



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

FRUTICULTURA

**COMPUESTOS DE INTERÉS NUTRIMENTAL
Y FUNCIONAL EN NOPAL VERDURA
DEBIDO A LA FERTILIZACIÓN**

KAREN ANDREA RIVERA CORREA

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS

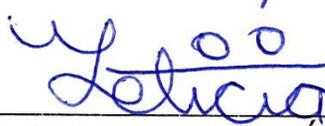
MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2016

La presente tesis titulada: "**Compuestos de interés nutrimental y funcional en nopal verdura debido a la fertilización**", realizada por la alumna: **Karen Andrea Rivera Correa**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
FRUTICULTURA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO	 FIRMA NOMBRE DR. ALFREDO LÓPEZ JIMÉNEZ
ASESOR	 DRA. Y. LETICIA-FERNÁNDEZ PAVÍA
ASESOR	 DR. JAVIER SUÁREZ ESPINOSA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Marzo de 2016

COMPUESTOS DE INTERÉS NUTRIMENTAL Y FUNCIONAL EN NOPAL VERDURA DEBIDO A LA FERTILIZACIÓN

Karen Andrea Rivera Correa, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2016

RESUMEN

Recientemente, la producción de alimentos incluyendo el nopal, se ha enfocado más a mejorar los rendimientos que el valor nutrimental y funcional de los mismos; por lo que en este trabajo, se analizó la influencia del tipo de fertilización en la concentración de compuestos de interés nutrimental y funcional de nopal verdura. Se utilizaron fuentes orgánicas e inorgánicas que aplican los productores, además se evaluó el efecto de la micorriza *Glomus mossae* en la variedad Milpa Alta, que es altamente cultivada para el consumo de nopalitos. Los tratamientos estudiados fueron: 1.-Estiércol con Triple 17, 2.- Fertilización química, 3.-Composta, 4.-Composta con micorriza, 5.-Micorriza y 6.-Testigo. Se analizaron nopalitos de un mes de edad obtenidos del sitio experimental, donde se vienen aplicando los tratamientos descritos, desde el año 2010. El experimento se realizó en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados en el 2015. Los resultados del análisis de suelo indican que en general son ricos en nutrientes, el pH es ligeramente alcalino y bajos en sales. La fuente de Estiércol con triple 17 sobresale por su aportación de fosforo (109 mg kg^{-1}) mientras que el Testigo tiene (47 mg kg^{-1}). En el tejido de nopal no se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre efectos de tratamientos en vitamina C, nitrógeno, proteína, hierro, magnesio, zinc, sodio, fósforo, flavonoides y fenoles, pero si en la resistencia al corte de la base del cladodio, en la concentración de clorofila “a”, “b” y total, calcio, potasio, cobre y manganeso. El Estiércol con triple 17 favoreció de manera significativa la concentración de clorofila “a” en comparación al resto de tratamientos. Por otra parte, el tratamiento de Composta fue el que aportó una mayor concentración de calcio y en cuanto a manganeso fue Composta con micorriza.

Palabras clave

Nopal verdura, Fertilización, Compuestos nutrimentales, Compuestos funcionales.

NUTRITIONAL AND FUNCTIONAL COMPOUNDS OF INTEREST IN NOPAL VEGETABLES DUE TO FERTILIZATION

**Karen Andrea Rivera Correa, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2016**

ABSTRACT

Recently the food production including nopal, has been focused on improve yield more than nutrimental quality, so in this study was studied the influence of fertilization on the content of compounds of nutritional and functional interest in nopal vegetables. Were used the fertilizer types most frequently applied by producers for their effect on yield and the variety Milpa Alta, which is highly cultivated for human feeding. Six treatments were studied: 1.-Manure with Triple 17, 2.-Chemistry fertilization, 3.-Compost, 4.-Compost with mycorrhiza, 5.-Mycorrhiza and 6.-Witness. They were analyzed one month age nopal vegetables obtained from the experimental site, in which the treatments described has been applied since 2010. The experiment was conducted in Colegio de Postgraduados Campus Montecillo in 2015. The soil test results indicate that in general are rich in nutrients, slightly alkaline pH, and low salt. The source Manure with triple 17 stands out for its contribution of phosphorus (109 mg kg^{-1}) while the Witness is (47 mg kg^{-1}). In nopal vegetables, the results showed that no significant difference ($p \leq 0.05$) on treatment effects was found, in vitamin C, nitrogen, protein, iron, magnesium, zinc, sodium, phosphorus, phenols and flavonoids, and were obtained significant differences in the content of chlorophylls, calcium, potassium, copper and manganese. Manure with Triple 17 significantly favored the concentration of chlorophyll "a" compared to the other treatments. Moreover, the Compost treatment provided the highest concentration of calcium, and in manganese terms was Compost with mycorrhiza.

Key words

Nopal vegetables, fertilization, nutritional compounds, functional compounds.

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

La ciencia además de aspirar a la verdad, debe aspirar a la belleza.
Arturo Rosenblueth

Con el aroma de una rosa, dedico este trabajo a mi mamá.

A mi familia y amigos, por su apoyo y compañía.

Al mundo de luz en la oscuridad, los sueños, y al mundo de oscuridad en la luz, los ecos de recuerdos, que a veces guían nuestra vida.

Y también dedico este trabajo a los nopales del experimento, tan serenos y felices, al parecer con el sólo propósito en la vida, de vivir por existir.

Agradecimientos

Al Colegio de Postgraduados, por haberme dado la oportunidad de formar parte de sus aulas y hacer este sueño realidad.

A mi consejero, Dr. Alfredo López Jiménez, por su aceptación y apoyo para la realización de este proyecto, así como a la Dra. Y. Leticia Fernández y al Dr. Javier Suárez, por apoyarme y ser parte de mi consejo académico.

A los laboratorios del Colegio de Postgraduados, por el apoyo proporcionado para la determinación de variables.

Al Sr. Eliseo Hidalgo, por su apoyo en el manejo del experimento de las plantas de nopal.

Al CONACYT por otorgarme la beca para la realización de mis estudios de maestría.

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo General	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Hipótesis	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Características del nopal verdura.....	3
2.2 Cultivo	4
2.3 Importancia socioeconómica	8
2.3.1 Necesidades nutritivas y fertilización	9
2.4 Postcosecha del nopal verdura	11
2.4.1 Factores de campo relacionados con la calidad postcosecha.....	13
2.5 Usos del nopal verdura	16
2.6 Metabolismo del nopal	17
2.7 Composición del nopal.....	18
2.8 Propiedades funcionales del nopal.....	21
2.8.1 Antioxidantes	27
2.9 Calidad postcosecha	28
2.10 Estudios sobre componentes en nopal y la nutrición del cultivo.....	30
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
3.1 Sitio experimental.....	32
3.2 Material vegetal.....	32
3.3 Tratamientos de fertilización	32
3.4 Manejo del cultivo	33
3.5 Diseño experimental.....	34
3.6 Variables evaluadas.....	34
3.6.1 Análisis de suelo.....	34
3.6.2 Análisis de cladodios en fresco	39
3.6.3 Análisis de cladodios en seco	42

3.6.4	Análisis estadístico.....	46
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
4.1	Análisis de suelo.....	48
4.2	Análisis de resultados del nopal verdura	51
4.3	Parámetros de calidad postcosecha	51
4.3.1	Acidez	52
4.3.2	pH	52
4.3.3	Sólidos solubles totales	52
4.3.4	Color	53
4.3.5	Firmeza.....	54
4.4	Compuestos funcionales, bioactivos o nutraceuticos.....	55
4.4.1	Vitamina C	56
4.4.2	Clorofilas	56
4.4.3	Compuestos fenólicos y flavonoides	57
4.4.4	Minerales funcionales: Ca, K, Cu, Zn y Mn.	59
4.4.5	Fibra dietética estimada.....	61
4.5	Otros componentes.....	62
4.5.1	Nitrógeno y proteína	63
4.6	Correlaciones entre nutrimentos	65
4.6.1	Correlaciones en suelo	65
4.6.2	Correlaciones en nopal.....	66
4.6.3	Correlaciones entre variables determinadas en suelo y en nopal	66
5.	CONCLUSIONES.....	70
6.	LITERATURA CITADA	72
7.	ANEXOS	81
	Resultados del análisis de cladodios	81
7.1	Acidez, pH, SST, Vitamina C y fibra dietética estimada	81
7.2	Color	83
7.3	Clorofilas y Firmeza.....	84
7.4	Minerales, Nitrógeno, Proteína, Fenoles y Flavonoides.....	86

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Algunos productos alimenticios y subproductos, obtenidos de los cladodios de nopal verdura.....	17
Cuadro 2. Composición del nopal expresado en base húmeda	19
Cuadro 3. Valor nutrimental del nopal verdura en base fresca.....	20
Cuadro 4. Beneficios terapéuticos de compuestos nutraceuticos de nopal verdura.....	21
Cuadro 5. Constituyentes bioactivos en cladodios de nopal.....	25
Cuadro 6. Variables evaluadas en suelo.....	35
Cuadro 7. Análisis químico del suelo con diferentes tratamientos de fertilización a nopal verdura var. Milpa Alta a partir del año 2010	49
Cuadro 8. Análisis de varianza para acidez, pH, SST, color y resistencia al corte base, media, corona y promedio.....	52
Cuadro 9. Acidez, pH y SST en cladodios de nopal verdura fresco cultivados con diferente fuente de fertilización.....	53
Cuadro 10. Luminosidad, saturación y ángulo de tono para nopal verdura fresco cultivado con diferente fuente de fertilización.	54
Cuadro 11. Efecto del tipo de fertilización en la resistencia al corte de nopal verdura fresco.	55
Cuadro 12. Análisis de varianza para vitamina C, clorofilas, compuestos fenólicos, flavonoides y minerales funcionales.....	55
Cuadro 13. Efecto del tipo de fertilización en vitamina C y clorofilas para nopal verdura fresco.....	57
Cuadro 14. Compuestos fenólicos y flavonoides en nopal verdura (base seca) cultivado con diferente fuente de fertilización.	58
Cuadro 15. Efecto del tipo de fertilización en la concentración de Ca, K, Cu, Zn y Mn en nopal verdura (b.s.).....	60
Cuadro 16. Análisis de varianza para sodio, fósforo, magnesio, hierro, nitrógeno y proteína	62
Cuadro 17. Efecto del tipo de fertilización en sodio, fósforo, magnesio y hierro para nopal verdura (b.s.).....	63
Cuadro 18. Nitrógeno y proteína en nopal verdura g 100g⁻¹ en nopal base seca (b.s.) y base fresca (b.f.) cultivado con diferente fuente de fertilización.	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Planta de nopal.....	3
Figura 2. Sitio experimental de campo.....	32
Figura 3. Arreglo espacial de las unidades experimentales dentro de los bloques del experimento.	34
Figura 4. Equipo de succión a vacío de cationes intercambiables.	37
Figura 5. Espectrofotómetro Spectronic® Genesys 5, utilizado para la determinación de compuestos fenólicos	44
Figura 6. Reacción colorimétrica para la determinación de flavonoides.	45
Figura 7. Fibra dietética estimada para nopal verdura fresco cultivado con diferente fuente de fertilización.	61

1. INTRODUCCIÓN

El nopal es una planta suculenta y perenne, originaria de México, país poseedor de más de 150 especies de nopal, de las cuales el 99% son comestibles, con distribución natural en toda América y actualmente cultivada en todo el mundo por su gran adaptabilidad, *Opuntia Ficus Indica L Miller* es la especie más utilizada, por su consumo como “nopalitos” o “nopal verdura”. (Vanegas, 2009). Las zonas de mayor producción de nopal destinado para consumo humano en México son la Delegación Milpa Alta en el D.F. y Tlalnepantla, Morelos; en México, la ingesta anual per cápita de nopal es de 6.4 kilos (Ramírez et al., 2012). Destaca por ser una verdura económica y con un gran número de aplicaciones culinarias que le permiten ser empleada en cualquier tipo de platillos, añadiéndoles un sabor muy especial, y propiedades benéficas a la salud, por su aporte de fibra y otros componentes, que tienen diversos efectos ya estudiados en la salud, como la reducción de absorción de grasas a nivel intestinal que beneficia a personas con obesidad, su efecto hipoglucemiante que beneficia a diabéticos para controlar sus niveles de glucosa en sangre, así como prevenir el debilitamiento de huesos en personas con osteoporosis, etc. (Ramírez et al., 2012), además de la elaboración de diversos productos procesados como cosméticos, suplementos medicinales, derivados del nopal, producción del colorante carmín de cochinilla de nopal, entre otros.

La calidad nutricional de los cladodios de *Opuntia* depende de la especie y variedad, así como de la edad, condiciones agronómicas como el tipo de suelo, clima y prácticas de manejo (Stintzing y Carle, 2005), incluyendo las condiciones del suelo sobre la disponibilidad de nutrimentos y la distribución de raíces (Zúñiga et al., 2009). La acidez en cladodios presenta fluctuaciones en postcosecha, disminuyendo durante el día y aumentando durante la noche, por lo que se afecta el sabor y la calidad de los nopalitos, dependiendo fundamentalmente de la hora de consumo o de procesamiento, más que de la hora del corte. (Sáenz, 2006)

Los compuestos funcionales son aquellos que tienen efectos benéficos para la salud, y tanto los frutos, como los cladodios del nopal, son una fuente interesante de tales componentes, entre los que destacan la fibra, los hidrocoloides (mucílagos), los pigmentos

(betalainas y carotenoides), los minerales (calcio, potasio), y algunas vitaminas como la vitamina C, siendo la pulpa de la fruta la parte más rica en vitamina C mientras que los cladodios son más ricos en fibra (Saéñz, 2006); todos estos compuestos son muy apreciados desde el punto de vista de una dieta saludable y también como ingredientes para el diseño de nuevos alimentos. Los flavonoides identificados en algunas especies de cladodios *Opuntia* son mayoritariamente quercetina, kaempferol e isoramnetina (Nazareno y Padrón, 2011).

La globalización y la mercadotecnia han puesto énfasis en el factor económico, así que aumentar la producción ha sido la prioridad, y no se ha tomado en cuenta la calidad nutricional de los alimentos, tal es el caso del nopal verdura. Sin embargo, debido a que es multifactorial lo que influye en la composición nutricional del nopal, es importante replantear nuevas formas de producción, según el objetivo de utilización del mismo.

La investigación pretende sentar las bases de la fuente de fertilización para producir nopal verdura, exaltando y conservando sus características de calidad nutricional. Además de obtener recomendaciones de fertilización para los productores de nopal, con el fin de mejorar su calidad nutricional.

1.1 Objetivo General

Determinar el efecto de la fuente de fertilización en la calidad nutricional y propiedades funcionales, en cladodios tiernos de nopal verdura.

1.2 Objetivos específicos

1. Conocer la concentración de macro y micronutrientes en el suelo, debido a la fertilización con diferentes fuentes.
2. Determinar el contenido nutrimental y compuestos funcionales en los cladodios, producidos con diferentes fuentes de fertilización bajo condiciones de campo.

1.3 Hipótesis

La concentración de nutrimentos y componentes funcionales en los cladodios de nopal verdura, es significativamente diferente de acuerdo al tratamiento de fertilización.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Características del nopal verdura

El nopal es un vegetal arborescente de 3 a 5 m de alto, su tronco es leñoso y mide de entre 20 a 50 cm de diámetro, las variedades más usuales desarrollan portes de aproximadamente 1,5 a 2,00 m de altura. El tallo, a diferencia de otras especies de cactáceas, está conformado por un tronco y ramas aplanadas que posee cutícula gruesa de color verde de función fotosintética y de almacenamiento de agua en los tejidos (Castro et al., 2009).

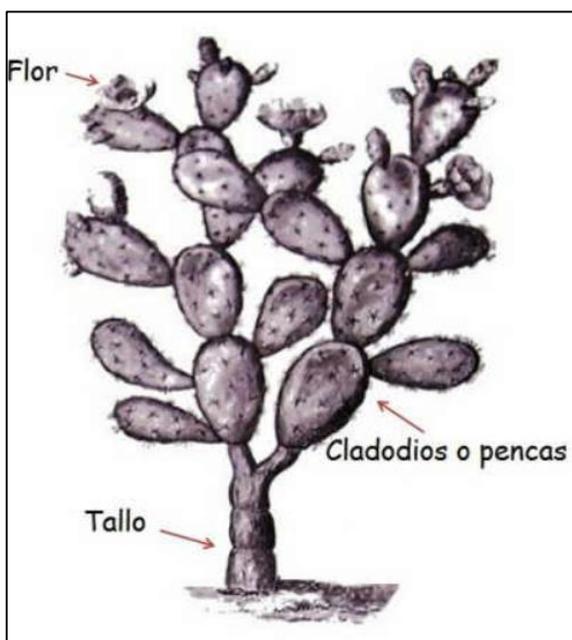


Figura 1. Planta de nopal.

El nopal forma pencas denominadas cladodios de 30 a 60 cm de largo x 20 a 40 cm de ancho y de 2 a 3 cm de espesor. Sus ramas están formadas por pencas de color verde opaco, con areolas que contienen espinas más o menos numerosas de color amarillo. Estas estructuras transforman la luz en energía química a través de la fotosíntesis y están recubiertas por una cutícula del tipo lipídica, interrumpida por la presencia de estomas, mismos que permanecen cerrados durante el día. La cutícula del cladodio evita la deshidratación provocada por las altas temperaturas del verano. La hidratación normal del cladodio alcanza hasta un 95% de agua en peso. Las pencas y tallos tienen espinas (Castro et al., 2009).

Las hojas del nopal sólo se encuentran en los cladodios tiernos, y son visibles únicamente en la primera edad; son caducas, a lo largo de un poco más de un mes de vida. Tienen forma de garra o ganchito, engrosadas en su base, de aproximadamente 1 cm de longitud. Tanto el tallo como las hojas, realizan la fotosíntesis. En algunos casos, las hojas pueden ser persistentes, sobre todo cuando los tejidos se esclerifican, transformándose en espinas (Bravo, 1978 citado por Megalrejo y Salazar, 2000)

Las flores son hermafroditas, solitarias y nacen de las areolas, en la parte superior de la penca, presentan 6-7 cm de longitud y un color de pétalos amarillos, dorados, naranja o rosados. Las flores se abren a los 35 a 40 días de su brotación. (Castro et al., 2009). Se producen dos floraciones anuales, una en primavera y otra en otoño, aunque dependiendo de las técnicas culturales, puede modificarse. (Fernández 1990, citado por Megalrejo y Salazar, 2000). En la variedad Milpa Alta de nopal, utilizada en este estudio, se produce mayor crecimiento vegetativo y muy pocas flores, los cladodios se obtienen después de aproximadamente un mes de la poda de estimulación de brotes.

El crecimiento de la raíz se lleva a cabo principalmente en el meristema apical y cambium. El primero se asocia con crecimiento longitudinal y la determinación de la dirección se basa en los fenómenos de geotropismo e hidrotropismo. El tiempo en la emisión de raíces, la tasa de crecimiento diaria y las diferencias morfológicas de raíces (longitud, diámetro y peso seco de raíces), pueden variar según la variedad del nopal, la absorción de los nutrientes por la planta (cantidad de raicillas absorbentes del tejido radicular), el manejo del suelo (características del suelo y de la distribución) y agua. (Vázquez et al., 2007)

2.2 Cultivo

El rango óptimo de temperatura es entre 16°C y 28°C, soportando una temperatura máxima de 35°C, fuera del cual la brotación se ve afectada. Las bajas temperaturas afectan al cultivo, pudiendo causar hasta su muerte, su tolerancia a temperaturas mínimas están en el orden de 10° a 0°C. Un factor muy importante que afecta al nopal es la humedad relativa; conforme aumenta, la planta se encuentra en condiciones menos propicias para su desarrollo y fructificación, además de que está más propenso al ataque de plagas y enfermedades. Cuando ésta es demasiado baja, influye desfavorablemente al deshidratar los

tejidos de las plantas. El factor responsable directo en la emisión de nopalitos es la temperatura y no la humedad, ya que existe un aumento en la producción asociado con el aumento de temperatura. (INE, 2007)

Las plantas del género *Opuntia* se han desarrollado bien en distintos ambientes, desde zonas áridas a nivel del mar hasta territorios de gran altura como los Andes de Perú; desde regiones tropicales de México donde las temperaturas están siempre por sobre los 5 °C, hasta áreas de Canadá que en el invierno llegan a -40 °C (Nobel, 1999); en este sentido *Opuntia ficus-indica* es extremadamente tolerante a temperaturas altas del aire, pero no a temperaturas substancialmente abajo del punto de congelación; el daño por temperatura alta en *O. ficus-indica* es generalmente observado únicamente a nivel del suelo, donde las temperaturas en los desiertos pueden alcanzar 70 °C, en contraste, el daño celular por frío ocurre a temperaturas de 5 a 10 °C. (Nobel, 2003 citado por Lozano, 2011)

El nopal verdura puede cultivarse de 800 a 1800 msnm, aunque puede prosperar fuera de este rango. Los nopales se desarrollan en suelos volcánicos pero prosperan bien en los calcáreos de textura franca: suelos franco-arenosos, franco-areno-arcillosos y arenas francas; con un pH de 6.5 a 8.5. En México la Delegación Milpa Alta en el D.F. y Tlalnepantla, Morelos son los principales productores de nopal destinado para consumo humano (Ramirez et al., 2012).

Un suelo bien aireado favorece el crecimiento y la fructificación, mientras que en los suelos compactos el crecimiento se ralentiza. El sistema radicular es perenne, extenso y superficial. Las raicillas secundarias son caducas y están provistas de pelos absorbentes, ya que su presencia se limita a la época de lluvias, por lo que su estructura y funcionamiento le permite captar con eficiencia la mayor cantidad de agua durante los breves periodos de lluvias. (INE, 2007), una ventaja para el ahorro de agua; la experiencia del cultivo indica que en zonas con pluviometría muy escasa la producción puede sacarse con 1500-3000 m³ ha⁻¹año⁻¹, como indica Frank 1999, citado por Megalrejo y Salazar, 2000.

Como en otros cultivos, con las labores de eliminación de maleza se evita la competencia de las malas hierbas por los nutrientes y el agua, y se reducen las pérdidas de agua por evaporación. En el caso específico del nopal, que generalmente ocupa terrenos

semidesérticos, tiene una gran importancia al menos durante el primer año, hacer labores de eliminación de maleza para reducir la evaporación del agua. La aplicación de herbicidas permite eliminar las malas hierbas, obteniendo un mejor control de éstas y reduciendo los gastos por este concepto. Los herbicidas más utilizados han sido diquat y paraquat (de contacto) que ha sido prohibido en otros países, pero en México se sigue utilizando, un ejemplo es *Gramoxone* de la marca *Syngenta* y el glifosato (sistémico). En general, el cultivo del nopal requiere de cuidados mínimos, básicamente podas periódicas. Cuidando el riego excesivo, que es uno de los factores que disminuyen la productividad del cultivo, haciéndolo más sensible a enfermedades fúngicas y ataques de insectos, prefiere suelos calcáreos y pedregosos. Y se debe proteger al nopal de las heladas, ya que estas pueden causar daños en toda la planta (Melgarejo y Salazar, 2000).

La cantidad y calidad de la cosecha aumenta significativamente cuando se aplican riegos en los periodos críticos, aunque la planta es capaz de producir en zonas con 150-300 mm de lluvia al año, mal repartidos en el tiempo, sin riegos y con suelos pobres.

El nopal se adapta a las peores condiciones del suelo y es capaz de vegetar en condiciones de clima desfavorables, siendo capaz de vegetar en los lugares más difíciles e insospechados. Así se puede ver en zonas donde prácticamente no existe suelo, en terraplenes, etc. Pero cuando esta especie recibe cuidados culturales, su desarrollo y productividad aumentan considerablemente.

Las plantaciones comerciales utilizan dos sistemas de producción: el sistema tradicional con densidades de plantación de 15 000 a 40 000 plantas por hectárea y el sistema de microtúneles que emplea densidades de plantación de 120 000 a 160 000 plantas por hectárea. Los rendimientos en el sistema tradicional varían de 30 a 80 t ha⁻¹ (Pimienta-Barrios 1993, citado por Sáenz, 2006), mientras que en el sistema intensivo se han registrado de 179 a 263 t ha⁻¹ con los cv. *Copena F1* y *Copena VI*, respectivamente (Blanco et al., 2002).

La mayoría de las plantaciones comerciales se ubican en regiones donde la precipitación pluvial durante el verano es de 600 a 800 mm, por lo que se aplica riego solo en primavera y en pequeños volúmenes tres o cuatro veces al año (Pimienta 1993, citado por Sáenz,

2006). Sin embargo, debido al incremento en el cultivo de esta hortaliza, existen regiones que requieren riego. En los sistemas intensivos, la aplicación de 100 mm de riego por mes, durante la temporada seca (primavera), incrementa la producción del 10 al 25 por ciento (Flores 1999, citado por Sáenz, 2006). La aplicación de riego por goteo, incluyendo la irrigación para el establecimiento de la planta mostró rendimientos de 108 t ha⁻¹ año⁻¹ en *Opuntia ficus-indica* C-69 y de 65 ton ha⁻¹ año⁻¹ en *O. amyclaea* C-8 (Flores et al., 2004).

