

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA



RELACIÓN ENTRE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE *Opuntia ficus-indica*
(L.) Y EL ÍNDICE TÉRMICO GRADOS-DÍA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

DOCTOR EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ORIENTACIÓN
EN AGUA-SUELO

PRESENTA

PEDRO ALMAGUER SIERRA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA



RELACIÓN ENTRE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE *Opuntia ficus-indica*
(L.) Y EL ÍNDICE TÉRMICO GRADOS-DÍA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

DOCTOR EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ORIENTACIÓN
EN AGUA-SUELO

PRESENTA

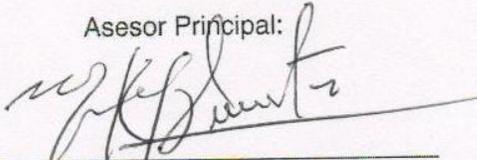
PEDRO ALMAGUER SIERRA

RELACIÓN ENTRE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE *Opuntia ficus-indica* (L.) Y
EL ÍNDICE TÉRMICO GRADOS-DÍA

Aprobación

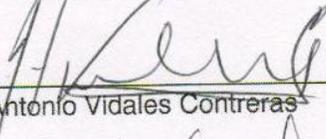
Comité Particular de Tesis

Asesor Principal:

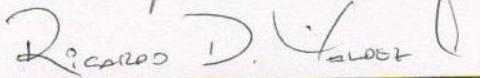


Dr. Humberto Rodríguez Fuentes

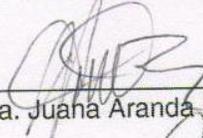
Coasesores:



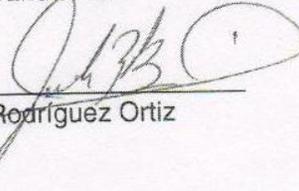
Dr. Juan Antonio Vidales Contreras



Dr. Ricardo David Valdez Cepeda



Dra. Juana Aranda Ruiz



Dr. Juan Carlos Rodríguez Ortiz

Subdirector de Estudios de Posgrado e Investigación



Dr. Francisco Zavala García

**Este Trabajo de Investigación fue realizado en:
Proyecto Hidroponia 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
Desarrollo y mejora de técnicas de producción de cultivos	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.
Degradación y remediación de ecosistemas naturales y urbanos	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.
Microbiología cuantitativa e inocuidad alimentaria	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.
Tecnología aplicada a la remediación del suelo, agua y alimento	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.

Integrantes del Cuerpo Académico Ambiente y Sustentabilidad:
 Dictaminado como: CONSOLIDADO por el Promep (2005-2012)

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

ÍNDICE GENERAL

	Página
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN BIOGRÁFICO	vii
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	xi
ÍNDICE DE APÉNDICE	xii
RESUMEN	xiii
SUMMARY	xiv
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	6
1.2 Hipótesis	7
2. REVISIÓN DE LITERATURA	8
2.1 Importancia del cultivo del nopal	8
2.2 Distribución geográfica del nopal	8
2.3 Importancia socioeconómica y agroecológica del recurso nopal	10
2.4 Producción de nopal verdura en sistemas intensivos	12
2.5 Solución nutritiva	14
2.6 Cultivo hidropónico de nopal verdura	15
3. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1 Sitio experimental	17
3.2 Módulo hidropónico	17
3.3 Solución nutritiva	18
3.4 Manejo del cultivo	20
3.5 Producción de biomasa	21
3.6 Oferta climática (grados-día)	22
3.7 Relación entre biomasa producida y grados-día	23
3.8 Análisis nutrimental	23
3.9 Extracción total de nutrimentos	24
3.10 Análisis estadístico	25
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1 Producción de biomasa de nopal verdura	26
4.1.1 Producción mensual de biomasa fresca y seca	26
4.2 Relación BF y BS con los GD	30
4.3 Modelos de producción considerando biomasa fresca y seca vs grados-día	31
4.4 Minerales extraídos por nopal para verdura	41
4.4.1 Extracción de macro nutrimentos	41
4.4.2 Extracción de micro nutrimentos	43
5. CONCLUSIONES	47
6. REFERENCIAS	48

7	APÉNDICE
8.	ANEXO

55
60

DEDICATORIA

A Dios, creador y sustentador de todas las cosas, por permitirme concluir mis estudios de posgrado.

A Flora el Amor de mi vida, por su amor y entrega en la formación y conducción de esta familia, de quien seguimos aprendiendo. Admiro su fortaleza y capacidad para enfrentar la vida, propositiva y con una alegría que siempre irradia y motiva para seguir adelante. Por su comprensión e incondicional apoyo durante toda mi formación profesional. Así mismo a mis hijos: Beatriz Adriana, Francisco Alberto, Pedro Alejandro, Carlos Alfredo y Ricardo, que son el corazón que da vida y soporte a este hogar. Solo añoro el tiempo que no siempre estuve a su lado en momentos importantes de la edad temprana de su vida cotidiana.

A mis padres Ma. Guadalupe Sierra González y Wenceslao Almaguer Lerma, por darme la vida, ejemplo de amor, honradez, tenacidad y espíritu de servicio, valores que atesoro y lucho cada vez por mantener y engrandecer como el legado más preciado para mis hijos y sus hijos.

A mis hermanas (os) Rosalba, Alfonso, Ramón, Velia, Flor, Wenceslao, Juan Francisco y Ma. Guadalupe, por la unidad y apoyo entre hermanos que hemos mantenido como un legado de familia.

A Tomasita ejemplo de amor y bondad que dio a nuestro hogar el calor que mi madre no tuvo la oportunidad de disfrutar en esta familia.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Humberto Rodríguez Fuentes. Quiero expresar mi más sincero agradecimiento por sus enseñanzas en la conducción de este trabajo para llevarlo a su conclusión. Por su amistad e incondicional apoyo durante mi estancia en esta casa de estudio.

Al Dr. Juan Antonio Vidales Contreras. Por su apoyo en el análisis de datos, su amistad, consejos y observaciones sugeridas en la revisión de los trabajos de esta investigación.

Al Dr. Ricardo David Valdez Cepeda. Por su amistad incondicional y la revisión del trabajo de tesis, su participación en las presentaciones parciales de esta investigación, en quien he encontrado un amigo sincero, líder en el que hacer científico.

A la Dra. Juana Aranda Ruiz. Por su apoyo y observaciones hechas durante el desarrollo de la presente investigación y su participación en la presentación oral del trabajo.

Al Dr. Juan Carlos Rodríguez Ortiz. Por sus sugerencias y apoyo en la revisión de los trabajos de esta investigación. Todos ellos integrantes del comité de tesis.

Al Dr. Emilio Olivares Sáenz. Por su apoyo y orientación en el análisis estadístico de los datos, su disponibilidad y valiosas opiniones en la interpretación de los resultados.

Al Dr. Rigoberto E. Vázquez Alvarado por compartir sus experiencias en clase, su don de amigo y su apoyo durante mi estancia en esta universidad.

A la Dra. Ludivina Barrientos Lozano. Por su amistad, su profesionalismo y constancia en el que hacer científico, aspectos que apoyaron decididamente mi formación académica.

A mis compañeros de generación Fidel Blanco Macías, Luis Samaniego Moreno, Ramiro Rodríguez Álvarez, Rodolfo A. García Zambrano y Francisco J. Piñera Chávez, por su amistad sincera y apoyo durante este tiempo, por todos los momentos vividos en las aulas de clase y el trabajo de campo.

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 Dirección General de Educación Superior Tecnológica (DEGST) y al Instituto Tecnológico de Cd. Victoria (ITCV), por las facilidades y el apoyo de la beca comisión para estudios de posgrado, la cual hizo posible la terminación de esta investigación y la obtención del grado.

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

Pedro Almaguer Sierra

Candidato a Doctor en Ciencias Agrícolas con orientación en suelos y agua

Tesis

Relación entre la producción de biomasa de *Opuntia ficus-indica* (L.) y el índice térmico grados-día

Área de estudio

Edafología, agrometeorología y nutrición vegetal

Biografía

Nacido el 29 de julio de 1945 en Villa Mainero, Tam., México. Hijo de Ma. Guadalupe Sierra González y Wenceslao Almaguer Lerma.

Educación. Técnico en Maquinaria Agrícola, egresado en 1968 de la Escuela Normal Rural de Especialidades (ENRE) Ingeniero Agrónomo fitotecnista, egresado en 1975 de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT) y Maestro en Ciencias Agrícolas con Especialidad en Suelos, egresado de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” (UAAAN).

Experiencia profesional

Docencia e investigación

Maestro de los cursos: Productividad de suelos, Conservación de suelos y Fertilidad de suelos en la Facultad de Agronomía (Licenciatura.) y Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (Posgrado) de la UAT, periodo 1981-1987. De los cursos: Meteorología y Climatología, Geología y Edafología y Desarrollo Sustentable (Licenciatura) y Análisis Geográfico Seminario de Investigación y Evaluación, Conservación de suelos y Agrometeorología (Posgrado) del Instituto Tecnológico de Cd. Victoria (ITCV), periodo 1987-2010. Investigador en el Instituto de Ecología y Alimentos de la UAT, periodo 1985 – 1992. Director de tesis de licenciatura y posgrado en la UAT y el ITCV.

Proyectos

Delimitación de agrohabitats en la zona centro de Tamaulipas, CONACYT, 1982-1983. Evaluación integral de la erosión en Tamaulipas, Instituto de Ecología y Alimentos de la UAT, CONACYT, 1983-1985 Respuesta del *Agave tequilana* W. a los fertilizantes y al manejo topológico en Tamaulipas CoSNET 511.02-P. Vigencia, 1º. De Agosto de 2002 al 31 de Julio de 2004.

Estudios básicos y aplicados para la conservación y el manejo sustentable de la biodiversidad del estado de Tamaulipas, CoSNET 1253.01-PI y PI bis, vigencia, 1º. De Nov. De 2001 al 31 de Dic. De 2006. Estudio sobre la diversidad faunística y micológica del ANP “altas Cumbres” en los municipios de Victoria, Güemez y Jaumave. COSNET 402.04-P. 2002-2004. Desarrollo de un proceso tecnológico para el control Biológico de la langosta centroamericana (*Schistocerca piceifrons piceifrons*, Walker) y acridoideos plaga en la región sur de Tamaulipas”. Clave TAMPS–2005–C08-26.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1.	Soluciones nutritivas y sus rangos de concentración de elementos minerales esenciales según diversos autores.	14
2.	Concentración de la solución nutritiva hidropónica (SNH) y las fuentes empleadas.	18
3.	Estimadores estadísticos básicos de la producción de nopal cosechados cada siete días expresados como biomasa fresca (BF) y seca (BS) y sus grados día (GD) correspondientes.	27
4.	Comparación de medias (Tukey $\alpha = 0.05$) de la producción mensual de nopal verdura cultivado en hidroponía, Marín 2009.	29
5.	Ecuaciones de ajuste y sus coeficientes de determinación ($Y = BF$; $X = GD$).	33
6.	Ecuaciones de ajuste y sus coeficientes de determinación ($Y = BS$; $X = GD$).	34
7.	Ecuaciones de segundo grado para estimar la BF y BS de nopal verdura relacionando la biomasa con los GD acumulados en periodos de 21 días.	34
8.	Tasas de incremento de producción de biomasa fresca (BF) y seca (BS) obtenidas al derivar las ecuaciones E1 y E2 para diferentes valores de GD.	40
9.	Estadísticos descriptivos de la extracción de minerales cantidades extraídas de los cladodios cosechados en 21 fechas de muestreo, Marín, N. L. 2009.	40
10.	Extracción mineral de macro nutrimentos en nopal verdura cultivado en sistema hidropónico, prueba de medias y estadísticos descriptivos básicos.	43
11.	Extracción mineral de micro nutrimentos en nopal verdura cultivado en sistema hidropónico y estadísticos descriptivos básicos.	44
12.	Valores promedio de contenido mineral en "nopalito" cosechado de plantas de nopal sometido a diferentes ambientes, dosis de fertilización y sistemas de cultivo	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1.	Comparación de producción intensiva de nopal verdura en el norte de México en la última década, según varios autores.	30
2.	Producción de biomasa seca de nopal verdura y grados-día correspondientes a 21 semanas o fechas de cosecha. Marín, N. L. 2009.	31
3.	Ecuación cuadrática que relaciona la producción de biomasa fresca del nopalito con los grados-día en períodos de 7 (a) y 14 (b) días.	36
4.	Ecuación cuadrática que relaciona la producción de biomasa fresca del nopalito con los grados-día en períodos de 21 (a) y 30 (b) días.	37
5.	Ecuación cuadrática que relaciona la producción de biomasa seca del nopalito con los grados-día en períodos de 7 (a) y 14 (b) días.	38
6.	Ecuación cuadrática que relaciona la producción de biomasa seca del nopalito con los grados-día en períodos de 21 (a) y 30 (b) días.	39
7.	Representación grafica de la extracción de macro nutrimentos en nopal verdura en un sistema hidropónico cerrado.	43
8.	Representación grafica de la extracción de micro nutrimentos en nopal verdura.	45

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía	Página
1. Bancal hidropónico	19
2. Cisterna para preparar la SNH con un volumen de 2.5 m ³	19
3. Vista parcial del modulo hidropónico	20
4. Estructura de nopal tipo oreja de ratón	22
5. Nopal listo para cosecha	22

INDICE DE APÉNDICE

Apéndice	Página
A1. ANVA de biomasa fresca (a) (BF) y seca (b) de cladodios (<i>O. ficus indica</i>), cosechados cada siete días. Marín N. L.	55
A2. Prueba de medias de periodos acumulados de 7 días (21 cortes) de cladodios (<i>O. ficus indica</i>) para BF (a) y BS (b), Marín N. L. 2009.	55
A3. Concentrado de ANVA de biomasa fresca (BF) y seca (BS) de cladodios (<i>O. ficus indica</i>), cosechados cada siete días y acumulados por periodos de 7, 14, 21 y 30 días. Marín N. L.	56
A4. Prueba de medias de periodos acumulados de de 14 días de cladodios cosechados (<i>O. ficus indica</i>) para BF, Marín N. L. 2009.	56
A5. Prueba de medias de periodos acumulados de de 21 días de cladodios cosechados (<i>O. ficus indica</i>) para BF, Marín N. L. 2009.	56
A6. Prueba de medias de periodos acumulados de 30 días de cladodios cosechados (<i>O. ficus indica</i>) para BF, Marín N. L. 2009.	57
A7. Prueba de medias de periodos acumulados de 14 días de cladodios cosechados (<i>O. ficus indica</i>) para BS, Marín N. L. 2009.	57
A8. Prueba de medias de periodos acumulados de 21 días de cladodios cosechados (<i>O. ficus indica</i>) para BS, Marín N. L. 2009.	57
A9. Prueba de medias de periodos acumulados de 30 días de cladodios cosechados (<i>O. ficus indica</i>) para BS, Marín N. L. 2009.	58
A10. Producción de biomasa seca (BF) de nopal verdura y grados día (GD) agrupados en cuatro periodos de cosecha.	58
A11. Producción de biomasa seca (BS) de nopal verdura y grados día (GD) agrupados en cuatro periodos de cosecha.	59

RESUMEN

Con los objetivos de estimar la producción de nopal verdura [*Opuntia ficus indica* (L.)] en un sistema intensivo de producción y modelar la relación de la biomasa con la temperatura del aire o grados-día (GD), se desarrolló una investigación en los años 2008-2009, en el módulo de hidroponía de la Facultad de Agronomía, Campus Marín de la Universidad Autónoma de N. L. México. Se utilizó el cultivar “Villanueva” a una densidad de 16 plantas por m² y una solución nutritiva estándar. El riego fue por subirrigación cada tercer día renovándose la solución nutritiva cada semana. La cosecha del nopalito se realizó cada siete días durante los meses de marzo a agosto de 2009. Los resultados muestran una producción media mensual de 4.36 kg m⁻² de biomasa fresca (BF) y 0.271 kg m⁻² de biomasa seca (BS), siendo los meses de abril, mayo y junio los de mayor producción. Tanto BF como BS se relacionaron con los GD mediante una función binomial con coeficientes de determinación $R^2_{Ajustada} = 0.74$ y 0.86 , respectivamente. Las tasas de incremento máximo correspondieron al mes de mayo y fueron de $0.0676 \text{ kg m}^{-2} \text{ GD}^{-1}$ para BF y de $0.0038 \text{ kg m}^{-2} \text{ GD}^{-1}$ para BS. El mayor valor de contenido mineral en el nopal verdura se presentó en los meses de abril, mayo y junio.

SUMMARY

With the objectives to estimate the production of nopal [*Opuntia ficus indica* (L.)] in an intensive system of production and model the relationship of biomass with air temperature degree-days (GD), developed a research the years 2008-2009, in the form of hydroponics, Faculty of Agronomy, University Campus Marín N. Autonomous L. Mexico. We used the cultivar "Villanueva" at a density of 16 plants per m² and a standard nutrient solution. Irrigation was applied by subirrigation every other day renewing the nutrient solution every week. The harvest was done nopalito every seven days during the months of March to August 2009. The results show a monthly average production of 4.36 kg m⁻² fresh biomass de (BF) and 0271 kg m⁻² of dry biomass (BS), being the months of April, May and June the most productive. Both BF and BS were associated with GD by a binomial function with coefficients of determination $R^2_{Adjusted} = 0.74$ and 0.86, respectively. The maximum growth rates for the month of May were 0.0676 kg m⁻² GD⁻¹ BF and 0.0038 kg m⁻² GD⁻¹ to BS. The highest total mineral content in nopal was observed in April, May and June.

