



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD**

**FRUTICULTURA**

**CALIDAD POSTCOSECHA DE NOPAL VERDURA CON DIFERENTE FUENTE DE  
FERTILIZACIÓN Y TIEMPO DE REFRIGERACIÓN**

**MARIA DEL ROCIO SANTIAGO LORENZO**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL**

**PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRA EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO**


**2015**

La presente tesis titulada: “**CALIDAD POSTCOSECHA DE NOPAL VERDURA CON DIFERENTE FUENTE DE FERTILIZACIÓN Y TIEMPO DE REFRIGERACIÓN**”, realizada por a la alumna: **MARÍA DEL ROCÍO SANTIAGO LORENZO** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS  
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
FRUTICULTURA**

**CONSEJO PARTICULAR**

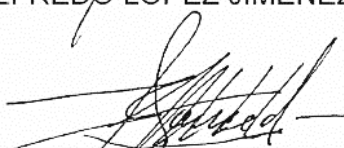
CONSEJERO



---

DR. ALFREDO LÓPEZ JIMÉNEZ


ASESOR



---

DR. CRESCENCIANO SAUCEDO VELOZ

ASESOR



---

DR. JOSÉ ISABEL CORTÉS FLORES

ASESOR



---

MC. DAVID JAÉN CONTRERAS

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Noviembre de 2015

# CALIDAD POSCOSECHA DE NOPAL VERDURA CON DIFERENTE FUENTE DE FERTILIZACIÓN Y TIEMPO DE FRIGONCONSERVACION

María del Rocío Santiago Lorenzo MC

Colegio de Postgraduados, 2015

## RESUMEN

El uso de la fertilización orgánica y mineral juega un papel fundamental en la calidad de los productos hortofrutícolas y la temperatura óptima de frigoconservación define la vida de anaquel de estos productos. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la fertilización orgánica y mineral (E + T17, C + M, MFM y un testigo) y el tiempo de almacenamiento en refrigeración (0, 7, y 14 días a  $6 \pm 1^\circ\text{C}$ ) en la calidad y vida de anaquel de nopal verdura. La evaluación de la concentración nutrimental en nopalitos se realizó en cladodios de 20 a 25 cm de longitud al momento de corte. Después del período refrigerado se analizaron las variables pérdida de peso (%), color ( $L^*a^*b$ ), firmeza (N) y contenido de clorofila (mg/100g tejido). Los resultados obtenidos mostraron que cladodios que no recibieron tratamientos de conservación en frío tienden a perder peso de forma significativa (Tukey  $P \leq 0.05$ ) que aquellos que se mantuvieron en refrigeración durante 7 y 14 días. Plantas tratadas con composta más inoculación de hongo micorrízico (*Glomuss mosseae*)(C+M) evaluadas a temperatura ambiente, mostraron mayor pérdida de peso que el testigo (tratadas sólo con agua), el color de los nopalitos fue afectado por efecto de la interacción fuente de fertilización y tiempo de almacenamiento refrigerado; en el análisis de resistencia al corte (firmeza) los cladodios mostraron diferencia significativa por efecto del tiempo y temperatura de almacenamiento, pero no por fuente de fertilización. Para todos los tratamientos el contenido de clorofila se degradó a mayor tiempo de almacenamiento.

**Palabras clave:** *Opuntia ficus-indica*, fertilización orgánica, fertirriego, conservación en frío, calidad postcosecha.

# POSTHARVEST QUALITY CACTUS STEAMS (NOPALITO) WITH DIFFERENT SOURCE OF FERTILIZER AND FRIGOCONSERVATION TIME

María del Rocío Santiago Lorenzo MC

Colegio de Postgraduados, 2015

## ABSTRACT

Using of organic and mineral fertilizers plays a key role in the quality of horticultural products, the optimum storage temperature favors the preservation of the quality of life of post-harvest food. Effect of four sources of fertilization in postharvest quality of minimally processed vegetables cactus steams (boned) was evaluated. The objectives of this research were to determine postharvest quality due to fertilizer sources and cooling time. Evaluating the nutrient concentration in cactus steams performed when cut. To evaluate the effect of postharvest quality of cold storage time and source of fertilizer, cactus were stored in three periods of cooling (0, 7, y 14 days) a  $6 \pm 1^{\circ}\text{C}$ . After cold period weight loss (%), color ( $L * a * b$ ), firmness (N) and chlorophyll content (mg / 100g tissue) were determinated. Results showed that not receiving treatment cladodes cold storage tend to lose weight significantly (Tukey  $P < 0.05$ ) than those kept refrigerated for 7 to 14 days. Plants fed with composting and mycorrhizal fungus (C + M) evaluated at room temperature tend to lose more weight than the control (water only) for variable color cactus affected due to the source of fertilization and interaction. Shear strength showed significant difference by effect of storage time and temperature, but not a source of fertilization, chlorophyll content was downgraded to longer storage.

**Key words:** *Opuntia ficus-indica*, organic fertilization, fertigation, postharvest quality, frigoconservation.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el sustento económico brindado para la realización de mis estudios.

Al Colegio de Postgraduados, institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas, por la oportunidad y las facilidades para instruirme.

Al Dr. Alfredo López Jiménez, por toda su ayuda, paciencia y tiempo al dirigir este proyecto de investigación.

Al Dr. Crescenciano Saucedo Veloz, por su tiempo, las acertadas sugerencias y observaciones.

Al Dr. José Isabel Cortés Flores, por las observaciones realizadas a lo largo de la investigación.

Al M.C. David Jaen Contreras, por apoyarme en la ejecución e interpretación de los análisis nutrimentales, por la paciencia, tiempo y dedicación.

Al Dr. Javier Suárez Espinosa, por las asesorías brindadas para los análisis estadísticos de los datos obtenidos.

Al Eliseo Hidalgo, Rogelio Hidalgo, Arturo López, por el apoyo para obtener el material vegetal y la asistencia en el área de laboratorio.

A Jesús por la motivación para continuar con mi preparación y desarrollo profesional.

A la señora Mary y Don Pepe, por cuidar de mi pequeña.

A mis compañeros y amigos, quienes hicieron agradable la estancia en el Colegio de Postgraduados, y el apoyo en el transcurso de mis estudios.

## DEDICATORIAS

A Dios por darme la fortaleza y sabiduría necesaria en cada día de mi vida.

Con amor para:

Mis padres Esteban y Victoria, quienes me han instruido, alentado y motivado, para siempre ser una mejor persona y recorrer así una vida propia.

Mis hermanos, por su apoyo en todo momento.

Mi esposo Jesús Díaz, porque a pesar de las adversidades, cuento con su apoyo y amor incondicional.

Mi pequeña Grecia, quien es mi fuente de fortaleza e inspiración en todo momento.

## CONTENIDO

RESUMEN .....	ii
ABSTRACT .....	iii
I. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1 Objetivos .....	7
Objetivo general.....	7
Objetivos específicos: .....	7
1.2 Hipótesis.....	7
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	8
2.1 Producción y consumo de nopal verdura a nivel mundial .....	8
2.2 Nutrición del nopal.....	9
2.2.1 Composición mineral del cladodio.....	9
2.2.2 Efecto de los macronutrientes en la calidad .....	10
2.2.3 Dosis y fuentes de fertilización .....	11
2.3 Calidad, manejo postcosecha y vida de anaquel del nopal verdura.....	13
2.3.1. Nopal mínimamente procesado .....	14
2.3.2 Manejo postcosecha y vida de anaquel del nopal verdura .....	15
2.4 Conservación en frío de frutos mínimamente procesados.....	17
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	19
3.1 Sitio experimental .....	19
3.2. Material vegetal .....	19
3.3. Fertilidad del suelo.....	19
3.4. Conducción del experimento .....	19
3.5 Estudio I. Calidad nutrimental del nopal verdura var. Milpa Alta, en función de la fuente de fertilización. ....	20
3.5.1 Tratamientos y diseño experimental .....	20
3.5.2 Variables respuesta.....	22
3.5.2.1 Concentración de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu y B.....	22
3.5.2.2 Concentración de nitratos.....	23
3.5.2.3 Análisis químico de suelo .....	24
3.5.3 Análisis estadístico .....	24

3.6 Estudio II. Calidad poscosecha y vida de anaquel del nopal verdura var. Milpa Alta desespinado en función de la fuente de fertilización y almacenamiento en refrigeración.....	24
3.6.1 Tratamientos y diseño experimental .....	24
3.6.2 Variables de respuesta.....	26
3.6.2.1 Pérdida de peso .....	26
3.6.2.2 Color .....	26
3.6.2. 2 Firmeza.....	27
3.6.7 Contenido de clorofila a, b y total.....	27
3.6.8 Análisis estadístico .....	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	28
4.1. Concentración de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu y B.....	28
4.2 Concentración de nitratos .....	32
4.3 Color .....	33
4.4 Pérdida de peso .....	38
4.5 Resistencia al corte .....	40
4.6 Contenido de clorofila a, b y total.....	41
V. CONCLUSIONES.....	45
VI. LITERATURA CITADA .....	46
VII. ANEXOS .....	54



## ÍNDICE DE CUADROS

		Página
Cuadro 1.	Respuesta del nopal verdura y tunero a la aplicación de fertilizantes orgánicos y minerales a través del suelo.....	12
Cuadro 2.	Tratamientos ensayados para determinar concentración de nitratos en cladodios de la var. Milpa Alta bajo cubierta plástica.....	21
Cuadro 3.	Lista de tratamientos resultado de la combinación de los factores fuente de fertilización y tiempo de almacenamiento en refrigeración.....	25
Cuadro 4.	Efecto de la fuente de fertilización en la concentración de macro y micronutrientes en el tejido de nopal verdura ( <i>Opuntia ficus-indica</i> L) variedad Milpa Alta, al momento de cosecha.....	29
Cuadro 5.	Correlación entre concentración de nutrientes del suelo y nutrientes del cladodio de nopal verdura var. Milpa Alta por efecto de la fuente de fertilización a través del suelo.....	31
Cuadro 6.	Concentración de nitratos (mg/kg) en cladodios por efecto de la fuente de fertilización y tamaño del mismo.....	32
Cuadro 7.	Valores de L (luminosidad) y Hue <sup>o</sup> (ángulo de tono) obtenidos en cladodios de <i>Opuntia ficus-indica</i> L. conservados a 0,7 y 14 días en refrigeración (6+1°C), y evaluados a los 0, 2 y 4 días después de la salida de almacenamiento refrigerado.....	34
Cuadro 8.	Resistencia al corte (N) por tiempo de almacenamiento en refrigeración y evaluados al medio ambiente (23+2°C) a los 0, 2 y 4 días de salida del frío.....	40
Cuadro 9.	Efecto de la fuente de fertilización en el contenido de clorofila a, b y total (mg/100g de tejido) de nopalitos var. Milpa Alta a los cero, dos y cuatro días de estar a temperatura ambiente.....	43
Cuadro 10.	Efecto del tiempo de almacenamiento en refrigeración sobre el contenido de clorofila a, b y total (mg 100 g <sup>-1</sup> de tejido) de nopalitos var. Milpa Alta a los cero, dos y cuatro días de estar a temperatura ambiente.....	44
Cuadro 1A	Análisis de fertilidad del suelo por fuente de fertilización.....	56
Cuadro 2A	Anova para atributos evaluados a los 0 días de almacenamiento después del periodo de refrigeración.....	57
Cuadro 3A	Anova para atributos evaluados a los 2 días de almacenamiento después del periodo de refrigeración .....	57
Cuadro 4A	Anova para atributos evaluados a los 4 días de almacenamiento después del periodo de refrigeración.....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Evolución del color en nopalitos <i>Opuntia ficus-indica</i> L. var. Milpa Alta, evaluados a temperatura ambiente ( $23 \pm 1^\circ\text{C}$ ), al momento de cosecha, a la salida de refrigeración y a los dos y cuatro días después de refrigeración. Fuentes de fertilización: estiércol bovino más fertilizante triple 17 (E+ T17), composta más inoculación del hongo <i>Glomus mosseae</i> (C + M), mezcla de fertilizantes minerales (MFM).....	35
Figura 2 Efecto de la fuente de fertilización y tiempo de refrigeración en la pérdida de peso de los nopalitos desespinaados, evaluados A) a la cosecha, B) después de 7 días de refrigeración y C) después de 14 días en refrigeración y posteriormente conservados 2 y 4 días a temperatura ambiente.....	39

## I. INTRODUCCIÓN

México es el principal centro de diversidad de nopales del género *Opuntia* (Bravo, 1978) y el más importante productor de nopal (*Opuntia ficus-indica*) en el mundo. La producción de nopalitos se realiza en 22 estados y el Distrito Federal. La Delegación Milpa Alta, en el Distrito Federal ocupa el primer lugar en superficie cosechada. Además, México se posiciona como el mayor consumidor de esta hortaliza a nivel mundial con un consumo per cápita de 6.7 kg (SIAP, 2014). El consumo de nopalitos se puede observar en cualquier estrato de la escala social; son consumidos siguiendo múltiples recetas, siendo la más común en ensaladas. Otros usos son: jugos procesados, mermeladas e incluso cosmético. Actualmente algunas comunidades de los Estados Unidos, Canadá, Japón, Italia y Turquía los demandan debido a su bajo valor calórico, alto contenido en fibra y cualidades nutricionales y funcionales (Stintzing y Carle, 2005; Sáenz, 2004, citado por Osorio-Córdoba *et al.* 2011).

Las prácticas de manejo como la fertilización convencional está encaminada principalmente a obtener altos rendimientos y en menor escala calidad del nopalito. Las operaciones postcosecha de esta verdura que incluye: lavado, selección, pelado, rebanado y desespinado o “limpieza”, ocasiona que el producto ya desespinado se deshidrate y oxide rápidamente. La vida de anaquel de nopal verdura mínimamente procesado es de 1 a 2 días a temperatura ambiente y de 7 días a 5°C (Cantwell, 1995), tiempo recomendado para conservar los productos mínimamente procesados. Temperaturas inferiores a 10 °C causan daño por frío, manifestando oscurecimiento del tejido así como pérdida del color verde original (Ramayo-Ramírez *et al.*, 1978; Nerd *et al.*, 1997), cambios en firmeza del tejido, oscurecimiento de las zonas desespinaadas, y la producción de olores y sabores desagradables son características que repercuten en la calidad del producto (Rodríguez-Félix y Cantwell, 1988; Corrales-García y Flores-Valdez, 2003, citado por Osorio-Córdoba *et al.* 2011).