En Mexico las enfermedades más importantes de este cultivo son las denominadas «engrosamiento del cladodio» y «proliferación de brotes», las cuales son causadas por un micoplasma y un espiroplasma, respectivamente. Entre las plagas más importantes se encuentran el gusano cebra (*Olycella nephelasa* Dyar), el gusano blanco (*Lanifera cycladea* Druce) e insectos que causan daño en las areolas como el *Cylindrocopturus biradiatus* Champs y el amarillamiento del tejido por la cochinilla (*Dactylopius* spp.) (Pimienta 1993, citado por Sáenz, 2006).

La cosecha del nopalito se realiza manualmente, utilizando un cuchillo y cortando la base de la penca (Cantwell, 1992). Se recomienda realizar esta operación de dos a tres horas después de la salida del sol con el fin de evitar un contenido alto de acidez, así como efectuarla de una forma cuidadosa, para evitar daños en la base del nopalito, que pueden ser vías de entrada de microorganismos e incrementar la pérdida de peso durante el manejo posterior. La cosecha de nopalitos para ser comercializados, se inicia cuando alcanzan una longitud de 20-25 cm y pesan de 90 a 100 g (Cantwell, 1992; Pimienta 1993, citado por Sáenz, 2006), aunque la norma de calidad CODEX STAN 185-1993, considera como tamaños comerciales las pencas con una longitud entre 9 y 30 cm. Los cladodios pequeños, (12 cm) o grandes (cerca de 30 cm) se destinan a la elaboración de nopal mínimamente procesado (Rodríguez, 2002). La cosecha se realiza durante todo el año, aunque la productividad es mayor durante la primavera y se reduce a mediados del otoño y durante el invierno. Sin embargo, en los sistemas de producción intensiva que utilizan microtúneles, la productividad es alta durante los meses más fríos del año (Pimienta 1993, citado por Sáenz, 2006).

2.3 Importancia socioeconómica

México ocupa el primer lugar a nivel mundial como productor de nopal verdura con un consumo per cápita de 6.4kg por año (Ramirez et al., 2012). Con base en estadísticas nacionales, en el año 2011, México contó con una superficie cultivada con nopal verdura de 12,645 hectáreas, se cosechó en 12 180 hectáreas, con un rendimiento promedio de 64 t Ha⁻¹ para un volumen de producción de 777,413 toneladas, y un precio medio rural de 1,724 pesos por tonelada (SIAP 2011, citado por Flores 2013). Las estadísticas recientes, para el año 2014 indican que México contó con una superficie sembrada con nopalitas de 12,038.26 (Ha), de las cuales se cosecharon 10,996.16 (Ha), una producción de 824,602.36 toneladas y rendimiento de 74.99 t Ha⁻¹, el precio medio rural es de \$ 1,961.73 (SIAP, 2014). Se observa que en el año 2014 se ha disminuido un poco la superficie sembrada, en un 5% y se disminuyó más la cosechada, ya que en el 2011 se cosechó el 96%, mientras que para 2014 se cosechó el 91%, sin embargo la producción ha aumentado, ya que el rendimiento ha aumentado, probablemente por la implementación del uso de riegos, túneles de plástico, invernaderos, cultivos hidropónicos o alguna otra nueva tecnología.

Los principales estados productores de nopal verdura en México son: Distrito Federal, Morelos, Estado de México, Tamaulipas, Baja California, Jalisco, San Luis Potosí, Zacatecas, Michoacán y Guanajuato. Las primeras zonas productoras por superficie cultivada y producción son: Milpa Alta, D.F. y Tlalnepantla, Morelos (SIAP 2011, citado por Flores 2013), ya que abastecen el 70% del consumo a nivel nacional, empleando básicamente especies como: *Opuntia ficus indica*, *Opuntia robusta* y *Nopalea cochellinifera* (Blanco 2012, citado por Flores 2013).

En el DF se producen alrededor de 273 mil toneladas de nopal al año, mismas que se cultivan en alrededor de cuatro mil hectáreas, con un valor estimado en más de 800 millones de pesos. A este cultivo se dedican más de nueve mil productores de la entidad, y mediante un convenio entre la agroempresa Nopal Plus y comercializadores de la Unión Americana, se exportan alrededor de 25.5 toneladas (mil 500 cajas) del producto, al estado de California en EUA, aproximadamente cada 20 días. (SAGARPA, 2011).

Las variedades comestibles se encuentran aclimatadas en casi toda América, desde Canadá hasta Argentina, pero en muchos países se desconocen sus virtudes gastronómicas y medicinales y solamente son aprovechados sus frutos, que en España son denominados higos chumbos. Los indígenas prehispánicos de México criaban en las nopaleras la cochinilla de grana, un insecto del que se extraía uno de los colorantes para tejidos más apreciados en el mundo entero y que posteriormente ha sido empleado también en perfumería y en alimentos.

2.3.1 Necesidades nutritivas y fertilización

La toma de CO₂ y el crecimiento de las plantas de nopal está influenciado por los niveles de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) y micronutrientes (cerca de 12 elementos requeridos en pequeñas cantidades por las plantas) en el suelo. El aumento en los niveles de sodio (Na) en el suelo inhiben la toma de CO₂ y el crecimiento de las plantas. Aún cuando las respuestas de las plantas CAM a los elementos del suelo dependen de la textura del suelo y el pH, cinco elementos son los que muestran los mayores efectos, nitrógeno, fósforo, potasio, boro y sodio (Nobel, 1999). De acuerdo con la Técnica de Diagnóstico de Nutrimiento Compuesto (DNC), el rendimiento de biomasa de nopal depende significativamente de las concentraciones de N (P<0.01), K(P<0.05) y Mg (P<0.05). Se observan los siguientes sinergismos significativos P-K (P<0.05), K-Mg (P<0.01) y Mg-Ca (P<0.01); y los antagonismos N-Ca (P<0.01) y N-Mg (P<0.05) (Blanco 2006, citado por Lozano, 2011).

Se ha estudiado el efecto de las aplicaciones de estiércol bovino y fertilizante mineral, a diferentes profundidades con respecto al crecimiento radical, producción de materia seca y concentración de nutrientes en nopalito, obteniendo que la mayor abundancia relativa de raíces de las plantas de nopal es en el primer estrato 0-18 cm con un 96%, seguido del estrato de 18 a 36 cm con 3%. El rendimiento de nopalitos, la producción de materia seca y el número de brotes son mayores en las plantas sometidas a tratamiento de 100 t Ha⁻¹ de estiércol aplicado en el estrato superior (0 a 18 cm). Las aplicaciones de estiércol incrementaron el contenido mineral y de materia orgánica del suelo al final del experimento (Zúñiga et al., 2009).

En el sistema tradicional, los cultivos se fertilizan con grandes cantidades de estiércol bovino (más de 100 t Ha⁻¹) cada dos o tres años; en algunos casos, se utilizan fertilizantes minerales como urea o sulfato de amonio. En el sistema intensivo, la aplicación de estiércol bovino, nitrógeno y fósforo se efectúa anualmente, en cantidades de 100 a 200 t Ha⁻¹, 100 a 200 kg Ha⁻¹ y 80 a 100 kg Ha⁻¹, respectivamente (Flores, 1999; Pimienta, 1993 citados por Saenz, 2006).

Lozcano (1997), citado por Megalrejo y Salazar (2000), al cultivar *Opuntia ficus indica* en hidroponía, obtuvo que se tiene una mayor producción de materia seca cuando se aporta N en forma de NO₃⁻.

En la zona de Milpa Alta (México), llegan a aplicar hasta 800 t Ha⁻¹ de estiércol bovino en explotaciones comerciales, mientras que otros aplican de 100 a 200 t Ha⁻¹ en el primer año, completando la fertilización en el segundo año mediante abonos químicos con unos 100 kg Ha⁻¹ de nitrógeno y 80 kg Ha⁻¹ de fósforo (Megalrejo y Salazar, 2000).

En un ensayo realizado con los cultivares Villanueva y Jalpa de *Opuntia ficus indica*, se obtuvo que la aplicación de estiércol a dosis elevadas aumenta la producción de nopalitos, existiendo diferencias significativas entre la dosis más elevada (600 t Ha⁻¹) y las otras ensayadas (400 y 200 t Ha⁻¹), en el segundo año de producción (Megalrejo y Salazar, 2000).

Los estudios sobre las necesidades nutritivas de la especie son escasos, aunque se ha comprobado que la planta responde favorablemente a la fertilización. En algunas zonas de México se emplea el estiércol como abono orgánico que mejora la estructura del suelo, a la vez que aporta elementos minerales. Fernández y Saiz (1990), citado por Megalrejo y Salazar (2000), indican que la planta responde bien a la aportación de N, P₂O₅ y K₂O, aconsejando las siguientes dosis: 60-65, 50 y 25 kg ha⁻¹.

En el cultivo de nopal verdura, *Opuntia ficus-indica* cv. C-69 bajo condiciones de riego por goteo, se recomiendan dosis de 161-60.7-91.4 kg ha⁻¹año⁻¹ de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente (Orona et al., 2004).

El rendimiento de nopal depende significativamente de las concentraciones de N ($P < 0.01$), K ($P < 0.05$) y Mg ($P < 0.05$) (Cortés et al., 2006), por lo que las recomendaciones de fertilización para este cultivo incluyen principalmente estos nutrientes.

El rendimiento de producción de brotes tiernos, es dependiente ($p \leq 0.05$) de las concentraciones de los nutrimentos N, Mg, Ca y K en cladodios de un año de edad. Las interacciones entre K y P, Ca y P, y Mg y P tienen un efecto positivo sobre el rendimiento. Las interacciones entre P y N, Mg y N, Ca y N afectan negativamente la producción de biomasa. (Blanco et al., 2010)

Mediante la técnica del elemento faltante, bajo condiciones de hidroponía, Fernández et al., (2015), reportan diferencias morfológicas notables con la presencia o ausencia de hojas subuladas y la coloración de las mismas, para la solución completa Steiner, sin nitrógeno, sin fósforo, sin potasio, sin calcio y sin magnesio, así mismo la solución sin nitrógeno presenta el menor crecimiento. Por lo que las deficiencias nutrimentales en nopal pueden ser fácilmente detectables, observando sus características.

2.4 Postcosecha del nopal verdura

Los nopalitos cosechados tienen un comportamiento fisiológico muy simple, es decir, no presentan cambios bioquímicos importantes, así como tampoco 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, debido a que su deterioro patológico, por deshidratación o por oxidación es muy acelerado.

Una consecuencia práctica del metabolismo ácido crasuláceo que presentan los nopalitos es su acidez, que es muy alta al amanecer pero baja rápidamente durante las primeras horas de la mañana. La acidez de los nopalitos varía considerablemente (0.1 - 0.6 % de acidez titulable) dependiendo de la hora del día. Esta variación afecta al sabor (Rodríguez y Cantwell, 1988)

La acidez de los nopalitos ya cosechados, también cambia con la hora del día y la noche. Corrales et al. (2004) determinaron la acidez de los nopalitos de la variante Milpa Alta cada seis horas después del corte y encontraron que independientemente de la hora de corte, la

acidez también presenta fluctuaciones en postcosecha, disminuyendo durante el día y aumentando durante la noche. Los autores concluyeron que estas fluctuaciones de acidez afectan el sabor y la calidad de los nopalitas, dependiendo fundamentalmente de la hora de consumo o de procesamiento, más que de la hora del corte.

El contenido de ácido de los nopalitas en postcosecha, también puede verse alterado en función de las temperaturas de almacenamiento. La frigoconservación (5 °C) mantiene o incrementa la acidez, mientras que el almacenamiento a 20 °C da como resultado su disminución (Cantwell, 1992).

Los nopalitas se pueden almacenar a 20° C por una semana, después del 6° día tienen pérdidas del 10% de peso, y también pierden turgencia, así mismo, después de 7 días de almacenamiento a 20° C, el contenido de ácido ascórbico se pierde de 20-40%. (Stintzing y Carle, 2005)

Por razón natural, la principal forma de comercialización de los nopalitas es sin espinas, es así que el desespinado se considera una forma de procesamiento mínimo, y generalmente se realiza manualmente por personas con habilidad, en los puntos de venta al consumidor.

En nopalitas mínimamente procesados, se evaluó el efecto de dos temperaturas de refrigeración y tres películas plásticas para el embolsado; de los resultados se concluyó que la menor producción de etanol, los menores cambios de color y firmeza se obtuvieron a 4° C con bolsas selladas de polipropileno de 25µm de espesor. (Corrales, 2010)

Las técnicas de cosecha y postcosecha antihigiénicas reducen la vida de anaquel del nopalito.

La vida de anaquel del nopalito se ve afectada por diferentes factores, entre los que se encuentran la forma de cosecha, el tipo de envase, así como la temperatura y humedad relativa de almacenamiento. La vida de anaquel de los nopalitas (*Opuntia* sp.) cosechados adecuadamente es de una semana a 20 °C (65-70 por ciento HR) (Rodríguez y Villegas, 1997). El almacenamiento refrigerado reduce la velocidad de respiración, la pérdida de agua por transpiración, el crecimiento de microorganismos y prolonga la vida postcosecha de los productos hortícolas (Mitchell 1992, citado por Sáenz, 2006). Sin embargo,

temperaturas inferiores a 12 °C ocasionan daños por frío en los nopalitas, los cuales se manifiestan como oscurecimiento o manchado de la cascara y ablandamiento del producto.

Durante el almacenamiento a baja temperatura, el contenido de acidez se mantiene o se incrementa. En cambio, durante el almacenamiento a temperaturas superiores (20° C), la acidez disminuye (Cantwell 1992; Nerd 1997, citado por Sáenz, 2006). Las bajas temperaturas (5 °C y 10 °C), retrasan la disminución en el contenido de ácido ascórbico (Rodríguez y Villegas, 1997).

Guevara et al. (2003), concluyeron que la vida de almacenamiento del nopal verdura, puede extenderse hasta por 32 días a 5 °C mediante el empleo de atmosferas modificadas pasivas o semiactivas, con una concentración inicial de CO₂ del 20 por ciento, estableciendo este valor como el límite de tolerancia del producto a este gas.

2.4.1 Factores de campo relacionados con la calidad postcosecha

Según la variedad de nopal, se tienen diferencias significativas en el contenido de algunos componentes de interés, aunque también influyen otras variables como el manejo integral del cultivo, época de plantación y cosecha, nutrición, climas, entre otras.

Numerosos factores afectan la composición de los cladodios, entre ellos se deben considerar las condiciones edáficas, edad de la planta y época del año (Stintzing y Carle, 2005).

Aunque los factores que pueden definir el estado nutrimental de una planta son muy diversos, los que más han sido estudiados y sobre los que se tiene mayor información son ambientales, de cultivo (agronómico) y fisiológico (genético). El primero de ellos comprende la temperatura, humedad relativa, precipitaciones, viento, naturaleza del suelo, etc., en el segundo hay que considerar el abonado, riego, poda, etc. y en el tercero el estado de madurez en la recolección. Todo este conjunto de factores controlan o determinan no sólo la calidad del producto, sino también inciden sobre su comportamiento post-cosecha. (Romojaro et al., 2003).

Los factores ambientales relacionados con la calidad postcosecha en el nopal verdura incluyen la radiación solar, ya que la alta radiación UVB y UVA promueve la oxidación

celular, por lo tanto, como respuesta de defensa se propicia la producción de antioxidantes como los compuestos fenólicos, para combatir estos efectos oxidativos de la radiación solar; así mismo las altas temperaturas propician la emisión de cladodios, ya que el factor responsable directo en la emisión de nopalitos es la temperatura y no la humedad, porque existe un aumento en la producción asociado con el aumento de temperatura. (INE, 2007)

Los cladodios que tienen una orientación favorable con respecto a la interceptación de la luz absorbida por los pigmentos fotosintéticos, principalmente la clorofila (entre 400 y 700 nanómetros), referida como el flujo fotosintético de fotones (FFS), tienen una mayor toma de CO₂ que los cladodios que estén en otra orientación o que están muy sombreados. Una mayor toma de CO₂ por el cladodio, causa un aumento en la producción de cladodios hijos. Una orientación este-oeste maximiza la absorción de FFS y por tanto la toma de CO₂ anual; consistente con esto se conoce que en las Opuntias hay más cladodios que están en dirección este-oeste (Nobel, 1999).

La temperatura no solamente afecta los procesos metabólicos y la absorción neta de CO₂ sino que las temperaturas extremas, pueden inducir daños y aun la muerte de las plantas. En este aspecto *O. ficus-indica* es extremadamente tolerante a temperaturas altas del aire, pero no a temperaturas substancialmente abajo del punto de congelación (Nobel y De la Barrera, 2003).

El efecto de la disminución del potencial de agua del suelo (Ψ_A) durante 63 días (de -0,14 a -3,5 MPa), en el crecimiento y contenido de mucílago de los nopalitos de los cultivares Copena, Moradaza y Solferino y un genotipo silvestre de *O. streptacanta* en condiciones de invernadero, disminuyó el espesor y la longitud de los nopalitos, pero incrementó la biomasa (5 a 25%), aumento que puede ser resultado de la acumulación neta de biomasa en respuesta a la sequía, por efecto indirecto de la deshidratación de los tejidos se incrementa (3 %) el contenido de mucílago y hemicelulosa (8 a 16 % en el tejido seco), pero las pectinas y celulosa fluctúan irregularmente. Esto repercute en la calidad de los nopalitos y proporciona diferentes posibilidades para usos en la industria farmacéutica, de alimentos, de cosmetología, entre otras. (Camacho et al., 2007).

Los hongos micorrizógenos arbusculares, desempeñan un papel determinante en el establecimiento, relaciones hídricas y crecimiento vegetal de *Opuntia streptacantha* Lem., además de contribuir a mantener el estado hídrico en condiciones de sequía. Por ello, se recomienda micorrizar plántulas de esta especie en programas de restauración ecológica de zonas semiáridas deterioradas (González et al., 2005).

Otro factor ambiental que influye en la absorción del CO₂ por las plantas del género *Opuntia* es el contenido atmosférico de CO₂, que está aumentando de forma paulatina, principalmente por la combustión de los fósiles, duplicando el nivel de CO₂ de su valor actual se incrementa en un 23 % el peso seco de los cladodios hijos de *O. ficus-indica* en 6 meses, en tanto el metabolismo de las especies CAM en general, ha mostrado un incremento promedio en la productividad de la biomasa de 35 % en respuesta a una doble concentración de CO₂ atmosférico. (Lozano, 2011).

La productividad se relaciona con la calidad postcosecha, porque cuando la producción es muy alta pueden disminuirse algunas características de calidad deseables, ya que los nutrimentos disponibles se tienen que dividir en más porciones, en consecuencia se obtienen tamaños menores y/o menor valor nutrimental a los esperados.

Ciertos elementos pueden influir la calidad postcosecha de algunos productos, estudios al respecto se han realizado en frutos principalmente, habría que realizar estudios en nopal, para ver si se puede presentar algún efecto similar; la aplicación de fertilizante nitrogenado en exceso en frutos de hueso, ha incrementado su susceptibilidad a desórdenes fisiológicos y decremento de su color; cantidades deficientes de fósforo pueden alterar la fisiología postcosecha de frutos de pepino, afectando la integridad de su membrana y alterando su respiración; la aplicación de fertilizantes de potasio en melones, ha mostrado disminuir su tasa de respiración después de la cosecha, pero en cítricos afecta la forma de los frutos e incrementa su acidez.

Respecto a calcio, bajos niveles incrementan desórdenes fisiológicos en manzana, el calcio forma parte de la pared celular, que influye en la textura de los frutos, es así que frutos de pera y tomate tienen mayor vida postcosecha con la aplicación foliar de calcio en precosecha, mientras que en zapote se ha mejorado la apariencia del fruto, firmeza, color de

pulpa, aroma y textura con las aplicaciones extra de calcio; así mismo, en fresa, fertilizantes altos en calcio reducen su acidez y mejoran su calidad visual (Thompson, 2003).

2.5 Usos del nopal verdura

Los cladodios tiernos de nopal, que una vez cortados y desespinados reciben el nombre de nopalitos o nopal verdura, se consumen en una gran variedad de platillos, tales como las ensaladas acompañadas de cebolla, limón, chile y aceite de oliva. Figuran como ingrediente en diversos platillos típicos de la cocina mexicana: nopalitos con charales, nopalitos con huevo, nopalitos empanizados, nopalitos como guarnición de atún, bistec, chicharrón, chorizo, mixiotes de pollo, entre muchos otros. También se consumen asados, cocidos, en sopas con pasta o legumbres como habas, lentejas, frijoles, nopalitos rellenos de queso, en helados, aguas frescas, jugos, licuados, atole, dulces o mermeladas, pasteles, entre otros; y el nopal deshidratado y molido, también se puede utilizar para elaborar diversos productos como dulces, panes, galletas, tostadas, tortillas, entre otros.

Existen diversos suplementos alimenticios elaborados a base de nopal, para el control de la diabetes, el control del peso, limpieza del colon y destoxificación, prevenir el envejecimiento, prevenir la pérdida del cabello, la piel, las uñas, las arrugas, entre otros. Pero como no están sustentados en estudios científicos, que expliquen límites de acción, asimilación y efectividad fisiológica a las cantidades recomendadas, ni que estén libres de cierto tipo de toxicidad, se recomienda su consumo en fresco o cocinado.

El nopal también se usa como clarificador de agua, como adherente para pinturas y encalados, como cerco vivo, para conservar suelo y para combatir el proceso de la desertificación. (Corrales, 2010)

Cuadro 1. Algunos productos alimenticios y subproductos, obtenidos de los cladodios de nopal verdura.

Productos	Subproductos
Cladodios mínimamente procesados	Mucílagos de los cladodios
Jugos y bebidas	Fibra dietética de los cladodios
Nopalitos en escabeche y salmuera	Utilización de residuos de nopal en la producción de biogás
Mermeladas y dulces	Usos de residuos para lombricultura y fertilizantes
Harinas	Utilización de residuos de nopal como abono o para generar composta
Alcohol	
Cerveza	

Fuente: Sáenz, 2006

2.6 Metabolismo del nopal

El nopal es una planta del tipo MAC (mecanismo ácido de las crasuláceas). Abre sus estomas y consume CO₂ por la noche en grandes cantidades, y lo almacena para utilizarlo por el día en fotosíntesis.

La planta *Opuntia ficus indica* L. es muy eficiente para producir nopalitos; posiblemente debido a que en sus primeras etapas de desarrollo (dos semanas), sus cladodios presentan apertura de estomas en el día (metabolismo C3) y al pasar a un estado de desarrollo avanzado su metabolismo es ácido crasuláceo MAC o CAM, por sus siglas en inglés (Cantwell, 1992; Rodríguez 2009, citado por Flores 2013)

El nopal también cuenta con el metabolismo C3, donde se dice que si es regada con suficiente agua, cambia su metabolismo a C3 y aumenta su producción de biomasa; (Pimienta, 2005 citado por Ramírez et al., 2012) obtuvo un cambio de CAM (metabolismo ácido de las crasuláceas) a la vía metabólica C3 en nopalitos cultivados bajo riego abundante, que a su vez provocó un aumento de su pH.

La fotosíntesis CAM o MAC consiste en los siguientes pasos metabólicos (Winter, 1996 citado por Andrade et al., 2007):

- *Por la noche:* (1) Formación del aceptor primario del CO₂, fosfoenol-piruvato (PEP), a partir de carbohidratos no estructurales en las células fotosintéticas; (2) fijación del CO₂ por

la enzima PEP carboxilasa (PEPC) en el citosol y síntesis del ácido málico; (3) almacenaje del ácido málico (como ión malato) en la vacuola central de las células fotosintéticas.

- *Durante el día:* (1) Liberación del malato de la vacuola hacia el citosol; (2) descarboxilación del malato en el citosol, liberación de CO₂ y formación de compuestos de tres carbonos (piruvato o PEP); (3) asimilación del CO₂ liberado en los cloroplastos por la enzima rubisco, seguida por el ciclo de Calvin-Benson y la regeneración de carbohidratos de almacén o gluconeogénesis.

Al nivel más simple, el metabolismo MAC es un tipo de metabolismo en el que la actividad carboxilasa de tres carbonos (ribulosa-1,5-bifosfato carboxilasa/oxigenasa: Rubisco) y el de cuatro carbonos (fosfoenol piruvato carboxilasa) ocurren en una misma célula, con actividad enzimática separada temporalmente (Dodd *et al.*, 2002 citado por Geydan y Melgarejo, 2005).

Se conocen como plantas C₃, a las plantas que utilizan sólo el ciclo de Calvin para la fijación del dióxido de carbono del aire. En el primer paso del ciclo, el CO₂ reacciona con RuBP (ribulosa 1,5-bifosfato, un azúcar de cinco carbonos), para producir dos moléculas del 3-Fosfoglicerato (3-PGA), esta reacción es catalizada por la enzima rubisco, el 3-PGA forma 1,3-bifosfoglicerato, que se transforma en gliceraldehido-3-fosfato, y este forma hexosas o polisacáridos y la regeneración de RuBP.

2.7 Composición del nopal

Rodríguez y Cantwell (1988) reportaron para cladodios de *Opuntia ficus indica* cosechados a 20cm de longitud, la siguiente composición por 100g: 91.7g de agua, 1.1g de proteína, 0.2g de lípidos, 1.3g de cenizas, 1.1g de fibra cruda, 4.6g de carbohidratos complejos y 0.82g de azúcares simples, 12.7mg de ácido ascórbico y 28.9µg de carotenos; así mismo, reportaron los componentes que variaron según el estado de desarrollo del nopalito, comparando seis diferentes tamaños, que fueron desde los 7 hasta los 36 cm de longitud, donde los componentes que presentaron diferencias significativas Tukey $\alpha=0.05$ fueron: carotenos, acidez, carbohidratos totales que se incrementaron, proteína y fibra cruda(detergente-acido), que disminuyeron conforme aumentó el tamaño del cladodio.

