



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS MONTECILLO
POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
FRUTICULTURA**

**FERTILIZACION Y FRECUENCIA DE RIEGO EN LA PRODUCCIÓN DE
NOPAL VERDURA (*Opuntia ficus indica* L.) EN TÚNEL DE PLÁSTICO**

SOFIA FLORES BARRERA

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

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2013

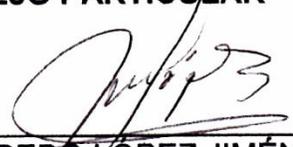
La presente tesis titulada: “**FERTILIZACION Y FRECUENCIA DE RIEGO EN LA PRODUCCIÓN DE NOPAL VERDURA (*Opuntia ficus indica* L.) EN TÚNEL DE PLÁSTICO**”, realizada por la alumna: **SOFIA FLORES BARRERA** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS

RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD FRUTICULTURA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. ALFREDO LÓPEZ JIMÉNEZ

ASESOR



DR. JOSÉ ISABEL CORTÉS FLORES

ASESOR



M.C. DAVID JAÉN CONTRERAS

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Mayo 2013

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico.

Al Colegio de Postgraduados por la darme la oportunidad de instruirme.

Al Dr. Alfredo López Jiménez por su tiempo y paciencia en este trabajo.

Al Dr. José Isabel Cortés Flores por sus acertadas observaciones y sugerencias.

AL M.C. Rafael Acosta Hernández[†] por su tiempo y acertadas sugerencias.

Al M.C. David Jaen Contreras, por su apoyo en el laboratorio.

Al Dr. Enrique Becerril Román, Dr. Cresenciano Saucedo Veloz, Dr. Javier Suárez Espinosa, Dr. Francisco Vaquera Huerta, Dra. Magdalena Crosby, M.C. Francisco Landeros Sánchez, Arturo López Veloz, Anastacio Hernández, Guadalupe Andrade, Eliseo Hidalgo y Rogelio Hidalgo. Por el apoyo en la evaluación de variables estudiadas.

A los compañeros y amigos: Guadalupe, Rocío, Rubén, Miguel, Telésforo, Nain, Geremias, Ramiro, Víctor y René, que hicieron más agradable mi estancia en el Colegio de Postgraduados.

DEDICATORIA

A mis padres: Ignacia Barrera Hernández[†] y Anastacio Flores Hernández[†] por darme la vida y transmitirme la fuerza de voluntad para las adversidades.

A mi esposo: Miguel Cuevas Mendoza por su apoyo incondicional.

A mis hijas: Citlali y Miguelina, que son mi motivo de superación.

A mi hermana: María Isabel por contar con ella, en el momento que lo he requerido.

CONTENIDO	Página
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
INDICE DE CUADROS	vii
INDICE DE FIGURAS	viii
INDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general	3
1.2. Objetivos específicos	3
1.3. Hipótesis	3
2. REVISION DE LITERATURA	4
2.1. Producción de nopal verdura en México	4
2.2. Fertilización y riego en nopal verdura	5
2.3. Biofertilización con hongos micorrícicos	10
2.4. Calidad del nopal verdura	12
3. MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1. Características del sitio experimental	15
3.1.1. Localización	15
3.1.2. Clima	15
3.1.3. Suelo	16
3.2. Material Vegetal	16
3.3. Tratamientos y diseño experimental	16

3.4. Establecimiento de los tratamientos	18
3.5. Manejo de la plantación.....	19
3.6. Variables de respuesta	20
3.6.1. Rendimiento	20
3.6.2. Índice de color	21
3.6.3. Acidez titulable	21
3.6.4. pH	22
3.6.5. Textura.....	22
3.6.6. Contenido de Fibra	23
3.6.7. Concentración de Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Magnesio (Mg), Calcio (Ca), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Zinc (Zn) y Cobre (Cu) en el cladodio	24
3.6.8. Consumo de agua.....	26
3.7. Análisis estadístico	28
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1. Rendimiento	29
4.2. Índice de color.....	36
4.3. Acidez titulable.....	37
4.4. pH.....	38
4.5. Textura.....	38
4.6. Contenido de fibra	39
4.7. Concentración de N, P, K, Mg, Ca, Fe, Mn, Zn y Cu	39
4.8. Consumo de agua.....	45
5. CONCLUSIONES	49
6. LITERATURA CITADA	50
APENDICE.....	61

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Lista de tratamientos para evaluar el efecto de la fuente de fertilización en interacción con el riego aplicado en dos tensiones de humedad	17
2. Tensión y contenido de humedad a la profundidad del suelo de 0-30 cm	28
3. Significancia del efecto de la frecuencia de riego y fuente de fertilización en rendimiento, índice de color, acidez titulable, pH, textura y contenido de fibra en nopal verdura (<i>Opuntia ficus indica</i> L.) bajo condiciones de túnel	29
4. Efecto de la frecuencia de riego y la fuente de fertilización en el índice de color, acidez titulable y contenido de fibra en nopal verdura (<i>Opuntia ficus indica</i> L.), bajo condiciones de túnel.....	30
5. Significancia del efecto de la frecuencia del riego y fuente de fertilización en la concentración de macronutrientes del nopal verdura (<i>Opuntia ficus indica</i> L.) bajo condiciones de túnel.....	41
6. Efecto de la frecuencia de riego y la fuente de fertilización en la concentración de macronutrientes en nopal verdura (<i>Opuntia ficus indica</i> L.), bajo condiciones de túnel	43
7. Significancia del efecto de la frecuencia de riego en interacción con la fuente de fertilización, en la concentración de micronutrientes del nopal verdura (<i>Opuntia ficus indica</i> L.) bajo condiciones de túnel	44
8. Efecto de la frecuencia de riego y la fuente de fertilización en micronutrientes del nopal verdura (<i>Opuntia ficus indica</i> L.) bajo condiciones de túnel.	45
9. Láminas de riego consumidas por el nopal verdura (<i>Opuntia ficus indica</i> L.) cuando el riego se aplicó a 35 y 70 cb de tensión	48

INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Temperatura máxima, media y mínima promedio mensual, registradas dentro del túnel de noviembre 2010 a noviembre 2011.....	15
2. Implementación del experimento:(A) tensiómetros instalados, (B) riego de saturación del suelo antes de iniciar el experimento.....	19
3. Medición de color con el colorímetro hunter lab (A) y medición de textura del nopal verdura con el texturometro (B).....	23
4. Respuesta del rendimiento en nopal verdura (<i>Opuntia ficus indica</i> L.) a la fuente de fertilización: 1) Composta, 2) micorriza, 3) fertirriego, 4) composta y micorriza, 5) composta más urea y superfosfato de calcio triple, 6) estiércol y triple 17, y 7) testigo.....	33
5. Efecto de la frecuencia de riego (35 y 70 cb) en interacción con la fuente de fertilización: (A) composta, (B) micorriza, (C) fertirriego, (D) composta y micorriza, (E) composta más urea y superfosfato de calcio triple, (F) estiércol más triple 17 y (G) testigo, en el rendimiento de nopalitas por planta	35
6. Ubicación del color del nopal verdura (<i>Opuntia ficus indica</i> L.) en un plano tridimensional, en respuesta a la frecuencia de riego y a la fuente de fertilización	37
7. Intervalo de riego cuando la humedad del suelo llegó a la tensión de: (A) 35 CB Y (B) 70 CB.....	47

INDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE

Cuadro	Página
1A. Composición química de la composta utilizada.....	61
2A. Resultados obtenidos del Hunter Lap e indicadores del color en cladodios de nopal verdura (<i>Opuntia ficus indica</i> L.), por efecto de la frecuencia de riego y la fuente de fertilización.	62
3A. Resultados del análisis de varianza con el paquete estadístico SAS para Windows versión 9.3, en las variables respuesta: rendimiento, índice de color, acidez titulable, pH, textura, contenido de fibra y concentración de nutrimentos.	62

FERTILIZACIÓN Y FRECUENCIA DE RIEGO EN LA PRODUCCIÓN DE NOPAL VERDURA (*Opuntia ficus indica* L.) EN TÚNEL DE PLÁSTICO

Sofía Flores Barrera, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2013

RESUMEN

Con la finalidad de conocer la respuesta del nopal verdura a la fertilización orgánica y química, incluyendo la inoculación de un hongo micorrícico y la frecuencia de riego, bajo condiciones de túnel de plástico. De 2010 a 2011 se evaluó el rendimiento y los parámetros de calidad: índice de color, pH, acidez titulable, textura, contenido de fibra y concentración nutrimental. Además de cuantificar el consumo de agua en una plantación de nopal verdura (*Opuntia ficus indica* L.). Para ello se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas, donde en la parcela grande se estudió la frecuencia de riego cuando la tensión en el suelo era de 35 y 70 cb, y en la parcela dividida la fuente de fertilización (composta, inoculación del hongo micorrícico *Glomus mosseae*, fertirriego, composta más inoculación, composta más urea y superfosfato de calcio triple, estiércol y triple 17) y un testigo. En rendimiento el efecto estuvo dado por la fuente de fertilización, siendo el de mayor rendimiento el tratamiento estiércol y triple 17 (266 t ha⁻¹). Con relación a índice de color, acidez titulable, contenido de fibra soluble e insoluble y concentración nutrimental en el cladodio, la respuesta fue significativa por la interacción de los dos factores estudiados. Los tratamientos sobresalientes fueron estiércol más triple 17, composta más superfosfato de calcio triple y fertirriego con la mayor frecuencia de riego (4 riegos mes⁻¹). Con una lamina anual de 392 mm y una lámina diaria de 1.1mm.

Palabras clave: Productividad, calidad, micorriza, consumo de agua.

FERTILIZATION AND IRRIGATION FREQUENCY IN VEGETABLE PRODUCTION PRICKLY PEAR (*Opuntia ficus indica* L.) IN PLASTIC TUNNEL

Sofía Flores Barrera, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2013

ABSTRACT

In order to know the prickly pear response to organic and chemical fertilization, including inoculation of mycorrhizal fungi and frequency of irrigation under plastic tunnel conditions. From 2010-2011 we evaluated the performance and quality parameters: color index, pH, titratable acidity, texture, fiber content and nutrient concentration. In addition to quantifying water consumption in a plantation of prickly pear (*Opuntia ficus indica* L.). To do this we used a split-plot experimental design, where the main plot was examined irrigation frequency when the voltage on the ground was 35 and 70 cb, and the split-plot fertilization source (compost, inoculation of the fungus mycorrhizal *Glomus mosseae*, fertigation, more inoculation compost, compost plus urea and triple calcium superphosphate, triple-manure and 17) and a control. In performance the effect was given by the fertilizer source, being the highest performing triple-manure treatment 17 (266 t ha⁻¹). Ratio relative to color, acidity, content of soluble and insoluble fiber and nutrient concentration in the cladode significant responses by interaction of the two factors studied. The treatments were manure plus triple outstanding 17 compost more triple calcium superphosphate and as often fertigation irrigation (4 irrigations month⁻¹). With an annual laminated sheet 392 mm and 1.1mm daily.

Keywords: Productivity, quality, mycorrhiza, water consumption.

1. INTRODUCCIÓN

Ante el creciente problema de escasez de agua, aunado a la contaminación de terrenos agrícolas y mantos freáticos por exceso de la aplicación de fertilizantes nitrogenados principalmente, la investigación para la producción de alimentos a nivel mundial está encaminada a encontrar estrategias de fertilización y uso eficiente del agua que garantice la productividad de los cultivos, la sustentabilidad del suelo, la inocuidad del producto y los ingresos del productor.

El nopal para verdura, es una planta adaptada a regiones con escasez de agua, pero con potencial para incrementar su productividad bajo cubierta de plástico con riego por goteo. Además, en la actualidad con el aumento de la población y estudios médicos que avalan las propiedades hipoglucemiantes del nopal, se ha incrementado la demanda de éste como complemento alimenticio en los estados del centro de México, donde se consume más y en países como Japón, Canadá, Estados Unidos y otros de la comunidad europea; a tal grado que se ha llegado a exportar 4000 toneladas de nopalitos al año (Ríos y Quintana, 2004).

México es el principal productor de nopal verdura a nivel mundial, con una superficie cosechada de 12,180 hectáreas de las cuales el 77% es bajo condiciones de temporal y el 23 % restante con riego. Las principales entidades productoras son el Distrito Federal, Morelos y Estado de México (SIAP, 2011).

Para producir nopal verdura es común la aplicación de abonos orgánicos de varias fuentes, tales como el estiércol de bovinos, ovinos, caprinos y gallinaza, solos

o combinados con fertilizantes químicos como urea, triple 17 y otros. Además algunos productores incorporan al suelo los cladodios recién podados. Investigaciones realizadas en México sobre este cultivo han demostrado que la producción de nopalitos responde satisfactoriamente tanto a la fertilización orgánica, como a la química antes y después de la plantación (Orona *et al.*, 2004; Valdez *et al.*, 2009 y Blanco *et al.*, 2012). Por otro lado, se ha observado que la incorporación de abonos orgánicos composteados e inoculación de hongos micorrícicos, son benéficos para los cultivos en general, la sustentabilidad del suelo y la productividad de los sistemas agrícolas. En relación a lo anterior y con referencia a la frecuencia y cantidad óptima del agua de riego en las plantaciones de nopal verdura, existe poca información, la más reciente indica que la mejor producción de nopalitos (100.2 a 100.4 t ha⁻¹ en promedio) se obtuvo con 100.7 t ha⁻¹ de estiércol de bovinos y 5,340 m³ ha⁻¹ de agua aplicada con riego por goteo (Orona *et al.*, 2003; Orona *et al.*, 2004 y Flores *et al.*, 2005,).

1.1. OBJETIVO GENERAL:

Evaluar el rendimiento y calidad del nopal verdura en respuesta a la frecuencia de riego y fuente de fertilización.

1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS:

1. Determinar el rendimiento y calidad del nopal para verdura en respuesta a la fertilización orgánica, química y con inoculación del hongo micorrícico *Glomus mosseae*; con dos frecuencias de riego.
2. Determinar la composición nutricional del nopalito, en respuesta a la fertilización orgánica, química e inoculación de *Glomus mosseae* con dos frecuencias de riego.
3. Cuantificar el consumo mensual y anual de agua en nopal verdura, con la aplicación del riego a 35 y 70 cb de tensión de humedad en el suelo.

1.3. HIPOTESIS

El rendimiento y la calidad de nopal verdura, es mayor con la aplicación de la fertilización orgánica e inoculación del hongo micorrícico *Glomus mosseae* en interacción con la mayor frecuencia de riego.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Producción de nopal verdura en México

México ocupa el primer lugar a nivel mundial como productor de nopal verdura con un consumo per cápita de 6.4 kg por año (SAGARPA, 2011).

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).

El cultivo de nopal en México, comenzó con la aparición de la agricultura que data desde hace aproximadamente 4,500 años, en huertos familiares. Las plantas de nopal sobresalían al producir nopalitos y tunas para autoconsumo (Flores y Olvera, 1995).