Existe un conocimiento generalizado de que el nopal, responde favorablemente a la aplicación de abonos orgánicos y químicos (Pimienta, 1990; Mondragón y Pimienta, 1990; Murillo-Amador *et al.*, 2005). Sin embargo, se desconoce el efecto de la fuente de fertilización, en la relación composición nutrimental de los tejidos y la preservación de la calidad y vida de anaquel de los cladodios de nopal verdura mínimamente procesado. En este trabajo se evaluó el efecto de tres fuentes de fertilización más un testigo en la concentración nutrimental al momento de corte así como su influencia en la preservación de la calidad y vida de anaquel de nopal verdura mínimamente procesado y almacenado en condiciones refrigeradas.

## 1.1 Objetivos

### Objetivo general

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la fertilización orgánica y mineral (E + T17, C + M, MFM más un testigo) y el tiempo de almacenamiento en refrigeración (0, 7,14 días a  $6 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ) en la calidad y vida de anaquel de nopal verdura var. Milpa Alta.

### Objetivos específicos:

Evaluar la calidad nutrimental de nopal verdura var. Milpa Alta al momento de cosecha en función de la fuente de fertilización.

Determinar la calidad postcosecha y vida de anaquel de nopal verdura desespinado var. Milpa Alta en función de la fuente de fertilización y tiempo de almacenamiento en frío.

## 1.2 Hipótesis

La fuente de fertilización influye en la concentración nutrimental de nopal verdura var. Milpa Alta, al momento de cosecha.

La fuente de fertilización y el tiempo de refrigeración afectan la calidad postcosecha y vida de anaquel de nopal verdura var. Milpa Alta.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Producción y consumo de nopal verdura a nivel mundial

México es el principal centro de diversidad de nopales del género *Opuntia* (Bravo, 1978) y el principal productor de nopal verdura en el mundo. En el año 2013, se tuvo una superficie cosechada de 12 520 ha, con un volumen de producción de 786,774 t, se produce en 26 Estados y el Distrito Federal quien es el principal productor, por entidades las de mayor importancia son Morelos y Estado de México, tan solo el Distrito Federal y Morelos producen 4 de 5 t en el país; otros estados de menor importancia en la producción de nopal verdura son: Jalisco, Puebla, Baja California, Aguascalientes, Tamaulipas, Michoacán, y Guanajuato (SIAP, 2014). China y Japón, siembran 2 000 has cada uno (El Economista, 2010). En Estados Unidos de América se cultivan 200 ha (Blanco-Macías *et al.*, 2012), principalmente en los Estados de Texas y California con una producción media de 50 ton ha<sup>-1</sup>. Chile, aprovecha sus plantaciones de nopal tunero para exportar pequeñas cantidades de nopal verdura aunque no se tiene una cifra exacta de su superficie y cantidad de exportación.

Se puede decir que la importancia del nopal radica en su utilización para consumo en fresco y procesado (escabeches, mermelada, dulces y licores), y la producción de medicamentos (cápsulas, comprimidos y polvos), y cosméticos (cremas limpiadoras y humectantes, shampoo, mascarillas y jabones). A nivel mundial, México es el mayor consumidor de nopal verdura con un consumo per cápita de 6.7 kg (SIAP, 2014). La principal forma de consumo de esta hortaliza “nopalito” es combinarlo con otros alimentos, también se consume en salmuera o en escabeche; su demanda es mayor en el centro del país, menor en los Estados del norte y casi nulo en las regiones costeras (Blanco-Macías *et al.*, 2012), el 55% de la población mexicana que gusta del consumo de nopal verdura prefiere buena presentación, 25% calidad y 20% precio (Callejas-Juárez *et al.*, 2009). En Estados Unidos de América el consumo aparente es de 0.77 kg por habitante al año, los principales consumidores son de origen mexicano, en China el nopal verdura lo utilizan principalmente como materia prima para procesar y producir nuevos productos que no se elaboran en otros países (Flores- Valdez, 2011).

## **2.2 Nutrición del nopal**

La nutrición mineral de las plantas influye en gran medida en su desarrollo y composición además impacta la calidad y vida de anaquel de las frutas y hortalizas cosechadas. Si el medio nutritivo del suelo presenta niveles bajos de algún nutriente el crecimiento de la planta se verá limitado, por el contrario el exceso puede provocar desequilibrios nutricionales que afectan el nivel de producción y calidad del cultivo. Blanco-Macías *et al.*, (2009a y 2009b), señalan que conociendo los requerimientos del nopal es factible estimar las necesidades de nutrimentos en función de la densidad de la plantación y rendimientos esperados, por otra parte la fuente de fertilización tiene relación con la concentración del nutriente y disponibilidad para la planta.

### **2.2.1 Composición mineral del cladodio**

La composición química del cladodio de nopal ha sido estudiada por diversos investigadores, Rodríguez-Félix y Cantwell (1988) concluyen que en los nopalitos varía según la especie, las condiciones de manejo y el estado de desarrollo. Nobel (1983), Crosta y Vechio (1979), Crosta y Tallarico (1981) citados por Pimienta (1990) mencionan que es notable la acumulación de Ca en el cladodio, llegando a alcanzar valores de 5 a 9.5%, y que el incremento está asociado con la edad del cladodio (Gibson y Nobel, 1986, citados por Pimienta, 1990). En cuanto a P, Na y K se han encontrado porcentajes de 0.25, 0.05 y 1.0, respectivamente. En un estudio sobre fuentes de fertilización y frecuencia de riego en nopal verdura Flores (2013) encontró valores desde 2.01 a 2.83% de Ca, 0.63 a 1.06% de N, 0.06 a 0.16% de P, 3.73 a 4.93% de K, 0.66 a 0.91% de Mg, 20.3 a 60.7 mg kg<sup>-1</sup> de Fe, 37.6 a 67.3 mg kg<sup>-1</sup> de Mn, 16 a 22.3 mg kg<sup>-1</sup> de Zn y 2.3 a 4.7 mg kg<sup>-1</sup> de Cu. Por su parte Fernández *et al.* (2015) reportan porcentajes promedio de 2.23, 0.85, 5.76, 3.35 y 1.75 para N, P, K, Ca, y Mg, respectivamente en cladodios de nopal verdura var. Milpa Alta de tamaño entre 25 y 30 cm de largo y 13 cm de ancho, fertilizado con solución nutritiva completa.

### 2.2.2 Efecto de los macronutrientes en la calidad

Las funciones principales del N son de tipo estructural y osmótico (Cárdenas-Navarro *et al.*, 2004), así mismo está relacionado con la síntesis de proteína y carotenoides y tiene efecto en la coloración del fruto (piel y pulpa) (Villareal-Romero *et al.*, 2002; Stefanelli *et al.*, 2010). En melón, Cabello *et al.* (2009) encontraron que el exceso este elemento se manifiesta en disminución de la firmeza, contenido de materia seca, azúcares totales y sólidos solubles totales. En frutos de manzana afecta el color e incrementa la acidez (Tomala, 1999, Neilsen *et al.*, 2009), también disminuye los sólidos solubles totales (SST) y acidez en piña var. Cayena lisa (Spironello *et al.*, 2004). Sin embargo, aplicaciones balanceadas de N no causa efectos negativos en firmeza y color (Racsko *et al.*, 2005). En durazno, la aplicación de N mejoró el sabor pero al suministrarlo con P y K aumentó el color y la firmeza del fruto (Radi *et al.*, 2003; Chatzitheodorou *et al.*, 2004).

El fósforo desempeña un papel clave en la fotosíntesis, respiración y en todo el metabolismo energético (Azcon-Bieto y Talón, 2000), es un componente estructural en la membrana celular y participa en la síntesis de proteínas y vitaminas (Molina, 2006). La fertilización con este elemento en el cultivo de melón causó una aceleración en la maduración de los frutos y mejoró el contenido de azúcares.

El potasio, por su parte desempeña una función importante en la osmoregulación, procesos de apertura y cierre de estomas; la deficiencia de este elemento produce pérdida de turgencia y marchitamiento de la planta. El efecto en la calidad del melón, se reflejó en un incremento de sólidos solubles, peso y tamaño del fruto, además del color externo y sabor, así como mayor firmeza durante el almacenamiento a medio ambiente y en frío y transporte de la fruta, también mejora la resistencia al ataque de patógenos en postcosecha e incrementa la vida de anaquel. Resultados de aplicaciones foliares de K en melón demuestran que tuvieron mayor cantidad de sólidos solubles, vitamina C, beta caroteno, mayor firmeza del fruto, el mayor contenido de ácido ascórbico y el beta-caroteno incrementa la actividad antioxidante en las células, retardando el envejecimiento de los tejidos, ayudando a prolongar la vida de anaquel



en la fruta (Molina, 2006). Por otra parte Amaboe y Sinnadurai, 1997 y Adams *et al.* (1978), encontraron un efecto positivo de la aplicación de K en el desarrollo del color rojo externo de frutos de tomate; en manzana aplicaciones balanceadas de potasio (K) no causan efectos negativos en firmeza y color (Racsko *et al.*, 2005), el potasio mostró un aumento de sólidos solubles totales y acidez e incrementó la vitamina C en piña (*Ananas comosus* (L.) Merr) variedad Cayena lisa (Spironello *et al.*, 2004).

El calcio relacionado con la textura, participa en el desarrollo y mantenimiento de la estructura de la pared celular (Hao y Papadopoulos, 2003), reduce la tasa respiratoria y la producción de etileno durante el almacenamiento (Bangerth and Dilley, 1972; Lieberman y Wang, 1982; Dris, 1998), lo que hace que el fruto se madure más lentamente, prolongando así la vida de anaquel. Estudios realizados en Texas por Lester y Grusak (1999) con melón Honey Dew, demostraron que el tratamiento postcosecha con Ca aumentó la concentración de azúcares, la firmeza y la vida de anaquel del fruto. En los tejidos de nopal el Ca está unido al mucílago y puede actuar como amortiguador que controla la cantidad de Ca libre soluble en los tejidos; sin embargo, la mayor cantidad de Ca se encuentra en la forma de cristales de oxalato de calcio.

### **2.2.3 Dosis y fuentes de fertilización**

La fertilización orgánica que se emplea en la principal zona productora de nopal verdura del país es la aplicación de estiércol de bovino, llegando a aplicar hasta 800 t ha<sup>-1</sup> (Fernández *et al.*, 1990). En un estudio realizado con cladodios de *Opuntia ficus indica* (L) Mill. Zúñiga-Tarango *et al.* (2009) encontraron que aplicaciones de estiércol de 100 t ha<sup>-1</sup> promovió mayor concentración de Mn, Cu, Zn, Fe (39.66, 18.90, 44.80, 179.70 ppm, respectivamente), de P (0.56%), de NO<sub>3</sub> y K (6.58%), y concluyeron que las aplicaciones de estiércol incrementan el contenido mineral y de materia orgánica del suelo. Escamilla-García *et al.* (2003), demostraron que al aplicar 4 kg de gallinaza por planta al cultivo de papaya hubo diferencias significativas en las concentraciones de Ca y B, así como mayor concentración de Mg.

En cuanto a la aplicación de fertilizantes minerales, la fórmula de fertilización que se recomienda por hectárea para nopal verdura es 80 kg de N, 40 kg de P y 40 kg de K, esta práctica si se realiza a principios de invierno ayuda a que durante esta época de sequía y baja temperatura la producción de nopalitas se incremente hasta el doble, aplicando 40 L de agua por cada 5 metros de hilera de nopal cada 15 días en tres ocasiones; se sugiere combinar los dos primeros riegos con la fórmula de fertilización descrita (Aguilar, 2000). En el cultivo de papaya Escamilla-García *et al.* (2003), estudiaron el efecto de la fertilización mineral 258-200-280, de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, respectivamente y encontraron que sólo la concentración de B mostró diferencias significativas en el análisis foliar de macro y microelementos. Es necesario tener precaución con respecto de la fertilización nitrogenada, debido a que el nopal posee la particularidad de absorber y acumular fácilmente nitratos y pueden alcanzar niveles tóxicos para personas y animales que los consumen (Blanco-Macías, *et al.*, 2012). En el Cuadro 1 se señalan algunos de los efectos positivos obtenidos con la aplicación de fertilizantes orgánicos y minerales a través del suelo.

**Cuadro 1.** Respuesta del nopal verdura y tunero a la aplicación de fertilizantes orgánicos y minerales a través del suelo.

Nutrimento(s) Fertilizante	Efectos positivos	Referencia(s)
40 kg gallinaza+40 kg N	No. de cladodios (> rend.)	Mondragón y Pimienta (1990)
300 t estiércol bovino + 120 y 100 kg ha <sup>-1</sup> de N y P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	No. de brotes vegetativos y peso de cladodios	Fernández <i>et al.</i> (1990)
Estiércol bovino + fertilizante mineral triple 17	Índice de color	Flores (2013)
Mezcla de fertilizantes minerales de alta solubilidad	Contenido de fibra (%)	Flores (2013)

El uso de biofertilizantes en la agricultura está adquiriendo relevancia cada día. En nopal existe muy poca información al respecto. Flores (2013) evaluó el efecto del hongo micorrizico *Glomus mosseae* aplicado en forma individual y combinado con composta bajo condiciones de riego por goteo cada 7 o 19 días, sus resultados de un año de evaluación muestran que la concentración de P, K, Ca, Fe, Mn y Cu en el cladodio (20 a 25 cm de longitud) de nopal verdura tuvo un mejor comportamiento cuando el hongo se adicionó junto con la composta. En un experimento realizado con plantas de nochebuena se utilizaron fertilizante comercial Peters<sup>®</sup> (8-45-14, N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) y (7-40-17) más inoculación con hongos arbusculares *G. mosseae* BEG-25 y *G. mosseae* BEG 132 en los sustratos S1 (tierra de hoja de encino + tezontle + turba + agrolita), S2 (turba + vermiculita), y S3 (tezontle), Callejas-Ruiz *et al.*, (2009) encontraron una mayor concentración de P cuando se usó S1, seguido de S2 y S3. Sin embargo, mencionan que no hay efecto de los hongos micorrízicos arbusculares en la concentración de este elemento, pero sí en K y Ca inoculados con *G. mosseae* BEG-25. Por otra parte, Kothari *et al.* (1990) mencionan el incremento en la concentración de P, Zn y Cu en tejidos aéreos y raíces de plantas de maíz inoculados con el hongo *Glomus mosseae*.

