DMS	0.541	0.035	0.526	0.242	0.103
CV	8.466	16.921	16.341	17.475	13.521

*Valores con la misma letra son estadísticamente iguales. Con $\alpha = 0.05$; DMS = Diferencia mínima significativa; CV = Coeficiente de variación

De acuerdo a los diferentes valores de PO, se presentaron diferencias significativas en los contenidos de los macroelementos (Cuadro 9). Como factor, las dos variedades estudiadas no presentaron diferencias significativas, como se puede observar en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Concentración de macronutrientos en relación a variedades Puebla y Zongolica

Variedad	N	P	K	Ca	Mg
	----- % -----				
Puebla	4.96 a	0.17 a	2.45 a	1.13 a	0.59 a
Zongolica	5.04 a	0.16 a	2.59 a	1.03 a	0.61 a*
DMS	0.242	0.0156	0.235	0.108	0.046
CV	8.466	16.921	16.341	17.475	13.521

*Valores con la misma letra son estadísticamente iguales. Con $\alpha = 0.05$; DMS = Diferencia mínima significativa; CV = Coeficiente de variación

5.2.1. Nitrógeno

Se presentaron diferencias significativas en la concentración de N en hojas, las plantas que se desarrollaron en la solución nutritiva con -0.036 MPa mostraron valores inferiores a los otros cuatro tratamientos, sin embargo, en los cinco niveles de PO, se muestran incrementos en el contenido de N inversamente proporcionales al PO, es decir, que conforme aumenta el PO, disminuye el contenido de N en las hojas. Se observan adecuados niveles de N en el contenido de las hojas de las plantas, como se observa en el Cuadro 9, es decir, en todos los niveles de PO, se tuvieron valores adecuados para el desarrollo de las plantas de acuerdo a los estudios de Pérez y Castro (2008) donde establecen los niveles de suficiencia entre 5.1 y 5.4%.

Estadísticamente el contenido de N analizado por factor variedad, no representa diferencias significativas (Cuadro 10) a diferencia del factor PO.

5.2.2. Fósforo

La concentración de P en hojas con respecto a los niveles de PO, mostró diferencias significativas (Cuadro 9), y una relación inversamente proporcional. El P en todos los niveles de PO, registró bajos contenidos en las hojas, desde -0.072 a -0.108 MPa a pesar de haber sido estadísticamente superiores a los niveles de PO de -0.036 y -0.054 MPa, estos bajos niveles pueden atribuirse a que los contenidos de N son altos, aun más de lo que las plantas requieren y esto causó antagonismo con el P. Las cantidades de P son bajas, comparadas con los resultados de Pérez y Castro (2008) que encontraron niveles adecuados entre 0.74 y 0.85%, Jones *et al.*, (1991) para hortelizas menciona valores adecuados entre 0.2 y 0.4%.

5.2.3. Potasio

El contenido de K en hojas en respuesta a diferentes niveles de PO, mostró que el tratamiento que obtuvo los más altos contenidos de K fue con -0.072 MPa, seguido por -0.108 y -0.09 MPa, y los niveles más bajos correspondieron a -0.036 y -0.054 MPa que estadísticamente son inferiores a los anteriores. Estos niveles de concentración en las plantas, no mostraron deficiencias visuales en los tratamientos con -0.072, -0.09 y -0.108 MPa, a diferencia de los tratamientos con -0.036 y -0.054 MPa donde se observaron deficiencias sobre todo en las etapas posteriores a floración.

Como se observa en el Cuadro 9, los valores de K en hojas sometidas a PO, en este experimento son adecuados para el buen desarrollo de la planta de acuerdo a los valores mencionados por Jones *et al.*, (1991); y de acuerdo a los valores establecidos por Pérez y Castro (2008) entre 2.72 y 3.79% para el cultivo de chile manzano con hoja normales. No obstante, entre variedades no se encontraron diferencias significativas (Cuadro 10).

5.2.4. Calcio

El contenido de Ca en hojas fue directamente proporcional al nivel de PO, ya que el mayor contenido se observó en los tratamientos donde se aplicó -0.036 MPa siendo estadísticamente superiores a los tratamientos con -0.054 y -0.072 MPa; y entre todos ellos el nivel de PO que mostró ser menos eficiente en la absorción de Ca fue el de -0.09 MPa, seguido por -0.108 MPa.

Pérez y Castro (2008) mencionan que el contenido adecuado en hojas para chile manzano va de 4.87 a 5.15%, lo que indica que los niveles encontrados en este estudio, son insuficientes, ya que van desde 0.84 hasta 1.49%; sin embargo, Jones *et al.*, (1991) informa para diversas hortalizas que el Ca consta de una suficiencia de 0.3 a 1.0%, y en este caso, solo las plantas con PO de -0.09 y -0.108 MPa, presentan ligera deficiencia de Ca, esto puede ser posible, ya que entre esos PO, la absorción del nutrimento en la planta fue menor y en los otros tres tratamientos con mayor PO (-0.036, -0.054, y -0.072 MPa) no mostraron problemas visuales.

El comportamiento del Ca se debe a que contenidos altos del nutrimento en la solución nutritiva, disminuyen el PO y la raíz de la planta se encuentra con dificultad para absorberlo, en caso contrario, si la planta es regada con solución muy diluida, el Ca tiene más posibilidades de ser absorbido por que el PO es mayor.

Rubio *et al.*, (2009) estudiaron los efectos de fertilización con K y Ca en la producción de Chile (*Capsicum annuum* L.), la incidencia de Blossom end Root y la calidad de frutos en plantas cultivadas bajo condiciones de moderada salinidad, con diferentes soluciones nutritivas. La salinidad disminuyó el total de frutos producidos y comercializables en 23% y 37% respectivamente. La producción de fruto comercializable en tratamientos salinos se redujo principalmente debido al incremento en el número de frutos afectados por Blossom end Root.

López y López (2004) mencionan que bajas concentraciones de CaCl aumentan el contenido de ácido ascórbico en frutos de chile pimiento; en contraste, en el presente estudio se encontró que existe correlación negativa entre el contenido de Ca en la planta, y la concentración de ácido ascórbico.

5.2.5. Magnesio

Se pudo observar que las plantas que absorbieron mayor cantidad de Mg fueron las de tratamientos con mayor PO (-0.036 MPa), se obtuvo así que existen diferencias significativas con relación al nivel de PO entre -0.036 y -0.108 MPa, este más bajo nivel de PO (-0.108 MPa) es estadísticamente igual a los tratamientos con -0.54, -0.072 y -0.09 MPa, que a su vez, en cuanto a contenido de Mg son iguales estadísticamente con los contenidos en las plantas con -0.036 MPa, es decir, solo existen diferencias estadísticas con respecto al Mg entre las plantas con PO de -0.036 y -0.108 MPa. Estas diferencias se deben al igual que en Ca, a que el PO influye de manera directa en la absorción de Mg, pues se presenta una tendencia de relación directamente proporcional entre el contenido del nutrimento en las hojas y el PO.

Los valores de suficiencia de las hojas normales van de 2.73 a 3.55% de acuerdo a lo que establecen Pérez y Castro (2008) y Argos *et al.*, (1998) son superiores a los resultados de este

estudio, ya que van desde 0.54 a 0.67% de concentración en hojas, observándose ligeras deficiencias visuales del nutrimento, en las planas crecidas con PO de -0.108 MPa. Jones *et al.*, (1991) mencionan que la mayoría de las hortalizas tienen suficiencia con valores alrededor de 0.25%, que son valores aun menores a los obtenidos en esta investigación.