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), ya que abastecen el 70 % del consumo a nivel nacional, empleando básicamente especies como: *Opuntia ficus indica*, *Opuntia robusta* y *Nopalea cochenillifera* (Blanco *et al.*, 2012). En sistemas de producción a cielo abierto donde con densidades de 12,000 a 16,000 plantas de nopal por hectárea, se incorporan fertilizantes químicos y abonos orgánicos, se obtienen de 45 a 60 t ha⁻¹ de cladodios

comestibles por año (Aguilar, 2007). Actualmente éstos rendimientos han sido superados y podrían aumentarse si se establecen plantaciones manejadas con otras tecnologías alternativas, tales como túneles de plástico y riego por goteo o fertirriego. Al respecto las investigaciones de Blanco *et al.* (2012); Valdéz *et al.* (2009) y Orona *et al.* (2004) indican que se puede producir más de 200 t ha⁻¹ de nopalitos por año. Grajeda y García (1991) veinte años atrás reportaron esa posible producción de 5 a 8 t ha⁻¹ por semana durante el año, en túneles con plástico transparente, con *Opuntia inermis* conocida como Tlaconopal y Copena F-1, con una densidad de plantación de 40,000 plantas por hectárea (25 cm entre planta y 1m entre hileras), fertilizando con la fórmula 120-100-00, en la región de Chapingo, Estado de México.

2.2. Fertilización y riego en nopal verdura

En las plantaciones de nopal verdura en México se ha venido utilizando abonos orgánicos y/o fertilizantes químicos para la producción de cladodios comestibles con resultados favorables en ambos casos. Las fuentes y dosis que se manejan son diversas de acuerdo a la disponibilidad de materiales, costos y condiciones del suelo, densidad de plantación, edad de la planta y clima del sitio donde se ha llevado a cabo los experimentos. Con el transcurso del tiempo y la experiencia de los productores e investigadores se ha observado que para una producción continua de cladodios comestibles es necesario fertilizar y que la tensión de humedad del suelo no sea alta. En general las fórmulas de fertilización aplicadas han sido diferentes (N-P₂O₅-K₂O). Un ejemplo de ello son: 160-0-0 (Nobel *et al.*, 1987), 224-0-0 y 224-112-00 (González y Everitt, 1990), 30-0-0, 60-0-0, 120-0-0 y 60-20-35 (Nerd y Mizrahi, 1992) y en la mayoría de los casos con resultados satisfactorios.

Valdéz *et al.* (2007) mencionan que la fertilización en plantaciones de nopal se ha basado solamente en experiencias empíricas con el cultivo y la clase de suelo; ya que muchas veces no se tiene ni el análisis de suelo, ni las dosis de fertilización aplicadas, por lo que la información disponible es más cualitativa.

Existen pocos estudios de los requerimientos nutrimentales del nopal, de acuerdo al suelo donde se encuentran las plantaciones, así como de la presencia de sinergismos y antagonismos, para poder corregir adecuadamente desórdenes nutricionales, por medio de la incorporación de fertilizantes químicos, abonos orgánicos o ambos, con la finalidad de disminuir el riesgo de sobre fertilizar o sub fertilizar (Blanco *et al.*, 2012).

Por otro lado Trejo *et al.* (2012), estudiaron la respuesta de la producción de forraje de *Opuntia ficus indica* L., en la región de la Comarca Lagunera, Durango, México, con tres dosis de estiércol solarizado: 20, 40 y 60 t ha⁻¹, un testigo absoluto sin fertilización y un testigo químico con la fórmula 100-100-00, con cuatro densidades de plantación de 4,435, 8,871, 8,887 y 13,323 plantas ha⁻¹, bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Las variables de respuesta fueron: rendimiento de cladodios para forraje y desarrollo vegetativo (ancho, largo y grueso del cladodio). Los autores encontraron que el mejor tratamiento fue el de 60 t ha⁻¹ de estiércol solarizado, que rindió 90.2% más que el testigo en el año 2008, 48.9% en 2009 y 59.6 % en 2010; superó también a los demás tratamientos y fue similar al tratamiento químico solamente en el año 2009. Con la densidad de plantación de 13,323 plantas ha⁻¹ el rendimiento fue superior en

249.7 % con respecto a la densidad menos rendidora en 2008, 107.5% en 2009 y 150.3 % en 2010.

También Salazar *et al.* (2010), evaluaron el rendimiento del nopal forrajero (*Opuntia ficus indica*) variedad lisa forrajera en Gómez Palacio Durango, con tres dosis de estiércol solarizado: 20 t ha⁻¹, 40 t ha⁻¹ y 60 t ha⁻¹, y una fórmula de fertilizante químico (100-100-0), con diferentes densidades de plantación (4,444 plantas ha⁻¹, 10,000 plantas ha⁻¹, 6,111 plantas ha⁻¹ y 7,777 plantas ha⁻¹). Con el tratamiento de 60 t ha⁻¹ y densidad de 10,000 plantas ha⁻¹, ellos obtuvieron un rendimiento de 35.6 t ha⁻¹, con un efecto grande de la densidad de plantación. Estos investigadores concuerdan con otros autores, que la planta de nopal responde favorablemente a la aplicación de abonos orgánicos, y que éstos además aumentan la vida productiva de la planta.

Por otra parte Blanco *et al.* (2009), señalan que la fertilización debe basarse en los requerimientos nutrimentales del cultivo de nopal, en función de la densidad de plantación. Esto coincide con Valdéz *et al.* (2009), quienes han investigado durante varios años, las concentraciones de N, P, K, Ca, y Mg en cladodios de un año de edad para nopal (*Opuntia ficus-indica* L.) y rangos de suficiencia, asociados a los estándares de la Técnica de Línea Curva Límite (TCL), que permite estimar los requerimientos nutrimentales en términos de la disponibilidad de cada nutriente para el cultivo de nopal. El resultado indicó que en una plantación con 10,000 plantas, en el suelo debe existir la disponibilidad de 237, 71, 1124, 954 y 417 kg ha⁻¹

de N, P, K, Ca y Mg respectivamente, para obtener de 56 a 60 kg planta⁻¹ de nopalitos en materia fresca.

Aguilar (2007) encontró que la brotación de nopalitos es similar cuando se utiliza composta a razón de 3.3 t ha⁻¹, o cuando se aplica estiércol de bovino húmedo a una dosis de 800 t ha⁻¹, en áreas productoras de nopal en Milpa Alta, D.F. Sin embargo, en cuanto al costo por hectárea, en el año 2005, la aplicación de estiércol húmedo fue de \$ 91,140, mientras que la de composta fue solamente de \$ 19,920. Es decir, con la composta el costo fue 78.2 % menor con un rendimiento de 45 a 60 toneladas por hectárea por año, lo cual coincide con Fernández *et al.* (1990) quienes 17 años atrás, reportaron que en nopal verdura la fertilización química u orgánica es indispensable para que los cladodios puedan desarrollarse adecuadamente, siendo la orgánica la de mayor costo, ya que se llega a aplicar hasta 800 t ha⁻¹ de estiércol de bovino cada año. Así mismo, Flores *et al.* (2005) evaluaron la producción temporal de cuatro cultivares de nopal, en Gómez Palacio Durango, México, bajo el sistema de riego por goteo superficial en tres niveles de humedad, 30, 45 y 60 % de la evaporación mensual acumulada del tanque tipo A, aplicando 17.36 kg m⁻² de estiércol bovino seco. Ellos encontraron una diferencia significativa en la producción mensual, sobre todo en los meses más calurosos de julio y agosto, con el riego aplicado en equivalencia al 45 % de la evaporación (100 mm promedio mensual). De los cultivares evaluados, sobresalió el cultivar de *Opuntia ficus indica*, con una producción media de nopalitos de 3,630 g m⁻². Así también Orona *et al.* (2004) evaluaron en Gómez Palacios, Durango, México, tres niveles de humedad 30, 45 y 60 % de la evaporación diaria del agua medida en un tanque de evaporación tipo "A",

en cladodios de *Opuntia ficus-indica* 'Variedad 69'. Con un diseño experimental en bloques completos al azar, con tres repeticiones por tratamiento, donde se agregó 57 t ha⁻¹ de estiércol bovino en enero del año 2000 y 50 t ha⁻¹ en abril del año 2001, considerando una densidad de plantación de 30,000 plantas por hectárea, se evaluó mensualmente el rendimiento de nopal verdura en fresco y su equivalencia en materia seca, para determinar el contenido de N, P y K con métodos analíticos en el laboratorio y la extracción nutrimental. No hubo diferencias significativas a la absorción de nutrientes por el cultivo de nopal durante el año, sin embargo, por los rendimientos obtenidos, ellos recomiendan aplicar para nopal verdura una lámina de considerando el 45% de la evaporación diaria con una fertilización de 161, 60.7 y 914 kg ha⁻¹ de N, P y K respectivamente. Además Murillo *et al.* (2003) mencionan que en el caso del nopal cultivado, los estudios de fertilización y nutrición son pocos y muy diferentes en comparación con otros cultivos, ya que se han aplicado diferentes fórmulas de fertilización. Con base al análisis de suelo, todos han tenido respuestas positivas, de acuerdo al número de brotes vegetativos e incremento significativo de materia seca. Por otro lado, con base en el análisis de tejido vegetal, los estudios mostraron que el nitrógeno tiende a concentrarse más en cladodios jóvenes que en maduros y el calcio tiende a acumularse más en cladodios cultivados y se incrementa con la edad del tejido. Por ello, la determinación de concentraciones óptimas relacionadas con altos rendimientos en nopal verdura, debe hacerse con procedimientos estandarizados considerando la parte de la planta, edad, etapa de desarrollo y propósito de la plantación para interpretar adecuadamente los resultados. Con referencia a la aplicación de riego en la producción de nopalitos, mencionan que la literatura es prácticamente inexistente y que el productor de nopal

bajo riego en el país, riega cuando tiene agua disponible o cuando lo considera conveniente.

Orona *et al.* (2003), al evaluar la productividad del agua en el cultivo de nopal con riego por goteo en la Comarca Lagunera, utilizando cuatro variedades de nopal, dos sistemas de riego: superficial y subsuperficial con cintilla, y tres niveles de humedad equivalentes a 30, 45 y 60 % de la evaporación diaria del agua medida en un tanque evaporímetro tipo "A", encontraron que la variedad de *Opuntia ficus indica* fue más productiva con ambos métodos de riego. La producción promedio fue de 100.4 t ha⁻¹ con una productividad de 18.8 kg de nopalito por m³ de agua. En términos de volumen de agua utilizada por hectárea correspondió a 5,340 m³, que es inferior al requerido en cultivos como maíz, frijol, hortalizas y forrajes cuyo requerimiento oscilan entre 5,500 y 18,000 m³.

2.3. Biofertilización con hongos micorrícicos

Una micorriza es la asociación mutualista establecida entre un hongo del suelo y la raíz de una planta. Se reconocen tres grupos de micorrizas de acuerdo a la estructura que forman: ectomicorrizas, ectoendomicorrizas y endomicorrizas (Read, 1999).

De acuerdo a reportes científicos las asociaciones que forma el hongo *Glomus mosseae* se ubica dentro de las endomicorrizas y éstas, se encuentran en la mayoría de los suelos y en el 90% de las plantas; proporcionando efectos benéficos para las plantas, que van desde el incremento en la absorción de nutrimentos en el suelo, el

mejoramiento de las relaciones hídricas, hasta la protección contra agentes patógenos en la raíz (Aguilera *et al.*, 2008).

La colonización de hongos micorrícicos en el suelo, pueden mejorar la nutrición mineral, potencial hídrico, tasa de intercambio de CO₂, transpiración, conductancia estomática y eficiencia en el uso del agua en la planta, por lo que puede ser tolerante a la sequia y salinidad (Asghari, 2008).

En los cultivos, las asociaciones con hongos micorrícicos puede ser la clave para disminuir la cantidad de fertilizantes, especialmente fosfatos; ya que se ha observado que permiten ahorrar hasta un 50% de los productos químicos utilizados como insumos, lo que influye en los costos y en una agricultura sostenible y ecológicamente más sana. Además, las micorrizas mejoran la calidad biológica de la planta en cuanto a altura, vigor, área foliar e incremento del rendimiento entre el 15 y 50 % (Yolai, 2009).

Por otro lado Harris, *et al.* (2009), consideran que la eficiencia simbiótica entre una planta de interés y la especie de hongo micorrícico con la que esté asociada, depende de las condiciones adversas en las que se encuentre como sequia o salinidad; ya que aún en esas condiciones los hongos micorrícicos son capaces de mejorar el crecimiento y el estado hídrico de la planta.

Se ha encontrado que de acuerdo al contenido de N, P₂O₅ y K₂O en el suelo, el hongo micorrícico *Glomus mosseae* incrementa la altura de la planta y el peso fresco

y seco de las hojas, también aumenta el contenido de P, K, Cu y Zn en hojas y de Ca, Cu y Zn en el sistema radical; ya que la hifa externa de los hongos micorrizicos endomicorrizicos tiene la capacidad para absorber y translocar nutrimentos como N, P, K, Ca, Mg, Si, Cu, Zn, B y Fe (Marschner and Dell, 1994).

2.4. Calidad del nopal verdura

La palabra “calidad” proviene de *qualitas* en latín que significa atributo o naturaleza de un objeto. Actualmente se define como el grado de cumplimiento de varias normas que determinan la aceptación por el consumidor de un determinado producto. Dentro de los componentes de calidad se encuentra la apariencia, sabor, valor nutritivo e inocuidad principalmente. Los productos que se consumen en fresco como las hortalizas tienen más atención en la calidad que se ofrece a los consumidores; ya que se hace énfasis en que sean inocuos, nutritivos, frescos y con propiedades funcionales (FAO, 2003).

En México existe una norma mexicana para productos alimenticios no industrializados de consumo humano que se produzcan y comercialicen en territorio nacional donde se establece las condiciones y características que debe reunir las principales variedades del nopal verdura de los géneros *Opuntia* spp y *Nopalea* spp. (NMX-FF-068-SCFI-2006). Se define el nopal verdura como los cladodios jóvenes (brotes tiernos) de la familia de las Cactáceas de los géneros *Opuntia* y *Nopalea* spp. Por el grado de calidad se clasifican como: México Extra, México 1 y México 2; por tamaño (longitud en cm del cladodio) A: 25 o más, B: 18 a 25, C: 11 a 18 y cambray 7 a 11. Otras especificaciones importantes que se deben considerar son: estar

frescos, sanos, enteros, con consistencia firme, bien formados, tener sabor, olor y color característicos de la variedad y con procedencia sana sin riesgos por manejo inapropiado de las aguas de riego, estiércoles o contaminación microbiana directa o indirecta de los cladodios antes y durante la recolección.