### **2.3 Calidad, manejo postcosecha y vida de anaquel del nopal verdura**

La calidad es considerada por los consumidores como el atributo más importante de aceptabilidad (Trail, 1999; citado por, Blanco-Macías, Reveles-Hernández y Vázquez-Alvarado, 2012). Independientemente de si los productos alimenticios se destinan al mercado interno o a la exportación, la calidad determina el éxito en el mercado (Valdez-Cepeda *et al.*, 2004; citados por Blanco-Macías, Reveles-Hernández y Vázquez-Alvarado, 2012).

Los nopalitos cosechados presentan un comportamiento fisiológico muy simple, es decir, no presentan cambios bioquímicos importantes, como tampoco presentan cambios significativos en su actividad respiratoria ni en la producción de etileno, a no ser que se lesionen. Sin embargo, los nopalitos son altamente perecederos, puesto que su deterioro patológico, por deshidratación o por oxidación es muy acelerado. La

frigoconservación (5°C) mantiene o incrementa la acidez, mientras que el almacenamiento a 20°C da como resultado su disminución. La composición y estructura de las pencas o cladodios del nopal cambian con la edad, por lo que su uso e interés industrial es diferente; de acuerdo con Pimienta (1990) el contenido de proteínas es mayor en los brotes o renuevos; la fibra cruda aumenta y el contenido de cenizas disminuye con la edad del cladodio (Blanco-Macías, Reveles-Hernández, Vázquez-Alvarado, 2012).

El nopal verdura es una hortaliza perecedera con tasas de velocidad de respiración de aproximadamente 20  $\mu\text{L CO}_2/\text{kg h}^{-1}$  y producción de etileno de 0.10  $\mu\text{L C}_2\text{H}_4$ ; pierde su turgencia a los cuatro días a temperatura ambiente, lo que disminuye su aceptabilidad (Cantwell *et al.*, 1992).

Estudios de almacenamiento refrigerado muestran que a 10° C entre 80 y 85% HR puede mantenerse la calidad del nopal verdura por 30 días. Los principales problemas durante el almacenamiento son las pudriciones en el sitio del corte debido a una cosecha inadecuada, y a la deshidratación que ocasiona pérdida de turgencia (Ramayo-Ramírez *et al.*, 1978, citado por Cantwell *et al.*, 1992).

Los órganos frescos contienen en general más nitratos que aquellos conservados. Esto es debido a la pérdida de nitratos durante el lavado y el blanqueado. Es necesario ser precavidos con respecto de la fertilización nitrogenada, principalmente, ya que el nopal posee la particularidad de absorber y acumular fácilmente nitratos en sus cladodios y pueden alcanzar niveles tóxicos para personas y animales que los consumen (Blanco-Macías, Reveles-Hernández, Vázquez-Alvarado, 2012).

### **2.3.1. Nopal mínimamente procesado**

El procesamiento mínimo o tecnología de productos hortícolas pre-cortados es el manejo, preparación y distribución de productos agrícolas en un estado casi fresco. Los procesamientos mínimos incluyen todas las operaciones unitarias (lavado, selección, pelado, rebanado y otras) que generalmente se utilizan en la industria del enlatado, congelado o deshidratación, pero sin incluir el proceso de escaldado para inactivación enzimática.

Otra práctica de acondicionamiento obligada es el desespinado o “limpieza” de los nopalitos, lo cual generalmente se realiza en los mercados de destino, poco antes de su venta al detalle. Esta práctica, que en sí se considera una forma de procesamiento mínimo, generalmente es realizada manualmente por personas con habilidad muy desarrollada. También existen prototipos para el desespinado mecánico del nopalito. El producto ya desespinado presenta un metabolismo más acelerado, se deshidrata y oxida muy rápidamente y su vida de anaquel es muy corta.

El precortado, procesamiento mínimo o verdura cortada fresca son sinónimos usados tanto en México como en los Estados Unidos de América para denominar otra modalidad del manejo postcosecha en fresco de los nopalitos. (Corrales, 2000).

### **2.3.2 Manejo postcosecha y vida de anaquel del nopal verdura**

El nopal verdura con espina se ofrece al consumidor para prolongar el buen estado del producto y así poder mantener el estado fresco del mismo, o bien sin espinas, para consumo casi inmediato. Su presentación al público es el “nopalito” completo o picado listo para su cocción. Existe el producto enlatado, cuya principal ventaja es la de ofrecer mayor vida de anaquel, exportándose a EUA y a países europeos como Alemania y España (Yaía *et al.*, 2002).

Para el caso de producto de exportación se utilizan empaques de 10 a 15 kg, si el destino de venta son ciudades del norte del país se utilizan rejas de madera. Una vez realizado el empaque, el nopal se almacena en cámaras frías a una temperatura de 8 a 10 °C, sin romper la cadena de frío, es decir, la temperatura se mantiene en el transporte y hasta la entrega al consumidor (Financiera Rural, 2011). Los cladodios con daño en la base causado por un mal corte en la cosecha, deben comercializarse en un tiempo corto y no deben almacenarse o enviarse a mercados distantes pues sufren un 53 por ciento de pérdidas por pudriciones causadas por *Penicillium* spp, *Aspergillus* spp y *Alternaria* spp, en el almacenamiento durante 10 días a 15.6 - 21.1 °C y 50 a 60 % de humedad relativa (Ramayo-Ramírez *et al.*, 1978).

La vida de anaquel de los nopalitas (*Opuntia* sp.) cosechados correctamente es de una semana a 20 °C y 65 a 70 % de humedad relativa (Rodríguez-Félix y Villegas-Ochoa, 1997). La vida del nopalito se ve afectada por diferentes factores, entre ellos la forma de cosecha, el tipo de envase, la temperatura y humedad relativa de almacenamiento (Cantwell *et al.*, 1992; Nerd *et al.*, 1997; Rodríguez-Félix y Villegas-Ochoa, 1997). La pérdida de peso (Rodríguez-Félix y Villegas-Ochoa, 1997) y las pudriciones (Ramayo-Ramírez *et al.*, 1978), son los problemas que limitan su vida de anaquel durante el almacenamiento en condiciones simuladas de mercadeo a 20 °C mientras que el almacenamiento refrigerado ocasiona los daños por frío entre 10 y 12 °C o temperaturas inferiores (Cantwell *et al.*, 1992; Nerd *et al.*, 1997).

La vida de anaquel de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) mínimamente procesado es de 1 a 2 días a temperatura ambiente y de 7 días a 5°C. Los principales problemas que limitan su vida postcosecha son el oscurecimiento y la secreción de mucílago. Los procedimientos que se incluyen en el procesado mínimo son operaciones de desespinado, pelado, cortado y rebanado que causan el rompimiento celular, incrementando la velocidad de respiración y producción de etileno, así como la síntesis de metabolitos secundarios (Artés *et al.*, 2007, Brecht, 1995; Rojas-Grau *et al.*, 2009, citado por Fortiz-Hernández y Rodríguez-Félix, 2010). Estas reacciones acortan la vida de anaquel del producto ya que inducen oscurecimiento enzimático, pérdida de firmeza y desarrollo de microorganismos (Ahvenainen, 1996; Artés *et al.*, 2007; Oms-Oliu *et al.*, 2010 citado por Fortiz-Hernández y Rodríguez-Félix, 2010).

Entre las tecnologías aplicadas para alargar la vida de anaquel del nopalito se encuentran: atmósferas modificadas Osorio-Córdoba *et al.* (2011), en el cual evaluaron la conservación de nopal verdura desespinado (*Opuntia ficus indica* Mill.) envasado en atmósferas modificadas a 4 °C, a los cuales se le aplicaron atmósferas conteniendo aire, 5 kPa O<sub>2</sub> + 4 kPa CO<sub>2</sub> y nitrógeno, evaluándose los atributos de calidad y la producción de metabolitos de fermentación durante el almacenamiento. Cantwell *et al.*, (1992), encontraron que nopales envasados en bolsas de polietileno y almacenados a 5 °C prolongaron su vida de anaquel hasta por 3 semanas sin observar desarrollo de algún síntoma visual de daño por frío; Guevara *et al.*, (2001) citado por Osorio-Córdoba

*et al.*, (2011) reportaron que el nopal con espinas almacenado a 5 °C en atmósferas modificadas con niveles inferiores a 8.6 kPa de O<sub>2</sub> y superiores a 6.9 kPa de CO<sub>2</sub>, disminuyeron los síntomas de deterioro de la calidad, mostrando una vida de anaquel de 30 días. Guevara *et al.*, (2003) probaron los efectos de envasado en atmósfera pasiva y semi-activos modificada (MAP) en la vida postcosecha y la calidad de cladodios de nopal (*Opuntia* spp.), almacenados a 5 °C, indicando que después de 35 días de almacenamiento a 5 °C. Atmósferas Semi-activas con presiones iniciales de CO<sub>2</sub> de 40 o 80 kPa aumentaron las pérdidas en la textura, el peso, el contenido de clorofila, contenido de fibra dietética y color. En Atmósferas pasivas MAP y Atmósferas semiactivas MAP con 20 kPa CO<sub>2</sub> disminuyeron significativamente las pérdidas en los parámetros anteriormente mencionados, y también disminuyeron los recuentos microbianos.

## **2.4 Conservación en frío de frutos mínimamente procesados**

La calidad de frutas y hortalizas mínimamente procesadas es una combinación de atributos que establecen su valor como alimento, tales como: apariencia visual (frescura, color, defectos y pudriciones), textura (crujencia, jugosidad, firmeza, integridad del tejido), sabor, olor, valor nutritivo (vitaminas A y C, minerales y fibra dietética) y seguridad (ausencia de residuos químicos y contaminación microbiana) (Kader y Mitcham, 1998).

Algunos factores precosecha que influyen en la composición, calidad y vida postcosecha de frutas y hortalizas incluyen la madurez, cultivar o variedad, clima, tipo de suelo en el que se producen y crecen, fertilidad, aplicación de químicos, estatus del agua, variación genotípica. El contenido de mineral en frutas, principalmente fósforo, potasio y calcio se pueden utilizar para predecir la calidad postcosecha (Ladaniya, 2008).

Durante el almacenamiento postcosecha, las frutas y hortalizas sufren varios cambios fisiológicos como: ablandamiento del tejido, aumento en niveles de azúcar, y descenso en los niveles de ácidos orgánicos, degradación de clorofila, acompañada por la síntesis de antocianinas o carotenoides durante la maduración, producción y pérdida de

compuestos volátiles de sabor, descenso en el contenido fenólico y aminoacídico, así como el rompimiento de materiales celulares debido a la respiración (Bautista-Baños *et al.*, 2006). La velocidad del deterioro postcosecha depende del tipo de producto, condiciones de almacenamiento, distribución del producto, daños mecánicos, infecciones por hongos y bacterias y condiciones del desarrollo del cultivo y dentro de este último pero no menos importante la fertilización mineral (Subbiah, 1994 y Wilcox, 1996).

Para minimizar las elevadas tasas de respiración y de actividad metabólica de los productos con procesamiento mínimo se requiere la conservación en frío siguiendo un estricto control de temperatura. En general, todos los productos mínimamente procesados se deben almacenar dentro del rango de 0 -5 °C para mantener su calidad, seguridad y vida de anaquel y dentro de lo posible a 0 °C; esto también se aplica a productos hortofrutícolas sensibles al frío como los nopalitos.



### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Sitio experimental

La investigación se llevó a cabo de agosto de 2013 a octubre de 2014 en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México situado a 19° 28' Latitud Norte y 98° 47' Longitud Oeste, a 2240 m de altitud. El clima es templado-cálido con lluvias en verano, precipitación total anual de 772.25 mm, las temperaturas máximas mensuales promedio fueron de 28° a 33.5 °C durante el periodo de estudio (mayo-julio), en tanto que las temperaturas mínimas promedio fueron de 15° a 17 °C; la humedad relativa fluctuó entre una mínima promedio de 35% y una máxima promedio de 78%; las condiciones de luz fueron de 800 a 900  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

#### 3.2. Material vegetal

Se utilizó una plantación de nopal verdura (*Opuntia ficus indica* L.), variedad Milpa Alta de cuatro años de edad. Ésta variedad probablemente se originó en la región del grupo étnico otomí en Hidalgo (Reyes *et al.*, 2004); se le denomina así por ser la primer zona del cultivo comercial de esta hortaliza (Gallegos *et al.*, 2008). La característica de esta variedad es que el cladodio tiene un espesor menor comparado al de otros cultivares como Atlixco y COPENA V-I, lo cual le otorga menor consistencia en postcosecha, sin embargo; es de fácil desespinado porque presenta podarios poco prominentes y forma aplanada (Gallegos y Mondragón, 2011).

#### 3.3. Fertilidad del suelo

El análisis de fertilidad del suelo en el sitio experimental muestra que el pH del suelo está en el rango de ligeramente alcalino a alcalino. (Cuadro 1A).

#### 3.4. Conducción del experimento

La investigación se desarrolló en dos estudios. El estudio I corresponde al trabajo de campo y el análisis del estatus nutrimental del cladodio “nopalito”, al momento de cosecha. El estudio II se refiere al análisis de calidad postcosecha y vida de anaquel del nopal desespinado realizado en el laboratorio.