5.3. Micronutrientos

Tomando en cuenta los cinco niveles de PO evaluados, se presentaron diferencias significativas en los micronutrientos, a pesar de que en todos los tratamientos la aplicación fue en igual concentración, sin embargo, los nutrimentos pueden variar por haber sufrido antagonismos o sinergismos con otros nutrimentos incluso macronutrientos.

Cuadro 11. Concentración de micronutrientos en relación a cinco niveles de PO en el estudio de absorción nutrimental y calidad de fruto en chile manzano.

PO (MPa)	Fe	B	Cu	Mn	Zn
	----- mg kg ⁻¹ -----				
-0.036	126.16 ab	44.39 a	6.92 b	67.44 a	48.15 a
-0.054	121.89 ab	41.99 ab	6.96 b	52.59 b	41.07 abc
-0.072	134.59 a	36.68 b	9.35 a	53.60 b	43.22 ab
-0.09	107.99 b	41.80 ab	9.40 a	48.54 b	34.46 c
-0.108	113.38 ab	36.46 b	7.08 b	41.86 b	39.08 bc*
DMS	22.535	7.103	2.059	11.910	7.332
CV	14.605	13.812	20.288	17.657	13.934

*Valores con la misma letra son estadísticamente iguales. Con $\alpha = 0.05$; DMS = Diferencia mínima significativa; CV = Coeficiente de variación

En las plantas tratadas con los diferentes PO, se presentaron diferencias significativas en los contenidos de los micronutrientos (Cuadro 11), como se mencionó anteriormente; no así entre las dos variedades estudiadas como factor (Puebla y Zongolica), ya que entre ellas no se detectaron diferencias significativas más que en Fe y Zn, lo cual se detalla más adelante.

Cuadro 12. Concentración de macronutrientes en relación a variedades Puebla y Zongolica en el estudio de PO en la absorción nutrimental y calidad de fruto en chile manzano

Variedad	Fe	B	Cu	Mn	Zn
	----- mg kg ⁻¹ -----				
Puebla	114.44 b	38.92 a	7.72 a	51.32 a	38.22 b
Zongolica	127.26 a	41.60 a	8.17 a	54.30 a	44.22 a*
DMS	10.086	3.179	0.921	5.330	3.282
CV	14.605	13.812	20.288	17.657	13.934

*Valores con la misma letra son estadísticamente iguales. Con $\alpha = 0.05$; DMS = Diferencia mínima significativa; CV = Coeficiente de variación

5.3.1. Hierro

En el Cuadro 11 se puede observar que la concentración más alta corresponde al PO con -0.072 MPa, y la más baja corresponde a -0.09 MPa, habiendo diferencias significativas entre estos dos niveles.

Los otros tres niveles de PO (-0.036, -0.054 y -0.108 MPa) son intermedios en los resultados y sin diferencias significativas entre ellos respecto a -0.072 MPa, y a -0.09 MPa de PO, donde tampoco son diferentes significativamente.

En el factor variedad se encontró diferencia significativa (Cuadro 12) ubicando las mayores concentraciones de Fe en la variedad Zongolica, sobre la variedad Puebla.

Se encontraron concentraciones de Fe entre 134.59 y 107.99 mg kg⁻¹, estos valores se ubican dentro de la suficiencia que establece Pérez y Castro (2008) de 94 a 101 mg kg⁻¹ para chile manzano al igual que entre los valores que menciona Argos *et al.*, (1998).

5.3.2. Boro

Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, con el mayor PO (-0.036 MPa), se presentaron mayores concentraciones del micronutriente en las hojas con 44.39 mg kg⁻¹, a partir de ahí la concentración disminuye, hasta PO con -0.072 MPa y volvió a incrementarse un

en el punto de -0.09 MPa disminuyendo por último en el menor PO (-0.108 MPa) con 36.46 mg kg⁻¹. La tendencia de este micronutriente puede considerarse que el PO es proporcional al contenido de B, ya que entre menos PO, menor es la concentración en hojas, salvo por el PO de -0.09 MPa, donde se rompe la tendencia.

Las concentraciones de B en las hojas, se encuentran dentro de los intervalos que menciona Argos *et al.*, (1998) y Jones *et al.*, (1991) de 20 a 70 mg g⁻¹, es así que en todos los tratamientos, se contó con las cantidades adecuadas de este micronutriente.

Con respecto al factor variedad, se comportó distinto que con el factor PO, ya que entre la variedad Puebla y Zongolica no existieron diferencias significativas (Cuadro 12).

5.3.3. Cobre

La mayor concentración de Cu en las hojas se determinó en PO de -0.072 y -0.09 MPa, con diferencias significativas respecto a los otros niveles de PO (-0.036, -0.054 y -0.108 MPa). En los tratamientos a pesar de haber diferencias significativas en el factor PO, no existieron deficiencias nutrimentales de Cu (Cuadro 11), sin embargo, Pérez y Castro (2008) encontraron que los niveles de suficiencia del micronutriente van de 24 a 31 mg kg⁻¹. Con respecto al factor variedad no se observaron diferencias significativas (Cuadro 12).

5.3.4. Manganeso

El comportamiento fue directamente proporcional al PO, ya que conforme disminuye el PO, también disminuye el contenido de este micronutriente. Los resultados muestran que existe diferencia significativa entre los tratamientos con -0.036 MPa con respecto a los otros con PO menor, donde las concentraciones son menores. Para el caso del factor variedad no se encontraron diferencias significativas (Cuadro 12).

Silver (2009) aplicando cuatro concentraciones de Mn (0, 0.2, 0.6 y 1 mg L⁻¹) en plantas de Chile (*Capsicum annuum* L.), encontró que el efecto de la aplicación no representa diferencias

significativas y no se observaron síntomas visuales de deficiencia de Mn en las hojas, sin embargo, al aplicar una regresión cuadrática se maximizó la producción de alta calidad, con 44 mg kg^{-1} . La regresión cuadrática de Silver *et al.*, (2009) coincide con este estudio en los resultados obtenidos en los tratamientos con PO de -0.09 y -0.108 MPa , por lo que con todas las concentraciones de Mn utilizadas se pueden obtener frutos de buena calidad; los resultados en chile manzano se encuentran entre los intervalos de suficiencia de Jones *et al.*, (1991) que van de 10 a 50 mg kg^{-1} ; a diferencia, Pérez y Castro (2008) en sus investigaciones encontraron para chile manzano, niveles de suficiencia de 355 a 366 mg kg^{-1} .

5.3.5. Zinc

En relación al factor PO, obtuvo diferencias significativas en las concentraciones de Zn, en promedio la mayor concentración se encontró en las plantas cultivadas con solución nutritiva de -0.036 MPa , es decir, el mayor PO con 48.15 mg kg^{-1} , sin embargo, el comportamiento de los demás tratamientos, no muestra una tendencia clara o uniforme; las menores concentraciones de Zn, se encontraron en los tratamientos con -0.09 MPa de PO con 34.45 mg g^{-1} . Los otros tres PO tienen concentraciones intermedias, pero en todos los casos las son suficientes para abastecer los requerimientos de las plantas, y coinciden con los niveles de suficiencia establecidos por Argos *et al.*, (1998) y por Jones *et al.*, (1991) entre 15 y 50 mg kg^{-1} para hortalizas.

Se encontraron resultados en el factor variedad, donde se puede observar que en la variedad Zongolica, se encuentran concentraciones de Zn superiores estadísticamente (44.22 mg kg^{-1}) a las concentraciones de la variedad Puebla (38.22 mg kg^{-1}) (Cuadro 12).