1. INTRODUCCIÓN

La demanda de nutrimentos por las plantas se define como la cantidad que se requiere para completar su crecimiento y desarrollo. Esto se calcula con base en una meta de producción considerando la concentración óptima de nutrimentos de la biomasa total (parte aérea y raíz) a la cosecha. La absorción de nutrimentos depende de las condiciones de cultivo (Imas, 1999) y la tasa diaria de absorción nutrimental la cual es específica para cada clima y sistema de cultivo (Magnifico *et al.*, 1979; Miller *et al.*, 1979; Honorato *et al.*, 1993; Scaife y Bar-Yosef, 1995), entre otros factores.

En los sistemas de cultivo hidropónicos se usan soluciones nutritivas. Una solución nutritiva (SN) consiste en agua con oxígeno y los nutrimentos esenciales en forma iónica. Algunos compuestos orgánicos como los quelatos de fierro forman parte de la SN (Steiner, 1968). Para que la SN tenga disponibles los nutrimentos que contiene, debe ser una solución verdadera, todos los iones se deben encontrar disueltos. La pérdida por precipitación de una o varias formas iónicas de los nutrimentos puede ocasionar su deficiencia en la planta. Además, de este problema se genera un desbalance en la relación mutua entre los iones (Steiner, 1961).

Con base en los criterios de Steiner (1984) para las soluciones nutritivas, puede modificarse la relación porcentual de cualquier ion, manteniendo las relaciones mutuas entre cationes y entre aniones y la cantidad total de iones. Tal modificación debe hacerse dentro de ciertos límites de concentración relativa de los iones involucrados. De otra manera, la interacción entre los mismos puede influenciar fuertemente la absorción y la distribución o función de algún nutrimento

en la planta y, con ello, inducir deficiencias o toxicidades y, en consecuencia, modificar negativamente su crecimiento (Schwarz, 1995). Con relación al calcio, su antagonismo con K^+ , Mg^{2+} y NH_4^+ puede disminuir sustancialmente su absorción, dependiendo de la concentración relativa en la solución nutritiva, pero su absorción es estimulada por NO_3^- ó $H_2PO_4^-$ (Fried y Shapiro, 1979; Jones *et al.*, 1991).

No existe una solución nutritiva óptima para todos los cultivos, porque no todos tienen las mismas exigencias nutricionales, principalmente en nitrógeno, fósforo y potasio. Existe un gran número de soluciones nutritivas para distintos cultivos, y muchas satisfacen los requerimientos de un buen número de ellos. Sin embargo, hay que considerar que la composición específica más adecuada depende de las condiciones climáticas, en particular de la temperatura y de la luz y sobre todo de la calidad del agua que se utilice. Se deben también de tomar en cuenta las necesidades nutrimentales de la planta a la que se va a aplicar, así como la edad o etapa fenológica de la misma y el sistema con el cual se lleve a cabo el cultivo; es decir, si se trata de un sistema cerrado en el cual hay recirculación de la solución nutritiva o si se trata de un sistema abierto en el cual no hay recirculación de la solución. Todos estos factores hacen difícil basarse en reglas generales para la preparación de una solución nutritiva (FAO, 1990; Resh, 1992). También la fórmula puede ser ajustada de acuerdo a los fertilizantes que se puedan conseguir en cada localidad. Se han publicado muchas fórmulas para diferentes cultivos acerca de la composición y concentración de las soluciones nutritivas empleadas en la hidroponía por diversos investigadores (Sánchez y Escalante, 1989; FAO, 1990; Resh, 1992).

Un método apropiado para calcular la demanda nutrimental es emplear el concepto de balance de masa. El método está basado en que la materia seca de una planta, está formada por 16 nutrimentos esenciales; de ellos 13 son los que la planta absorbe en forma directa del suelo; por lo que, si se calcula la cantidad de materia seca total producida durante el ciclo de crecimiento y se determina cual es la concentración de los nutrimentos en cada etapa fenológica o periodo de tiempo, se podrá estimar la cantidad de nutrimentos que la planta absorbió. Con esta información se establece para cada especie vegetal un programa de nutrición diario/semanal/quincenal preliminar o definitivo según el avance en la investigación (Steiner, 1961). En el programa se debe considerar un factor de eficiencia en la absorción de los nutrimentos que dependerá del sistema de producción y la forma de aplicación del fertilizante (Imas, 1999). Esta información redundará en un ahorro económico del costo de los fertilizantes químicos y, por otro lado, en una disminución del impacto ambiental negativo por el manejo inapropiado de los fertilizantes.

El desarrollo rápido de las plantas no está relacionado necesariamente a mayores tasas de crecimiento, es común que exista lo contrario. El aumento neto de la biomasa a lo largo del ciclo de vida de las plantas es el resultado de dos tasas relativas: la de crecimiento y la de desarrollo; si la primera es mayor que la segunda, la planta será de mayor tamaño al concluir su ciclo de vida; por el contrario si envejece más rápidamente de lo que crece, la planta será poco vigorosa y consecuentemente su biomasa será menor (Rodríguez-Absi *et al.*, 2010). La temperatura a la que ocurre una tasa rápida de desarrollo no implica necesariamente que lo sea también para crecimiento. 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, es decir la planta crece más rápido que envejece.

La calidad de calor o también llamado oferta climática, se refiere a qué tan cercanas son las temperaturas diurnas y nocturnas a las óptimas que la planta requiere para lograr un crecimiento óptimo. El crecimiento de las plantas es el resultado de dos grandes eventos: la fotosíntesis y la asimilación de los productos fotosintéticos. Ambos son procesos complejos en los que participan muchas reacciones catalizadas por enzimas, así como productos químicos diversos (Rodríguez-Absi *et al.*, 2010).

La temperatura del aire es el factor de clima del que mejor se conoce su relación con el crecimiento y desarrollo de las plantas. Una forma de establecer esta relación es a través de índices térmicos comúnmente llamados grados-día (GD) o unidades calor. Estos índices se pueden emplear para predecir el desarrollo de los cultivos. La mayoría de los procesos fisiológicos que se realizan en el crecimiento y desarrollo de las plantas, están fuertemente ligados a la temperatura, por lo que ésta ejerce influencia sobre los procesos metabólicos, la disponibilidad de nutrimentos para la planta, la absorción de agua y sobre los procesos de difusión que ocurren dentro de la planta (Kramer, 1994).

La producción de un cultivo está determinada por la tasa y la duración del periodo de crecimiento (Van Dobben, 1962). El total de (GD) acumulados es definido como la suma de temperaturas del aire arriba de la temperatura base, la cual se define como las condiciones mínimas necesarias para sus etapas fenológicas y es uno

de los índices más usados para relacionarlos con el crecimiento y desarrollo vegetal (Prela y Ribeiro, 2002; Schöffel y Volpo, 2002).

Los sistemas de producción de hortalizas en ambientes controlados han demostrado un incremento significativo en la productividad, calidad nutrimental mineral y apariencia de los productos que consume el hombre. Son una alternativa viable para producir en zonas áridas y semiáridas así como una estrategia para disminuir la contaminación de acuíferos por el uso intensivo de productos agroquímicos (Klock y Broschat, 2001; Zuñiga *et al.*, 2004).

La hidroponía puede ser adaptada a zonas áridas donde la disponibilidad de agua es restringida y hay mucha presión sobre los recursos vegetales. La hidroponía puede también mejorar la eficiencia de uso de los nutrientes. Los módulos hidropónicos pueden permitir el uso eficiente de volúmenes limitados de agua para producir alimentos o forrajes. Algunos sistemas son relativamente fáciles de operar y pueden ser adoptados rápidamente. El tamaño de la instalación hidropónica puede ser ajustado a las demás operaciones agrícolas de modo que los agricultores las consideren como de ocupación de tiempo parcial y como una estrategia de autoempleo. Los módulos hidropónicos en pequeña escala son de especial relevancia para las zonas áridas y semiáridas. En muchas de estas áreas, existen norias, pozos artesianos y fuentes estacionales de agua que pueden proveer volúmenes suficientes para irrigar huertos de nopal (*Opuntia ficus-indica*), caracterizada por su alta eficiencia de uso del agua y productividad. El nopal puede producir hasta 47 ton/ha/año en plantaciones a campo abierto con altas densidades de plantación y con irrigación, lo cual es mayor que la productividad de plantas C₃ y algunas plantas C₄ (Nobel, 1988).

Otra de las ventajas de los cultivos hidropónicos es el control de la nutrición y la disminución del impacto negativo de productos agroquímicos en el ambiente, favoreciendo el manejo sustentable, de acuerdo con el enfoque ecológico (Lélé, 1991; Foladori y Tommasino. 2000) de los recursos naturales. El desarrollo de la investigación en hortalizas se ha centrado, en los últimos años, en optimizar soluciones nutritivas ideales para cada tipo de cultivo, asumiendo que una nutrición ideal debe considerar las necesidades de la planta en el tiempo o en cada etapa fenológica. http://www.fecyt.es/especiales/cultivos_hidroponicos/3.htm. Enero 2010.

Sin embargo, es escasa la información científica en el noreste de México, en particular con nopal verdura cultivado en hidroponía y relacionando la producción de biomasa con la temperatura del aire. En este sentido, la presente investigación aborda la necesidad de generar conocimiento que permita estimar la dinámica de la producción de nopal verdura en función de variables climáticas y que consecuentemente pueda ser utilizado por los productores.

1.1. Objetivos

- i) Estimar la producción de biomasa de nopal verdura en un sistema hidropónico cerrado.
- ii) Identificar la relación entre la biomasa de nopal verdura cultivado en un sistema hidropónico y los grados-día en zonas bajas del estado de Nuevo León.
- iii) Estimar la extracción de algunos nutrimentos en nopal cultivado en un sistema hidropónico cerrado.

1.2. Hipótesis

- i) El cultivo de nopal verdura manejado adecuadamente en un sistema de cultivo hidropónico ofrece mayores rendimientos si lo comparamos con los sistemas de cultivo tradicional en suelo.
- ii) La producción de biomasa de nopal verdura presenta una relación con los grados-día, la cual se puede estimar con ecuaciones de regresión.
- iii) La extracción nutrimental de nopal verdura en un sistema hidropónico depende de la producción de biomasa seca y es favorecida por este sistema de cultivo.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia del cultivo del nopal

El cultivo del nopal en México ha sido motivo de atención desde tiempos remotos. La importancia que tuvo entre las tribus prehispánicas quedó registrada en sus tradiciones, códices y monumentos. Los Mexicas ya utilizaban el nopal en su alimentación, como medicina, en la industria y las artes. Su uso fue adoptado por los conquistadores, colonos y la población mestiza y criolla, siendo uno de sus usos principales como hospedero de la grana o "cochinilla" para cultivarla.

En la actualidad el cultivo nopal ha adquirido gran importancia debido al uso integral que se puede hacer de él y por el potencial que ofrece en los diversos ámbitos en que se puede aprovechar, como es la industria alimenticia (humana y animal), la medicina, la cosmetología, manejo biotecnológico, conservación de suelo, entre otros.

2.2. Distribución geográfica del nopal

La planta del nopal, por las características morfológicas que presenta, lo que comúnmente se utiliza es su fruto (tuna), sus brotes tiernos (nopalitos) y sus pencas o cladodios (forraje). "Nopal" es el nombre común que reciben las cactáceas del género *Opuntia*. Este género y su familia son originarios de América; se piensa que la familia de las cactáceas derivó de las Portulacáceas y su origen se podría localizar en México, puesto que en este país existe el mayor número de géneros e individuos (Piña, 1977; citado por Granados, 1991).

El género *Opuntia* se encuentra distribuido desde la provincia de Alberta, en Canadá, hasta la Patagonia en Argentina; se le encuentra principalmente en las zonas desérticas del sur de Estados Unidos, de México y de América del Sur. El nopal tunero fue llevado por los colonizadores españoles a Europa y de ahí fue introducido a diferentes partes del mundo; ahora se le encuentra en condición cultivada y silvestre en España, Portugal, Italia, Chile, Estados Unidos, Brasil, Argentina, Israel, Sudáfrica, Argelia, Jordania, etc.

Para López y Elizondo (1990), en México se pueden distinguir cuatro grandes zonas nopaleras, considerando su abundancia, sus características fisiológicas y las condiciones climáticas y edáficas donde crecen:

- 1) Zona Centro-Sur.** Comprende los Estados de México, Puebla, Querétaro y Oaxaca; se encuentran nopaleras de porte alto, productoras de verdura, fruta y forraje, la mayoría son especies cultivadas en pequeñas huertas. Se explota *Opuntia ficus-indica*, *O. megacantha*, *O. amyclaea* y *O. tomentosa*.
- 2) Zona del Altiplano.** Ocupa en mayor extensión los estados de Zacatecas y San Luis Potosí y en menor proporción Aguascalientes, Durango, Guanajuato y Jalisco. Abundan *O. streptacantha* (nopal cardón), *O. leucotricha* (nopal duraznillo); en menor cantidad se le asocian *O. robusta* (nopal tapón) y otras *Opuntias* de tipo rastro.
- 3) Zona Norte (Desierto Chihuahuense).** Es la región más extensa; comprende parte de los Estados de Chihuahua, Durango, Zacatecas y Coahuila; área donde el nopal crece en forma natural y su porte es arbustivo; se encuentran nopales de uso forrajero como *O. cantabrigiensis* (nopal cuijo) y *O. pheacantha* (nopal rastro).

4) Zona de la Planicie Costera del Golfo. Es la parte noreste de México, abarca la zona noreste de Coahuila, el área norte de Nuevo León y Tamaulipas. Las plantas de nopal son de tipo arbustivo como la *O. lindheimeri* y sus variedades, existen otras de importancia forrajera.

Marroquín y colaboradores (1964), distinguen tres zonas nopaleras en las regiones centro y norte de la República Mexicana que son:

- a) Zona nopalera Potosina-Zacatecana.** Además de San Luis Potosí y Zacatecas incluye partes de Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, Jalisco y Durango.
- b) Zona nopalera del noroeste de México.** Comprende el norte de Tamaulipas y oriente de Nuevo León.
- c) Zona nopalera difusa.** Esta zona incluye sólo las partes calizas de San Luis Potosí, Zacatecas, Nuevo León, Coahuila y partes áridas de Durango y Chihuahua.

2.3. Importancia socioeconómica y agroecológica del recurso nopal

En lo extenso de la República Mexicana se tiene una gran variedad de recursos naturales; sin embargo para las zonas áridas y semiáridas del país, las *Cactáceas* adquieren gran relevancia, sobre todo las del género *Opuntia* y dentro de éste el nopal, por las virtudes naturales que muestra. Ya que en estas áreas la marginalidad social se profundiza, adquiriendo *el nopal*, para los pobladores de estas regiones, gran importancia desde el punto de vista socioeconómico, por los diferentes usos que le dan y por ser una alternativa mediante la cual pueden obtener ingresos que complementan el gasto familiar.

El nopal no sólo tiene importancia en los aspectos socioeconómicos, sino también agroecológicos, ya que como cerca viva y como cultivo permite la conservación del suelo, pues protege la capa fértil de éste contra la erosión debido al tipo de sistema radical que posee; asimismo, los cladodios retienen partículas orgánicas que mueve el aire, las cuales resbalan por su superficie tersa hasta el suelo o bien se quedan en las conjunciones de las ramificaciones, de donde el agua de lluvia las arrastra para depositarlas en el pie de las plantas, formando así una capa de materia orgánica que aumenta constantemente de espesor y mejora la calidad del suelo (Granados, 1991).

La importancia económica y social del cultivo del nopal en México radica sobre todo 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 y en la diversidad de los productos generados (Flores *et al.*, 1995).

Se estima que en México existen alrededor de 3'000,000 hectáreas de nopaleras silvestres con suficiente densidad como para ser aprovechadas económicamente, localizadas principalmente en los estados de Guanajuato, Jalisco, Aguascalientes, San Luis Potosí, Zacatecas, Durango, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas y Sonora.

En México, las nopaleras cultivadas ocupan poco más de 210 mil ha, de las cuales 150,000 ha se destinan al forraje, 50,000 ha para tuna; 10 mil ha para nopal verdura y aproximadamente 100 ha para producir grana cochinilla. El volumen de la producción de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) en el 2006 ocupó el doceavo lugar en importancia y le correspondió el octavo lugar en cuanto a valor de la producción como hortaliza (SAGAR-CEA, 1999; Berger *et al.*, 2006). Actualmente

la superficie de siembra reportada es de 12,041 ha (SAGARPA-SIAP, 2010), la importancia de este cultivo se atribuye al aporte nutrimental y funcional que brinda al ser consumido en fresco. Como se aprecia en las estadísticas, la superficie va aumentando principalmente en las zonas nopaleras del interior del país.

2.4. Producción de nopal verdura en sistemas intensivos

Existen diversos reportes (Flores-Hernández *et al.*, 2004; Flores-Hernández *et al.*, 2005; Orona-Castillo *et al.*, 2004; Blanco-Macías *et al.*, 2007; Ruiz-Espinoza *et al.*, 2008, Rodríguez-Fuentes *et al.*, 2009) relacionados con la producción intensiva de nopal verdura para diversas regiones de México. El cultivo es realizado en suelo, considerando diferentes sistemas de manejo y relacionando la producción de nopalito con: nutrimentos absorbidos, temperatura del aire, densidad de población, altura del corte a la cual se realiza la cosecha, cultivares, dosis de fertilizantes orgánicos e inorgánicos, salinidad y tipos de sistemas de riego, entre otros.