### 3.5 Estudio I. Calidad nutrimental del nopal verdura var. Milpa Alta, en función de la fuente de fertilización.

#### 3.5.1 Tratamientos y diseño experimental

El experimento de campo (fertilización) fue iniciado en 2010; en la presente investigación se seleccionaron tres de los mejores tratamientos de fertilización de acuerdo a Flores (2013): Tratamiento 1, estiércol de bovino más fertilizante triple 17 (E + T 17). El estiércol seco se aplicó a razón de 100 t ha<sup>-1</sup> y 1.6 t ha<sup>-1</sup> del fertilizante triple 17; Tratamiento 2, composta más inoculación del hongo *Glomus mosseae* (C + M). La composta se aplicó a una dosis de 5 kg por planta, equivalente a 100 t ha<sup>-1</sup>, distribuida en banda en el área de goteo, durante el mes de agosto de 2012 y 2013; la inoculación del hongo micorrízico se hizo con 20 gr de sustrato integrado por raíces de bálsamo (*Ipatiens balforii*); Tratamiento 3, mezcla de fertilizante mineral (MFM) aplicada por fertirriego (tres aplicaciones) en los meses de mayo y agosto de multi NPK (13-0.86-36.7), fosfato monoamónico (12-26-0), nitrato de calcio (15.5-0-0-18) N, P, K y Ca, respectivamente, sulfato de potasio (0-0-43-18) N, P, K y S, respectivamente, urea (46-0-0) y superfosfato de calcio triple (0-46-0). Las dosis en kg ha<sup>-1</sup> se calcularon considerando una densidad de 20,000 plantas ha<sup>-1</sup> y requerimientos nutrimentales para nopal verdura de 199 de N, 65 P y 1015 de K de acuerdo a Orona *et al.* (2004) y Vázquez *et al.* 2009, citados por Flores (2013), más un Testigo (T) el cual sólo tuvo riego. El riego fue aplicado por goteo cada siete días.

El diseño experimental fue bloques al azar con tres repeticiones, la parcela experimental estuvo formada de cinco plantas de la cual se tomó la muestra. El análisis nutrimental de los cladodios se hizo en el laboratorio de Nutrición de Frutales del Postgrado de Fruticultura.

**Concentración de nitratos:** Esta variable se analizó por fuente de fertilización y tamaño del cladodio. El diseño de tratamientos fue un factorial 4 x 4, siendo los factores: A. Fuentes de fertilización (4) y B. Tamaño de cladodio (4); los 16 tratamientos (Cuadro 2) fueron analizados en completamente al azar con 3 repeticiones, una repetición la constituyó un cladodio.

**Cuadro 2.** Tratamientos ensayados para determinar la concentración de nitratos en cladodios de la var. Milpa Alta bajo cubierta plástica.

No.	Fuente de fertilización	Tamaño de cladodio (cm de longitud)
1	E + T 17	10-14
2	C + M	10-14
3	MFM	10-14
4	Testigo	10-14
5	E + T 17	15-20
6	C + M	15-20
7	MFM	15-20
8	Testigo	15-20
9	E + T 17	20-25
10	C + M	20-25
11	MFM	20-25
12	Testigo	20-25
13	E + T 17	26-30
14	C + M	26-30
15	MFM	26-30
16	Testigo	26-30

E+T 17=estiércol de bovino + triple 17; C + M= composta + micorriza; MFM= mezcla de fertilizantes minerales de alta solubilidad.

### 3.5.2 Variables respuesta

#### 3.5.2.1 Concentración de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu y B

La concentración nutrimental en los nopalitos se determinó en una muestra compuesta de 12 cladodios de 20 a 25 cm de longitud. Los nopales fueron desespinaados y fraccionados, posteriormente se pusieron a secar en una estufa Stener modelo 117 M a temperatura de 70 °C durante 48 hr, hasta obtener peso constante. Una vez deshidratados, los cladodios se molieron en un molino de acero inoxidable marca Siemens, modelo ASKM con tamiz de 2 mm. La muestra fue guardada en sobre de papel para su posterior análisis.

Para la determinación de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu y B, se pesaron 0.5 g de muestra y se digirió mediante la mezcla diácida (HNO<sub>3</sub>: HClO<sub>4</sub>) (Chapman y Pratt, 1961).

La concentración de P se obtuvo según la Norma AOAC (1980) por el método de Vanadato-Molibdato Amarillo, las lecturas se registraron a 470 nm con un espectrofotómetro Milton Roy Company modelo Spectronic 20D. Los cálculos se hicieron con la siguiente fórmula:

$$\% P = \frac{Abs * Vol\ digestión * Vol.\ dilución}{Peso\ de\ la\ muestra * Alicuota}$$

Donde:

%P = Porcentaje de fósforo

Abs= Absorbancia

Vol. digestión = Volumen de digestión

Vol. dilución= Volumen de dilución

Las concentraciones de K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu y B fueron registrados por medio de un equipo ICP (Optical Emission Spectrometer) marca Varian modelo 725-ES. La determinación de N se hizo por el método de Kjeldahl (Bremner, 1965); para la destilación se utilizó hidróxido de sodio y en la titulación se ocupó ácido sulfúrico con una normalidad de 0.05. El cálculo se realizó con la fórmula siguiente.

$$\%N = \frac{H_2SO_4 * N}{H_2SO_4} * 14$$

Donde:

%N= Porcentaje de nitrógeno

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>= mL gastados de ácido sulfúrico

N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>= Normalidad de ácido sulfúrico

### 3.5.2.2 Concentración de nitratos

La cuantificación de nitratos se realizó por el método de Colorimetría por nitración con ácido salicílico (Cataldo, 1975). Para ello se utilizaron cinco gramos de tejido vegetal fresco por tratamiento de fertilización y por tamaño de cladodio. Las lecturas se hicieron a 470 nm con un espectrofotómetro Milton Roy modelo Spectronic 20D. Los cálculos se realizaron de la siguiente manera:

$$\frac{\mu gN - NO_3}{g} = \frac{m * Abs\ muestra * 50\ mL}{peso\ de\ la\ muestra\ en\ gramos}$$

Donde:

μgN-NO<sub>3</sub>/g = Concentración de nitratos

m = pendiente de la curva de calibración

Abs muestra= Lectura de la absorbancia de cada muestra con su blanco

### **3.5.2.3 Análisis químico de suelo**

Con el fin de hacer un análisis de correlación entre la concentración nutrimental de los cladodios y el suelo, se realizó un análisis químico en el laboratorio de Fertilidad de Suelos del Colegio de Postgraduados. El análisis se hizo en tres muestras por tratamiento; la colecta de muestras fue realizada con barrena tipo California, a una profundidad de 0-30 cm, debido a que la mayor parte de la actividad radicular bajo condiciones de riego, ocurre en este estrato. El suelo se secó al aire libre y posteriormente se tamizó con abertura de malla del tamiz de 0.5mm, la muestra se almacenó para su posterior análisis. Los parámetros de medición fueron: pH por electrometría usando un electrodo de vidrio en agua, relación 1:2 (ASTM 1999), conductividad eléctrica en el extracto de saturación con una relación suelo-agua de 1:5 mediante conductimetría (Richards, 1982), materia orgánica (MO) por el método de Walkley y Black (Arteta y Aguilar, 1987), capacidad de intercambio catiónico (CIC), K, Ca, Mg, Na, por el método  $\text{NH}_4\text{OAc}$  pH 7 (acetato de amonio normal a pH 7) 1N, textura por el método de Boyoucos, concentración de P por el método de Olsen, Fe, Cu, Zn, Mn, B extraídos por DTPA 0.005 M y cuantificados por absorción atómica. La concentración de N total se estimó multiplicando el valor de MO por el factor 0.05.

### **3.5.3 Análisis estadístico**

Los datos se analizaron mediante prueba de normalidad, homogeneidad de varianzas, análisis de varianzas y comparación de medias con la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ), utilizando el paquete estadístico SAS® 9.0 y 9.1.

## **3.6 Estudio II. Calidad poscosecha y vida de anaquel del nopal verdura var. Milpa Alta desespinado en función de la fuente de fertilización y almacenamiento en refrigeración.**

### **3.6.1 Tratamientos y diseño experimental**

Se estudiaron 12 tratamientos los cuales resultaron de la combinación de cuatro tratamientos de fertilización y tres tiempos de almacenamiento en refrigeración (Cuadro 3). El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo de tratamientos

factorial 4 x 3. Los factores de estudio fueron: A) Fuentes de fertilización (4) y B) Tiempo de almacenamiento en refrigeración a  $6\pm 1$  °C para esto se utilizó un refrigerador Nieto ® modelo RT50LF (3).

**Cuadro 3.** Lista de tratamientos resultado de la combinación de los factores fuente de fertilización y tiempo de almacenamiento en refrigeración.

No.de tratamiento	Fuente de fertilización	Almacenamiento en refrigeración (días)
1	E + T 17	0
2	C + M	0
3	MFM	0
4	Testigo	0
5	E + T 17	7
6	C + M	7
7	MFM	7
8	Testigo	7
9	E + T 17	14
10	C + M	14
11	MFM	14
12	Testigo	14

E+T 17=estiércol de bovino + triple 17; C + M= composta + micorriza; MFM= mezcla de fertilizantes minerales.

Transcurrido el tiempo de refrigeración ( $6\pm 1$ °C), los nopalitos se conservaron a temperatura del medio ambiente y la evaluación de calidad se realizó a los 0, 2 y 4 días.

### 3.6.2 Variables de respuesta.

Una vez cosechados los nopalitos, se trasladaron al laboratorio de Fisiología Postcosecha del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, en donde se lavaron con una solución de agua con cloro (2ml L<sup>-1</sup>), sumergidos por un tiempo de 30 segundos aproximadamente.

#### 3.6.2.1 Pérdida de peso

La medición se hizo con una balanza digital Asep modelo EY-2200 A, los datos fueron reportados como porcentaje de pérdida de peso (%PP) respecto al valor inicial, con la siguiente fórmula:

$$\%PP = \left( \frac{Pi - Pf}{Pi} \right) \times 100$$

Donde:

%PP= Porcentaje de pérdida de peso

Pi = Peso inicial

Pf = Peso final

#### 3.6.2.2 Color

Se utilizó un colorímetro de reflexión Hunter Lab, marca Reston, modelo D25-PC2 y con base en los parámetros L, a y b, se calcularon el ángulo Hue ( $\tan^{-1}(b/a)$ ) y diferencia en "L". Se monitorearon además a y b, las lecturas se realizaron por ambas caras del cladodio.

$$\Delta L = L \text{ día de muestreo} - L \text{ inicial}$$

Donde:  $\Delta L$ = Diferencia de Luminosidad

L= Luminosidad



### **3.6.2. 2 Firmeza**

Para evaluar la firmeza del tejido que forma la cutícula de los cladodios se utilizó un texturómetro “Chatillón” universal Force Five model FDV-30, con puntal de cincel de 3 cm, se cuantificó la fuerza en Newton (kg-f). Para cada repetición, se cortaron trozos de 4 cm de ancho a lo largo de cada cladodio, con los cuales se realizaron 3 cortes; uno en cada extremo y otro en la parte media, cada dos días a partir de la exposición al ambiente.

### **3.6.7 Contenido de clorofila a, b y total**

Se cuantificó el contenido de clorofilas a, b y total por el método de AOAC (1980). La clorofila se puede encontrar en formas a y b (cla, clb). La cla es verde azulada con absorción máxima a 663 nm, la clb es verde amarillenta con absorción máxima a 645 nm.

Para la extracción se tomó una muestra (0,5 g) de tejido del cladodio, la muestra se picó finamente y se transfirió a un vial de 20 mL., se adicionaron 10 mL de acetona 80%, se taparon y dejaron en reposo por 48 h en refrigeración y oscuridad.

Para la cuantificación y cálculos: se leyó a una absorbancia de 645 y 663 nm, se utilizó agua destilada como blanco y se aplicaron las siguientes ecuaciones:

$$\text{Clorofila total (mg L-1)} = 8.2 (A663) + 20.2 (A645)$$

$$\text{Clorofila a (mg L-1)} = 12.7 (A663) - 2.59 (A645)$$

$$\text{Clorofila b (mg L-1)} = 22.9 (A645) - 4.68 (A663)$$

### **3.6.8 Análisis estadístico**

Los datos se analizaron mediante prueba de normalidad, homogeneidad de varianza, análisis de varianza y comparación de medias con la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ), utilizando el paquete estadístico SAS ® 9.0 y 9.1.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Concentración de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu y B

Los resultados de concentración de Mn, Zn, y B en los nopalitos, al momento de cosecha, mostraron diferencias significativas entre fuentes de fertilización (Cuadro 4). Con la mezcla de fertilizantes minerales de alta solubilidad (MFM) aplicados a través de fertirriego se alcanzó la más alta concentración de Mn ( $81.31 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y con composta y micorriza (C + M) la más baja ( $30.52 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Respecto al Zn, el valor más alto se obtuvo con la fuente de estiércol + triple 17 ( $44.11 \text{ mg kg}^{-1}$ ) no siendo estadísticamente diferente con composta + micorriza y el testigo ( $26.31$  y  $27.85 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente), pero sí con la mezcla de fertilizantes minerales ( $9.91 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Es de señalar que la aplicación del estiércol más el fertilizante mineral Triple 17 se realizó una vez a inicios de año y para el caso de la MFM las aplicaciones se realizaron en los meses de mayo y agosto, situación que pudo haber influido en esta respuesta.

La concentración de fósforo fue mayor cuando se aplicó estiércol más fertilizante químico (0.54 %); sin embargo, la diferencia no fue significativa con el resto de los tratamientos. Por su parte Zúñiga-Tarango, *et al.*, (2009) encontraron valores promedio de 0.56 y 0.59% con aplicaciones de estiércol bovino empleando dosis de 100 y 300 t  $\text{ha}^{-1}$  respectivamente; para el caso de Zn encontraron valores de 44.80 ppm cuando se fertilizó con estiércol a razón de 100 t  $\text{ha}^{-1}$  y en esta investigación el valor fue de 44.11 ppm para la fertilización con estiércol de bovino más fertilizante triple 17.