5.4. Variables de calidad

5.4.1. Peso medio de fruto

Una de las variables de calidad importantes es el peso medio de fruto, regularmente se prefieren frutos grandes y pesados; en las variedades estudiadas se obtuvieron frutos grandes y medianos, sin embargo, la variedad Puebla presenta los frutos más pesados con promedio de 39.47 g y la variedad Zongolica con 37.47 g .

Se observaron diferencias significativas entre el factor PO, ya que estadísticamente los PO -0.09 y -0.108 MPa, con 40.24 y 39.81 g respectivamente, son superiores en peso medio de fruto, con relación a los pesos de los frutos de las plantas sometidas a -0.036 MPa, con un promedio de 35.66 g. Los PO que produjeron los frutos intermedios e iguales estadísticamente son -0.054 y -0.072, ya que no muestran diferencias significativas con respecto a los más altos, ni con respecto a los más bajos, como se muestra en el Cuadro 13, donde también se puede observar que entre el peso medio de fruto y el PO, existe una relación inversamente proporcional, ya que conforme disminuye el PO, se incrementa el peso medio del fruto, esta característica cambia su tendencia en PO de -0.09 MPa, donde disminuyó el PO y también disminuyó ligeramente el peso medio de fruto.

Rubio *et al.*, (2009) encontraron que en condiciones salinas un incremento de K reduce el peso de fruta fresca, comportamiento que presentó este estudio donde a partir de PO -0.09 MPa, donde la solución nutritiva se encuentra en condiciones salinas y con mayor concentración de K, tiende a disminuir el peso medio de fruto cuando se alcanza el PO de -0.108 MPa, como se observa en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Variables de calidad en relación a cinco niveles de PO de la solución nutritiva universal de Steiner en el estudio de chile manzano

Potencial Osmótico (MPa)	Peso medio de fruto (g)	Grosor del pericarpio (cm)	Firmeza (Kg·cm ²)	Sólidos Solubles Totales (° Brix)	Ac. Ascórbico (%)	Acidez titulable (%)	Raíz PMS♦ (g)
-0.036	35.660 b	1.084 a	4.373 a	6.32 b	244.335 c	0.056 c	34.567 c
-0.054	37.518 ab	1.068 a	4.467 a	6.052 b	251.678 bc	0.054 c	41.098 bc
-0.072	39.112 ab	1.068 a	4.513 a	6.958 a	269.891 ab	0.058 bc	58.288 ab
-0.09	40.242 a	1.074 a	4.484 a	7.236 a	273.593 a	0.062 ab	52.392 bc
-0.108	39.812 a	1.056 a	4.703 a	7.398 a	271.360 ab	0.068 a	71.875 a
DMS	3.788	0.046	0.344	0.461	21.758	0.006	17.928
CV	17.892	7.879	13.869	12.358	15.097	17.632	20.094
----- Color -----							
		Ligth		Chroma		Hue	
-0.036		55.138 a		57.698 a		75.671 a	
-0.054		53.967 a		56.693 a		74.374 a	
-0.072		54.042 a		58.496 a		75.133 a	
-0.09		54.196 a		55.923 a		75.936 a	
-0.108		54.456 a		56.612 a		74.695 a*	
DMS		1.231		2.645		1.804	
CV		4.119		8.429		4.367	

*Valores con la misma letra son estadísticamente iguales. Con $\alpha = 0.05$; ♦ Peso de materia seca; DMS = Diferencia mínima significativa; CV = Coeficiente de variación

5.4.2. Grosor del pericarpio

En el Cuadro 13, se observa que en grosor del pericarpio, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, con respecto al factor PO; con respecto al factor variedad tampoco se observaron diferencias estadísticas (Cuadro 14). Este parámetro fue tomado a la altura del “hombro” del fruto.

Cuadro 14. Variables de calidad en relación a las variedades Puebla y Zongolica en el estudio de chile manzano

Variedad	Peso medio de fruto (g)	Grosor del pericarpio (cm)	Firmeza (Kg·cm²)	Sólidos Solubles Totales (° Brix)	Ac. Ascórbico (%)	Acidez titulable (%)	Raíz PMS♦ (g)
Puebla	39.468 a	1.073 a	4.540 a	6.758 a	13.637 a	0.063 a	60.128 a
Zongolica	37.470 b	1.067 a	4.476 a	6.828 a	13.352 a	0.056 b	43.159 b
DMS	1.715	0.021	0.156	0.209	0.671	0.003	7.904
CV	17.892	7.879	13.869	12.358	15.097	17.632	20.094
----- Color -----							
		Ligth		Chroma			Hue
Puebla		54.487 a		57.080 a			74.749 b
Zongolica		54.230 a		57.088 a			75.575 a*
DMS		0.5579		1.199			0.8178
CV		4.119		8.429			4.367

*Valores con la misma letra son estadísticamente iguales. Con $\alpha = 0.05$; ♦ Peso de materia seca; DMS = Diferencia mínima significativa; CV = Coeficiente de variación

5.4.3. Firmeza

De acuerdo a Rubio *et al.*, (2009) los parámetros de calidad de frutos son afectados por tratamientos salinos donde la firmeza de la pulpa de la fruta disminuye; en el presente estudio, se muestra este tipo de tendencia, aunque no representan diferencias significativas, como se muestra en el Cuadro 13., donde se observa que los niveles de PO no tienen diferencias significativas, al igual que entre las variedades estudiadas (Cuadro 14).

5.4.4. Sólidos solubles totales

El comportamiento de los sólidos solubles totales, se presentó con concentraciones bajas, a PO altos y viceversa, obteniéndose diferencias significativas como se observa en el Cuadro 13, donde también se puede verificar que del PO de -0.072 PMA hacia PO más bajos (-0.09 y -0.108 MPa), la cantidad de sólidos solubles totales va incrementando.

En estudios realizados por Pino *et al.*, (2007) en Chile habanero (*Capsicum chinese* Jack), se encuentran en los frutos entre 4.6 y 9.1 °Brix, similares a los valores de este estudio en chile manzano que oscilan entre 6.0 y 7.4 °Brix en los diferentes niveles de PO; valores que a su vez

difieren de los resultados obtenidos por Clemente (2004), quien estudio cinco híbridos de chile manzano y encontró cantidades de sólidos solubles totales, entre 1.08 y 1.44 °Brix, sin diferencias significativas.

Estudios realizados por López y López (2004) en Chile pimiento (*Capsicum annum* L.), en el que se asperjaron 0, 0.5, 1.0 y 1.5% de CaCl en los frutos, se evaluaron algunos aspectos de calidad, entre ellos la cantidad de sólidos solubles totales (°Brix), encontrando que el testigo concentró mayor cantidad de °Brix y en los tratamientos con CaCl, se registraron menores cantidades, esto se puede comparar con este estudio en chile manzano, ya que a mayores concentraciones de Ca y Mg en la solución nutritiva, menores son las cantidades de sólidos solubles totales.

Los parámetros de calidad de frutos son afectados principalmente por los tratamientos con K y Ca más que por los demás nutrimentos de la solución nutritiva. Es así como Rubio *et al.*, (2009) mencionan que cuando incrementa la concentración de Ca o disminuye la de K en la solución nutritiva, por la disminución de la concentración de fructuosa y glucosa en los frutos, disminuyen los sólidos solubles totales, lo que se corrobora en los resultados de este estudio, de acuerdo al comportamiento de las variables y en la correlación que existe entre el Ca y los °Brix (-0.85167, sin diferencia significativa), aunque la correlación entre los °Brix y el K sea menor (0.73367, sin diferencia significativa) (Cuadro 16).