Una característica sobresaliente de los nopalitos es la gran cantidad de mucílago que contienen, esta sustancia es un carbohidrato viscoso, complejo e indigerible. La función de este componente por tratarse de un hidrocoloide, se piensa que es ayudar a retener agua dentro de la planta. El mucílago, es un polisacárido complejo compuesto de proporciones variables de L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa, D-xilosa, y ácido galacturónico, representando este último del 18 al 25 % de los residuos. La estructura molecular primaria es una cadena que contiene ácido galacturónico, ramnosa y galactosa, a la cual van unidos residuos de xilosa y arabinosa en posiciones periféricas (Saenz et al., 2002).

Cuadro 2. Composición del nopal expresado en base húmeda.

Componente	Cladodio	
	De 1 mes de edad	De 1 año de edad
Humedad %	92.57	94.33
Proteína (x 6.25) %	0.94	0.48
Grasa %	0.17	0.11
Fibra %	0.30	1.06
Cenizas %	0.08	1.60
Carbohidratos %	5.96	2.43
Vitamina C (mg/100g*)	37.27	23.11
Ca%	0.042	0.339
Na%	0.0018	0.0183
K%	0.00098	0.145
Fe%	0.0792	0.322

* Los resultados se dan en mg de ácido ascórbico / 100 g de penca fresca. Fuente: Guzmán y Chávez (2007)

Guzmán y Chávez (2007) aconsejan el consumo de cladodios de un mes de edad por su riqueza en agua, vitamina C, carbohidratos, proteínas, Ca y fibra.

Cuadro 3. Valor nutrimental del nopal verdura en base fresca.

Componente	Nopalitos 100 g	Minerales	Nopalitos 100g	Vitaminas	Nopalitos 100g
Calorías	40	Calcio(mg)	56	Vitamina C(mg)	14
Grasa(g)	0.5	Hierro(mg)	0.3	Tiamina(mg)	0.01
Colesterol(mg)	0	Magnesio(mg)	85	Riboflavina(mg)	0.06
Carbohidratos(g)	9.6	Fósforo(mg)	24	Niacina(mg)	0.5
Fibra dietética(g)	3.6	Potasio(mg)	220	Vitamina B6(mg)	0.06
Proteínas(g)	0.7	Sodio(mg)	5	Folato (µg)	6
		Cobre(mg)	0.08	Vitamina B12 (µg)	0
		Selenio(µg)	0.6	Vitamina A (I.U.)	51
		Zinc(mg)	0.12	Vitamina E (A.T.E.)	0.01

Fuente: Comité del Sistema Producto Nopal. SAGARPA, 2004

En los cuadros anteriores se puede observar que el nopal es bajo en grasas, alto en potasio, magnesio y calcio; que el contenido de fibra aumenta con la edad, y el de proteína es mayor en cladodios jóvenes; así mismo, contienen vitamina C, vitamina A, y en menor medida, tiamina, riboflavina y niacina.

El Calcio interviene en la formación de los huesos y dientes, en la coagulación de la sangre, y en la transmisión de los impulsos nerviosos. La función más sorprendente del calcio es que ayuda en la contracción del corazón. La vitamina D es esencial para la absorción del calcio. Sin embargo, en el nopal se tiene que verificar que sea asimilable, ya que se ha reportado mayoritariamente como oxalato de calcio que tiene baja biodisponibilidad (Guevara y Ornelas, 2013).

Los principales componentes de los cladodios son biopolímeros conteniendo carbohidratos que consisten en una mezcla de mucílagos y pectinas. Dicha fracción de polisacáridos tiene la capacidad de retener agua. En general, los cladodios son ricos en fibra (18% b.s.) y también en minerales. El contenido de cenizas puede variar entre 19 a 23 % b.s., mientras que el contenido de proteínas entre 4 y 10 % b.s. El contenido lipídico es bajo. (Karawya et al., 1980 en Nazareno et al., 2012)

2.8 Propiedades funcionales del nopal

En el año 1989 surgió el término Nutraceútico por el Dr. Stephen de Felice, Director de la Fundación de Medicina Innovativa. Planteó que sería cualquier sustancia que pueda ser considerada como alimento o como parte de éste y que proporciona beneficios médicos o de salud, incluyendo la prevención o el tratamiento de una enfermedad (Pérez, 2006).

Este concepto ha continuado evolucionando, y ahora se entiende por nutraceútico a sustancias químicas o biológicas activas, que pueden encontrarse como componentes naturales de los alimentos o adicionarse a los mismos. Se pueden presentar en una matriz no alimenticia (píldoras, cápsulas, polvo, etc.), y que administrada en dosis superior a la existente en esos alimentos, presume un efecto favorable sobre la salud, mayor al que posee el alimento normal, sirviendo como auxiliar en el cuidado y mantenimiento de la salud, así como en la prevención de enfermedades y en la mejora de las funciones fisiológicas del organismo (Sloan, 1996 citado por Pérez, 2006).

Cuadro 4. Beneficios terapéuticos de compuestos nutraceúticos de nopal verdura.

Compuesto nutraceútico	Acción terapéutica
Antioxidantes fenólicos y flavonoides	Prevención de cáncer, colesterolemia, embolias y aterosclerosis. Ataques cardíacos, inflamaciones y envejecimiento celular
Fibra dietética insoluble	Prevención de cáncer de colon, hemorroides, constipación y diverticulosis. Mejoramiento de la función intestinal.

Fuente: Pérez, 2006

En ciertos casos, los compuestos bioactivos han sido distribuidos comercialmente como productos nutraceúticos; los nutraceúticos se caracterizan por ser suplementos dietéticos bioactivos, benéficos para la salud que se ingieren en forma concentrada en píldoras, pastillas, cápsulas o tónicos. (Drago et al., 2006)

Desde un punto de vista práctico, un alimento funcional puede ser (Ashwell, 2004):

- Un alimento natural en el que uno de sus componentes ha sido mejorado mediante condiciones especiales de cultivo.

- Un alimento al que se ha añadido un componente para que produzca beneficios (por ejemplo, bacterias probióticas seleccionadas, de probados efectos beneficiosos sobre la salud intestinal).
- Un alimento del cual se ha eliminado un componente para que produzca menos efectos adversos sobre la salud (por ejemplo, la disminución de ácidos grasos saturados).
- Un alimento en el que la naturaleza de uno o más de sus componentes, ha sido modificada químicamente para mejorar la salud (por ejemplo, los hidrolizados proteicos adicionados en los preparados para lactantes para reducir el riesgo de alergenicidad).
- Un alimento en el que la biodisponibilidad de uno o más de sus componentes, ha sido aumentada para mejorar la asimilación de un componente beneficioso.

De acuerdo con Sloan, (2000) un alimento funcional se define como un alimento o bebida que proporciona un beneficio fisiológico, que fortalece la salud, ayuda a prevenir o tratar enfermedades; por otro lado, se puede mejorar el rendimiento físico o mental de una persona por la adición de un ingrediente funcional en su dieta, por la modificación de un proceso o por el uso de la biotecnología.

Los compuestos funcionales o nutraceúticos son aquellos que tienen efectos benéficos para la salud, y los cladodios son una fuente de fibra, hidrocoloides (mucilagos) y minerales (calcio, potasio), así como vitamina C. Entre estos compuestos funcionales, la fibra dietética se ha relacionado con el control del colesterol y prevención de algunas enfermedades como diabetes y obesidad (Hollingsworth, 1996; Grijspaardt, 1996; Sloan, 1994). La fibra dietética está constituida por diferentes componentes resistentes a las enzimas digestivas, entre ellos la celulosa, la hemicelulosa y la lignina (Spiller, 1992; Periago et al., 1993).

Según su solubilidad en agua, la fibra se clasifica en soluble e insoluble; la primera la conforman mucilagos, gomas, pectinas y hemicelulosas, y la insoluble es principalmente celulosa, lignina y una gran fracción de hemicelulosa (Atalah y Pak, 1997).

Estas fracciones de fibra tienen efectos fisiológicos distintos: es así como la fibra soluble se asocia con la reducción de los niveles de glucosa y colesterol en sangre, así como con la

estabilización del vaciamiento gástrico; mientras que la fibra insoluble con la capacidad de retención de agua (aumento de peso de las heces), el intercambio iónico, la absorción de ácidos biliares, minerales, vitaminas y otros y su interacción con la flora microbiana (Spiller, 1992; Sáenz et al., 2002).

Varias especies de cactáceas y en particular *Opuntia fuliginosa* y *Opuntia streptacantha*, han sido usadas para el tratamiento de gastritis, fatiga y daño hepático, así como también para mejorar la digestión e incrementar los procesos de detoxificación general. También se ha informado acerca de efectos positivos de los cladodios en hiperglicemia, acidosis y aterosclerosis. Los cladodios de *Opuntia ficus-indica* son usados en la medicina popular tradicional de muchos países por su actividad cicatrizante. En la medicina popular en Sicilia, Italia, los cladodios de *Opuntia ficus-indica* eran usados para el tratamiento de la úlcera gástrica. Investigadores científicos de Italia estudiaron el efecto de cladodios liofilizados en experimentos sobre úlceras inducidas por suministro de etanol en ratas. Se confirmó la acción protectora y este efecto fue atribuido a la presencia del mucílago (Galati et al., 2003).

También hay estudios científicos publicados que informan que el consumo de nopalitos o cladodios jóvenes tiernos reducen la obesidad y la glicemia en sangre. Se ha informado que después de 30 días de administración diaria de 1g kg^{-1} de cladodios liofilizados de *Opuntia ficus-indica* en ratas, se redujeron marcadamente sus niveles de colesterol, LDL y triglicéridos. Se han realizado ensayos con extractos de cladodio de *Opuntia streptacantha* Lem. y se ha informado que ejercen acción antiviral frente a ADN virus como herpes y ARN virus como VIH-1 e influenza tipo A (gripe A). El principio activo fue localizado en el tejido externo no cuticular. El extracto obtenido del parénquima, actuó tanto en forma preventiva como post-infecciosa. Se demostró que la administración de extractos de tallos de *Opuntia streptacantha* a ratones, caballos y humanos inhibió la replicación intracelular de varios ADN y ARN virus (Ahmad, 1996 en Nazareno et al., 2012).

Estudios recientes, sugieren que los extractos de frutas de cactus inhiben la proliferación in vitro de líneas celulares cancerosas de cuello uterino, ovario y vejiga, también suprimen el crecimiento en modelos in vivo de tumores ováricos en ratones. Las investigaciones

confirmaron que los extractos de frutas de cactus inhibieron el crecimiento de diferentes células cancerígenas tanto en ensayos in vitro como in vivo. Se ha sugerido que las propiedades anticancerígenas se deben en parte al efecto antioxidante (Zou et al., 2005). Entre los constituyentes bioactivos de los extractos de cactus se encuentra el flavonoide quercetina, que podría ser uno de los compuestos responsables de la actividad anti carcinogénica y de los efectos de inducción de la apoptosis.

Numerosos estudios informan acerca de las acciones analgésicas y antiinflamatorias del género *Opuntia*, usando tanto extractos de las frutas como de cladodios, así como los fitosteroles extraídos de fruta y tallo. Se identificó a β -sitosterol como el principio activo antiinflamatorio de los extractos de tallos. Algunas investigaciones sugieren que los extractos de cactus poseen acción anti-inflamatoria, ejerciendo también un efecto protector frente a lesiones gástricas inducidas por ácido acético.

Los autores Corrales et al., (2004), determinaron la capacidad que tienen los nopalitos de amortiguar los cambios de pH (capacidad buffer), sus resultados proveen la evidencia experimental que sustenta la idea de que el consumo de nopalitos puede aminorar los cambios bruscos del pH en el tracto digestivo y explican, en parte, el efecto terapéutico que sobre los desórdenes gastrointestinales (gastritis), se ha atribuido al consumo de nopalitos.

De acuerdo con la nutrióloga Cecilia García (Paz, 2013), por su elevada concentración de fibra soluble (5g por porción de 2 tunas y 3g por taza de nopales cocidos), ambos alimentos contribuyen a una mejor digestión, previniendo hemorroides; mejor y más rápido tránsito intestinal, evitando formación de divertículos que se forman con materia fecal, dura y seca, que se incrusta a las paredes intestinales lastimándolas e infectándolas; también ayudan a controlar los niveles de glucosa en la sangre, evitan la absorción del colesterol ingerido, son fuentes de vitamina C y son ricos en antioxidantes, entre otros beneficios; así mismo, una porción de 2 tunas aporta 56 Kcal y una taza de nopal cocido aporta tan sólo 33 Kcal, por lo que pueden ser insertados adecuadamente en dietas de mantenimiento de peso sano e incluso en regímenes de restricción.

Cuadro 5. Constituyentes bioactivos en cladodios de nopal.

Componente	Composición	Referencia
Mucílago y pectinas	Polisacáridos	Trachtenberd y Mayer, 1981, Karawya et al, 1980, Sepúlveda et. Al, 2007,
Fibra dietética	Fibra dietética insoluble	Ayadi et al., 2009
Clorofilas	Clorofila “a”	Ayadi et al., 2009
Minerales	K, Ca, Cu, Zn, Mn	Wildman et al., 2007
Flavonoides	Kaempherol, Glicósidos de isoramnetina	Valente et al., 2010
Compuestos fenólicos	Ácidos gálico, cumárico, 3,4-dihidroxibenzoico, 4-hidroxibenzoico, ferúlico y salicílico, Isoquercetina, Isoramnetina-3-O-glucósido, nicotiflorina, narcisina y rutina	Guevara-Figueroa et al., 2010

Fuente: Nazareno et al.,2012; Wildman y Kelley, 2007

Con respecto a la clorofila, la División de Alimentos y Medicinas del Departamento de Agricultura de Carolina del Norte (EUA), menciona que la clorofila es la sustancia que permite a las plantas absorber luz solar para convertirla en energía utilizable y les provee el color verde, a su vez, las plantas verdes contienen clorofila “a” y las plantas que evolucionaron en un punto posterior de la historia, contienen además clorofila tipo “b”; también existen otros tipos de clorofila llamados c1, c2, c3 y clorofila d, pero son mucho menos comunes. La composición química de la clorofila es similar a la de la hemoglobina de la sangre humana, excepto que el átomo central de la clorofila es el magnesio, mientras que el de la hemoglobina es el hierro. Los estudios sobre los beneficios que la clorofila ofrece a la salud se han centrado sobre todo en el estudio del cáncer, y se ha encontrado que la clorofila previene el ataque de la sustancia cancerígena aflatoxina B1 (AFB1). Otros efectos benéficos a la salud atribuidos a la clorofila son los siguientes: purifica la sangre y el organismo limpiándolo de toxinas, desintoxica el hígado, limpia los intestinos, ayuda a combatir la anemia, a rejuvenecer y energizar el cuerpo; además estimula el sistema inmunológico, normaliza la presión arterial, elimina hongos del cuerpo, y combate el mal olor y el mal aliento debido a su contenido de magnesio.

El contenido de clorofilas en nopal verdura varía, Stintzing y Carle (2005) reportan una concentración de 9.5mg 100g⁻¹ de clorofila “a”, 3.0mg 100g⁻¹ de clorofila “b” y 12.5mg 100 g⁻¹ de clorofila total en tejido fresco para *Opuntia sp.* Aguilar y Peña (2006) reportan un contenido de clorofila “a” de 8.2mg 100g⁻¹, clorofila “b” de 6.7mg 100g⁻¹ y clorofila total de 19.6mg 100g⁻¹ de tejido fresco, para *Opuntia ficus indica* var *Tlaconopal*.

Los compuestos funcionales minerales que contienen los cladodios de nopal son: calcio, potasio, cobre, zinc y manganeso (Raj et al., 2010; Wildman y Kelley, 2007), a continuación se revisan los efectos benéficos a la salud de estos minerales.

Calcio. Una ingesta relativamente elevada de calcio puede reducir el riesgo de cáncer colorrectal; varios estudios observacionales apoyan esa hipótesis y dos ensayos muestran que los suplementos de calcio pueden tener un discreto efecto de protección contra la recidiva del adenoma colorrectal (Bonithon, 1999 en OMS, 2003). Los componentes de la dieta pueden proteger contra la caries dental, algunas de estas sustancias que se cree inhiben la caries son el calcio y fósforo (OMS, 2003). En lo que atañe a las personas mayores, hay pruebas convincentes de una reducción del riesgo de osteoporosis con una ingesta suficiente y simultánea de vitamina D y calcio, así mismo en los países con una alta incidencia de fracturas, se necesita una ingesta mínima de 400-500 mg de calcio al día para prevenir la osteoporosis. Debe tenerse en cuenta la interacción entre la ingesta de calcio y la actividad física, la exposición al sol y la ingesta de otros componentes alimentarios como vitamina D, vitamina K, sodio, fitonutrientes, y proteínas, en particular las de origen animal, porque estas podrían contrarrestar el efecto positivo de la ingesta de calcio en el equilibrio cálcico, si se consumen en exceso.

Potasio. Una ingesta alimentaria adecuada de potasio, reduce la tensión arterial y protege contra los accidentes cerebrovasculares y las arritmias cardíacas. La ingesta de potasio debe ser tal, que la relación sodio:potasio se mantenga en torno a 1,0, lo que equivale a un consumo diario de potasio de 70-80 mmol. Esto puede conseguirse mediante un consumo adecuado de frutas y verduras. (OMS, 2003).

El cobre, zinc y el manganeso son componentes de la enzima superóxido dismutasa (SOD), su potencial nutraceútico es en relación a que son antioxidantes, aunque se requiere más investigación en el área de los elementos traza, en función de sus relaciones metabólicas con otros nutrientes y su potencial de toxicidad (Wildman y Kelley, 2007)

2.8.1 Antioxidantes

Los nopalitos tienen una alta actividad antioxidante, proporcionada por la presencia de varios compuestos antioxidantes, entre los que se encuentran vitamina C o ácido ascórbico, carotenoides, glutatión reducido, cisteína, taurina y flavonoides como la quercetina, kaempferol e isoramnetina, que han sido detectados en frutos y cladodios de nopal (Lee et al., 1999 citado por Nefzaoui et al., 2007)

Los compuestos fenólicos o polifenoles son un conjunto heterogéneo de moléculas con actividad antioxidante que incluye a los fenoles ácidos y flavonoides. Los fenoles protegen a las plantas contra los daños oxidativos, y llevan a cambio la misma función en el organismo humano. (Drago et al., 2006)

Los fenoles ácidos: cumárico, caféico y ferúlico, inhiben la actividad de agentes mutágenos, estimulan la actividad de la enzima fenolsulfotransferasa implicada en la destoxificación de compuestos metabólicos potencialmente tóxicos, (Yeh, 2003, citado por Drago et al., 2006) y poseen actividad bactericida (Puupponen, 2001, citado por Drago et al., 2006).

La actividad antioxidante de los polifenoles se ha relacionado con su capacidad para prevenir falla cardíaca, aterosclerosis, enfermedad cardiovascular y neoplasias. Como antioxidantes, los polifenoles pueden proteger las células contra el daño oxidativo y por lo tanto limitar el riesgo de enfermedades degenerativas (Scalber, 2005, citado por Gutierrez et al., 2008).

La variabilidad de estos compuestos fitoquímicos puede deberse a factores genéticos por variedad, así como a condiciones del medio ambiente, tales como intensidad de radiación, lluvia, entre otros factores ambientales, que pueden variar entre lugares.

Se han reportado valores variables de compuestos fenólicos totales en nopal, Santos et al., (2011) reportan 0.593mg ác gálico g⁻¹ de nopal seco, Medina et al., (2011) reportan una concentración de fenoles totales de 60mg g⁻¹ de nopal seco, mientras que Stintzing y Carle, (2005), mencionan valores de 8-9mg100g⁻¹ de peso fresco.

Los flavonoides son compuestos polifenólicos, que se caracterizan por tener una estructura de tres anillos formada de dos centros aromáticos y un heterociclo central oxigenado. Dentro de los flavonoides se incluyen a las flavonas, flavanonas, catequinas y antocianinas (Drago, 2007). Las flavonas, como la quercetina se encuentran en los cladodios de nopal.

Los flavonoides son antioxidantes y se les atribuye la prevención de la oxidación del colesterol LDL, además de que ciertos flavonoides mejoran la actividad de la vitamina C, protegiendo así contra infecciones y enfermedades de vasos sanguíneos (Carbajal, 2013).

Los flavonoides que se han identificado en el nopal, son el kampferol y la quercetina (Rodríguez et al., 2010), debido a estos fitoquímicos, los nopales se han propuesto como un alimento preventivo para ciertas enfermedades como el cáncer (Zou et al., 2005). Medina et al., (2011) reportan una concentración de flavonoides de 23.4mg g⁻¹ de nopal seco.

2.9 Calidad postcosecha

Además de la composición química, el valor nutritivo y compuestos funcionales del nopalito, hay otras características que tienen importancia, las de calidad postcosecha.

La tasa de respiración de los nopalitos varía dependiendo del tamaño de la penca, siendo menor en los cladodios más grandes, presentando valores 50 por ciento menores en cladodios de 20 cm con respecto a cladodios de 10cm. Los nopalitos, presentan una producción de etileno muy baja, 0,05, 0,1 y 0,22 nl g⁻¹ h⁻¹ a 5, 10 y 20 °C, respectivamente (Cantwell, 2004 citado por Sáenz, 2006), pero la presencia de polifenoles, que si bien son interesantes en la dieta como antioxidantes, causan oscurecimiento, lo que genera problemas en algunos procesos de conservación de estos productos (Rodríguez, 2002 citado por Sáenz, 2006).

La viscosidad se ve influida por la presencia de mucílago o carbohidratos solubles (fibra soluble), un elemento positivo en la producción de jugos y jaleas, que puede determinarse midiendo los sólidos solubles totales (grados Brix).

La acidez es otro factor postcosecha, debido a la acidez variable de los nopalitos durante el día a causa de su metabolismo CAM, este factor debe ser tenido en cuenta para el momento de la cosecha y procesamiento, ya que habrá que conjugar el efecto de la acidez en los procesos de conservación con la aceptación de los productos por parte de los consumidores.

El pH es una característica a tomar en cuenta cuando se desea diseñar una tecnología de procesamiento para conservar un producto, porque influye el tipo de microorganismos a los que puede ser susceptible, ya que los principales factores extrínsecos que influyen en el crecimiento de microorganismos son temperatura, disponibilidad de oxígeno y humedad; y los factores intrínsecos son nutrientes, cantidad de agua disponible (a_w), potencial de óxido-reducción, pH (concentración de hidrogeniones), sustancias inhibidoras, interacciones microbianas (sinergismo y antagonismo); y son sus efectos combinados los que determinan si tendrá lugar el crecimiento y con qué rapidez (Forsythe y Hayes, 2002). Cuando alguno de los factores es limitante, se frena la multiplicación microbiana (Marriot, 2003).

El color influye en la presentación visual del producto, principalmente para consumo en fresco, un tono verde maduro denota envejecimiento del producto, mientras que manchas oscuras, la oxidación de los pigmentos.

La firmeza es otra característica de calidad postcosecha, en el producto en fresco, una pérdida de firmeza indicaría envejecimiento por deshidratación y pérdida de turgencia celular, lo que repercutiría en un reblandecimiento de tejidos y mayor susceptibilidad de posibles daños microbiológicos, por la pérdida de dureza y defensa de la pared celular. Pero esta característica también podría estar influida por la genética y por la nutrición del cultivo, en cuanto a la disponibilidad de calcio durante su crecimiento.

2.10 Estudios sobre componentes en nopal y la nutrición del cultivo

En un estudio realizado por Guevara et al., (2010) de análisis proximal, caracterización de ácidos fenólicos y flavonoides en variedades de *Opuntia spp.*, se obtuvo que las variedades silvestres del nopal presentaron significativamente un mayor contenido de flavonoides, así como de ácidos fenólicos, respecto a las variedades comerciales. Esto se explica porque el crecimiento en las variedades silvestres es más lento que en las variedades comerciales, dando mayor tiempo a la biosíntesis de los compuestos antioxidantes, así mismo se encuentran más tiempo expuestas a la radiación solar, por lo que requieren mayor cantidad de compuestos antioxidantes para evitar daños.

En un estudio realizado por Galizzi et al., (2004) sobre correlaciones entre composición del suelo y cantidad de nutrientes en el cladodio y frutos de *Opuntia ficus indica* en una granja de Argentina, las relaciones entre suelo y cladodio se examinaron en una plantación de 8 años, con cinco tratamientos de fertilización (kg ha^{-1}): 1) Control, 2) 100 N, 3) 100 N + 50 P, 4) 100 N + 50 P + 100 K, 5) 100 N + 50 P + 100 K + 50 Mg aplicado al suelo. Se encontró que no hubo influencia significativa de estas aplicaciones en suelo sobre el rendimiento ni en la calidad del fruto de nopal.

Adicionalmente se examinaron las correlaciones entre rendimiento, calidad (Brix, firmeza del fruto, % pulpa); encontrándose que las únicas correlaciones significativamente positivas con rendimiento, fueron concentraciones de Ca intercambiable en suelo y la proporción en el cladodio Ca/Mn. El rendimiento estuvo altamente correlacionado, pero en forma negativa con Mn y Zn en el cladodio. Se sugiere un papel benéfico del Ca y ligeramente tóxico del Mn. La firmeza en el fruto estuvo altamente correlacionada con concentraciones de K en el cladodio. El rendimiento del fruto no estuvo correlacionado con la proteína en el cladodio. El N en el cladodio estuvo altamente correlacionado con Ca, Cu, K y Mn y Zn; ya que la fertilización con N no estimuló las concentraciones de micronutrientes en el cladodio, mientras que las altas correlaciones entre N y Cu, Mn y Zn, pueden indicar limitaciones por micronutrientes.