EL cultivo del nopal puede ser una excelente alternativa para las regiones áridas y semiáridas de México (Orona –Castillo *et al.*, 2002; Flores-Hernández *et al.*, 2004) y representa un recurso importante para la diversificación de cultivos (Pareck *et al.*, 2003; Singh, 2003). La producción de nopal verdura está relacionada con la disponibilidad de los nutrimentos esenciales y el agua, estación del año, el cultivar, la temperatura y la edad de la penca madre, entre otros factores (Singh y Singh, 2003; Flores-Hernández *et al.*, 2005).

Los cactus en general presentan baja productividad debido en parte a las limitaciones impuestas por el medio donde crecen. Las *opuntias* silvestres son usualmente encontradas en suelos pobres, con bajo contenido de materia

orgánica, en regiones donde la duración del período de crecimiento no permite la expresión de su potencial productivo (Mondragón, 1994).

Experimentos de fertilización conducidos en México y otros países (Mondragón, 1994; Karim *et al.*, 1998) mostraron que la fertilización promovió altos rendimientos de frutos y cladodios. La combinación de estiércoles y fertilizantes sintéticos dio los mejores resultados en huertos para fruta. La reactivación de las yemas y el incremento de tamaño de los cladodios son los efectos inmediatos de la fertilización, que pueden ser ventajosamente manipulados para la producción de forraje. Las aplicaciones de N incrementaron el número de nuevos cladodios en *O. engelmannii* en Texas y los cladodios individuales fueron ligeramente más gruesos, registrando hasta 12 por ciento más de peso seco por cladodio en el nivel alto de N (Nobel *et al.*, 1987).

La fertilización incrementa el rendimiento y el contenido de nutrientes. De acuerdo con González (1990) *O. lindheimeri* (Engelm) fertilizada en primavera durante tres años consecutivos provocó incremento en el contenido de proteína de 3.1, 4.2, y 4.4 % en respuesta a la aplicación de 67, 135 y 224 kg de N ha⁻¹, respectivamente. Estudios básicos indican que las necesidades de nutrimentos en el nopal varían dependiendo de la edad y el órgano de la planta, el estado de desarrollo y el objetivo de la producción. En tallos jóvenes de dos semanas de brotados, los contenidos de N, K, y Mg fueron superiores a los registrados en cladodios de 2 años, donde el Na, Fe y Ca tuvieron mayor concentración (Nobel, 1983). En plantas adultas de cultivares de nopal para tuna, los contenidos de N, P, K, Mg, Mn y Zn son menores en las raíces que en los cladodios, con excepción del Na y Fe donde las concentraciones fueron mayores (López *et al.*, 1989).

2.5. Solucione nutritiva

La formulación de una solución nutritiva se refiere a la concentración de los elementos nutritivos que la componen, expresados, generalmente, en partes por millón (ppm), miligramos por L (mg/L) o gramos por 1000 L (g/1000 L). A lo largo del proceso de investigación y desarrollo de sistemas de cultivo hidropónico, se han descrito un gran número de formulaciones (Cuadro 1) que difieren en las fuentes fertilizantes que aportan los elementos nutritivos, pero no mayormente en los rangos de concentración de cada elemento (Cooper 1988).

Cuadro 1. Soluciones nutritivas y sus rangos de concentración de elementos minerales esenciales según diversos autores. Concentración en ppm.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)M	(10)E
N	210	168	150-225	106	172	200-236	167	190	185.2	150
P	31	41	30-45	62	41	60	31	35	44.2	40
K	234	156	300-500	156	300	300	277	210	259.2	225
Mg	34	36	40-50	48	48	50	49	45	45.0	40
Ca	160	160	150-300	93	180	170-185	183	150	186.5	210
S	64	48	--	64	158	68	--	70	96	--
Fe	2,5	2,8	3-6	3,8	3	12	2-4	1.00	3.95	12
Mn	0,5	0,54	0,5-1	0,81	1,3	2	0,62	0.50	0.83	2
B	0,5	0,54	0-0,4	0,46	1	0,3	0,44	0.50	0.5	0.6
Cu	0,02	0,064	0,1	0,05	0,3	0,1	0,02	0.10	0.09	0.1
Zn	0,05	0,065	0,1	0,09	0,3	0,1	0,11	0.15	0.03	0.2
Mo	0,01	0,04	0,05	0,03	0,07	0,2	--	0.05	0.1	0.05

ppm = partes por millón = 1 mg L⁻¹

(1) Hoagland y Arnon (1938); (2) Hewit (1966); (3) FAO (1990); (4) Jensen (s/fecha); (6) Cooper (1979); (7) Steiner (1984); (8) La Molina, Perú; (9) M=Media; (10); E= Estándar y (11) B=Base (2002).

Fuente: (1), (2), (3) y (7) en Windsor and Schwarz (1990); (4) y (5) en Lorenz and Maynard (1988); (6) en Cooper (1978); (8) La Molina, Perú; (9) B en Gómez y Sánchez (2002); (10) E. Calderón *et al.*, (2006).

Por otra parte, de acuerdo con Calderón *et al.*, (2001) el uso de la solución nutritiva con un gradiente de salinidad de 2 mS a 25 °C produjo las mejores respuestas en cuanto a la producción de materia vegetal, así como también la mayor extracción de nutrimentos por parte de las plantas en los diferentes

cultivares. El incremento del nivel de salinidad en la solución nutritiva afectó en forma negativa la producción de biomasa y la extracción de nutrimentos en los cultivares. Se produjo un desbalance de iones al incrementar el nivel de salinidad en la solución nutritiva, lo cual propició el consumo superfluo de algunos nutrimentos como el K^+ y el abatimiento en la absorción de otros, como P y Ca^{+2} .

En estudios realizados por Vázquez-Alvarado *et al.* (2009) para nopal verdura, al considerar cuatro variedades en condiciones de salinidad (4.2 dS m^{-1}) en un sistema hidropónico cerrado, se utilizó una solución nutritiva estándar (Robbins, 1946) y se encontró que los resultados concuerdan con lo reportado por Nobel (1998) y Nerd *et al.* (1991) acerca de la susceptibilidad a la salinidad en las variedades “Jalpa” y COPENA F1; pero de igual forma, concuerdan con la sugerencia de Murillo-Amador *et al.* (2001), en el sentido de diferencias con relación a las respuestas a la salinidad derivadas de cada genotipo, ya que los cultivares Villanueva y COPENA-VI presentaron rendimientos de 60 t ha^{-1} muy similares a lo reportado por otros autores (Flores-Hernández *et al.* 2004; Flores-Hernández *et al.* 2005).

2.6. Cultivo hidropónico de nopal verdura

Los trabajos de producción de nopal verdura en sistemas hidropónicos en México son escasos y recientes (Ramírez-Tobias *et al.*, 2007; Vazquez-Vazquez *et al.*, 2007; Almaguer-Sierra *et al.*, 2008 Almaguer-Sierra *et al.*, 2009; Vázquez-Alvarado *et al.*, 2009; Zuñiga-Tarango, *et al.*, 2009. 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 cercano, contar con mejores elementos en la toma de decisiones de inversión.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Sitio experimental

Durante el periodo 2008-2009 se llevó a cabo la evaluación de la producción de nopal verdura en un sistema hidropónico cerrado, en el modulo hidropónico de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Campus Marín, el cual está ubicado en el municipio de Marín, N. L., México, localizado entre el meridiano 100° 12' longitud oeste y el paralelo 25° 23' latitud norte y a una altitud de 393 msnm. De acuerdo García (1978), el clima es extremo con una media anual de 528 mm de lluvia. La temperatura promedio anual es de 22 °C; con una máxima de 40 °C y una mínima de 4 °C. Los meses más calientes son julio y agosto.

3.2. Módulo hidropónico

Se utilizaron tres bancales (Fotografía 1) a cielo abierto. Las dimensiones de cada bancal son 1.10 m de ancho (interior), 0.20 m de alto y 14 m de largo. El piso está construido de concreto, mientras que 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). Cada bancal consta de dos partes: la cabecera (0.40 m²) y el área de cultivo (15 m²). En la cabecera se encuentra un sistema de drenaje, que permite vaciar por gravedad y reciclar la solución nutritiva hidropónica (SNH) en una cisterna con capacidad de 2.5 m³ (Fotografía 2), construida también de concreto armado, definido como un sistema de cultivo hidropónico cerrado. El material que se usó como sustrato fue grava de río (0.1 a 1 cm de diámetro). Las características físico-químicas del

sustrato fueron: Textura: Gravoso; Capacidad de intercambio de cationes = 0.0 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de suelo; pH (1:2) = 7.21; CE = 0.0 mS/cm a 25 °C. El sustrato se esterilizó previamente con una solución de ácido sulfúrico, amortiguada a pH = 2. La solución inundó al sustrato durante dos días. Después, el sustrato se lavó dos veces con agua de la llave. En la Fotografía 3 se observa una vista parcial del módulo hidropónico.

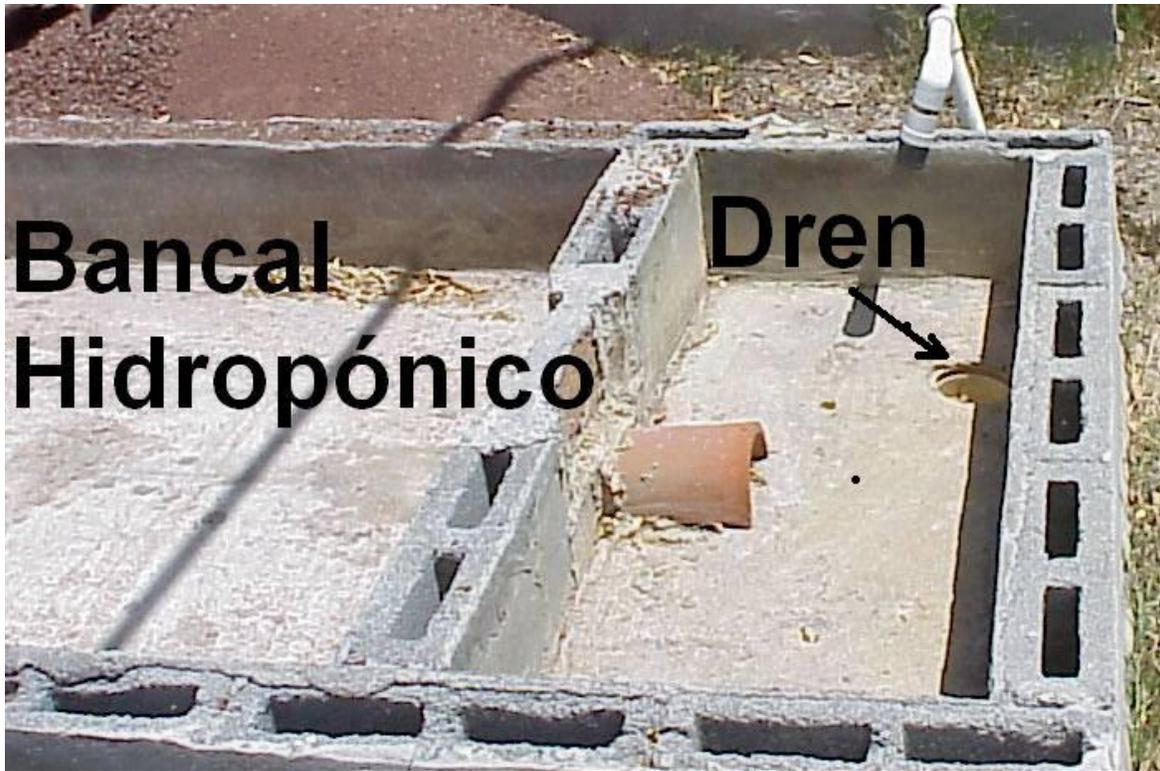
3.3. Solución nutritiva

La concentración de la SNH y las fuentes empleadas se presentan en el Cuadro 2. El volumen de SNH que se preparó en cada renovación fue de 2000 L. Durante la investigación no se consideró la adición de cloruro ya que el agua contenía suficiente. El pH y la Conductividad eléctrica (CE) se ajustaron a 5.5- 6.5 cada vez que se renovó la SNH. El riego con la SNH se realizó cada tercer día. Se usó una bomba centrifuga de ½ HP para saturar el sustrato contenido en el bancal; el exceso se drenó (recicló) inmediatamente hacia la cisterna por gravedad.

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

Elemento	Concentración (mg L^{-1})	Fuente
N	200	
P	60	KH_2PO_4
K	250	KNO_3
Ca	200	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Mg	50	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$
S	100	H_2SO_4
Fe	0.50	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Mn	0.25	$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
B	0.25	H_3BO_3
Cu	0.02	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Zn	0.25	$\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Mo	0.01	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Fuente: Rodríguez-Fuentes *et al.* (2006)



Fotografía 1. Bancal hidropónico.



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



Fotografía 3. Vista parcial del modulo hidropónico.

3.4. Manejo del cultivo

El trasplante a los bancales hidropónicos se realizó con una densidad de población de 16 plantas m^{-2} , empleando cladodios de seis meses de edad colectados a finales de 2007 de una finca cercana al lugar donde se realizó el experimento. Previamente fueron tratados con pasta bordelesa en la base para prevenir el ataque de enfermedades. La preparación de ésta consistió en disolver 500 g $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ mas 3.0 kg de $Ca(OH)_2$ en 100 L de agua (Rodríguez-Fuentes et al., 2009), insertando un tercio del cladodio en el sustrato. La variedad empleada fue “Villanueva”.

Cuando la planta madre emitió brotes se procedió a dar forma a la estructura vegetal, para ello se dejaron únicamente dos brotes. A este se le conoce como “oreja de ratón” o “Mickey mouse” (Fotografía 4); el criterio para realizar la cosecha consistió en cortar los brotes emitidos en ambos cladodios, lo cual se realizó aproximadamente cada siete días, considerando que el brote presentara 15 cm de largo o más. Después se cortaron en segmentos para facilitar su secado. Se introdujeron a una bolsa de papel estraza previamente identificada y posteriormente a una estufa de convección forzada (Riossa Modelo H-62, México, se mantuvieron a una temperatura de 70 a 80 °C hasta peso constante. En una balanza electrónica Marca JR Modelo SX-8K.

3.5. Producción de biomasa

Durante el periodo marzo-agosto de 2009 se realizó la cosecha del nopalito (Fotografía 5). Para ello se usó un cuchillo de acero inoxidable desinfectado previamente. Se registró el peso en fresco de la cosecha y el número total de nopalitos cosechados de cada planta por repetición (120 plantas). De la cosecha de brotes se tomó una muestra de cinco nopalitos para el análisis nutrimental. Dichas muestras, fueron lavadas con agua de la llave y luego con agua destilada, se secaron con papel absorbente y se llevaron al laboratorio, en donde se procesaron para registrar directamente las variables: peso fresco, largo y ancho del nopalito, usando para ello una balanza electrónica Marca JR, modelo SX-8K, y una cinta métrica común, respectivamente. Posteriormente, las muestras (nopalito y planta completa) por separado se cortaron en segmentos para facilitar su secado; se introdujeron en bolsas de papel estraza previamente identificada con el fin de ser deshidratados en una estufa de convección forzada (Marca Riossa,

modelo H-62), se dejaron a una temperatura de 70 a 80 °C hasta peso constante. Posteriormente se obtuvo el peso seco, con a una balanza electrónica (Marca JR, modelo SX-8K).



Fotografía 4. Nopal con estructura tipo oreja de ratón.



Fotografía 5. Nopalitos listos para la cosecha

3.6. Oferta climática (grados-día)

Los grados día (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.

Los datos de temperatura máxima y mínima considerados se colectaron de la estación meteorológica localizada en el Campus Marín de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Los GD se calcularon diariamente para el periodo de marzo a agosto 2009.

3.7. Relación entre la biomasa producida y grados-día

Una de las características importante de calidad del nopalito para consumo humano es su tamaño (CODEX, 1993), (largo) del nopalito, por lo que se definió cosechar cuando éste presentara 15 cm o más de longitud, que de acuerdo con este criterio, los nopalitos cosechados en esta estudio quedan ubicados dentro del calibre C (17 a 21 cm) de la norma del Codex. Por otra parte, esta característica de tamaño se alcanza aproximadamente a los 20 días (Orona-Castillo *et al.*, 2004). Por conveniencia, considerado en el presente estudio, tres semanas, contado desde que el cladodio maduro (penca madre) emite el brote hasta que alcanza el tamaño deseado para ser cosechado. Este periodo puede variar dependiendo de las condiciones ambientales y del manejo en general que se dé al cultivo. De tal manera que para estimar la relación de producción de biomasa con los grados día se consideró conveniente acumular la producción de BF y BS, así como los GD, en periodos de 7, 14, 21 y 30 días. Para establecer dicha relación estadística entre la biomasa producida y los grados-día de cada periodo de cosecha se aplicaron modelos de regresión. El criterio de selección del mejor modelo se basó en el mayor valor de coeficiente de determinación (R^2). Para calcular los modelos se utilizó el programa SigmaPlot[®] 10.0.