Entre las variables Puebla y Zongolica, no se observaron diferencias significativas en relación a los sólidos solubles totales (Cuadro 14).

5.4.5. Ácido ascórbico

En el Cuadro 13, se muestra el contenido de ácido ascórbico o vitamina C, medido en los frutos sometidos a diferentes PO. Los valores encontrados se ubicaron entre los intervalos citados por Cruz-Pérez *et al.*, (2007) para los que el chile manzano variedad Puebla y Zongolica contienen entre 130.01 y 428.78 mg de ácido ascórbico cada 100 g de pulpa en peso fresco, respectivamente, dependiendo de la longevidad de los frutos. A diferencia, Clemente (2004)

evaluando cinco híbridos de chile manzano, encontró diferencias significativas pero con valores muy por debajo de los indicados, los cuales van desde 18.77 hasta 23.30 mg en 100 g de fruto a la cosecha, valores que fueron disminuyendo aun más en días posteriores a la cosecha.

El contenido de ácido ascórbico aumenta progresivamente conforme disminuye el PO hasta -0.09 MPa, donde cambia la tendencia y disminuye ligeramente con -0.108 MPa; en tanto que existen evidencias que indican que en chile manzano el mejor aprovechamiento de ácido ascórbico es a los 76 días del desarrollo del fruto, que corresponde con la cosecha comercial para consumo en fresco.

Así mismo Cruz-Pérez *et al.*, (2007) mencionan que en la variedad Zongolica, se obtuvieron valores más altos de ácido ascórbico que en la variedad Puebla. En este caso esta afirmación no fue verificada, pues la variedad Zongolica presentó menor contenido de ácido ascórbico, excepto en el PO de -0.09 MPa donde efectivamente la variedad Zongolica presentó niveles mayores, sin ser estadísticamente significativas las diferencias.

El ácido ascórbico es afectado por coloraciones y genotipos de *Capsicum annum* L.; en algunos cultivares incrementa y en otros disminuye, mientras se desarrolla el color en los frutos. Los chiles de coloraciones negra, púrpura y blanca contienen bajos contenidos de ácido ascórbico comparados con los de coloraciones verde, amarillo, rojo, café o naranja, de acuerdo a los estudios de Simonne *et al.*, (1997). Así se observa que en este estudio de chile manzano con variedades Puebla y Zongolica, ambos de color amarillo, el contenido promedio de ácido ascórbico, es alto (262.17 mg 100g de fruto fresco) por lo que de acuerdo a los resultados sería suficiente consumir diariamente un fruto de 22 a 25 g y de acuerdo a los estudios de Pérez y Castro (2008) es suficiente consumir frutos de 15 a 20 g, ya que obtuvieron concentraciones mayores de ácido ascórbico (332.8 mg 100g de fruto fresco). En *Capsicum annum* L., de acuerdo a lo establecido por Simonne *et al.*, (1997) se requieren frutos de 100 g para suplementar el requerimiento diario de 60 mg día⁻¹.

El contenido de ácido ascórbico para *Capsicum pubescens* R. y P., es considerablemente superior con respecto a cultivares de *Capsicum annum* L., como 730 F1 y 1245 F1, en las que Topuz y

Ozdemir (2007) encontraron valores entre 63.1–64.9 mg 100 g⁻¹ de peso de fruto fresco; y López-Hernández (1996) informa 24 mg 100 g⁻¹ en Chile Padrón (*Capsicum annum* L). Por lo anterior, se confirma que *Capsicum pubescens* R. y P., contiene mayores cantidades de ácido ascórbico con respecto a *Capsicum annum* L.

5.4.6. Acidez titulable

Se encontraron diferencias significativas con relación al PO, como se muestra en el Cuadro 13, donde se puede observar que los valores más altos de acidez titulable, se encontraron en los frutos sometidos a PO de -0.108 MPa, y los menores valores se encontraron en frutos cultivados con las soluciones nutritivas de -0.036 y -0.054 MPa.

En el Cuadro 14 se observa que el factor variedad presentó así mismo diferencias significativas, siendo la variedad Puebla con 0.063% la más alta y Zongolica con los valores más bajos de 0.055%, al someterlas a diferentes PO; estos valores son inferiores a los encontrados por Clemente (2004) que van de 0.23 a 0.41% en cinco híbridos de Chile manzano en los que encontró diferencias significativas.

En los análisis estadísticos sobre acidez titulable se encuentra que existe interacción entre los factores PO y variedad, esta interacción se puede observar en la Figura 1, que muestra diferencias significativas entre los tratamientos. Las diferencias más marcadas sobre la interacción, se pueden verificar en los niveles de PO de -0.09 y -0.108 MPa.

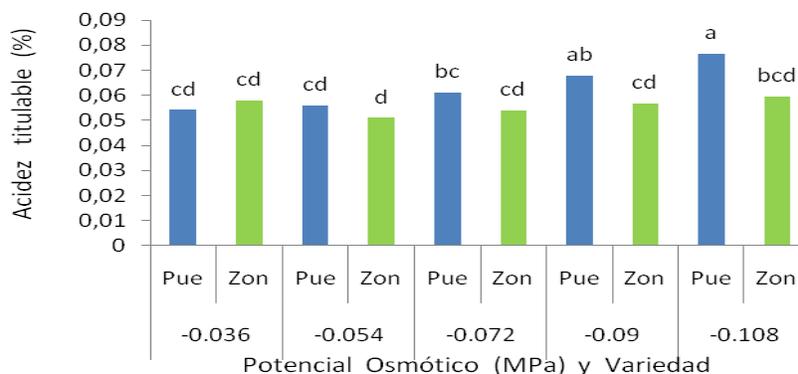


Figura 1. Interacción de potencial osmótico y variedades en acidez titulable (%) en folíolos de Chile manzano variedades Puebla y Zongolica. Barras con la misma letra para el factor PO son estadísticamente iguales Con $\alpha = 0.05$ y DMS de 195.5.

En esta interacción, se observó que el tratamiento que obtuvo el mejor sabor característico conferido por la astringencia y acidez (Nunes *et al.*, (1995), fue el tratamiento P-0.108 y a P-0.09, que corresponden a la variedad Puebla y los PO más bajos, sin embargo, por los demás tratamientos, no se observan diferencias entre una variable y otra.

5.4.7. Color del fruto

Se evaluó bajo los parámetros L (Ligth), C (Chroma), y H (Hue); con respecto a L y C, no se observan diferencias significativas, en los distintos tratamientos.

En estudios realizados por Pino *et al.*, (2007) en chile habanero (*Capsicum chinese* Jack), se indica que en los valores L de color, existe una extensa gama de brillantes entre cultivares, en el caso de chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.), se encontró que dichos valores van de 53.97, hasta 55.14, en relación al PO, no habiendo diferencias estadísticas entre las variedades Puebla y Zongolica (Cuadro 13). Dichos valores, son mayores y por lo tanto, más brillantes los frutos, en comparación con los estudios de Clemente (2004) que encontró valores de L entre 27.17 y 45.52 siendo ligeramente más opacos y sin diferencias significativas al momento de la cosecha aunque en días posteriores a la misma, encontró diferencias estadísticas debido a los cambios metabólicos que sufrieron en diferentes proporciones los híbridos de chile manzano.

En relación al chroma (pureza), sometido a los cinco PO, no existieron diferencias significativas y los valores van de 55.92 a 58.50, superiores (más puros y con mayor intensidad) a los encontrados por Clemente (2004) entre 32.95 y 51.53 unidades, en tres variedades de híbridos amarillos de chile manzano quien no encontró diferencias significativas el momento de la cosecha pero si al transcurso de 10 y 20 días después del corte de los frutos.