Dadas las altas proporciones Ca/N y K/N en *Opuntia*, en comparación de otras cactáceas, y las correlaciones significativamente altas observadas entre rendimiento y Ca intercambiable en suelo, parece que los nutrientes minerales básicos Ca y K han sido pasados por alto, y para futuras investigaciones sobre cómo mejorar rendimientos, se le debería dar prioridad a estos nutrientes.

Las plantas del nopal tienen cualidades nutraceuticas y pueden representar una alternativa útil como quimioterapéutico anti carcinogénico enriquecido con selenio, proporcionando una dietética avanzada seleno-farmacológica, con el fin de ayudar a combatir enfermedades humanas, cuando son cultivadas en agricultura con drenaje de sedimento alta en sal, Boro y selenio, (Bañuelos et al., 2012).

Con relación al efecto de la fuente de fertilización, Flores (2013), encontró un rendimiento muy alto (259 t ha^{-1}) de nopal verdura, con el tratamiento de estiércol 100 t ha^{-1} , mezclado con fertilizante triple 17 a una dosis de 1.6 t ha^{-1} , debido a la disponibilidad de N, P, K que proporciona el fertilizante químico triple 17, y que el estiércol también incrementa el contenido de N y mejora las propiedades del suelo, dando una mayor retención de humedad, lo que favorece la disponibilidad de agua para la planta, durante el ciclo de crecimiento (un año); también obtuvo buen rendimiento con los tratamientos de Composta, Micorriza, Fertirriego y Composta más micorriza, superior a 200 t ha^{-1} , siendo que el rendimiento promedio en nopal verdura a nivel nacional, es de 60 t ha^{-1} , pero este rendimiento puede ser limitado en las zonas productoras; también por otros aspectos como las propiedades del suelo, salinidad o pH, además de la nutrición.

Respecto a la frecuencia de riego, Flores (2013) obtuvo más diferencias entre los efectos de los tratamientos de fertilización sobre acidez, fibra, nitrógeno y potasio en los nopales, cuando la frecuencia de riego fue de 7 días que cuando fue de 14 días, esto resulta contrario a lo que se esperaría por el efecto de dilución del agua, donde con el riego menor se verían diferencias mayores entre los efectos de tratamientos.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Sitio experimental

El sitio experimental, está ubicado en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados con coordenadas geográficas 19° 29' Latitud Norte y 98° 54' Longitud Oeste, a una elevación de 2250 m.s.n.m. De acuerdo a información de la Estación Meteorológica, Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, en el año 2014 la temperatura máxima promedio a la intemperie fue de 26.98° C, y la temperatura mínima promedio a la intemperie fue de 5.39° C, mientras que la temperatura media de 16.16° C, y según información de la CONAGUA, para la región de Texcoco, se tuvo una precipitación de 600 a 800 mm de lluvia en el mismo año.



Figura 2. Sitio experimental de campo.

3.2 Material vegetal

El estudio se realizó con cladodios de un mes de edad, de nopal (*Opuntia ficus indica*), variedad Milpa Alta, procedente del Municipio de Tlalnepantla, Morelos; de plantas que han sido cultivadas desde el año 2010, con la fuente de fertilización indicada en los tratamientos.

3.3 Tratamientos de fertilización

T1.-Estiercol con Triple 17 (E+T17)

T2.-Fertilización química (FQ)

T3.-Composta (CO)

T4.-Composta con micorriza (CM)

T5.-Micorriza (MI)

T6.-Testigo (TE)

3.4 Manejo del cultivo

Para continuar con el manejo del cultivo, que se ha aplicado a principios de cada año desde su inicio en el 2010 (Flores, 2013), se llevó a cabo en 2015 la poda y fertilización anual correspondiente.

Por planta, se aplican anual y superficialmente al suelo, para cada tratamiento los siguientes fertilizantes y dosis:

T1-Estiércol con Triple 17: Estiércol bovino 5kg y fertilizante triple 17 (N-P-K) 80g.

T2-Fertilización química (Se aplicó el 50% en un día y a los 15 días el 50% restante): Multi NPK (13-6-40) 34g, fosfato monoamónico 7g, nitrato de calcio 6g y sulfato de potasio 46g.

T3-Composta: 5kg

T4-Composta con micorriza: 5kg, y 20g de raíces al 90% de colonización de *Glomus mossae*¹.

T5.-Micorriza: 20g de raíces al 90% de colonización de *Glomus mossae*¹.

T6-Testigo: Sin aplicación

Debido a que la micorriza no es un fertilizante, sino que son organismos del reino fúngico que se establecen y forman una relación simbiótica con las raíces de las plantas, de la que se nutren y crecen, sólo se inoculó Micorriza el primer y segundo año del experimento.

¹ Sin aplicación, debido a que se habían aplicado 20g micorriza al 90%/planta al inicio del experimento y en una ocasión más, que por ser un hongo que coloniza las raíces, y tener 4 años de antigüedad debería ser alto el porcentaje de colonización.

3.5 Diseño experimental.

El diseño experimental fue, bloques al azar generalizado (DEBAG), el cual estuvo formado por tres bloques, dos repeticiones intrabloque y seis tratamientos, mencionados anteriormente.

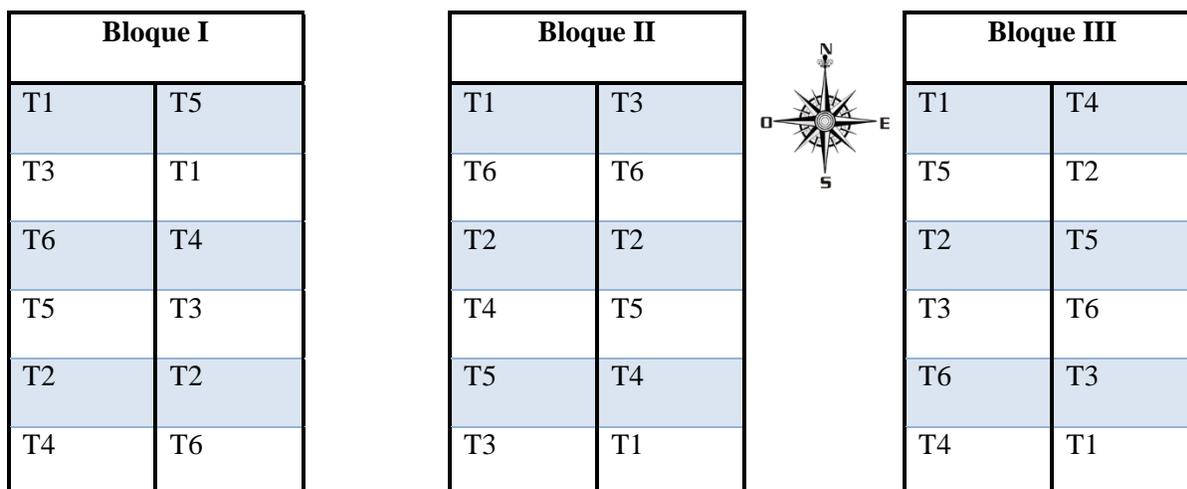


Figura 3. Arreglo espacial de las unidades experimentales dentro de los bloques del experimento.

Cada Unidad Experimental (UE) estuvo conformada por la zona del terreno con 3 plantas centrales de nopal, y 2 a las orillas para evitar efectos de las plantas circundantes, a las que se le aplicó cada tratamiento de fertilización, además de una barrera física plástica para separar las raíces y evitar combinación de tratamientos.

3.6 Variables evaluadas

3.6.1 Análisis de suelo

Para tener conocimiento sobre las condiciones fisicoquímicas del suelo y la aportación de nutrimentos del suelo a las plantas, se realizó la determinación de los siguientes parámetros en una muestra compuesta de cada tratamiento.

Cuadro 6. Variables evaluadas en suelo.

Parámetro	Método
pH	Potenciómetro. Extracto 1:2
Conductividad eléctrica CE (dSm ⁻¹)	Conductímetro. Extracto 1:5
Materia orgánica (%)	Combustión-Infrarrojo. Walkley-Black
P (mg kg ⁻¹)	Colorimétrico-Espectrofotométrico. Olsen
Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺ (meq 100g ⁻¹)	Absorción atómica. Cationes intercambiables
Cl ⁻ (meq L ⁻¹)	Titulación con AgNO ₃ . Extracto de saturación
N (%)	Estimado a partir de materia orgánica
Fe, Mn, Cu, Zn, (mg kg ⁻¹)	Absorción atómica. DTPA

A inicios de 2015, antes de la fertilización anual, se tomó la muestra de suelo con barrena tipo California de 0 a 30cm, retirando los primeros 3cm de suelo. El material se expuso al secado en un invernadero por 4 días y fue almacenado en bolsas etiquetadas, para su posterior análisis en el Laboratorio de fertilidad de suelos de Edafología del CP-Montecillo, siguiendo las metodologías del Manual del laboratorio (Etchevers, 1992).

Para la realización de los análisis, el suelo de cada tratamiento se homogenizó y se tomaron 250g, haciendo pasar por una malla No. 10, moliendo en mortero las fracciones grandes, de la muestra pasada por malla 10 se tomó una pequeña cantidad y se volvió a tamizar y moler a pasar en malla No. 30, para el análisis de Materia Orgánica.

3.6.1.1 Determinación de pH

Se colocaron 10g de suelo en un vaso de pp de 100mL, se añadieron 20mL de agua destilada, lo cual da una relación suelo/solución 1:2, se agitó la suspensión del suelo y se efectuó la lectura correspondiente de pH con un potenciómetro.

3.6.1.2 Conductividad eléctrica

Se colocaron 10g de suelo tamizado en un vaso de pp. de 100mL, se añadieron 50mL de agua destilada. Se agitó la suspensión y se midió la conductividad eléctrica con un potenciómetro-conductímetro.

3.6.1.3 Materia orgánica oxidable

Este procedimiento consistió en lo siguiente; se colocó una cápsula de porcelana a 375° C en la mufla por 1h. Se dejó enfriar hasta 150° C. se trasladó la cápsula al desecador, se dejó enfriar 30 min y se pesó. Se adicionaron 5g de suelo seco tamizado malla 30. Se colocó la cápsula con la muestra en la mufla a 375° C y se dejó calcinar (16h). Se apagó la mufla y cuando la temperatura bajó a 150° C, se trasladó la cápsula a un desecador y se dejó por 30 min, se pesó hasta mg. Basándose para el cálculo de materia orgánica en la pérdida por calcinación, ya que al someter los compuestos orgánicos a altas temperaturas, se descomponen principalmente a CO₂ y otros compuestos volátiles, permaneciendo sólo los minerales (cenizas). De este valor de materia orgánica se estimó el valor de Nitrógeno, considerando una relación C/N de 20: 1.

%M.O. = porcentaje de MO estimada por pérdida de peso

PMSC = peso de muestra sin calcinar

PMSH = peso de muestra calcinada

$$\% \text{ M.O.} = \frac{PMSC - PMSH}{PMSH} \times 100$$

3.6.1.4 Fósforo

Éste se determinó espectrofotométricamente, por el método Olsen, mediante una reacción colorida con sales de molibdato y ácido ascórbico que dan tonos azules con el fósforo, el procedimiento consistió en lo siguiente: Se pesaron 2.5g de suelo, se adicionaron 50mL de solución extractora de bicarbonato de sodio 0.5M y se agitó por 30 min a 180rpm. Se filtró a través de papel Whatman 42, se adicionó carbón activado y se filtró de nuevo hasta obtener un color totalmente claro y transparente, del cual se tomó una alícuota de 5mL, se adicionaron 5mL de solución reductora de ácido ascórbico [que se preparó disolviendo 0.50g de ác. ascórbico en solución de molibdato de amonio(20g molibdato de amonio + 300mL agua + 450mL ácido sulfúrico 14N + 100mL tartrato de amonio y potasio al 0.5% + aforo a 1L con agua) y se aforó con agua a 100mL] y se aforó con agua destilada a 50mL. Se leyó espectrofotométricamente a 882nm, después de 30 min, pero antes de 1h.

Se preparó una curva patrón con P, solución extractora, agua y ácido ascórbico, de la cual se obtuvo la siguiente ecuación $A = -0.0058 + 1.0111C$ donde, A = la absorbancia a 882 nm; C = la concentración de la solución usada para el análisis colorimétrico (ppm o mg kg⁻¹).

3.6.1.5 Cationes intercambiables

Se determinaron los cationes intercambiables Calcio, Magnesio, Potasio y Sodio, por absorción atómica siguiendo el procedimiento siguiente: Se pesó 1g de pulpa de papel y se colocó en el fondo de una jeringa de 50mL, se comprimió la pulpa, se agregaron 5g de suelo. La jeringa se colocó en la parte superior del equipo de vacío y se conectó a través de una manguera plástica con otra jeringa con embolo en estado inicial. Se agregó a cada jeringa 50mL de acetato de amonio 1N pH 7, se accionó el vacío y cuando el extractante había sido succionado por la jeringa inferior, la solución se trasvasó a un matraz de 100mL. Se repitió toda la operación una segunda vez y se aforaron los matraces de cada muestra, 2 patrones y 2 blancos a 100mL, y estas soluciones se guardaron en frascos con tapa en refrigeración.



Figura 4. Equipo de succión a vacío de cationes intercambiables.

De las soluciones almacenadas en refrigeración, se determinaron los cationes intercambiables de la siguiente manera:

Para la determinación de Ca se tomó una alícuota de 3mL y se aforó con agua a 50mL, se realizó otra dilución, tomando una alícuota de 3mL y se aforó a 25mL. Se leyó Ca en absorción atómica en llama N_2O con C_2H_2 y en curvas de calibración diluidas con agua.

Para la determinación de Mg se leyó directamente de la solución. Se cuantificó con el equipo de absorción atómica en llama aire con C₂H₂ y en curvas de calibración diluidas con agua.

La cuantificación de K y Na se realizó con el equipo de absorción atómica en modo de emisión, utilizando llama de aire con C₂H₂, para la determinación de K, se tomó una primera alícuota de 3mL que se aforó con agua a 50mL, y una segunda alícuota de 3mL se aforó a 25mL y para Na se tomó otra alícuota de 3mL y se aforó a 25mL.

Cálculos

$$Ca \left(\frac{meq}{100g} \right) = \frac{ppmCC \times Dm \times Dv \times 100}{20.04 \times 1000 \times muestra}$$

$$Mg \left(\frac{meq}{100g} \right) = \frac{ppmCC \times Dm \times Dv \times 100}{12.15 \times 1000 \times muestra}$$

$$K \left(\frac{meq}{100g} \right) = \frac{ppmCC \times Dm \times Dv \times 100}{39.1 \times 1000 \times muestra}$$

$$Na \left(\frac{meq}{100g} \right) = \frac{ppmCC \times Dm \times Dv \times 100}{23.0 \times 1000 \times muestra}$$

ppmCC = partes por millón en la curva de calibración

Dm = dilución de masa (volumen de extractante/g muestra)

Dv = dilución de volumen (aforo/alícuota)

20.04, 39.1, 12.15 y 23.0 = factor para convertir en miliequivalentes

3.6.1.6 Micronutrientos

Se determinó Fe, Mn, Cu, Zn por absorción atómica con solución extractora DTPA, siguiendo el procedimiento siguiente: Se pesaron 10g de suelo tamizado y se depositaron en un tubo de polipropileno de 50mL, se agregaron 20mL de solución extractora DTPA (solución de ácido dietilentriaminopentacético 0.0015M, cloruro de calcio 0.01M y trietanolamina 0.1M ajustada a pH 7.30), se taparon los tubos, se agitaron dos horas a 180rpm, se filtraron en papel Whatman 42 y se cuantificaron los elementos en el extracto, por espectrofotometría de absorción atómica de llama de aire con acetileno, realizando

curvas de calibración de Fe, Cu, Zn y Mn, y calculando la concentración mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Fe, Cu, Zn, Mn (ppm)} = \text{ppm en Cc} \times \text{Dm} \times \text{Dv}$$

ppm en CC = partes por millón o mg kg^{-1} , en el extracto a partir de la curva de calibración

Dm = dilución de masa (vol. de extractante/g muestra)

Dv = dilución de volumen (aforo/alícuota)

3.6.1.7 Cloruros

Esta metodología no la tenían en el manual del laboratorio, por lo que se desarrolló, basándose en el método de Mohr, de formación de un precipitado rojo ladrillo, de cloruros con nitrato de plata, siguiendo la metodología que se describe: Se pesaron 50g de suelo en vasos metálicos, se agregó agua destilada revolviendo a formar un espejo, consistencia semisólida que se separa de la espátula, se dejó reposar una hora y rectificó consistencia, se dejó reposar 16 horas y se rectificó consistencia, se filtró al vacío con papel Whatman cualitativo hasta formación de costra, se tomó 1mL del extracto de saturación, se adicionaron 3 gotas de K_2CrO_4 al 5% y se tituló con AgNO_3 0.00494914N. Se calculó la concentración de cloruros con la siguiente fórmula.

$$\text{Cl}^- \left(\frac{\text{meq}}{\text{L}} \right) = \frac{(\text{mL AgNO}_3 \text{ muestra} - \text{mL AgNO}_3 \text{ blanco}) \times \text{N AgNO}_3 \times 1000}{\text{alícuota}}$$

3.6.2 Análisis de cladodios en fresco

Para el análisis en fresco, se cosecharon cladodios de nopal, uno de cada unidad experimental de la parte central de la parcela, con tamaño 20-25cm de longitud, de las 8:00 a las 9:00am, se les retiraron las espinas y se lavaron con agua destilada. Posteriormente se llevaron a analizar al laboratorio, se pesaron, se tomó color, se tomó la parte central de 2.5cm longitudinalmente, y fue la que se ocupó para realizar las determinaciones de resistencia al corte, sólidos solubles totales (grados brix), acidez, pH, vitamina C y clorofila.

3.6.2.1 Acidez y pH

Para la determinación de acidez y pH se pesaron 10g de muestra, se adicionaron 50mL de agua destilada, se molió, filtró y se le determinó el pH con un pH metro de mano *Hanna instruments*, (Método AOAC, 2000 en Flores, 2013) y de la misma solución se tomó una alícuota de 5mL, se le agregaron 2 gotas de indicador fenolftaleína y se tituló con hidróxido de sodio 0.1N.

Con la fórmula

$$\% \text{ acidez} = \frac{(mL \text{ NaOH gastados})(N \text{ NaOH})(Meq \text{ ac.})(Vt)(100)}{(\text{peso de la muestra})(\text{alícuota})}$$

Se calculó el % acidez, en el nopal el ácido predominante es ácido málico.

Donde:

N: Normalidad

VT: Volumen total (mL de H₂O destilada + fruto)

Meq: Miliequivalentes del ácido que se encuentra en mayor proporción (ácido málico = 0.067)

3.6.2.2 Color

En la determinación de color, se utilizó un colorímetro Hunter Lab, marca Reston, modelo DZS-PC2, las mediciones se realizaron en una cara de los cladodios en la parte basal, media y coronal.

En el sistema Hunter Lab, que está basado en la sensibilidad del color como el ojo humano. Se obtienen los valores L, a y b, los tres parámetros en el modelo representan: la luminosidad de color (L*, L*=0 indica negro y L*=100 indica blanco), su posición entre rojo y verde (a*, valores negativos indican verde mientras valores positivos indican rojo) y su posición entre amarillo y azul (b*, valores negativos indican azul y valores positivos indican amarillo).

Con los parámetros obtenidos se pueden determinar los atributos de color: Luminosidad (L^*), que se define como la proporción de luz transmitida por el objeto y va de negro (0%) a blanco (100%) (Hutchings, 1999); croma $[(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$, también nombrada saturación, que es un atributo de la sensación visual y se define como la proporción de contenido cromático en la percepción total o el grado de diferencia del gris para el mismo valor de luminosidad (Hutchings, 1999); y el ángulo de tono ($\tan^{-1} b^*/a^*$) que es la proporción de rojo, amarillo, verde o azul (Hutchings, 1999), (0° corresponde a rojo, 90° a amarillo, 180° a verde, 270° a azul) (Mc Guire, 1992).

3.6.2.3 Firmeza

Para la determinación de resistencia al corte (firmeza) se tomó la tira central del cladodio de 2.5cm, y se realizó la determinación en la base, media y corona, con puntal cincel de 3cm, con el texturómetro universal FORCE FIVE MODEL FDV. La medición se realizó a los 3cm de la base, y corona y en la parte central, y se obtuvieron los resultados en Newton(N).

3.6.2.4 Sólidos Solubles totales

Para la determinación de sólidos solubles totales, (° Brix), se tomó de la parte basal de la tira, cortando la base y tomando de donde había jugo, cortando un pedazo y en una tela coladora se exprimió para obtener el jugo y determinar los grados brix, en un refractómetro digital, modelo *Atago Palette*, con escala de 0 a 32 grados brix.

3.6.2.5 Vitamina C

Para determinar vitamina C, se pesaron 3g de muestra, se adicionaron 30mL de ácido oxálico al 0.5%, se molió, filtró y se tomó una alícuota de 5mL, la cual fue titulada con solución de 2,6-diclorofenolindofenol al 0.02%. Tomando como base, para el cálculo la curva patrón de Vitamina C: $[\text{Vitamina C } \mu\text{g mL}^{-1}] = 16.829 (\text{mL gastados de 2,6-diclorofenolindofenol al 0.02\%})$.

3.6.2.6 Determinación de Clorofilas

Se determinaron colorimétricamente, mediante el método propuesto por Hansmann (1973) adaptado en el laboratorio de Tecnología Postcosecha de Fruticultura en el CP-Montecillo.

Se pesaron 2g de muestra, se agregaron 10mL de acetona al 80% en un vial cubierto con papel aluminio para estar en oscuridad y se guardó en refrigeración por 48 horas, mediante el espectrofotómetro *Spectronic 20 Bausch & Lomb*, se tomaron lecturas de absorbancia (A) de la solución directa y/o con diluciones a 663nm para clorofila “a”, y a 645nm para clorofila “b”. las lecturas debían estar en el rango de 0.1 a 0.45.

Las concentraciones se calcularon con las siguientes fórmulas:

$$\text{Clorofila total (mg/L)} = 8.2 (A_{663}) + 20.2 (A_{645})$$

$$\text{Clorofila a (mg/L)} = 12.7 (A_{663}) - 2.59 (A_{645})$$

$$\text{Clorofila b (mg/L)} = 22.9 (A_{645}) - 4.68 (A_{663})$$

3.6.3 Análisis de cladodios en seco

Para la determinación de componentes en material seco, al igual que para el análisis en fresco, se cosecharon cladodios por la mañana, tres de 20-25cm de longitud de cada unidad experimental, de las 3 plantas centrales, se desespironaron, lavaron con agua destilada, se secaron y se cortaron en pequeños trozos, que fueron deshidratados en estufa de aire forzado a 70° C por 24h a peso constante, según las pruebas de secado preliminares, después de secados, fueron molidos en un molino para café y especias marca *KRUPS*, modelo GX4100, y tamizados en malla de 0.5 mm, en el material seco y molido (nopal seco) se realizaron las determinaciones de nutrimentos y compuestos funcionales (fenoles y flavonoides).

3.6.3.1 Determinación de minerales

La determinación se realizó en el laboratorio de nutrición vegetal, del postgrado de Edafología del CP-Montecillo, por espectrometría de emisión atómica de inducción por plasma (ICP-AES).

Se realizó una digestión húmeda rápida, de 0.2500g del material, adicionando una mezcla H₂SO₄(conc) 2:1 HClO₄(conc.), y H₂O₂ 30%, en placa de calentamiento, completando la digestión cuando el líquido presentaba un color totalmente transparente e incoloro, y en seguida se transfirieron a matraces volumétricos de 25mL, aforándolos con agua

desionizada, posteriormente se filtraron utilizando un papel filtro de poro medio, libre de cenizas y se filtró para almacenar en frascos, con lo cual el extracto quedó listo para realizar las determinaciones de Na, K, Ca, Mg, Fe, P, Mn, Zn y Cu en el *ICP-OES Modelo 725, Marca Agilent* (USA), utilizando estándares de concentración conocida y comparando el valor obtenido con el estándar para calcular la cantidad en la muestra. También se utilizó parte de este extracto para la determinación de Nitrógeno.

Cálculos (Sánchez, 2012)

$$P, K, Ca, Mg, Na \% = \frac{V - V_B}{10000}$$

Fe, Cu, Mn, Zn ppm = V - V_B

Donde: V = valor reportado, V_B= valor del blanco

3.6.3.2 Determinación de Nitrógeno

Se ocuparon 10mL del extracto de la digestión húmeda para la determinación de nitrógeno por microKjeldhal. El método consta de tres etapas: Digestión – Destilación – Titulación.

Digestión: Con calentamiento y adición de la mezcla ácido sulfúrico + ácido perclórico (2:1) + peróxido de hidrógeno, se produce la descomposición del nitrógeno que contienen las muestras orgánicas y se obtiene sulfato de amonio.

Destilación: El sulfato de amonio se destila con adición de hidróxido de sodio y libera amoniaco, el cual se recibe en una solución de ácido bórico más indicador. El sulfato de amonio pasa a ser borato de amonio.