**Cuadro 4.** Efecto de la fuente de fertilización en la concentración de macro y micronutrientes en el tejido de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica* L.) variedad Milpa Alta, al momento de cosecha.

Fuente de fertilización	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B
	%					mg kg <sup>-1</sup>				
E + T 17	1.61a <sup>z</sup>	0.54a	3.30a	2.44a	2.35a	59.89a	45.00b	44.11a	9.63a	151.72ab
C + M	1.26a	0.48a	4.28a	2.38a	2.55a	69.03a	30.52c	26.31ab	9.18a	137.64b
MFM	1.75a	0.39a	2.88a	2.62a	2.81a	57.21a	81.38a	9.91b	7.65a	156.09a
Testigo	1.40a	0.43a	3.22a	2.88a	2.81a	68.91a	46.44b	27.85ab	7.15a	143.19ab
CV	13.69	8.32	10.48	4.47	4.27	9.2	3.49	18.53	6.68	2.99
DMS	0.99	0.18	1.73	0.55	0.54	28.3	5.01	24.19	2.71	12.44

<sup>z</sup> Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales ( $p \leq 0.05$ ).

Estiércol de bovino más fertilizante triple 17 = E +T 17, C + M = Composta más inoculación del hongo micorrícico *Glomus mosseae*, MFM = mezcla de fertilizantes minerales.

Se realizó un análisis de correlación entre la concentración de nutrientes del suelo y nutrientes del cladodio para conocer el grado de asociación. Los resultados de este análisis se presentan en el Cuadro 5; en el cual se observa que hubo correlación de N del suelo con Ca del tejido con un valor de -0.72145 esto indica que a mayor contenido de N hay menor contenido de Ca. La importancia del nitrógeno en el cultivo de nopal es por la inducción de crecimiento vegetativo y la formación de nuevos brotes, así como la utilización de este elemento en la síntesis de pigmentos, en este caso, para la síntesis de clorofila la cual proporciona el color verde característico de los nopalitas. Por el contrario, un alto contenido de este elemento diluye el contenido de Ca, lo que a su vez provoca menor firmeza del tejido. Un elevado contenido de Ca impide la absorción de hierro y zinc, resultados que se muestran de la correlación de Ca con Fe con un valor de -0.58364, aunque para Zn no hay correlación significativa se obtuvo un valor de -0.33842.

La interacción de N con Mg mostró un resultado de (-0.71229), siendo el Mg importante en los procesos de fotosíntesis y respiración, caso contrario a lo que resulta con Cu y Zn, debido a que se manifiesta una correlación positiva de 0.69 870 y 0.66432 respectivamente, mostrando mayor absorción del nutriente. Díaz (2002) menciona que altos contenidos de un nutriente puede impedir o dificultar la absorción de algún otro elemento. El P en niveles altos tiende a modificar el estado químico de Fe, como consecuencia hay precipitación del elemento y reduce la entrada de Zn (Díaz 2002); en esta investigación, el P presentó una correlación positiva con Cu (0.62711) y Zn (0.54301).

**Cuadro 5.** Correlación entre concentración de nutrientes del suelo y nutrientes del cladodio de nopal verdura var. Milpa Alta por efecto de la fuente de fertilización a través del suelo.

Suelo / Tejido	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	B
N	-0.23652	0.68891	0.27866	-0.72145	-0.71229	-0.00308	0.69870	0.66432	-0.59990	-0.32387
P	-0.10317	0.50399	0.12465	-0.32175	-0.26810	-0.17231	0.62711	0.54301	-0.30366	0.19187
K	0.65234	-0.34969	-0.62257	0.23926	0.37401	-0.02870	-0.07586	0.31647	0.66441	0.38766
Ca	-0.02416	-0.34272	-0.12065	0.19116	0.10210	-0.58364	-0.10249	-0.33842	0.45781	0.69740
Mg	-0.02281	-0.35791	-0.17409	0.78457	0.53777	0.38710	-0.35728	-0.26443	0.25472	0.01647
Fe	-0.44841	0.57605	0.32492	-0.68500	-0.48569	-0.15154	0.60018	0.38842	-0.39428	0.09524
Cu	-0.44792	0.47326	0.44689	-0.69385	-0.40689	-0.00662	0.62595	0.48653	-0.50638	0.00395
Zn	-0.55471	0.59261	0.64035	-0.42459	-0.38745	0.09743	0.43253	0.49386	0.70771	-0.22006

## 4.2 Concentración de nitratos

Los resultados muestran que la fuente de fertilización tuvo efecto en la concentración de nitratos de los nopales de 26-30 cm de longitud, la mayor concentración se obtuvo con la mezcla de fertilizantes minerales (159.23mg kg<sup>-1</sup>), seguido por el tratamiento E+T17 (148.08) y el Testigo (97.85), con composta más micorriza la concentración fue la más baja (77.74). Una tendencia similar se encontró en los nopales de 10 a 14 cm. En promedio la categoría por tamaño que tuvo menos concentración de nitratos fue la de 15 a 20 cm de longitud, con un mínimo de 78.4 mg kg<sup>-1</sup> (testigo) y un máximo de 95.7 mg kg<sup>-1</sup> (estiércol más fertilizante triple 17). Los resultados se muestran en el Cuadro 6. Los valores promedios encontrados en este estudio predominan en el extremo mínimo según lo reportado por López *et al.* (2007), y no exceden los límites máximos permisibles (5 mg kg<sup>-1</sup>) de consumo diario en humanos, además están por debajo a los encontrados en otros estudios con espinaca y lechuga.

Por otra parte es de señalar que a diferencia de otros tratamientos la fertilización con la mezcla de fertilizantes minerales vía fertirriego incluyó el suministro de 10 g por planta de nitrato de calcio (15.5-0-0-18, N, P, K, Ca, respectivamente) esta podría ser la razón por la que los nopalitos con este tratamiento tuvieron mayor concentración de nitratos.

**Cuadro 6.** Concentración de nitratos (mg kg<sup>-1</sup>) en cladodios por efecto de la fuente de fertilización y por tamaño del mismo.

Fuente de fertilización	Longitud del cladodio (cm)			
	10-14	15-20	20-25	26-30
E + T 17	104.26a <sup>2</sup>	95.69a	116.02a	148.08ab
C + M	81.25a	79.07a	122.04a	77.74b
MFM	130.31a	92.26a	101.42a	159.23a
Testigo	103.02a	78.39a	137.55a	97.85ab

<sup>2</sup>Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tuckey  $p \leq 0.05$ ). Estiércol bovino más fertilizante triple 17 (E + T 17), composta más inoculación del hongo *Glomus mosseae* (C + M), mezcla de fertilizantes minerales (MFM).

### 4.3 Color

El primer acercamiento del consumidor al alimento es por su color, ya que lo relaciona con la decisión de la aceptación o el rechazo (Guerrero *et al.*, 2006).

De acuerdo con el análisis estadístico de los parámetros relacionados con el color de los cladodios cosechados y conservados a medio ambiente, se encontró que en la interacción de fuente de fertilización y tiempo de almacenamiento refrigerado el valor de la luminosidad (L) resultó significativo al momento de cosecha y al segundo día de estar a medio ambiente después de siete días de almacenamiento refrigerado; sin embargo, cuando la evaluación se hizo a los cuatro días no hubo diferencia significativa por efecto de la fuente de fertilización pero sí por el tiempo de almacenamiento refrigerado de acuerdo a la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) (Cuadros, 2A, 3A y 4A ).

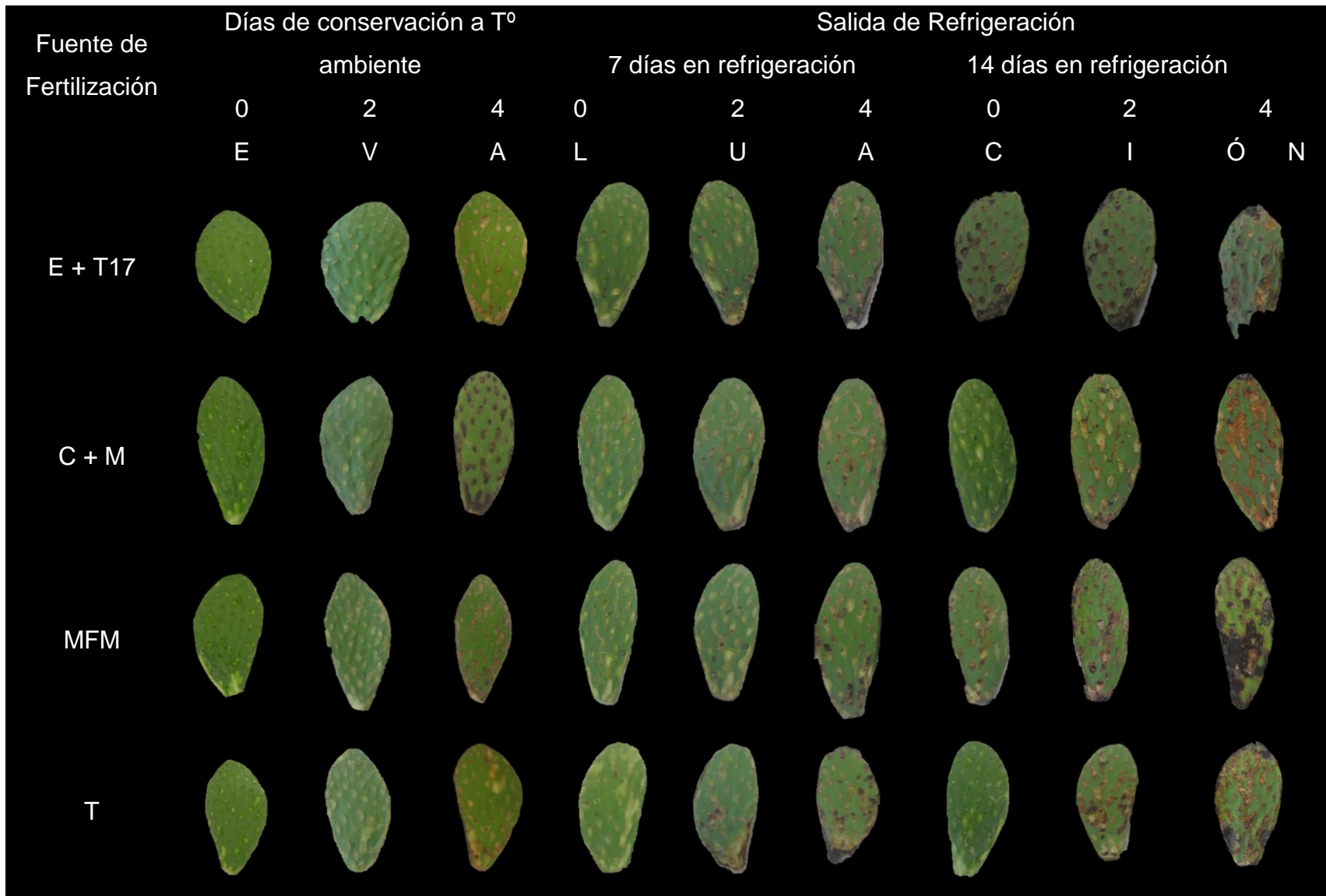
El resultado de luminosidad al tiempo cero, fue estadísticamente igual para los tratamientos de siete y catorce días en refrigeración (32.96 y 34.81, respectivamente), en contraste a los 0 días de refrigeración el valor fue de 38.24. Transcurridos dos días los valores incrementaron para los tratamientos de refrigeración pero no al ambiente (ambiente= 36.98, siete días en refrigeración= 38.48 y 36.64 para los catorce días en refrigeración) sin presentar diferencias significativas en el almacenamiento refrigerado. A los cuatro días de evaluación disminuyeron los valores para los tratamientos con refrigeración pero no para el tratamiento al ambiente debido a que la tendencia para éste fue en aumento (ambiente 39.24, siete días en refrigeración 37.78, catorce días en refrigeración= 35.92) como se muestra en el Cuadro 7.

**Cuadro 7.** Valores de L (luminosidad) y Hue<sup>o</sup> (ángulo de tono) obtenidos en cladodios de *Opuntia ficus-indica* L. conservados a 0, 7 y 14 días en refrigeración (6± 1 °C), y evaluados a los 0, 2 y 4 días después de la salida de almacenamiento refrigerado.

Tiempo de almacenamiento en refrigeración	Luminosidad				Hue <sup>o</sup>		
	días			—	Días		
	0	2	4		0	2	4
E + T 17 (0 )	36.85ab <sup>z</sup>	33.04b	38.65a		-190.75d	-186.64ab	-161.82a
C + M (0)	38.96a	38.45ab	39.70a		-172.87bcd	-182.98ab	-168.49a
MFM (0)	38.20a	35.85ab	38.49a		-175.17cd	-190.53ab	-181.33abc
Testigo (0)	38.95a	40.57a	40.12a		-177.37cd	-177.56a	-174.18ab
E + T 17 (7)	35.41abc	38.71ab	37.39a		-152.74ab	-186.20ab	-188.28abc
C + M (7)	30.73c	37.72ab	38.17a		-146.91a	-184.94ab	-193.41abc
MFM (7)	34.81abc	37.95ab	37.41a		-174.41cd	-180.94ab	-190.11abc
Testigo (7)	30.87bc	39.53ab	38.17a		-168.68bc	-181.30ab	-196.01abc
E + T 17 (14 )	37.45a	37.08ab	35.09a		-179.44cd	-210.10b	-201.05abc
C + M (14)	30.38c	37.95ab	37.45a		-187.82cd	-204.67ab	-219.09c
MFM (14)	34.01abc	36.17ab	34.46a		-187.10cd	-207.59ab	-215.69bc
Testigo (14)	37.40a	35.52ab	36.68a		-183.32cd	-193.98ab	-195.13abc

<sup>z</sup> Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey  $p \leq 0.05$ ). Fuentes de fertilización: Estiércol de bovino más fertilizante triple 17 = E + T 17, composta más inoculación del hongo *Glomus mosseae* = C + M, mezcla de fertilizantes minerales = MFM; (0), (7) y (14) días en almacenamiento refrigerado.





