

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMIA



**PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y CALIDAD NUTRIMENTAL DE
Opuntia ficus-indica (L) MILL PARA CONSUMO HUMANO
CULTIVADO EN FORMA HIDROPÓNICA**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

PRESENTA

GERARDO RODRIGO FLORES MENDIOLA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMIA



**PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y CALIDAD NUTRIMENTAL DE
Opuntia ficus-indica (L) MILL PARA CONSUMO HUMANO
CULTIVADO EN FORMA HIDROPÓNICA**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRICOLA

PRESENTA

GERARDO RODRIGO FLORES MENDIOLA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMIA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y CALIDAD NUTRIMENTAL DE *Opuntia ficus-indica* (L) MILL PARA CONSUMO HUMANO CULTIVADO EN FORMA HIDROPÓNICA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRICOLA

PRESENTA

GERARDO RODRIGO FLORES MENDIOLA

Escobedo , N. L. México.

Junio de 2012

ESTA TESIS FUE REVISADA Y APROBADA POR EL
COMITÉ PARTICULAR COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

COMITÉ PARTICULAR

Dr.C. Humberto Rodríguez Fuentes
Asesor principal

Ph. D. Juan Antonio Vidales Contreras
Asesor Auxiliar

Dr. C. Ernesto Javier Sánchez Alejo
Asesor Auxiliar

Dr. C. Juana Aranda Ruiz
Asesor Auxiliar

Ph. D. Francisco Zavala García
Subdirector de Estudios de Posgrado

Este Trabajo de Investigación fue realizado en:

Centro de Investigación y Desarrollo de Hidroponía Campus Marín

y

Laboratorio de Suelos, Plantas y Aguas de la

**Facultad de Agronomía de la
Universidad Autónoma de Nuevo León.**

Este Trabajo de Investigación fue realizado y Asesorado por integrantes del Cuerpo Académico (Promep) Ambiente y Sustentabilidad que comprende las siguientes líneas de generación y aplicación del conocimiento (LGAC).

Nombre de la línea	Descripción
<p>Desarrollo y mejora de técnicas de producción de cultivos</p>	<p>Desarrollar técnicas de manejo de producción de cultivos y relacionarlos con modelos matemáticos con énfasis en invernaderos e hidroponía, evaluando el uso de sustratos regionales, el manejo de la fertirrigación, el reciclaje de soluciones nutritivas y los estudios sobre fisiología de las plantas.</p>
<p>Degradación y remediación de ecosistemas naturales y urbanos</p>	<p>Generar y aplicar conocimientos específicos en el área de ecología de áreas degradadas que contribuyan a una eficiente planificación y administración de la sustentabilidad del ambiente y recursos naturales.</p>
<p>Microbiología cuantitativa e inocuidad alimentaria</p>	<p>El planteamiento de modelos de simulación para predecir el comportamiento de procesos microbiológicos que ocurren en la naturaleza ha dado lugar a la microbiología cuantitativa, ejemplo de su aplicación es la simulación del comportamiento de pantanos construidos para remover la carga de microorganismos del agua residual, trazar el movimiento de microorganismos en medios porosos y la incorporación de ecuaciones de crecimiento bacterial al diseño de biorreactores, entre otros.</p>
<p>Tecnología aplicada a la remediación del suelo, agua y alimento</p>	<p>Investigar la contaminación de los metales pesados, hidrocarburos y plaguicidas agrícolas en suelo, agua y alimentos, los cuales presentan el riesgo que al ingresar a las redes tróficas afectan negativamente la vida de los ecosistemas, en esta línea se consideran tecnologías de biodegradación y bioextracción con alternativas de la biorremediación.</p>

Integrantes del Cuerpo Académico Ambiente y Sustentabilidad:
 Dictaminado como: CONSOLIDADO por el Promep (2005-2015)

Dr. Cs. Humberto Rodríguez Fuentes
 Ph. D. Juan Antonio Vidales Contreras
 Dr. Sc. Karim Acuña Askar

DEDICATORIA

A Dios que siempre está conmigo en forma de vida, familia y amigos.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Humberto Rodríguez Fuentes. Por su asesoría y apoyo incondicional durante en la realización de la presente investigación y mi estancia en esta casa de estudios. Por su brindarme su amistad, el conocimiento adquirido en su activa carrera científica y mostrar un sincero interés en el desarrollo integral y constante de mi persona.

A la Dra. Juana Aranda Ruiz y al Ph. D. Juan Antonio Vidales Contreras y Dr. C. Ernesto Javier Sánchez Alejo por su asesoría en la elaboración de este trabajo.

Al Dr. Rigoberto E. Vázquez Alvarado por compartir, además de sus enseñanzas, su amistad.

Al Ing. Fernando Cabrieles, Ing. Jorge Landa, Jorge Garza y los compañeros en campo experimental de FA-UANL, Campus Marín. Por compartir su experiencia y amistad.

A la M.C. María del Carmen Rodríguez Vázquez y al Dr. C. Pedro Almaguer Sierra, Ing. Heberto Antonio Rodas Gaitán e Ing. Kristian Geancarlo Castillo Castro por su participación en el desarrollo de esta investigación. A mis hermanos académicos.

A mis compañeros de generación: Reina Edith Adriano Vergara y Jorge Arnoldo Flores Alvarado por su amistad sincera y apoyo durante este tiempo.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía, (FA-UANL) por la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado y por brindarme el apoyo de materiales a través de su Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIA) así como el uso sus instalaciones, Campus Marín. Marín, Nuevo León y Campus Ciencias Agropecuarias de Escobedo, Nuevo León.

A la Universidad Autónoma de Tamaulipas por brindarme su reconocimiento y respaldo durante la realización de este posgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo de la beca para estudios de posgrado, la cual hizo posible la terminación de esta investigación y la obtención del grado.

RESUMEN BIOGRÁFICO

Nombre

Gerardo Rodrigo Flores Mendiola.

Candidato a Maestro en Ciencias en Producción Agrícola

Título de tesis

Producción de Biomasa y Calidad Nutricional de *Opuntia ficus-indica* (L) ;ill para consumo humano cultivado en forma hidropónica

Área de estudio

Línea Agua-Suelo

Lugar y fecha de nacimiento

Cd. Madero, Tamaulipas. México.

6 de enero de 1983

Estudios

Ingeniero Agrónomo, Egresado de la Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Tamaulipas, México.

Ing. Gerardo Rodrigo Flores Mendiola

Dr. Cs. Humberto Rodríguez Fuentes

INDICE DE CONTENIDO

	Página
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTOS.....	viii
RESUMEN BIOGRÁFICO	ix
INDICE DE CONTENIDO	x
INDICE DE CUADROS.....	xiii
INDICE DE FIGURAS.....	xv
INDICE DE FOTOGRAFÍAS	xvi
INDICE DE APENDICE	xvii
RESUMEN.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos	3
1.2. Hipótesis	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. IMPORTANCIA DEL CULTIVO DEL NOPAL	4
2.2. PRODUCCIÓN DE NOPAL VERDURA.....	6
2.2.1. Producción de Nopal verdura en sistemas intensivos	6
2.3. CULTIVO HIDROPÓNICO DE NOPAL VERDURA	7

2.4. EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LAS PLANTAS.....	8
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
3.1. CONDICIONES DE LA INVESTIGACIÓN	10
3.1.1. Ubicación	10
3.1.2. Material Biológico	10
3.1.3. Establecimiento del Experimento	11
3.1.4. Solución Nutritiva Hidropónica.....	13
3.1.5. Diseño Experimental	13
3.1.6. Medición de Variables	14
3.2. ENSAYOS.....	18
3.2.1. Ensayo I – Periodo Septiembre-Octubre 2010	18
3.2.2. Ensayo II – Periodo Marzo 2011	18
3.2.3. Ensayo III – Periodo Abril-Agosto 2011	21
4. RESULTADOS Y DISCUSION	22
4.1. ENSAYO I – Periodo septiembre-octubre 2010.....	22
4.1.2 Producción de Clo _{a+b}	25
4.2 ENSAYO II – Periodo marzo 2011.....	26
4.2.1. Producción de Biomasa de Nopal Verdura.....	26
4.2.2. Producción de Clo _{a+b}	29

4.3. ENSAYO III – Periodo abril-agosto 2011	31
4.3.1. Producción de Biomasa.....	31
4.3.2. Producción de Clo _{a+b}	35
4.3.3. Concentración Nutrimental. Ensayo 3.	36
5. CONCLUSIONES	39
5.1. ENSAYO 1 (3 CORTES)	39
5.2. ENSAYO 2 (4 CORTES)	39
5.3. ENSAYO 3 (18 CORTES)	40
6. BIBLIOGRAFIA.....	41
APENDICE	51

INDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Composición química del nopal (<i>Opuntia</i> sp.) con base a 100 g de materia fresca.....	5
Cuadro 2. Concentración de la solución nutritiva hidropónica (SNH) y las fuentes empleadas.	14
Cuadro 3. Producción de biomasa seca, biomasa fresca y GD.	23
Cuadro 4. Comparación de Medias Total (DP 1+2+3) de Cladodios Cosechados y oferta térmica en el periodo de corte.	23
Cuadro 5. Producción total (Cte 1+2+3) de BS y BF en las DP evaluadas.	24
Cuadro 6. Producción total de Clo _{a+b} en las DP en las 3 fechas de corte evaluadas.....	25
Cuadro 7. Producción de Clo _{a+b} en los periodos de corte evaluados.	25
Cuadro 8. Producción de BS y BF, comparación de medias.	28

Cuadro 9. Producción total (Cte 1+2+3+4) de BS y BF en las DP evaluadas.	28
Cuadro 10. Producción de Clo _{a+b} en las DP en las 4 fechas de corte evaluadas.	29
Cuadro 11. Producción de Clo _{a+b} en los periodo de corte.	30
Cuadro 12. Producción de BS y BF en los periodos de corte (DP 1+2+3).	30
Cuadro 13. Producción de BS (T1+T2+T3) y periodo de corte.	34
Cuadro 14. Producción total de BS y BF (18 cortes) en las DP evaluadas.	34
Cuadro 15. Producción total de Clo _{a+b} y DP.	35
Cuadro 16. Producción de Clo _{a+b} y periodo de corte.	35
Cuadro 17. Concentración media de P, en las DP en las 18 fechas de corte evaluadas.	36
Cuadro 18. Concentración media de K, en las DP en las 18 fechas de corte evaluadas.	37
Cuadro 19. Concentración media de Mg, en las DP en las 18 fechas de corte evaluadas.	38

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Media Total de Brotes Cosechados (T1+T2+T3) y GD Acumulados por Corte.....	24
Figura 2. Producción de BS entre tratamientos (por corte). Bancal a Cielo abierto.....	33

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Página
Fotografía 1. Trasplante en el bancal hidropónico.....	12
Fotografía 2. Cisterna para preparar la SNH con un volumen de 2.5 m ³	12
Fotografía 3. Preparación de la muestra antes de ser deshidratada.....	15
Fotografía 4. Micro túnel.	20

INDICE DE APENDICE

	Página
Cuadro A1. Ensayo 1 (septiembre-octubre 2010).....	51
Cuadro A2. Ensayo 2 (marzo 2011).....	51
Cuadro A3. Ensayo 3 (abril-agosto 2010). Cielo abierto.	52
Cuadro A4. Ensayo 3 (abril-agosto 2010). Micro túnel.....	53
Cuadro A5 - Análisis de Varianza, Producción de Biomasa Seca en las DP evaluadas. Corte 1.	54
Cuadro A6. Análisis de Varianza, Producción de Biomasa Seca en las DP evaluadas. Corte 2.	54
Cuadro A7. Análisis de Varianza, Producción de BS en las DP evaluadas. Corte 3.....	55
Cuadro A8. Análisis de Varianza Producción total de BS (Cte 1+2+3) en las DP evaluadas. Ensayo 1.	55
Cuadro A9. Análisis de Varianza de producción de Cl_{a+b} en los periodos de corte y DP evaluadas. Ensayo 1.....	55
Cuadro A10. - Análisis de Varianza, Producción de Biomasa Seca en las DP evaluadas. Corte 1.	56
Cuadro A11. Análisis de Varianza, Producción de Biomasa Seca en las DP evaluadas. Corte 2.	56