Titulación: Se titula el borato de amonio con ácido sulfúrico 0.05N, obteniéndose ácido bórico y sulfato de amonio.

Cálculo del % N:

(mL H₂SO₄ 0.05N gastado en la titulación del borato de amonio) * (0.05moles de equiv/1000mL) = moles de equiv de ácido, que es correspondiente a los moles de boro y de nitrógeno.

(Moles de N) * (PM = 14g/mol N) = g N en la alícuota de 10mL del digestado de la muestra, que se obtuvo con 0.25g muestra a 25mL del digestado.

10mL (0.25g/25mL) = 0.1g de muestra en la alícuota de 10mL

(g N en la alícuota de 10mL /0.1g muestra) * 100 = g N / 100g muestra = % N

Proteína: (% N) * (6.25) = g proteína /100 g muestra = % Proteína

3.6.3.3 Determinación de compuestos fenólicos

Se realizaron pruebas preliminares para desarrollar la metodología de determinación de compuestos fenólicos totales y flavonoides, por espectrofotometría.



Figura 5. Espectrofotómetro Spectronic® Genesys 5, utilizado para la determinación de compuestos fenólicos.

Compuestos fenólicos totales

La concentración de fenoles totales en extractos, fue medida por espectrofotometría, basándose en una reacción colorimétrica de óxido-reducción. El agente oxidante utilizado fue el reactivo de Folin-Ciocalteu. En el método de Folin-Ciocalteu, la concentración de fenoles se detecta mediante la formación de sales de tungsteno y molibdeno, reducidas por oxidación de los fenoles, originando óxidos de tungsteno (W_8O_{23}) y de molibdeno (Mo_8O_{23}), de color azul. (Elorduy, 2014) La intensidad de la coloración azul producida es proporcional a la concentración de compuestos fenólicos y posee una absorción máxima a 765 nm.

Procedimiento. Se realizó la curva patrón con ácido gálico, cada vez que se realizó la determinación. Se hicieron extractos etanólicos con 1g de nopal seco, adicionando 9mL de Etanol al 80%, se hizo la extracción en baño de ultrasonido 10-10reposito-10min con maceración 24h en refrigeración y posterior centrifugado a 3000rpm, se tomaron alícuotas

de 100µL, se agregaron 900µL de agua destilada, 50µL del reactivo de Folin (1:2 en agua), se agitaron los tubos, se añadieron 1950µL de carbonato de sodio al 2.5%, y se incubó 1h a temperatura ambiente, preparando el blanco correspondiente, se leyó la absorbancia en el espectrofotómetro a 740nm. Los resultados se expresan en mg equivalentes de ácido gálico por 100g de muestra. Para obtener la curva patrón en la cuantificación de fenoles totales, expresados como ác. gálico, se prepararon soluciones en concentraciones de 0 a 10 µg mL⁻¹ y la ecuación generada fue: $A = - 0.006 + 0.1182C$ donde A = la absorbancia a 740 nm; C = la concentración de la solución usada para el análisis colorimétrico (µg mL⁻¹).

Flavonoides

El contenido de flavonoides se determinó espectrofotométricamente basándose en una reacción colorimétrica, los flavonoides reaccionan con sales de aluminio y se produce un complejo colorido cuando se une al grupo 4 ceto del fenol del flavonoide (Ordoñez, 2012).

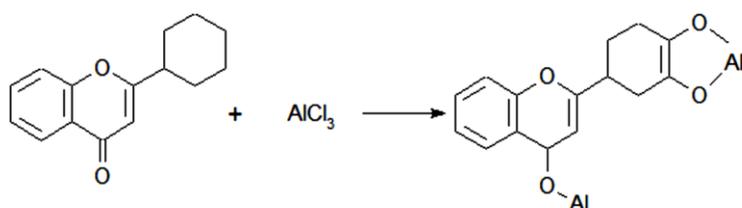


Figura 6. Reacción colorimétrica para la determinación de flavonoides.

Procedimiento. Se realizó la curva patrón con quercetina, y se hicieron extractos metanólicos con 1g de nopal seco, adicionando 10mL de Metanol al 80%, posterior extracción en baño de ultrasonido 10min-5reposito-10min, con maceración 24 h en refrigeración y posterior centrifugado a 3000rpm, se tomaron alícuotas de 100µL del extracto, se agregaron 900µL de metanol a completar a 1mL, se adicionaron 2mL de Acetato de potasio (1M) y 2mL de Cloruro de aluminio al 10%, se agitaron los tubos por 10 s y se incubó 40min a temperatura ambiente, se preparó el blanco correspondiente y se procedió a leer la absorbancia en el espectrofotómetro a 415nm. Los resultados se expresan en mg equivalentes de quercetina por 100g de muestra.

Para obtener la curva patrón en la cuantificación de flavonoides, expresados como quercetina, se prepararon soluciones en concentraciones de 0 a 4 $\mu\text{g mL}^{-1}$ y la ecuación generada fue: $A = - 0.0032 + 0.043C$ donde A = la absorbancia a 415 nm; C = la concentración de la solución usada para el análisis colorimétrico ($\mu\text{g mL}^{-1}$).

3.6.4 Análisis estadístico

Con excepción de los resultados del análisis químico del suelo, los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza mediante el procedimiento ANOVA y comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) con apoyo del programa estadístico Statistical Analysis System versión 9.4.

El modelo estadístico para el Diseño Experimental en Bloques al Azar Generalizado (DEBAG) empleado, fue el siguiente:

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \tau\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$i = 1, 2, \dots, t$ tratamientos; $j = 1, 2, \dots, r$ bloques

$k = 1, 2, \dots, n$ número de repeticiones de cada tratamiento en cada bloque

y_{ijk} = valor de la Variable Respuesta (VR) correspondiente a la repetición k del tratamiento i en el bloque j .

μ = media general; τ_i = efecto del tratamiento i , β_j = efecto del bloque j .

$\tau\beta_{ij}$ = efecto de la interacción del tratamiento i con el bloque j .

ε_{ijk} = error experimental correspondiente a la repetición k del tratamiento i en el bloque j ; debe cumplirse $\varepsilon_{ijk} \sim \text{NIID}(0, \sigma^2)$. (Normalidad de datos, homogeneidad de varianzas e Independencia entre tratamientos)

Los supuestos se verificaron para cada variable evaluada, la normalidad de datos se verificó con la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianzas se verificó mediante el gráfico de residuales vs predichos. La independencia entre tratamientos ya estaba establecida por el propio experimento.

El contraste de hipótesis fue el siguiente:

a) Tratamientos

$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_t$ todos los tratamientos producen el mismo efecto

$H_1: \exists i \neq j$ tal que $\tau_i \neq \tau_j$ no todos los tratamientos producen el mismo efecto

b) Bloques

$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_r$ todos los bloques producen el mismo efecto

$H_1: \exists i \neq j$ tal que $\beta_i \neq \beta_j$ no todos los bloques producen el mismo efecto

c) Interacción

H_0 : No existe interacción trat*Blo.

H_1 : Si existe interacción trat*Blo.

Tomando en cuenta que el diseño DEBAG es válido, exista o no interacción trat*Blo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis de suelo

Con base en el resultado del análisis químico de suelo de las unidades experimentales, se determinó que los suelos de los tratamientos están en la categoría de ricos en nutrientes, y son no salinos o ligeramente salinos, según las clasificaciones de la NOM-021-RECNAT (2000); Rioja (2002) citado por Pavón (2003) y Fernández et al. (2006), los resultados a los que se hace alusión se presentan en el cuadro 7.

Con relación a la alcalinidad del suelo por efecto de los tratamientos, los resultados muestran que hay un ligero cambio con respecto al testigo y se ubican en la categoría de moderadamente alcalinos (NOM-021-RECNAT-2000), también se encuentran dentro del rango de pH en el cual los nopales prosperan satisfactoriamente, ya que los nopales se desarrollan bien en un pH de 6.5 a 8.5 (Ramírez et al., 2012).

Los suelos de los tratamientos de Composta más micorriza, Fertilización Química y Micorriza se consideran no salinos, mientras que los tratamientos de Estiércol con Triple 17, Testigo y Composta son ligeramente salinos, (Fernández et al., 2006).

De acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000, como se trata de suelos no volcánicos, los suelos están en el intervalo medio de porcentaje de materia orgánica oxidable. En todos los tratamientos se observaron valores de nitrógeno (%) medio (NOM-021-RECNAT-2000), lo cual refleja que no hay un efecto claro por el tipo de tratamiento en la aportación de nitrógeno al suelo, aunque el N es el elemento esencial más limitante, el crecimiento de las opuntias es también estimulado por la fertilización fosfórica y potásica (Nobel, 1989 citado por Mondragón y Pérez, 2003).

Cuadro 7. Análisis químico del suelo con diferentes tratamientos de fertilización a nopal verdura var. Milpa Alta a partir del año 2010.

Tratamiento	pH 1:2	CE 1:5	MO	N	K	Ca	Mg	Na	P	Fe	Cu	Zn	Mn	Cl
		dSm ⁻¹	%			meq 100g ⁻¹					mg kg ⁻¹			meq L ⁻¹
Estiércol con triple 17	7.4	0.63	2.4	0.12	3.1	15.3	4.3	1.2	109	10	0.8	3.7	5	0.74
Fertilización química	8.0	0.28	2.0	0.10	2.3	17.5	3.9	0.6	35	4	0.4	1.7	5	0.74
Composta	7.7	0.40	2.7	0.13	2.0	16.3	4.6	0.9	54	5	0.6	2.7	5	0.99
Composta con micorriza	7.7	0.34	2.1	0.11	1.7	14.4	4.6	1.0	51	7	0.4	2.1	4	1.73
Micorriza	7.9	0.28	2.0	0.10	1.6	13.7	4.7	1.4	31	5	0.4	1.6	4	0.74
Testigo	7.9	0.45	2.2	0.11	1.6	16.2	4.9	1.5	47	3	0.2	1.5	3	0.49
Nivel	Mod. alcalino	No a lig. salino	Medio	Medio	Alto	Alto	Alto	Bajo-Alto	Muy alto	Adec	Adec	Adec	Adec	Bajo

Adec=Adecuado

En todos los tratamientos se obtuvieron resultados muy altos de fósforo asimilable según la norma NOM-021-RECNAT-2000, sobresaliendo el tratamiento Estiércol con Triple 17 donde se obtuvo un valor de 109 ppm que es aproximadamente el doble al encontrado en el resto de tratamientos.

En el caso de sodio ($\text{meq } 100\text{g}^{-1}$) se tienen resultados variados en los diferentes tratamientos, siendo altos para Estiércol con Triple 17, Testigo y Micorriza, normal-alto para Composta más micorriza, normal para Composta y bajo-normal para Fertilización Química de acuerdo a la clasificación descrita por Rioja (2002) citado por Pavón (2003), no se observó claramente un efecto por materia orgánica o fertilizantes adicionados, que influyeran el contenido de sodio, posiblemente por ser un ión de alta movilidad en el suelo, que puede ser lavado fácilmente a las capas inferiores, y no tiene una alta capacidad de retención en el suelo, por lo tanto es variable su presencia.

Respecto a potasio, calcio y magnesio, en todos los tratamientos se obtuvieron valores altos (NOM-021-RECNAT-2000), por lo que no hubo cambios debido al tipo de fertilización.

El contenido de hierro, estuvo en un nivel adecuado en la mayoría de los tratamientos, excepto para Fertilización Química cuyos valores se encontraron en el límite adecuado-marginal, y el tratamiento Testigo en marginal, (NOM-021-RECNAT-2000), aún así, no afectaron el desarrollo de las plantas.

Con base en la NOM-021-RECNAT-2000, de clasificación de micronutrientes extraíbles con DTPA, en cobre (ppm) se tuvieron valores adecuados en todos los tratamientos, excepto para el Testigo, que se encuentra en el límite entre deficiente y adecuado, debido a que no ha recibido fertilización, pero tampoco es un valor bajo que haya influido en la nutrición del cultivo, así mismo en todos los tratamientos se tienen niveles adecuados de zinc (ppm) y manganeso (ppm).

El cloro es un micronutriente esencial, pero en exceso puede ser tóxico. El efecto negativo de las sales, es debido a un efecto osmótico y daño por sequía fisiológica, está dado por los iones tóxicos: Cl, Na. En todos los tratamientos se obtuvieron valores bajos de cloruros, por lo que no hubo toxicidad por este ión. Los valores bajos obtenidos en cloruros

corresponden con la conductividad eléctrica que indica que son suelos no salinos a ligeramente salinos.

Los niveles de cloruro obtenidos son considerablemente menores a lo mencionado por Ayers y Wescot, (1985), que reportan toxicidad por cloruros en extracto de saturación de suelos, desde 5meq L⁻¹ para aguacate (*Persea americana*) en patrón Mexicano, y hasta 40meq L⁻¹ de cloruros en extracto de saturación para viña (*Vitis* spp.) en patrón Salt Creek 1613-3, que son valores bastante superiores de los obtenidos. Para el caso de *Opuntia ficus indica* resultan más afectadas las raíces que la parte aérea, un riego con 60mM de NaCl durante seis meses, reduce el crecimiento de la raíz en 84% y de la parte aérea en un 50% (Berry y Nobel, 1985 citado por Mondragón y Pérez, 2003).

4.2 Análisis de resultados del nopal verdura

En el experimento DEBAG (Diseño Experimental en Bloques al Azar Generalizado), para todas las variables analizadas se observó interacción bloques con tratamientos, casi en todos los casos se cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, excepto para la resistencia al corte en la base del cladodio donde no se cumplió el supuesto de normalidad de datos, por lo que se realizó una transformación de la variable y, con base en el ANOVA (Análisis de varianza) realizado, casi en todos los casos se obtuvo que no hay diferencia significativa del efecto entre bloques, excepto para vitamina C con un $\alpha=0.07$ en Tukey, y con respecto a tratamientos, en algunos casos hay diferencia significativa del efecto de tratamientos. En los apartados siguientes, se revisan los resultados para los efectos de tratamientos en las variables estudiadas.

4.3 Parámetros de calidad postcosecha

Las características de calidad postcosecha del nopal verdura que se determinaron fueron acidez, pH, Sólidos solubles totales, color y firmeza, en el siguiente cuadro se observan resultados del análisis de varianza para estas variables.

Cuadro 8. Análisis de varianza para acidez, pH, SST, color y resistencia al corte base, media, corona y promedio.

Fuente	Acidez titulable	pH	SST (°Bx)	Color			Resistencia al corte			
				L	S	A	Base	Media	Coro- na	Prom
Bloq	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Trat	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS
CV(%)	7	1	7	1	3	1	11	12	6	5

L= Luminosidad. S=Saturación A=Angulo de tono CV=coeficiente de variación NS=No Significativo
*Significativo $p \leq 0.05$

A continuación se analizan con detalle los resultados para cada variable estudiada.

4.3.1 Acidez

En el análisis estadístico de acidez titulable, se observa que el valor P, la probabilidad del error tipo I es de 0.4201, es muy alta 42%, por lo que no se rechaza la hipótesis nula y no existe diferencia significativa del efecto entre tratamientos; para bloques, el valor P es de 0.5653, por lo que no se rechaza la hipótesis nula y tampoco hay diferencias del efecto por bloques. Se obtuvo en promedio 1.2% de acidez, valor ligeramente mayor que lo reportado por Flores (2013) de 0.97% para nopalitos cultivados con frecuencia de riego cada 7 días.

4.3.2 pH

Con base en el ANOVA realizado se obtuvo un valor de P de 0.2949 para tratamientos y de 0.2326 para bloques, de lo que se concluye que no hay diferencia significativa de efectos entre bloques, ni entre tratamientos obteniéndose en promedio un pH de 4.18.

4.3.3 Sólidos solubles totales

En el análisis estadístico de sólidos solubles totales, se obtuvo un valor P de 0.0885 para tratamientos y de 0.9958 para bloques, de lo que se concluye que no existe diferencia significativa del efecto de tratamientos y tampoco de bloques.

El contenido promedio de sólidos solubles totales más alto, se obtuvo con el tratamiento de Micorriza, mientras que el más bajo con el tratamiento de Estiércol con Triple 17. Sin embargo, no existen diferencias significativas. Los valores obtenidos de sólidos solubles

totales son similares a lo reportado por Codagem (1981) citado por Borrego y Burgos (1986) de 4.9° Brix para nopal verdura.

Cuadro 9. Acidez, pH y SST en cladodios de nopal verdura fresco cultivados con diferente fuente de fertilización.

Tratamiento	Acidez (% Ác. Málico)	pH	SST (° Brix)
Estiércol con triple 17	1.3 a	4.13 a	3.56 a
Fertilización química	1.2 a	4.25 a	4.20 a
Composta	1.3 a	4.13 a	4.20 a
Composta con micorriza	1.1 a	4.21 a	3.76 a
Micorriza	1.2 a	4.16 a	4.23 a
Testigo	1.1 a	4.20 a	4.08 a

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes Tukey ($\alpha=0.05$)

4.3.4 Color

El CV% del promedio de base, media y corona, para los valores L, a y b de los cladodios resultó con menor variación, que los valores base, media y corona por separado, por lo que este se tomó para el análisis de los resultados.

Se obtuvo que los valores de a, son negativos todos, lo que indica un color verde y en b, se obtuvieron todos positivos por lo que el tono de los cladodios es un verde más cercano hacia el amarillo que hacia el azul, en cuanto al ángulo de tono se obtuvieron valores de entre 162.92 y 195.51, lo que indica una tonalidad verde, ya que 0° corresponde a rojo, 90° a amarillo, 180° a verde, 270° a azul (Mc Guire, 1992), que es el color verde tierno característico de esta variedad.

En el mismo orden de ideas, el análisis estadístico para Luminosidad, Saturación y Angulo de tono, indicó lo siguiente:

En Luminosidad se obtuvo un valor P, de 0.8519 para tratamientos y 0.2292 para bloques, en Saturación se obtuvo un valor P, de 0.6866 para tratamientos y en bloques se obtuvo un valor P de 0.5151, en cuanto al Ángulo de tono que indica el tono de verde, se obtuvo un valor P de 0.9777 para tratamientos y de 0.2282 para bloques, por lo que no se rechaza la

hipótesis nula, y no existe diferencia del efecto por bloques ni entre los diferentes tratamientos de fertilización, para los tres parámetros, por lo que el color de los nopales no se ve influido por el tratamiento de fertilización.

Cuadro 10. Luminosidad, saturación y ángulo de tono para nopal verdura fresco cultivado con diferente fuente de fertilización.

Tratamiento	Luminosidad	Saturación	Ángulo de tono
Estiércol con Triple 17	34.66 a	18.24 a	185.38 a
Fertilización química	35.71 a	19.49 a	182.33 a
Composta	35.56 a	18.22 a	184.72 a
Composta con micorriza	35.45 a	18.74 a	182.43 a
Micorriza	35.73 a	18.30 a	184.83 a
Testigo	34.92 a	18.27 a	186.25 a

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes Tukey ($\alpha=0.05$)

4.3.5 Firmeza

En el análisis estadístico para la resistencia al corte en la base, no se cumplió el supuesto de normalidad de datos, por lo que se realizó una transformación de la variable, en el que se obtuvo un valor P de 0.0434 para tratamientos y de 0.7175 para bloques, de lo que se concluye que existe al menos un tratamiento que provoca un efecto significativamente diferente de los demás, y que no hay diferencias significativas del efecto entre bloques. En la prueba de Tukey, $\alpha=0.05$, se reportaron las letras de las diferencias obtenidas con la variable transformada, pero con el promedio de los datos originales.

En Resistencia al corte base no hay diferencias del efecto por bloques pero si por tratamientos, existe diferencia significativa del efecto entre Composta con micorriza y el tratamiento Micorriza; la Composta con micorriza provoca una resistencia mayor.

En el análisis estadístico para la Resistencia al corte en la parte media, se obtuvo un valor P de 0.1202 para tratamientos y de 0.8020 para bloques, en Resistencia al corte en la corona o parte superior del cladodio se obtuvo un valor P de 0.7379 para tratamientos y de 0.1569 para bloques y en Promedio de resistencia al corte, obtenido del promedio de los valores de la base, la parte media y la corona, se obtuvo un valor P de 0.4347 para tratamientos y de

0.9166 para bloques, de lo que se concluye que no hay diferencias significativas entre los efectos de tratamientos ni de bloques para los tres parámetros mencionados.

Se observan en el Cuadro 11 los valores medios de resistencia al corte base, media, corona y promedio, con el resultado de comparación de medias Tukey $\alpha=0.05$.

Cuadro 11. Efecto del tipo de fertilización en la resistencia al corte (Newton) de nopal verdura fresco.

Tratamiento	Resistencia al corte en la base	Resistencia al corte en la parte media	Resistencia al corte en la corona	Promedio de resistencia al corte
Estiércol con Triple 17	74.11 ab	73.12 a	73.08 a	72.51 a
Fertilización química	75.56 ab	77.72 a	73.11 a	72.06 a
Composta	85.00 ab	86.08 a	82.08 a	75.86 a
Composta con micorriza	88.63 a	91.17 a	69.83 a	82.68 a
Micorriza	63.53 b	100.40 a	71.48 a	78.46 a
Testigo	77.00 ab	75.77 a	72.76 a	77.93 a

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes, Tukey ($\alpha=0.05$)

4.4 Compuestos funcionales, bioactivos o nutraceuticos

Los compuestos funcionales del nopal verdura que se determinaron fueron vitamina C, clorofilas, compuestos fenólicos, flavonoides y minerales funcionales (calcio, potasio, cobre y zinc), en el siguiente cuadro se observan resultados del análisis de varianza para estas variables.

Cuadro 12. Análisis de varianza para vitamina C, clorofilas, compuestos fenólicos, flavonoides y minerales funcionales.

Fuente	Vit C	Clfa	Clfb	Clft	Fen	Flavo	Ca	K	Cu	Zn	Mn
Bloq	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Trat	NS	**	**	**	NS	NS	**	*	*	*	**
CV(%)	6	25	22	21	4	5	15	9	14	10	22

Vit C=Vitamina C. Clfa=Clorofila a. Clfb=Clorofila b. Clft=Clorofila total. Fen=Fenoles totales. Flavo=Flavonoides. CV=coeficiente de variación NS=No Significativo *Significativo $p \leq 0.05$ **Altamente significativo $p \leq 0.01$

4.4.1 Vitamina C

En el análisis estadístico de vitamina C, se obtuvo un valor P de 0.1413 para tratamientos y de 0.0489 para bloques, de lo que se concluye que no existe diferencia significativa del efecto por tratamientos, y sí por efecto de bloques, con Tukey $\alpha=0.07$, se obtuvo el bloque 1 con una media de 20.47 a, el bloque 2 con 18.5108 b y el bloque 3 con 20.3342 ab, señalando una diferencia significativa del bloque 1, que es mayor en cuanto a vitamina C, con respecto al bloque 2.

Para el caso de tratamientos las diferencias no fueron significativas según en el análisis de varianza (Cuadro 13), en promedio se obtuvo 19.77 mg 100g⁻¹, valor mayor a lo señalado por Rodríguez y Cantwell, (1988) de 12.7 mg100g⁻¹ y por el Comité del Sistema Producto Nopal, (2004) de 14mg100g⁻¹ y menores a lo señalado por Guzmán y Chávez, (2007) de 37.27mg100g⁻¹ en nopalito de un mes de edad, por otro lado Stintzing y Carle (2005) reportan valores de 7-22mg100g⁻¹ de nopal fresco, estas diferencias pueden surgir por ser variedades distintas o debido a la metodología empleada para su determinación.

4.4.2 Clorofilas

En el análisis estadístico de clorofila “a”, “b” y total se obtuvo un valor P de <.0001 para tratamientos y de 0.6526, 0.2636 y 0.2517 para bloques, respectivamente, de lo que se concluye que existe al menos un tratamiento que produce un efecto significativamente diferente y que no hay diferencias significativas en bloques, para los tres tipos de clorofila.

En la prueba de Tukey, $\alpha=0.05$, para clorofila “a”, el mejor tratamiento resultó ser Estiércol con triple 17, con un valor de 5.02, mientras que el testigo tuvo 3.93 y con Micorriza 2.11 mg 100⁻¹g. En clorofila “b” el tratamiento significativamente mayor es Composta con 6.59 mg 100⁻¹g y el más bajo es Micorriza con 3.43 mg 100⁻¹g; para clorofila total el más alto es Estiércol con triple 17 con 10.95 mg 100⁻¹g, y el más bajo sigue siendo Micorriza con 5.56 mg 100⁻¹g (Cuadro 13). Los tratamientos con aporte de materia orgánica fueron los más altos en los tres tipos de clorofila por su aporte de nitrógeno, un componente de las moléculas de clorofila, así como fósforo, constituyente de la molécula del ATP, indispensable para la realización de procesos metabólicos y síntesis de compuestos (Díaz-Montenegro, 2002).