De acuerdo con Blanco *et al.* (2012), en los sistemas de producción de nopal verdura, la calidad sanitaria es prioritaria para evitar problemas de salud pública. Además, en los cladodios, el color, la textura, la acidez, el contenido de fibra y la concentración de nutrimentos son factores importantes en la calidad de los nopalitas; ya que el ser humano consume los alimentos en fresco considerando que de ellos va obtener los nutrimentos esenciales para el buen funcionamiento de su organismo. Sin embargo, las plantas dependen de la disponibilidad de nutrientes esenciales en el suelo, el cual si es de baja fertilidad, da lugar a plantas con bajo contenido nutricional que no van cubrir las necesidades del ser humano (Rodríguez *et al.*, 2011). En caso contrario cuando existe exceso de algún determinado nutrimento en el suelo, también puede ser un problema, Murillo *et al.* (2003), quienes consideran que en las plantaciones de nopal verdura, se debe ser precavido en la fertilización nitrogenada; ya que el nopal tiene la particularidad de absorber y acumular nitratos en sus cladodios tiernos y en grandes cantidades puede ser tóxico para las personas y animales que los consuman.

En la actualidad la selección de productos alimenticios se basa en ciertas propiedades para la aceptabilidad de los consumidores, dependiendo de las propiedades organolépticas (color, aroma, sabor, estructura); propiedades

nutricionales (contenido de proteínas, vitaminas, minerales, grasas, fibra, etc.); propiedades higiénicas (libre de plagas y enfermedades, además sin residuos de agroquímicos, nitratos y metales pesados); propiedades funcionales (aptitudes para un proceso metabólico, resistencia o tolerancia del organismo humano debido a su papel como reductor de azúcar para el control de diabetes, colesterol, hipertensión, antioxidante, etc.); así como con compatibilidad ambiental o productos, obtenidos sin haber alterado el ambiente (Abakala, 1999).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Características del sitio experimental

3.1.1. Localización

La investigación se realizó en un lote experimental del Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, ubicado en las coordenadas 19° 27'30" Latitud Norte y 98° 54' 14" Longitud Oeste, a 2241 m.s.n.m.

3.1.2. Clima

El clima es templado semiseco y precipitación promedio de 686 mm, de relieve plano con pendiente menor al 2%. De 2010 a 2011, la temperatura media anual fue de 15.9 °C, la máxima de 31°C y la mínima de - 4.2°C (Estación Meteorológica, Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados). La temperatura registrada dentro del túnel con data logger marca HOBO, modelo U12, se muestra en la Figura 1.

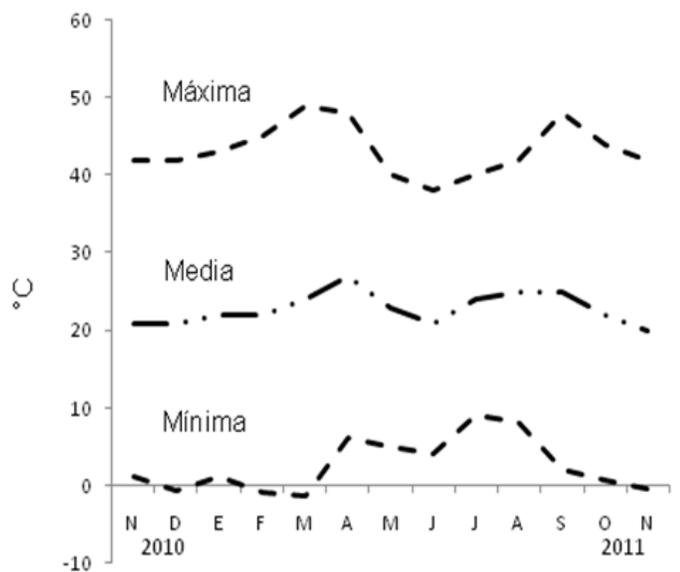


Figura 1. Temperatura máxima, media y mínima promedio mensual, registradas dentro del túnel de noviembre 2010 a noviembre 2011.

3.1.3. Suelo

El suelo es clasificado como fluvisol mólico, pertenece a la serie arenal, migajón arenoso típico (AR), es de color pardo, profundo a moderadamente profundo, con poco contenido de materia orgánica, alcalino y de textura migajón arenoso a arena (Ortiz, 1979). En la profundidad 0-39 cm, muestran una estructura débilmente desarrollada, con consistencia suelta y permeabilidad moderada. En la capa 2C (61-77cm), presenta una consistencia extremadamente firme y permeabilidad lenta con una capa cementada con manganeso (Ortiz, 1999; López, 2001). La densidad aparente del suelo es de 1.32 gcm^{-3} , la conductividad eléctrica de 1.5 dSm y pH de 8.2.

3.2. Material Vegetal

El material utilizado fue plantas de nopal (*Opuntia ficus indica* L.) de 3 años de edad, establecidas en hileras de norte a sur, con las caras de los cladodios hacia el este y oeste. La distancia de plantación fue 50 cm entre plantas y 1m entre hileras, la plantación se manejó bajo cubierta de plástico blanco con 30% de sombra, en túneles de 4m de ancho por 23 m de largo y 1.90m de altura.

3.3. Tratamientos y diseño experimental

Los factores de estudio fueron; frecuencia de riego con dos niveles (cuando la tensión de humedad en el suelo llegó a 35 y 70 cb) y fuente de fertilización con 7 niveles, generando 14 tratamientos (Cuadro 1), que consistieron en la aplicación de 6 fuentes de fertilización y un testigo sin fertilizar; en combinación con la frecuencia de riego. El arreglo de los tratamientos fue bajo un diseño experimental de parcelas

divididas, con tres repeticiones. La parcela grande correspondió a la frecuencia de riego y la parcela dividida a la fuente de fertilización. La unidad experimental por tratamiento estuvo compuesta por 5 plantas de nopal, y la parcela útil fueron las 3 plantas centrales.

Cuadro 1. Lista de tratamientos para evaluar el efecto de la frecuencia de riego y fuente de fertilización, determinados con dos tensiones de humedad.

Tratamiento (número)	Tensión de humedad en el suelo antes de regar (cb)	Fuente de fertilización
1	35	Composta
2	35	Micorriza
3	35	Fertirriego
4	35	Composta y micorriza
5	35	Composta más urea y superfosfato de calcio triple
6	35	Estiércol bovino más triple 17
7	35	Testigo
8	70	Composta
9	70	Micorriza
10	70	Fertirriego
11	70	Composta y micorriza
12	70	Composta más urea y superfosfato de calcio triple
13	70	Estiércol bovino y triple 17
14	70	Testigo

3.4. Establecimiento de los tratamientos

En el mes de junio del 2010 fue instalado el sistema de riego por goteo y en el mes de agosto fue colocado el plástico y se instalaron dos tensiómetros, uno a 15 cm y el otro a 30 cm de profundidad para registrar la tensión de humedad en el suelo (Figura 2A). Además se dio un riego a punto de saturación del suelo (Figura 2B).

En los tratamientos de composta, fertirriego y composta más superfosfato de calcio triple, los requerimientos de 199 kg ha⁻¹ de nitrógeno, 65 kg ha⁻¹ de fósforo y 1015 kg ha⁻¹ de potasio, reportados por Orona *et al.* (2004) y Vázquez *et al.* (2009), fueron complementados con la aplicación de los fertilizantes multi NPK (13-0.86-36.7), fosfato monoamónico (12-26-0), nitrato de calcio (15.5-0-0-18), sulfato de potasio (0-0-43-18), urea (46-0-0) y superfosfato de calcio triple (0-46-0). Todos los tratamientos recibieron el riego por goteo y solo en el fertirriego se agregaron los fertilizantes en el agua.

La composta se aplicó a una dosis de 5 kg por planta que fue equivalente a 100 t ha⁻¹, distribuida en banda en el área de goteo, durante el mes de agosto de 2010. Lo anterior se hizo considerando el análisis químico de la composta (Cuadro 1A del apéndice).

La inoculación del hongo micorrizico *Glomus mosseae*, se hizo con 20 gramos de sustrato que contenía raíces de bálsamo (*Ipatiens balfourii*) con un 90 % de colonización (obtenido con la metodología de Philips y Hayman, 1970).

Donde se aplicó estiércol más fertilizante triple 17, se agregó estiércol seco de bovinos a razón de 100 t ha^{-1} y 1.6 t ha^{-1} del fertilizante triple 17, de acuerdo a la aplicación que hacen algunos productores de nopal para verdura.

En el tratamiento testigo solo se aplicó agua, durante el ciclo.



Figura 2. Implementación del experimento:(A) tensiómetros instalados, (B) riego de saturación del suelo antes de iniciar el experimento.

3.5. Manejo de la plantación

El riego se aplicó cuando la tensión de humedad en el suelo llegaba a 35 y 70 cb aproximadamente.

Las malezas fueron removidas manualmente cada 30 días.

Los cladodios fueron cosechados del segundo nivel o un piso de cosecha de 1m, cuando los nopalitos alcanzaron una longitud de 20 a 25 cm, de acuerdo a la norma mexicana (NMX-FF-068-SCFI-2006) para la comercialización. Al realizar la cosecha, los utensilios de corte de cladodios se desinfectaban con cloro para prevenir la transmisión de la enfermedad conocida como engrosamiento del nopal.

3.6. Variables de respuesta

- 1) Rendimiento
- 2) Índice de color
- 3) Acidez titulable
- 4) pH
- 5) Textura en cladodios
- 6) Contenido de fibra
- 7) Concentración de N, P, K, Mg, Ca, Fe, Mn, Zn y Cu
- 8) Consumo de agua

3.6.1. Rendimiento

Durante el periodo de noviembre 2010 a noviembre 2011, se cosecharon los nopalitos de 20 – 25 cm de longitud en la parcela útil. En cada corte se pesaron los cladodios en una balanza electrónica marca OHAUS y se fue registrando el peso de los nopalitos por planta, por tratamiento y por repetición. En la estimación de t ha⁻¹ se consideró una densidad de plantación de 20,000 plantas ha⁻¹.

3.6.2. Índice de color

Para obtener el índice de color en cladodios de nopal, se utilizó un colorímetro Hunter Lab, marca Reston, modelo D25-PC2 y 3 nopalitos por planta de la parcela útil, en cada tratamiento y con tres repeticiones. Las mediciones se realizaron en las dos caras de los cladodios, promediándose las lecturas (Figura 3A), como los datos obtenidos de **a** fueron menores de cero, se calculó el índice de color con la relación **a/b** de acuerdo con Mc Guire (1992) y Arias *et al.*(2000).

Para ubicar el color de los cladodios de nopal verdura en un plano tridimensional, se utilizaron Chroma y Angulo Hue, obtenidos con las siguientes formulas:

$$IS \text{ o Chroma} = \sqrt{a^2 + b^2} \quad \text{Ángulo Hue} = \text{Arco Tangente} \left(\frac{b}{a} \right)$$

Dónde:

IS = Índice de saturación

Ángulo Hue = Angulo con respecto al eje "a"

a y b son valores positivos o negativos obtenidos del colorímetro, dependiendo del color de la hortaliza o fruto medido.

3.6.3. Acidez titulable

Con base al método AOAC (2000) se obtuvo el porcentaje de acidez, utilizando 3 nopalitos con espinas, por tratamiento y en cada repetición. Se utilizó la siguiente formula:

$$\% \text{ de acidez} = \frac{(mLNaOH \text{ gastados})(NNaOH)(Meq \text{ de ácido})(V)(100)}{\text{Peso de la muestra (alícuota)}}$$

Dónde:

V= Volumen total (mL de agua + g de pulpa)= 57mL

Meq del ácido= Miliequivalente del ácido málico= 0.067

N= Normalidad de hidróxido de sodio (NaOH)= 0.1

Peso de la muestra= 10 g

Alícuota= 5 mL

3.6.4. pH

La medición de pH se hizo con un potenciómetro BECKMAN, modelo 40 pH Meter, utilizando un extracto a partir de 10 g de nopal fresco, obtenidos de 3 nopalitos con espinas por tratamiento y con 3 repeticiones; homogenizado con 50 mL de agua destilada que posteriormente se dejó reposar por 5 minutos y en seguida se realizaron las mediciones (Método AOAC, 2000).

3.6.5. Textura

Para determinar la resistencia al corte que ejerce la cutícula en Newton de los cladodios, se utilizó un texturómetro universal FORCE FIVE MODEL FDV, con puntal de cincel de 3cm. En 3 nopalitos por tratamiento y por repetición, se cortaron trozos de 4 cm de ancho a lo largo de cada cladodio, que sirvieron de material para realizar 3 cortes; uno en cada extremo y otro en la parte media (Figura 3B).

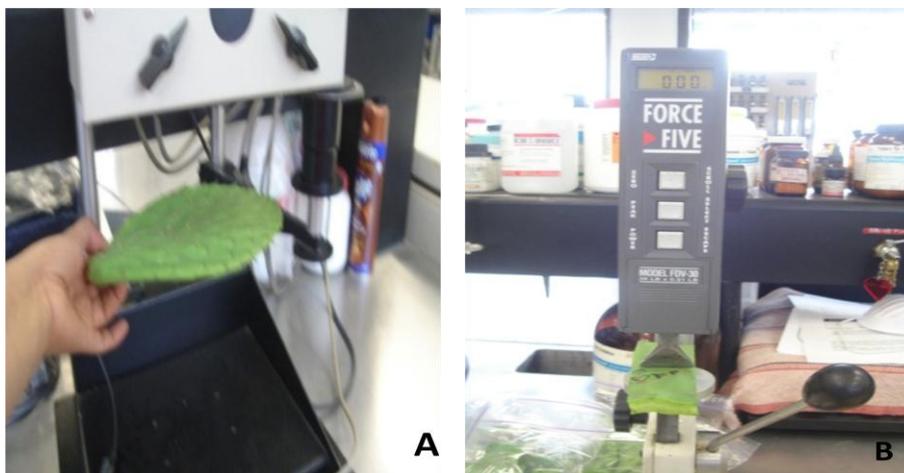


Figura 3. Medición de color con el colorímetro Hunter Lab (A) y medición de textura del nopal verdura con el texturometro (B).

3.6.6. Contenido de Fibra

El porcentaje de fibra en el nopal verdura, se obtuvo por el método de Van Soest, que determina la fibra detergente neutro o soluble y fibra detergente ácido o insoluble (Van Soest, 1963).

Se utilizó un analizador de fibra marca Labconco, modelo A200 y sus accesorios, un equipo de vacío múltiple para filtrado D75 y block de aluminio. Para ambas determinaciones, se pesó 0.3 g de muestra seca a 70°C en una estufa marca STENER, modelo 117M de secado rápido y molida en un molino marca THOMAS-WILEY, modelo 4 con criba de 1mm. Obtenida de 3 cladodios con espinas de 20-25 cm de longitud, cosechados al azar en la parcela útil de cada tratamiento con tres repeticiones.

Para obtener la fibra detergente neutro o porcentaje de constituyentes de la pared celular (CPC) y la fibra detergente ácido, se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$CPC = \frac{[(\text{papel 2} + \text{muestra}) - \text{papel 1}]}{\text{Pesodelamuestra}} 100$$

Dónde:

Papel 2= peso del papel secado en la estufa

Muestra= peso de la muestra secada en la estufa

Papel 1= Peso inicial del papel.