**Figura 1.** Evolución del color en nopalitas *Opuntia ficus-indica* L. var. Milpa Alta, evaluados a temperatura ambiente ( $23 \pm 1^\circ\text{C}$ ), al momento de cosecha, a la salida de refrigeración y a los dos y cuatro días después refrigeración. Fuentes de fertilización: estiércol bovino más fertilizante triple 17 (E + T 17), composta más inoculación del hongo *Glomus mosseae* (C + M), mezcla de fertilizantes minerales (MFM).

Entre los dos tiempos de refrigeración no hubo diferencia significativa lo cual indica que los cladodios mantuvieron la luminosidad por un periodo de 7 y 14 días de almacenamiento refrigerado; al cuarto día de evaluación, el valor de luminosidad disminuyó con el almacenamiento; estos resultados coinciden con Guevara, *et al.* (2001) quienes encontraron que el valor de luminosidad de cladodios de la variedad Milpa Alta se mantuvo durante el almacenamiento por 30 días a 5°C bajo condiciones de envasado en atmósferas modificadas (EAM) pasivas y se incrementó ligeramente (de 50 a 56) en cladodios no envasados (testigo); asimismo, también reportaron un ligero incremento en los valores de L durante el almacenamiento por 25 días a 5°C en cladodios sin envasar. Sapers y Miller, (1995); citado por Quevedo *et al.*, (2013) encontraron que una disminución en el valor de luminosidad indica oscurecimiento del tejido, los resultados de esta investigación se aprecian en la Figura 1. Ramírez *et al.* (2013), reportaron que la apariencia fresca, el color verde y el sabor ligeramente ácido de los cladodios son características claves en la apreciación de los consumidores para el producto.

### **Ángulo de Tono (Hue)**

El análisis del ángulo de tono evaluado al momento de cosecha mostró que la diferencia fue significativa debido a la interacción fuente de fertilización y tiempo de almacenamiento refrigerado. Sin embargo, a los dos y cuatro días de evaluación no hubo diferencia por fuente de fertilización.

Por efecto del tiempo de almacenamiento el ángulo de tono osciló entre 160.68° y 184.42° en el tono verde, presentando diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre los periodos de refrigeración. No hubo diferencia significativa entre el tratamiento al ambiente y catorce días en refrigeración (179.04° y 184.42° respectivamente) y éste aumentó a los dos días de almacenamiento con (184.43°, 183.34° y 206.08°, al ambiente, siete días en refrigeración y catorce días en refrigeración, respectivamente). A los cuatro días de evaluación se presentó aumento únicamente para los tratamientos con refrigeración (191.95° y 207.74°, siete y catorce días en refrigeración respectivamente). El tratamiento ambiente disminuyó de manera significativa a los cuatro días de evaluación (171.45°). Los resultados se muestran en el Cuadro 4A.

Los valores en el ángulo de tono difieren de los reportados por Quevedo *et al.* (2013), los cuales reportan valores de 125.6°, donde reporta que el ángulo de matiz de nopal verdura mínimamente procesado disminuyó ( $p \leq 0.05$ ) al avanzar el periodo de almacenamiento, y disminuyó más a 5 °C ( $p \leq 0.05$ ) que a 10 °C. Osorio-Córdoba *et al.* (2011) reportaron que respecto a la variable de color, no se observaron cambios significativos en los nopales durante los días de almacenamiento a los 5, 10, 15, 20 y 25 días de almacenamiento a 24 y 4°C.

Guevara *et al.* (2001) reportan que los nopales con espinas almacenados en atmósferas modificadas pasivas (EAMs) mantienen su color, mientras que el testigo cambian de un color verde brillante a un verde opaco; estos resultados coinciden con los obtenidos en la presente investigación en los tratamientos al ambiente. La disminución de ángulo de tono se debe a la tendencia en el cambio de color de verde a amarillo, y el aumento en los tratamientos refrigerados puede deberse al cambio de verde a café oscuro por efecto de daños por frío, lo cual provoca oscurecimiento enzimático y por tanto manchado en el tejido, presentes en las evaluaciones a los dos y cuatro días almacenados al ambiente, que es cuando el daño por frío se manifiesta según se aprecia en la Figura 1. Yahia y Guevara-Aranza (2010) reportan valores del ángulo hue de 178 y 179°, los cuales coinciden con los obtenidos en esta investigación.

## **Croma**

Por efecto de fuente de fertilización el valor de croma con una  $p \leq 0.05$  no mostró diferencia significativa entre tratamientos, pero sí por el efecto de tiempo de almacenamiento en refrigeración.

A los dos días de estar expuestos los nopalitos al ambiente no hubo diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) tras siete y catorce días en refrigeración (18.36 y 17.46 respectivamente) con relación al tratamiento sin refrigeración el cual tuvo un valor de 20.68. A los dos y cuatro días de almacenamiento sin refrigeración éste parámetro de color disminuyó de manera gradual mostrando los siguientes valores (18.08 y 18.08 para tratamiento al ambiente y siete días en refrigeración) sin mostrar diferencia significativa entre ellos, pero sí para el tratamiento con catorce días en refrigeración el

cual tuvo un valor de 16.54. A los cuatro días de evaluación la tendencia fue muy similar (17.80, 16.35 y 15.95) sin diferencia significativa entre el tratamiento al ambiente y siete días en refrigeración, pero sí a los catorce días de refrigeración respectivamente, como se muestra en el anexo.

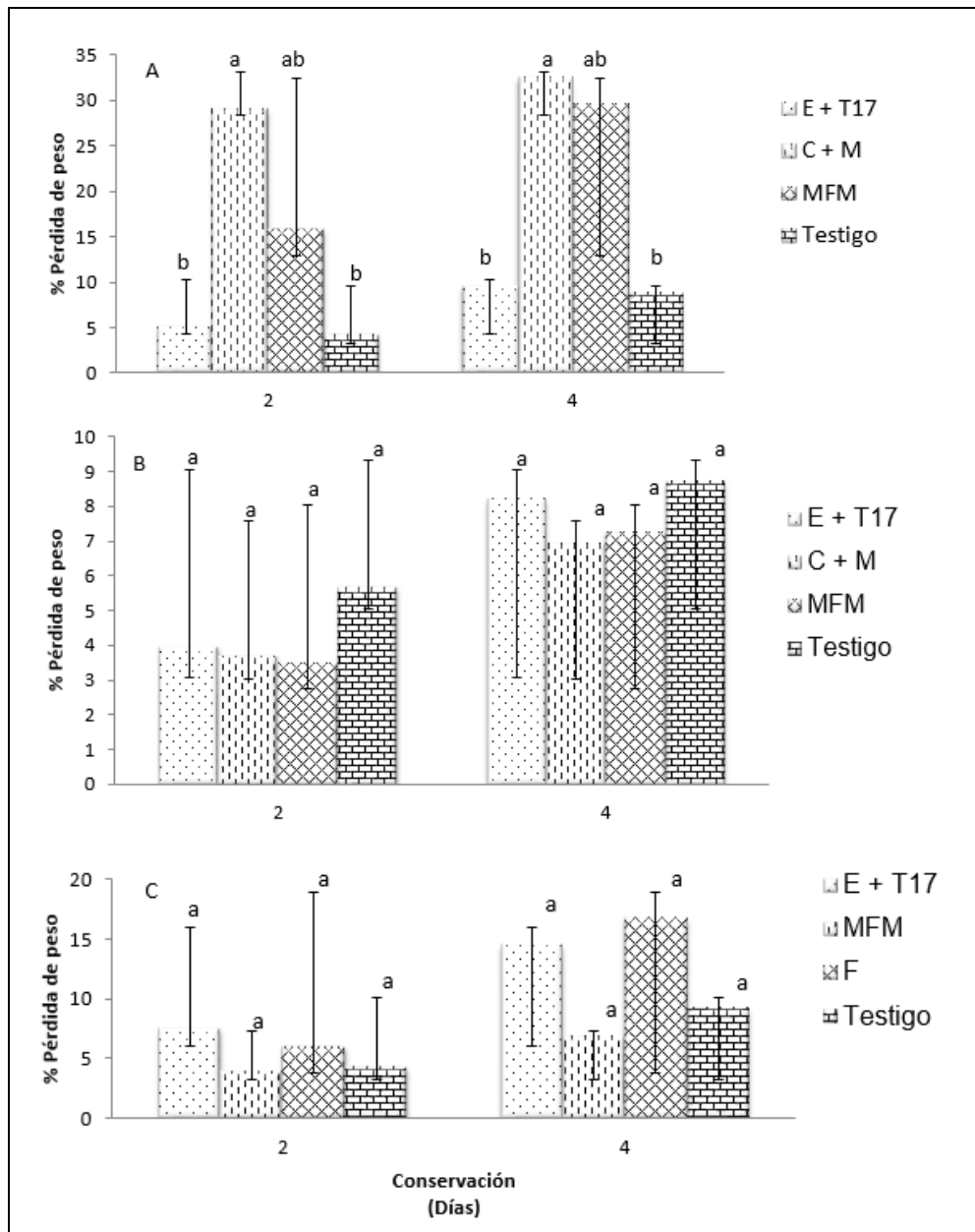
El croma indica la saturación o intensidad del color. Los valores elevados indican un tono de color más intenso y la disminución en este valor indica que el color es más tenue o más pálido (Konica Minolta 2003). Uno de los cambios iniciales que ocurren en la apariencia visual de los cladodios de nopal verdura durante su almacenamiento es el cambio de color verde brillante a verde opaco (Cantwell *et al.*, 1992; Guevara, *et al.*, 2003), esto se aprecia en la Figura 1.

#### **4.4 Pérdida de peso**

En los productos hortícolas, la pérdida de agua ocurre principalmente por transpiración a través de la cutícula, estomas, lenticelas, heridas y puntos de corte (Baldwin, 1994).

Los nopalitos almacenados a temperatura ambiente después de cosechados presentaron diferencia estadísticamente significativa por efecto de la fuente de fertilización, aquellos que fueron refrigerados durante siete y catorce días y posteriormente evaluados a temperatura ambiente, no presentaron diferencia estadística significativa por efecto de la fuente de fertilización, pero mostraron diferencia significativa debido al tiempo y temperatura de almacenamiento. La mayor pérdida de peso se presentó en almacenamiento al ambiente (23°C) con valores de 29.07 y 32.51% a los dos y cuatro días respectivamente (Figura 2); sin embargo, en esta misma condición la fertilización con estiércol + fertilizante químico (E+ T17) y el testigo tuvieron menos pérdidas con 5.14, 9.45, 4.13 y 8.7, respectivamente, lo cual implica que conforme aumenta la temperatura y el tiempo de almacenamiento las pérdidas de agua se incrementan, favoreciendo la deshidratación en los cladodios. Rodríguez-Félix y Villegas-Ochoa (1997), reportaron que la pérdida de peso de nopal verdura se incrementó a medida que transcurrió el período de almacenamiento. La pérdida de peso fue menor durante el almacenamiento a 5°C (42.3%) respecto al almacenamiento a 10°C (50.7%) en cladodios de COPENA V-1 y COPENA F-1,

respectivamente. A temperaturas superiores (10°C), la incidencia de daños por frío después de 21 días es baja (6%), por lo que a esta temperatura la pérdida de peso es el principal factor que afecta la calidad de los nopalitos (Rodríguez-Félix y Villegas-Ochoa, 1997).



**Figura 2.** Efecto de la fuente de fertilización y tiempo de refrigeración en la pérdida de peso de los nopalitos desespinaados, evaluados A) A la cosecha, B) después de 7 días de refrigeración y C) después de 14 días en refrigeración y posteriormente conservados 2 y 4 días a temperatura ambiente.

#### 4.5 Resistencia al corte

Las frutas y hortalizas mínimamente procesadas tienden a reducir su firmeza en poco tiempo aún a condiciones de baja temperatura (Bolin y Huxsoll 1989; citado por Quevedo *et al.*, 2013).

Los nopalitos evaluados no presentaron diferencia estadística significativa por efecto de la fuente de fertilización, solo para periodo de almacenamiento en frío (Cuadros 2A, 3A y 4A).

En este estudio se encontró mayor resistencia al corte en los cladodios almacenados a temperatura de medio ambiente con 14.54, 13.03 y 13.33 a los 0, 2 y 4 días, respectivamente, después de cosechados, con un nivel de significancia (Tuckey  $p \leq 0.05$ ), con relación al almacenamiento refrigerado (7 y 14 días), los cuales no presentaron diferencia significativa para el mismo tiempo de conservación (Cuadro 8).

**Cuadro 8.** Resistencia al corte (N) por tiempo de almacenamiento en refrigeración y evaluados a medio ambiente ( $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ) a los 0, 2 y 4 días de salida del frío.

Almacenamiento en frío (días)	Días después de refrigeración		
	0	2	4
0	14.54 a*	13.03 a	13.33 a
7	8.96 b	7.90 b	7.64 b
14	8.09 b	7.38 b	6.35 b
CME	9.21	8.43	26.54
CV	28.81	30.75	5.84

\*Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey  $p \leq 0.05$ )

Fortiz-Hernández y Rodríguez-Félix (2010), encontraron valores de 2.58, 2.33, 2.38 y 2.29 N a los 0, 5, 10 y 15 días de almacenamiento a 5 °C en nopal verdura almacenado en condiciones de atmósferas modificadas. De acuerdo a lo reportado por Artés *et al.* (2007) se ha observado que el ablandamiento del tejido es uno de los principales problemas que ocurre durante la comercialización de frutos y vegetales cortados, lo cual ocurre por la degradación de la pared celular; dichos cambios son acelerados cuando las células del tejido son dañadas durante el pelado y/o cortado.