El contenido de clorofila en nopal verdura que se reporta en la literatura es variable, Stintzing y Carle (2005) mencionan una concentración de 9.5mg 100g⁻¹ de clorofila “a”, 3.0mg 100g⁻¹ de clorofila b y 12.5mg 100g⁻¹ de clorofila total en tejido fresco para *Opuntia sp.* Aguilar y Peña (2006) reportan un contenido de clorofila “a” de 8.2mg 100g⁻¹, clorofila “b” de 6.7mg 100g⁻¹ y clorofila total de 19.6mg 100g⁻¹ de tejido fresco en *Opuntia ficus indica* var *Tlaconopal*. Santiago (2015) indica los contenidos de 5.16 de clorofila “a”, 5.12 de clorofila “b” y 10.34 mg 100 g⁻¹ de clorofila total para *Opuntia ficus indica* var. Milpa Alta al momento de cosecha. Los resultados obtenidos en esta investigación son ligeramente menores a lo reportados por Stintzing y Carle (2005), intermedios a los indicados por Aguilar y Peña (2006), esta respuesta puede explicarse por tratarse de diferentes variedades, mientras que lo encontrado por Santiago (2015) es muy similar, ya que se trata de la misma variedad, evaluada en mismo sitio experimental, dos años después.

Cuadro 13. Efecto del tipo de fertilización en vitamina C y clorofilas para nopal verdura fresco.

Tratamiento	Vitamina C	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total
		mg 100g ⁻¹		
Estiércol con Triple 17	18.23 a	5.02 a	5.88 ab	10.95 a
Fertilización química	19.91 a	3.84 b	4.72 b	8.60 b
Composta	21.59 a	3.69 b	6.59 a	10.31 a
Composta con micorriza	19.07 a	3.45 b	6.29 a	9.77 ab
Micorriza	19.63 a	2.11 c	3.43 c	5.56 c
Testigo	20.19 a	3.93 b	5.52 ab	9.49 ab

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes Tukey ($\alpha=0.05$)

4.4.3 Compuestos fenólicos y flavonoides

En el análisis estadístico de fenoles totales, se obtuvo un valor P de 0.5639 para tratamientos y de 0.1131 para bloques, de lo que se concluye que no existe diferencia significativa del efecto, debido a tratamientos o a bloques.

No hubo diferencias en el contenido de fenoles totales por efecto de tratamientos, obteniéndose en promedio 164.79 mg ácido gálico 100g⁻¹ nopal (b.s.). Se han reportado

valores variables de compuestos fenólicos totales en nopal, en este sentido, Santos et al. (2011) reportan 0.593mg ác gálico g⁻¹ de nopal seco; Medina et al. (2011) reportan una concentración de fenoles totales de 60mg g⁻¹ de nopal seco, mientras que Stintzing y Carle (2005), mencionan valores de 8-9mg100g⁻¹ de peso fresco, si se considera que el nopal fresco contiene en promedio de 95% de agua, entonces el contenido de fenoles totales sería equivalente a 160-180mg 100g⁻¹ de base seca y este valor es similar a los resultados obtenidos en esta investigación. Las diferencias con lo que se reporta en la literatura pueden deberse a diferencias en variedades, métodos de determinación y condiciones ambientales durante el crecimiento de las plantas (Stintzing y Carle, 2005), ya que la síntesis de estos compuestos que son antioxidantes, depende en gran medida de la intensidad de la radiación incidente.

Cuadro 14. Compuestos fenólicos y flavonoides en nopal verdura (base seca) cultivado con diferente fuente de fertilización.

Tratamiento	Fenoles (mg ác. Gálico 100g ⁻¹)	Flavonoides (mg quercetina 100g ⁻¹)
Estiércol con Triple 17	167.28 a	62.87 a
Fertilización química	171.56 a	61.81 a
Composta	166.69 a	54.93 a
Composta con micorriza	153.54 a	56.58 a
Micorriza	165.63 a	60.10 a
Testigo	164.05 a	62.07 a

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes Tukey ($\alpha=0.05$)

En el análisis estadístico de Flavonoides se obtuvo un valor p de 0.4752 para tratamientos y de 0.7887 en bloques, de lo que se concluyó que no existe diferencia significativa del efecto por tratamientos ni por bloques, y se obtuvo en promedio 59.731 mg quercetina 100g⁻¹ de flavonoides.

En fenoles totales y en flavonoides se obtuvieron los valores más bajos en los tratamientos de composta y composta con micorriza, mismos que en el análisis de suelo fueron los tratamientos con mayor contenido de cloruros 0.99 y 1.73 meqL⁻¹ respectivamente, con respecto al resto de tratamientos que en promedio tuvieron 0.68 meqL⁻¹, por lo que la

mayor concentración de cloruro estuvo asociada con una menor concentración de compuestos fenólicos.

4.4.4 Minerales funcionales: Ca, K, Cu, Zn y Mn.

4.4.4.1 Calcio

En el análisis estadístico de calcio, se obtuvo un valor P de 0.0044 para tratamientos y de 0.6411 para bloques, de lo que se concluye que existe al menos un tratamiento cuyo efecto es significativamente diferente, la única diferencia significativa fue entre Composta (2.09%) y los tratamientos Micorriza (1.48%) y Composta con micorriza (1.43%), esto podría indicar que la micorriza influyo de manera negativa en la concentración de calcio. Estos resultados son ligeramente menores que los promedios reportados por Santiago (2015) y Flores (2013) (2.58 y 2.51%, respectivamente).

4.4.4.2 Potasio

En el caso de potasio, se obtuvo un valor P de 0.0911 para tratamientos y de 0.9233 para bloques, por lo que se concluye que existe al menos un tratamiento que produce un efecto significativamente diferente; es así que el efecto de Estiércol con Triple 17, fue significativamente mayor (1.27 %) , con respecto al Testigo (0.96 %) (Cuadro 15). Una explicación de este comportamiento puede atribuirse a que el contenido de potasio en el suelo ha sido enriquecido con el aporte anual de estiércol y triple 17 a diferencia del testigo no ha tenido aporte de nutrientes (Cuadro 7). Los valores obtenidos fueron menores que los reportados por Santiago (2015) de 3.42% y Flores (2013) 3.94% en promedio.

4.4.4.3 Cobre

En el análisis estadístico de cobre, se obtuvo un valor P de 0.0530 para tratamientos y de 0.7738 para bloques, de lo que se concluye que existe al menos un tratamiento que produce efectos significativamente diferentes; aquí la Composta con micorriza con 4.57 mg kg⁻¹, fue significativamente mayor, con respecto a Fertilización química que tuvo en promedio 3.09 mg kg⁻¹. Sin embargo esta respuesta no fue concordante con el resultado del análisis de suelo (Cuadro 7). Con este nutriente los resultados obtenidos son similares a los reportados por Flores (2013) de 3.57 mg kg⁻¹ en promedio pero menores que lo mencionado por Santiago (2015) de 8.40 mg kg⁻¹.

4.4.4.4 Zinc

En el análisis estadístico de zinc, se obtuvo un valor P de 0.0774 para tratamientos y de 0.0980 para bloques, de lo que se concluye que no existe diferencia significativa del efecto de tratamientos ni de bloques, obteniéndose en promedio por tratamientos 23.02 mg kg⁻¹, si bien es cierto que las diferencias no son significativas (Cuadro 15) los tratamientos de Composta con micorriza y Micorriza tuvieron aproximadamente 5 mg kg⁻¹ más que el testigo, esta tendencia es acorde con otras citas que señalan que las micorrizas contribuyen a una mejor absorción del Zn por las plantas (Blanco y Salas, 1997). Los valores obtenidos están en el rango de los promedios reportados por Flores (2013) de 18.97 mg kg⁻¹ y Santiago (2015) de 27.04 mg kg⁻¹.

4.4.4.5 Manganeso

En el análisis estadístico de manganeso, se obtuvo un valor P de 0.0024 para tratamientos y de 0.1741 para bloques, de lo que se concluye que existe al menos un tratamiento con efectos significativamente diferentes, se trata del efecto de Composta con micorriza (57.49 mg kg⁻¹) significativamente mayor, con respecto a los tratamientos Micorriza (38.80 mg kg⁻¹) y Estiércol con Triple 17 (31.56 mg kg⁻¹), valores similares a lo reportado por Flores (2013) de 41.57 mg kg⁻¹ y menores a lo reportado por Santiago (2015) de 50.83 mg kg⁻¹.

Cuadro 15. Efecto del tipo de fertilización en la concentración de Ca, K, Cu, Zn y Mn en nopal verdura (b.s.).

Tratamiento	Calcio	Potasio	Cobre	Zinc	Manganeso
	%			mg kg ⁻¹	
Estiércol con Triple 17	1.58 ab	1.27 a	3.72 ab	21.31 a	31.56 c
Fertilización química	1.71 ab	1.17 ab	3.09 b	23.73 a	40.16 abc
Composta	2.09 a	1.16 ab	3.89 ab	21.07 a	54.18 ab
Composta con micorriza	1.43 b	1.18 ab	4.57 a	26.08 a	57.49 a
Micorriza	1.48 b	1.11 ab	3.39 ab	25.07 a	38.80 bc
Testigo	1.93 ab	0.96 b	3.30 ab	20.86 a	46.61 abc

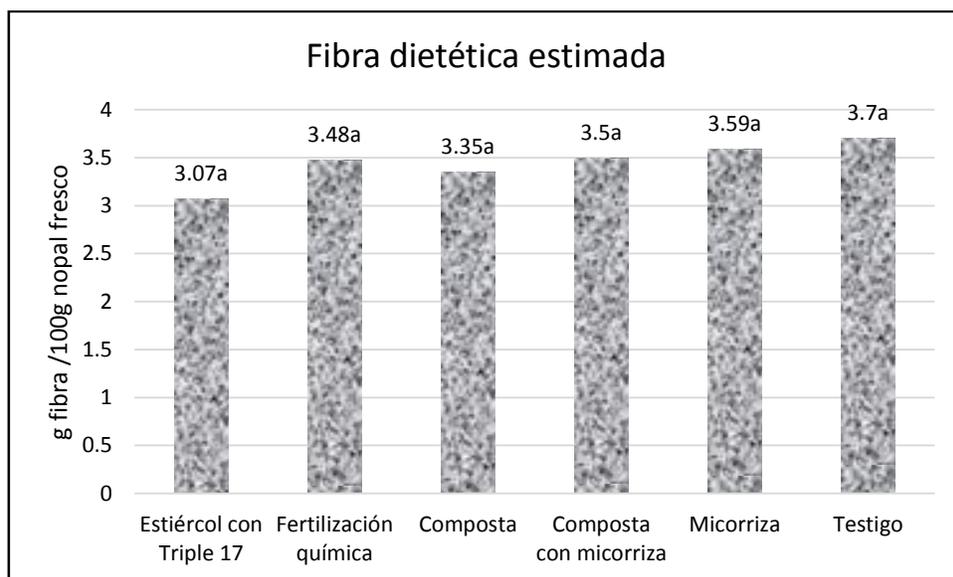
Medias con la misma letra no son significativamente diferentes Tukey ($\alpha=0.05$)

4.4.5 Fibra dietética estimada

Considerando los parámetros determinados en nopal verduram, que incluyó humedad, minerales, proteína, compuestos fenólicos, vitamina c, clorofilas, acidez como % Ac. Málico, se calculó un valor estimado del contenido de fibra, que incluye los carbohidratos totales y la grasa, que por la naturaleza del nopal la grasa es un componente de bajo contenido en comparación con los carbohidratos, mismos que son principalmente fibra dietética, se muestran los valores de este estimado en el Anexo 6.2.1, que no superaron en 15% de Coeficiente de Variación.

En el análisis estadístico de Fibra dietética estimada, al igual que las demás variables, se cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, y se obtuvo interacción bloques con tratamientos.

Se obtuvo un valor P de 0.3196 para tratamientos y de 0.5247 para bloques, de lo que se concluye que no hay diferencias significativas en efectos de tratamientos ni de bloques, obteniéndose en promedio 3.44 g 100 g⁻¹ de fibra dietética estimada en nopal fresco, valor similar a lo reportado por el Comité del Sistema Producto Nopal. SAGARPA, (2004) de 3.6g de fibra dietética en 100g de nopal fresco.



Medias con la misma letra no son significativamente diferentes Tukey ($\alpha=0.05$)

Figura 7. Fibra dietética estimada para nopal verdura fresco cultivado con diferente fuente de fertilización.

4.5 Otros componentes

Por su valor nutricional, otros componentes del nopal verdura que se determinaron fueron Sodio, Fósforo, Magnesio, Hierro, Nitrógeno y Proteína, en el cuadro 18 se muestran resultados del análisis de varianza para estas variables, y para la relación (K+Mg)/Ca.

Cuadro 16. Análisis de varianza para sodio, fósforo, magnesio, hierro, nitrógeno y proteína.

Fuente	Na	P	Mg	Fe	N	Proteína	$\frac{K + Mg}{Ca}$
Bloques	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Tratamientos	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*
CV(%)	4	7	6	3	6	6	16

CV=coeficiente de variación NS=No Significativo *Significativo $p \leq 0.05$

En el análisis estadístico de sodio se obtuvo un valor P de 0.7488 para tratamientos y de 0.0522 para bloques, para fósforo se obtuvo un valor P de 0.1266 para tratamientos y de 0.1853 para bloques, en magnesio se obtuvo un valor P de 0.1099 para tratamientos y de 0.7191 para bloques, en el análisis estadístico de hierro, se obtuvo un valor P de 0.9389 para tratamientos y de 0.1374 para bloques, de lo que se concluye que no existen diferencias significativas del efecto de tratamientos ni de bloques para sodio, fósforo, magnesio y hierro, obteniéndose en promedio 0.029 % de sodio, 0.35% de fósforo, 1.45% de magnesio y 33.24 mg kg⁻¹ de hierro, valores semejantes a los reportados por Santiago(2015) de 0.46% en fósforo, 2.63% para magnesio y 63.76 mg kg⁻¹ de hierro y por Flores (2013) de 0.10% en fósforo, 0.79% de magnesio y 40.97 mg kg⁻¹ de hierro.

En fósforo, se ve una relación directa del contenido en suelo con el contenido en los cladodios, el suelo del tratamiento que mayor aporte tiene es Estiércol con triple 17 y esto se relaciona directamente con la composición de los cladodios, ya que son los más altos en fósforo los provenientes de este tratamiento, mientras que los cladodios del testigo son los más bajos, porque no tienen una fuente extra de aporte más que la naturalmente presente.

En la relación (K+Mg)/Ca no se cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas y se realizó una transformación para el análisis estadístico, mediante la raíz

cuadrada, de lo cual se obtuvo un valor p de 0.0155 para tratamientos y de 0.5102 en bloques, de lo que se concluye que existe al menos un tratamiento que produce un efecto significativamente diferente que los demás, y que no existen diferencias significativas en bloques; en el Cuadro 17 se muestran los valores medios de la relación, pero con la significancia obtenida con la raíz cuadrada.

Para la relación (K+Mg)/Ca, un factor relacionado con la firmeza, se obtuvo que el tratamiento más alto es Composta con micorriza (1.88), mismo que resultó también el más alto en resistencia al corte de la base (88.63 newton). La mayor relación (K+Mg)/Ca está dada por una menor concentración de Ca (Cuadro 15), De acuerdo con Bramlage y Weis (2004), la relación de estos tres nutrimentos refleja mejor la calidad de los frutos (tamaño, color, firmeza y libertad de defectos), que solo el nivel de calcio.

Cuadro 17. Efecto del tipo de fertilización en sodio, fósforo, magnesio y hierro para nopal verdura (b.s.).

Tratamiento	Sodio	Fósforo	Magnesio	Hierro	$\frac{K + Mg}{Ca}$
		%		mg kg ⁻¹	
Estiércol con Triple 17	0.030 a	0.383 a	1.322 a	33.85 a	1.66 ab
Fertilización química	0.030 a	0.347 a	1.396 a	32.88 a	1.58 ab
Composta	0.027 a	0.350 a	1.455 a	32.16 a	1.26 b
Composta con micorriza	0.030 a	0.376 a	1.455 a	33.91 a	1.88 a
Micorriza	0.028 a	0.327 a	1.536 a	34.38 a	1.86 ab
Testigo	0.029 a	0.317 a	1.550 a	32.27 a	1.32 ab

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes Tukey ($\alpha=0.05$)

4.5.1 Nitrógeno y proteína

En el análisis estadístico de nitrógeno obtenido directamente de la muestra de nopal seco, se obtuvo un valor P de 0.0826 para tratamientos y de 0.9905 para bloques, lo que permite concluir, que no existe diferencia significativa del efecto de tratamientos y tampoco del efecto de bloques. Para calcular el contenido de proteína se multiplicó el %N por el factor 6.25, que normalmente es el que se utiliza para calcular el contenido de proteína en

alimentos (Tacon, 1989). En el análisis estadístico de Proteína, se obtuvo un valor P de 0.0831 para tratamientos y de 0.9905 para bloques, por lo que al igual que en nitrógeno, no existe diferencia significativa en efectos de tratamientos ni en bloques.

Debido a que la literatura reporta valores de nitrógeno con base en 100g de nopal fresco, se calculó a partir del valor obtenido en seco, y este resultado tampoco presentó diferencias significativas y se obtuvieron valores entre 0.08% para el tratamiento Testigo y de 0.10% para Estiércol con Triple 17. Se observan los valores medios de este parámetro para cada tratamiento en el cuadro siguiente.

Cuadro 18. Nitrógeno y proteína en nopal verdura g 100g⁻¹ en nopal base seca (b.s.) y base fresca (b.f.) cultivado con diferente fuente de fertilización.

Tratamiento	Nitrógeno	Proteína	Nitrógeno	Proteína
		% b.s		% b.f.
Estiércol con Triple 17	1.96 a	12.25 a	0.10 a	0.63 a
Fertilización química	1.65 a	10.35 a	0.09 a	0.57 a
Composta	1.73 a	10.86 a	0.09 a	0.60 a
Composta con micorriza	1.80 a	11.30 a	0.09 a	0.62 a
Micorriza	1.58 a	9.91 a	0.08 a	0.55 a
Testigo	1.56 a	9.77 a	0.08 a	0.55 a

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes Tukey ($\alpha=0.05$)

Los resultados obtenidos son similares, en base seca (1.71% N en promedio) a lo reportado por Santiago (2015) de 1.5% N y en base fresca (0.59% de proteína promedio) a lo reportado por el Comité del Sistema Producto Nopal de la SAGARPA, 2004, de 0.70% proteína en 100g de nopal verdura fresco, y ligeramente más bajos que lo reportado por Guzmán y Chávez (2007) de 0.94% en base fresca, estas diferencias pueden presentarse por ser variedades distintas, y también por la cantidad de agua que contienen, la cual varía de 92 a 95%.

En nitrógeno se ve una tendencia directa del aporte de nitrógeno de los tratamientos sobre la composición de los cladodios, ya que los del tratamiento Estiércol con triple 17 son los más altos, le siguen Composta y micorriza, Composta, Fertilización química, Micorriza y finalmente Testigo, que no tiene fuente extra de la naturalmente presente en el suelo; proteína sigue el mismo comportamiento.

4.6 Correlaciones entre nutrimentos

Se analizaron mediante coeficientes de correlación de Pearson, utilizando el programa SAS 9.4, entre nutrimentos en el suelo, en nopal, y en suelo con nopal, para determinar si al aumentar algún parámetro aumenta o disminuye otro, también para ver si había una tendencia de los elementos que a mayor contenido en suelo aumenten en la planta, o si hay efectos sinérgicos o antagónicos, obteniéndose el coeficiente de correlación que es Significativo si $p \leq 0.05$, se muestra el coeficiente de correlación y su valor p obtenido.

4.6.1 Correlaciones en suelo

Se encontraron en suelo correlaciones negativas entre: fósforo y pH (-0.93294, 0.0066), hierro y pH (-0.91226, 0.0112), cobre y pH (-0.83666, 0.0378), zinc y pH (-0.94452, 0.0045). Se observa entonces que al aumentar el pH del suelo disminuyen las concentraciones de fósforo, hierro, cobre y zinc, disponibles (extraíbles con DTPA) así mismo la Conductividad eléctrica tiene una relación inversa con el pH (-0.8224, 0.0445).

Se encontraron correlaciones positivas en suelo entre nitrógeno y Materia Orgánica (0.98087, 0.0005), lo cual es lógico debido a que el nitrógeno fue estimado a partir de Materia Orgánica, también se encontraron correlaciones positivas entre magnesio y sodio (0.79764, 0.0573), fósforo y potasio (0.82331, 0.0441), hierro y fósforo (0.85043, 0.0319), cobre y hierro (0.82514, 0.0432), cobre y potasio (0.83149, 0.0402), zinc y cobre (0.94981, 0.0037), zinc y hierro (0.85896, 0.0284), zinc y fósforo (0.92682, 0.0078), zinc y potasio (0.8269, 0.0424). Se observa que fósforo, hierro, cobre, potasio y zinc están correlacionados positivamente, mientras que magnesio y sodio también, pero aparte de los otros elementos.

Al aumentar la Conductividad eléctrica aumentan los elementos fósforo (Olsen) y zinc (Extraíble con DTPA) como lo muestran los resultados: zinc y Conductividad Eléctrica (0.79683, 0.0577) fósforo y Conductividad Eléctrica (0.9312, 0.0054).

4.6.2 Correlaciones en nopal

Se encontró correlación negativa en nopal, entre fósforo y fibra estimada (-0.75064, <0.0001), y positiva entre fósforo y potasio (0.61033, <0.0001), que podrían presentar efectos sinérgicos dentro del nopal, como lo señalan Cortés et al. (2006), quienes refieren el sinergismo entre fósforo y potasio ($P \leq 0.05$), lo que se ve reflejado en el resultado obtenido.

4.6.3 Correlaciones entre variables determinadas en suelo y en nopal

No se observaron correlaciones significativas directas de un nutrimento en suelo con su contenido en nopal, en lugar de eso, se encontraron las correlaciones siguientes.

4.5.3.1 Correlaciones negativas entre variables de suelo y nopal

Magnesio en nopal y potasio en suelo (-0.93632, 0.006), fibra estimada en nopal y potasio en suelo (-0.9088, 0.0121), el potasio en suelo podría influir negativamente en el contenido de magnesio y fibra en nopal. Respecto a esta relación antagónica de K-Mg Cortés et al, (2006) reportaron sinergismo K-Mg ($P \leq 0.01$) en nopal, pero mencionan que no se tiene explicación fisiológica sobre el resultado, ya que algunos investigadores han reportado esta interacción como antagonismo según lo encontrado por Raghupathi et al. (2002) y Parent et al (1994), citados por Cortés et al, (2006), que es concordante con los resultados encontrados en la presente investigación.

Hierro en nopal y calcio en suelo (-0.80035, 0.0558). El calcio del suelo estaría relacionado inversamente con el contenido de hierro en el nopal.

Sólidos solubles totales en nopal y fósforo en suelo (-0.84181, 0.0356), fibra estimada en nopal y fósforo en suelo (-0.86131, 0.0275). Se observa que el fósforo en suelo está relacionado inversamente con el contenido de sólidos solubles totales y fibra estimada en nopal, lo cual es congruente, ya que los sólidos solubles son carbohidratos que forman parte de la fibra estimada.

Sólidos solubles totales en nopal y hierro en suelo (-0.87497, 0.0225), fibra estimada en nopal y hierro en suelo (-0.84744, 0.0331). Como en el caso anterior el hierro en suelo está relacionado inversamente con sólidos solubles totales y fibra estimada en nopal.

Fibra estimada en nopal y zinc en suelo (-0.96611, 0.0017). La fibra estimada en nopal se ve afectada por el zinc del suelo, pero en este caso los sólidos solubles totales no, podría tratarse de la fibra insoluble.

Magnesio en nopal y cobre en suelo (-0.80288, 0.0545), fibra estimada en nopal y cobre en suelo (-0.9784, 0.0007). El cobre en suelo estuvo relacionado inversamente con el contenido de magnesio y fibra estimada en nopal.

Magnesio en nopal y manganeso en suelo (-0.80379, 0.054). El manganeso en suelo se correlaciona negativamente con el magnesio en nopal, esto puede ser debido a que sean elementos antagonistas para su absorción, cuando aumenta manganeso, disminuye la absorción de magnesio por la planta.

Fenoles en nopal y cloruros en suelo (-0.79724, 0.0575). Al aumentar los cloruros en suelo, disminuyen los fenoles en nopal claramente, aunque esto habría que corroborarlo en otro experimento.

Se observó que los sólidos solubles totales y la fibra estimada, soluble por consiguiente, se vieron afectados por fósforo y hierro en suelo y favorecidos por el pH, la disponibilidad de fósforo y hierro depende del pH, por esto se puede explicar este resultado. Mientras que cobre y zinc estuvieron inversamente relacionados con fibra estimada sin afectar los sólidos solubles totales, por lo que se puede decir que sería la fibra insoluble, pero estos minerales cobre y zinc, también se encuentran disponibles según el pH.

4.6.3.2 Correlaciones positivas encontradas entre variables de suelo y nopal

Sólidos solubles totales en nopal y pH en suelo (0.835, 0.0386) y fibra estimada en nopal y pH en suelo (0.8524, 0.0311). Lo que podría indicar que los sólidos solubles totales así como la fibra estimada en nopal aumentan a medida que el pH del suelo aumenta, aunque habría que determinar hasta qué punto, o si se debe al efecto del pH del suelo en disminuir

la disponibilidad de fósforo y zinc, que están correlacionados negativamente con sólidos solubles totales y fibra estimada en nopal.

Acidez en nopal y cobre en suelo (0.86603, 0.0257) y acidez en nopal y manganeso en suelo (0.82158, 0.0449). La acidez en nopal parece ser influida por el contenido de cobre y manganeso en el suelo, así mismo el manganeso en suelo se correlaciona con potasio en nopal (0.8497, 0.0329).