Cuadro A12. Análisis de Varianza, Producción de Biomasa Seca en las DP evaluadas. Corte 3.	56
Cuadro A13. Análisis de Varianza, Producción de Biomasa Seca en las DP evaluadas. Corte 4.	57
Cuadro A14. Análisis de Varianza Producción total de BS (Cte 1+2+3+4) en las DP evaluadas. Ensayo 2.	57
Cuadro A15. Análisis de Varianza de producción de Cl_{a+b} en los periodos de corte y DP evaluadas. Ensayo 2.....	57
Cuadro A16. Análisis de Varianza Producción total de BS (18 periodos de corte) en las DP evaluadas. Ensayo 3, Cielo Abierto.	58
Cuadro A17. Análisis de Varianza de producción de Cl_{a+b} en los periodos de corte y DP evaluadas. Ensayo 3, Cielo Abierto.	58
Cuadro A18. Concentración de P en los periodos de corte evaluados. Agrupamiento de medias. Ensayo 3, Cielo Abierto.	59
Cuadro A19. Concentración de K en los periodos de corte evaluados. Agrupamiento de medias. Ensayo 3, Cielo Abierto.	60
Cuadro A20. Concentración de Mg en los periodos de corte evaluados. Agrupamiento de medias. Ensayo 3, Cielo Abierto.	61

Cuadro A21. Análisis de Varianza, Producción de Biomasa Seca en las DP y cortes evaluados. Ensayo 3, Micro túnel.	62
Cuadro A22. Análisis de Varianza Producción total de BS (18 periodos de corte) en las DP evaluadas. Ensayo 3, Micro túnel.	62
Cuadro A23. Análisis de Varianza concentración de P. Ensayo 3, Micro túnel.	63
Cuadro A24. Concentración de P en los periodos de corte evaluados. Agrupamiento de medias. Ensayo 3, Micro túnel.	63
Cuadro A25. Concentración de P en las DP evaluadas. Ensayo 3, Micro túnel.	64
Cuadro A26. Análisis de Varianza concentración de K. Ensayo 3, Micro túnel.	65
Cuadro A27. Concentración de K en los periodos de corte evaluados. Agrupamiento de medias. Ensayo 3, Micro túnel.	65
Cuadro A28. Concentración de K en las DP evaluadas. Ensayo 3, Micro túnel.	66
Cuadro A30. Análisis de Varianza concentración de Mg. Ensayo 3, Micro túnel.	66

Cuadro A31. Concentración de Mg en las DP evaluadas. Ensayo 3,
Micro túnel..... 66

RESUMEN

Diversos investigadores coinciden en reportar que la densidad de población, sistema de cultivo, genotipo, clima y edad de la plantación tiene efecto sobre la producción de biomasa seca y concentración de algunos compuestos nutrimentales en nopal verdura. Debido a que existe limitada información relacionada con la producción y la calidad nutrimental de nopal verdura cultivado en forma hidropónica para consumo humano. Los objetivos de esta investigación fueron evaluar, el efecto de la densidad de población sobre la producción de biomasa seca (BS), y la concentración de clorofila_{a+b} (Clo_{a+b}) y de algunos minerales en cladodios de nopal verdura cultivado de forma hidropónica

El presente trabajo se realizó en el Centro de Investigación y Desarrollo en Hidroponía de la Facultad de Agronomía Campus Marín, de la Universidad Autónoma de Nuevo León y consto de tres ensayos, correspondientes a los periodos: septiembre-octubre 2010 (ensayo I) en condiciones de cielo abierto; marzo 2011 (ensayo II) en ambiente de micro túnel; y abril-agostos 2011 (ensayo III) donde el experimento se condujo a cielo abierto y con micro túnel. Se empleó en cultivar “Villanueva”, una solución nutritiva hidropónica (SNH) estándar y un diseño completamente al azar para la evaluación de tres tratamientos correspondientes a densidades de población (DP) de 20, 30 y 40 pl m⁻².

Los resultados muestran que las mayores producciones de BS se presentaron en la DP de 30 y 40 pl m⁻² (153.4851 y 156.64 g m⁻², respectivamente) (P≤0.05) en el ensayo I, en la DP de 40 pl m⁻² (414.115 g m⁻²) (P≤0.05) en el Ensayo II, y en las DP de 30 y 40 pl m⁻² (1290.81 y 1403.07 g m⁻², respectivamente) (P≤0.05) en el Ensayo III. Las mayores producciones de Clo_{a+b} se presentaron en la DP de 30 y 40 pl m⁻² (34.51 y 35.36 g m⁻², respectivamente) (P≤0.05) en el ensayo I, en la DP de 40 pl m⁻² (280.04 g m⁻²) (P≤0.05) en el Ensayo II, y en las DP de 40 pl m⁻² (244.26 g m⁻², respectivamente) (P≤0.05) en el Ensayo III.

En el ensayo III, la concentración de P, K Mg (Base Seca) en las DP evaluadas no fue significativa (P≤0.05), lo que permite asumir que la renovación de la SNH cada 7 días permitió que no se presentara competencia entre las DP evaluadas por estos nutrimentos.

SUMMARY

Several researchers agree that population density, cropping system, genotype, climate and plantation age effect on dry biomass production and nutrient concentration of some compounds in nopal. Because there is limited information regarding the production and nutritional quality of hydroponically grown young cactus pads for human consumption. The objectives of this research were to evaluate the effect of population density on the production of dry biomass (DB) and the concentration of chlorophyll_{a+b} (Clo_{a+b}) and some minerals in hydroponically grown young cactus pads.

This work was performed at the Center for Research and Development in Hydroponics (Facultad de Agronomía, Campus Marín, Universidad Autónoma de Nuevo León) and consisted of three trials, for the periods: September-October 2010 (Essay I) under open sky, in March 2011 (Essay II) in micro tunnel environment, and April-Augusts 2011 (Essay III) where the experiment was conducted in the open and micro tunnel. Was used to cultivate "Villanueva" a standar hydroponic nutrient solution (HNS) and a completely randomized design to evaluate three treatments for densities (PD) 20, 30 and 40 pl m⁻².

The results show that the greatest production of DB occurred in the PD of 30 and 40 pl m⁻² (153.4851 and 156.64 g m⁻², respectively) (P ≤ 0.05) in Study I, the PD of 40 pl m⁻² (414 115 g m⁻²) (P ≤ 0.05) in the Essay II, and the DP of 30 and 40 pl m⁻²

(1290.81 and 1403.07 g m⁻², respectively) ($P \leq 0.05$) in the test III. The highest production of Clo_{a+b} presented at PD 30 and 40 pl m⁻² (34.51 and 35.36 g m⁻², respectively) ($P \leq 0.05$) in Study I, the DP of 40 pl m⁻² (280.04 g m⁻²) ($P \leq 0.05$) in the Essay II, and the PD of 40 pl m⁻² (244.26 g m⁻², respectively) ($P \leq 0.05$) in Essay III.

In the Essay III, the concentration of P, K, Mg (Dry Basis) in the PD evaluated was not significant ($P \leq 0.05$), which allows to assume that the renewal of HNS allowed every 7 days failed to show competition between PD evaluated by these nutrients.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha incrementado el interés de la población mundial por un estilo de vida saludable; en este sentido, la nutrición juega un papel muy importante.

La calidad de los alimentos está determinada, en parte, por su valor nutricional. Este valor aumenta o decrece según el tipo y contenido de los nutrientes presentes en ellos. El nopal verdura (cladodios jóvenes o brotes tiernos) *Opuntia spp.* y *Nopalea spp.* (SEGOB, 2007), se han reconocido como fuentes de diversos fitonutrientes, lo cual ha aumentado poco a poco su incorporación en la dieta humana (Hernández-Urbiola *et al.*, 2010).

México, además de ser el centro de origen y dispersión (Reyes-Agüero *et al.*, 2005), se le reconoce como el mayor productor, consumidor y líder en el comercio mundial de nopal verdura en el mundo (Callejas-Juárez *et al.*, 2009; Blanco-Macías *et al.*, 2008; SE, 2006).

Diversos investigadores (Rodríguez-Fuentes *et al.*, 2011; Almaguer-Sierra *et al.*, 2009; Vázquez-Alvarado *et al.*, 2009) coinciden al reportar que el sistema de cultivo, clima, fertilización, edad de la planta y genotipo están relacionados con la producción de biomasa seca (BS). Ruiz-Espinoza *et al.* (2008), en su trabajo respecto a sistemas intensivos para el cultivo de nopal verdura, reporta que la densidad de población incrementó significativamente la producción de biomasa

seca (BS) en cinco cultivares de nopal verdura, y que ésta a su vez aumentó en función a la edad de la plantación.

En sistemas de producción de materiales vegetales indiferentes al fotoperiodo, y sin limitaciones hídricas ni nutrimentales, la temperatura ejerce el efecto más significativo en la evolución de los procesos metabólicos (Rodríguez-Absi *et al.*, 2010).

Debido a que existe limitada información relacionada con la producción de nopal verdura cultivado en forma hidropónica para consumo humano, los objetivos de este trabajo fueron:

1.1. OBJETIVOS

- Evaluar el efecto de la densidad de población sobre la producción de biomasa seca en nopal verdura cultivado en forma hidropónica.
- Evaluar el efecto de la densidad de población sobre la concentración de clorofila total y algunos minerales en cladodios de nopal verdura.

1.2. HIPÓTESIS

- La densidad de población tiene influencia sobre la producción de biomasa seca.
- La concentración de clorofila total y algunos minerales en cladodios de nopal verdura están relacionados con la densidad de población del cultivo.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. IMPORTANCIA DEL CULTIVO DEL NOPAL

La nutrición ha evidenciado su importancia dentro de la salud pública como un factor determinante en la calidad de vida (Matheson *et al.*, 2012; Lichtenstein *et al.*, 2006). El nopal verdura (cladodios jóvenes o brotes tiernos) de *Opuntia* spp. y *Nopalea* spp (SEGOB, 2007), se ha reconocido como fuente de diversos fitonutrientes y compuestos funcionales (Cuadro 1), lo cual ha aumentado poco a poco su incorporación en la dieta humana (Rodríguez-Fuentes *et al.*, 2009; Arroyo, 2008; Blanco-Macias *et al.*, 2008; López, 2003; Araya, 2002).

Dentro de los principales cultivos que se produjeron en México durante 2011, la producción de nopal verdura se ubica en el lugar número 260 en volumen y en el lugar 277 en lo que se refiere a valor de la producción; en ese año, la superficie sembrada de nopal verdura fue de 12 472.41 ha, con una producción total de 723 815.42 t (SAGARPA-SIAP 2011).

La importancia económica y social del cultivo del nopal verdura en México radica en la gran superficie ocupada por nopaleras tanto silvestres como cultivadas, en el tipo y número de productores involucrados, en el tipo de regiones en que se cultiva nopal, en la diversidad de los productos generados (Flores-Hernández *et al.*, 2004; Blanco-Macias 2008; Araya, 2002; Flores *et al.*, 1995), y en el liderazgo del

comercio mundial, al exportar un volumen promedio de 3 382 t año⁻¹ durante el periodo 2002-2006 a Estados Unidos de América, Canadá, Japón y países europeos (SE, 2006).

Cuadro 1. Composición química del nopal (*Opuntia* sp.) con base a 100 g de materia fresca.

CONCEPTO	CONTENIDO (g)
Agua	88-95
Carbohidratos	3-7
Cenizas	1-2
Proteínas	0.5 – 1.7
Lípidos	0.2 g
MINERALES	Mg
Fosforo	16
Potasio	257
Calcio	93
Magnesio	52
Hierro	1.6
Manganeso	0.5
Cobre	0.1
Zinc	0.3
Compuestos funcionales	
Niacina	0.30 - 0.46
Acido ascórbico	7 – 22
Fitomenadiona	5.3
Carotenos totales	11.3 -53.5
Clorofila _{a+b}	11.52

Fuente: Blanco-Macías *et. al.*, 2008; Aguilar-Sánchez *et. al.*, 2007; Loayza y Chávez, 2007; Feugang *et. al.*, 2006; Magallanes-Quintanar *et al.*, 2004; Rodríguez, 2006; Sáenz, 1997.

2.2. PRODUCCIÓN DE NOPAL VERDURA

Numerosos investigadores (Rodríguez-Fuentes *et al.*, 2011; Almaguer-Sierra *et al.* 2009; Vázquez-Alvarado *et al.*, 2009) coinciden al reportar con fundamento en análisis bromatológicos hechos al nopal verdura que la producción de Biomasa Seca (BS) está relacionados con el sistema de cultivo, clima, fertilización, edad de la planta y genotipo.

2.2.1. Producción de Nopal verdura en sistemas intensivos

Ríos y Quintana (2005), trabajando con densidades de plantación de 11.1, 16.7, 25.0 y 47.6 pl m⁻² obtuvo una producción de .60, 0.76, 0.96 y 1.48 kg m⁻² de BF, respectivamente en un experimento referente al cultivo de nopal verdura en micro túnel realizado en el Campo Experimental Palma de la Cruz (México), cosechando sobre la penca madre brotes de 12 a 15 cm cada 12 días.