Peso de la muestra=Peso inicial de la muestra

$$\text{Fibra detergente ácido (FDA)} = \frac{(PCF - PIC)}{PS} 100$$

Dónde:

PCF=Peso del crisol o papel secado en la estufa más la fibra.

PIC=Peso inicial del crisol o papel.

PS=Peso de la muestra secada en la estufa

3.6.7. Concentración de Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Magnesio (Mg), Calcio (Ca), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Zinc (Zn) y Cobre (Cu) en el cladodio

Para cada tratamiento y en cada repetición, se cosecharon al azar 3 cladodios de 20 a 25 cm de longitud, se lavaron y secaron a la sombra, para posteriormente deshidratarlos en una estufa STENER modelo 117M a una temperatura de 70°C por 48 horas. En seguida se procedió a moler los cladodios deshidratados en un molino de acero inoxidable marca SIEMENS, modelo ASKM con tamiz de 2mm. Las muestras molidas fueron colocadas en sobres para su posterior análisis en el laboratorio.

La determinación del nitrógeno (N), se hizo por el método Kjeldahl (Bremner, 1965). En la destilación se utilizó hidróxido de sodio y finalmente se tituló con ácido sulfúrico de 0.0476 de normalidad. Se utilizó la formula siguiente:

$$\% N = mLdeH_2SO_4 \times NdeH_2SO_4 \times 1.4 / 0.1g$$

Dónde:

% N= porcentaje de nitrógeno

mL de H₂SO₄= mililitros de ácido sulfúrico

N de H₂SO₄= normalidad del ácido sulfúrico

0.1 g= 0.1 gramos de la muestra molida

Para el caso de fósforo (P), la determinación se realizó por el método de Alcántar y Sandoval (1999). Donde el porcentaje de P es obtenido:

$$\% P = \left(\frac{1}{pendiente} \right) \left(\frac{Vol\ de\ digestión}{0.5 \times 1 \times 10^6} \right) \left(\frac{Vol\ de\ dilución}{1mL\ de\ solución\ madre} \right) (100)(lectura)$$

El potasio (K), se determinó por emisión atómica (Chapman, 1973). Se obtuvo con la siguiente formula:

$$\% K = \left(\frac{Vol\ de\ digestión}{peso\ de\ la\ muestra \times 1 \times 10^6} \right) \left(\frac{Vol\ de\ dilución}{aliquota} \right) (100)(lectura)$$

Los siguientes elementos: Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn se determinaron por absorción atómica (Bradfield y Spencer, 1965).

La concentración de Ca y Mg se calculó con las siguientes formulas:

$$\% Ca = \left(\frac{Voldedigestión}{pesodelamuestrax\ 1 \times 10^6} \right) \left(\frac{Vol\ de\ dilución}{aliquota} \right) (100)(lectura)$$

$$\% Mg = \left(\frac{\text{Vol de digestión}}{0.5 \times 1 \times 10^6} \right) \left(\frac{\text{Vol de dilución}}{\text{aliquota}} \right) \left(\frac{\text{Vol de dilución}}{\text{aliquota}} \right) (100)(lectura)$$

Para el Mg, la fórmula se plantea de esa manera, por la doble dilución que se hizo al tomar la lectura.

Las determinaciones de Fe, Cu, Mn y Zn fueron hechas directamente de la solución madre usando el espectrofotómetro de absorción atómica, y se utilizó la siguiente formula:

$$\text{mg kg}^{-1} \text{ del elemento} = \frac{\text{Vol de digestión}}{\text{Pes de la muestra}} (lectura)$$

3.6.8. Consumo de agua

Para determinar la cantidad de agua de riego, se consideró una densidad aparente del suelo de 1.32 g/cm³, un gasto de los goteros de 4 litros por hora, con 76 goteros en una superficie de plantación de 13.5 m², con 35 plantas. Se utilizaron tensiómetros y una curva de retención de humedad del suelo para el sitio experimental a la profundidad de 0-30 cm. Esta curva fue elaborada en el Laboratorio de Física de Suelos del Colegio de Postgraduados, de acuerdo al Diario Oficial 2002 para la determinación de curvas de retención de humedad, mediante el método de olla y membrana de presión, usando como base el porcentaje de humedad a capacidad de campo y punto de marchitez permanente, ajustada con una regresión simple.

Para obtener la láminas de reposición de agua en el riego, cuando se alcanzaba las tensiones de control establecidas, se utilizaron los parámetros de contenido volumétrico de humedad a capacidad de campo (θ_{cc}) = contenido de humedad gravimétrico (18.17) multiplicado por la densidad aparente del suelo (1.32 g cm³)=0.2468. El contenido de humedad gravimétrico fue obtenido de los datos proporcionados en el laboratorio de física de suelos (Cuadro 2). También se usaron esos datos para obtener el contenido de humedad volumétrico correspondiente a la lectura en la que se encontraba el tensiómetro al momento de regar (θ_i). La lámina de riego neta (L_r), el volumen de reposición (V_r) de agua utilizada por el cultivo en una profundidad de suelo de 0-30 cm, y el tiempo de riego (T_r), se calcularon de la siguiente manera:

- a) Calculo de la lámina de riego $L_r = \theta_{cc} - \theta_i (Pr)$
- b) Volumen de agua a reponer (V_r): $= L_r(\text{superficie})$
- c) Tiempo de riego (T_r): $T_r = V_r / \text{caudal}(304 Lx \text{ hora})$

De acuerdo con Pizarro (1996), la evaporación o consumo de agua diaria (ETd) por el cultivo sin considerar las pérdidas, se calcula con la siguiente expresión:

$$ETd = \frac{L_r \text{ o dosis de riego en mm}}{\text{Intervalo de riego en dias}}$$

La lámina de riego bruta o de reposición será $L_{rb} = \frac{L_r}{cu}$ que es la lámina de riego bruta por reponer o dosis de riego por aplicar.

La lámina de riego neta se divide entre 0.90 que es el valor del coeficiente de uniformidad (cu), obtenido para el sistema de goteo utilizado.

Cuadro 2. Tensión y contenido de humedad a la profundidad del suelo de 0-30 cm.

Tensión (atm)	Contenido de Humedad (%)
15	9.60
12	9.85
10	10.06
9	10.18
7	10.48
5	10.90
3	11.59
2	12.19
1	13.42
0.9	13.64
0.8	13.90
0.72	14.16
0.7	14.23
0.69	14.26
0.68	14.30
0.6	14.64
0.5	15.23
0.4	16.19
0.38	16.37
0.37	16.64
0.36	16.82
0.35	17.02
0.34	17.26
0.33	17.52
0.3	18.70
0	32.00

Fuente: Laboratorio de física de suelos, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo.

3.7. Análisis estadístico

A las variables de respuesta se les realizó un análisis de varianza y comparación de medias con el método de Tukey ($\alpha = 0.05$), utilizando el paquete estadístico SAS para Windows versión 9.3.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La frecuencia de riego causo el mismo efecto en el rendimiento de nopal verdura, cuando se regó cada 7 días en la tensión 35 cb o 19 días en la tensión de 70 cb, pero por la fuente de fertilización fue diferente el efecto. El índice de color, la acidez titulable, fibra soluble e insoluble y concentración de macro y micro nutrimentos, fueron afectados por la frecuencia de riego, la fuente de fertilización y la interacción de ambos (Cuadros 3, 3A, 4 y 5). El pH y la textura del cladodio no fueron afectados.

Cuadro 3. Significancia del efecto de la frecuencia de riego y fuente de fertilización en rendimiento, índice de color, acidez titulable, pH, textura y contenido de fibra en nopal verdura (*Opuntia ficus indica* L.) bajo condiciones de túnel.

Factor	Rendimiento	Índice de color	Acidez titulable	pH	Textura	Fibra soluble	Fibra insoluble
Frecuencia de riego (A)	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Fuente de fertilización (B)	**	*	**	NS	NS	**	**
A x B	NS	*	**	NS	NS	**	**
C.V (%)	13.9	11.3	10.2	0.9	9.1	2.9	5.8
r ²	0.7	0.6	0.8	0.4	0.6	0.7	0.7

** Significativo a $p \leq 0.01$ * Significativo a $p \leq 0.05$ y NS, No significativo.

4.1. Rendimiento

El rendimiento de nopal verdura con el tratamiento de estiércol a razón de 100 t ha⁻¹, mezclado con fertilizante triple 17 a una dosis de 1.6 t ha⁻¹ fue superior con 69

t ha⁻¹ al resto de los tratamientos de fertilización (Figura 4). La mayor producción se debió por un lado a la disponibilidad de N, P, K que proporcionó el fertilizante químico triple 17, y por otro lado a que el estiércol también incrementó el contenido de N y propició una mayor retención de humedad en el suelo, lo que favoreció la disponibilidad de agua para la planta durante el ciclo de crecimiento. El rendimiento en un año con este tratamiento fue de 259 t ha⁻¹ en comparación con los rendimientos de 109.5, 112.2 y 105.7 t ha⁻¹, obtenidos por Vázquez *et al.* (2004); con dosis de estiércol de 200, 400 y 600 t ha⁻¹, respectivamente.

Cuadro 4. Efecto de la frecuencia de riego y la fuente de fertilización en el índice de color, acidez titulable y contenido de fibra en nopal verdura (*Opuntia ficus indica* L.), bajo condiciones de túnel

Frecuencia de riego en dos tensiones de humedad en el suelo	Fuente de fertilización*	Índice de color	Acidez titulable (%)	Contenido de fibra (%)	
				Soluble	Insoluble
7 días (35 cb)	Composta	0.65 ab	0.9 ab	32.02 ab	13.97 bc
	Micorriza	0.65 ab	0.8 b	24.01 c	12.81 cd
	Fertirriego	0.63 ab	1.0 ab	35.21 a	16.85 a
	C y M	0.72 ab	0.9 ab	31.04 ab	14.84 ab
	CMUSCT	0.81 ab	1.2 a	25.76 bc	12.58 cd
	E y T17	0.85 a	1.0 ab	25.55 bc	10.29 d
	Testigo	0.64 ab	1.0 ab	28.42 b	13.59 bc
19 días (70 cb)	Composta	0.65 ab	1.1 ab	31.01 ab	14.62 ab
	Micorriza	0.69 ab	0.9 ab	26.63 bc	14.11 ab
	Fertirriego	0.68 ab	1.0 ab	29.18 ab	12.77 bc
	C y M	0.74 ab	1.0 ab	31.13 ab	14.32 ab
	CMUSCT	0.71 ab	1.0 ab	31.23 ab	14.55 ab
	E y T 17	0.71 ab	1.0 ab	25.34 bc	13.24 bc
	Testigo	0.84 ab	0.9 ab	32.02 ab	13.97 bc

*Composta y Micorriza (C y M)), composta más urea y superfosfato de calcio triple (CMUSCT), estiércol y fertilizante triple 17 (E y T 17).

Media con la misma letra en la columna son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha = 0.05$).

El rendimiento en los tratamientos de composta, micorriza, fertirriego y composta más micorriza, también sobresalieron ya que tuvieron rendimientos mayores de 200 t ha^{-1} , que es importante para un productor; debido que el rendimiento promedio en nopal verdura a nivel nacional se ubica en 60 t ha^{-1} . La respuesta favorable en estos tratamientos se pudo deber a:

1. En la composta se atribuye a que las coberturas orgánicas generan condiciones favorables para los cultivos, por el aumento en la capacidad de retención de humedad del suelo (Castellanos, 1980; López, 2001). Además facilita la disponibilidad de nutrimentos al aumentar la cantidad de materia orgánica y disponibilidad de agua, propiciando una mayor fertilidad, y por lo tanto mayor productividad del suelo.
2. En fertirriego, se debe principalmente a que los fertilizantes son disueltos en el agua de riego; práctica que incrementa la eficiencia de la aplicación de fertilizantes químicos en el volumen de suelo humedecido donde están concentradas las raíces, lo que facilita la disponibilidad de nutrimentos por la planta.
3. Con la inoculación del hongo micorrícico se observó un incremento favorable en el rendimiento de nopal verdura (212 t ha^{-1}), cuando el intervalo de riego fue de 19 días, comparado con el rendimiento de 192

t ha⁻¹, al regarse con mayor frecuencia (tensión 35 cb). El incremento fue más pronunciado en los meses de marzo y abril (Figura 5B), lo cual pudo deberse a la asociación de planta-hongo micorrícico (*Glomus mosseae*), como lo menciona Harris *et al.* (2009), quienes encontraron que en condiciones de agobio hídrico los hongos micorrícicos arbusculares mejoran el estado hídrico y su crecimiento de la planta; ya que la simbiosis modifica la asimilación de nutrimentos y la adquisición y distribución de agua y de fotoasimilados. Además, con base a estudios ecofisiológicos en suelos colonizados con hongos micorrícicos, la simbiosis altera la tasa de movimiento del agua en las plantas, mejorando la hidratación en los tejidos (Augé, 2001). Así mismo en condiciones de agobio hídrico el desarrollo de micelios extra radicales permiten a las raíces mayor acceso al agua del suelo (Augé *et al.*, 2003; Augé, 2004) con lo cual se modifica positivamente el balance hídrico y nutricional de la planta, induciendo la absorción de nutrimentos de baja movilidad en el suelo como P, Zn y Cu (Cantrell y Linderman, 2001) y de N y K (Morte *et al.*, 2000; Ruiz-Lozano, 2003).

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 en ácido crasuláceo (Acevedo *et al.*, 1983; Cantwell *et al.*, 1992 y Rodríguez, 2009). Estas cualidades hacen que la planta de nopal sea muy eficiente en sus flujos de crecimiento como se puede observar en

el ciclo de producción de nopalitas (Figuras 5A, 5B, 5C, 5D, 5E, 5F y 5G). Se pudo observar que en los meses de marzo y abril se presentó la mayor producción de nopalitas en todos los tratamientos incluyendo el testigo, en el cual solo se aplicó agua de riego. Además, en los meses de Junio, Julio y Agosto la producción disminuyó drásticamente. En este período predominaron los días nublados y hubo temperaturas altas en el túnel; por lo tanto, se puede deducir que para la producción de nopal verdura, estas condiciones limitan el crecimiento de nopalitas.