#### **4.6 Contenido de clorofila a, b y total**

Desde el punto de vista de la tecnología de los alimentos, el interés por las clorofilas se centra en las reacciones que en postcosecha degradan a estos pigmentos, incluso los que ocurren durante el procesamiento y almacenamiento. El contenido de clorofila de las hojas verdes de las plantas superiores varía con su estado de desarrollo, pero se puede considerar que es de aproximadamente 0.1% en base húmeda.

En nopalitos evaluados a la salida de refrigeración (cero días), se observó que hubo degradación de clorofila total (clt) la cual se incrementó con el tiempo de almacenamiento refrigerado; esta respuesta se manifestó en una disminución significativa de 10.34 a 6.86 mg 100 g<sup>-1</sup> de tejido. Con relación a la fuente de fertilización, ésta no causó efecto significativo en la misma variable. Respecto a la clorofila b (clb), se observó que esta disminuyó al incrementar el tiempo de almacenamiento refrigerado cambiando de 2.56 al momento de corte a 1.32 mg 100 g<sup>-1</sup> de tejido, a la salida después de siete días de refrigeración; de igual modo no hubo efecto por la fuente de fertilización. Para clorofila a (cla) se presentó del mismo modo degradación de clorofila por efecto del tiempo de almacenamiento refrigerado (Cuadro 10), sin embargo esta variable se incrementa de forma significativa con respecto a la fertilización con E + T17 (4.12mg 100 g<sup>-1</sup> de tejido) en los tratamientos donde se aplicó C + M y MFM (5.2 y 5.1 mg 100 g<sup>-1</sup> de tejido respectivamente) (Cuadro 10).

De acuerdo a los datos reportados del análisis nutrimental de tejido, dicha respuesta está asociada a la concentración de Mg presente en estas fuentes de fertilización; las plantas nutridas con la mezcla de fertilizantes minerales (MFM) así como aquellas nutridas con el tratamiento composta más micorrizas (C + M) presentaron mayor concentración de este elemento con valores de 2.81% y 2.55% respectivamente (Cuadro 4). Los nopalitos evaluados dos días posteriores a la salida de refrigeración disminuyeron el contenido de clt de manera significativa ( $p \leq 0.05$ ), de 10.22 a 6.4 mg 100 g<sup>-1</sup> de tejido; esta variable no fue afectada por efecto de la fuente de fertilización. Esta tendencia se sigue para el contenido de clb pasando de 5.8 a 2.62 mg 100 g<sup>-1</sup> en función del tiempo de almacenamiento refrigerado, no siendo afectada por causa de la nutrición recibida.

La Cla sigue este mismo patrón, la degradación de clorofila se observa en mayor medida debido al tiempo de almacenamiento con resultados de 5.32 a 3.74 mg 100 g<sup>-1</sup> de tejido, que por efecto de la fuente de fertilización. Los cladodios evaluados a los cuatro días a la salida de refrigeración mostraron la misma tendencia; es decir, a mayor tiempo de almacenamiento mayor pérdida de clorofila total. En este tratamiento aunque no se observó significativo por efecto de la fuente de fertilización, es de mencionar que se cuantificó mayor concentración de clt en aquellas plantas nutridas con E+T17 respecto del Testigo (sólo aplicación de agua). Para las variables Clb y Cla la respuesta fue similar de 3.76 a 2.16 y de 5.44 a 3.16 mg 100 g<sup>-1</sup> de tejido respectivamente, coincidiendo en la fuente de fertilización.

Los valores mostrados en esta investigación difieren de los reportados por Flores-Álvarez *et al.* (2011) los cuales fueron de 0.41 y 0.32 mg equivalentes a 1.69 y 1.29 mg por 100 g de nopal fresco para clorofila b; sin embargo, a los dos y cuatro días al ambiente coinciden con el reportado por Wang (1994) 3.5 mg por 100 g de nopal fresco. Wang (1994) reportaron valores de 13.4 mg por 100 g de nopal fresco para clorofila a; esta diferencia en valores se presenta por la variedad analizada o por el manejo del huerto, pero resultan similares a los valores reportados por Flores-Álvarez *et al.* (2011) con valores que oscilan entre 1.34 y 1.13 que corresponden a 5.47 y 4.61 mg de clorofila a por 100 g de nopal fresco.



**Cuadro 9.** Efecto de la fuente de fertilización en el contenido de clorofila a, b y total (mg 100 g<sup>-1</sup> de tejido) en nopalitos var. Milpa Alta a los cero, dos y cuatro días de estar a temperatura ambiente.

a) 0 días al ambiente (momento de cosecha)

<b>Fuente de Fertilización</b>	<b>Clorofila a</b>	<b>Clorofila b</b>	<b>Clorofila total</b>
	<b>(mg 100 g<sup>-1</sup> de tejido)</b>		
E + T 17	4.12b <sup>z</sup>	3.50a	7.68a
C + M	5.20a	3.50a	8.76a
MFM	5.10a	3.62a	8.78a
Testigo	4.76ab	3.44a	8.28a

b) 2 días al ambiente

<b>Fuente de Fertilización</b>	<b>Clorofila a</b>	<b>Clorofila b</b>	<b>Clorofila total</b>
	<b>(mg/100 g de tejido)</b>		
E + t 17	5.38a <sup>z</sup>	4.94a	11.58a
C + M	4.80a	4.36a	9.22a
MFM	4.74a	4.46a	9.26a
Testigo	4.38ab	4.26a	8.70a

c) 4 días al ambiente

<b>Fuente de Fertilización</b>	<b>Clorofila a</b>	<b>Clorofila b</b>	<b>Clorofila total</b>
	<b>(mg/100 g de tejido)</b>		
E + T 17	5.44a <sup>z</sup>	3.76a	9.26a
C + M	4.18ab	2.96ab	7.20ab
MFM	5.16a	3.46a	8.68a
Testigo	3.16b	2.16b	5.36b

<sup>z</sup>Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey  $p \leq 0.05$ ). E + T 17 (estiércol más triple 17), C + M (Composta más inoculación de hongo *Glomuss mosseae*), mezcla de fertilizantes minerales (MFM).

**Cuadro 10.** Efecto del tiempo de almacenamiento en refrigeración sobre el contenido de clorofila a, b y total ( $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$  de tejido) de nopalitos var. Milpa Alta a los cero, dos y cuatro días de estar a temperatura ambiente.

a) 0 días al ambiente (momento de cosecha)

<b>Tiempo de almacenamiento en frío (días)</b>	<b>Clorofila a</b>	<b>Clorofila b</b>	<b>Clorofila total</b>
	<b>mg <math>100\text{g}^{-1}</math> de tejido</b>		
0	5.16a <sup>z</sup>	5.12a	10.34a
7	4.14b	2.64b	6.86b
14	5.10a	2.78b	7.94b

b) 2 días al ambiente

<b>Tiempo de almacenamiento en frío (días)</b>	<b>Clorofila a</b>	<b>Clorofila b</b>	<b>Clorofila total</b>
	<b>mg <math>100\text{g}^{-1}</math> de tejido</b>		
0	5.32ab <sup>z</sup>	5.80a	10.22a
7	4.38a	3.26b	8.64ab
14	3.74b	2.62b	6.40b

c) 4 días al ambiente

<b>Tiempo de almacenamiento en frío (días)</b>	<b>Clorofila a</b>	<b>Clorofila b</b>	<b>Clorofila total</b>
	<b>mg <math>100\text{g}^{-1}</math> de tejido</b>		
0	5.24a <sup>z</sup>	3.78a	9.08a
7	4.18ab	3.16ab	7.38ab
14	3.36b	2.14b	5.54b

<sup>z</sup>Medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey  $p \leq 0.05$ )

## V. CONCLUSIONES

El color de los nopalitos es afectado por la interacción fuente de fertilización y tiempo de almacenamiento.

Los cladodios son severamente afectados por la incidencia de daños por frío cuando se exponen por cuatro días a la temperatura ambiente tras 7 o 14 días a  $6 \pm 1^\circ\text{C}$ , por lo que los nopalitos deben comercializarse inmediatamente después de la refrigeración.

En nopalitos analizados a temperatura ambiente existe efecto de la fuente de fertilización, los nopalitos de plantas nutridas con C + M tienden a perder más peso que el Testigo (sólo agua). Los cladodios que no recibieron tratamiento de conservación en frío tienden a perder peso de forma significativa (Tukey  $p \leq 0.05$ ) respecto a los que se mantuvieron en refrigeración durante 7 y 14 días.

Los cladodios de *Opuntia ficus-indica* L. no se ven afectados por el efecto de la fuente de fertilización en la variable resistencia al corte, sin embargo esta misma variable se ve afectada por el tiempo y temperatura de almacenamiento, a mayor tiempo de almacenamiento, menor resistencia al corte.

## VI. LITERATURA CITADA

Adams, P., J.N. Davies and G.W. Windsor. 1978. Effects of nitrogen, potassium and magnesium on the quality and chemical composition of tomatoes grown in peat. *J. Hortic. Sci.* 53: 115-122.

Amaboe, R.A. y S. Sinnadurai. 1977. The influence of potassium, calcium and irrigation treatments on tomato fruit quality. *Acta Horticulturae* 53: 165-170.

AOAC (Association of Official Analytical chemist). 1980. *Official Methods of Analysis*. 13 th ed. Washington, D.C. 100 p.

Artés F., P.A. Gómez, and F. Artés-Hernández. 2007. Physical, physiological and microbial deterioration of minimally fresh processed fruits and vegetables. *Food Sci. Tech. Int.* 13 (3):177-188.

Azcon-Bieto J. y M. Talón. 2000. *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Ed. Mc Graw Hill Interamericana. Madrid. P 522.

Baldwin, E.A. 1994. Edible coatings for fresh fruit and vegetables: Past, present and future. Ch. 2. *In: Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*. J.M. Krochta, E.A. Baldwin, M. Nisperos-Carriedo, Editores. Technomic Publishing Co. Inc. Lancaster, PA., USA. pp. 25-64.

Bangerth, F. and D.R. Dilley 1972. Effect of portharvest calcium treatments on internal breakdown and respiration of apple fruits. *Journal of American Society of Horticultural Science* 97(5): 679-682.

Bautista-Baños S., M. Hernández-López., D. Guillén-Sanchez y I. Alia-Tejacal. 2006. Influencia del recubrimiento con quitosano y la temperatura de almacenamiento en la calidad postcosecha y niveles de infección en la ciruela mexicana. *Revista Iberoamericana de Tecnoblogía Postcosecha*. 7 (2): 114-121.

Blanco-Macías, F., M. Reveles-Hernández, R. D. Valdez-Cepeda y S. de J. Méndez-Gallegos. 2012a. Lo sobresaliente del nopal verdura en México. pp. 11-22. En: Blanco-Macías, F., M. Reveles-Hernández R.E. Vázquez Alvarado, J. A. Santos-Haliscak (Eds.) Curso-Taller: Establecimiento y Manejo del Nopal para la Producción de Verdura. Memorias XI Simposium-Taller Nacional y IV Internacional "Producción y Aprovechamiento del Nopal y Maguey". Escobedo Nuevo León, México 79p.

Blanco-Macías, F., M. Reveles- Hernández, R.D. Valdez-Cepeda y S.J. Méndez-Gallegos. 2012b. Fertilización y nutrición del cultivo de nopal para verdura. pp 47-56. En: Blanco-Macías, F., M. Reveles-Hernández R.E. Vázquez Alvarado, J. A. Santos-Haliscak (Eds.) Memorias. Curso Taller: Establecimiento y Manejo del Nopal para la Producción de Verdura. Memorias XI Simposium Taller Nacional y IV Internacional "Producción y Aprovechamiento del Nopal y Maguey". Escobedo, Nuevo. León, México 79p.

Bravo, H., 1978. Las Cactáceas de México. 2ª ed. Vol. 1. Univ. Nal. Aut. México. México, D.F.

Bremner, J. M. 1965. Inorganic nitrogen. *In*: C.A. Black *et al.*, (ed.). Methods of soil analysis. Am. Soc. of Agron. Part II. Agronomy 9: 1179-1237.

Cabello, M.J., M.T. Castellanos, E. Romojaro, C. Martínez-Madrid, and F. Ribas. 2009. Yield and quality of melón grown under different irrigation and nitrogen rates. *Agricultural Water Management*, 96 (5): 866-874.

Callejas-Juárez N., J. A. Matus G., J. A. García S., M. A. Martínez D. y J. M. Salas G. 2009. Situación actual y perspectivas de mercado para la tuna, el nopalito y derivados en el Estado de México, 2006. *Agrociencia*. 43:73-82.

Callejas-Ruiz B.A., A. M. Castillo-González, M. T. Colinas- León, M. del C. González-Chávez, J. Pineda-Pineda, y L.A Valdez-Aguilar. 2009. Sustratos y Hongos micorrízicos arbusculares en la producción de nochebuena. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15(1): 57-66.

Cantwell M., A. Rodríguez-Félix and F. Robles-Contreras. 1992. Postharvest physiology of prickly pear cactus stems. *Scientia Horticulturae* 50:1-9.

Cantwell, M. 1995. Post-Harvest management of fruits and vegetable stems. *Agroecology, cultivation and uses of cactus pear*, paper 132 (Barbera, G. Inglese, P., Pimienta-Barrios, E.), Pp. 120-141. Editorial FAO Plant production and Protection Roma.

Cárdenas-Navarro R, J.M. Sánchez-Yáñez, R. Farías-Rodríguez, y J.J. Peña-Cabriales. 2004. Los aportes de nitrógeno en la agricultura. *Revista Chapingo Serie Horticultura*; 10: 173-178.

Cataldo D.A. 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate plant tissue by nitration of acid salicylic. *Commun. Soil sci. and plant analysis*. 6:71-80.

Chapman, H.D. and P.F. Pratt. 1961. *Methods of analysis for soil, plants and waters*. Dept. Soil Science and Agric. Eng. University of California. Riverside, C.A.