Ruiz-Espinoza *et. al.* (2008), evaluaron el efecto de la densidad de población en la producción de biomasa seca y fresca de nopal, obteniendo la mayor producción ($p \leq 0.05$) de BS y BF (47.3 y 903 g m⁻², respectivamente) en la densidad de población más alta (9 pl m⁻²) en el periodo marzo a agosto del 2001, utilizando un sistema de riego por goteo e incorporación de abono orgánico al suelo.

Almaguer-Sierra (2010), estudió el crecimiento de nopal verdura cultivado en forma hidropónica, empleando una densidad de 16 pl m⁻² y cosechando al

segundo nivel de planta, reportando una producción total de 25786.00 y 1624 g m⁻² de biomasa fresca y seca, respectivamente, biomasa seca. durante el periodo marzo-agosto 2009.

Con un ambiente controlado como la hidroponía, es posible disminuir la varianza debida al ambiente y estimar con mayor precisión el efecto de la densidad de población sobre la calidad nutrimental y producción del nopal (Rodríguez-Fuentes *et al.*, 2011; Almaguer-Sierra, 2010; Almaguer-Sierra *et al.*, 2009; Ramírez *et al.*, 2007).

2.3. CULTIVO HIDROPÓNICO DE NOPAL VERDURA

Los trabajos de producción de nopal verdura en sistemas hidropónicos en México son escasos y recientes (Rodríguez-Fuentes *et al.*, 2011; Almaguer-Sierra, 2010; Almaguer-Sierra *et al.*, 2009; Vázquez-Alvarado *et al.*, 2009; Zúñiga-Tarango, *et al.*, 2009; Almaguer-Sierra *et al.*, 2008; Ramírez *et al.*, 2007; Vázquez-Vázquez *et al.*, 2007). Este tipo de sistema ha demostrado un incremento significativo en la producción de biomasa debido a que la planta tiene mayor disponibilidad de minerales en la solución hidropónica con respecto a los que obtendría suelo (Rodríguez y Cantwell, 1988). Por otra parte, estos investigadores coinciden en que los sistemas hidropónicos pueden ser eficientes para ser utilizados en la investigación de las necesidades nutrimentales del cultivo en la producción de nopalito, por el control que se pueda ejercer en el manejo de la solución nutritiva, y debe tomarse con reserva si el propósito es producir nopalito para el mercado en

general, en donde tendría que considerarse el costo de inversión y el mercado para el cual se destina la producción; en este sentido, es importante el desarrollo de investigaciones encaminadas a la búsqueda del conocimiento de las relaciones del cultivo del nopal con los factores de la producción. Esto permitirá a los productores en el futuro, contar con mejores elementos en la toma de decisiones de inversión.

2.4. EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LAS PLANTAS

En sistemas de producción de materiales vegetales indiferentes al fotoperiodo, y sin limitaciones hídricas ni nutrimentales, la temperatura ejerce el efecto más significativo en la evolución de los procesos metabólicos (Neis *et. al.* 2010; Das Neves *et. al.*, 2010; Romero *et. al.*, 1998; Cámara *et. al.*, 1996; Filella y Peñuelas, 1994). Entre las reacciones que ocurren y que dependen de la temperatura, están: la solubilidad de nutrimentos, la absorción de agua, nutrientes y gases, así como algunos procesos de difusión que ocurren dentro de la planta (Hassan *et. al.*, 2007).

El crecimiento y desarrollo de las plantas se presenta dentro de un marco térmico definido (temperaturas cardinales): un nivel mínimo, debajo del cual no hay actividad celular clara, un óptimo en el cual el crecimiento y desarrollo alcanzan su

tasa máxima y un máximo sobre el cual cesa la actividad funcional (Almaguer-Sierra. 2010).

La optimización de la producción de un cultivo, siendo los demás factores iguales, es aquella en que la tasa relativa de crecimiento es superior a la de desarrollo fisiológico, es decir la planta crece más rápido de lo que envejece.

En base a este fundamento, se han apoyado los intentos de cuantificar la incidencia de estos fenómenos mediante el empleo de índices biotérmicos para alcanzar determinados estadios. Así surge el concepto de grados-día (GD), el cual está definido para un período específico, como los grados térmicos acumulados en una zona considerando una temperatura base durante el período fenológico en estudio (Ruiz-Espinoza *et. al.*, 2008; Romero *et. al.*, 1998). Almaguer-Sierra (2010) estimó la producción de nopal verdura en un sistema hidropónico cerrado determinando la tasa de incremento de BF y BS en relación a los GD, concluyendo que existe una relación lineal cuadrática ($p < 0.001$) entre la producción de BF y BS con los GD.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

La producción de biomasa fresca y seca, así como la concentración de algunos contenidos nutrimentales del nopal verdura cultivado en forma hidropónica fueron evaluadas en tres ensayos, correspondientes a los periodos: septiembre-octubre 2010 (ensayo I) en condiciones de cielo abierto; marzo 2011 (ensayo II) en ambiente de micro túnel; y abril-agostos 2011 (ensayo III) donde el experimento se condujo a cielo abierto y con micro túnel.

3.1. CONDICIONES DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Ubicación

El establecimiento del cultivo se realizó en el Centro de Investigación y Desarrollo en Hidroponía de la Facultad de Agronomía Campus Marín (25°23' N, 100°2'O. 393 msnm). El clima es BS1 (h')w (e), descrito como clima seco estepario cálido, con lluvias en verano (García, 1973).

3.1.2. Material Biológico

El material vegetal utilizado fue *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. cultivar "Villanueva". Se usaron cladodios de aproximadamente seis meses de edad, para prevenir la presencia de enfermedades se trataron con pasta bordelesa y se dejaron secar y cicatrizar durante una semana previo a su trasplante (Ruíz-Espinoza *et. al.*, 2008).

3.1.3. Establecimiento del Experimento

El trasplante se realizó el 12 de septiembre del 2010 en dos bancales hidropónicos de un sistema cerrado con sustrato, colocando los cladodios a un tercio de su longitud dentro del material que le proporcionó soporte físico (Fotografía 1). Las dimensiones del bancale son de 1.10 m de ancho (interior) y 14 m de largo. El piso está construido de concreto y las paredes con bloques de concreto, cuyas dimensiones son 0.12 m de ancho, 0.20 m de alto y 0.30 m de largo. El sustrato que se utilizó fue roca volcánica, el cual se trató previo al trasplante con una solución de ácido sulfúrico, amortiguada a pH 3 con la finalidad de eliminar microorganismos fitopatógenos. En la cabecera del bancale se encuentra un sistema de drenaje conectado a una cisterna con capacidad de 2.5 m³ que permite, una vez que el bancale se haya llenado con la Solución Nutritiva Hidropónica (SNH), se pueda drenar por gravedad y reciclar (Fotografía 2).



Fotografía 1. Trasplante en el bancal hidropónico.



Fotografía 2. Cisterna para preparar la SNH con un volumen de 2.5 m³.

3.1.4. Solución Nutritiva Hidropónica

La concentración de la SNH que se aplicó durante la investigación fue: 200, 60, 250, 200, 50, 100, 0.50, 0.25, 0.25, 0.02, 0.25 y 0.01 mg L⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, B, Cu, Zn y Mo respectivamente; durante la investigación no se consideró la adición de cloruro y calcio, ya que el análisis de agua a utilizar en la SNH, mostró que esta presentaba concentraciones mayores de estos elementos a las establecidas en la SNH estándar a emplear. En el Cuadro 2 se presentan los fertilizantes grado agrícola y los productos químicos grado reactivo empleados para formular la SNH. El volumen de SNH que se preparó en cada renovación fue de 2000 L. El pH se ajustó a un valor de 5.5. Todos los riegos se realizaron empleando SNH, estos se efectuaron cada tercer día. La renovación completa se realizó cada siete días (Rodríguez-Fuentes *et. al.*, 2011).

3.1.5. Diseño Experimental

En los tres ensayos se utilizó un diseño completamente al azar; se evaluaron tres tratamientos correspondientes a densidades de población de cladodios (DP) de 20 (T1), 30 (T2) y 40 (T3) pl m⁻², respectivamente.

En los ensayos I y II (periodo septiembre-octubre 2010 y marzo 2011, respectivamente) se utilizaron dos bancales del sistema hidropónico descrito en los puntos anteriores (3.1.3 y 3.1.4), se utilizaron ocho repeticiones.

El ensayo III (periodo abril-agosto 2011), consistió en contrastar el manejo del cultivo en un bancal a cielo abierto (B1) con respecto a un bancal con micro túnel (B2) induciendo la emisión de brotes por efecto de incrementar la temperatura del

aire. Los tratamientos se evaluaron con cuatro repeticiones. En los tres ensayos, la unidad experimental fue de 1.0 m².

Cuadro 2. Concentración de la solución nutritiva hidropónica (SNH) y las fuentes empleadas.

Elemento	Concentración mg L ⁻¹	Fuente
N	200	
P	60	KH ₂ PO ₄
K	250	KNO ₃
Ca	200	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O
Mg	50	Mg(NO ₃) ₂
S	100	H ₂ SO ₄
Fe	0.50	FeSO ₄ ·7H ₂ O
Mn	0.25	MnSO ₄ ·H ₂ O
B	0.25	H ₃ BO ₃
Cu	0.02	CuSO ₄ ·5H ₂ O
Zn	0.25	ZnSO ₄ ·H ₂ O
Mo	0.01	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O

Fuente: Rodríguez-Fuentes *et. al.*, 2011

3.1.6. Medición de Variables

3.1.6.1. Producción de biomasa

El muestreo de la biomasa se realizó cortando todos los brotes emitidos por la penca madre y que hubieran alcanzaron 0.15 m o más de largo (SEGOB, 2007; Ruiz-Espinoza *et al.*, 2008; Ríos y Quintana, 2004). De cada tratamiento, se determinó el número y peso fresco total de los cladodios cortados y se formó una muestra compuesta con quince de ellos. Posteriormente, se lavaron con agua

destilada y se secaron con papel de estraza. Para determinar el contenido de humedad se tomaron diez cladodios, se pesaron y se cortaron en tiras delgadas para facilitar su secado (Fotografía 3). Las muestras se introdujeron a una bolsa de papel previamente identificada con el fin de ser deshidratados en una estufa de convección forzada a una temperatura de 70 a 80° C hasta peso constante; con esta información se calculó el contenido de humedad y se determinó la biomasa seca (BS) (Almaguer-Sierra, 2010).



Fotografía 3. Preparación de la muestra antes de ser deshidratada.

3.1.6.2. Concentración de minerales

Los análisis de la BS para determinar la concentración de fósforo, potasio y magnesio se realizaron por digestión seca; la cual consistió en moler, tamizar (malla de 20 μm) y se llevaron a peso constante en una estufa de convección forzada a temperatura de 100°C. A continuación, se pesó 1.0 g en un crisol Gooch y se incineró por 4 h en una mufla a temperatura de 450 a 500°C. Se dejaron enfriar en un desecador, se determinó el peso de las cenizas y se humedecieron con agua destilada. Posteriormente, se le agregó aproximadamente 2 mL de HCL concentrado grado reactivo, se evaporó muy lentamente en una plancha caliente, al finalizar, se filtró y aforo a 25 mL con una solución de HCL 1N. El análisis de fósforo total se realizó por el método amarillo vanadato molibdato con un espectrofotómetro óptico marca Termo Spectronic, modelo Helios Epsilon (USA). Para determinar la concentración de potasio y magnesio, se empleó la técnica de espectroscopía de absorción atómica, (UNICAM Solar modelo 9626). La cristalería y material de polipropileno utilizado, fue previamente lavado, remojado 12 h con HNO_3 al 20% y enjuagado con agua desionizada, en todos los procesos de análisis; para realizar las curvas de calibración de cada nutriente se emplearon estándares certificados. Soluciones en blanco fueron preparadas y tratadas igual que las muestras. Las señales de la solución muestra fueron calculadas sustrayendo el valor promedio del blanco de las señales de la muestra. Las muestras se analizaron por triplicado y los resultados promedio se calcularon considerando la regla del 8%. Los procedimientos analíticos se realizaron según Rodríguez-Fuentes y Rodríguez-Absi (2011).

3.1.6.3. Concentración de clorofila

De cada tratamiento, por fecha de corte, se colectaron alrededor de 10 g de tejido fresco de la parte central de cada uno de los cinco cladodios restantes de la muestra compuesta y se homogenizó. Finalmente, este material fue procesado y se determinó el contenido de clorofila total (Cl_{a+b}) en base a la metodología de la AOAC (1980).

3.1.6.4. Grados-día

Los GD se calcularon considerando la siguiente fórmula:

$$GD = [(T \text{ max} + T \text{ min})/2] - T_b;$$

Donde GD = Grados día, Tmax = Temperatura máxima diaria (°C); Tmin = Temperatura mínima diaria (°C) y Tb = Temperatura base (10°C) por debajo de la cual la planta disminuye su crecimiento (Almaguer-Sierra, 2010, Hassan *et al.*, 2007). Los datos de temperatura máxima y mínima considerados se obtuvieron de la estación meteorológica localizada en el Campus Marín de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, excepto cuando esta variable se calculó en condiciones de cubiertas plásticas, donde estos datos fueron tomados de termómetros digitales colocados dentro de los micro túneles. Los GD se calcularon diariamente, se sumaron y se relacionaron con cada fecha de corte.