3.8. Análisis nutrimental

Las muestras de cladodios cosechados ya secas fueron molidas. La determinación de nitrógeno total se realizó por el método Kjeldhal; los análisis de fósforo, potasio, calcio, magnesio, cobre, fierro, manganeso y zinc se realizó por digestión seca. Las muestras se pesaron (0.5 ± 0.001 g de biomasa seca, molida y tamizada (por una malla de 20 μ m) en un molino de acero inoxidable marca Wiley, se colocaron

dentro de un recipiente de evaporación en un crisol Gooch, se incineró de 3 a 4 h en una mufla a una temperatura de 450 a 500°C. Se enfrió y se humedeció con agua destilada y luego se le agregó aproximadamente 2 mL de HCL concentrado grado reactivo. Se evaporó muy lentamente en una plancha caliente. Se agregó 25 mL de una solución de HCL 1 N y luego se filtró.

Posteriormente, se procedió a realizar 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, calcio, magnesio, cobre, fierro, manganeso y zinc se empleó la técnica de espectroscopia de absorción atómica, (UNICAM Solar modelo 9626). La cristalería y material de polipropileno utilizado, fue previamente lavado, remojado 12 h con HNO₃ al 20% y enjuagado con agua desionizada, en todos los procesos de análisis; para realizar las curvas de calibración de cada nutrimento 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 se calcularon considerando la regla del 8%. Los procedimientos analíticos se realizaron según Rodríguez y Rodríguez (2002).

3.9. Extracción total de nutrimentos

Con los datos de biomasa seca total (BST) y concentración de nutrientes se determinó la cantidad total de nutrientes extraídos por fecha de muestreo en g m² empleando la siguiente relación:

$$EN = (CN) (MST \text{ en g}) / 100;$$

Donde:

EN = Extracción de nutrimento en g m⁻² (N,F,K,Ca, Mg) y mg m⁻² (Fe,Cu,Zn,Mn)

CN = Concentración de nutrimento (%)

MST = materia seca total (g)

100 = Constante

3.10. Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar con 21 tratamientos (fecha de cosecha) con tres repeticiones. La unidad experimental fue de 2.5 m². El programa de Diseños Estadísticos Experimentales (Olivares-Sáenz, 1995) fue usado para calcular el análisis de varianza (ANVA) y las pruebas de media (Tukey p≤0.01) de las variables. Las Figuras se elaboraron con el programa Microsoft® Office Excel 2003 (Microsoft Corp., 2003). Las pruebas de hipótesis de las ecuaciones de regresión se elaboraron usando el programa estadístico SPSS Statistics 17.0 (2008). El modelo de regresión usado fue:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_i^2 + \varepsilon_i$$

Prueba de hipótesis:

$$H_0 = \beta_1 = 0 \quad \text{VS} \quad H_0 = \beta_1 \neq 0$$

H₀ : No hay efecto lineal VS H_A : Si hay efecto lineal

$$H_0 = \beta_2 = 0 \quad \text{VS} \quad H_0 = \beta_2 \neq 0$$

H₀ : No hay efecto cuadrático VS H_A : Si hay efecto cuadrático

$$H_0 = \beta_1 = \beta_1 = 0$$

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Producción de biomasa de nopal verdura

Durante el período de marzo a agosto de 2009 se realizó cada siete días la cosecha de nopalitos para un total de 21 cortes (Cuadro 3). El análisis de varianza (ANVA) para las fechas de corte para biomasa fresca (BF) y seca (BS) (Cuadro A1), fueron significativos ($p \leq 0.01$). La prueba de medias (Cuadro A2) para ambas variables presentó diferencias significativas (Tukey $\alpha = 0.05$) entre cortes. Los cortes No. 9 (de mayo) y No. 4 (de abril), fueron los de mayor producción de biomasa (nopalitos) y estadísticamente diferentes, seguidos de los cortes No. 14 de junio y y No. 3 de marzo, estadísticamente iguales. Los demás cortes se clasificaron en cinco grupos diferentes, esto fue tanto en BF como en BS. (Cuadro A2). Esta variación en la producción entre cortes, es reportada por Zuñiga-Tarango *et al.* (2009), quienes trabajaron en esta misma localidad de Marín N. L. con la variedad “Jalpa” y diez tratamientos con fertilizantes químicos, estiércol y dos profundidades de aplicación en el suelo, señalando que esto obedece a las diferencias ambientales que caracterizan las fechas de cosecha en que se realiza cada corte, principalmente a variaciones en la temperatura y la calidad de la solución nutricional en el suelo (o sustrato en el caso de hidroponía) Vázquez y Gallegos (1995).

4.1.1. Producción mensual de biomasa fresca y seca

Para una mejor presentación y discusión de los resultados, los datos ahora se presentan en forma mensual. El análisis estadístico de la producción mensual de

BF y BS de nopal verdura mostró diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre los meses evaluados. En la comparación de medias (Tukey $\alpha = 0.05$) los meses de abril, mayo y junio presentaron los mayores valores de producción (6.496, 6.392 y 5.764 kg m^{-2}) de nopalito respectivamente, siendo estadísticamente iguales, seguidos de los meses de marzo y julio con 3.342 y 2.886 kg m^{-2} respectivamente, mientras que el mes de agosto fue el que registró la menor producción mensual con 1.278 kg m^{-2} (Cuadro 4).

Cuadro 3. Estimadores estadísticos básicos de la producción de nopal verdura cosechado cada siete días expresada como biomasa fresca (BF) y seca (BS) y sus grados día (GD) correspondientes.

No. Corte	Fecha	BF (kg m^{-2})	BS (kg m^{-2})	GD (7 días)
1	13/03/2009	0.179 [†]	0.010 [†]	83
2	20/03/2009	0.457	0.027	64.15
3	27/03/2009	2.707	0.176	111
4	03/04/2009	3.468	0.221	84.1
5	10/04/2009	0.986	0.064	84.15
6	17/04/2009	0.589	0.032	115.75
7	24/04/2009	0.133	0.007	105
8	30/04/2009	1.320	0.068	116.6
9	08/05/2009	4.305	0.246	162.4
10	14/05/2009	1.454	0.120	121.9
11	22/05/2009	0.633	0.042	120.4
12	05/06/2009	1.427	0.097	160.05
13	12/06/2009	1.132	0.079	85.55
14	19/06/2009	2.840	0.163	145.35
15	26/06/2009	0.366	0.021	151.4
16	03/07/2009	0.163	0.009	142.95
17	17/07/2009	1.053	0.082	149
18	24/07/2009	0.514	0.033	155
19	31/07/2009	1.157	0.064	149.3
20	14/08/2009	0.182	0.012	151.7
21	28/08/2009	0.721	0.051	154
Media		1.2279	0.0773	124.417
DE		1.1591	0.0703	30.6767
Error estándar±		0.2529	0.0153	6.6942
Mínima		0.1330	0.0070	64.1500
Máxima		4.3050	0.2460	162.4000

[†] Promedio de tres repeticiones.

Esto coincide con lo mencionado por otros autores, en el sentido de que los meses de mayor producción de nopalito se presentan en el periodo de primavera-verano (Flores-Hernández *et al.*, 2002; Orona-Castillo *et al.*, 2004; Ruiz-Espinoza *et al.*, 2008).

La producción media mensual de BF fue de 4.36 kg m⁻² (Cuadro 4). Esta producción fue superior a 2.1 y 2.55 kg m⁻², reportados como promedios mensuales de nopal verdura de BF, para las regiones de La Laguna, Coahuila, y Zacatecas (Flores-Hernández *et al.*, 2004; Blanco-Macías *et al.*, 2007), respectivamente. Estas producciones fueron obtenidas cultivando en suelo y usando diferentes sistemas de manejo; en el primero se usó la variedad C13 (*Opuntia amyclae*) y una densidad de población de 40,000 plantas ha⁻¹; en el segundo se empleó la variedad “Villanueva” (*Opuntia ficus-indica*), en un sistema de doble excavación, sin riego usando estiércol bovino como abono y una densidad de población de 175,000 plantas ha⁻¹, cosechando en la penca madre.

Por otra parte, esta misma producción de nopalito de 4.36 kg m⁻² es muy similar a 4.24 kg m⁻² reportada por Ruiz-Espinoza *et al.* (2008) para la región de Baja California Sur y ligeramente inferior a 4.75 kg m⁻² reportado por Orona-Castillo *et al.* (2004) para la región de Gómez Palacio, Durango. Las dos investigaciones se realizaron en suelo. En el primero se empleó el variedad CEN-1 (El Centenario B.C.S.) de *Opuntia ficus-indica* con una densidad de población de 90,000 plantas ha⁻¹. Mientras que en el segundo estudio empleó nopal para verdura (*Opuntia ficus-indica*) variedad 69, con una aplicación de 107 t ha⁻¹ de estiércol bovino y una densidad de 30,000 plantas ha⁻¹. Un esquema grafico (Figura 1) muestra la producción intensiva (ocho autores) de nopal verdura para la última década en la

zona norte de México. Esta variabilidad de respuesta del cultivo en la producción de nopalito, es señalada por Flores-Hernández *et al.* (2005); Singh y Singh (2003), indicando que está relacionada en términos generales a: la diversidad genética, ambiental y de manejo a que se somete dicha especie, esto coincide con lo reportado por Flores-Hernández *et al.*, (2004), Blanco-Macías *et al.*, (2007) y Ruiz-Espinoza *et al.*, (2008). La respuesta del cultivo de nopal a las condiciones ambientales de diferentes localidades, así como al manejo de la solución nutritiva en sistemas hidropónicos, a la fertilización química y orgánica y al uso de una doble excavación (aumento de la profundidad del suelo) en la cama de siembra, muestran la benevolencia de estos sistemas intensivos de producción, donde el manejo de la nutrición y las condiciones climáticas en la mayoría de los casos fueron adecuadas. En este sentido, 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, pero 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.

Cuadro 4. Comparación de medias (Tukey $\alpha = 0.05$) de la producción mensual de nopal verdura cultivado en hidroponía, Marín 2009.

Meses	BF (kg m⁻²)	BS (kg m⁻²)
Abril	6.496 a	0.409 a
Mayo	6.392 a	0.392 a
Junio	5.764 a	0.359 a
Marzo	3.342 b	0.213 b
Julio	2.886 b	0.187 b
Agosto	1.278 c	0.063 c
Total	26.161	1.623
Media	4.36	0.271

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

4.2 Relación BF y BS con los GD

De acuerdo con lo descrito en la metodología, para estimar la relación BF y BS con GD, se analizaron los datos (ANVA) de dichas variables en periodos acumulados de 7, 14, 21 y 30 días. En el Cuadro A3 se presenta un concentrado con los niveles de significancia de los ANVA para BF y BS en los periodos anteriormente señalados, en todos ellos los resultados fueron significativos ($p \leq 0.01$). En los Cuadros A4, A5, A6 (BF); A7, A8 y A9 (BS) se presentan las comparaciones de medias correspondientes.

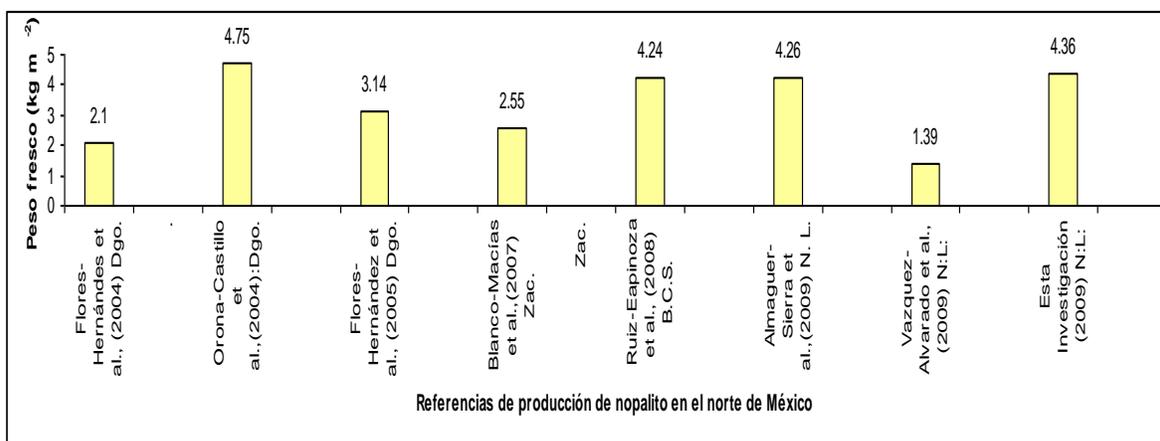


Figura 1. Comparación de producción intensiva de nopal verdura en el norte de México en la última década, según varios autores.

En la Figura 2 se presenta una dispersión de datos que corresponden a la producción de BS de nopal verdura y su relación con los GD, en periodos de siete días. Se puede observar una tendencia de incrementos de la BS al aumentar los GD, a excepción de la semana 1, 3 y 5 y de la 17 a la 21. Bourque *et al.* (2000), Hassan *et al.* (2007) señalan que la temperatura y los GD influyen sobre el crecimiento de las plantas ya que afectan directamente las funciones como la

evapotranspiración, la fotosíntesis, la respiración y el movimiento del agua y los nutrimentos dentro de las plantas.

4.3. Modelos de predicción considerando biomasa fresca y seca vs grados-día

Para estimar el mejor modelo de predicción se usó la relación entre la producción de biomasa y los grados-día. Todos los datos (BF, BS y GD) fueron acumulados por periodos de cosecha asociados a los 7, 14, 21 y 30 días (Cuadros A10 y A11). Estos fueron analizados considerando los modelos: lineal, sigmoidal y polinomial. Las ecuaciones y los valores de R^2 se presentan: para BF, cuadro 5 y para BS, Cuadro 6. Se observa que para ambos casos el mayor valor de R^2 correspondió al modelo binomial cuando se acumulan los datos cada 21 días.

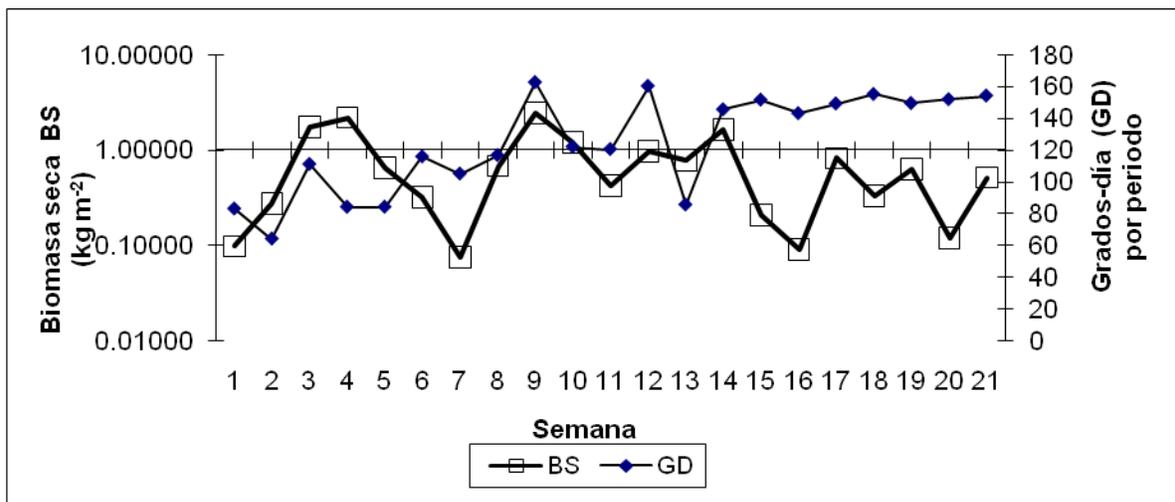


Figura 2. Producción de biomasa seca de nopal verdura y grados-día correspondientes a 21 semanas o fechas de cosecha. Marín, N. L. 2009.

En las Figura 3 (a,b), 4 (a,b) y Cuadros 5 y 6 se presentan las ecuaciones de regresión estimadas para el modelo binomial para BF y BS. Los coeficientes de determinación ($R^2_{ajustada}$) correspondientes a 7, 14, 21 y 30 días fueron: -0.093, -

0.026, 0.741 y 0.676 para BF y -0.101, -0.066, 0.861 y 0.657 para BS ($p \leq 0.01$) respectivamente. Se aprecia que el coeficiente de determinación aumentó conforme se acumularon; una, dos y tres semanas. Es decir datos de 21 días, ya que se alcanzó un valor de $R^2_{ajustada} = 0.741$ y 0.861 para BF y BS respectivamente, para después descender cuando se acumularon valores de BF y BS a los 30 días, aproximadamente cuatro semanas (Cuadros 5 y 6 y Anexo).

Por otra parte y sobre este mismo tema (relación producción-temperatura), Orón-Castillo *et al*, (2004) reporta correlaciones lineales significativas donde se relacionó la producción mensual de cladodio y la temperatura media mensual, se menciona valores significativos de $r=0.58$ ($p=0.05$, $n=12$) para 45% de humedad restaurada (HR) y $r=0.64$ ($p=0.021$, $n=12$) para 60% (HR), reportados para la región de Gómez Palacio Durango, México; en este trabajo se evaluaron tres niveles de humedad de suelo, que consistieron en restaurar 30, 45 y 60 % de la evaporación diaria del agua medida en un tanque evaporímetro tipo "A". Se emplearon cladodios de la 'Variedad 69', de *Opuntia ficus-indica* al cual se le adicionaron 107 t ha^{-1} de estiércol bovino, la densidad de población fue de $30,000 \text{ plantas ha}^{-1}$. En ambos casos se presentan correlaciones significativa aunque usando diferentes modelos, lo que puede estar relacionado con el segmento de la curva de desarrollo del cultivo que se use (Villalpando y Ruiz, 1993).