El factor PO, no influyó significativamente en el ángulo Hue del color de los frutos, los valores van de 74.37° a 75.94° y se ubican en el intervalo encontrado por Clemente (2004) que va de 29.48° a 80.36° en contraste, entre los valores de este autor, si hay diferencias significativas, como también lo hay en este estudio, pero con respecto al factor variedad donde Zongolica presentó los parámetros más altos, con 75.57° y la variedad Puebla, los menores con 74.75° del

ángulo Hue (Cuadro 14). Estos valores hubican a los frutos hacia la vertical del ángulo de tono amarillo.

Estos resultados se encuentran dentro de los colores amarillo brillante, lo que es de gran preferencia por los consumidores, quienes consideran calidad en ese aspecto aunque los frutos rojos también pueden ser muy deseables e incluso los colores anaranjados (Pérez y Castro, 2008).

5.4.8. Peso de materia seca en raíz

Se encontraron diferencias significativas en los dos factores (PO y Variedad), así como en la interacción de ambas; en el factor PO se observa una tendencia negativa, es decir, incrementos del peso de materia seca, conforme el PO disminuye, observándose en el Cuadro 13, que en -0.108 MPa en la solución nutritiva, se tienen las raíces con mayor peso de materia seca (71.88 g), y en -0.036 MPa las raíces con menor peso de materia seca (34.57 g).

Las diferencias con respecto a variedades, se presentan en el Cuadro 14, donde la variedad Puebla, presentó en sus raíces mayor peso de materia seca, (60.13 g), con respecto a la variedad Zongolica que en promedio obtuvo 43.16 g.

La interacción sobre el peso de materia seca entre el PO y variedad, se observa en la Figura 2, donde los valores más altos, se encuentran en los tratamientos de 0.072 MPa en la solución nutritiva con 86.63 g en la variedad Puebla; y con el PO de -0.108 MPa e igualmente con la variedad Puebla, con 80.80 g de peso de materia seca en las raíces.

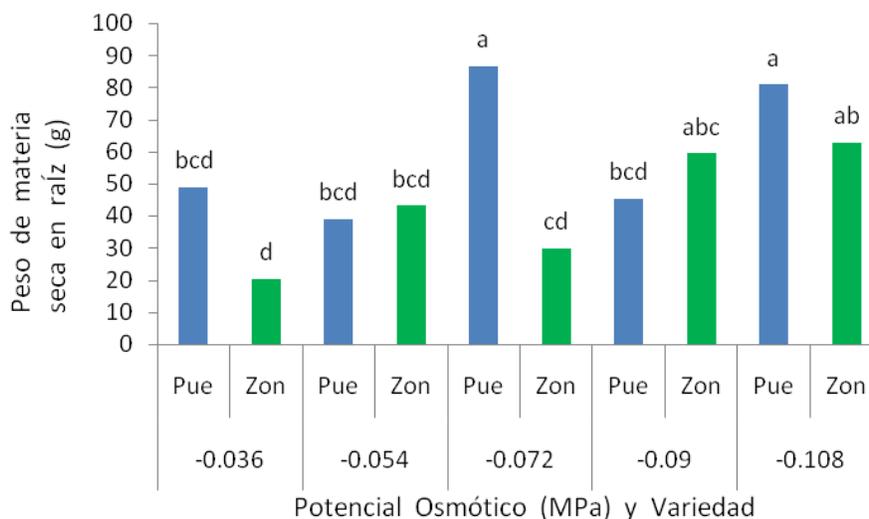


Figura 2. Interacción de PO y variedades en peso de materia seca en raíz (g) de chile manzano variedades Puebla y Zongolica. Barras con la misma letra para el factor PO son estadísticamente iguales Con $\alpha = 0.05$ y DMS de 195.5.

Los valores más bajos en peso de materia seca en raíz, se observaron en el tratamiento de 0.036 MPa de PO, en la variedad Zongolica con 20.30 g.

5.5. Correlaciones entre variables

Cuando se compara la relación que existe entre dos variables y/o factores se dice que existe correlación cuando se tiene influencia una de la otra, se dice que existe correlación negativa cuando la concentración de alguna variable se incrementa y la otra con que se está comparando disminuye a su vez, para las correlaciones positivas, conforme una variable y/o factor incrementa, la otra variable también incrementa.

Las correlaciones que se describen a continuación, son solo las que fueron significativas estadísticamente; lo correspondiente al PO en relación a los nutrimentos (Cuadro 15), se observó que existe correlación negativa con N, P, y Mn; correlación positiva con Ca, Mg y Mn. Se encontró correlación positiva entre el N y el macronutriente P y correlación negativa con Ca, Mg y Mn; el P presentó correlación negativa con los nutrimentos Ca y Mg; el K mostró correlación negativa con el micronutriente B; y se observó también una clara correlación positiva entre el Ca y el Mg al igual que con el Mn.

Cuadro 15. Correlaciones entre nutrientes en plantas de chile manzano

	N	P	K	Ca	Mg	Fe	B	Mn	Cu	Zn
PO	-0.8880 0.0442*	-0.9760 0.0045*	-0.671 0.2150	0.9516 0.0127*	0.8946 0.0404*	0.5954 0.2894	0.7204 0.1698	0.9294 0.0223*	-0.3325 0.5846	0.7734 0.1250
N	1	0.8838 0.0467*	0.7056 0.1831	-0.9586 0.0100*	-0.9340 0.0202*	-0.3570 0.5553	-0.7876 0.1137	-0.9271 0.0234*	0.5278 0.3607	-0.7810 0.1118
P	-	1	0.8125 0.0947	-0.9220 0.0259*	-0.8814 0.0481*	-0.4206 0.4808	-0.8282 0.0832	-0.8707 0.0547	0.3968 0.5084	-0.6516 0.2335
K	-	-	1	-0.6270 0.2575	-0.6998 0.1883	0.1853 0.7654	-0.9609 0.0092*	-0.556 0.3307	0.4315 0.4681	-0.1803 0.7717
Ca	-	-	-	1	0.8728 0.0534*	0.5583 0.3281	0.6730 0.2131	0.9198 0.0269	-0.5487 0.3382	0.8778 0.0503
Mg	-	-	-	-	1	0.3643 0.5467	0.8382 0.0762	0.9702 0.0061*	-0.1997 0.7474	0.6738 0.2123
Fe	-	-	-	-	-	1	-0.1137 0.8555	0.572 0.314	0.0119 0.9848	0.7881 0.1133
B	-	-	-	-	-	-	1	0.6972 0.1907	-0.2947 0.6303	0.2653 0.6662
Mn	-	-	-	-	-	-	-	1	-0.2107 0.7337	0.8169 0.0914
Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-0.4569 0.4392

* Con diferencias significativas

Al comparar la influencia del PO con las variables de calidad, se encontró correlación negativa con peso medio del fruto, firmeza, sólidos solubles totales, ácido ascórbico y acidez titulable. (Cuadro 16). El peso medio de fruto, se correlacionó positivamente con los nutrientes N y P, negativamente con Ca y Mn; la firmeza de los frutos, presentó correlación positiva con P y negativa con Mg; el grosor del pericarpio correlacionó positivamente con Mg y Mn; los sólidos solubles totales correlacionaron positivamente con P, el ácido ascórbico, positivamente con N y P, así como negativamente con Ca y la acidez titulable, correlacionó positivamente con P.