3.1.7. Análisis Estadístico

Se utilizó el Programa Predictive Analytic Software 18 (PASW® Statics 18) (IBM Incorporated, 2010) para realizar los análisis de varianza (ANVA). Los valores medios se separaron por la prueba de rango múltiple de Tukey ($P \leq 0.05$). Las figuras se elaboraron utilizando los programas SigmaPlot 10.0 (Systat Software Inc, 2010) y Microsoft Office Excel 2010 (Microsoft Corporation, 2010).

3.2. ENSAYOS

3.2.1. Ensayo I – Periodo Septiembre-Octubre 2010

El experimento se estableció en un sistema hidropónico cerrado, se emplearon dos bancales. El diseño experimental se menciona el punto 3.1.5. Las variables evaluadas se mencionan en el punto 3.1.6. Los cortes se realizaron cada 15 días, y hasta que la baja temperatura inhibió la emisión de brotes. Se realizaron en total tres cortes (28 de septiembre, 12 de octubre y 26 de octubre).

3.2.2. Ensayo II – Periodo Marzo 2011

En marzo debido a las condiciones de baja temperatura que se presentaron durante el periodo de heladas (2-6 febrero 2011), se evaluó la producción de nopal verdura en condiciones de micro túnel. El experimento se estableció en dos bancales del sistema hidropónico cerrado. El diseño experimental y los tratamientos evaluados se describen en el punto 3.1.5 y 3.1.6 respectivamente.

El 20 de diciembre de 2010 se realizó la instalación de micro túneles sobre los bancales usados en el experimento con el fin de proteger el cultivo del efecto de las heladas esperadas. La cubierta utilizada consistió en colocar una película de polietileno de 6×10^{-4} m de grosor sobre soportes metálicos (Ríos y Quintana, 2004). En cada micro túnel, se instaló un termómetro digital para interiores y exteriores (marca Steren, modelo TER-100, China). La ventilación en los micro túneles se realizó cuando la temperatura ambiental externa superó los 10°C (Fotografía 4).

A fin de estimular la producción de cladodios a evaluar durante el periodo marzo 2011, el 25 de enero de 2011 se cortaron todos los cladodios emergidos durante los primeros días del año (Ríos y Quintana, 2004). Se determinaron las variables mencionadas en el punto 3.1.6, se realizaron cuatro cortes cada 7 días (1, 8, 15 y 22 de marzo del 2011).



Fotografía 4. Micro túnel.

3.2.3. Ensayo III – Periodo Abril-Agosto 2011

Este ensayo se condujo en condiciones de micro túnel y a cielo abierto. El diseño del experimento se describió en el punto 3.1.5. Las variables evaluadas (punto 3.1.6) se determinaron cada 7 días, dándose un total de 19 cortes durante el periodo comprendido entre el 05 de abril y 09 de agosto del 2011.

En el Cuadro A1, A2, A3 y A4 se presentan los datos de temperatura máxima y mínima considerados en esta investigación.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. ENSAYO I – Periodo septiembre-octubre 2010

4.1.1. Producción de Biomasa de Nopal Verdura

Durante el periodo 28 de septiembre-26 de octubre 2010 se realizó cada 15 días la cosecha de nopal verdura para un total de tres cortes. Los análisis de varianza ($p \leq 0.05$) no mostraron diferencia significativa entre tratamientos para producción de BS (Cuadro A5, A6 y A7) y BF en ninguno de los cortes. En el Cuadro 3 se presenta un resumen de estos resultados, Ruiz-Espinoza *et. al.*, (2008), reportaron que el aumento en la DP incrementó la producción de BS y BF en cinco cultivares de nopal verdura; el promedio de producción por corte cada 15 días fue de 81 g m^{-2} de BS. Cabe señalar que las DP evaluadas fueron 3, 6 y 9 pl m^{-2} en un sistema de cultivo tradicional en suelo. La no significancia en la producción de BS y BF en nuestros resultados pudo deberse a las altas densidades evaluadas (20, 30 y 40 pl m^{-2}); la producción promedio por corte fue de 41 g m^{-2} de BS, esto correspondió a la mitad de lo reportado por los citados autores, posiblemente debido a las fechas de cultivo dado que la producción reportada por Ruiz-Espinoza *et. al.*, (2008) correspondió a los meses de mayo a agosto donde las condiciones climáticas fueron favorables para el desarrollo del cultivo (Almaguer-Sierra 2010). La producción de BS fue limitada por las bajas temperaturas que se presentaron durante el periodo de los cortes y disminuyeron la emisión de brotes (Flores-Hernandez *et al.*, 2005) (Cuadro 4 y Figura 1).

Cuadro 3. Producción de biomasa seca, biomasa fresca y GD.

Corte	T	BS g m ⁻²		DE	BF g m ⁻²		DE	GD
1	1	40.196	a	±15.404	1025.000	a	±392.792	355.87
	2	60.223	a	±35.787	1350.000	a	±802.229	
	3	73.513	a	±53.737	1456.250	a	±1064.504	
2	1	20.198	a	±4.697	693.750	a	±161.328	154.07
	2	69.360	a	±89.000	1531.250	a	±1964.859	
	3	55.125	a	±29.696	1131.250	a	±609.413	
3	1	14.315	a	±7.156	352.500	a	±176.210	87.65
	2	23.902	a	±13.197	552.500	a	±305.041	
	3	28.000	a	±11.566	600.000	a	±247.848	

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente (Tukey $\alpha=0.05$).

T = Tratamiento. BS = Biomasa seca. BF = Biomasa Fresca.

DE = Desviación estándar. GD = grados-día.

Cuadro 4. Comparación de Medias Total (DP 1+2+3) de Cladodios Cosechados y oferta térmica en el periodo de corte.

Corte	Numero de brotes		T. Max. °C	T. Min. °C	T. Med. °C	GD
1	44.38	a	32.2	22.2	26.0	256.14
2	24.13	b	30.3	14.2	21.7	164.07
3	10.88	b	29.2	13.8	20.9	152.05

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente (Tukey $\alpha=0.05$).

T. Max.= Temperatura máxima. T. Min. = Temperatura mínima. T. Med. = Temperatura media. GD = grados-día.

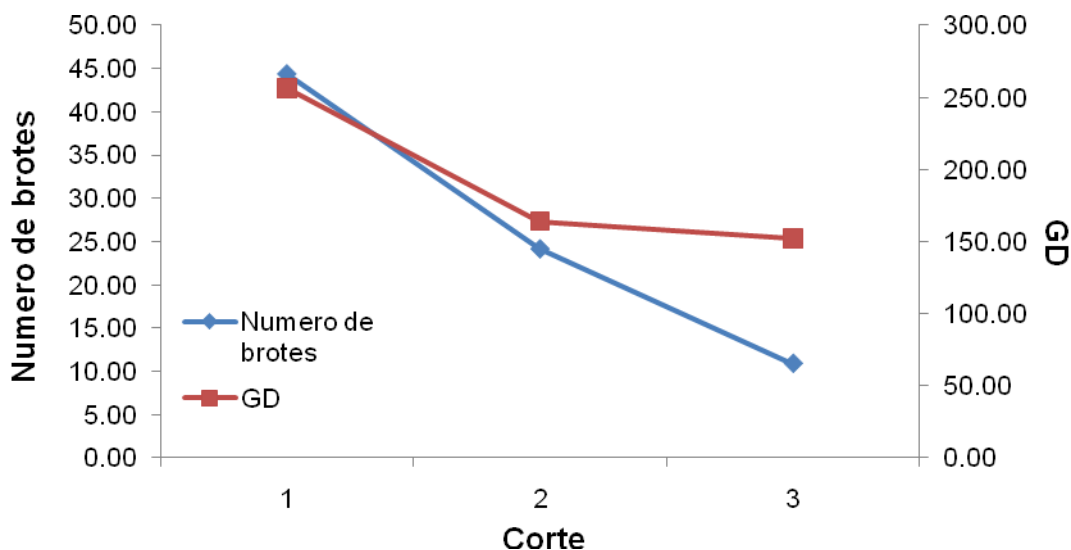


Figura 1. Media Total de Brotes Cosechados (T1+T2+T3) y GD Acumulados por Corte.

El análisis de varianza para producción total de BS (Cuadro A8) entre tratamientos fue significativo, DP 40 y 30 pl m⁻² mostraron las mayores medias ($P \leq 0.05$), 156.64 y 153.49 g m⁻², para esta variable (Cuadro 5)

Cuadro 5. Producción total (Cte 1+2+3) de BS y BF en las DP evaluadas.

T	BS g m ⁻²	DE	Tukey	BF g m ⁻²	DE	Tukey
1	74.7089	±12.12959	b	2071.2500	±300.78172	a
2	153.4851	±87.34950	a	3433.7500	±1923.34484	a
3	156.6371	±53.02189	a	3187.5000	±1050.08503	a

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente (Tukey $\alpha=0.05$)

BS = Biomasa seca. BF = Biomasa fresca

4.1.2 Producción de Clo_{a+b}

La producción de Clo_{a+b} fue significativa ($P \leq 0.05$) para tratamientos y periodos de corte (Cuadro A9). La prueba de medias mostro la mayor producción en DP 40 y 30 pl m⁻² (35.36 y 34.51 g m⁻²) ($P \leq 0.05$), sin diferencia estadística entre ellas (Cuadro 6). El efecto de DP sobre la producción de Clo_{a+b} puede estar relacionado al incremento en la producción total de BS al aumentar la DP.

La producción de Clo_{a+b} fue superior en los cortes 1 y 2 (36.29 y 34.30 g m⁻²), sin diferencia estadística entre ellos ($P \leq 0.05$) (cuadro 7). Estos resultados están relacionados al decremento de GD acumulados en cada periodo de corte.

Cuadro 6. Producción total de Clo_{a+b} en las DP en las 3 fechas de corte evaluadas.

T	Clo _{a+b} g m ⁻²	
1	19.22	b
2	34.51	a
3	35.36	a

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente (Tukey $\alpha=0.05$). T = Tratamiento. Clo_{a+b} = Clorofila_{a+b}.

Cuadro 7. Producción de Clo_{a+b} en los periodos de corte evaluados.

Cte	Clo _{a+b} g m ⁻²	
1	36.29	a
2	34.29	a
3	18.51	b

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente (Tukey $\alpha=0.05$). Cte = Corte. Clo_{a+b} = Clorofila_{a+b}.

4.2 ENSAYO II – Periodo marzo 2011

4.2.1. Producción de Biomasa de Nopal Verdura

En el periodo comprendido entre el 1 y 22 de marzo 2011, la cosecha de nopal verdura cultivado en micro túnel se realizó cada siete días para un total de cuatro cortes. La diferencia de medias ($P \leq 0.05$) en la producción de BS de los tratamientos fue significativa en el tercer y cuarto corte, 15 y 22 de marzo, respectivamente. La producción de BF presentó un comportamiento similar a la producción BS, siendo significativo ($P \leq 0.05$) en los cortes tres y cuatro (Cuadro 8, A10, A11, A 12 y A13).

Las temperaturas máximas que se presentaron durante los cortes 1 y 2 oscilaron en un rango de 33.6 a 52.8°C y las temperaturas mínimas durante los periodos de corte oscilaron de 4.8 a 21.8°C, lo que quizás ocasionó estrés en las plantas, previos a la primera y segunda cosecha (1 y 8 de marzo, respectivamente) provocando que no hubiera diferencia significativa entre tratamientos en estos cortes. Las temperaturas máximas que se presentaron durante los cortes 3 y 4 oscilaron en un rango de 41.4 a 52.7°C y las temperaturas mínimas durante los periodos de corte oscilaron 2.1 a 18.4°C. En general, la relación que se aprecia es congruente con lo consignado por otros autores (Hassan *et al.*, 2007; Flores-Hernández *et al.* 2005), puesto que a mayores temperaturas máxima y mínima se espera una mayor actividad biótica,

traducida en el presente caso en producción de biomasa fresca y seca por las plantas.

La producción total de BS y BF (corte 1+2+3+4) fue significativa ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos evaluados (Cuadro A14), coincidiendo con Ruiz-Espinosa *et al.* (2008), al incrementarse la producción de BS y BF de nopal verdura al aumentar la DP (cuadro 9).