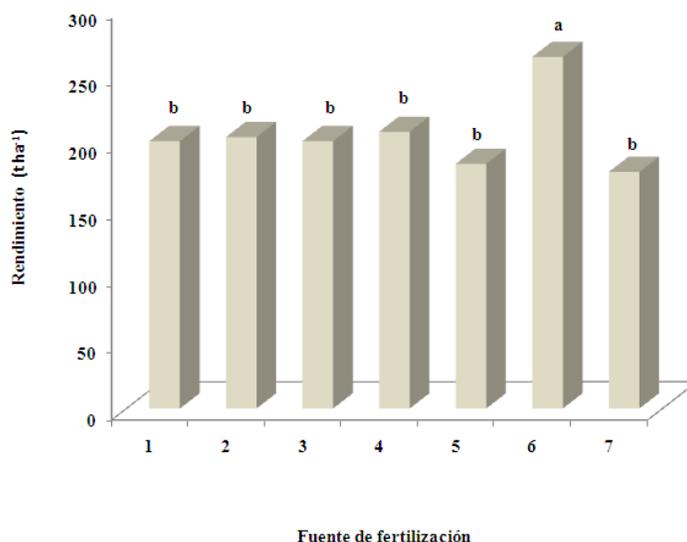
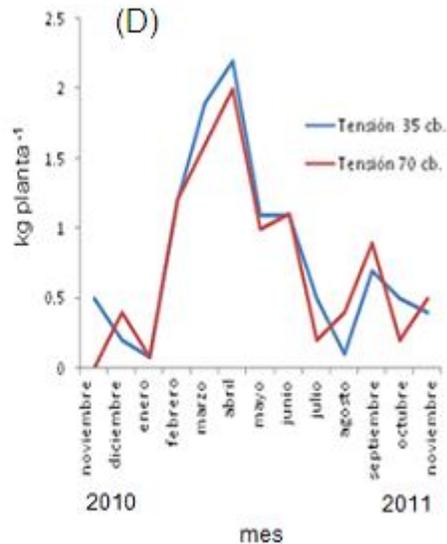
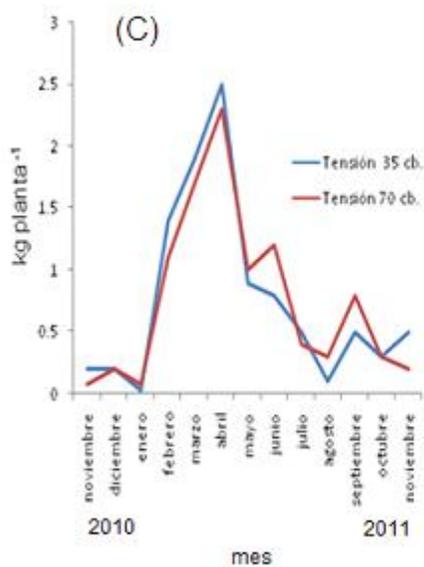
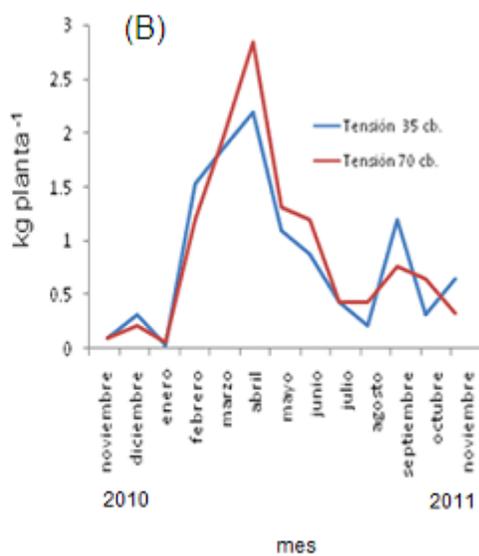
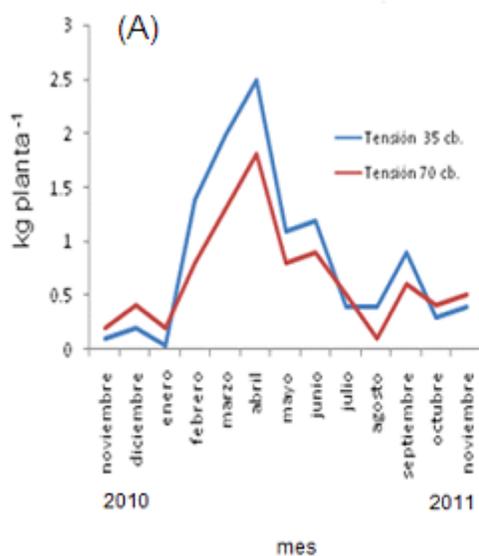


Figura 4. Respuesta del rendimiento en nopal verdura (*Opuntia ficus indica* L.) a la fuente de fertilización: 1) Composta, 2) micorriza, 3) fertirriego, 4) composta y micorriza, 5) composta más urea y superfosfato de calcio triple, 6) estiércol y triple 17, y 7) testigo.

El análisis de la cantidad de nitrógeno aplicada en el tratamiento con estiércol de bovinos más el fertilizante triple 17 (289 kg ha^{-1}); con respecto a la cantidad requerida por el cultivo (199 kg ha^{-1}), permite concluir que aproximadamente 90 kg ha^{-1} o más de N no se aprovecharon. La comparación de este tratamiento con los tratamientos de composta y micorriza resulta interesante. La composta con el riego

frecuente rindió 212 t ha⁻¹ de nopalitos con una aplicación de N de solamente 8.9 kg ha⁻¹, y en el caso de la inoculación del hongo micorrícico *Glomus mosseae*, con la menor frecuencia de riego rindió 220 t ha⁻¹



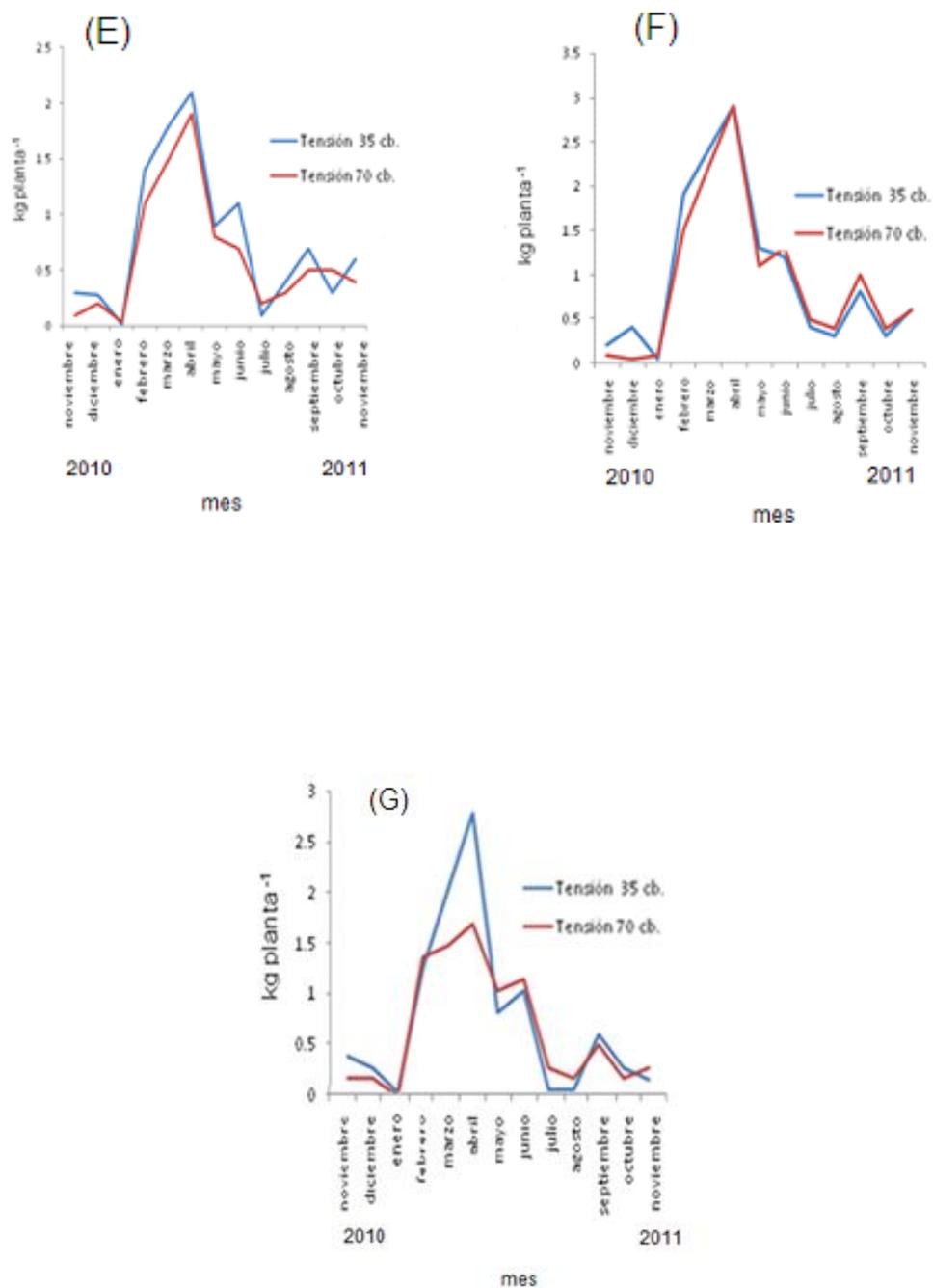


Figura 5. Efecto de la frecuencia de riego (35 y 70 cb) en interacción con la fuente de fertilización: (A) composta, (B) micorriza, (C) fertirriego, (D) composta y micorriza, (E) composta más urea y superfosfato de calcio triple, (F) estiércol más triple 17 y (G) testigo, en el rendimiento de nopalitos por planta.

4.2. Índice de color

Entre los factores de calidad en los productos hortícolas y frutícolas se encuentra el color; siendo este un indicador del grado de madurez y vida postcosecha, principalmente en aquellos productos que se consumen en fresco y que su apariencia es la base de aceptación o rechazo del consumidor. En este trabajo se reporta por primera vez resultados del efecto del tipo de fertilización y frecuencia de riego en el color de los cladodios.

La coloración verde en las plantas se debe a la capacidad de los pigmentos clorofílicos de absorber las fracciones azules y rojas de la luz solar; aunque la concentración varía de acuerdo a la especie, edad de la planta, estado nutricional, entre otros factores. Con los resultados de L, a y b, obtenidos con el Hunter Lab, se calculó el Hue, Chroma e Índice de color (Cuadro 2A del apéndice) y de acuerdo con Hutching (1999), los nopalitos se ubicaron en el segundo cuadrante de un plano tridimensional, con valores de “a” negativos y valores de “b” positivos (a-, b+), con un color verde tendiente al amarillo (Figura 6). Se observó un incremento en la coloración verde, cuando se aplicó estiércol más el fertilizante triple 17 con el riego más frecuente, debido a la mayor disponibilidad de nitrógeno a la que estuvieron expuestas las plantas, en comparación con los otros tratamientos. El N influye en la actividad fotosintética relacionada con el buen desarrollo de la planta de nopal (Nobel, 1983).

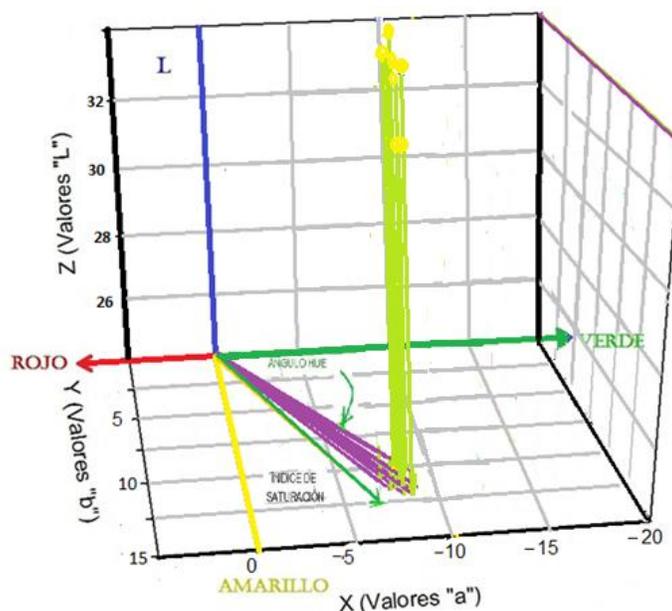


Figura 6. Ubicación del color del nopal verdura (*Opuntia ficus indica* L.) en un plano tridimensional, en respuesta a la frecuencia de riego y a la fuente de fertilización.

4.3. Acidez titulable

La frecuencia de riego no influyó en el porcentaje de acidez del cladodio; sin embargo, el porcentaje de ácido málico se aumentó cuando se utilizó composta más urea y superfosfato de calcio triple, esto se debió a la disponibilidad inmediata de fósforo suministrado en éste tratamiento. El P juega un papel importante en los procesos de transformación de energía, vital para las reacciones químicas que generan el ácido málico en el metabolismo ácido de las crasuláceas (MAC). Así como en su almacenamiento en las vacuolas. (Taiz y Zeiger, 2006). Cabe señalar que la evaluación se hizo con una sola cosecha de nopalitos cortados por la mañana y a la misma hora (8:00 a.m) en todos los tratamientos. Estudios previos indican que la hora en la que se cosechan los cladodios influye en el porcentaje de acidez. Osorio *et al.* (2011) al estudiar la conservación del nopal “Milpa Alta” (*Opuntia ficus*

indica Mill.) encontraron que el porcentaje de ácido málico en cladodios con espinas después de ser cortados de 6 a 7 de la mañana fue 0.82 % de acidez en promedio, resultado que coincide con el valor mínimo encontrado en este trabajo con el tratamiento de micorriza.

4.4. pH

El pH del cladodio no fue afectado por la frecuencia de riego y el tipo de fertilización. Aun con la reducción del pH cuando se acumula el ácido málico, siendo más intensa la acidificación en cladodios jóvenes y en las primeras horas del día (Pimienta, 1990). La literatura reporta que el pH de nopalitos frescos de *Opuntia ficus indica* L., con un peso de 150 a 200 g varía de 4.2 a 4.3 (Rodríguez, *et al.* 2007), lo cual coincide con los datos obtenidos en este trabajo.

4.5. Textura

No hubo efecto de los tratamientos en textura y los cladodios se encontraron con 8.6 a 11.3 Newton de resistencia al corte. El grosor de la cutícula influye en la resistencia al corte, a mayor tamaño de cladodio mayor resistencia, coincidiendo con Murillo *et al.* (2003) quienes han observado en plantas de nopal, que el grosor de la cutícula aumenta con la edad del cladodio por la acumulación de calcio en el tejido.

Para el consumidor de nopal verdura, su aceptación depende del tamaño del nopalito, la cual se ve afectada por el grosor de cutícula, ya que a mayor tamaño, mayor grosor de cutícula y menor la aceptación.

4.6. Contenido de fibra

La fibra no es un nutriente, sin embargo cumple una función muy importante en el organismo humano, es por ello que actualmente se ha incrementado el interés por estudiarla. Los resultados de este trabajo mostraron que el mayor contenido de fibra tanto soluble como insoluble se obtuvo con el tratamiento de fertirriego, con el riego aplicado cuando la tensión de humedad era de 35 cb o cada 7 días aproximadamente. Una alta disponibilidad de agua en el suelo favorece al mecanismo de flujo de masas a través del cual los nutrimentos disueltos son transportados hacia la raíz, y la cantidad depende de la concentración de la solución del suelo y de la tasa de transpiración (Taiz y Zeiger, 2006). El transporte del calcio que forma parte importante de la estructura del cladodio, hacia la raíz de la planta es altamente dependiente del mecanismo de flujo de masas.