Chatzitheodorou, I. T., T.E. Sotiropoulos, and G.I. Mouhtaridou. 2004. Effect of nitrogen, phosphorus, potassium fertilization and manure on fruit yield and fruit quality of the peach cultivars "Spring Time" and "Red Haven". *Agronomy Research* 2: 135-143.

Díaz M. D.H. 2002. *Fisiología de árboles frutales*. AGT Editor, S.A. México. P 390.

Dris R. 1998. Effect of preharvest calcium treatments on postharvest quality of apples grown in Finland.

Escamilla-García J. L., C. Saucedo-Veloz., M. T. Martínez, A. Martínez, P. Sánchez, y R. M. Soto. 2003. Fertilización orgánica, mineral y foliar sobre el desarrollo y la producción de papaya cv. Maradol. *Terra Latinoamericana* 21 (2): 157-166.

El Economista. 2010. Por Marco Antonio Guzman Noguera (FIRA) En Línea: <http://eleconomista.com.mx/columnas/agro-negocios/2010/06/22/nopal-verdura-morelos>. Fecha de Consulta: 17 feb 2015.

Fernández P., Y.L., J.L. García C., A. López J., y G. Mora A. 2015. Inducción de deficiencias nutrimentales en nopal verdura *Opuntia ficus indica* (L). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol. 6 Num.6 p. 1417-1422.

Fernández, M. M. R., J. Vázquez R. y J. A. Villalobos L. 1990. Fertilización preliminar de nopal para verdura en Milpa Alta, D.F. In: Memorias del IV Reunión Nacional y II Congreso Internacional Sobre el conocimiento y aprovechamiento del nopal. SOMECH, A. C., INCA-Rural-CECCAM. Zacatecas, Zac. México. p 29.

Financiera Rural. 2011. Monografía del Nopal y la Tuna. p 15.

Flores B., S. 2013. Fertilización y frecuencia de riego en la producción de nopal verdura (*Opuntia ficus indica* L.) en túnel de plástico. Tesis Maestría. Colegio de Postgraduados. México.

Flores-Álvarez M.C., F.T. Vergara-Balderas y J.A. Guerrero-Beltrán. 2011. Efecto del tiempo de almacenamiento y tipo de procesamiento en los antioxidantes de nopal. Temas selectos de Ingeniería de Alimentos 5-2:84-96.

Flores-Valdez, C.A. 2001. Producción, industrialización y comercialización de nopalitas. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial. Programa Universitario de Investigación y Servicio en Nopal y Tuna. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. p 20.

Flores-Valdez, C.A. 2011. Producción e Industrialización del nopal en China. Revista Salud Pública y Nutrición 5:45-50.

Fortiz-Hernández, J. y A. Rodríguez-Félix. 2010. Efecto del envasado en películas plásticas en la calidad de nopal verdura mínimamente procesado. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha. 11 (2): 180-190.

Gallegos V., C., H. García E. y J.A. Reyes A. 2008. Evolución histórica de la producción de nopal en los estados de Morelos, México, Hidalgo, Puebla y el Distrito.

Guerrero L. I., Eloísa L. H, y Roberto E. A. L., 2006. Química de los Alimentos. Cuarta Edición. México. p. 703

Guevara J. C., E. M. Yahia and E. Brito. 2001. Modified atmosphere packaging of prickly pear cactus stems (*Opuntia* spp.) Lebens. Wiss. Journal Technology. 34:445-451.

Guevara J.C., E.M. Yahia, E. Brito de la Fuente and S.P. Biserka. 2003. Effects of elevated concentrations of CO<sub>2</sub> in modified atmospheres packaging on the quality of prickly pears cactus stems (*Opuntia* spp.). Postharvest Biology and Technology 29: 167-176.

Hao X. and A. P. Papadopoulos. 2003. Effects of calcium and magnesium on growth, fruit yield and quality in a fall greenhouse tomato crop on rockwool. Canadian Journal of Plant Science, 83:903-912.

Kader, A. A., and E. Mitcham, 1998. Standarization of quality in Fresh-Cut products: Maintaining Quality and Safety UC Davis Postharvest Hort. Series No. 10.

Konica Minolta. 2003. Comunicación Precisa de los Colores. Konica Minolta Sensing Inc. 45 p.

Kothari, S.K., H. Marschner and V. Rômheld. 1990. Direct and indirect effects of Va mycorrhizal fungi and rizosphere microorganism on acquisition of mineral nutrients by maize (*Zea mays* L.) in a calcareous soil. New Phytol. 116: 637-645.

Ladaniya M. S. 2008. Preharvest factors affecting fruit quality and postharvest life. Citrus Fruit Biology, Technology and Evaluation. 79-101 p.

Lester, G. E. and M.A. Grusak. 1999. Postharvest application of calcium and magnesium to honey dew and netted muskmelons: effects on tissue ion concentrations, quality and senescence. Journal of American society of Horticultural Science 124:545-522.

Lieberman, M. and S.V. Wang. 1982. Influence of calcium and magnesium on ethylene production by apple tissue slices. Plant Physiology 69: 1150-1155.

Mondragón, J.C. y E. Pimienta B. 1990. Fertilización orgánica y química del nopal tunero en zonas semiáridas. In: Memorias del IV Reunión Nacional y II Congreso



Internacional Sobre el conocimiento y aprovechamiento del nopal. SOMECH, A. C., INCA-Rural-CECCAM. Zacatecas, Zac. México. p. 28.

Molina, E. 2006. Efecto de la nutrición mineral en la calidad del melón. *Informaciones Agronómicas* 63:1-7.

Murillo-Amador, B. A. Flores-Hernández, J. L. García-Hernández, R.D. Valdez-Cepeda, N.V. Ávila-Serrano, E. Troyo-Diéquez, and F.H. Ruiz-Espinosa. 2005. Soil amendment with organic products increases the production of prickly pear cactus as a Green vegetable (nopalitos). *Journal of the Professional Association for Cactus Development* 7:97-109.

Neilsen, G.H., D. Neilsen, and L. Herbert. 2009. Nitrogen fertigation concentration and timing of application affect nitrogen nutrition, yield, firmness and color of apples grown at high density. *HortScience*, 44 (5): 1425-1431.

Nerd, A., M. Dumoutier and Y. Mizrahi 1997. Properties and postharvest behavior of the vegetable cactus *Nopalea cochenillifera*. *Postharvest Biology and Technology* 10 (2): 135 – 143.

NMX-FF-068-SCFI-2006. Hortaliza fresca-nopal verdura con espinas (*Opuntia spp.*) especificaciones, declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación 2006.

Olsen, S.R. and L.A. Dean. 1965. Phosphorus. In: C.A. Blac (ed.). *Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy* 9. American Society of Agronomy. Madison, WI. pp. 1035-1049.

Osorio-Córdoba, J., C. Pelayo-Zaldívar, J.R. Verde-Calvo, M. Ponce-Valadez, F. Díaz de León-Sánchez, E. Bosquez-Molina y Ma. E. Rodríguez-Hueso. 2011. Conservación de Nopal Verdura 'Milpa Alta' (*Opuntia ficus indica* Mill.) Desespinado en Envases con Atmósfera Modificada. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. Vol.10, 1:93-104.

Pimienta B. E., 1990. El nopal tunero. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México p.235.

Radi M., M. Mahrouz, A. Jaouad and M. J. Amiot. 2003. Influence of fertilization (NPK) on the quality of apricot fruit (cv. Canino): The effect of nitrogen supply. *Agronomie* 23: 737-745.

Quevedo P. K.L., M.A. Villegas O., H. González R., y A. Rodríguez F. 2013. Calidad de Nopal Mínimamente Procesado: Efecto de temperatura e inhibidores del oscurecimiento. *Mundo Alimentario* pp. 18-26.

Racsco J., Z. Szabo, and J. Nyéki. 2005. Effect of nutrient supply on fruit quality of apple (*Malus domestica* Borkh.). *Journal of Central European Agriculture* 6: 35-42.

Ramayo-Ramírez, L., C. Saucedo-Veloz, y S. Lakshminarayana. 1978. Prolongación de la vida de almacenamiento del nopal hortaliza (*Opuntia inermis* Coulter) por refrigeración. *Chapingo, Nueva Época* 10: 30-32.

Ramírez M. E., D. Córdoba D., M. C. Sánchez M., C. Díaz M. and I. Goñi. 2013. Effect of boiling on nutritional, antioxidant and physicochemical characteristics in cladodes (*Opuntia ficus indica*). *Food Science and Technology*. 51: 296-302.

Reyes J., J. Aguirre, y F. Carlin. 2004. Análisis preliminar de la variación morfológica de 38 variantes mexicanas de *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller En:G. Esparza F.; R.D. Valdez Z.; S. J.Méndez G. El nopal, tópicos de actualidad. Universidad Autónoma Chapingo y Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx. Pp 21-47.

Rodríguez- Félix A. and M. Cantwell. 1988. Development changes in composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos). *Plant Food for Human Nutrition*. 38: 89-93.

Rodríguez-Félix, A. y Villegas-Ochoa, M. 1997. Quality of cactus stems (*Opuntia ficus-indica*) during low temperature storage. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 2:142-151.

SAS. Institute (versión 9.0). 2000. The SAS system for Windows. Release 9.0 SAS Inst. Cary NC. USA.

SIAP.2014. Servicio de Información Agroalimentario y Pesquera. En línea: [www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx) Fecha de consulta: Enero 2015.

Spironello A., J. A. Quaggio, T. L. A. Junqueira, P. R. Furlanl and S. J. M. Monteiro. 2004. Pineapple yield and fruit quality affected by NPK fertilization in a tropical soil. *Rev. Bras. Frutic.* 26: 155-159.

Stefanelli D., I. Goodwin and R. Jones. 2010. Minimal nitrogen and water use in Horticulture: Effects on quality and content of selected nutrients. *Food Research International* 43:1833-1843.

Subbiah, K. 1994. Studies on the effects of N, K and  $\text{CaCl}_2$  on fruit cracking, skin thickness and density of tomato. *Madras Agricultural Journal* 81(3):138-140.

Tomala, K. 1999. Orchard factors affecting fruit storage quality and prediction of harvest date of apples. *Acta Horticulture* 485: 373-382.

Villareal-Romero M., R. S. García-Estrada, T. Osuna-Enciso y A. D. Armenta-Bojorquez. 2002. Efecto de dosis y fuentes de nitrógeno en rendimiento y calidad poscosecha de tomate en fertirriego. *Terra*, 20(3): 311-320.

Wang, C. Y. 1994. Chilling injury of tropical horticultural commodities. *HortScience* 29(9):986-988.

Wilcox G. E. 1996 Tomato- In: *Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants.-USA: APS PRESS*, p.137-141.

Zúñiga-Tarango R., I. Orona-Castillo, C. Vázquez, B. Murillo-Amador, E. Salazar-Sosa, J. D. López-Martínez, J.L. García-Hernández, E. Rueda-Puente. 2009. Root growth yield and mineral concentration of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. under different fertilization treatments. *Journal of the Professional Association for Cactus Development* 11:53-68.

## VII. ANEXOS

**Cuadro 1A.** Análisis de fertilidad del suelo por fuente de fertilización.

Fuente	pH	CE	MO %	CIC meq/100g de suelo	N	P	K meq/100g de suelo	Ca	Mg	Na	Fe	Cu	Zn ppm	Mn	B
E+T 17	7.92 a <sup>†</sup>	0.44 a	3.46 a	20.10 a	0.17 a	107.50 a	1.60 a	14.44 a	4.21 a	0.81 a	6.11 a	0.35 a	1.66 a	3.04 b	1.06 a
C+M	8.21a	0.48 a	3.23 a	21.53 a	0.16 ab	30.18 cb	1.20 a	12.01 a	4.20 a	1.01 a	4.63 ab	0.36 a	1.79 a	4.17 a	0.98 a
MFM	8.35 a	0.49 a	2.36 a	22.12 a	0.11 bc	21.35 c	1.79 a	17.06 a	4.24 a	0.77 a	2.77 ab	0.23 a	1.04 a	3.28b	0.69 a
Testigo	8.10 a	0.63 a	2.28 a	21.25 a	0.11 c	41.09 b	1.50 a	15.72 a	4.84 a	1.20 a	2.30 b	0.23 a	1.33 a	2.34c	1.02a
CV	2.38	32.55	16.68	16.65	13.02	11.97	16.77	27.47	12.14	34.28	39.51	28.97	20.66	6.82	24.58
DMS	0.54	0.47	1.33	9.25	0.05	13.71	0.72	11.5	1.65	0.92	4.42	0.24	0.85	0.61	0.65

<sup>†</sup>Medias con las misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey  $p \leq 0.05$ )

**Cuadro 11A.** Anova para atributos evaluados a los 0 días de almacenamiento después del periodo de refrigeración.

Factor de variación	Resistencia al corte	Luminosidad	Hue	Croma	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila Total
FF	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS
TC	*	*	*	*	*	**	*
FF x TC	NS	*	*	NS	NS	NS	NS

\*, \*\* Significativos a los niveles de 0.05 y 0.01 de probabilidad

FF= Fertilización, TC= conservación, FF x TC= interacción Fertilización por conservación

**Cuadro 3A.** Anova para atributos evaluados a los 2 días de almacenamiento después del periodo de refrigeración.

Factor de variación	Resistencia al corte	Luminosidad	Hue	Croma	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila Total
F	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS
C	*	NS	*	*	*	*	*
F x C	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS

\*Significativo a nivel de 0.05 de probabilidad

F= Fertilización, C= conservación, F x C= interacción fertilización por conservación

**Cuadro 4A.** Anova para atributos evaluados a los 4 días de almacenamiento después del periodo de refrigeración.

Factor de variación	Resistencia al corte	Luminosidad	Hue	Croma	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila Total
F	NS	NS	NS	NS	*	*	*
C	*	*	*	*	*	*	*
F x C	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS

\*significativo al 0.05 de probabilidad.

F= Fertilización, C= conservación, F x C= interacción fertilización por conservación