En el presente ensayo, los tratamientos de 30 y 40 pl m⁻² mostraron la mayor producción total de BS, 8591.25 y 9768.75 g m⁻², respectivamente ($P \leq 0.05$) (Cuadro 9). Estos valores fueron superiores a 4400 y 4760 g m⁻² reportado por Ríos y Quintana (2004) en los ciclos 19 de enero - 21 de marzo 1999 y 15 de diciembre 1999 - 14 de marzo 2000, trabajando en suelo, con una DP de 47.6 pl m⁻², y empleado micro túnel. La diferencia en la producción de BF entre estas dos investigaciones puede ser debida a que la SNH proporcionó condiciones nutricionales más favorables (Rodríguez-Fuentes *et al.*, 2011).

Cuadro 8. Producción de BS y BF, comparación de medias.

Corte	T	BS g m ⁻²	DE	BF g m ⁻²	DE
1	1	64.441	a ±35.799	1353.250	a ±751.773
	2	43.144	a ±20.965	943.750	a ±458.598
	3	60.6948	a ±34.451	1237.500	a ±702.419
2	1	104.479	a ±34.926	2425.000	a ±810.643
	2	131.767	a ±23.612	3100.000	a ±555.492
	3	126.723	a ±43.981	2837.500	a ±984.795
3	1	81.394	b ±31.846	2193.750	b ±858.336
	2	141.704	a ±35.848	3487.500	a ±882.266
	3	161.681	a ±40.312	4025.000	a ±1003.565
4	1	13.756	b ±5.146	350.000	b ±130.930
	2	39.646	ab ±25.152	1060.000	ab ±672.479
	3	65.016	a ±32.745	1668.750	a ±840.466

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente (Tukey $\alpha=0.05$).

T = Tratamiento. BS = Biomasa Seca. BF = Biomasa Fresca. DE = Desviación estándar.

Cuadro 9. Producción total (Cte 1+2+3+4) de BS y BF en las DP evaluadas.

T	BS g m ⁻²	DE	BF g m ⁻²	DE
1	264.068	c ±41.199	6322.000	b ±971.498
2	356.261	b ±34.184	8591.250	a ±878.171
3	414.115	a ±58.525	9768.750	a ±1351.966

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente (Tukey $\alpha=0.05$).

T = Tratamiento. BS = Biomasa Seca. BF = Biomasa Fresca. DE = Desviación estándar.

4.2.2. Producción de Clo_{a+b}

Los análisis de varianza para producción de Clo_{a+b} (Cuadro A15) fueron significativos ($P \leq 0.05$) para tratamiento y corte.

Al realizar la prueba de medias, DP 40 pl m⁻² mostró el mayor valor para esta variable (280.04 g m⁻²) ($P \leq 0.05$), seguido por la DP 30 pl m⁻² y finalmente por la DP 20 pl m⁻² (Cuadro 10), coincidiendo con el aumento en producción total de BS al incrementar la DP.

Al realizar la prueba de medias mostró diferencia estadística entre las 4 fechas de corte. El Cte 3 fue estadísticamente superior (1.1692 g m⁻²), seguido del Cte 2 (299.13 g m⁻²), Cte 1 (122.26 g m⁻²) y el Cte 4 (109.20 g m⁻²) ($P \leq 0.05$), (Cuadro 11), mostrando relación con el análisis de varianza para producción total (T1+T2+T3) de BF y BS por corte (Cuadro 12).

Cuadro 10. Producción de Clo_{a+b} en las DP en las 4 fechas de corte evaluadas.

Tratamiento	Clo _{a+b} g m ⁻²	
1	158.69	c
2	243.14	b
3	280.04	a

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente (Tukey $\alpha = 0.05$).

Clo_{a+b} = Clorofila_{a+b}.

Cuadro 11. Producción de Clo_{a+b} en los periodo de corte.

Corte	Clo _{a+b} g m ⁻²	
1	122.26	c
2	299.13	b
3	378.56	a
4	109.20	d

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente (Tukey $\alpha=0.05$).

Clo_{a+b} = Clorofila_{a+b}.

Cuadro 12. Producción de BS y BF en los periodos de corte (DP 1+2+3).

Corte	BS g m ⁻²		BF g m ⁻²	
1	56.09	b	1178.17	b
2	120.99	b	2787.50	b
3	128.26	a	3235.42	a
4	39.47	a	1026.25	a

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente (Tukey $\alpha=0.05$)

BS = Biomasa Seca. BF = Biomasa Fresca.

4.3. ENSAYO III – Periodo abril-agosto 2011

4.3.1. Producción de Biomasa

Durante el periodo 12 de abril-10 de agosto se realizó la cosecha de nopal verdura cada siete días para un total de 18 cortes, considerando que el brote presentara a lo largo una longitud mayor de 0.15 m.

4.3.1.1. Bancal a cielo abierto

4.3.1.1.1. Fecha de corte y DP

El análisis de varianza de BS entre tratamientos fue significativo ($P \leq 0.05$) en los cortes 1, 2, 3, 7, 8 y 12 (Figura 2). La prueba de medias en el Cte 1 mostró que la mayor producción de BS (194.84 g m^{-2}) ($P \leq 0.05$) correspondió al T2. La mayor producción de BS en los cortes 2, 3, 7, 8 y 12 la presento el T3 (100.06, 67.09, 69.51, 65.26, 88.1 g m^{-2} , respectivamente) ($P \leq 0.05$).

El análisis de varianza de BS mostró significancia para fecha de corte ($P \leq 0.05$). La prueba de Tukey diferenció las medias para esta variable en 5 grupos (Cuadro 13), mostrando al Cte 1 (12 de abril) con la mayor producción de BS (4005.00 g m^{-2}) ($P \leq 0.05$).

4.3.1.1.2. BS total

La producción total de BS en los 18 cortes (Cuadro 14, A16) fue significativa y estadísticamente igual para los tratamientos 3 y 2 correspondiendo a 1403.07 y

1290.81 g m⁻², respectivamente ($P \leq 0.05$). Esto mismo se aprecia para la producción de BF. Resultados similares reportó Ruiz-Espinosa *et. al.* (2008). Almaguer-Sierra (2010), obtuvo una producción de 1624.00 y 25786.00 g m⁻² de BS y BF, respectivamente, durante el periodo 13 de marzo-28 de agosto (21 cortes), con una DP de 16 pl m⁻², cosechando sobre el segundo nivel de planta, en la variedad "Villanueva" en un sistema hidropónico cerrado en Marín, N. L. (México). Cabe mencionar que en esta investigación el sistema de manejo consistió en llevar la planta madre a desarrollar una estructura con dos pencas en la parte superior (Sistema oreja de ratón), para lo cual se requirió de 6 meses después del trasplante para formar la planta e iniciar la cosecha, en nuestra investigación la cosecha se inició 15 días después del trasplante, esto presenta una ventaja con respecto a lo reportado por Almaguer-Sierra (2010), dado que en un periodo más corto, se contó con una superficie de cosecha mayor por tener mayor número de plantas madre sobre las cuales cosechar.

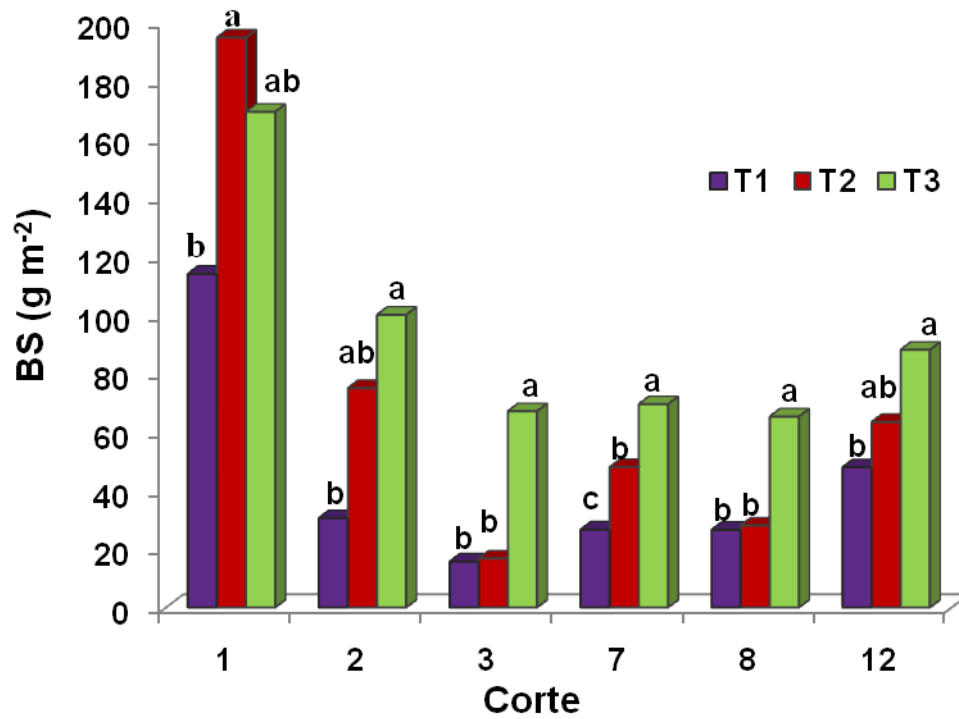


Figura 2. Producción de BS entre tratamientos (por corte). Bancal a Cielo abierto. Medias con la misma letra por corte no difieren estadísticamente (Tukey $\alpha=0.05$). T = Tratamiento. BS = Biomasa seca.

Cuadro 13. Producción de BS (T1+T2+T3) y periodo de corte.

Corte	BS g m ⁻²				
	a	b	c	d	e
1	4005.00				
5		2975.00			
6		2700.00			
16			1908.33		
9			1883.33		
2			1700.00	1700.00	
12			1454.17	1454.17	1454.17
10			1433.33	1433.33	1433.33
11			1254.17	1254.17	1254.17
18			1216.67	1216.67	1216.67
15				1170.83	1170.83
17				1146.67	1146.67
7				1120.83	1120.83
4				1091.67	1091.67
14				1079.17	1079.17
8					933.33
13					866.67
3					845.83

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente (Tukey $\alpha=0.05$).
BS = Biomasa seca.

Cuadro 14. Producción total de BS y BF (18 cortes) en las DP evaluadas.

Tratamiento	BS			BF		
	g m ⁻²	DE		g m ⁻²	DE	
1	946.46	±60.06	b	22150.00	±1482.12	b
2	1290.81	±87.54	a	30840.00	±2107.78	a
3	1403.07	±103.57	a	33365.00	±2414.38	a

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente (Tukey $\alpha=0.05$).
BS = Biomasa Seca. BF = Biomasa Fresca. DE = Desviación estándar.

4.3.2. Producción de Clo_{a+b}.

El análisis de varianza en producción de Clo_{a+b} fue significativo ($P \leq 0.05$) para tratamiento y periodo de corte (Cuadro A17). Las pruebas de medias muestran que el T3 (Cuadro 15) y el Cte 1 (Cuadro 16) presentaron las mayores producciones de Clorofila total (244.26 y 363.94 g m⁻², respectivamente).

Cuadro 15. Producción total de Clo_{a+b} y DP.

T	Clo _{a+b} g m ⁻²	Tukey
1	155.13	c
2	172.84	b
3	244.26	a

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente (Tukey $\alpha=0.05$).

T = Tratamiento. Clo_{a+b} = Clorofila_{a+b}.

Cuadro 16. Producción de Clo_{a+b} y periodo de corte.

Cte	Clo _{a+b} g m ⁻²						
	a	b	c	d	e	f	g
1	363.94						
9		217.09					
12			193.18				
10				174.78			
18					152.94		
11						135.38	
17							97.91

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente (Tukey $\alpha=0.05$).

Cte = Corte. Clo_{a+b} = Clorofila_{a+b}.

4.3.3. Concentración Nutrimental. Ensayo 3.

4.3.3.1. Bancal cielo abierto.

4.3.3.1.1. Fosforo.

Los análisis de varianza para la concentración de P (Base Seca) fueron no significativos ($P \leq 0.05$) para DP y significativos ($P \leq 0.05$) para periodos de corte (Cuadro A18); por lo cual se puede inferir que el manejo hidropónico con respecto a la renovación completa cada 7 días de la SNH permitió que no se presentara competencia entre las DP evaluadas.

La prueba de Tukey en los periodos de corte diferenció las medias para esta variable en 8 grupos (Cuadro A19), mostrando al Cte 1 (12 de abril) con la mayor concentración de P (8012 mg kg^{-1}) ($P \leq 0.05$). La concentración media de este elemento durante los 18 cortes en las DP fue $6152 (\pm 94) \text{ mg kg}^{-1}$ (Cuadro 17).

Cuadro 17. Concentración media de P, en las DP en las 18 fechas de corte evaluadas.