Cuadro 16. Correlaciones entre nutrientes y variables en plantas de chile manzano

	Peso medio de fruto	Firmeza	Grosor del pericarpio	Sólidos solubles totales	Ac. ascórbico	Acidez titulable
PO	-0.9269 0.0235*	-0.8845 0.0463*	0.7752 0.1235	-0.9049 0.0347*	-0.9062 0.0340*	-0.9025 0.0360*
N	0.9602 0.0095*	0.7672 0.1300	-0.7987 0.1051	0.7362 0.1561	0.9265 0.0236*	0.6090 0.2756
P	0.9092 0.0324*	0.8908 0.0426*	-0.7743 0.1243	0.9377 0.0185*	0.9289 0.0225*	0.8871 0.0448*
K	0.6465 0.2385	0.7277 0.1635	-0.6710 0.2150	0.7337 0.1582	0.7508 0.1437	0.5763 0.3091
Ca	-0.9957 0.0003*	-0.7477 0.1463	0.6968 0.1910	-0.8517 0.0670	-0.9637 0.0083*	-0.7476 0.1463
Mg	-0.8461 0.0708	-0.9231 0.0253*	0.9568 0.0107*	-0.6675 0.2183	-0.7947 0.1082	-0.6793 0.2072
Fe	-0.5061 0.3843	-0.3612 0.5503	0.2292 0.7107	-0.4591 0.4367	-0.3872 0.5196	-0.6239 0.2607
B	-0.6761 0.2102	-0.8362 0.0776	0.8411 0.0742	-0.6617 0.2238	-0.7323 0.1595	-0.5695 0.3162
Mn	-0.8865 0.0451*	-0.8783 0.0500	0.8873 0.0447*	-0.6906 0.1967	-0.8071 0.0987	-0.7251 0.1657
Cu	0.6221 0.2624	-0.0286 0.9636	0.05165 0.9343	0.5123 0.3775	0.6928 0.1947	0.1129 0.8565
Zn	-0.8641 0.0589	-0.4779 0.4155	0.4660 0.4290	-0.6033 0.2814	-0.7585 0.1372	-0.5508 0.3360
Peso medio de fruto	1	0.7033 0.1851	-0.6570 0.2283	0.8511 0.0674	0.9789 0.0037*	0.7084 0.1805
Firmeza	-	1	-0.9410 0.0171*	0.7169 0.1729	0.6850 0.2019	0.8290 0.0826
Grosor del pericarpio	-	-	1	0.5111 0.3788	-0.6050 0.2797	-0.6040 0.2807
Sólidos solubles totales	-	-	-	1	0.9083 0.0328*	0.9062 0.0340
Ac. Ascórbico	-	-	-	-	1	0.7230 0.1675

* Con diferencias significativas

Se encontraron correlaciones entre las variables de calidad, el grosor del pericarpio, correlacionó negativamente con firmeza del fruto. Se presentó correlación positiva entre ácido ascórbico y peso medio del fruto y los sólidos solubles totales y entre ésta última y la acidez titulable.

5.6. Discusión general

Debido a que hasta el momento, no existen estándares de calidad en relación a los frutos de chile manzano, en este estudio solo se determinaron algunos aspectos, y el PO de la solución nutritiva, óptimo para obtener la mejor calidad de frutos, es relativo, es decir, que para cada característica, puede ser distinto, según lo que demande el tipo de consumidor y por lo tanto el tipo de mercado.

El PO de la solución nutritiva no afecta las características de grosor del pericarpio y firmeza, para el cultivo de chile manzano.

Se considera que los PO donde se presentan las cantidades más bajas de sólidos solubles totales en los frutos, es en -0.036 y -0.054 MPa considerando que estos bajos niveles son los deseados, ya que los sólidos solubles totales causan dulzura en los cultivos de chile y esto no es generalmente una característica deseada. A diferencia, el ácido ascórbico, es una característica deseada en los frutos del cultivo, ya que es la vitamina más importante en los productos hortofrutícolas desempeñando un papel fundamental de la dieta humana, es así como Sheider (1985) recomienda 60 mg para hombres y 55 mg para mujeres en el consumo diario, es así que las mejores y más altas cantidades, se obtuvieron en los frutos tratados con -0.072 , -0.09 y -0.108 MPa, sin importar la variedad de que se trate.

En lo que respecta a las variables peso medio del fruto y acidez titulable, los mejores resultados por ser más altos, se encontraron en los frutos tratados con -0.09 y -0.108 MPa, en combinación con la variedad Puebla, ya que interactúan estas dos variables.

El PO de la solución nutritiva, no representa diferencias que realmente marquen que es mejor alguno de los tratamientos, en lo que respecta al color del fruto aunque los frutos con más altos valores de Hue, fueron los de la variedad Zongolica.

El mayor peso de materia seca en raíz, se concentró en las plantas que se sometieron a -0.072 y -0.108 MPa, por lo que se puede considerar que cualquiera de estos dos niveles de PO, son buenos para el cultivo de chile manzano y sobre todo, responde mejor la variedad Puebla, con la que se observó interacción.

Los frutos presentan las mejores calidades, desde PO de -0.072 a -0.108 MPa, para la mayoría de las variables evaluadas, es decir, que se estabilizan las características en los frutos, de -0.072 MPa en adelante, y aunque el PO de la solución nutritiva disminuya, la calidad suele mantenerse o reducirse mínimamente sin diferencias estadísticas, el claro ejemplo se encontró en el peso medio del fruto, donde de -0.072 MPa surgieron los frutos más pesados, sin embargo, el disminuir el PO de la solución nutritiva, tiene un costo adicional, ya que se aplican mayor cantidad de nutrimentos y esto genera gastos innecesarios que no incrementan la calidad de los frutos de chile manzano, por lo que se recomienda utilizar la solución nutritiva a -0.072 MPa para evitar el consumo superfluo.

VI. CONCLUSIÓN

En lo que respecta a la absorción nutrimental se encontró que los elementos que se absorben mejor a PO bajos de la solución nutritiva, son el N, P, K. Para el caso del N, todos los niveles de PO suministraron la cantidad suficiente del elemento, y para P y K, las cantidades que mejor presentaron resultados, fueron las de los tratamientos con -0.072 y hasta -0.108 MPa., con las concentraciones suficientes para evitar deficiencias visuales en el cultivo; a diferencia, el Ca y Mg se absorbieron mejor a PO alto (-0.036).

Para el caso de los micronutrientes, los PO que promueve una mayor absorción de ellos, consisten desde -0.036 a -0.072 MPa para Fe y Zn; -0.036, -0.054 y -0.09 MPa para B; -0.072 y -0.09 MPa para Cu y -0.036 MPa para Mn, sin embargo, todos estos potenciales osmóticos son adecuados para no alterar la absorción nutrimental de los microelementos.

De manera general, para proporcionar un adecuado balance de los nutrientes, se pueden manejar los PO desde -0.072 hasta -0.108 MPa, con la misma observación que para el aspecto de calidad, en la que usar PO menores de -0.072 MPa, causan un consumo de lujo, ya que no se justifica el uso de mayor cantidad de fertilizantes.