El porcentaje mayor de fibra soluble fue 35.2 y de fibra insoluble 16.8 %, valores que coinciden en parte con Ramírez *et al.* (2007), quienes en varias especies de *Opuntia*, observaron que *Opuntia ficus indica* L., tuvo 34.4% de fibra soluble y el 17.6% de fibra insoluble en promedio.

4.7. Concentración de N, P, K, Mg, Ca, Fe, Mn, Zn y Cu

La frecuencia de riego y la fuente de fertilización afectaron la concentración de N, P, K, Ca y Mg (Cuadro 3A, 5 y 6). La concentración de N no fue diferente al resto de los tratamientos, con excepción de estiércol de bovinos más triple 17 con la mayor frecuencia de riego. En el caso del K la concentración mayor se encontró con composta y micorriza, cuando el riego se aplicó en la tensión humedad del suelo a 35

y 70 cb y la menor se encontró con los tratamientos de micorriza, fertirriego, composta más urea y superfosfato de calcio triple y estiércol más triple 17. La concentración de Ca fue mayor en los tratamientos de fertirriego y composta y micorriza en la mayor frecuencia de riego y en el tratamiento con composta más urea y superfosfato de calcio triple en la menor frecuencia de riego. La menor concentración de Ca se obtuvo en el resto de tratamientos. En P la mayor concentración se obtuvo en el tratamiento con composta y con composta y micorriza en la menor frecuencia de riego y la menor concentración en el testigo. En el Mg la mayor concentración se obtuvo con fertirriego en la mayor frecuencia de riego y la menor en el resto de tratamientos. Estos resultados difieren de los reportados por Blanco *et al.* (2006), quienes obtuvieron una composición nutricional en porcentaje del cladodio de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) de: N, 1.29 ± 0.47 ; P, 0.36 ± 0.08 ; K, 4.24 ± 0.88 ; Ca, 4.96 ± 1.73 y Mg, 1.61 ± 0.27 . Por otra parte, Valdéz – Cepeda *et al.* (2003) y Magallanes *et al.* (2003) para *Opuntia ficus indica* L. Miller con rendimientos mayores de 35 kg de cladodios frescos por planta, mencionan los siguientes intervalos: N, de 0.86 a 1.08 %; P, de 0.28 a 0.35; K, de 1.5 %; Ca, de 1.8 a 2.5 %, y Mg de 0.7 a 1.1%. Así mismo, López *et al.* (1990) encontraron en plantas de 1, 2 y 3 años de edad concentraciones de N, de 0.87 a 2.61%; P, de 0.14 a 0.33%; K, de 1.18 a 3.69%; Ca, de 6.33 a 9.66%, y Mg de 1.03 a 1.43%, en tres especies de *Opuntia* en diferentes condiciones ambientales. Todos los autores anteriores, coinciden que la variación en las concentraciones nutrimentales del cladodio se debe a la especie, edad de la planta, densidad de plantación, condiciones ambientales donde se desarrollaron y principalmente de la disponibilidad del elemento en el suelo o sustrato donde se establezca la planta.

En la composición mineral del cladodio, las concentraciones más notables son las de potasio y calcio, llegando a encontrarse 1% en potasio y de 5 a 9.5 %, respectivamente (Nobel, 1983). El calcio se incrementa con la edad del cladodio. Gibson y Nobel (1986) encontraron en cladodios de un año de edad, una concentración de calcio tres veces más que en cladodios de 7 meses. Así también, Trachtemberg y Mayer (1981) mencionan que la mayor cantidad de calcio en nopal, se encuentra en forma de oxalato de calcio conformando la estructura molecular y con efectos importantes en las propiedades biofísicas del mucílago para almacenar agua.

Cuadro 5. Significancia del efecto de la frecuencia del riego y fuente de fertilización en la concentración de macronutrientos del nopal verdura (*Opuntia ficus indica* L.) bajo condiciones de túnel.

Factor	Macronutrientos				
	N	P	K %	Ca	Mg
Tensión de humedad (A)	*	**	**	*	**
Fuente de fertilización (B)	**	*	**	**	*
AB	**	*	**	**	**
C.V (%)	8.5	24.7	2.0	5.5	6.2
r ²	0.8	0.8	0.98	0.8	0.8

** Significativo a $p \leq 0.01$ * Significativo a $p \leq 0.05$ y NS, No significativo.

Con respecto a la concentración de micro nutrientes, el análisis de varianza y comparación de medias mostraron diferencia significativa en todos los elementos analizados (Cuadro 3A, 7 y 8). Este resultado se debió a la disponibilidad de micro nutrientes en el suelo, en el momento que la planta lo requirió. Además, el riego jugó un papel importante para el suministro de micro nutrientes, ya que se ha observado en diferentes cultivos que al haber óptimas condiciones de humedad, el

suministro de micro nutrientes vía flujo de masas, aumenta en comparación con los mecanismos de interceptación de la raíz y difusión.

La concentración de Fe fue menor en el testigo que solamente recibió agua cada 19 días, y fue mayor en el tratamiento de composta y micorriza con el riego más frecuente. La concentración en Mn también fue diferente entre tratamientos de fertilización, la concentración mayor fue en los tratamientos de composta y micorriza y estiércol más triple 17 con la menor frecuencia de riego y la menor concentración en los tratamientos con micorriza y composta en la menor frecuencia de riego y con composta, micorriza, fertirriego, composta más urea y superfosfato de calcio triple y testigo en la mayor frecuencia de riego..

La concentración de Zn al igual que la de Mn fue mayor con la menor frecuencia de riego (tensión 70 cb), observándose mayor concentración en los tratamientos de composta y composta y micorriza, y la menor concentración en los tratamientos de composta y composta más urea y superfosfato de calcio triple en la mayor frecuencia de riego; así como en los tratamientos composta, composta más urea y superfosfato de calcio triple y testigo en la menor frecuencia de riego.

Cuadro 6. Efecto de la frecuencia de riego y la fuente de fertilización en la concentración de macronutrientes en nopal verdura (*Opuntia ficus indica* L.), bajo condiciones de túnel.

Tratamiento		Macronutrientes					
Frecuencia de riego	Fuente de fertilización*	N	P	K (%)	Ca	Mg	
7 días (35 cb)	Composta	0.63 b	0.11 b	3.93 b	2.43 b	0.76 b	
	Micorriza	0.71 b	0.11 b	3.56 c	2.13 b	0.76 b	
	Fertirriego	0.81 b	0.11 b	3.81 c	2.83 a	0.91 a	
	C y M	0.71 b	0.11 b	4.93 a	2.66 a	0.83 ab	
	CMUSCT	0.71 b	0.11 b	3.73 c	2.53 ab	0.71 b	
	E y T 17	1.06 a	0.09 bc	3.73 c	2.63 ab	0.86 ab	
	Testigo	0.63 b	0.06 c	3.93 b	2.41 b	0.73 b	
19 días (70 cb)	Composta	0.71 b	0.16 a	4.13ab	2.56 ab	0.71 b	
	Micorriza	0.71 b	0.13 ab	3.81 c	2.13 b	0.76 b	
	Fertirriego	0.76 b	0.11 b	4.01ab	2.01 b	0.66 b	
	C y M	0.71 b	0.16 a	4.76 a	2.43 b	0.73 b	
	CMUSCT	0.71 b	0.13 ab	3.73 c	2.66 a	0.71 b	
	E y Triple 17	0.71 b	0.11 b	3.73 c	2.56 ab	0.66 b	
	Testigo	0.63 b	0.06 c	3.93 b	2.33 b	0.71 b	

*Composta y Micorriza (C y M)), composta más urea y superfosfato de calcio triple (CMUSCT), estiércol y fertilizante triple 17 (E y T 17).

Media con la misma letra en la columna son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha = 0.05$).

Las concentraciones de micro elementos encontradas en este trabajo difieren a las reportadas en otras investigaciones. Nobel *et al.* (1988) reportan en Fe de 58-88 ppm, Mn de 22-54 ppm, Zn de 11-52 ppm y Cu de 4-15 ppm. Sin embargo, al comparar a Fe y Mn, los valores fueron mayores debido a las características del suelo donde se llevó a cabo el experimento. De acuerdo con Rodríguez, *et al.* (2011). El suelo o sustrato empleado, la densidad de plantación, la edad y el tamaño de la planta y condiciones ambientales entre otros factores influyen en las concentraciones de macro y micro nutrientes; ya que se tienen reportes de contenidos de P, K, Cu, Zn y Mn en nopal verdura cultivado en un sistema

hidropónico con 10 veces mayor la concentración, que los cultivados en el suelo y aún en condiciones de hidroponía a diferentes densidades de plantación se han encontrado diferencias. Un ejemplo de ello es que en nopal verdura para consumo humano en un sistema hidropónico con una producción estimada 262.4 t ha⁻¹ de nopalito fresco se encontró 0.63% de P, 8.02 % de K, 3.80 % de Ca, 0.81 de Mg, 37 mg.kg⁻¹ de Fe, 19.0 mg kg⁻¹Cu, 45 mg kg⁻¹ de Zn y 34 mg kg⁻¹de Mn (Almaguer *et al.* 2009). Mientras que Zúñiga *et al.* (2009) encontraron en un sistema hidropónico con una producción de 29 t ha⁻¹ concentraciones de 0.3% de P, 6.24% de K, 5.38% de Ca, 1.07 % de Mg, 172.60 mg kg⁻¹de Fe, 17 mg kg⁻¹ de Cu, 29.30 mg kg⁻¹de Zn y 33.13 mg kg⁻¹de Mn.

Cuadro 7. Significancia del efecto de la frecuencia de riego en interacción con la fuente de fertilización, en la concentración de micronutrientes del nopal verdura (*Opuntia ficus indica* L.) bajo condiciones de túnel.

Factor	Micronutrientes			
	Fe	Mn	Zn	Cu
	mg kg ⁻¹			
Tensión de humedad (A)	*	**	*	*
Fuente de fertilización (B)	**	**	**	**
AB	**	**	**	**
C.V (%)	17.5	3.6	4.6	14.9
r ²	0.8	0.98	0.9	0.8

** Significativo a $p \leq 0.01$ * Significativo a $p \leq 0.05$ y NS, No significativo.

Cuadro 8. Efecto de la frecuencia de riego y la fuente de fertilización en micronutrientes del nopal verdura (*Opuntia ficus indica* L.) bajo condiciones de túnel.

Frecuencia de riego	Tratamiento Fuente de fertilización*	Fe	Micronutrientes			Cu
			Mn	Zn		
		mg kg ⁻¹				
7 días (35 cb)	Composta	44.7 ab	42.0 c	186 c	4.0 ab	
	Micorriza	35.7 ab	37.6 c	19.3 b	3.7 ab	
	Fertirriego	42.0 ab	37.6 c	19.6 ab	4.3 a	
	C y M	60.7 a	50.3 b	19.3 b	4.7 a	
	CMUSCT	29.7 b	40.3 c	16.0 c	2.7 b	
	E y Triple 17	40.0 ab	43.6 b	21.0 ab	3.3 ab	
	Testigo	34.0 ab	39.6 c	19.0 b	2.3 b	
19 días (70 cb)	Composta	34.7 ab	40.6 c	22.3 a	3.0 ab	
	Micorriza	46.7 ab	39.6 c	19.3 b	3.7 ab	
	Fertirriego	43.3 ab	54.6 b	17.6 c	3.7 ab	
	C y M	37.3 ab	67.3 a	22.3 a	4.3 a	
	CMUSCT	43.3 ab	50.3 b	17.0 c	4.3 a	
	E y Triple 17	43.0 ab	66.3 a	22.0 ab	3.3 ab	
	Testigo	20.3 b	55.6 b	18.6 c	2.7 b	

*Composta y Micorriza (C y M), composta más urea y superfosfato de calcio triple (CMUSCT), estiércol y fertilizante triple 17 (E y T 17).

Media con la misma letra en la columna son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha = 0.05$).

4.8. Consumo de agua

El agua es un elemento indispensable para el desarrollo de cualquier planta. Por lo que en condiciones limitadas de humedad, algunas especies se han adaptado al medio, modificando su metabolismo para el uso eficiente del agua. Un ejemplo de ello son las plantas con metabolismo ácido crasuláceo (MAC), en las que se encuentra la planta de nopal, que también requiere de riego continuo para producir nopalitos en todo el año. En este trabajo se obtuvieron resultados de láminas de riego consumidas o dosis de agua aplicadas de 391.9 mm anuales, cuando se regó aproximadamente a la tensión de humedad del suelo a 35 cb y 392.0 mm, cuando se

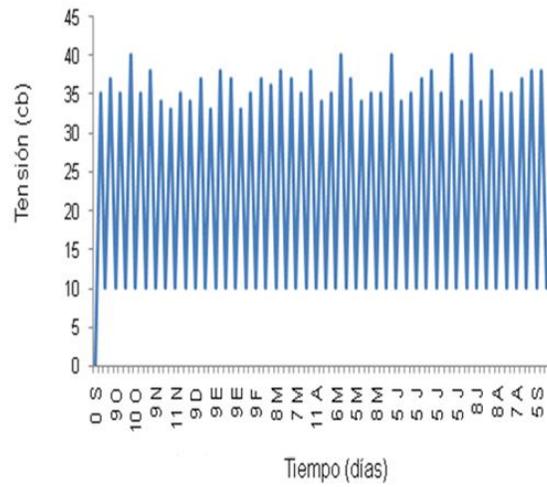
regó en la tensión 70 cb, con un consumo diario promedio de 1.1mm (Cuadro 9). Lo que equivalente a $2,321 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de agua en promedio durante un año o $5,999 \text{ L ha}^{-1}$ diario, con una superficie humedecida de $5,940 \text{ m}^2$ (99 hileras de 60 cm de ancho y 100 m de longitud cada una) y un sistema de riego por goteo. La productividad del agua fue de 111 kg de materia fresca por m^3 de agua con el tratamiento de estiércol más triple 17 que rindió más. La productividad del testigo fue de 76 kg m^{-3} .

Por el tiempo promedio que tardó el tensiómetro en registrar 35 y 70 cb, se obtuvo un intervalo de riego para nopal verdura (*Opuntia ficus indica* L.) equivalente a 7 días y 19 días, con una frecuencia de riego de 4 y 2 riegos mes^{-1} respectivamente (Figura 7).