Tratamiento	P mg kg ⁻¹ (Base Seca)
1	6161
2	6241
3	6054
Media	6152
Desviación Estándar	±94

4.3.3.1.2. Potasio.

Los análisis de varianza para la concentración de K (Base Seca) fueron no significativos ($P \leq 0.05$) para DP y significativos ($P \leq 0.05$) para periodos de corte; por lo cual se puede inferir que el manejo hidropónico con respecto a la renovación completa cada 7 días de la SNH permitió que no se presentara competencia entre las DP evaluadas.

La prueba de Tukey en los periodos de corte diferenció las medias para esta variable en 6 grupos (Cuadro A19), mostrando al Cte 6 (17 de mayo) con la mayor concentración de K ($152787 \text{ mg kg}^{-1}$) ($P \leq 0.05$). La concentración media de este elemento en las DP fue $110358 (\pm 1562) \text{ mg kg}^{-1}$ (Cuadro 18).

Cuadro 18. Concentración media de K, en las DP en las 18 fechas de corte evaluadas.

Tratamiento	K mg kg^{-1} (Base Seca)
1	108759
2	110434
3	111880
Media	110358
Desviación Estándar	± 1562

4.3.3.1.3. Magnesio.

Los análisis de varianza para la concentración de Mg (Base Seca) fueron no significativos ($P \leq 0.05$) para DP y significativos ($P \leq 0.05$) para periodos de corte; por lo cual se puede inferir que el manejo hidropónico con respecto a la renovación completa cada 7 días de la SNH permitió que no se presentara competencia entre las DP evaluadas.

La prueba de Tukey en los periodos de corte diferenció las medias para esta variable en 8 grupos (Cuadro A20), mostrando al Cte 7 (12 de abril) con la mayor concentración de Mg (8012 mg kg^{-1}) ($P \leq 0.05$). La concentración media de este elemento en las DP fue $12059 (\pm 396) \text{ mg kg}^{-1}$ (Cuadro 19).

Cuadro 19. Concentración media de Mg, en las DP en las 18 fechas de corte evaluadas.

Tratamiento	Mg mg kg^{-1} (Base Seca)
1	11890
2	12512
3	11775
Media	12059
Desviación Estándar	± 396

5. CONCLUSIONES

5.1. ENSAYO 1 (3 CORTES)

La DP de 30 y 40 pl m⁻² fue significativa ($P \leq 0.05$) para producción total de BS, siendo esta de 153.4851 y 156.64 g m⁻², respectivamente. La menor producción correspondió a la DP de 20 pl m⁻², siendo de 74.71 g m⁻² ($P \leq 0.05$).

La DP de 30 y 40 pl m⁻² fue significativa ($P \leq 0.05$) para producción total de Clo_{a+b}, siendo esta de 34.51 y 35.36 mg m⁻², respectivamente. La menor producción correspondió a la DP de 20 pl m⁻², siendo de 19.22 mg m⁻² ($P \leq 0.05$).

5.2. ENSAYO 2 (4 CORTES)

La producción total de BS (414.115 g m⁻²) fue mayor en la DP de 40 pl m⁻² ($P \leq 0.05$), la menor producción de BS (264.068 g m⁻²) ($P \leq 0.05$) se presentó en la DP 20 pl m⁻².

La producción total de Clo_{a+b} (280.04 mg m⁻²) fue mayor en la DP de 40 pl m⁻² ($P \leq 0.05$), la menor producción de Clo_{a+b} (158.69 mg m⁻²) ($P \leq 0.05$) se presentó en la DP 20 pl m⁻².

5.3. ENSAYO 3 (18 CORTES)

La DP de 30 y 40 pl m⁻² fue significativa ($P \leq 0.05$) para producción total de BS, siendo esta de 1290.81 y 1403.07 g m⁻², respectivamente. La menor producción correspondió a la DP de 20 pl m⁻², siendo de 946.46 g m⁻² ($P \leq 0.05$).

La producción total de Clo_{a+b} (244.26 mg m⁻²) fue mayor en la DP de 40 pl m⁻² ($P \leq 0.05$), la menor producción de Clo_{a+b} (155.13 mg m⁻²) ($P \leq 0.05$) se presentó en la DP 20 pl m⁻².

La concentración de P, K Mg (Base Seca) en las DP evaluadas no fue significativa ($P \leq 0.05$), lo que permite asumir que la renovación de la SNH cada 7 días permitió que no se presentara competencia entre las DP evaluadas por estos nutrientes.

6. BIBLIOGRAFIA

- Aguilar, B. G. y C. B. Peña V. 2006. Alteraciones fisiológicas provocadas por sequia en nopal (*Opuntia ficus-indica*). *Rev. Fisiotec. Mex.* 29(3): 231-237. <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/610/61029307.pdf> (3 de noviembre 2010).
- Aguilar-Sánchez, L.; M. T. Martínez-Damián; A. F. Barrientos-Priego; N. Aguilar-Gallegos; y C. Gallegos-Vásquez. 2007. Potencial de oscurecimiento enzimático de variedades de nopalitos. *J. PAD.* 9: 165-184. 2007 <http://www.jpacd.org/V9/V9P165-184.pdf> (15 octubre 2010).
- Almaguer-Sierra, P., H. Rodríguez-Fuentes, R. D. Valdez-Contreras, J. A Vidales-Contreras, L. Barrientos L., J. Aranda R., y J. Nava G. 2008. Producción Intensiva de Nopal Verdura en un Sistema Hidropónico Cerrado. *Tecnointelecto.* 5(2): 9-14.
- Almaguer-Sierra, P., H. Rodríguez-Fuentes, J. A. Vidales-Contreras, R. Valdez-Cepeda, J. Aranda-Ruíz, J. Rodríguez-Absi, M. López-Jiménez, and J. C. Rodríguez-Ortíz. 2009. Biomass accumulation in *Opuntia ficus indica* (L.) Mill plants grown in a closed hydroponic system. *Acta Hort. (ISHS)* 843:35-42.
- Almaguer-Sierra, P. 2010. Relación entre la producción de biomasa de *Opuntia ficus-indica* (L.) y el índice térmico grados-día. Tesis de Doctorado. División de Estudios de Posgrado. Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Nuevo León.

- Anza, M.; P. Riga, and C. Garbisu. 2006. Effects of variety and growth season on the organoleptic and nutritional quality of hydroponically grown tomato. *Journal of Food Quality*. 29: 16-37.
- Araya, M. B., y E. Atalah S. 2002. Factores que determinan la selección de alimentos en familia de sectores populares. *Rev. chil. nutr.* 29(3): 308-315. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S07177518_20020003_00006&lng=es. (01 mayo 2010).
- Arroyo, P. 2008. La alimentación en la evolución del hombre: su relación con el riesgo de enfermedades crónico degenerativas. *Bol. Med. Hosp. Infant. Mex.* 46: 431-440. <http://www.medigraphic.com/pdfs/bmhim/hi-2008/hi086d.pdf> (23 de abril 2010).
- Association Of Analytical Communities (A.O.A.C). 1990. Official methods of analysis. Décimo sexta edición, Vol. 2. International Association of Official Agricultural Chemist. Maryland, USA. 1114 p.
- Blanco-Macías, F., R. D. Valdez-Cepeda, R.R. Ruíz-Garduño, M. Márquez Madrid, R. E. Vázquez-Alvarado, and R. Magallanes-Quintanar. 2007. Nopalitos Intensive Production in Single and Double DugRaised Beds. VI International Congress on Cactus Pear and Cochineal. VI General Meeting of Cactusnet. 22-26 october. João Pessao, Paraiba, Brazil.
- Blanco-Macías, F., R. D. Valdez-Cepeda; R. E. Vázquez-Alvarado, y P. Almaguer-Sierra. 2008. Establecimiento y manejo de nopalito para verdura. En VII Simposium-Taller "Producción y Aprovechamiento del Nopal en el Noreste de México". *RESPYN*. Edición Especial. 2: 1-17. 2009.

<http://www.respyn.uanl.mx/especiales/2009/ee-02-2009/index.html> (4 de febrero 2010).

Butera, D., L. Tesoriere; F. Di Gaudio, A. Bongiorno, M. Allegra, A. M. Pintaudi, R. Kohen, and M. A. Livrea. 2002. Antioxidant Activities of Sicilian Prickly Pear (*Opuntia ficus-indica*) Fruit Extracts and Reducing Properties of Its Betalains: Betanin and Indicaxanthin. *J. Agric. Food Chem.* 50(23): 6895–6901. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf025696p> (30 abril 2010).

Callejas-Juárez, N., J. A. Matus-Gardea, J. A. García-Salazar, M. A. Martínez-Damián, y J. M. Salas-González. 2009. Situación actual y perspectivas de mercado para la tuna, el nopalito y derivados en el Estado de México, 2006. *Agrociencia* 43(1): 73-82.

Cámara, G. M. S., T. Sedyama, D. Dourado-Neto, and M. S. Bernardes. (1996). Influence of photoperiod and air temperatura an the growth, flowering and maturation of soybean (*Glycene max* (L) Merrill). *Sci. agric.* 54: 149-154. http://www.scielo.br/scielo.php?pid=s010390161997000300017&script=sci_arttext (14 julio 2010).

Casierra-Posada, F., y D. M. González. 2009. Cambio circadiano de pH y acidez titulable en la savia de fique (*Furcraea castilla* y *F. macrophylla*. *Orinoquia* 13(1):15-13. Colombia. <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/896/89612776003.pdf> (19 de abril 2011).

Das Neves, E. L., F. L. Silveira, e B. F. Viana. 2010. Comportamento fenológico de três espécies de *Jatropha* (Euphorbiaceae) da Caatinga, semi-árido do

- Brasil. *Revista Brasil. Bot.* 33(1): 155-166.
<http://www.scielo.br/pdf/rbb/v33n1/14.pdf> (14 julio 2010).
- Felker, P., and P. Inglese. 2003. Short-Term and Long-Term Research Needs for *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Utilization in Arid Areas. *J.PACD.* 5: 131 - 152. 2003. <http://www.jpacd.org/V5P131-152.pdf> (27 de abril 2010).
- Feugang, J. M., P. Konarski, D. Zou, F. C. Stintzing, and C. Zou. 2006. Nutritional and medicinal use of Cactus pear (*Opuntia spp.*) cladodes and fruits. *Front. Biosci.* 11: 2574-2589.
- Filella, I., and J. Peñuelas. 1994. The red edge position and shape as indicator of plant chlorophyll content, biomass and hydric status. *Int. J. Remote Sensing,* 15(7): 1459-1470. <http://www.creaf.uab.cat/ecophysiology/pdfs%20grup/pdfs/IJRemSens1994.pdf> (5 de noviembre 2010).
- Flores, V. C. A. 1995. "Factores económicos que afectan la producción de nopal en México. En: Pimienta-Barrios, E., C. Neri-Luna, A. Muñoz-Urías y F.M. Huerta-Martínez (Comp.) Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Memorias del 6to Congreso Nacional y 4to Congreso Internacional. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México. pp. 228-234.
- Flores-Hernández, A., I. Orona-Castillo, B. Murillo-Amador, R. D. Valdez-Cepeda, y J. L. García-Hernández. 2004. Producción y calidad de nopalito en la región de la Comarca Lagunera de México y su relación con el precio en el mercado nacional. *J. PACD.* 6: 23-34.
- Flores Hernández, A., R. Trejo Calzada, J. G. Arreola-Ávila, I. Orona-Castillo, B. Murillo-Amador, M. Rivera-González, J. G. Martínez-Rodríguez, y E. A. García-Gallegos. 2005. Producción estacional de nopal verdura (*Opuntia*

spp.) bajo riego por goteo en una región agrícola de México. *J. PACD*. 7: 84-96.

Flores-Mendiola, G. R., H. Rodríguez-Fuentes, E. Sánchez-Alejo, J. Aranda-Ruiz. 2011. Producción de biomasa y parámetros sensoriales de nopal verdura cultivado de forma hidropónica. XXXIV Ciclo de seminarios de posgrado. Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Nuevo León. pp 46-58.

García, E. 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. http://cdigital.dgb.uanl.mx/la/1020081042/1020081042_011.pdf (10 de febrero 2010).

Granados S. D.; y A. D. Castañeda P. 1991. El Nopal. Historia, fisiología, genética e importancia frutícola. Editorial Trillas, México. 227 p.

Hassan, Q. K., P. A. Charles, R. M. Bourque F., and R. William. 2007. Spatial mapping of growing degree days: an application of MODIS-based surface temperatures and enhanced vegetation index. *Journal of Applied Remote Sensing*. 1: 1-12.

IBM incorporated. 2010. PASW (Predictive Analytics SoftWare). SPSS. <http://www.spss.com/>

Lara, H. A. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidropónia. *TERRAlatinoamericana*, 17(3): 221-229. Julio - septiembre 2000. <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/573/57317306.pdf> (6 de marzo 2010).