Cuadro 5. Ecuaciones de ajuste y sus coeficientes de determinación (Y = BF; X = GD).

Periodo (días)	Lineal	Sigmoidal	Polinomial Cuadrático
7	Y= 0.8021+ 0.0034X R ² = 0.0082	Y= 1.2865/(1+ exp (-(X- 83.0265)/0.2662)) R ² = 0.0598	Y= 2.574 – 0.0289X + 0.0001X ² R²= 0.016; R²_{Aj}= -0.093
14	Y= 3.1131 - 0.0025X R ² = 0.0043	Y= 2.7141/(1+ exp (-(X- 148.1985)/0.3785)) R ² = 0.1023	Y = -16.6663 + 0.1746X - 0.0004X ² R²= 0.202; R²_{Aj}= -0.026
21	Y= 7.4184 - 0.0099X R ² = 0.2760	Y= 4.5062/(1+ exp (-(X +452.6647)/-8.7694)) R ² = 0.6916	Y = 22.6794 + 0.1650X - 0.0002X ² R²= 0.8273; R²_{Aj}= 0.741
30	Y= 8.057 - 0.0067X R ² = 0.1207	Y= 5.572/(1+ exp (-(X - 653.6802)/-20.2882)) R ² = 0.5520	Y = -45.9644 + 0.2067X -0.0002X ² R²= 0.8058; R²_{Aj}= 0.676

R²_{Aj.} = Coeficiente de determinación ajustado.

Los modelos seleccionados que mejor estimaron la relación “producción-grados días” correspondieron a una ecuación cuadrática, esto fue cuando se acumularon la producción de BF, ecuación 1 (E1, R²_{ajustada}= 0.741) y BS, ecuación 2 (E2, R²_{ajustada}= 0.861) con los GD correspondientes para periodos de 21 días (Cuadro 7). La prueba de hipótesis (Anexo) aplicada a las E1 y E2, permitió rechazar la hipótesis nula (Ho_{21 días}) para BF y BS; (p=0.028) efecto lineal, (p=0.023) efecto cuadrático y (p=0.007) efecto lineal, (p=0.009) efecto cuadrático respectivamente, denotando con ello que el efecto lineal y cuadrático son significativos. Es importante señalar que la tasa de producción se obtuvo mediante la primera derivada de E1 cuyo valor es función de los grados día, de hecho el máximo valor fue de 0.0676 kg m⁻² de BF por GD acumulado (Cuadro 8), cuando se usó un valor de GD = 200, descendiendo a los 300 y 350 GD. También es importante señalar que la ecuación muestra una producción igual a cero a los 191.65 y 486.2 GD,

alcanzando un máximo a los 339.08 GD, en el punto de inflexión de la curva, cuando su primera derivada es cero (Figura 4a).

Cuadro 6. Ecuaciones de ajuste y sus coeficientes de determinación (Y = BS; X = GD).

Periodo (días)	Lineal	Sigmoidal	Polinomial Cuadrático
7	Y= 0.0573+ 0.002X R ² = 0.0702	Y= 0.0798/(1+ exp (-(X- 65.2840)/1.7280)) R ² = 0.0266	Y= 0.1347 – 0.0012X + 0.000005987X ² R ² = 0.009 ; R ² _{Aj} = -0.101
14	Y= 0.1429 - 0.0001X R ² = 0.0019	Y= 0.1707/(1+ exp (-(X- 147.7502)/0.0002)) R ² = 0.1018	Y= -0.9966 + 0.0105X – 0.000022X ² R ² = 0.1711 ; R ² _{Aj} = -0.066
21	Y= 0.4531 - 0.0006X R ² = 0.319	Y= 0.2759/(1+ exp (-(X - 456.5942)/-13.2026)) R ² = 0.797	Y= -1.2603 + 0.0094X - 0.00001X ² R ² = 0.9074 ; R ² _{Aj} = 0.861
30	Y= 0.4876 - 0.0004X R ² = 0.1124	Y= 0.3456/(1+ exp (-(X +655.9385)/-21.1592)) R ² = 0.5405	Y= -2.7521 + 0.0124X – 0.000012087X ² R ² = 0.7942 ; R ² _{Aj} = 0.657

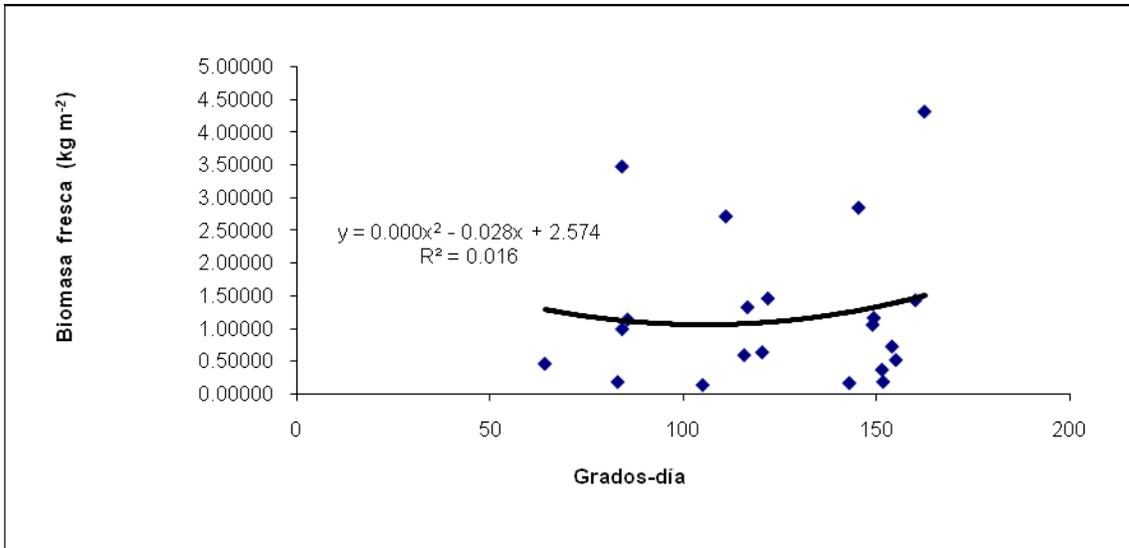
R²_{Aj} = Coeficiente de determinación ajustado

Cuadro 7 Ecuaciones de segundo grado para estimar BF y BS de nopal verdura relacionando la biomasa con los GD acumulados en periodos de 21 días.

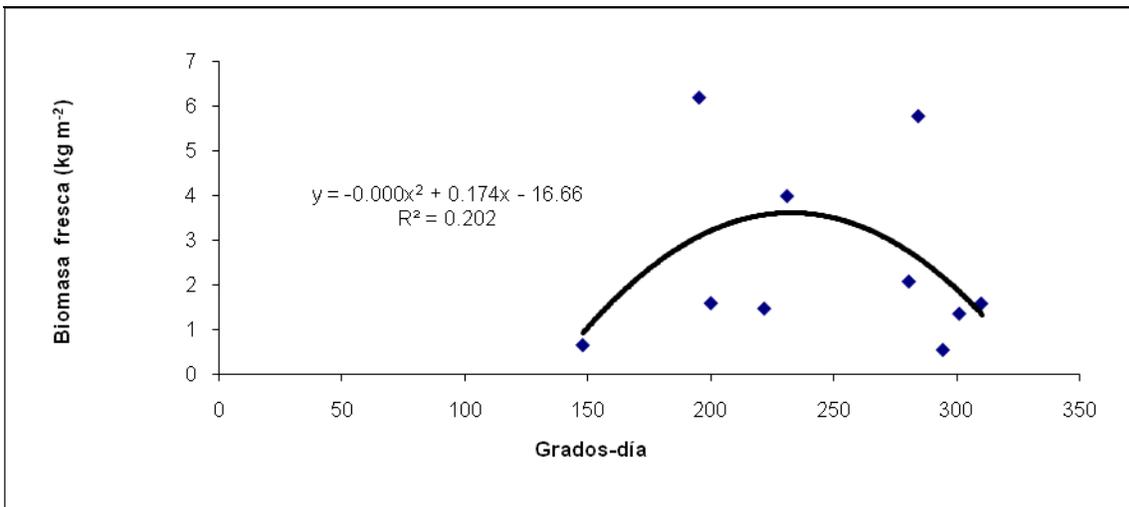
Ecuaciones binomiales	R ²	R ² ajustada
BF _{21 días} = – 0.0002432338(GD) ² + 0.1650GD – 22.6794 ...E1	0.8273	0.741
BS _{21 días} = – 0.00001384683(GD) ² + 0.0094GD – 1.2603...E2	0.9074	0.861

Al derivar la ecuación 2 (E2) para biomasa seca, la tasa de producción obtenida de la primera derivada de E2 cuyo valor es función de los grados día, presento un valor máximo de 0.0038 kg m⁻² de BS por GD acumulado (Cuadro 8), cuando se usó un valor de GD = 200, descendiendo a los 300 y 350 GD. De la misma manera, cabe señalar que la ecuación muestra una producción igual a cero a los 185.3 y 491.2 GD, alcanzando un máximo a los 338.25 GD, en el punto de inflexión de la curva, cuando su primera derivada es cero (Figura 6a).

Cabe señalar que la tasa de incremento (BF y BS) es variable, siendo mayor en el mes de marzo para después ir disminuyendo a medida que aumentan los grados-día, para alcanzar su inflexión aproximadamente a los 340 GD como ya se mencionó. Después de este punto las tasas son negativas y la producción va disminuyendo hasta alcanzar un valor de cero. Estas tasas estimadas para el incremento en la producción son para nopal verdura (*Opuntia ficus indica*) variedad "Villanueva" y corresponden al año 2009 y son para la localidad de Marín, Nuevo León. En general, la relación que se aprecia es congruente con lo consignado por otros autores (Hassan *et al.*, 2007), puesto que a mayores temperaturas máxima y mínima corresponde una mayor cantidad de grados-día. Por lo tanto, se espera una mayor actividad biótica, traducida en el presente caso en producción de biomasa fresca y seca por las plantas, en este caso de nopal.

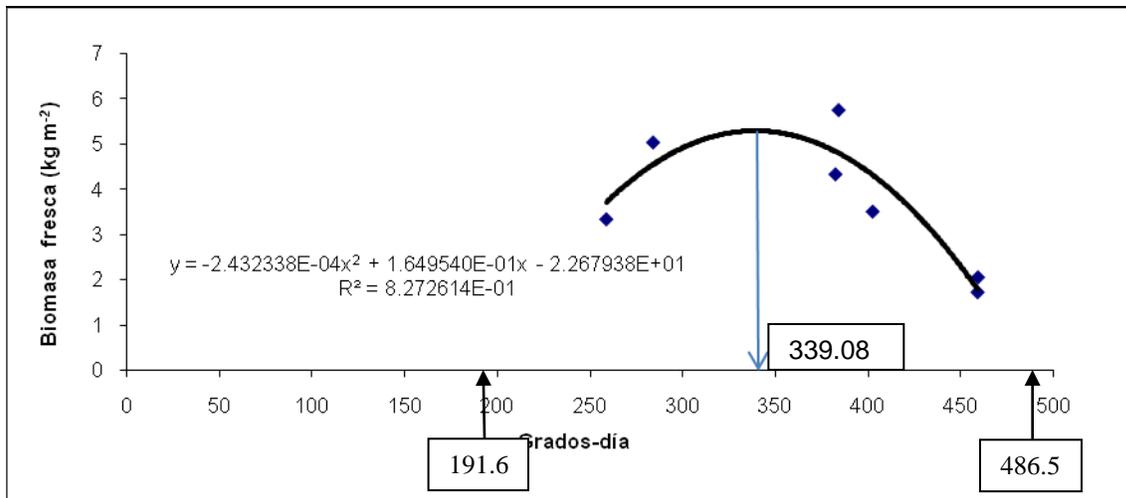


(a)

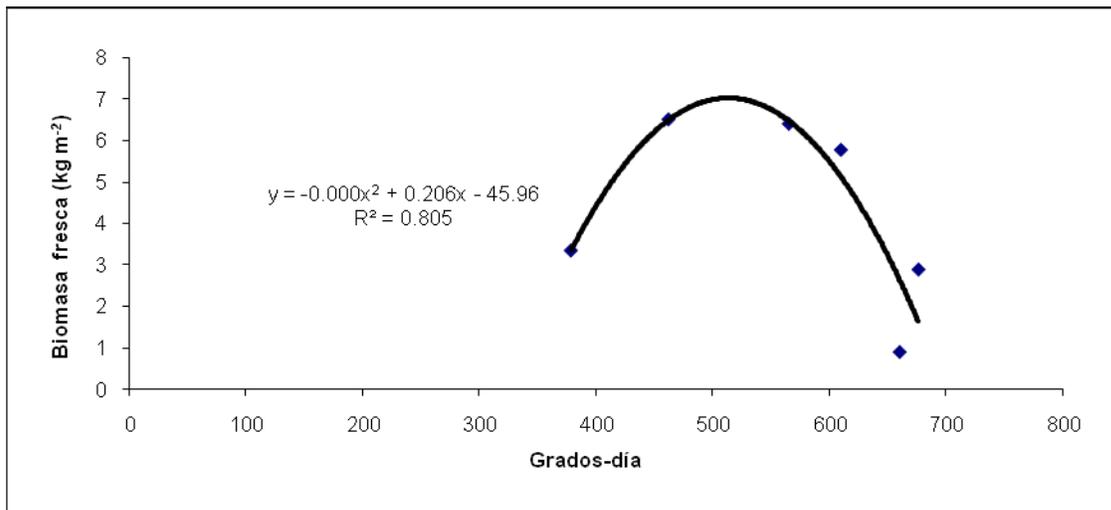


(b)

Figura 3. Ecuaciones cuadráticas que relaciona la producción de BF de cladodios cosechados con los GD en períodos de 7 (a) y 14 (b) días.

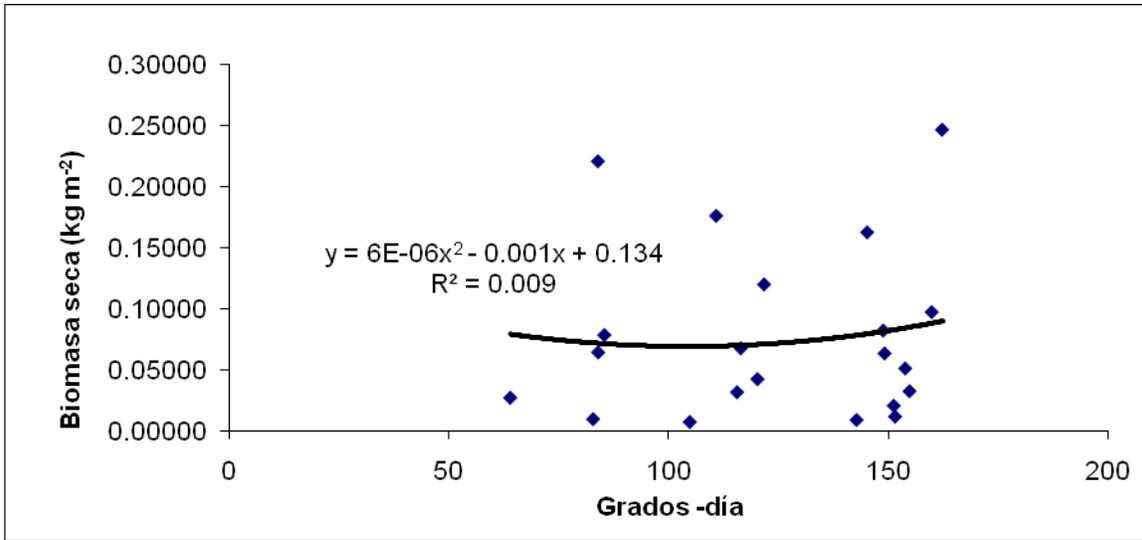


(a)

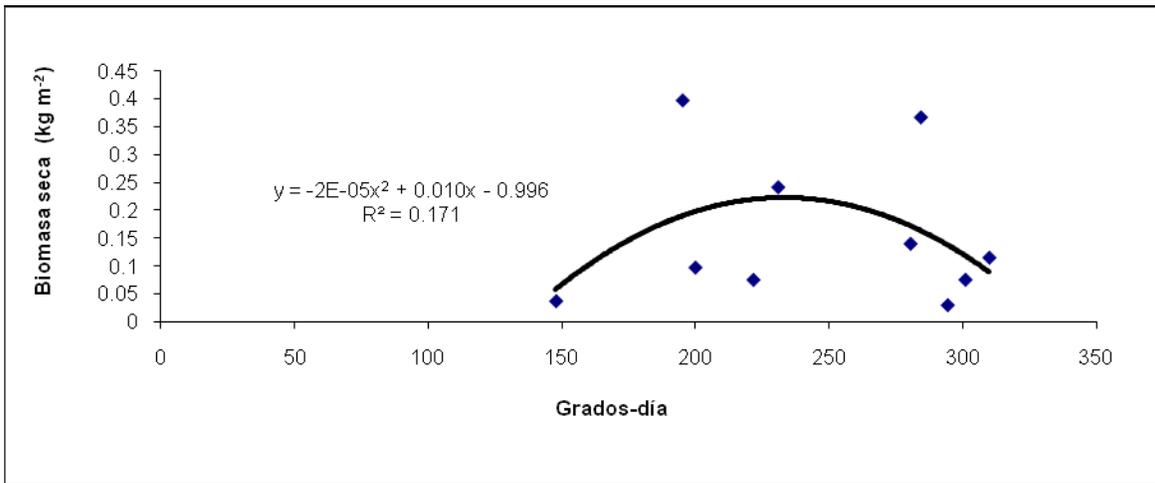


(b)

Figura 4. Ecuaciones cuadráticas que relaciona la producción de BF de cladodios cosechados con los GD en períodos de 21 (a) y 30 (b) días.