Clorofila "a" en nopal y conductividad eléctrica en suelo (0.81037, 0.0505), clorofila "a" en nopal y fósforo en suelo (0.7997, 0.0562), nitrógeno en nopal y fósforo en suelo (0.80601, 0.0528), nitrógeno en nopal y potasio en suelo (0.88982, 0.0175), nitrógeno en nopal y zinc en suelo (0.88091, 0.0204). El nitrógeno en nopal parece estar relacionado con fósforo, potasio y zinc en suelo.

Nitrógeno en nopal y hierro en suelo (0.81368, 0.0488), fósforo en nopal y hierro en suelo (0.88288, 0.0198), potasio en nopal y hierro en suelo (0.81674, 0.0473). Se observa que el hierro en el suelo está relacionado con el contenido de varios elementos en el nopal, como son el nitrógeno, el fósforo y el potasio.

Clorofila "b" en nopal y nitrógeno en suelo (0.80781, 0.0519). El contenido de nitrógeno en suelo está relacionado directamente con el contenido de clorofila b en nopal, lo cual tiene lógica ya que el nitrógeno forma parte de la estructura de la clorofila.

Nitrógeno en nopal y cobre en suelo (0.85749, 0.029), potasio en nopal y cobre en suelo (0.85826, 0.0287). El cobre en el suelo parece influir tanto el contenido de nitrógeno, como de potasio en el nopal.

Cobre en nopal y cloruros en suelo (0.90916, 0.012). Se observa una relación clara del contenido de cobre en nopal con el de cloruros en suelo, y también se observó una correlación de cloruros en suelo con fenoles en nopal, pero negativa, por lo que podría pensarse que hubiera relación negativa del cobre en suelo con fenoles en nopal, pero no se obtuvo así.

De acuerdo a lo reportado por Cortés et al. (2006), se encontró la relación sinérgica de P-K en nopal, y la relación K en suelo con Mg en nopal que se reportó como sinérgica, en este estudio se encontró como antagónica.

No se observó la relación Mg-Ca ($P \leq 0.01$), que Cortés et al. (2006) reportan como sinergismo pero mencionan que tiende más a justificarse en forma negativa por el metabolismo ácido crasuláceo en el cual hay competencia entre los iones Ca y Mg en los sustratos, lo cual induce a un incremento de Ca y reducción de Mg en los tejidos de las plantas, pero las plantas de nopal tienden a acumular calcio en sus tejidos conforme avanzan en edad, y si se tiene una buena disponibilidad de Mg en suelo, no se induce la competencia Mg-Ca, que es lo observado en los resultados.

Así mismo no se encontraron los antagonismos N-Ca ($P \leq 0.01$) y N-Mg ($P \leq 0.05$) reportados por Cortés et al. (2006), que menciona que de acuerdo a lo observado por Raghupati et al (2002) y Parent et al. (1994), se debería a un fenómeno de acumulación-dilución; en el caso del nopal se ha encontrado que los niveles de nitrógeno decrecen con el crecimiento, comparando un nopal de 5 cm contra uno de 25 cm se encuentran valores considerablemente menores de nitrógeno, mientras que los niveles de Calcio aumentan pero el aumento es significativo en cladodios de 1 año de edad (Guzmán y Chávez, 2007), que son mucho mayores de cuando se cosechan, por lo que no se observó una relación en el estudio.

5. CONCLUSIONES

- El análisis de suelo indicó que no hubo diferencias importantes entre los tratamientos de fertilización, excepto en el caso del suelo al que se le ha suministrado Estiércol con Triple 17, que tiene un valor superior al doble de fósforo que los demás tratamientos y con menores diferencias, también este tratamiento es el más alto en hierro, potasio, y zinc.
- En el tejido de nopal verdura los tratamientos de fertilización tuvieron un efecto significativo ($p \leq 0.05$) en la resistencia al corte de la base, en la concentración de potasio, calcio, cobre, manganeso, clorofila “a”, “b” y total. Sin embargo las diferencias no fueron significativas en: color, acidez, pH, sólidos solubles totales y resistencia al corte parte media y corona, así como en el contenido de vitamina C, nitrógeno, proteína, hierro, magnesio, zinc, sodio, fósforo, compuestos fenólicos y flavonoides.
- La fertilización con Estiércol más triple 17, Composta con micorriza y Composta influyeron significativamente en la resistencia al corte en la base del cladodio, concentración de clorofila “b” y total, además en potasio y cobre. El Estiércol con triple 17 favoreció de manera significativa la concentración de clorofila “a” en comparación al resto de tratamientos. Por otra parte el tratamiento de Composta fue el que aportó una mayor concentración de calcio y en cuanto a manganeso fue Composta con micorriza.
- Es más recomendable utilizar Composta con micorriza que Micorriza sola, porque la primera es significativamente más alta en clorofilas “a”, “b” y total, así como en manganeso, también Micorriza es el tratamiento significativamente más bajo en clorofila “a”, “b” y total, que el resto de tratamientos.
- La presencia de cloruros en el suelo se correlacionaron negativamente con la concentración de compuestos fenólicos en nopal, así mismo los valores más bajos de compuestos fenólicos y flavonoides se encontraron en los tratamientos con mayor contenido de cloruros en el suelo.

- Por otra parte se obtuvo una correlación positiva entre clorofila “a” con fósforo en suelo y de clorofila “b” con nitrógeno del suelo. El pH del suelo se correlacionó positivamente con sólidos solubles totales pero estos tuvieron correlación negativa con la concentración de fósforo y hierro en suelo. También el pH del suelo se correlacionó negativamente con los elementos fósforo, hierro, cobre y zinc del suelo, por lo tanto un mayor pH disminuye la disponibilidad de estos elementos.

6. LITERATURA CITADA

- Abraján V., M. 2008. Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del Mucílago del nopal (*Opuntia ficus-indica*) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible. Tesis Doctoral. Departamento de Tecnología de Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. pp. 3-31
- Aguilar-Becerril G. y C. Peña-Valdivia, 2006. Alteraciones fisiológicas provocadas por sequía en nopal *Opuntia ficus indica*. Revista Fitotecnia Mexicana. 29(3):231-237.
- Andrade, J., L., E. Barrera, C. Reyes G., F. Ricalde M., G. Vargas S., C. Cervera J. 2007. "El metabolismo ácido de las crasuláceas: diversidad, fisiología ambiental y productividad". Boletín de la Sociedad Botánica de México, num. 81, pp. 37-50.
- Arango P. y N. Pérez. 2005. Determinación de nitratos y amonio en muestras de suelo mediante el uso de Electrodo selectivos Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín, vol. 58, núm. 1, junio. Universidad Nacional de Colombia.
- Ashwell Margaret 2004. CONCEPTOS SOBRE LOS ALIMENTOS FUNCIONALES. International Life Sciences Institute. Bélgica. Consultado en: http://www.ilsa.org/Europe/Documents/C2002Con_FoodSpan.pdf
- Atalah, E. y N. Pak. 1997. Aumente el consumo de verduras frutas y legumbres. pp. 79-89. En: C. Castillo, R. Uauy, y E. Atalah, eds. Guías de alimentación para la población chilena. Santiago de Chile.
- Ayers R.S. and D.W. Wescot 1985. Water quality for agriculture. Specific ions and their effects. Chloride. Consultado en: <http://www.fao.org/DOCR/P/003/T0234e/T0234E05.htm#ch4.1.1>
- Bañuelos G., C. Stunshoff, S. Walse, T. Zuber, S. In Yaang, I. Pickering, J. Freeman. 2012 Biofortified, selenium enriched, fruit and cladode from three *Opuntia* Cactus pear cultivars grown on agricultural drainage sediment for use in nutraceutical foods. Journal of Food Chemistry, Volume 135, pp. 9-16.
- Bautista-Justo M., R. I. Pineda-Torres., E. Camarena-Aguilar, G. Alanís-Guzmán, V. M. Da Mota, J. E. Barboza- Corona. 2010. El Nopal fresco como fuente de fibra y calcio en panqués. Acta Universitaria, pp. 11-17. Universidad de Guanajuato, México.
- Blanco F. A., y E. A. Salas. 1997. Micorrizas en la agricultura: contexto mundial e investigación realizada en Costa Rica. Agronomía Costarricense 21(1): 55-67. 1997.
- Blanco-Macías F., R. Valdez-Cepeda, R. Magallanes-Quintanar, R. Vázquez-Alvarado, E. Olivares-Sáenz, E. Gutiérrez-Ornelas, J. Vidales-Contreras. 2011. El rendimiento e interacciones nutrimentales en nopal (*Opuntia ficus-indica* L.) IX Simposium-Taller Nacional y II Internacional de producción del nopal y maguey. Revista Salud Pública y Nutrición Edición Especial No. 5. pp. 255-260.
- Blanco-Macías, F., R. Valdez-Cepeda, and R. Ruiz-Garduño. 2002. Intensive production of cactus pear under plastic tunnels. In: A. Nefzaoui y P. Inglese, eds. Proc. 4th International

- Congress on Cactus Pear and Cochineal. Oct. 22-28. Hammamet, Tunes.. *Acta Hort.* 581:279-282
- Borrego Escalante, F. y N. Burgos Vázquez. 1986. El Nopal. Universidad Autónoma Agraria. Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México.
- Bramlage W. J. and S. A. Weis. 2004. Postharvest Fruit Quality and Storage Life in Relation to Mineral Nutrients. Department of Plant and Soil Science. University of Massachusetts. New York Fruit Quarterly. Volume 12 number 2.
- Camacho, C. O., C. B. Peña Valdivia, y A.B. Sanchez-Urdaneta. 2007. Efecto del potencial hídrico del suelo en el crecimiento y contenido de polisacáridos estructurales de nopalito (*Opuntia spp.*) Revista. Facultad. Agronomía (LUZ). 2007, 24 Supl. 1: 254-259.
- Cantwell, M. 1992. Aspectos de calidad y manejo postcosecha de nopalitos. En: S. Salazar y D. López (eds.). Conocimiento y aprovechamiento del nopal. 5to Congreso Nacional y 3er Internacional. Memoria de resúmenes. UACH. Chapingo, México. 110 p
- Carbajal-Valenzuela C. L. 2013. Efecto del tamaño del cladodio en la actividad antioxidante del nopal (*Opuntia ficus-indica*) en tejidos de ratas diabéticas inducidas con estreptozotocina. Tesis Ingeniero Químico en alimentos. Facultad de Química. Universidad Autónoma de Querétaro, México.
- Castro M., R. Paredes, A. Muñoz. 2009. Cultivo de tuna *Opuntia ficus-indica*. Gerencia Regional Agraria La Libertad, Trujillo, Perú. Consultado en: <http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/MANUAL%20TECNICO%20DE%20TUNA.pdf>
- CONAGUA. 2014. Reporte del clima en México. Reporte Anual 2014. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. Gerencia de Meteorología y Climatología. Subgerencia de Pronóstico a Mediano y Largo Plazo. Comisión Nacional del Agua. Servicio Meteorológico Nacional. Consultado en: <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/analisis/reporte/Anual2014.pdf>
- Corrales-García, J., C. B. Peña-Valdivia, Y. Razo-Martínez, and M. Sánchez-Hernández. 2004. Acidity changes and pH-buffering capacity of nopalitos (*Opuntia spp.*). *Postharvest Biology and Technology* 32: 169-174.
- Corrales, 2010. Perspectivas agroindustriales de la postcosecha de nopalito y la tuna. Producción y Aprovechamiento del Nopal y Maguey. IX Simposium-taller Nacional y II Internacional. Desarrollo y Bienestar sustentables a través del Nopal y Maguey. Revista de Salud pública y Nutrición. Edición especial No. 5-2011. Consultado en: [https://www.google.com.mx/url?q=http://www.respyn.uanl.mx/especiales/2011/ee-05-2011/documentos/\(1\) joel corrales-perspectivas agroindustriales del nopalito y tuna.pdf&sa=U&ei=0uZPU9G4MaSU8QGlnoDwDQ&ved=0CCwQFjAC&usg=AFQjCNGc7UFh8gd0C9Ck6PAwyzX_3Cca1Q](https://www.google.com.mx/url?q=http://www.respyn.uanl.mx/especiales/2011/ee-05-2011/documentos/(1) joel corrales-perspectivas agroindustriales del nopalito y tuna.pdf&sa=U&ei=0uZPU9G4MaSU8QGlnoDwDQ&ved=0CCwQFjAC&usg=AFQjCNGc7UFh8gd0C9Ck6PAwyzX_3Cca1Q)
- Cortés-Bañuelos, J. O., M. A. Salas-Luevano, F. Blanco-Macías, M. Luna-Flores, R. D. Valdez-Cepeda, y A. Lara-Herrera. 2006. Interacciones nutrimentales y normas de la técnica de nutrimento compuesto en nopal (*Opuntia ficus-indica L. Miller*). Revista Chapingo Serie Horticultura, pp.165-175. Consultado en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60912206>
- Díaz-Montenegro D. 2002. Fisiología de árboles frutales. AGT Editor, S. A. México D.F.

- Drago S. M., M. López, y T. Saínz. 2006. Componentes bioactivos de alimentos funcionales de origen vegetal. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas* Volumen 37 • No. 4. Asociación Farmacéutica Mexicana, A.C. México. pp. 58-68
- Drago S. M., 2007. Flavonoides recombinantes de relevancia farmacéutica. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 38: 4, pp. 42-47.
- Elorduy Vidal, X. L. 2014. Caracterización de vinos tintos de varias denominaciones de origen catalanas en base a los vinos presentes en el mercado. Do Tarragona, Do Conca de Barberà y Doq Priorat. Tesis doctoral. Departamento de Tecnología de Alimentos. Universitat Politècnica de València. España. Consultado en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/35893/ELORDUY%20-%20CARACTERIZACI%C3%93N%20DE%20VINOS%20TINTOS%20DE%20VARIAS%20DENOMINACIONES%20DE%20ORIGEN%20CATALANAS%20EN%20BASE%20A%20....pdf?sequence=1>
- Etchevers Barra J. D. 1992. Manual de Métodos para análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes. Análisis de rutina en la evaluación de la fertilidad de los suelos. Laboratorio de fertilidad. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo. Edo. de México.
- Fernández L., N. Rojas. T. Roldán, y M. Ramirez. 2006. Manual de técnicas de análisis suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminado. 4-Análisis físicos y químicos en suelo. Instituto Nacional de Ecología y Cambio climático. México.
- Fernández-Pavia Y.L., J.L. García-Cué, A. López-Jiménez, y G. Mora-Aguilera. 2015. Inducción de deficiencias nutrimentales en nopal verdura *Opuntia ficus indica* (L.). *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* Vol.6 Núm.6.
- Flores Barrera S. 2013. Fertilización y frecuencia de riego en la producción de nopal verdura (*Opuntia Ficus Indica* L.) en túnel de plástico. Tesis de maestría. Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Fruticultura. Colegio de Postgraduados, campus Montecillo. México.
- Flores-Hernández, A., I. Orona-Castillo, B. Murillo-Amador, J. L. García-Hernández, and E. Troyo-Dieguez. 2004. Yield and physiological traits of prickly pear cactus nopal (*Opuntia* spp.) cultivars under drip irrigation. *Agric. Water Manag.* 70:97-107.
- Forsythe S. J. y P. R. Hayes. 2002. Higiene de los alimentos, microbiología y HACCP. 2ª Edición. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- Galati, E.M., M. R. Mondello, D. Giuffrida, G. Dugo, N. Miceli, S. Pergolizzi, and M. F. Taviano. 2003. Chemical characterization and biological effects of Sicilian *Opuntia ficus-indica* (L.) *Mill.* Fruit juice: antioxidant and antiulcerogenic activity, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51: 4903-4908
- Galizzi F., P. Felker, C. González, D. Gardiner. 2004. Correlations between soil and cladode nutrient concentrations and fruit yield and quality in cactus pears, *Opuntia ficus indica* in a traditional farm setting in Argentina. *Journal of Arid environments* 59 115-132.
- Geydan T., y L. Melgarejo. 2005. Metabolismo ácido de las crasuláceas. *Acta Biológica Colombiana*, vol. 10, núm. 2, pp. 3-15.

- Guevara, J. C., E. M. Yahia, E. Brito de la Fuente, and S. P. Biserka. 2003. Effects of elevated concentrations of CO₂ in modified atmosphere packaging on the quality of prickly pear cactus stems (*Opuntia* spp.). *Postharv. Biol. Technol.* 29:167-176.
- Guevara A. y P. Ornelas. 2013. Tecnología postcosecha y efectos biofuncionales del nopal y la tuna. México. Ed. Trillas.
- Guevara F. T., I. Jiménez, E. Reyes, G. Mortensen, B. Laursen, R. De León, S. Fomsgaard, and P. Barba de la Rosa. 2010. Proximate composition, phenolic acids, and flavonoids characterization of commercial and wild nopal (*Opuntia* spp.). *Journal of food composition and analysis.* 23:6, pp. 525-532.
- González Monterrubio, C.F., A. Monroy-Ata, E. García-Amador, y M. Orozco-Almanza. 2005. Influencia de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) en el desarrollo de plántulas de *Opuntia streptacantha* Lem. sometidas a sequía, en condiciones de invernadero. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico Biológicas.* 8:5-10.
- Grijspaardt-Vink, C. 1996. Ingredients for healthy foods featured at European expo. *Food Tech.* 2: 50. pp. 30-30
- Gutierrez A., G. Ortiz, y C. Mendoza. 2008. Medición de Fenoles y Actividad Antioxidante en Malezas Usadas para Alimentación Animal. Universidad Autónoma de Querétaro. Simposio de Metrología. Querétaro, México. pp. 1-5. Consultado en: https://www.cenam.mx/simposio2008/sm_2008/memorias/M2/SM2008-M220-1108.pdf
- Guzmán L. y J. Chávez. 2007. Estudio bromatológico del cladodio del nopal (*Opuntia ficus-indica*) para el consumo humano. *Revista Sociedad Química, Perú.* 73, N° 1 pp. 41-45.
- Hansmann, E. 1973. Pigment analysis. En: J. R. Stein (Ed.). *Handbook of phycollogical methods. Culture method and growth measurement.* V. 1. Cambridge University Press, Reino Unido. pp. 359.368.
- Hollingsworth, P. 1996. Food trends diversity and choice dominate. *Food Tech.* 5: 40. pp. 37-37
- Hutchings John B. 1999. *Food Color and Appearance.* Technology & Engineering. Springer.
- INE 2007. Instituto Nacional de Ecología. Nopal Verdura. Gobierno de México. Consultado en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/71/nverdura.html>
- Kirkby E., y V. Römheld. 2008. Micronutrientes en la fisiología de las plantas: funciones, absorción y movilidad. 1ª Parte. Boletín. *Informaciones Agronómicas*, Enero No. 68. International Plant Nutrition Institute.
- Lomelí, M. J. 2009. Calidad de las aguas del río Lerma en relación con el riego agrícola. Tesis de maestría. Postgrado en Hidrociencias. Colegio de Postgraduados, campus Montecillo. México.
- Lozano, L. 2011. Ecofisiología de la tuna (*Opuntia ficus-indica*(L.) Mill.). *Horticultura Argentina* 30(72): 37-52.
- Lozano L. 2012. Nopalitos: alimento alternativo para el Norte de Argentina. 2012. Actas de la Segunda Reunión para el Aprovechamiento Integral de la Tuna y otras Cactáceas. Consultado en: <http://www.fao.org/3/a-av251b.pdf>

- Marriot, N. G. 2003. Principios de higiene alimentaria. Editorial Acribia, Zaragoza, España.
- McGuire R. 1992. Reporting of objective colour measurements. HortScience 27:1254-1255.
- Medina-Torres L., E.J. Vernon-Carter, J.A.Gallegos-Infante, N.E. Rocha-Guzman, E.E.Herrera-Valencia, y F. Calderas. 2011. Study of the antioxidant properties of extracts obtained from nopal cactus (*Opuntia ficus-indica*) cladodes after convective drying. J SCI Food Agric, 2011;91: 1001-1005.
- Megalrejo M., y H. Salazar. 2000. Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas. Editorial Mundi-Prensa Libros. Volumen 1. 382p.
- Mondragón-Jacobo C. y S. Pérez-González. 2003. El Nopal (*Opuntia* spp.) como forraje. Estudio FAO producción y protección vegetal. 169. Consultado en: <http://www.fao.org/docrep/007/y2808s/y2808s00.htm#Contents>
- Nazareno A., M., M. J. Ochoa y J. C. Dubeux Jr 2012. Cactus como fuente de sustancias promotoras de la salud. Actas de la Segunda Reunión para el Aprovechamiento Integral de la Tuna y otras Cactáceas. Consultado en: <http://www.fao.org/3/a-av251b.pdf>
- Nazareno M. y P. Padrón. 2011. Nuevas tecnologías desarrolladas para el aprovechamiento de las cactáceas en la elaboración de alimentos. Componentes funcionales y propiedades antioxidantes. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 2 (1): 202-238.
- Nefzaoui A., M. Nazareno y M. El Mourid. 2007. Review of Medicinal uses of Cactus. Scientific and Technical Contributions. Cactusnet. Newsletter FAO.
- Nobel, P.S. and E. De la Barrera. 2003. Tolerances and acclimation to low and high temperatures for cladodes, fruits and roots of a widely cultivated cactus, *Opuntia ficus-indica*. New Phytologist 157:271-279.
- Nobel, P.S. 1999. Biología Ambiental. Agroecología cultivo y usos del nopal. FAO Producción y protección vegetal 132p.
- Nopal verdura. Instituto Nacional de Ecología, México. Consultado en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/71/nverdura.html>
- NORMA DEL CODEX PARA EL NOPAL, CODEX STAN 185-1993. Consultado en: http://www.fao.org/ag/agn/fv/files/1109_NOPALSPANISH.PDF
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2000 QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES DE FERTILIDAD, SALINIDAD Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS, ESTUDIO, MUESTREO Y ANÁLISIS. Semarnat, 2002. Consultado en: <http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3335/1/NOM-021-SEMARNAT-2000.pdf>
- OMS, 2003. Serie de informes técnicos 916. Dieta, Nutrición y prevención de enfermedades crónicas. Informe de una consulta mixta de expertos OMS/FAO. Ginebra.

- Ordoñez-Ruiz I., 2012. Efecto antioxidante e hipolipemiante del Neem (*Azadirachta indica*). Tesis de maestría. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Sección de Estudios de Posgrado e Investigación. Instituto Politécnico Nacional.
- Orona-Castillo, I., J.A.Cueto-Wong, B. Murillo-Amador, J. Santamaría-César, A. Flores-Hernández, R. Valdez-Cepeda, J.L. García-Hernández, y E. Troyo-Diéguez. 2004. Extracción nutrimental de nopal verdura bajo condiciones de riego por goteo. J. Profess. Assoc. Cactus Develop. 6: 90-101.
- Paz Avendaño R. 2013. Estudian compuestos del nopal para crear suplementos alimenticios contra cáncer. La Crónica de Hoy. Consultado en: <http://www.cronica.com.mx/notas/2013/798715.html>
- Padrón Pereira, C. 2012. Innovaciones en el agordesarrollo de las cactáceas. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 3 (1): 038-079.
- Pavón Chocano A., 2003. Instalación de riego por goteo en una parcela de maíz. Proyecto fin de carrera. Universidad de Castilla - La Mancha. Anejo iii: Análisis de suelo. Consultado en: https://www.uclm.es/area/ing_rural/Proyectos/AntonioPavon/05-AnejoIII.pdf
- Pérez Leonard H., 2006. Nutracéuticos: componente emergente para el beneficio de la salud. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) vol. XL, núm. 3, pp. 20-28. Ciudad de La Habana, Cuba Consultado en: <http://www.redalyc.org/pdf/2231/223120665003.pdf>
- Periago, M. J., G. Ros, G. López, M. C. Martínez, and F. Rincón. 1993. The dietary fiber components and their physiological effects. Rev. Esp. Cienc. Tecnol. Aliment. 33: (3): 229-246.
- Piaggese A. y Sequi P. 2004, Los microelementos en la nutrición vegetal, Editorial Valagro, META srl, Lanciano, Italia.
- Productos a base de nopal, Empresa Linoflax. Consultado en: <http://linoflax.com/alt/>
- PROY-NMX-FF-068-SCFI-2006 PRODUCTOS ALIMENTICIOS NO INDUSTRIALIZADOS PARA CONSUMO HUMANO – HORTALIZA FRESCA – NOPAL VERDURA (Opuntia spp) – ESPECIFICACIONES Consultado en: <http://200.77.231.100/work/normas/nmx/2006/proy-nmx-ff-068-scfi-2006.pdf>
- Raj K, K. Rajesh, V. Narendra, J. Sarang, R. Ramsaneh, and K.Anil. 2010. Nutraceutical and Functional Food as Future Food: A Review. Der Pharmacia Lettre, 2010:2(1) 106-116.
- Ramírez-Tobías H., C. López-Palacios, J. Aguirre-Rivera, and J. Reyes-Agüero. 2012. Cap. 10. Hydroponic Cactus Pear Production, Productivity and Quality of Nopalito and Fodder. Hydroponics – A Standard Methodology for Plant Biological Researches. Edited by Toshiki Asao. Published by InTech. Croatia.
- Ramirez P., L. Sosa, y A. Santos. 2012., Plan rector del sistema producto nopal y tuna del estado de Michoacán. Comité estatal del sistema producto nopal y tuna del estado de Michoacán, A. C. Sagarpa y Gobierno de Michoacán. Consultado en: http://www.oidrus-portal.gob.mx/oidrus_mic/docs/Plan_Rector_Nopal_2012.pdf

- Rodríguez-Félix, A. and M. Cantwell. 1988. Developmental changes in the composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos). *Plants Food for human Nutrition* 38: 83-93
- Rodríguez-Félix, A. and Villegas-Ochoa, M. 1997. Quality of cactus stems (*Opuntia ficus-indica*) during low temperature storage. *J. Profess. Assoc. Cactus Develop.* 2: 142-151.
- Rodríguez-Félix, A. 2002. Postharvest physiology and technology of cactus pear fruits and cactus leaves. *Acta Hort.* 581: 191-199.
- Rodríguez-Félix A, J. Fortiz-Hernández, y M. Robles-Burgueño. 2010. Efecto del estado de desarrollo y época de cosecha en el contenido de flavonoides del nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*). En *Memorias del VII Simposio Internacional sobre la flora silvestre en zonas áridas*. 17-19 Marzo. Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.
- Romero F., M. Martínez, y M. Pretel. 2003. Factores precosecha determinantes de la calidad y conservación en postcosecha de productos agrarios. Dpto. Tecnología de Alimentos, Murcia, España. Escuela Politécnica Superior Orihuela Alicante.
- SAGARPA. 2004. Plan Rector Sistema Producto Nacional Nopal. Segunda Fase. Comité Sistema Producto Nopal. México D.F. Consultado en:
<http://www.amsda.com.mx/PRNacionales/Nacionales/PRNnopal2.pdf>
- SAGARPA. 2011. Envían primer embarque de nopal del DF hacia EU; estiman exportar el producto cada 20 días. *Boletín Enero 2011*. Consultado en:
<http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/boletines2/2011/enero/Documents/2011B016.pdf>
- SAGARPA, 2011. *Opuntia*. Revista especializada en nopal, tuna y xoconostle. Num. 1, 48p.
- Santiago Lorenzo Ma. del Rocío. 2015. Calidad postcosecha de nopal verdura con diferente fuente de fertilización y tiempo de refrigeración. Tesis de maestría. Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Fructicultura. Colegio de Postgraduados, campus Montecillo. México.
- Santos-Zea L., J. Gutiérrez-Urbe, S. Serna-Saldivar. 2011. Comparative analyses of total phenols, antioxidant activity and flavonol glycoside profile of cladode flours from different varieties of *Opuntia spp.* *J. Agric Food Chem*, 2011; 59(13):7054-7061.
- Sáenz, C., J. Corrales y G. Aquino. 2002. Nopalitos mucilage, fiber and cochineal. pp. 211-234. In: P.S. Nobel (ed.) *Cacti: Biology and uses*. University of California, Los Angeles. Estados Unidos de América.
- Sáenz C. 2006. Utilización agroindustrial del nopal. *Boletín de servicios agrícolas de la FAO* 162. Roma.
- Sanchez Garcia P. 2012. Manual de prácticas. Nutrición vegetal. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México, México.