Loayza, G. D., y J. Chávez. 2007. Estudio bromatológico del cladodio del nopal (*Opuntia ficus-indica*) para el consumo humano. *Rev. Soc. Quím. Perú* 73(1): 41-45. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v73n1/a05v73n1.pdf> (2 de mayo 2010).

- López C., A. F. 2003. La calidad de frutas y hortalizas. En Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas. Del campo al mercado. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO 151. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 185 p. <http://www.fao.org/docrep/006/y4893s/y4893s08.htm> (28 de abril 2010).
- López G., J. J., y E. J. Elizondo. 1990. El Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal en México. Memorias de la 3a. Reunión Nacional y la 1ra. Internacional, sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. 359 p.
- Magallanes-Quintanar, R., R. D. Valdez-Cepeda, F. Blanco-Macías, M. Márquez-Madrid, R. R. Ruíz-Garduño, O. Pérez-Veyna, J. L. García-Hernández, B. Murillo-Amador, J. D. López-Martínez, and E. Martínez-Rubín de Celis. 2004. Compositional Nutrient Diagnosis In Nopal (*Opuntia ficus-indica*). *J. PACD*. 6: 78-89. 2004. <http://www.jpacd.org/V6/Magallanes-Qfnl.pdf> (27 de abril 2010).
- Mondragón, C. J., S. J. Méndez G., y G. Olmos O. 2003. El cultivo de *Opuntia* para la producción de forraje: de la reforestación al cultivo hidropónico. En el nopal (*Opuntia* spp.) Como Forraje. Estudio FAO, Producción y protección vegetal 169. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, 2003. <http://www.fao.org/docrep/007/y2808s/y2808s0f.htm>. (12 Abril 2010).
- Moßhammer, M. R., F. C. Stintzing, and R. Reinhold Carle. 2006. Cactus Pear Fruits (*Opuntia* spp.): A Review of Processing Technologies and Current Uses. *J.PACD*. 8: 1-25. <http://www.jpacd.org/V8/V8P1-25.pdf> (27 de abril 2010).

- Neis, S., S. S. Correa, K. C. De Assis, e M. Z. de Fatima. 2010. Caracterização fenológica e requerimento térmico para a videira niagara rosada em diferentes épocas de poda no sudoeste goiano. *Rev. Bras. Frutic.* <http://www.scielo.br/pdf/rbf/2010nahead/aop08610.pdf> (julio 2010).
- Nobel, P. S., y E. G. Bobich. 2002. Enviromental biology. pp 57-74. In: P. S. Nobel (ed). *Cacti: Biology and Uses*. University of California Press. London, UK.
- Ortiz S., C. A. 1987. *Elementos de Agrometeorología cuantitativa, con aplicación para la República Mexicana*. 3ª. Edición. Universidad Autónoma de Chapingo, Estado de México.
- Orona-Castillo. I., Cueto, W. J. A, Murillo, A. B, Santamaría, C. J., Flores, H. A, Valdez, C. R. D., García, H. J. L. y Toyo, D. E. 2004. Extracción nutrimental de nopal verdura bajo condiciones de riego por goteo. *J. PACD*. 6: 90-101.
- Pimienta-Barrios, E., I. Castillo-Cruz, Zañudo-Hernández, L. Méndez-Morán, and P.S. Nobel. 2004. Young doughter cladodes affect CO₂ uptake by mother cladodes of *Opuntia ficus-indica*. <http://aob.oxfordjournals.org/content/early/2004/11/26/aob.mci034.short> (9 de noviembre 2010).
- Pimienta-Barrios, E., I. Castillo-Cruz, Zañudo-Hernández, L. Méndez-Morán y P.S. Nobel. 2007. Effects of shade, drought and daughter cladodes on the CO₂ uptake by cladodes of *Opuntia ficus-indica* *Ann. Appl. Biol.* 1: 1-8. http://www.cucba.udg.mx/oferta_academica/posgrados/ecofisiologia/articulos/2007/2007_cladodesofopuntia.pdf (21 de abril 2011).

- Ramírez T., H. M., J. A. Reyes A., J. Pinos R., y J. R. Aguirre R. 2007. Efecto de la Especie y madurez sobre el contenido de nutrientes de cladodios de nopal. *Agrociencia*. 41(6): 619-626.
- Reyes-Agüero, J. A., J. R. Aguirre-Rivera, and M. Hernández H. 2005. Systematic notes and a detailed description of *Opuntia ficus-indica* (L.) MILL. (Cactaceae). *Agrociencia*. 39(4): 395-408.
- Ríos, R. J., y V. Quintana M. 2004. Manejo general del cultivo del nopal. Manual del participante. Colegio de Postgraduados. Secretaria de la Reforma Agraria. México. 81 p.
- Rodríguez, A. J. 2002. Análisis químico de planta. En métodos de análisis de suelos y plantas, Criterios de interpretación, Rodríguez, F. H. y Rodríguez, A. J. Editorial Trillas, Distrito Federal. 196 p.
- Rodríguez, A. 2006. Las hortalizas en la alimentación de Tortugas terrestres. Las "verduras de supermercado". *Testudinae*. 2006 http://www.testudinae.com/PDF/121_verduras.pdf (10 de mayo 2010).
- Rodríguez-Fuentes, H., J. Rodríguez A., P. Almagues S. y J. C. Rodríguez Ortiz. 2011. Cultivo Hidropónico del nopal. Editorial Trillas, S.A.de C.V. México, D.F. 62 p.
- Rodríguez-Fuentes, H., M. A. López-Jiménez, J. Rodríguez-Absi, y G. Jiménez-García. 2009. Cultivo Orgánico de Nopal. Ed. Trillas S. A. de C. V. México. 76 p.

- Romero, E. R., J. A. Rodríguez-Rey, J. L. Vidal, S. Gianfrancisco, S. David, y M. E. Amado. 1998. Influencia de la temperatura en el crecimiento y productividad de pimiento cultivado en invernáculo no calefaccionado. Libro de resúmenes de la I Reunión de Producción Vegetal del NOA, 89-91. 1998. agrarias.tripod.com (7 de noviembre 2010).
- Ruíz-Espinoza, F. H.; J. F. Alvarado-Mendoza; B. Murillo-Amador; J. L. García-Hernández; R. Pargas-Lara; D. O. Duarte-Osuna; F. A. Beltrán-Morales; y L. Fenech-Larios. 2008. Rendimiento y Crecimiento de Nopalitos de Cultivares de Nopal (*Opuntia ficus-indica*) bajo Diferentes Densidades de Plantación. *J. PACD*. 10: 22-35. <http://www.jpacd.org/V10/V10P22-35.pdf> (27 de abril 2010).
- Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación-Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SAGARPA-SIAP). 2011. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Ciclo: cíclicos y perennes 2010. Modalidad: riego + temporal. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. México. www.siap.gob.mx (23 de agosto 2010).
- Secretaría de Gobernación (SEGOB). 2007. NMX-FF-068-SCFI-2006. HORTALIZA FRESCA - NOPAL VERDURA (*Opuntia* spp.) - ESPECIFICACIONES (CANCELA A LA NMX-FF-068-1988). México, D.F. 4 de enero 2007. Diario Oficial de la Federación. México. <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales.php?codp=1558&view=si#> (28 de marzo 2010).

- Sáenz, C. H. 1997. Cladodes: a source of Dietary Fiber. *J.PACD*. 2: 117 – 123.
<http://www.jpacd.org/Saenzpf1.pdf> (27 de abril de 2010).
- Sanz de Galdeano, J., A. Uribarri; S. Sádaba, G. Aguado, y J. Del Castillo. 2003. Aspectos a considerar en la instalación de: Cultivo hidropónico. Septiembre - octubre 2003. www.navarraagraria.com/n140/arthidro.pdf (1 de mayo 2010).
- Secretaria de Economía (SE) 2006. Perfil de mercado Producto-País para nopal elaborado a favor del Gobierno de Baja California. Consejería comercial de PROMEXICO en Los Ángeles, California.
<http://www.sefoa.gob.mx/Comercializacion/EstudioMercadoNopalLA.pdf> (21 de abril 2011).
- Tibe, O., D. M. Modise, and K. K. Mogotsi. 2008. Potential for domestication and commercialization of Hoodia and Opuntia species in Botswana. *African Journal of Biotechnology*. 7(9): 1199-1203.
http://74.125.155.132/scholar?q=cache:q5syXlu6ZpoJ:scholar.google.com/+Potential+for+domestication+and+commercialization+of+Hoodia+and+Opuntia+species+in+Botswana.+Tibe&hl=es&as_sdt=2000. (27 abril 2010).
- Vázquez-Alvarado, R. E.; S. E. Salazar, J. L. García H., E. Olivares S., C. Vázquez V., J. D. López M., y I. Orona C. 2009. Producción de Nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) en hidroponía empleando agua con alto contenido de sales. *J. PACD*. 11: 13-17.
- Zúñiga-Tarango, R., I. Orona-Castillo, C. Vázquez-Vázquez, B. Murillo-Amador, E. Salazar-Sosa, J. D. López-Martínez, J. L. García-Hernández, y E. Rueda-Puente. 2009. Desarrollo radical, rendimiento y concentración mineral en nopal *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. en diferentes tratamientos de fertilización.

J. PACD. 11: 53–68. http://www.jpacd.org/V11/BMurilloJPACD11%20_6_.pdf
(27 de marzo 2010).

APENDICE

Registro de Temperatura.

A continuación se muestran el promedio de las temperaturas registradas y los GD acumulados en los periodos de corte (7 días).

Cuadro A1. Ensayo 1 (septiembre-octubre 2010).

Corte	T. Max. °C	T. Min. °C	T. Med. °C	GD
1	32.2	22.2	26.0	256.1
2	30.3	14.2	21.7	164.1
3	29.2	13.8	20.9	152.1

T. Max.= Temperatura máxima. T. Min. = Temperatura mínima.

T. Med. = Temperatura media diaria. GD = grados-día.

Cuadro A2. Ensayo 2 (marzo 2011).

Corte	T. Max. °C	T. Min. °C	T. Med. °C	GD
1	40.6	18.2	29.5	136.6
2	47.0	7.6	24.4	100.6
3	49.7	7.8	30.0	140.1
4	51.5	17.3	34.1	193.8

T. Max.= Temperatura máxima. T. Min. = Temperatura mínima.

T. Med. = Temperatura media diaria. GD = grados-día.

Cuadro A3. Ensayo 3 (abril-agosto 2010). Cielo abierto.

Corte	T. Max. °C	T. Min. °C	T. Med. °C	GD
1	35.8	17.5	26.6	116.5
2	34.2	15.9	25.1	105.6
3	38.5	22.3	30.4	142.7
4	38.0	18.6	28.3	128.3
5	33.7	18.9	26.3	114.2
6	32.6	21.8	27.2	120.4
7	37.8	23.4	30.6	144.5
8	40.4	24.3	32.4	156.5
9	36.8	22.5	29.6	137.4
10	38.4	22.4	30.4	142.9
11	38.7	24.5	31.6	151.4
12	37.5	23.7	30.6	144.0
13	39.1	23.7	31.4	149.9
14	40.0	23.9	31.9	153.6
15	39.9	24.1	32.0	153.9
16	40.1	24.4	32.3	155.8
17	38.8	25.2	32.0	154.3
18	40.2	24.1	32.1	154.9

T. Max.= Temperatura máxima. T. Min. = Temperatura mínima.

T. Med. = Temperatura media diaria. GD = grados-día.

Cuadro A4. Ensayo 3 (abril-agosto 2010). Micro túnel.

Corte	T. Max. °C	T. Min. °C	T. Med. °C	GD
1	57.3	18.0	37.6	193.5
2	56.2	15.6	35.9	181.3
3	57.4	21.8	39.6	207.4
4	59.2	17.1	38.1	196.8
5	61.8	16.0	38.9	202.5
6	61.0	19.7	40.3	212.3
7	61.8	21.3	41.6	221.1
8	61.3	21.7	41.5	220.4
9	47.7	20.9	34.3	170.3
10	57.6	21.1	39.3	205.3
11	55.7	22.1	38.9	202.3
12	55.5	25.2	40.3	212.4
13	61.6	22.8	42.2	225.3
14	67.9	25.1	46.5	255.5
15	70.2	26.0	48.1	266.6
16	70.4	26.3	48.4	268.5
17	69.5	24.9	47.2	260.6
18	64.8	23.3	44.0	238.1

T. Max.= Temperatura máxima. T. Min. = Temperatura mínima.

T. Med. = Temperatura media diaria. GD = grados-día.

VARIABLES EVALUADAS

En este apartado se muestran, por ensayo, los análisis de varianzas y pruebas de medias realizadas a las variables evaluadas.

ENSAYO I – Periodo septiembre-octubre 2010

Producción de Biomasa Seca

Cuadro A5 - Análisis de Varianza, Producción de Biomasa Seca en las DP evaluadas. Corte 1.