VII. LITERATURA CITADA

- Adams, P. 1999. Plant nutrition demystified. *Acta Hort.* 481: 341-344.
- Adams, P., G. W. Winsor. 1976. Further studies on the composition and quality of tomato fruit. Report on the Glasshouse Crops Research Institute. p. 133-138.
- Aguilera C., M y R. Martínez E. 1996. Relaciones agua-suelo-planta-atmósfera. 4ª. Ed. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 256 p.
- Alcántar G. G. y M. Sandoval V. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Publicación especial No.10. Sociedad Mexicana de la ciencia del suelo, A. C. Chapingo, México. 156 pp.
- Argos C., G. Hernández H., J. Uriza A. D., O Pozo C., y A. Olivera. 1998. Tecnología para producir chile jalapeño en la planicie costera del Golfo de México. INIFAP, Centro de Investigación Regional Noreste. Veracruz, México. Folleto técnico número 24. División Agrícola. 206 p.
- Association of Official Agricultural Chemist (AOAC). 1990. Official methods Analysis. Washington D. C.
- Avalos LL., K. R., Sgroppo S., C. y Chaves A. R. (2007). Pimientos Cherry cortados. Evolución de fenoles y ácido ascórbico durante el almacenamiento. V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones. Pp 634-642.
- Ayranci E. and Tunc S. (2003). The effect of edible coatings on water and vitamin C loss of apricots (*Armeniaca vulgaris* Lam.) and green peppers (*Capsicum annuum* L.). *Food Chemistry* 87. pp 339–342.
- Azcon-Bieto., J. y M. Talon. 1996. Fisiología y Bioquímica Vegetal. Primera edición. McGraw-Hill Interamericana. Barcelona Esp. 581 p.
- Azcon-Bieto, J. y M. Talon. 2000. Fundamentos de Fisiología Vegetal. Ed. McGraw Hill Interamericana. Madrid, España. 522 p.
- Baudoin, W. O. 1999. Protected cultivation in the Mediterranean region. Proceedings of the International Symposium on greenhouse management for better yield an quality in Mild winter climates. *Acta Hort.* 491. Pp 23-30.
- Baudui, D. S. 1993. Química de los alimentos. Editorial Alambra mexicana. México D. F.
- Benoit, F., and N. Ceustermans. 1987. Some qualitative aspects of tomatoes grown on NFT. *Soilless Culture* 3:3-7.
- Bidwell R., G. S. 1993. Fisiología Vegetal. AGT Editor S. A. México, D. F. 784 p.

- Bosquez M., E. 1992. Manual de prácticas de fisiología postcosecha de frutas y hortalizas. Universidad Autónoma de México. Unidad Iztapalapa. México D. F.
- Bremner J., M. y G. A. Breitenbeck. 1983. A simple method for determination of ammonium in semimicro-kjeldahl analysis of soils and plant materials using a block digester. Commun. Soil Sci. Plant. Anal. 14 (10): 905-913.
- Castaños M., C. M. 1993. Horticultura. Manejo simplificado. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 520 p.
- Clemente L., I. 2004. Caracterización poscosecha de cinco híbridos de chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.). Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo de México. 51 p.
- Cruz-Pérez A. B., González H., V. A., Soto H., R. M., Gutiérrez E., M. A, Gardea B., A. A. y Pérez G., M. 2007. Capsaicinoides, vitamina C y Heterosis durante el desarrollo del fruto de Chile Manzano. Agrociencia, agosto-septiembre, vol. 41, número 006. Colegio de Postgraduados. Texcoco, México. pp. 627-635.
- Cuevas F., L. 1999. Rendimiento, calidad y precocidad de chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) en función de aplicación de B-9 y contenido bromatológico. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 50 p
- Davies D. D., Giovanelli J., Rees Ap. T. 1969. Plant Biochemistry. Ed. Blackwell Scientific Publications. Oxford, EUA. 504 p.
- Davies, J. N., G. E. Hobson, 1981. The constituents of tomato fruit the influence of environment, nutrition and genotype. p. 205-280. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 15:205-208.
- Davies, J. N., G. W. Winsor. 1967. Effect of nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium and liming on the composition of tomato fruit. J. Sci. Food. Agr. 18:459-466.
- De Kreijl, C. 1995. Latest insights into water and nutrient control in soilless cultivation. Acta Hort. 408:47-61.
- Domínguez Ch., L. y E. Carnilla G. 1997. Caracterización fenológica y estudio del crecimiento de la planta de chile manzano (*Capsicum pubescens* Ruiz y Pavon) en las condiciones ambientales de Chapingo, México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 94 p.
- Gámez L., J. C. 1989. Estudio de adaptabilidad de 5 cultivares de chile morrón (*Capsicum annuum* L.), en Marín, N. L. en primavera de 1988. Tesis de licenciatura. Fac. Agronomía. UANL. 76 p.

- Gariglio, N. F. y R. Marano. 1997. Fertirrigación. *In: Cultivos bajo invernaderos*. Centro de Publicaciones Universidad Nacional del Litoral. Segunda edición. Editorial Hemisferio Sur, S. A. Buenos Aires, Argentina. pp 151-170.
- Giovannelli, G., V. Lavelli, C. Peri, L. Guidi. 1998. Variation of antioxidant content in tomato during ripening. Proc. Tomato and Health Seminar. Pamplona, Spain. 25-28 May, p. 127-130.
- Gutiérrez G., A. S. 1997. Presión osmótica y proporción de fósforo en la solución nutritiva para la producción de semilla de jitomate. Tesis de maestría en ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 127 p.
- Ibar A., L. y Serrat B., J. 1987. Tomates, pimientos y berenjenas. Editorial Aedos. Barcelona España.
- Janse, J. 1984. Invloed van licht op de kwaliteit van tomaat en komkommer. Groenten en fruit 40:28-31.
- Janse, J., C. J. M. Gielesen. 1991. The effect of the K/Ca ratio on the flavor of round and cherry tomatoes. Annu. Rep. Glasshouse Crops Research Station. Naaldwijk. The Netherlands. p. 33.
- Jones, Jr., J. B., Wolf B., Mills H. A. 1991. Plant analysis Handbook. Micro-Macro Publishing, Inc. USA. 213 p.
- Juárez H, M. J., G. A. Baca C., L. A. Aceves N., P. Sánchez G., J. L. Tirado T., J. Sahagun C. y M. T. Colinas L. 2006. Propuesta para la formulación de soluciones nutritivas en estudios de nutrición vegetal. *Interciencia*. 31(4):246-255.
- Juárez M., F. A. 1999. Efecto de niveles de temperatura, luz, humedad del sustrato en calidad y rendimiento de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P). Tesis de maestría en ciencias en horticultura. Departamento de Fitotecnia. UACh. Chapingo, México. 115 p.
- Lara H., A. 1998. Soluciones nutritivas para cuatro etapas fonológicas del jitomate. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- León G, M. H., y J. J. Martínez T. 2004. Producción de fresa en invernadero. *In: Narváez M. G., V. (Ed). Hidroponía, una nueva cultura agrícola*. Chihuahua, Chihuahua. Pp 151-163.
- Li, J. H., M. Sagi, J. Gale, M. Volokita, A. Novoplansky. 1999. Response of tomato plants to saline water as affected by carbon dioxide supplementation. I. Growth, yield and fruit quality. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 74: 232-237.
- López-Hernández J., Oruña-Concha J. M., Simal-Lozano J., Vázquez-Blanco M. E. y González-Castro M. J. 1996. Chemical composition of Padron peppers (*Capsicum annuum* L.) grown in Galicia (N. W. Spain). *Food Chemistry* 57 (4): 557-559.