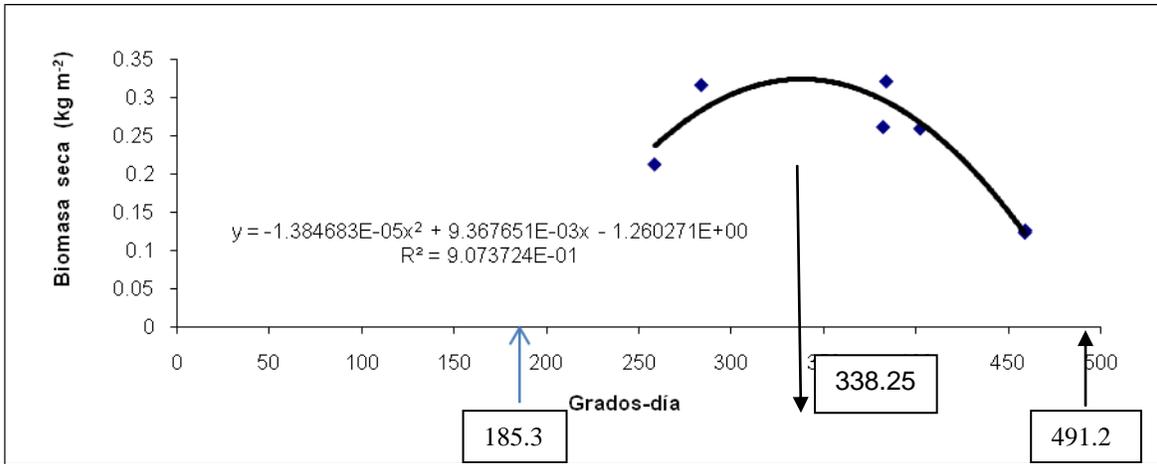


(a)

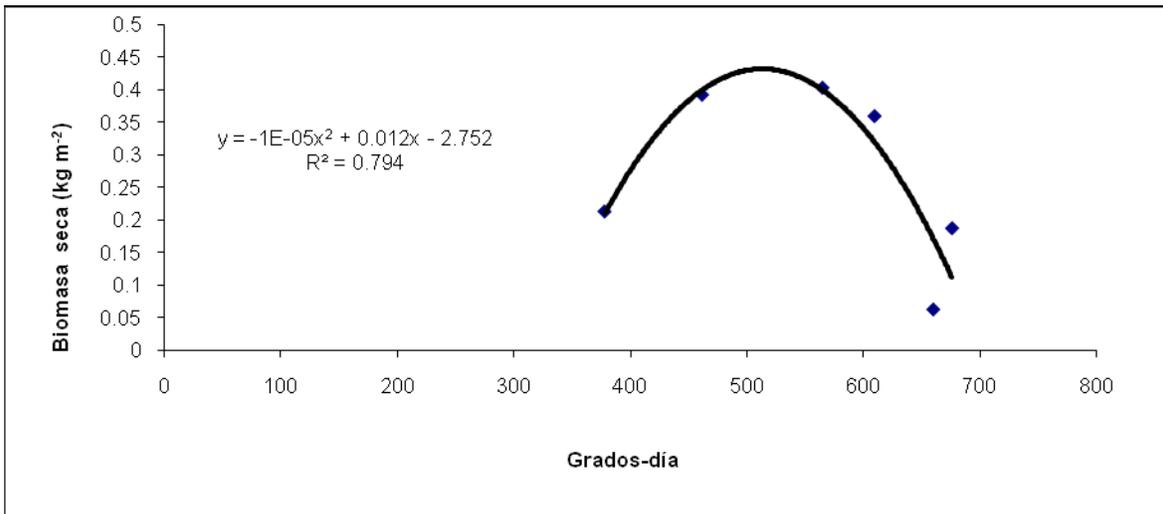


(b)

Figura 5. Ecuaciones cuadráticas que relaciona la producción de BS de cladodios cosechados con los GD en períodos de 7 (a) y 14 (b) días.



(a)



(b)

Figura 6. Ecuaciones cuadráticas que relaciona la producción de BS de cladodios cosechados con los GD en períodos de 21 (a) y 30 (b).

Cuadro 8. Tasas de incremento de producción de biomasa fresca (BF) y seca (BS) obtenidas al derivar las ecuaciones E1 y E2 para diferentes valores de GD.

Valores (GD)	BF	BS
	Tasa de incremento (kg m ⁻² GD ⁻¹)	Tasa de incremento (kg m ⁻² GD ⁻¹)
200	0.0676	0.00383
300	0.0190	0.00106
350	0.0037	-0.00032

Cuadro 9. Estadísticos descriptivos de concentración de minerales cantidad extraída de los cladodios cosechados en 21 fechas de muestreo, Marín, N. L. 2009.

Fechas de corte	N (g m ⁻²)	P (g m ⁻²)	K (g m ⁻²)	Ca (g m ⁻²)	Mg (g m ⁻²)	Fe (mg m ⁻²)	Cu (mg m ⁻²)	Zn (mg m ⁻²)	Mn (mg m ⁻²)
20/03/2009	0.302	0.047	0.768	0.351	0.075	0.763	0.027	0.194	0.232
27/03/2009	0.641	0.114	1.829	1.079	0.196	2.567	0.073	0.482	0.808
03/04/2009	4.471	0.632	11.277	6.240	1.179	11.881	0.418	2.776	4.539
10/04/2009	4.867	0.666	13.046	8.445	1.294	13.247	0.475	2.812	6.312
17/04/2009	1.911	0.241	4.923	2.522	0.448	5.058	0.184	1.002	1.984
24/04/2009	1.025	0.141	2.467	1.096	0.222	2.554	0.114	0.545	0.832
08/05/2009	0.218	0.032	0.627	0.362	0.068	0.492	0.021	0.118	0.220
14/05/2009	1.978	0.284	6.104	3.565	0.598	4.829	0.253	1.050	1.956
22/05/2009	5.728	0.747	19.484	11.868	1.614	14.458	0.589	3.158	6.748
05/06/2009	2.158	0.258	6.718	3.460	0.758	4.796	0.214	1.399	2.116
12/06/2009	0.961	0.112	2.879	1.584	0.302	2.986	0.096	0.568	0.877
18/06/2009	2.023	0.245	7.300	4.119	0.737	6.390	0.238	1.146	1.858
26/06/2009	1.702	0.185	5.563	2.763	0.639	9.352	0.179	0.941	1.925
03/07/2009	3.884	0.486	11.592	7.114	1.117	17.317	0.389	2.214	3.019
17/07/2009	0.526	0.058	1.666	0.996	0.153	1.387	0.035	0.295	0.416
24/07/2009	0.241	0.029	0.850	0.459	0.077	0.705	0.018	0.122	0.199
31/07/2009	1.435	0.146	4.966	2.933	0.496	7.267	0.101	0.689	1.091
14/08/2009	0.699	0.069	2.582	1.142	0.234	1.510	0.052	0.442	0.519
28/08/2009	1.460	0.153	5.087	2.957	0.393	3.705	0.077	0.690	1.187
04/09/2009	0.234	0.024	0.821	0.460	0.064	0.950	0.012	0.118	0.194
18/09/2009	0.815	0.094	3.038	1.944	0.309	4.722	0.096	0.474	0.890
Media	1.775	0.227	5.409	3.117	0.522	5.568	0.174	1.011	1.806
Desviación estándar	1.626	0.220	4.884	3.019	0.449	4.959	0.166	0.939	1.899
Error Estándar±	0.355	0.048	1.066	0.659	0.098	1.082	0.036	0.205	0.414
Mínimo	0.218	0.024	0.627	0.351	0.064	0.492	0.012	0.118	0.194
Máximo	5.728	0.747	19.484	11.868	1.614	17.317	0.589	3.158	6.748

4.4. Minerales extraídos por nopal para verdura

La descripción estadística de los minerales extraídos (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn) para los cladodios cosechados cada siete días de marzo a septiembre del 2009 (Cuadro 9), muestra que la mayor concentración de nutrimentos extraída por el cultivo se presentó en los cortes de los meses de mayo, abril y julio respectivamente. Esto es similar a lo reportado por Orona-Castillo *et al.* (2004).

4.4.1. Extracción de macro nutrimentos

Para facilitar la discusión de la extracción de los nutrimentos, los datos de cada corte se agruparon por mes y se expresaron en kg ha^{-1} (Cuadro 10). El análisis de varianza entre los meses de estudio para todos los macro nutrimentos (N, P, K, Ca y Mg) fue significativo ($p \leq 0.01$). La prueba de medias (Tukey $\alpha = 0.01$) para N mostró que la mayor extracción se presentó en el mes de abril con $122.732 \text{ kg ha}^{-1}$; mayo, junio y julio con 79.23, 68.43 y 60.85 kg ha^{-1} respectivamente, fueron estadísticamente iguales, la menor extracción de N se correspondió a marzo y agosto (Cuadro 9, Figura 7). Estos resultados son muy superiores a lo reportado por Orona-Castillo *et al.* (2004), para los meses de abril, mayo, junio, julio y agosto, para los cuales menciona valores de 4 a 23 kg ha^{-1} . Dicha investigación se desarrolló en Gómez Palacio, Durango, donde evaluó la “variedad” 69 de *O. ficus indica* con tres niveles de humedad. Sin embargo coincide en lo general con esta investigación cuando menciona que la mayor extracción mineral y producción de biomasa se presenta en los meses de abril mayo y junio y está relacionado con la temperatura y la humedad, entre otros factores.

La mayor extracción para P, se presentó en el mes de abril con $16.801 \text{ kg ha}^{-1}$, seguido del mes de mayo con $10.640 \text{ kg ha}^{-1}$, posteriormente los meses de junio y

julio y finalmente marzo y agosto (Cuadro 10, Figura 7). Para el K, la mayor extracción se presentó en los meses de abril con 317.13 kg ha⁻¹, seguido de mayo y junio estadísticamente iguales con valores de, 262.15 y 224.60 kg ha⁻¹ respectivamente. La prueba de medias para Ca, mostró que la extracción de este mineral fue mayor en abril y mayo con valores de 183.02 y 156.95 kg ha⁻¹, seguidos de junio y julio con valores de 119.26 y 115.02 kg ha⁻¹ respectivamente y finalmente con el menor valor marzo y agosto. Para Mg la mayor extracción se presentó en el mes de abril (31.43 kg ha⁻¹) y junio (24.36 kg ha⁻¹), estadísticamente iguales, para después seguir los meses de mayo y finalmente los meses de julio y agosto con el menor valor de Mg extraído (Cuadro 10, Figura 7). Los valores de extracción de P para los meses de abril y mayo y de K para los meses de abril mayo, junio y julio son superiores a los reportados por Orón-Castillo *et al*, (2004) para los mismos meses. La variabilidad de los resultados con respecto a la extracción mineral por el cultivo del nopal en el presente estudio, coinciden con lo reportado por Hernández *et al* (1987), Flores-Valdez (1977), Murillo-Amador (2002) en cuanto a que las diferencias que existen en cuanto al valor nutritivo de los nopales, éstas dependen de la variedad, de la especie, de las condiciones climáticas bajo las cuales se evalúan y en general del manejo agronómico de la plantación, variables que influyen en la extracción mineral obtenida por el cultivo en estos meses. La correlación significativa entre las variables temperatura, producción y extracción de nutrientes permite concluir que son factores importantes para incrementar la producción (Orón-Castillo *et al*, 2004).

Cuadro 10. Extracción mineral de macro nutrientes en nopal verdura cultivado en sistema hidropónico, prueba de medias y estadísticos descriptivos básicos.

Meses	N	P	K (kg ha ⁻¹)	Ca	Mg
Marzo	9.4289 d	1.6077 d	25.9738 d	14.3083 c	2.7110 d
Abril	122.7318 a	16.8006 a	317.1337 a	183.0231 a	31.4279 a
Mayo	79.2314 b	10.6397 b	262.1515 ab	157.9516 a	22.8093 bc
Junio	68.4328 b	8.0005 c	224.6032 bc	119.2591 b	24.3605 a
Julio	60.8565 b	7.1889 c	190.7496 c	115.0232 b	18.4315 c
Agosto	21.5827 c	2.2244 d	76.6875 d	40.9949 c	6.2728 d
Media	54.8353	6.8072	162.2701	93.5146	15.6774
DE	40.2067	5.7116	115.3639	67.2652	11.4109
EE (±)	15.1967	2.1588	43.6035	25.4239	4.3129
Mínimo	9.4289	1.1884	25.9738	14.3083	2.711
Máximo	122.7318	16.8006	317.1337	183.0231	31.4279

Medias con la misma letra en la columna no difieren estadísticamente (Tukey $\alpha = 0.01$).

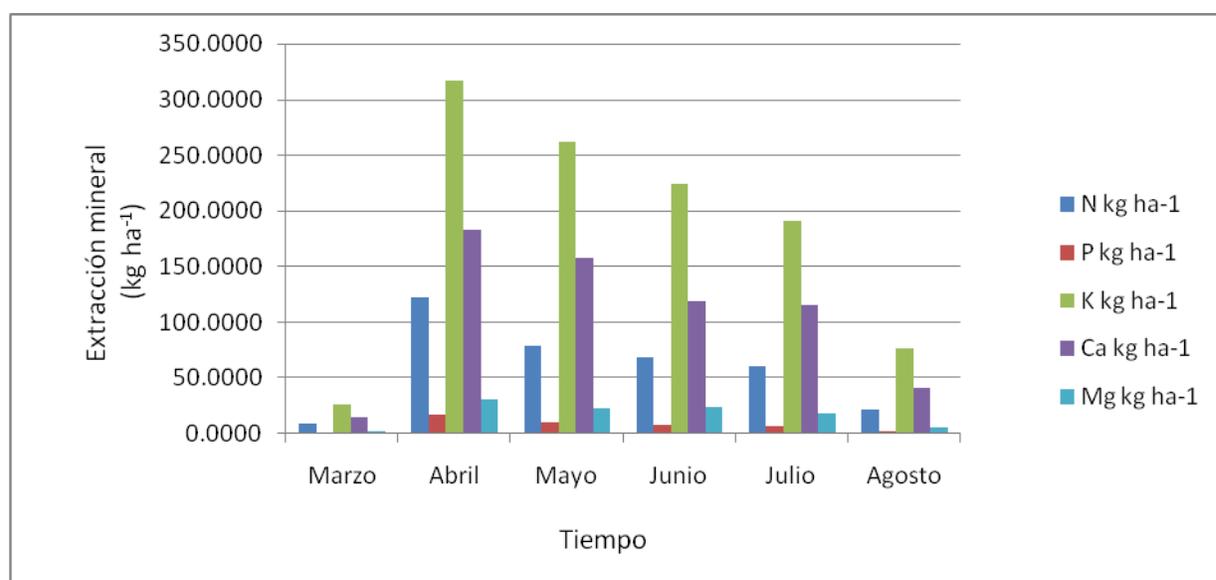


Figura 7. Representación gráfica de la extracción de macro nutrientes en nopal verdura en un sistema hidropónico cerrado.

4.4.2. Extracción de micro nutrientes

Los análisis de varianza aplicados a la extracción de los micro nutrientes; hierro, cobre, zinc y manganeso resultaron significativos ($p \leq 0.01$), la prueba de medias se presenta en el Cuadro 11 y su representación grafica en la Figura 8, observándose que, esta respuesta es similar a lo reportado por Orona-Castillo *et*

al, (2004), en donde menciona que existe diferencia significativa entre las fechas de extracción, mas no entre los tratamientos de humedad estudiados.

En la presente investigación, el mes de abril fue diferente a los demás en la de extracción de Fe, Cu, Zn y Mn, mientras que los meses de mayo junio y julio se mostraron estadísticamente iguales y finalmente marzo y agosto. La variabilidad mostrada en los resultados con respecto a la extracción mineral por el cultivo del nopal en el presente estudio, coinciden en forma general con los de Murillo-Amador (2002) en cuanto a que las diferencias que existen en el valor nutritivo de los nopales, éstas dependen de la variedad, de la especie, de las condiciones climáticas bajo las cuales se evalúan y en general del manejo agronómico de la plantación.

Cuadro 11. Extracción mineral de micro nutrimentos en nopal verdura cultivado en sistema hidropónico y estadísticos descriptivos básicos.