FV	SC	gl	CM	F	Sig.
Regresión	4500.491	2	2250.246	1.532	0.239
Residual	30839.607	21	1468.553		
Total	116012.772	24			

R cuadrado = 0.127 (R cuadrado corregida = 0.044)

Calculado con alfa = 0.05

Cuadro A6. Análisis de Varianza, Producción de Biomasa Seca en las DP evaluadas. Corte 2.

FV	SC	gl	CM	F	Sig.
Regresión	5316.359	2	2658.180	5.916	0.009
Residual	9435.126	21	449.292		
Total	54464.231	24			

R cuadrado = 0.360 (R cuadrado corregida = 0.299)

Calculado con alfa = 0.05

Cuadro A7. Análisis de Varianza, Producción de BS en las DP evaluadas. Corte 3.

FV	SC	gl	CM	F	Sig.
Regresión	789.297	2	394.648	3.297	0.0057
Residual	2513.964	21	119.713		
Total	14995.883	24			

R cuadrado = 0.239 (R cuadrado corregida = 0.166)

Calculado con alfa = 0.05

Cuadro A8. Análisis de Varianza Producción total de BS (Cte 1+2+3) en las DP evaluadas. Ensayo 1.

FV	SC	gl	CM	F	Sig.
Regresión	9358.435	2	4679.217	5.425	0.006
Residual	59513.292	69	862.511		
Total	185472.680	72			

R cuadrado = 0.136 (R cuadrado corregida = 0.111)

Calculado con alfa = 0.05

Producción de Clo_{a+b}

Cuadro A9. Análisis de Varianza de producción de Clo_{a+b} en los periodos de corte y DP evaluadas. Ensayo 1.

FV	SC	gl	CM	F	Sig.
Corte	1707.891	2	853.945	36.138	0.000
Tratamiento	1484.810	2	742.405	31.418	0.000
Cte* Trat	432.289	4	108.072	4.574	0.010
Error	425.338	18	23.630		
Total	27864.079	27			

R cuadrado = 0.895 (R cuadrado corregida = 0.848)

Calculado con alfa = 0.05

1. ENSAYO II. Periodo marzo 2011

Producción de Biomasa Seca

Cuadro A10. - Análisis de Varianza, Producción de Biomasa Seca en las DP evaluadas. Corte 1.

FV	SC	gl	CM	F	Sig.
Regresión	2068.370	2	1034.185	1.067	0.362
Residual	20355.647	21	969.317		
Total	97938.042	24			

R cuadrado = 0.092 (R cuadrado corregida = 0.006)

Calculado con alfa = 0.05

Cuadro A11. Análisis de Varianza, Producción de Biomasa Seca en las DP evaluadas. Corte 2.

FV	SC	gl	CM	F	Sig.
Regresión	3373.222	2	1686.611	1.363	0.278
Residual	25981.536	21	1237.216		
Total	380678.932	24			

R cuadrado = 0.115 (R cuadrado corregida = 0.031)

Calculado con alfa = 0.05

Cuadro A12. Análisis de Varianza, Producción de Biomasa Seca en las DP evaluadas. Corte 3.

FV	SC	gl	CM	F	Sig.
Regresión	27953.282	2	13976.641	10.684	0.001
Residual	27470.633	21	1308.125		
Total	450236.107	24			

R cuadrado = 0.504 (R cuadrado corregida = 0.457)

Calculado con alfa = 0.05

Cuadro A13. Análisis de Varianza, Producción de Biomasa Seca en las DP evaluadas. Corte 4.

FV	SC	gl	CM	F	Sig.
Regresión	10511.028	2	5255.514	9.106	.001
Residual	12119.489	21	577.119		
Total	60024.308	24			

R cuadrado = 0.464 (R cuadrado corregida = 0.413)

Calculado con alfa = 0.05

Cuadro A14. Análisis de Varianza Producción total de BS (Cte 1+2+3+4) en las DP evaluadas. Ensayo 2.

FV	SC	gl	CM	F	Sig.
Regresión	91628.801	2	45814.400	21.847	0.000
Residual	44037.244	21	2097.012		
Total	2989197.050	24			

R cuadrado = 0.675 (R cuadrado corregida = 0.644)

Calculado con alfa = 0.05

Producción de Clo_{a+b}

Cuadro A15. Análisis de Varianza de producción de Clo_{a+b} en los periodos de corte y DP evaluadas. Ensayo 2.

FV	SC	gl	CM	F	Sig.
Corte	477206.097	3	159068.699	2220.777	0.000
Tratamiento	92868.041	2	46434.020	648.271	0.000
Cte* Trat	28321.059	6	4720.177	65.899	0.000
Error	1719.060	24	71.627		
Total	2459871.056	36			

R cuadrado = 0.997 (R cuadrado corregida = 0.996)

Calculado con alfa = 0.05

ENSAYO III – Periodo abril-agosto 2011

Bancal a Cielo Abierto

Producción de Biomasa Seca

Cuadro A16. Análisis de Varianza Producción total de BS (18 periodos de corte) en las DP evaluadas. Ensayo 3, Cielo Abierto.

FV	SC	gl	CM	F	Sig.
Regresión	248855.412	2	124427.706	15.249	0.001
Residual	73435.304	9	8159.478		
Total	1.032E+07	12			

R cuadrado = 0.772 (R cuadrado corregido = 0.722)
Calculado con alfa = 0.05

Producción de Clo_{a+b}

Cuadro A17. Análisis de Varianza de producción de Clo_{a+b} en los periodos de corte y DP evaluadas. Ensayo 3, Cielo Abierto.

FV	SC	gl	CM	F	Sig.
Corte	396579.940	6	66096.657	2397.556	0.000
Tratamiento	93504.094	2	46752.047	1695.860	0.000
Cte* Trat	151317.275	12	12609.773	457.400	0.000
Error	1157.870	42	27.568		
Total	2934759.560	63			

R cuadrado = 0.998 (R cuadrado corregida = 0.997)
Calculado con alfa = 0.05

Concentración Nutricional

Cuadro A18. Concentración de P en los periodos de corte evaluados. Agrupamiento de medias. Ensayo 3, Cielo Abierto.

Corte	P g kg ⁻¹ (Base Seca)							
	a	b	c	d	e	f	g	h
1	8013							
14	7639	7639						
2	7585	7585						
15	7532	7532						
16	7265	7265	7265					
17		6891	6891	6891				
4		6838	6838	6838				
18		6731	6731	6731				
6			6464	6464				
5			6357	6357				
3			6357	6357				
9				5929	5929			
13					5182	5182		
7					5075	5075	5075	
8					5021	5021	5021	
12						4861	4861	
11							4113	
10								2885

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente (Tukey $\alpha=0.05$).

**Cuadro A19. Concentración de K en los periodos de corte evaluados.
Agrupamiento de medias. Ensayo 3, Cielo Abierto.**

Corte	K g kg ⁻¹ (Base Seca)					
	a	b	c	d	e	f
6	152787					
9	148294					
7	140226	140226				
5	138556	138556				
1	131818	131818				
2	131335	131335				
3		123294	123294			
4		119429	119429	119429		
14			103873	103873	103873	
8				96502	96502	96502
18					94851	94851
16					94344	94344
12					91031	91031
11					87375	87375
15					87014	87014
10					85896	85896
17					85429	85429
13						74383

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente (Tukey $\alpha=0.05$).

Cuadro A20. Concentración de Mg en los periodos de corte evaluados. Agrupamiento de medias. Ensayo 3, Cielo Abierto.

Corte	Mg g kg ⁻¹ (Base Seca)				
	a	b	c	d	e
7	16204				
6	13971	13971			
10	13415	13415	13415		
3	13379	13379	13379		
1	13288	13288	13288		
15	12875	12875	12875	12875	
14	12768	12768	12768	12768	
9		12656	12656	12656	
8		12303	12303	12303	
5		11946	11946	11946	11946
12		11352	11352	11352	11352
16		11182	11182	11182	11182
4		11163	11163	11163	11163
12		11099	11099	11099	11099
2		10969	10969	10969	10969
11			10285	10285	10285
18				9541	9541
17					8666

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente (Tukey $\alpha=0.05$).

Bancal con micro túnel.**Producción de Biomasa Seca****Cuadro A21. Análisis de Varianza, Producción de Biomasa Seca en las DP y cortes evaluados. Ensayo 3, Micro túnel.**

FV	SC	gl	CM	F	Sig.
Corte	.046	2	.023	13.364	0.000
Tratamiento	.005	2	.002	1.396	0.273
Cte*Trat	.051	4	.013	7.424	0.001
Error	.031	18	.002		
Total	2.932	27			

R cuadrada = 0.767 (R cuadrado corregido = 0.663)

Calculado con alfa = 0.05

Cuadro A22. Análisis de Varianza Producción total de BS (18 periodos de corte) en las DP evaluadas. Ensayo 3, Micro túnel.

FV	SC	gl	CM	F	Sig.
Regresión	452901.062	2	226450.531	30.885	0.000
Residual	65988.906	9	7332.101		
Total	1.819E+07	12			

R cuadrado = 0.873 (R cuadrado corregido = 0.845)

Calculado con alfa = 0.05

Concentración Nutricional

Cuadro A23. Análisis de Varianza concentración de P. Ensayo 3, Micro túnel.

FV	SC	gl	CM	F	Sig.
Corte	1.520E+08	17	8.941E+06	8.038	0.000
Tratamiento	736994.016	2	368497.008	.331	0.720
Error	3.782E+07	34	1.112E+06		
Total	1.905E+08	53			

R cuadrado = 0.802 (R cuadrado corregida = 0.691)

Calculada con alfa = 0.05

Cuadro A24. Concentración de P en los periodos de corte evaluados. Agrupamiento de medias. Ensayo 3, Micro túnel.

Corte	P mg kg ⁻¹ (Base Seca)				
	a	b	c	d	e
16	9081				
17	8974				
18	8761	8761			
1	8707	8707			
15	7318	7318	7318		
2	7265	7265	7265	7265	
3	6731	6731	6731	6731	6731
14	6677	6677	6677	6677	6677
5	6624	6624	6624	6624	6624
13	6464	6464	6464	6464	6464
4	6303	6303	6303	6303	6303
6		5662	5662	5662	5662
12			5288	5288	5288
7			5021	5021	5021
11			4861	4861	4861
8			4113	4113	4113
10				4060	4060
9					3686

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente (Tukey $\alpha=0.05$).

Cuadro A25. Concentración de P en las DP evaluadas. Ensayo 3, Micro túnel.

Tratamiento	P mg kg⁻¹ (Base Seca)	Media	Desviación Estándar
1	11890		
2	12512	12059	±396
3	11775		

Cuadro A26. Análisis de Varianza concentración de K. Ensayo 3, Micro túnel.

FV	SC	gl	CM	F	Sig.
Corte	2.170E+10	17	1.277E+09	20.558	0.000
Tratamiento	9.353E+07	2	4.676E+07	0.753	0.479
Error	2.111E+09	34	6.209E+07		
Total	7.798E+11	54			

R cuadrado = 0.912 (R cuadrado corregida = 0.862)

Calculada con alfa = 0.05

Cuadro A27. Concentración de K en los periodos de corte evaluados. Agrupamiento de medias. Ensayo 3, Micro túnel.

Corte	K g kg ⁻¹ (Base Seca)					
	a	b	c	d	e	f
9	151704					
7	150307	150307				
6	145547	145547	145547			
5	140843	140843	140843			
1	133650	133650	133650	133650		
2		126472	126472	126472	126472	
4			126382	126382	126382	
3			125773	125773	125773	
18			124590	124590	124590	
15				111819	111819	111819
16				110215	110215	110215
17					106561	106561
8						101358
12						100098
14						98928
11						95439
10						92309
13						87599

Medias con la misma letra no difieren estadísticamente (Tukey $\alpha=0.05$).

Cuadro A28. Concentración de K en las DP evaluadas. Ensayo 3, Micro túnel.

Tratamiento	K mg kg ⁻¹ (Base Seca)	Media	Desviación Estándar
1	118500		
2	119820	118311	±1612
3	116613		

T = Tratamiento. DE = Desviación estándar.

Cuadro A30. Análisis de Varianza concentración de Mg. Ensayo 3, Micro túnel.

FV	SC	gl	CM	F	Sig.
Corte	4.803E+07	17	2.825E+06	.744	0.738
Tratamiento	3.334E+06	2	1.667E+06	.439	0.648
Error	1.291E+08	34	3.796E+06		
Total	1.067E+10	54			

Cuadro A31. Concentración de Mg en las DP evaluadas. Ensayo 3, Micro túnel.

Tratamiento	Mg mg kg ⁻¹ (Base Seca)	Media	Desviación Estándar
1	13886		
2	13665	13939	±304
3	14266		