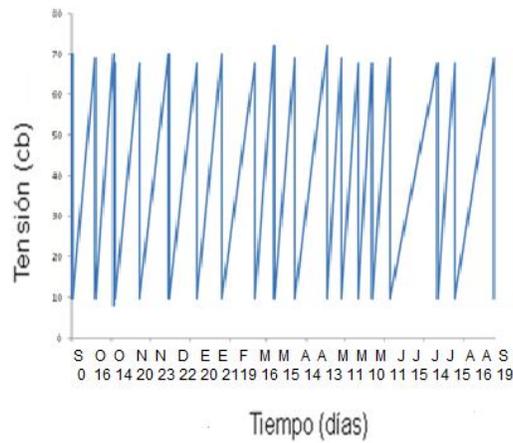
La cantidad de agua en el riego para reponer la humedad en el suelo, depende de la temperatura en el mes y la etapa de desarrollo o brotación de yemas en los cladodios de la planta de nopal. Esta es la razón por que en los meses de marzo y abril resultaron con el rendimiento de nopalitos más alto, y una lámina de riego promedio diaria de 1.3 y 1.5 mm y una lámina mensual de 39.5 y 45.9 mm respectivamente. En el mes de mayo cuando se incrementó la temperatura en el túnel, se disminuyó la producción de nopalitos y la lamina de reposición de agua en el riego fue de 58.5 mm mensual y 1.9 mm día^{-1} (Figura 7 y Cuadro 9).

Al comparar los resultados de este trabajo con los obtenidos por Orona *et al.* (2003), hay una diferencia de $3,019 \text{ m}^3$ en el volumen de reposición anual de agua obtenido para una hectárea, $156,193 \text{ kg ha}^{-1}$ en rendimiento de materia fresca y 92 kg

m⁻³ en la productividad del agua, influyendo las condiciones del túnel, las condiciones edáficas y climáticas de la región donde se establecieron los experimentos.



(A)



(B)

Figura 7. Intervalo de riego cuando la humedad del suelo llegó a la tensión de: (A) 35 cb y (B) 70 cb

Cuadro 9. Láminas de riego consumidas por el nopal verdura (*Opuntia ficus indica* L.) cuando el riego se aplicó a 35 y 70 cb de tensión.

Mes	Tensión (cb)					
	Número de riegos	35		Número de Riegos	70	
		Lámina de riego consumida (mm)			Lámina de riego consumida (mm)	
		Mensual	Diaria		Mensual	Diaria
octubre 2010	4	34.6	1.1	2	37	1.2
noviembre 2010	3	21.5	0.7	2	36.6	1.2
diciembre 2010	3	22.6	0.7	1	19.3	0.6
enero 2011	3	23.6	0.7	1	19.6	0.7
febrero 2011	3	21.5	0.7	2	38.2	1.2
marzo 2011	4	32.6	1.1	2	39.5	1.3
abril 2011	5	45.6	1.5	2	45.9	1.5
mayo 2011	6	52.8	1.7	3	58.5	1.9
junio 2011	5	38.2	1.3	2	39.2	1.3
julio 2011	4	37.3	1.2	1	19.3	0.6
agosto 2011	4	32.5	1	1	19.3	0.6
septiembre 2011	4	29.1	1	1	19.6	0.7
Lámina anual (mm)		391.9			392	
Lámina promedio diaria (mm día ⁻¹)			1.1			1.1
Total de riegos	48			20		

5. CONCLUSIONES

La frecuencia de riego, la fuente de fertilización y su interacción, afectó el índice de color, la acidez titulable, el contenido de fibra soluble e insoluble y la concentración nutrimental. En rendimiento las diferencias ocurrieron solo por frecuencia de riego o fuente de fertilización.

La mejor respuesta en rendimiento, se obtuvo al aplicar simultáneamente el estiércol de bovinos y el fertilizante triple 17, debido a la mayor cantidad de nitrógeno aportado por ambos fertilizantes, lo cual se reflejó en una mayor concentración de nitrógeno en el cladodio.

La calidad de los nopalitos se vio favorecida con la aplicación de composta e inoculación del hongo micorrízico de manera independiente o en combinación. También con la aplicación de fertilizantes químicos mediante el fertirriego se obtuvieron resultados favorables, principalmente en el contenido de fibra soluble e insoluble.

La cantidad de agua aplicada cuando se alcanzó 35 o 70 cb de tensión de humedad en el suelo fue similar.

6. LITERATURA CITADA

- Abakala, J. A. 1999. Assuring food quality and safety: Back to the basis-quality control throughout the food chain. FAO/WHO/WTOP Conf. on Int. Food Trade beyond 2000. Melbourne. Australia. pp 11-15.
- Acebedo, E., I. Badilla y P.S. Nobel. 1983. "Water relations, diurnal activity changes, and productivity of a cultivated cactus (*Opuntia ficus indica*)". Plant. Physiol., 72:775-780.
- Aguilar, Z, A. 2007. Nopal Verdura, 1er Congreso de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria y Forestal en el Distrito Federal 24 y 25 de septiembre de 2007. 120 p.
- Aguilera, L.I.; V. Ovalde P.; M. R. Arriaga y R. Contreras A. 2008. Micorrizas arbusculares, Ciencia Ergo Sum. vol. 14 nùm. 003. Universidad Autónoma del Estado de México. pp. 300-306.
- Alcántar, G. G y Sandoval V. 1999. Manual para Análisis Químico Vegetal. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C Chapingo, México. 136 p.
- Almaguer-Sierra, S. P.; Rodríguez-Fuentes, H. Vidales-Contreras, J. A.; Valdez-cepeda, R. D; Aranda-Ruiz, J. y Rodríguez-Ortiz, J.C. 2009. Extracción Nutricional del Nopal Verdura en un Sistema Hidropónico Cerrado, XXX Ciclo de Seminarios de Posgrado e Investigación, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, pp 13-18

- Arias, T.; Lee Logendra y H. Janes. 2000. Correlation of lycopene measured by HPLC with the L*,a*,b* color reading of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. *Journal of Agricultural Food Chemistry*. 48:1697-1702.
- AOAC 2000. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, Maryland, E.U.A
- Asghari, H. R. 2008. Vesicular-arbuscular (VA) mycorrhizae improve salinity tolerance in pre-inoculation subterranean clover (*Trifolium subterraneum*) seedlings. *Int. J. Plant Production* 2: 243-256.
- Augé, R. M. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza* 11:3-42.
- Augé, R. M., J. L. Moore, K. Cho, D. M. Sylvia, A K Al-Agely, A. M. Saxton. 2003. Relating foliar dehydration tolerance of mycorrhizal *Phaseolus vulgaris* to soil and root colonization by hyphae. *J. Plant Physiol.* 160:1147-1156.
- Augé, R. M. 2004. Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. *Can J. Soil Sci.* 84:373-381.
- Blanco-Macías, F.; R. D. Valdez-Cepeda; M. Reveles-Hernández y S. Méndez-Gallegos. 2012. Usos y aprovechamiento del nopal. pp. 23-35. En: Blanco-Macías, F.; M. Reveles-Hernández; R. E. Vázquez-Alvarado y J. A. Santos-Haliscak. (Editores). Memoria del XI Simposium-Taller Nacional y IV Internacional “Producción y Aprovechamiento del Nopal y Maguey”. Escobedo, N.L. México. 79 p.
- Blanco-Macías, F., R. E. Vázquez-Alvarado, R.D. Valdez-Cepeda, E. Olivares-Sáenz, E. Gutiérrez-Órnelas, J.A. Vidales-Contreras y R. Magallanes-Quintanar. 2009.

Normas Nutrimientales de la Técnica de Curva Límite para Nopal (*Opuntia ficus-indica* L.). En: Memoria XXX Ciclo de Seminarios de Posgrado. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 142 p.

Blanco, M. F.; A. Lara; R.D. Valdéz; J. O. Cortés; M. Luna y M. A. Salas. 2006. Interacciones Nutrimientales y Norma de la Técnica de Nutrimiento Compuesto en Nopal (*Opuntia ficus indica* L. Miller) Revista Chapingo serie Horticultura. vol. 12, número 002, Universidad Autónoma Chapingo. México, pp 165-175

Bradfield, E.G. and Spencer, 1965. Leaf analysis as a guide to the nutrition of fruit crops: Determination of magnesium, zinc and copper by atomic absorption spectroscopy. J. Sci. Food Agr. 16:33-38

Bremner., J. M. 1965. Total nitrogen. In: Methods and soils analysis. C.A. Black (Ed). Part. 2 Amer. Soc. of Agron. Madison, Wisconsin. pp. 49-1178

Cantrell, I. C. and R.G. Linderman. 2001. Preinoculation of lettuce and onion with VA mycorrhizal fungi reduces deleterious effects of soil salinity. Plant Soil 233:269-281.

Cantwell, M.; Rodríguez-Felix, and A. Robles-Contreras. 1992. Postharvest physiology of prickly pear cactus. Scientia Horticultura pp.1-9.

Castellanos, R. J. Z. 1980. El estiércol como fuente de nitrógeno. Seminarios Técnicos 5(13). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias - Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Torreón, Coahuila. 90 p.

Chapman., H. 1973. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Ed. Trillas, México. 195 p.

Diario Oficial. 2002. Determinación de curvas de retención de humedad. México. pp 19-21.

FAO, 2003. Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Manual para la Preparación y Venta de Frutas y Hortalizas, [En línea]. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/006/Y489308.htm> (Revisado 10 de febrero de 2013).

Fernández, M. M. R.; J. Vázquez, R. y J. A. Villalobos, L. 1990. Fertilización Preliminar de Nopal Verdura en Milpa Alta D.F. In: Memorias del IV Reunión Nacional y II Congreso Internacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. SOMECH, A.C, INCA- Rural-CECCAM. Zacatecas, Zac. México pp. 29.

Flores-Hernández, A.; R. Trejo-Calzada; J. G. Arreola-Ávila; I. Orona-Castillo; B. Murillo-Amador; M. Rivera-González; J. G. Martínez-Rodríguez; E. A, García-Gallegos. 2005. Producción estacional de nopal verdura (*Opuntia spp.*) bajo riego por goteo en una región agrícola de México. pp 84-96 [En línea]. Disponible en http://www.jpacd.org_downloads/Vol7/V7_5.pdf (Revisado 5 de agosto de 2010).

Flores V. C y J. Olvera M. 1995. La producción de nopal verdura en México. pp 282-289. En Pimienta B. E., C. Neri L., A. Muñoz U. y F. Huerta M. Conocimiento y aprovechamiento del nopal. 6º Congreso Nacional y 4º Congreso Internacional. Las Agujas, Nextipac, Zapopan, Jalisco, México. 208 p.

Gibson, C. A. and P. S. Nobel. 1986. The Cactus Primer. Cambridge: Harvard University Press. 286 p.

- González, C. L. and J.H. Everitt.1990. Fertilizer effects on the quality and production of prickly pear cactus and its wildlife value. In: Proc. First. Annual Texas Prickly Pear Council. Kingsville, Texas. pp. 3-13.
- Grajeda, G. J. E. y V. A. García 1991. Manual de Cultive Nopal para Verdura. Colegio de Postgraduados, Chapingo México. 25 p.
- Harris-Valle, C.; M. Esqueda; E. M. Valenzuela-Soto; A. E. Castellón. 2009. Tolerancia al estrés hídrico en la interacción planta-hongo micorrícico arbuscular: metabolismo energético y fisiología. Revista fitotecnia mexicana, Vol. 32 Num.4. pp 265-271.
- Hutchings, J. B. 1999. Food Color and Appearance. Segunda edición. Ed. Aspen. USA. 610 p.
- López, J. A. 2001. Fisiología, nutrición y producción del ciruelo en función del tipo de coberturas orgánicas en el suelo con pH alcalino. Tesis. Colegio de Postgraduados. México. 112 p.
- López, M. J. L.; Cruz, H. P. y López, J. A. 1990. Contenidos nutrimentales en tallos y raíces de nopal tunero (*Opuntia amyclaea* T.). Revista Chapingo. México. Num. 62. pp 144-147.
- Magallanes, Q. R.; Valdéz-Cepeda, R. D.; Pérez, V. O.; Blanco, M. F.; Murillo, A.B.; Márquez, M. M.; Ruiz-Garduño, R. R. y García-Hernández, J. L. 2003. Normas Preliminares de Diagnostico Nutricional en *Opuntia ficus indica*. pp 293-297. In Memoria IX Congreso Nacional y VII Congreso Internacional Sobre Conocimiento y Aprovechamiento de Nopal, Esparza F.G; Salas Luevano, M. A; Mena C. J; Valdez-Cepeda, R. D (eds) Zacatecas, Zacatecas, México.

- Marschner, H and Dell 1994. " Nutrient Uptake in Micorrryzal Simbiosis", in Robson, D. A; K.L Abbot, N Malajezuk (Eds), Management of Mycorrhizae in Agriculture, Horticulture and Forestry Kluwer Academic Publishers pp. 89-102
- McGuire, R.G.1992. Reporting of objetive color measurements. HortScience 27(12): 254-255.
- Morte, A., C. Lovisolo and A. Schubert. 2000. Effect of drought stress on growth and wáter relations of the mycorrhizal association *Helianthemum almeriense-Terfezia claveryi*.Mycorrhiza 10:115-119
- Murillo-Amador, B.; E. Troyo-Diéguéz y J.C García-Hernández. 2003. "El Nopal" Alternativa para la Agricultura de Zonas Áridas en el Siglo XXI. Edit. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC. La Paz, B. C. S. México. 293 p.
- NMX-FF-068-SCFI-2006. Hortaliza fresca-nopal verdura con espinas (*Opuntia* spp), especificaciones, declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación 2006.
- Nerd A. and Y. Mizrahi. 1992. Effects of fertilization on prickly pear production in Israel. Proceedings of the Third Annual Texas prickly Pear Council. Kingsville, TX, USA. pp. 1-4.
- Nobel, P. S. 1988. Environmental biology of agaves and cactus. Cambidge Univ. Press.New York. 270 p.
- Nobel, P.S., Ch. E. Russell, P. Felker, J. Galo and E. Acuña. 1987. Nutrient relations and productivity of prickly pear cactus. Agron. J. 79 (3): 550-555.
- Nobel, S. P. 1983. " Nutrient levels in cactus in relation to nocturnal acid accumulation and growth". Amer. J. Bot. 70 (8): 1244-1253.

- Olsen, L. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Dept. Agr. Circ. P 939-943.
- Orona-Castillo, I.; J. A. Cueto-Wong; B. Murillo-Amador; J. Santamaría-César; A. Flores-Hernández; R. D. Valdez-Cepeda; J.L. García-Hernández y E. Troyo-Diéquez. 2004. Extracción nutrimental de nopal verdura bajo condiciones de riego por goteo. México. [En línea]. Disponible en [http://www.jpacd.org/downloads/Vol 6/V6_7.pdf](http://www.jpacd.org/downloads/Vol%206/V6_7.pdf) (Revisado 18 de agosto de 2010). pp 90-101.
- Orona-Castillo, I.; A. Flores-Hernández; M. Rivera-González; G. Martínez y J. J. Espinosa-Arellano. 2003. Productividad del agua en el cultivo de nopal con riego por goteo en la Comarca Lagunera. Terra Latinoamericana, vol. 21, núm. 2, México. pp 195-201.
- Ortiz S., C. A. 1979. Levantamiento de suelos del campo experimental Montecillo. Rama de Suelos, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Osorio-Córdoba, J.; C. Pelayo-Zaldívar; J. R. Verde-Calvo; M. Ponce-Valadez; F. Díaz de León-Sánchez; E. Bosquez-Molina; Ma. E. Rodríguez-Huezo. 2011. Conservación de nopal verdura 'milpa alta' (*Opuntia ficus indica* Mill.) desespinado en envases con atmosfera modificada. Revista mexicana de ingeniería química. vol. 10. núm. 1. pp. 93-104.
- Philips, J. M and Hayman, D. S 1970. Improve procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Trans. Brit. Mycol. Soc. 55:158-60.
- Pimienta, B. E. 1990. El nopal tunero. Editado por Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México. 246 p.