Meses	Fe	Cu	Zn	Mn
	(kg ha⁻¹)			
Marzo	0.0666 c	0.0020 d	0.0135 d	0.0208 d
Abril	0.6548 a	0.0238 a	0.1427 a	0.2733 a
Mayo	0.3956 bc	0.0173 b	0.0865 b	0.1785 b
Junio	0.4705 a	0.0145 bc	0.0811 bc	0.1355 bc
Julio	0.5335 a	0.0109 c	0.0664 c	0.0945 c
Agosto	0.1043 bc	0.0026 d	0.0226 d	0.0341d
Media	0.3694	0.0113	0.0661	0.1155
Desviación estándar ±	0.2165	7.93E-03	0.0436	0.0887
Error estándar	0.0818	3.00E-03	0.0165	0.0335
Mínimo	0.0666	2.01E-03	0.0135	0.0208
Máximo	0.6548	0.0238	0.1427	0.2733

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

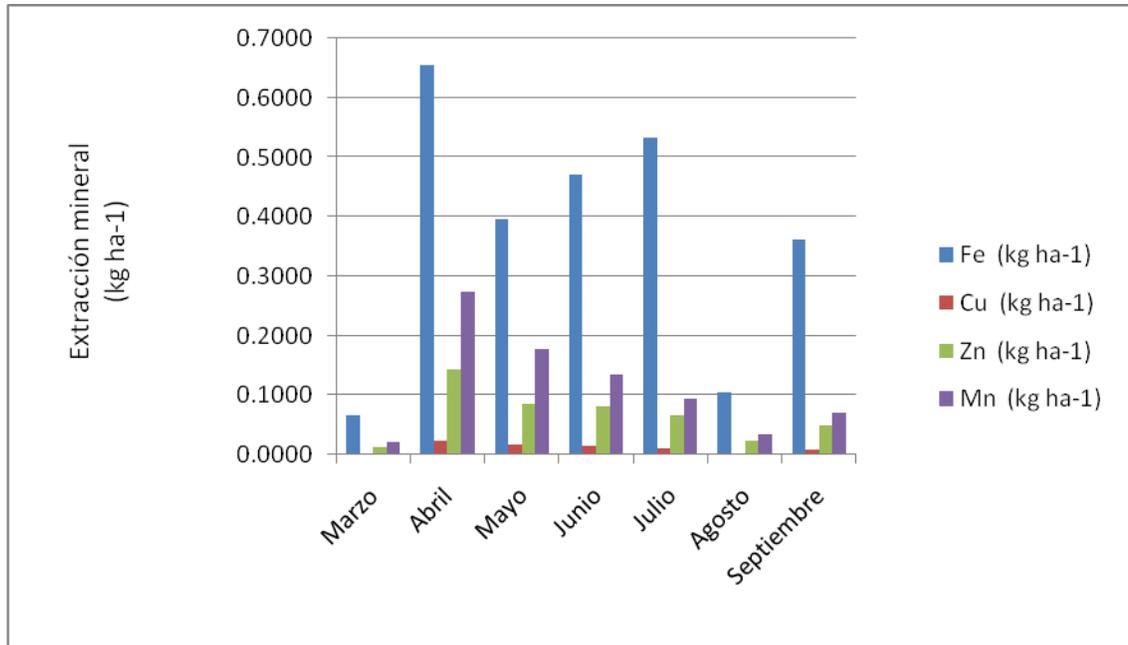


Figura 8. Representación grafica de la extracción de micro nutrientes en nopal verdura.

Al contrastar el contenido mineral (%) del nopalito cosechado de esta investigación (Cuadro 11) en lo que respecta a N, P, K Mg y Fe, se aprecia que es superior a lo reportado por otros investigadores (Nobel 1988; Flores-Hernández *et al.* 2004 y Zuñiga-Tarango *et al.* 2009). El Ca solo fue superior a lo reportado por Flores-Hernández *et al.* (2004). En relación al Mn, Cu y Zn, los valores de porcentaje son mayores en lo reportado por los autores antes citados y solo el Fe es similar a lo reportado por Nobel 1988 (Cuadro 11). Es probable que esta variabilidad en los contenidos minerales del nopalito, se deba a la disponibilidad, oportunidad y forma iónica de los elementos esenciales para las plantas en la solución del suelo y soluciones nutritivas (Steiner, 1961) entre otros factores. Con relación al calcio, el antagonismo con K^+ , Mg^{2+} y NH_4^+ puede disminuir sustancialmente su absorción, dependiendo de la concentración relativa en la solución nutritiva, pero su

absorción es estimulada por NO_3^- ó H_2PO_4^- (Fried and Shapiro, 1979; Jones *et al.*, 1991).

Cuadro 12. Valores promedio de contenido mineral en “nopalito” cosechado de plantas de nopal sometido a diferentes ambientes, dosis de fertilización y sistemas de cultivo.

Minerales	Nobel (1988)	Flores- Hernández (2004)	Zuñiga- Tarango (2009)	Presente investigación (2010)
Nitrógeno (%)	2.61		2.30	2.79
Fósforo (%)	0.33	0.22	0.30	0.349
Potasio (%)	1.18		6.24	8.432
Calcio (%)	6.33	2.2	5.38	4.679
Magnesio (%)	1.43		1.07	17.306
Manganeso(ppm)	54.0		33.13	26.12
Cobre (ppm)	15.0		17.0	2.619
Zinc (ppm)	52.0		29.3	15.628
Fierro (ppm)	88.0		172.6	88.459

5. CONCLUSIONES

La producción media mensual de nopalito fue de 4.36 kg m⁻² y 0.271kg m⁻² para biomasa fresca y seca, respectivamente. Las mayores producciones se presentaron en los meses de abril, mayo y junio

Existe una relación de los GD con la integración del crecimiento. La máxima tasa de incremento de BF correspondió a 0.0676 kg m⁻² GD⁻¹ día acumulado, mientras que para BS fue de 0.0038 kg m⁻² GD⁻¹ acumulado, en ambos casos cuando se acumularon 340 GD aproximadamente. El mejor ajuste del modelo para BF y BS considerando el mayor valor del coeficiente de determinación (R²) para la producción de nopal verdura, fue el modelo binomial, cuando se relacionaron la producción de biomasa de tres semanas (21 días) con sus grados día correspondientes.

Los modelos obtenidos fueron:

$$BF_{21 \text{ días}}: y = -0.0002432338(GD)^2 + 0.1649540(GD - 22.67938)$$

$$BS_{21 \text{ días}}: y = -0.00001384683(GD)^2 + 0.0093676651(GD) - 1.260271$$

Con respecto a los nutrimentos extraídos (N, P, K, Ca, Mg, y Fe) por el nopal verdura en el sistema hidropónico, estos fueron superiores a lo reportado por otros autores en sistemas de manejo en suelo. Esto pudo deberse principalmente al manejo en general de la solución nutritiva en el sistema hidropónico cerrado.

6. REFERENCIAS

- Almaguer-Sierra, P., H. Fuentes R., R. D. Valdez C., J. A. Vidales C., L. Barrientos L., J. Aranda R., J. Nava G. 2008. Producción Intensiva de Nopal Verdura en un Sistema Hidropónico Cerrado. *Tecnointelecto*. 5: (2) 9-14.
- Almaguer-Sierra, P., Rodríguez-Fuentes, H., Vidales-Contreras, J.A., Valdez-Cepeda, R., Aranda-Ruíz, J., Rodríguez-Absi, J., López-Jiménez, M. and Rodríguez-Ortíz, J.C. 2009. Biomass accumulation in *Opuntia ficus indica* (L.) Mill plants grown in a closed hydroponic system. *Acta Hort. (ISHS)* 843:35-42
- Blanco Macías, F., Valdez Cepeda, R. D., Ruíz Garduño, R. R., Márquez Madrid, M., Vázquez Alvarado, R. E. y Magallanes Quintanar, R. 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.
- Bourque, C. P. A., F. R. Meng, J. J. Gullison y J. Bridgland. 2000. Biophysical and potential vegetation growth surfaces for a small watershed in northern Cape Breton Island, Nova Scotia, Canada. *Can. J. For. Res.* 30: 1179-1195.
- Calderón-Paniagua¹, N., Estrada-Luna A. A., Martínez-Hernández., J. de J. 2001. Efecto de la Salinidad en el Crecimiento y Absorción Nutrimrntal de Plantas Micropropagadas de Nopal (*Opuntia* spp). *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 7(2): 127-132.
- CODEX. 1993. Norma Mundial del CODEX para el nopal CODEX STAN 185. Normas Alimentarias FAO/OMS. Roma, Italia. 4 pp.
(http://www.codexalimentarius.net/download/standards/316/CXS_185s.pdf)
. Noviembre, 2009.
- Cooper, A.J. 1978. Methods of establishing young plants in a nutrient film tomato crop. *J. Hort. Sci.* 53: 189-193.
- FAO. 1990. Soilless culture for horticultural crop production. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia.

- Flores-Valdez, C.A. 1977. El nopal como forraje. I. Revisión bibliográfica, 2. Digestibilidad del nopal (*Opuntia ficus-indica* var. Copena F-1), 3. Formulación de raciones de costo mínimo en base a nopal. Tesis Profesional. Departamento de Zootecnia, ENA, Chapingo, México.
- Flores, V. C. A. 1995. "Factores económicos que afectan la producción de nopal en México. En: Pimienta-Barrios, E., C. Neri-Luna, A. Muñoz-Urias y F.M. Huerta-Martinez (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. Orona Castillo, I., Murillo Amador, B., Valdez Cepeda, R. D., García Hernández, J. L. 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. *Journal of Professional Association for Cactus Development*. 6: 23-34.
- Flores Hernández, A., Trejo Calzada, R., Arreola Ávila, J.G., Orona Castillo, I., Murillo Amador, B., Rivera González, M., Martínez Rodríguez, J. G. y García Gallegos, E. A. 2005. Producción estacional de nopal verdura (*Opuntia* spp.) bajo riego por goteo en una región agrícola de México. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 7: 84-96.
- Fried, M. y R.E. Shapiro. 1979. Soil plant relationships in ion uptake. *Ann. Rev. Phytopathol.* 17: 97-122.
- Foladori. G. y Tommasino, H. 2000. El concepto de desarrollo sustentable treinta años después. *Desenvolvimiento e Medio Ambiente*, N. L. p. 41-56. Editora da UFPR.
- García, E. 1988. Sistema de Clasificación de Köppen Modificado para las Condiciones de México. Universidad Nacional Autónoma de México. D. F., México
- 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., A. Charles P., 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.
- Honorato, R., Gurovich, L., y Piña, R. 1993. Ritmo de absorción de N, P y K en pepino de semilla. *Cien. Inv. Agr.* 20: 169-172.
- Imas, P. 1999. Manejo de Nutrientes por Fertirriego en Sistemas Frutihortícolas. XXII Congreso Argentino de Horticultura. Argentina.
- Jones Jr., J.B., B. Wolf y H.A. Mills. 1991. *Plant analysis handbook*. Micro-Macro Publishing. Athens, GA.
- Karim, M. R., Falker, P., Y Bingham, R. L. 1998. Correlations between cactys pear (*Opuntia* spp) cladode nutrient concentration and fruit yield and quality. *Annals of Arid Zones*. 37 (2): 159-171.
- Klock, M. K. A. and T. K. Broschat. 2001. Irrigation systems and fertilizer affect petunia growth. *HortTechnology* 11(3): 416-418.
- Kramer, K. 1994. Selecting a model to predict the onset of growth of *Fagus sylvatica*. *J. Appl. Ecol.* 31:172-181.
- Lélé, S. M. Sustainable Development. 1991. A Critical Review. *World Development*. (19) 6: p. 607. Greet Britain: Pergamon Pree.
- López M., J. L.; Cruz H., P.; López J., A. 1989. Contenidos nutrimentales en tallos y raíces de nopal tunero *Opuntia amyclaea* Tenore. *Revista Chapingo* 62-63: 144-148.
- López, G. J. J. y Elizondo, E. J. 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.
- Magnífico, V., Lattancio, V. y Sarli, G. 1979. Growth and nutrient removal by broccoli. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 104: 201-203.
- Marroquín, S.J., G. Borja, C. Velázquez y de la Cruz J.A. 1964. Estudio ecológico dasonómico de las zonas áridas del norte de México, INIF, SAG; México.
- Miller, C. H., Mccollum, R. E. y Claimon, S. 1979. Relationships between growth of bell peppers (*Capsicum annuum* L.) and nutrient accumulation during ontogeny in field environments. *Jour. Amer. Soc. Hort. Sci.* 104: 852-857.

- Mondragón C., J. 1994. Fertilización del nopal tunero. En: Esparza F., G. y S.J. Méndez G. (eds.). Aportaciones técnicas y experiencias de la producción de tuna en Zacatecas. C.R.E.Z.A.S.-C.P. Salinas de Hidalgo, S.L.P. pp. 41-45.
- Murillo-Amador B, Cortés-Ávila A, Troyo-Diéguéz E, Nieto-Garibay A, Jones HG (2001) Effects of NaCl salinity on growth and production of young cladodes of *Opuntia ficus-indica*. *J. Agron. Crop Sci.* 187: 269-279.
- Murillo-Amador, B. 2002. Componentes químicos y digestibilidad de brotes de 11 cultivares de nopal verdura evaluados en una parcela comercial en el Valle de La Paz, B.C.S. p. 21. En: Murillo-Amador, B., Troyo-Diéguéz, E., Nieto-Garibay A., Aguilar-García M. El Nopal: Cultivo forrajero sostenible para el noroeste de México. Edit. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México. 91 pp.
- Nerd, A.; Karadi, A.; Mizrahi, Y. 1991-b. Salt tolerance of prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica*). *Plant and Soil.* 137: 201- 207.
- Nobel, P. 1988. Environmental biology of agaves and cacti. Cambridge University Press. USA. 270 p.
- Nobel, P. 1998. Los incomparables Agaves y Cactus. Ed. Trillas. P 113.
- Olivares, S. E. 1995. Paquete Estadístico de Diseños Experimentales. Facultad de Agronomía, UANL. Marín, N. L. México.
- Ortiz, S. C. A. 1987 Elementos de Agrometeorología cuantitativa, con aplicación para la. República Mexicana. 3ª. Edición. Universidad Autónoma de Chapingo, Estado de México. 180 p.
- Orona Castillo, I., Rivera González, M., Troyo Díegues, E., Espinoza Arellano, J. J., Flores Hernández, A. 2002. Productividad del agua en nopal (*Opuntia spp*) bajo riego por goteo. Folleto Científico No. 12. INIFAP CIBNOR-SIMAC. Gómez Palacio, Durango, México.
- Orona, C. 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. *Journal of the Professional Association for Cactus Development.* 6: 90-101.

- Pareek, O. P., Singh, R. S. y Vashishtha, B. B. 2003. Performance of cactus pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Clones in hot arid region of India. Journal of the Professional Association for Cactus Development. 7: 121-130.
- Prela, A. and Ribeiro, de A.A.M. 2002. Determinação de graus-dia acumulados e sua aplicação no planejamento do cultivo de feijão-vegetal (*Phaseolus vulgaris* L.) para Londrina-PR. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria. 10: 83-86.
- Ramírez Tobias, H. M., Reyes-Aguero, J. A., Pinos-Rodríguez, J. M., Aguirre-Rivera, J. R. 2007. Efecto de Especie y Madurez sobre el Contenido de Nutrientes de Cladodio de Nopal. Agrocienca. 41 (6): 619-626.
- Resh, H.M. 1992. Cultivos hidropónicos. 3a Edición. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Robbins, W. R., 1946. Growing plants in sand cultures for experimental work. Soil Science 62; 3-22.
- Rodríguez-Fuentes, H. y J. Rodríguez Absi. 2002. Métodos de Análisis de Suelos y Plantas. Criterios de Interpretación. Editorial. Trillas S. A. de C. V. México. 196. P.
- Rodríguez Fuentes. H., S. Muñoz L. y E. Alcorta G. 2006. Tomates rojos. Sistema hidropónico. Editorial Trillas, S.A.de C.V. México. 86 p.
- Rodríguez-Fuentes, H., M. A. López-Jímenez, J. Rodríguez-Absi, G. Jímenez-García. 2009. Cultivo Orgánico de Nopal. Ed. Trillas S. A. de C. V. México. 76 p.
- Rodríguez-Absi, J., Gutiérrez-Ornelas, E., y Rodríguez-Fuentes, H. 2010. Dinámica de Sistemas de Pastoreo. Ed. Trillas S.A.de C.V. México. 272 p.
- Rodríguez-Fuentes, H., J. Rodríguez-absi, P. Almaguer-Sierra. 2010. Manejo Hidropónico de Nopal Verdura para Consumo Humano. Editorial Trillas S. A. de C. V. México. 77 p.
- Ruiz Espinoza, F. H, Alvarado Mendoza, J. F, Murillo Amador, B, García Hernández, J. L. Pargas Lara, R., Duarte Osuna, D. O, Beltrán Morales, F. A. y Fenech Larios L. 2008. Rendimiento y Crecimiento de Nopalitos de Cultivares de Nopal (*Opuntia ficus-indica*) bajo Diferentes Densidades de

- Plantación. Journal of the Professional Association for Cactus Development. 10: 22-35.
- Sánchez del C., F. y E. Escalante R. 1989. Hidroponía: Un sistema de producción de plantas. 3a ed. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- SAGARPA–SIAP. 2010. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Ciclo: cíclicos y perennes 2010. Modalidad riego y temporal. México. <http://www.siap.gob.mx/>. Consultado el 15 de febrero de 2010.
- Scaife, A. y Bar-Yosef, B. 1995. Nutrient and fertilizer management in field grown vegetables. IPI Bulletin No. 13. International Potash Institute, Basel, Switzerland.
- Schwarz, M. 1995. Soilless culture management. Advanced series in Agricultural Sciences 24. Springer-Verlag. Berlin, Germany.
- Schöffel, E.R. and Volpo, C.A. 2002. Relação entre a soma térmica efectiva e o crecimiento de soja. Revista Brasileira de Agrometeorología, Santa María. 10: 89-96.
- Singh, G. 2003. General review of Opuntias in India. Journal of the Professional Association for Cactus Development. 5: 30-46.
- Singh R. S. y Singh, V. 2003. Growth and Development Influenced by Methods of Cladodes in Cactus Pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] Journal of the Professional Association for Cactus Development. 5: 47-54.
- Steiner, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of certain desired composition. Plant and Soil. 15: 134-154.
- Steiner, A.A. 1984. The universal nutrient solution. pp. 633-650. *In*: Proceedings 6th International Congress on Soilles Culture. Wageningen, The Netherlands.
- SAGAR-CEA. 1999. Anuario estadístico de la producción Agrícola, Secretaria de Agricultura, Ganadería y Recursos Naturales. México. D.F.
- SAGARPA–SIAP. 2010. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Ciclo: cíclicos y perennes2010. Modalidad riego y temporal. México. <http://www.siap.gob.mx/>. Consultado el 15 de febrero de 2010.