- López J. y López M., E. 2004. Efecto de la aspersión localizada de cloruro de calcio sobre la incidencia de la necrosis apical en pimiento (*Capsicum annuum* L). Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca. Xoxocotlán, Oaxaca. 1p.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd. Edition. Institute of Plant Nutrition. University of Hohenhim, Germany. Academy Press. London. 889 p.
- Mathews c. k., Van Holde K. E., and Ahern K. G. 2002. Bioquímica. Pearson Educación, S. A., Madrid, Esp. 1,368 pp.
- Mc Guire, R. G. 1992. Reporting of objective color measurements. Hort Science. 27:1254-1255.
- Melgarejo M., J. A. 1998. Osmocondicionamiento de semillas de chile manzano (*Capsicum pubescens* R & P) Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 105 p.
- Molinos S. C., A. Villegas M., P. Sánchez G., G. Alcántar G., M. N. Rodríguez M. y L. M. Ruíz P. 2004. Efecto del potencial osmótico y contenido de Ca en el medio de cultivo sobre la distribución de Ca²⁺ y K⁺, producción de biomasa y necrosis apical de vid "R110". Interciencia. 29(7):384-388.
- Mora B., E. 1996. Efectos de arreglos topológicos sobre el comportamiento vegetativo y reproductivo de chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.). Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 64 p.
- Mosso O., M. R. 1994. Zonificación agroclimática para el cultivo de chile manzano (*Capsicum pubescens* R & P), en la sierra norte de Puebla. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Méx. 106 p.
- Nederhoff, E. M. 1994. Effects of CO₂ concentration on photosynthesis, transpiration and production of greenhouse fruit vegetable crops. Dissertation. Wageningen. The Netherlands.
- Nunes, M. C.; Brecht, J. K.; Morais, A. M. and Sargent, S. A. 1995. Physical and chemical quality characteristics of strawberries after storage are reduced by a short delay to cooling. Postharvest Biology and Tecnology 6(1):17-28.
- Papadopoulos A., P. 2004. Manejo del ambiente y de los factores nutrimentales para la producción de tomate de alta calidad en invernaderos. . In: Narváez M. G., V. (Ed). Pp 151-163. Hidroponía, una nueva cultura agrícola. Chihuahua, Chihuahua.
- Pérez G., M. 2002. Estudio genético y fisiológico del crecimiento, rendimiento y calidad de fruto en chile manzano (*Capsicum pubesceens* R y P). Tesis de doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 106 p.

- Pérez G., M., y R. Castro B. 2008. El Chile Manzano. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 128 p.
- Pérez G., M., y R. Castro B. 1998. Guía para la producción intensiva de chile manzano. Boletín de divulgación # 1. Programa Universitario de Investigación y Servicio en Olericultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 17 p.
- Pérez G., M., y R. Castro B. 1999. Guía para la producción intensiva de jitomate en invernadero. Boletín de divulgación # 3. Programa Universitario de Investigación y Servicio en Olericultura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 58 p.
- Pérez G. M., V. A. González H., M. C. Mendoza C. and C. Peña V. 2004. Physiological characterization of manzano hot pepper (*Capsicum pubescens* R & P) landraces. J.I Am. Soc. Hort. 129(1):88-92.
- Pino J., González M., Ceballos L., Centurión-Yah A. R., Trujillo-Aguirre J., Latournerie-Moreno L. and Sauri-Duch E. 2007. Characterization of total capsaicinoids, colour and olatile compounds of Habanero chilli pepper (*Capsicum chinense* Jack.) cultivars grown in Yucatan. Food Chemistry 104: 1682-1686.
- Preciado R. P., G. A. Baca C., J. L. Tirado T., J. Kohashi S., L. Tijerina C., and A. Martínez G. 2003. Osmotic pressure of the nutrient solution and the production of muskmelon seedlings. Terra 21(4):461-470.
- Rivera Y., M. 1996. Distribución y descripción morfológica de colectas de chile manzano. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 57 p.
- Rodríguez-Delfín, A. 2004. Formulación de soluciones nutritivas. In: Narváez M. G., V. (Ed). pp 41-58. Hidroponía, una nueva cultura agrícola. Chihuahua, Chihuahua.
- Rodríguez G., E., A. Carballo C. and G. Baca C. 1998. The effect of osmotic pressure in nutrient solution on tomato seed yield quality. Revista Fitotecnia Mexicana 21:15-24.
- Rojas G., M. 1978. Fisiología Vegetal Aplicada. Ed. Mc Graw-Hill. Madrid España. 204 p.
- Rubio J. S., García-Sánchez F., Rubio F., and Martínez V. 2009. Yield, blossom-end rot incidence, and fruit quality in pepper plants under moderate salinity are affected by K⁺ and Ca²⁺ fertilization. Scientia Horticulturae. 119, 79-87.
- Salisbury, F. B. y C. W Ross. 1994. Fisiología Vegetal. Iberoamericana. México D. F. 759 p.
- Segal B., G. 1989. Chemistry: Experiment and Theory. Wiley. Nueva York. 1008 p.
- Sheider, L. W. 1985. Nutrición. Conceptos básicos y aplicables. Editorial Mc Graw-Hill. España.

- Silva-Robledo H., Ortíz-Lizana M., and E. Acevedo-Hinojosa. 2007. Hydric relationships and osmotic adjustment in wheat. *Agrociencia* 41:23-34.
- Silber A., Bar-Tal A., Levkovitch I., Bruner M., Yehezkel H., Shmuel D., Cohen S., Matan E., Karni L., Aktas H., Turhan E. and Aloni B. 2009. Manganese nutrition of pepper (*Capsicum annuum* L.): Growth, Mn uptake and fruit disorder incidence. *Sci. Hortic.* 3388: 1-7.
- Simonne, A. H., Simonne E. H., Eitenmiller, R. R., Mills H. A. and Green N. R. (1997). Ascorbic Acid and Provitamin A Contents in Unusually Colored Bell Peppers (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*. 10, 299–311.
- Steiner A., A. 1968. Soilless culture. *In: Proc. 6th. Colloq. Int. Potash Inst. Florence, Italy.* Pp. 324-341.
- Steiner A., A. 1984. The universal nutrient solution. *In: Sixth International Congress on Soilless Culture. Proceedings International Society for Soilless Culture. Lunteren, The Netherlands* pp 633-650.
- Topuz A and Ozdemir F. 2007. Assessment of carotenoids, capsaicinoids and ascorbic acid composition of some selected pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.) grown in Turkey. *Journal of Food Composition and Analysis* 20: 96–602.
- Vargas T. P. 2007. Caracterización física, química y biológica de polvo de coco y tezontle como sustratos. Tesis de maestría en ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 93 p.
- Vega-Gálvez A., Di Scala K., Rodríguez K., Lemus Mondaca R., Miranda M., López J. and Pérez Won M. (2009). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum* L. var. Hungarian). *Food Chemistry* 117: 647-653.
- Villegas T., O. G., P. Sánchez G., G. A. Baca C., M. N. Rodríguez M., C. Trejo L., M. Sandoval V. y E. Cárdenas S. 2005. Crecimiento y estado nutricional de plántulas de tomate en soluciones nutritivas con diferente concentración de calcio y potencial osmótico. *Terra Latinoamericana*. 23(1):35-52.
- Walker, R.R., Hawker, J.S. and Trakfalvy, E., 1980. Effect of NaCl on growth, ion composition and ascorbic acid concentrations of capsicum fruit. *Scientia Hort.*, 12: 211--220.
- Zarate C., A. A. 2005. Presión osmótica de la solución nutritiva para producción de jitomate cherry (*Lycopersicon esculentum* Mill. Var Cerasiforme Alef.) en hidroponía. Tesis de maestría en ciencias. Montecillo, México. 111 p.

Páginas web consultadas

Werner J. 2000. Salsa picante de Rocoto. <http://rocotosauce.tripod.com>. 3 p.
(17 de enero de 2009)

www.colorpro.com/info/tools/convert.htm
(17 de enero de 2009)