- Pizarro, C. F. 1996. Riego Localizado de Alta Frecuencia (RIAF). Goteo, micro aspersión, exudación. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. pp. 152-154
- Ramírez-Tobias, H. M.; J .A. Reyes-Agüero; J.M. Pinos-Rodríguez y J.R. Aguirre-Rivera. 2007. Efecto de la especie y madurez sobre el contenido de nutrientes de cladodios de nopal. *Agrociencia*. vol. 41 núm.6. pp 619-626.
- Read, D. J.1999. Mycorrhiza. The state of the art. En: *Mycorrhiza 2nd* (A. Varma y B. Hock, eds.). Springer-Verlang, Berlín, Heidelberg. pp. 3-34
- Ríos R. J. y V. Quintana M. 2004. Manejo general del cultivo del nopal. Colegio de Postgraduados, Secretaria de la Reforma Agraria. México. 81 p.
- Rodríguez-García, M. E.; C. de Lira; E. Hernández-Becerra; M.A. Cornejo-Villegas; A. J. Palacios-Fonseca; I. Rojas-Molina; R. Reynoso; L. C. Quintero; A. Del Real; T. A. Zepeda; C. Muñoz-Torres.2007. Physicochemical characterization of nopal pads (*Opuntia ficus indica*) and dry vacuum nopal powders as a function of the maturation. *Plant Foods Hum Nutr* 62:109-112.
- Rodríguez, F, H. 2009. Cultivo Orgánico del Nopal. Editorial Trillas. México, 76 p.
- Rodríguez., *et al.* 2011. Cultivo hidropónico del nopal. Editorial Trillas, México, 61 p.
- Ruiz-Lozano J. M 2003. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress. *New perspectives for molecular studies Mycorrhiza* 13:309-317.
- SAGARPA. Secretaría de Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2011. Opuntia. Revista especializada en nopal, tuna y xoconostle. Núm. 1. 48 p.
- Salazar-Sosa E., H. I. Trejo-Escareño, D. C. González-Villa, M. Fortis-Hernández, I. Orona-Castillo, C. Vázquez-Vázquez. 2010. Producción Orgánica de Nopal

- Forrajero (*Opuntia ficus indica*) variedad lisa forrajera. pp. 95-109. En Vázquez-Alvarado, R. E.; F. Blanco-Macías; R. D. Valdez-cepeda y A. Santos Haliscak (Editores). Memoria del IX Simposium-Taller Nacional y II Internacional de Producción y Aprovechamiento del Nopal y Maguey. Universidad Autónoma de Nuevo León. Escobedo, N.L, México. 300 p.
- SAS. Institute (versión 9.3). 2000. The SAS system for windows. Release 9.3 SAS Inst., Cary NC. USA
- SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2011. Nopalitos. Secretaria de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México. [En línea]. Disponible en <http://www.siap.gob.mx> (Revisado 18 de marzo de 2012 y 10 de enero de 2013).
- Taiz, L. y E. Zeiger. 2006. Fisiología Vegetal. Volumen 1. Editorial Universitat Jaume 1. Sunderland. U.S.A. 1265 p.
- Trachtenberg, S. and A. M. Mayer. 1981. "A. stereological analysis of the succulent tissue of *Opuntia ficus indica* (L) Mill. Development of mucilage cells". J. Exp. bot., 32(130): 1091-1103.
- Trejo-Escareño H. I.; E. Salazar-Sosa; C. Vázquez-Vázquez y C. M. Herrera González. 2012. Nopal forrajero (*Opuntia ficus-indica* L.) y su respuesta a la aplicación de estiércol bovino solarizado en cuatro densidades de plantación. pp. 215-229. En: Blanco-Macías, F.; R.E. Vázquez-Alvarado; R.D. Valdez-Cepeda; J. A. Santos-Haliscak (Editores). Memoria del XI Simposium-Taller Nacional y IV Internacional de Producción y Aprovechamiento del Nopal y Maguey. Universidad Autónoma de Nuevo León. Escobedo, N.L, México. 236 p.

Valdez-Cepeda, R. D.; Blanco, M. F; Murillo, A. B; Márquez, M.; Magallanes, Q.R.; Ruiz-Garduño, R. R.; García-Hernández, J. L.; Ledesma-Mares, J. C. y Macías-Rodríguez, F. J. I. 2003. Fertilización Química en Nopal pp 117-136. In: El Nopal Alternativa para la Agricultura de Zonas Áridas en el Siglo XXI, Murillo A. B; Troyo, D. E; Garcia-Hernandez J. L. (eds). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz B.C.S, México.

Valdez-Cepeda, R.D., F. Blanco-Macías, A. Bernardo-Murillo, J. L. García-Hernández y R. Magallanes-Quintanar. 2007. Fertilización-nutrición en nopal. pp. 59-78. En: Arechiga-Flores, C.F., Aguilera-Soto, J.I., Urista-Torres, J., Valdez-Cepeda, R. D., Blanco-Macías, F. Reveles-Hernández, M. y Rubio-Aguirre, F.A. (Eds.). El nopal en la Producción Animal. Edit. UAZ. Zacatecas, Zac. México. 149 p.

Valdez-Cepeda, R. D.; F. Blanco-Macías; R. Magallanes-Quintanar, R.E.; Vázquez-Alvarado y M. Reveles-Hernández. 2009. Avances en la Nutrición del Nopal en México. pp. 1-14. En: Vázquez-Alvarado, R. E.; F. Blanco-Macías y R. Valdez-Cepeda. (Editores). Memoria del VIII Simposium-Taller Nacional y 1^{er} Internacional de Producción y Aprovechamiento del Nopal. Marín, NL. México. 285 p.

Van Soest, P.J. 1963. Use of Detergents in the Analysis of Fibrous Feeds.I Preparation of Fiber Residues of Low Nitrogen Content.Assoc. off.Agr. Chem. Jour.46:825-829.

Van Soest, P. J. 1963. Use of Detergents in the Analysis of Fibrous Feeds.II A Rapid Method for the Determination of Fiber and Lignin.Assoc. off. Agr. Chem. Jour. 46:829-835.

- Vázquez, A. R. E.; R. D. Valdéz C. y G. Salinas 2004. El nopal verdura, su uso potencial y explotación en el Noreste de la República Mexicana. En Vázquez-Alvarado, R. E. y E. Gutiérrez-Ornela (Comps.). "Producción y Aprovechamiento del Nopal en el Noreste de México" Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, N.L., México. pp. 1-9.
- Yolai, N. 2009. Las Micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos. Pastos y forrajes, vol. 32, num.2, pp 1-10 Estación experimental de Pastos Forrajes "Indio Hatuey" Matanzas, Cuba.
- Zuñiga-Tarango, R.; Orona-Castillo, I.; Vázquez-Vázquez, C.; Murillo-Amador, B.; Salazar, E.; López-Martínez, J. D.; García-Hernández, J.L. y Rueda-Puente, E. 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, México.

APENDICE

Cuadro1A. Composición química de la composta utilizada

NOCON, S.A. de C.V. Av. Juárez S/N, San Simón, Texcoco, Edo. de Mex. C.P. 56200 Apartado Postal 333 Tels.: (Fax) 01 (595) 95 379 72 y 01 (595) 95 395 73 e-mail: noconsa@yahoo.com.mx		
SISTEMA DE COMPOSTEO ANAEROBIO CON TECNOLOGIA NOCON, S.A. DE C.V.		
<hr/> ANALISIS NUTRICIONAL DE COMPOSTA: <hr/>		
pH 1:2.	6.25	
MO (%).	6.90	
Nin (mg/kg).	76.60	
P (mg/kg).	118.00	
K (mg/kg).	8673.00	
Ca (mg/kg).	5222.00	
Mg (mg/kg).	937.00	
CiC (Cmol+)/kg).	23.08	
Fe(mg/kg).	1176.00	
Zn(mg/kg).	128.00	
Mn(mg/kg).	5753.00	
B (mg/kg).	29.80	
Dap (g/cm ³).	0.74	
Acidos húmicos (litros).	100.00	

" Desarrollos sustentables para preservar la vida en la tierra "

Cuadro 2A. Resultados obtenidos del Hunter Lap e indicadores del color en cladodios de nopal verdura (*Opuntia ficus indica* L.), por efecto de la frecuencia de riego y la fuente de fertilización.

Tensión de humedad del suelo (cb)	Tratamiento		Indicadores del color			
	Fuente de fertilización	L	a	b	Chroma o Índice de Saturación	Hue
35	Composta	33.6	-7.6	11.8	14.0	57.2.
	Micorriza	32.1	-7.7	11.8	14.1	56.8
	Fertirriego	33.5	-7.7	12.3	14.5	58.0
	Composta y micorriza	31.7	-8.1	11.2	13.8	54.1
	*CMUSCT	31.2	-8.9	10.9	14.1	50.7
	Estiércol y triple 17	28.9	-8.1	9.5	12.5	52.8
	Testigo	31.2	-6.7	10.4	12.4	57.2
70	Composta	32.5	-7.7	11.8	14.1	57.0
	Micorriza	32.1	-8.1	11.6	14.1	55.0
	Fertirriego	33.3	-8.3	12.2	14.7	55.7
	Composta y micorriza	34.6	-9.7	13.1	16.3	53.5
	CMUSCT	32.5	-8.7	12.2	14.9	54.5
	Estiércol y triple 17	34.2	-7.9	11.1	14.7	57.5
	Testigo	32.1	-10.2	12.2	15.9	50.1

*CMUSCT (Composta más urea y superfosfato de calcio triple)

Cuadro 3A. Resultados del análisis de varianza con el paquete estadístico SAS para Windows versión 9.3, en las variables respuesta: rendimiento, índice de color, acidez titulable, pH, textura, contenido de fibra y concentración de nutrimentos.

1) Rendimiento

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Pg	1	3809.52381	3809.52381	4.70	0.0404
pg*rep	4	16266.66667	4066.66667	5.01	0.0044
Trat	6	28380.95238	4730.15873	5.83	0.0007
pg*trat	6	4723.80952	787.30159	0.97	0.4659

Frecuencia de riego (Pg), frecuencia de riego en interacción con la repetición (pg*rep), fuente de fertilización (Trat), frecuencia de riego en interacción con la fuente de fertilización.

2) Índice de color

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Pg	1	0.00343810	0.00343810	0.52	0.4759
pg*rep	4	0.02527619	0.00631905	0.96	0.4452
trat	6	0.10832857	0.01805476	2.75	0.0351
pg*trat	6	0.10446190	0.01741032	2.66	0.0404

3) Acidez titulable

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Pg	1	0.00023810	0.00023810	0.02	0.8772
pg*rep	4	0.09238095	0.02309524	2.37	0.0814
Trat	6	0.40809524	0.06801587	6.97	0.0002
pg*trat	6	0.35476190	0.05912698	6.06	0.0006

4) pH

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Pg	1	0.00000000	0.00000000	0.00	1.0000
pg*rep	4	0.00761905	0.00190476	1.41	0.2602
Trat	6	0.00952381	0.00158730	1.18	0.3515
pg*trat	6	0.00666667	0.00111111	0.82	0.5629

5) Textura

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Pg	1	0.02380952	0.02380952	0.03	0.8672
pg*rep	4	13.33333333	3.33333333	4.00	0.0126
Trat	6	2.95238095	0.49206349	0.59	0.7347
pg*trat	6	12.47619048	2.07936508	2.50	0.0509

6) Contenido de fibra soluble

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Pg	1	0.0192857	0.0192857	0.02	0.8941
pg*rep	4	6.4000000	1.6000000	1.50	0.2334
trat	6	79.0614286	13.1769048	12.36	<.0001
pg*trat	6	321.7490476	53.6248413	50.30	<.0001

7) Contenido de fibra insoluble

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Pg	1	0.55315238	0.55315238	1.23	0.4776
pg*rep	4	0.50723810	0.12680952	0.28	0.8861
trat	6	28.40891429	4.73481905	10.56	<.0001
pg*trat	6	54.87351429	9.14558571	20.41	<.0001

8) Nitrógeno

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Pg	1	0.01928571	0.01928571	5.01	0.0347
pg*rep	4	0.04761905	0.01190476	3.09	0.0346
Trat	6	0.28619048	0.04769841	12.39	<.0001
pg*trat	6	0.15571429	0.02595238	6.74	0.0003

9) Fósforo

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Pg	1	0.01562143	0.01562143	19.67	0.0002
pg*rep	4	0.01767619	0.00441905	5.57	0.0026
trat	6	0.01439524	0.00239921	3.02	0.0241
pg*trat	6	0.01506190	0.00251032	3.16	0.0198

10) Potasio

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
pg	1	0.09523810	0.09523810	13.33	0.0013
pg*rep	4	0.05523810	0.01380952	1.93	0.1374
trat	6	5.83571429	0.97261905	136.17	<.0001
pg*trat	6	0.26142857	0.04357143	6.10	0.0005

11) Calcio

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
pg	1	0.18666667	0.18666667	10.01	0.0042
pg*rep	4	0.33238095	0.08309524	4.46	0.0078
trat	6	0.99476190	0.16579365	8.89	<.0001
pg*trat	6	1.00333333	0.16722222	8.97	<.0001

12) Magnesio

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
pg	1	0.08595238	0.08595238	39.38	<.0001
pg*rep	4	0.00761905	0.00190476	0.87	0.4947
trat	6	0.04000000	0.00666667	3.05	0.0230
pg*trat	6	0.07904762	0.01317460	6.04	0.0006

13) Fierro

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
pg	1	69.428571	69.428571	1.43	0.2438
pg*rep	4	1577.619048	394.404762	8.11	0.0003
trat	6	1608.000000	268.000000	5.51	0.0010
pg*trat	6	1655.238095	275.873016	5.67	0.0009

14) Magnesio

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Pg	1	1488.095238	1488.095238	496.69	<.0001
pg*rep	4	12.761905	3.190476	1.06	0.3954
trat	6	1843.285714	307.214286	102.54	<.0001
pg*trat	6	692.238095	115.373016	38.51	<.0001

15) Cobre

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
pg	1	0.00000000	0.00000000	0.00	0.0200
pg*rep	4	1.14285714	0.28571429	1.00	0.4269
trat	6	13.61904762	2.26984127	7.94	<.0001
pg*trat	6	6.66666667	1.11111111	3.89	0.0075

16) Zinc

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
pg	1	8.5952381	8.5952381	10.67	0.0333
pg*rep	4	2.6666667	0.6666667	0.83	0.5207
trat	6	101.5714286	16.9285714	21.01	<.0001
pg*trat	6	34.2380952	5.7063492	7.08	0.0002