- SIAP. 2014. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Nopalitos. Secretaria de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México. Consultado en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>
- Sloan, E. 1994. Top ten trends to watch and work on. *Food Tech.* 7: 89-100.
- Sloan, E. 2000. The top ten functional food. *Food Tech.* 54(4): 33-62.
- Spengler S., D. Valerino, M. González, T. Gamiotea, y P. García. 2009. Estudio fitoquímico y de actividad alelopática del extracto de n-hexano del follaje de *Lantana trifolia L.* *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, vol. 40, núm. 1, pp. 33-37, Centro Nacional de Investigaciones Científicas. Cuba.
- Spiller, G. 1992. Definition of dietary fiber. pp. 15-18. In: *Dietary Fiber in Human Nutrition*. Ed. by Gene. A. Spiller. CRC Handbook. 2nd Ed. Boca Ratón, Florida, Estados Unidos de América.
- Stintzing F., and R. Carle. 2005. Cactus stems (*Opuntia spp.*): A review on their chemistry, technology and uses. *Molecular Food and Nutrition Research*; 49: 174-194
- Tacon, A. 1989. FAO Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados. Manual de capacitación. 2ª Parte. Recursos de nutrientes y su composición. Principios de alimentación y análisis de fertilizantes. Análisis de alimentos. Composición de proteínas y Nitrógeno no proteico.
- Thompson, A. K. 2003. Preharvest factors on postharvest life. *Fruit and Vegetables: Harvesting, Handling and Storage*. Blackwell Publishing Ltd.
- Troxler S. y J. W. Reardon. S/A. División de Alimentos y Medicinas del Departamento de Agricultura de Carolina del Norte (EUA). ¿Por qué la clorofila es saludable?. Consultado en: <http://www.ncagr.gov/fooddrug/espanol/documents/PorquelaClorofilaEsSaludable.pdf>
- Vanegas Rico J. M. 2009. Dinámica poblacional de *Dactylopius opuntiae (Cockerell)* y sus enemigos naturales en Tlalnepantla, Morelos, Maestría en Ciencias. Fitosanidad, Entomología y acarología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Edo. México, diciembre.
- Valdéz Cepeda R, F. Blanco Macias, R. Vázquez Alvarado, y R. Magallanes Quintanar. 2008. Producción y usos del nopal para verdura. VI Simposium taller producción y aprovechamiento del nopal en el noreste de México. Diciembre 2007. *Revista Salud Pública y Nutrición*. Edición Especial No. 14-2008.
- Vázquez, V. C. T. R. Zúñiga, C.R. Orona, A.B. Murillo, S.E. Salazar, A.R. Vázquez, H.J.L. García, y D.E. Troyo. 2007. Análisis del crecimiento radical en cuatro variedades de nopal (*Opuntia ficus-indica*) (L.) Mill. *J. Prof. Assoc. Cactus Dev.* 1:82-90.
- Velázquez Machuca M. 1995. Efecto de sales y fertilización sobre la emergencia de plántulas de siete cultivares. Tesis de maestría. Postgrado en Edafología. Colegio de Postgraduados, campus Montecillo. México.

- Velázquez Machuca M. 2001. Las variaciones de los procesos de adsorción de sodio en función de los diferentes valores de la relación de adsorción de sodio en las aguas residuales de la región hidrográfica de Zumpango Ixmiquilpan. Tesis de doctorado en ciencias. Postgrado en Hidrociencias. Colegio de Postgraduados, campus Montecillo. México.
- Wildman and Kelley, 2007 Handbook of nutraceuticals and functional foods 2nd Ed. CRC Press, pp. 9-20.
- Zou D., M. Brewer, F. García, J.M. Feugang, J. Wang, R. Zang, H. Liu, and C. Zou. 2005. Cactus pear: a natural product in cáncer chemoprevention. Nutrition Journal 4:25-29.
- Zúñiga Tarango, R., I. Orona Castillo, C. Vázquez-Vázquez, B. Murillo Amador, B. E. Zalazar Sosa, J.D. López Martínez, J. García Hernández, y E. Rueda Puente. 2009. Desarrollo radical, rendimiento y concentración mineral en nopal *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. En diferentes tratamientos de fertilización. Journal of the Professional Association for Cactus Development 11: 53-68.

7. ANEXOS

Resultados del análisis de cladodios

7.1 Acidez, pH, SST, Vitamina C y fibra dietética estimada

BLOQUE	REP	TRAT	% ác málico	pH	SST (Grados Brix)	VIT C mg/100g	FIBRA DIET EST (g/100g)
1	1	E+T17	1.3%	4.2	4.1	18.51	3.6591
1	2	E+T17	1.3%	4.1	3.1	16.83	2.7114
2	1	E+T17	1.3%	4.1	3.6	20.19	3.1462
2	2	E+T17	1.4%	4.0	3.3	16.83	2.4252
3	1	E+T17	1.2%	4.3	3.1	15.15	3.2159
3	2	E+T17	1.0%	4.1	4.2	21.88	3.3127
1	1	FQ	1.1%	4.2	4.2	18.51	3.3736
1	2	FQ	1.2%	4.1	4.0	18.51	3.4379
2	1	FQ	1.3%	4.3	4.3	20.19	2.6719
2	2	FQ	1.1%	4.3	4.2	20.19	3.7578
3	1	FQ	1.1%	4.2	4.1	20.19	3.7301
3	2	FQ	1.1%	4.4	4.4	21.88	3.9498
1	1	CO	1.2%	4.0	3.8	25.24	3.5269
1	2	CO	1.4%	4.3	5.3	23.56	3.1904
2	1	CO	1.1%	4.1	4.2	16.83	2.9465
2	2	CO	1.3%	4.1	4.4	21.88	3.3501
3	1	CO	1.1%	4.2	3.9	21.88	3.6625
3	2	CO	1.5%	4.1	3.6	20.19	3.4287
1	1	CM	1.1%	4.3	3.3	20.19	3.2885
1	2	CM	1.1%	4.1	3.7	20.19	3.6729

BLOQUE	REP	TRAT	% ác málico	pH	SST (Grados Brix)	VIT C mg/100g	FIBRA DIET EST (g/100g)
2	1	CM	0.8%	4.3	3.8	18.51	4.0091
2	2	CM	1.3%	4.1	4.0	16.83	2.8363
3	1	CM	1.1%	4.2	3.9	20.19	3.9120
3	2	CM	1.2%	4.3	3.9	18.51	3.2866
1	1	MI	1.2%	4.1	4.1	21.88	3.5781
1	2	MI	1.2%	4.1	4.8	20.19	3.5534
2	1	MI	1.2%	4.2	3.6	16.83	3.8930
2	2	MI	1.1%	4.2	4.2	16.83	4.0532
3	1	MI	1.5%	4.1	4.0	20.19	2.5545
3	2	MI	0.9%	4.3	4.7	21.88	3.9296
1	1	TE	1.2%	4.2	3.7	18.51	3.7311
1	2	TE	1.2%	4.2	3.9	23.56	3.5062
2	1	TE	1.1%	4.1	4.7	20.19	4.0607
2	2	TE	1.2%	4.2	3.8	16.83	3.0590
3	1	TE	1.1%	4.2	4.2	21.88	3.6853
3	2	TE	0.8%	4.3	4.2	20.19	4.2124

7.2 Color

B	R	TRAT	Parámetros de color					Saturación	Angulo de tono	
			L	A	Color	b	Color		Valor	Color
1	1	E+T17	33.6	-11.7	Verde	16.1	Amarillo	19.9	190.6	Verde
1	2	E+T17	32.5	-10.0	Verde	14.0	Amarillo	17.2	188.7	Verde
2	1	E+T17	37.0	-10.6	Verde	15.6	Amarillo	18.9	184.7	Verde
2	2	E+T17	32.8	-9.7	Verde	14.2	Amarillo	17.2	185.0	Verde
3	1	E+T17	36.8	-11.1	Verde	15.3	Amarillo	18.9	190.5	Verde
3	2	E+T17	35.3	-8.8	Verde	15.0	Amarillo	17.4	172.8	Verde
1	1	FQ	33.6	-12.4	Verde	16.3	Amarillo	20.5	194.7	Verde
1	2	FQ	35.3	-10.1	Verde	15.4	Amarillo	18.4	182.0	Verde
2	1	FQ	37.5	-11.6	Verde	17.4	Amarillo	20.9	183.0	Verde
2	2	FQ	35.2	-9.1	Verde	15.3	Amarillo	17.8	174.1	Verde
3	1	FQ	34.6	-11.5	Verde	14.9	Amarillo	18.8	195.5	Verde
3	2	FQ	37.9	-9.6	Verde	18.2	Amarillo	20.6	164.6	Verde
1	1	CO	33.0	-9.4	Verde	12.8	Amarillo	15.9	190.7	Verde
1	2	CO	34.4	-9.2	Verde	14.0	Amarillo	16.7	181.6	Verde
2	1	CO	36.8	-9.4	Verde	15.0	Amarillo	17.7	177.7	Verde
2	2	CO	37.0	-10.6	Verde	15.7	Amarillo	19.0	183.7	Verde
3	1	CO	36.0	-12.8	Verde	17.4	Amarillo	21.6	191.4	Verde
3	2	CO	36.2	-10.3	Verde	15.4	Amarillo	18.5	183.1	Verde
1	1	CM	37.0	-11.6	Verde	16.0	Amarillo	19.8	190.2	Verde
1	2	CM	35.8	-10.6	Verde	15.7	Amarillo	18.9	184.6	Verde
2	1	CM	33.8	-10.5	Verde	15.3	Amarillo	18.6	185.6	Verde
2	2	CM	36.1	-11.2	Verde	16.8	Amarillo	20.2	182.9	Verde
3	1	CM	36.7	-11.1	Verde	15.6	Amarillo	19.2	188.4	Verde
3	2	CM	33.3	-7.2	Verde	14.0	Amarillo	15.8	162.9	Verde
1	1	MI	35.0	-10.2	Verde	13.5	Amarillo	17.0	193.8	Verde
1	2	MI	37.6	-10.4	Verde	15.5	Amarillo	18.6	183.5	Verde
2	1	MI	33.0	-10.3	Verde	14.1	Amarillo	17.4	190.7	Verde
2	2	MI	35.6	-9.7	Verde	15.5	Amarillo	18.3	177.5	Verde
3	1	MI	36.2	-12.0	Verde	15.9	Amarillo	19.9	193.4	Verde
3	2	MI	37.1	-9.2	Verde	16.2	Amarillo	18.7	170.1	Verde
1	1	TE	32.4	-9.6	Verde	13.1	Amarillo	16.2	191.3	Verde
1	2	TE	35.8	-11.1	Verde	15.4	Amarillo	19.0	189.9	Verde
2	1	TE	34.1	-10.8	Verde	15.0	Amarillo	18.5	189.8	Verde
2	2	TE	36.0	-10.0	Verde	15.0	Amarillo	18.1	183.2	Verde
3	1	TE	37.8	-12.6	Verde	16.9	Amarillo	21.1	192.2	Verde
3	2	TE	33.3	-8.4	Verde	14.6	Amarillo	16.8	171.1	Verde

7.3 Clorofilas y Firmeza

B	R	TRAT	En solución preparada con 2g/10mL			Clorofilas (mg/100g penca fresca)			Resist Corte Base (N)	Resist Corte Media (N)	Resist Corte Corona (N)	Resist Corte Promedio (N)
			Clorofilas (mg/L)			clorof a	clorof b	clor total				
			clorof a	clorof b	clor total							
1	1	E+T17	10.1016	10.7616	20.958	5.0508	5.3808	10.479	124.6	49.2	50.4	74.7
1	2	E+T17	8.1966	11.4636	19.728	4.0983	5.7318	9.864	50.8	28.8	88.8	56.1
2	1	E+T17	10.6305	12.5418	23.268	5.31525	6.2709	11.634	83.2	81	59.8	74.7
2	2	E+T17	11.9991	13.3542	25.464	5.99955	6.6771	12.732	74.6	70.8	62.2	69.2
3	1	E+T17	11.0115	12.4014	23.514	5.50575	6.2007	11.757	87.6	72.8	89.6	83.3
3	2	E+T17	8.352	10.0896	18.516	4.176	5.0448	9.258	74.4	91.8	65	77.1
1	1	FQ	7.7454	8.9964	16.812	3.8727	4.4982	8.406	75.6	90.6	64	76.7
1	2	FQ	8.1264	8.856	17.058	4.0632	4.428	8.529	79	76	98.2	84.4
2	1	FQ	7.1313	11.1978	18.384	3.56565	5.5989	9.192	60	81.4	68.4	69.9
2	2	FQ	6.5247	10.1046	16.68	3.26235	5.0523	8.34	86.4	67	75.6	76.3
3	1	FQ	9.7983	10.215	20.106	4.89915	5.1075	10.053	72.4	32.2	57.6	54.1
3	2	FQ	6.8355	7.3566	14.256	3.41775	3.6783	7.128	80	73.6	59.4	71.0
1	1	CO	6.5949	12.7122	19.35	3.29745	6.3561	9.675	106.4	104.8	103.8	105.0
1	2	CO	7.2015	13.8054	21.054	3.60075	6.9027	10.527	79.4	83.4	83	81.9
2	1	CO	7.8933	10.917	18.876	3.94665	5.4585	9.438	87.4	62.6	58.2	69.4
2	2	CO	8.1891	14.7582	23.004	4.09455	7.3791	11.502	64.4	104.2	96.8	88.5
3	1	CO	6.6651	15.3198	22.02	3.33255	7.6599	11.01	96.2	75.4	42	71.2
3	2	CO	7.8156	11.604	19.482	3.9078	5.802	9.741	76.2	60.2	68.6	68.3
1	1	CM	6.9759	12.5718	19.596	3.48795	6.2859	9.798	95.2	93.6	35	74.6
1	2	CM	6.1437	10.245	16.434	3.07185	5.1225	8.217	92.4	107.4	70.4	90.1
2	1	CM	6.5172	13.3992	19.956	3.2586	6.6996	9.978	73	48.2	69.2	63.5
2	2	CM	6.9684	15.8664	22.872	3.4842	7.9332	11.436	49.4	36.6	61.2	49.1
3	1	CM	7.1313	11.1978	18.384	3.56565	5.5989	9.192	100	126.2	84.4	103.5
3	2	CM	7.7379	12.291	20.088	3.86895	6.1455	10.044	82.6	80.4	64	75.7
1	1	MI	4.5495	8.199	12.78	2.27475	4.0995	6.39	40.6	69.8	85	65.1

B	R	TRAT	En solución preparada con 2g/10mL			Clorofilas (mg/100g penca fresca)			Resist Corte Base (N)	Resist Corte Media (N)	Resist Corte Corona (N)	Resist Corte Promedio (N)
			Clorofilas (mg/L)			clorof a	clorof b	clor total				
			clorof a	clorof b	clor total							
1	2	MI	4.6013	7.741	12.376	2.30065	3.8705	6.188	64.4	88.8	63.6	72.3
2	1	MI	3.6421	5.461	9.132	1.82105	2.7305	4.566	63.4	52	45.6	53.7
2	2	MI	4.23784	6.86544	11.1352	2.11892	3.43272	5.5676	80	128	75.4	94.5
3	1	MI	4.0958	6.83	10.956	2.0479	3.415	5.478	68	89	58.2	71.7
3	2	MI	4.3005	6.0962	10.432	2.15025	3.0481	5.216	64.8	126.4	75.2	88.8
1	1	TE	7.87776	11.0544	18.9972	3.93888	5.5272	9.4986	89.6	67.4	90	82.3
1	2	TE	7.971	10.23	18.27	3.9855	5.115	9.135	75.2	89.2	122.4	95.6
2	1	TE	9.7983	10.215	20.106	4.89915	5.1075	10.053	77	64.8	50.2	64.0
2	2	TE	7.0536	11.8848	18.99	3.5268	5.9424	9.495	74.2	90.2	76.8	80.4
3	1	TE	6.5949	12.7122	19.35	3.29745	6.3561	9.675	59.2	75.4	85.8	73.5
3	2	TE	7.971	10.23	18.27	3.9855	5.115	9.135	86.8	67.6	61	71.8

7.4 Minerales, Nitrógeno, Proteína, Fenoles y Flavonoides

B	R	TRAT	Ca ppm	Cu ppm	Fe ppm	K ppm	Mg ppm	Mn ppm	Na ppm	P ppm	Zn ppm	g N/100g mtra	% Proteína	Fenoles (mg Ac. gálico/100g)	Flavonoides (mg Quercetina/100g)
1	1	E+T17	13444.20	3.73	40.28	10438.30	11952.00	28.70	271.33	3508.40	19.51	1.54	9.63	144.0728576	66.9682513
1	2	E+T17	14922.20	3.73	35.74	14431.10	14838.10	45.29	301.06	4223.55	27.26	2.17	13.56	175.152033	66.0645744
2	1	E+T17	14679.40	3.95	30.96	12595.70	12131.10	26.31	278.98	3820.81	21.32	2.03	12.69	173.72234	62.8776028
2	2	E+T17	15791.02	3.42	28.60	13030.70	13931.90	31.57	365.22	4156.60	24.91	2.17	13.56	152.1610566	79.7143651
3	1	E+T17	19174.50	2.93	36.39	12585.00	13962.10	26.76	313.75	3356.03	16.36	1.96	12.25	196.7005076	43.5933925
3	2	E+T17	16734.80	4.61	31.17	13196.00	12515.10	30.78	245.94	3942.07	18.53	1.89	11.81	161.894436	58.0474305
1	1	FQ	17407.00	2.95	31.73	9652.19	15026.90	57.21	285.08	3579.33	21.74	1.96	12.25	137.499384	62.8849358
1	2	FQ	11743.60	3.82	43.22	13405.20	14266.90	47.97	343.58	3547.87	25.68	1.33	8.31	168.2094157	48.5002272
2	1	FQ	21357.50	3.09	31.05	12493.00	14084.50	40.16	330.93	4304.04	23.81	1.61	10.06	180.0288643	79.0499119
2	2	FQ	14007.10	2.73	29.97	14004.80	12174.40	30.59	329.16	3308.46	25.90	1.68	10.50	186.374042	57.4946714
3	1	FQ	21069.10	2.85	31.99	10931.00	13298.90	35.79	252.48	3207.86	21.56	1.68	10.50	170.2517968	57.2551335
3	2	FQ	17116.86	3.11	29.34	9803.67	14922.60	29.25	254.77	2850.37	23.74	1.68	10.50	187.028732	65.731977
1	1	CO	20818.00	3.78	25.59	9281.92	13428.90	40.31	232.60	3095.42	20.60	1.75	10.94	149.0174398	54.9327183
1	2	CO	20893.48	4.99	33.16	13169.50	13630.10	74.40	304.17	3833.41	24.61	1.96	12.25	152.7918782	48.0493866
2	1	CO	18743.20	4.65	34.29	12436.20	15828.80	62.89	349.42	4014.20	22.83	2.03	12.69	173.5592714	54.2405101
2	2	CO	22592.10	3.07	32.16	11505.20	17334.30	45.52	213.58	3408.78	18.51	1.61	10.06	183.0148303	59.6608196
3	1	CO	19512.60	3.49	38.76	10715.50	14699.70	47.79	220.03	3353.80	21.07	1.40	8.75	175.57045	60.1551885
3	2	CO	22801.50	3.37	29.03	12481.50	12399.20	54.18	276.12	3287.34	18.81	1.68	10.50	166.1948458	52.5576866
1	1	CM	12263.00	6.18	35.50	13040.20	13131.00	71.40	288.10	4174.29	28.91	2.10	13.13	133.5567493	64.3142453
1	2	CM	13036.60	3.92	33.52	12198.30	14277.50	50.23	307.36	3919.92	28.09	1.89	11.81	173.8455473	50.5968731
2	1	CM	16089.00	3.42	26.63	11385.60	13487.10	54.93	301.02	3329.50	25.27	1.75	10.94	136.5433424	46.5692576
2	2	CM	13583.50	5.34	36.03	10919.50	17706.60	54.35	347.16	4489.48	28.63	1.68	10.50	170.628738	49.2279604
3	1	CM	12354.70	3.99	34.07	9674.19	15217.80	56.54	301.93	3265.27	22.74	1.61	10.06	139.0862944	72.212323
3	2	CM	18783.00	4.57	37.74	13372.30	13477.50	57.49	229.34	3356.94	22.86	1.82	11.38	167.5873395	56.5841319

B	R	TRAT	Ca ppm	Cu ppm	Fe ppm	K ppm	Mg ppm	Mn ppm	Na ppm	P ppm	Zn ppm	g N/100g mtra	% Proteína	Fenoles (mg Ac. gálico/100g)	Flavonoides (mg Quercetina/100g)
1	1	MI	13760.20	3.40	34.39	9796.30	15291.50	38.81	235.25	3391.31	31.60	1.40	8.75	171.6278153	65.1034128
1	2	MI	14040.20	2.89	48.00	11642.80	16910.00	40.88	303.05	3108.07	22.77	1.75	10.94	154.5574348	66.7629989
2	1	MI	13022.00	2.97	35.75	9596.60	15080.40	49.70	312.02	2767.86	29.62	1.75	10.94	161.7723801	43.5938526
2	2	MI	18909.90	4.08	27.11	12513.90	14156.40	41.45	256.56	3667.99	18.78	1.19	7.44	143.5446796	65.6629467
3	1	MI	11287.00	2.85	32.36	11967.90	17278.20	23.46	293.67	3542.81	25.11	1.61	10.06	163.7543928	59.3844928
3	2	MI	17758.70	4.16	28.72	11300.20	13471.80	38.55	308.58	3152.18	22.56	1.82	11.38	198.5667363	60.1015408
1	1	TE	21647.80	2.40	33.10	8508.00	15398.60	45.67	226.88	2804.34	18.62	1.33	8.31	162.0847364	67.6479131
1	2	TE	23639.20	3.49	32.25	12342.90	17734.10	46.61	220.13	3496.53	20.47	1.54	9.63	160.0193377	57.3606585
2	1	TE	17497.70	3.27	37.01	8127.40	15556.80	53.32	342.04	2651.35	18.31	1.26	7.88	172.6390913	51.1101245
2	2	TE	18617.90	4.11	32.27	9652.05	14583.90	43.64	341.47	3769.30	27.92	1.82	11.38	154.2749079	52.6274104
3	1	TE	14911.00	3.22	32.25	9712.81	15058.00	58.83	321.55	3339.83	18.77	1.75	10.94	170.5876611	71.3226659
3	2	TE	19262.72	3.36	26.77	9569.12	14660.20	31.62	278.25	2943.51	21.09	1.68	10.50	164.7351786	72.3667096

E+T17= Estiércol con Triple 17, FQ=Fertilización química, CO= Composta, CM=Composta con micorriza, MI=Micorriza, TE=Testigo