- Van Dobben, W.H. 1962. Influence of temperature and light conditions on dry-matter distribution, development rate and yield in arable crops. Special Issue. Netherland Journal of Agricultural Science, 10: 377-389.
- Vázquez, A.R. y C. Gallegos V. 1995. Organic fertilization for production of young tender pads of *Opuntia* spp in Nuevo León, Mexico. Proceedings of the Professional Association for Cactus Development. First Annual Conference. San Antonio, Texas. USA. pp. 49-60.
- Vázquez-Alvarado, R.E., E. Salazar S., J. L. García H., E. Olivares S., C. Vázquez V., J. D. López M., I. Orona C. 2009. Producción de Nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) en hidroponía empleando agua con alto contenido de sales. Journal of the Professional Association for Cactus Development. 11: 13-17.
- Vázquez-Vázquez, C., R. Zuñiga T., I. Orona C., B. Murillo A., E. Salazar S., R. E. Vázquez A., J. L. García H., E. Troyo D. 2007. Análisis del Crecimiento Radical en Cuatro Variedades de Nopal (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill). . Journal of the Professional Association for Cactus Development. 9: 82-90.
- Villalpando, J. y Ruiz, A. C. 1993. Observaciones agrometeorológicas y su uso en la agricultura. Editorial Lumusa, México. 133 p.
- Zúñiga, E. L., J. de J. Martínez H., G. A. Baca C., A. Martínez G., J. L. Tirado T. y J. Kohashi S. 2004. Producción de chile pimiento en dos sistemas de riego bajo condiciones hidropónicas. Agrociencia. 38: 207-218.
- Zuñiga-Tarango R., Orona-Castillo, I., Vázquez-Alvarado, C., Murillo-Amador, B., Salazar-Sosa, E., López-Martínez, J. D., García-Hernández, J. L. 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.

7. APÉNDICE

Cuadro A1. ANVA de biomasa fresca (a) (BF) y seca (b) de cladodios (*O. ficus indica*), cosechados cada siete días. Marín N. L.

(a)

FV	GL	SC	CM	F	p>F
21 CORTES BF	20	80.612999	4.03065	65.3539	0.0001
ERROR	42	2.590317	0.061674		
TOTAL	62	83.203316			

CV=20.23%

(b)

FV	GL	SC	CM	F	p>F
21 CORTES BS	20	0.302642	0.015132	41.1954	0.0001
ERROR	42	0.015428	0.000367		
TOTAL	62	0.3180069			

CV=25.05%

Cuadro A2. Prueba de medias de periodos acumulados de 7 días (21 cortes) de cladodios (*O. ficus indica*) para BF (a) y BS (b), Marín N. L. 2009.

No. de corte	Media (kg m⁻²)	Tukey A = 0.05	No. de corte	Media (kg m⁻²)	Tukey α = 0.05
9	4.3092	A	9	0.2464	A
4	3.4678	B	4	0.2206	B
14	2.84	C	3	0.1760	C
3	2.7069	C	14	0.1625	C
10	1.4544	DE	10	0.1199	DE
12	1.4266	DE	12	0.0973	DE
8	1.3199	DE	17	0.0822	DE
19	1.1568	DE	13	0.0785	DE
13	1.1320	DE	8	0.0667	DEF
17	1.0525	DEF	19	0.0635	DEG
5	0.9861	EFG	21	0.0512	EFGH
21	0.7213	FGH	5	0.0441	FGH
11	0.6325	GH	11	0.0425	FGHI
6	0.5888	GHI	18	0.0326	GHIJ
18	0.5141	HIJ	6	0.0318	HIJ
2	0.4567	HIJ	2	0.0274	HIJ
15	0.3656	HIJ	15	0.0207	HIJ
20	0.1816	IJ	20	0.0118	IJ
1	0.1789	J	1	0.0098	J
16	0.1629	J	16	0.0091	J
7	0.1333	J	7	0.0074	J

Medias con la misma letra en la columna no difieren estadísticamente (Tukey α= 0.05)

Cuadro A3. Concentrado de ANVA de biomasa fresca (BF) y seca (BS) de cladodios (*O. ficus indica*), cosechados cada siete días y acumulados por periodos de 7, 14, 21 y 30 días. Marín N. L.

FV	GL	CM	NS
BF 7 días	42	0.061674	**
BS 7 días	42	0.000367	**
BF 14 días	20	0.097542	**
BS 14 días	20	0.000609	**
BF 21 días	16	0.117674	**
BS 21 días	16	0.000593	**
BF 30 días	12	0.159877	**
BS 30 días	12	0.00106	**

FV=Factor de variación; GL= Grados de libertad; CM = Cuadrado medio; NS= Nivel de significancia, **estadísticamente significativo ($p \leq 0.001$).

Cuadro A4. Prueba de medias de producción de BF para periodos acumulados de de 14 días de cladodios cosechados (*O. ficus indica*), Marín N. L. 2009.

Fecha de corte	No. de corte	Media (kg m⁻²)	Tukey $\alpha=0.05$
03/04/2009	2	6.1748	a
14/05/2009	5	5.7596	a
19/06/2009	7	3.972	b
05/06/2009	6	2.0592	c
17/04/2009	3	1.5749	c
24/07/2009	9	1.5667	c
30/04/2009	4	1.4532	d
14/08/2009	10	1.3384	d
20/03/2009	1	0.6356	e
03/07/2009	8	0.5285	e

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

Cuadro A5. Prueba de medias de producción de BF para periodos acumulados de de 21 días de cladodios cosechados (*O. ficus indica*) para, Marín N. L. 2009.

Fecha de corte	No. de corte	Media (kg m⁻²)	Tukey $\alpha=0.05$
08/05/2009	3	5.7584	a
17/04/2009	2	5.0428	b
19/06/2009	5	4.6853	b
27/03/2009	1	3.3425	c
28/05/2009	4	2.8244	c
07/08/2009	7	1.7617	d
17/07/2009	6	1.5811	d
28/08/2009	8	0.8121	e

Medias con la misma letra en la columna no difieren estadísticamente (Tukey 0.05).

Cuadro A6. Prueba de medias de producción de BF para periodos acumulados de 30 días de cladodios cosechados (*O. ficus indica*), Marín N. L. 2009.

Fecha de corte	No. de corte	Media (kg m⁻²)	Tukey $\alpha=0.05$
Abril	2	6.496	a
Mayo	3	6.3921	ab
Junio	4	5.7643	B
Marzo	1	3.3425	C
Julio	5	2.8864	C
Agosto	6	0.9029	D

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

Cuadro A7. Prueba de medias de producción de BS para periodos acumulados de 14 días de cladodios cosechados (*O. ficus indica*), Marín N. L. 2009.

Fecha de corte	No. de corte	Media (kg m⁻²)	Tukey $\alpha = 0.05$
03/04/2009	2	0.3907	A
14/05/2009	5	0.3664	A
19/06/2009	7	0.2411	B
05/06/2009	6	0.1398	C
24/07/2009	9	0.1148	cd
17/04/2009	3	0.0961	D
14/08/2009	10	0.0754	de
30/04/2009	4	0.0751	de
20/03/2009	1	0.037	ef

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

Cuadro A8. Prueba de medias de producción de BS para periodos acumulados de 21 días de cladodios cosechados (*O. ficus indica*) para, Marín N. L. 2009.

Fecha de corte	No. de corte	Media (kg m⁻²)	Tukey $\alpha = 0.05$
08/05/2009	3	0.32160	a
17/04/2009	2	0.31680	a
19/06/2009	5	0.2898	a
27/03/2009	1	0.2131	b
28/05/2009	4	0.2111	b
07/08/2009	7	0.1372	c
17/07/2009	6	0.0709	d
28/08/2009	8	0.06310	d

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

Cuadro A9. Prueba de medias de producción de BS para periodos acumulados de 30 días de cladodios cosechados (*O. ficus indica*), Marín N. L. 2009.

Fecha de corte	No. de corte	Media (kg m ⁻²)	Tukey $\alpha = 0.05$
Mayo	3	0.4088	a
Abril	2	0.3886	a
Junio	4	0.3592	a
Marzo	1	0.2131	b
Julio	5	0.1874	b
Agosto	6	0.0831	c
Septiembre	7	0.0616	c

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

Cuadro A10. Producción de biomasa seca (BF) de nopal verdura y grados día (GD) agrupados en cuatro periodos de cosecha.

PERIODO DE COSECHA		7 DÍAS		14 DÍAS		21 DÍAS		30 DÍAS	
No.	Fecha Corte	GD (°C)	BF (kg m ⁻²)	GD (°C)	BF (kg m ⁻²)	GD (°C)	BF (kg m ⁻²)	GD (°C)	BF (kg m ⁻²)
1	13/03/2009	83	0.17893	147.75	0.6356	258.75	3.34253	377.95	3.34253
2	20/03/2009	64.15	0.45667	195.1	6.1748	284	5.0428	461.55	6.496
3	27/03/2009	111	2.70693	199.9	1.5749	384	5.7584	564.75	6.39213
4	03/04/2009	84.1	3.46787	221.6	1.4532	402.35	3.5136	609.35	5.76424
5	10/04/2009	84.15	0.98613	284.3	5.7596	382.3	4.33757	675.85	2.88639
6	17/04/2009	115.75	0.58880	280.45	2.0592	458.95	1.72959	659.75	0.90293
7	24/04/2009	105	0.13333	230.9	3.972	459.15	2.05973		
8	30/04/2009	116.6	1.31987	294.35	0.5285				
9	08/05/2009	162.4	4.30520	309.95	1.5666				
10	14/05/2009	121.9	1.45440	301	1.3384				
11	22/05/2009	120.4	0.63253						
12	05/06/2009	160.05	1.42667						
13	12/06/2009	85.55	1.13200						
14	19/06/2009	145.35	2.84000						
15	26/06/2009	151.4	0.36557						
16	03/07/2009	142.95	0.16293						
17	17/07/2009	149	1.05253						
18	24/07/2009	155	0.51413						
19	31/07/2009	149.3	1.15680						
20	14/08/2009	151.7	0.18160						
21	28/08/2009	154	0.72133						

BF = Biomasa fresca, GD = Grados día

Cuadro A11. Producción de biomasa seca (BS) de nopal verdura y grados día (GD) agrupados en cuatro periodos de cosecha.

PERIODO DE COSECHA		7 DÍAS		14 DÍAS		21 DÍAS		30 DÍAS	
No.	Fecha Corte	GD (°C)	BS (kg m ⁻²)	GD (°C)	BS (kg m ⁻²)	GD (°C)	BS (kg m ⁻²)	GD (°C)	BS (kg m ⁻²)
1	13/03/2009	83	0.00977	147.75	0.037036	258.75	0.21307	377.95	0.21307
2	20/03/2009	64.15	0.02726	195.1	0.396682	284	0.31677	461.55	0.39191
3	27/03/2009	111	0.17604	199.9	0.097127	384	0.32156	564.75	0.40247
4	03/04/2009	84.1	0.22064	221.6	0.075143	402.35	0.25976	609.35	0.35916
5	10/04/2009	84.15	0.06434	284.3	0.366351	382.3	0.2618	675.85	0.18742
6	17/04/2009	115.75	0.03179	280.45	0.139836	458.95	0.12391	659.75	0.0631
7	24/04/2009	105	0.00743	230.9	0.241075	459.15	0.12661		
8	30/04/2009	116.6	0.06771	294.35	0.029796				
9	08/05/2009	162.4	0.24642	309.95	0.114841				
10	14/05/2009	121.9	0.11993	301	0.075363				
11	22/05/2009	120.4	0.04247						
12	05/06/2009	160.05	0.09736						
13	12/06/2009	85.55	0.07854						
14	19/06/2009	145.35	0.16253						
15	26/06/2009	151.4	0.02073						
16	03/07/2009	142.95	0.00907						
17	17/07/2009	149	0.08221						
18	24/07/2009	155	0.03263						
19	31/07/2009	149.3	0.06351						
20	14/08/2009	151.7	0.01185						
21	28/08/2009	154	0.05125						

BS = Biomasa seca, GD = Grados día

8. ANEXO

BIOMASA FRESCA (BF)

Resumen de análisis de regresión (R^2 , ANOVA y Prueba de hipótesis) para datos acumulados de cosecha de BF de nopalito en periodos de 7, 14, 21 y 30 días y su relación con los GD correspondientes a cada periodo

7 DÍAS

Resumen del modelo

FV	R	R^2	$R^2_{Aj.}$	Error estándar
Regresión	0.126 ^a	0.016	-0.093	1.21201

a. Predictores: (Constante), GD^2 , GD

ANOVA^b

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Regresión	0.430	2	0.215	0.146	0.865 ^a
Residual	26.441	18	1.469		
Total	26.871	20			

a. Predictores: (Constante), GD^2 , GD

b. Variable dependiente: Y = BF

Coeficientes^a

Modelo	Coeficientes de regresión	Error estándar	T	Sig.
Constante	2.574	4.826	0.533	0.600
GD	-0.029	0.086	-0.336	0.741
GD^2	0.000	0.000	0.378	0.710

a. Variable dependiente: Y = BF

14 DÍAS

Resumen del modelo

FV	R	R ²	R ² _{Aj.}	Error estándar
Regresión	0.449 ^a	0.202	-0.026	2.08201

a. Predictores: (Constante), GD², GD

ANOVA^b

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Regresión	7.681	2	3.841	0.886	0.454 ^a
Residual	30.343	7	4.335		
Total	38.025	9			

a. Predictores: (Constante), GD², GD

b. Variable dependiente: Y = BF

Coefficientes^a

Modelo	Coefficientes de regresión	Error estándar	t	Sig.
Constante	-16.666	15.353	-1.086	0.314
GD	0.175	0.135	1.293	0.237
GD ²	0.000	0.000	-1.317	0.229

a. Variable dependiente: Y = BF

21 DÍAS

Resumen del modelo

FV	R	R ²	R ² _{Aj.}	Error estándar
Regresión	0.910 ^a	0.827	0.741	0.75444

a. Predictores: (Constante), GD², GD

ANOVA^b

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Regresión	10.903	2	5.452	9.578	0.030 ^a
Residual	2.277	4	0.569		
Total	13.180	6			

a. Predictores: (Constante), GD², GD

b. Variable dependiente: Y = BF

Coeficientes^a

Modelo	Coeficientes de regresión	Error estándar	t	Sig.
Constante	-22.679	8.558	-2.650	0.057
GD	0.165	0.049	3.359	0.028
GD ²	0.000	0.000	-3.573	0.023

a. Variable dependiente: Y = BF

30 DÍAS

Resumen del modelo

FV	R	R ²	R ² _{Aj.}	Error estándar
Regresión	0.898 ^a	0.806	0.676	1.29221

a. Predictores: (Constante), GD², GD

ANOVA^b

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Regresión	20.789	2	10.395	6.225	0.086 ^a
Residual	5.009	3	1.670		
Total	25.799	5			

a. Predictores: (Constante), GD², GD

b. Variable dependiente: Y = BF

Coefficientes^a

Modelo	Coefficientes de regresión	Error estándar	t	Sig.
Constante	-45.966	16.840	-2.730	0.072
GD	0.207	0.066	3.142	0.052
GD ²	0.000	0.000	-3.253	0.047

a. Variable dependiente: Y = BF

BIOMASA SECA (BS)

Resumen de análisis de regresión (R^2 , ANOVA y Prueba de hipótesis) para datos acumulados de cosecha de BS de nopalito en periodos de 7, 14, 21 y 30 días y su relación con los GD correspondientes a cada periodo

7 DÍAS

Resumen del modelo

FV	R	R^2	$R^2_{Aj.}$	Error estándar
Regresión	0.095 ^a	0.009	-0.101	0.07379

a. Predictores: (Constante), GD^2 , GD

ANOVA^b

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Regresión	0.001	2	0.000	0.081	0.922 ^a
Residual	0.098	18	0.005		
Total	0.099	20			

a. Predictores: (Constante), GD^2 , GD

b. Variable dependiente: Y = BS

Coefficientes^a

Modelo	Coefficiente de regresión	Error estándar	t	Sig.
Constante	0.135	0.294	0.458	0.652
GD	-0.001	0.005	-0.239	0.814
GD^2	5.987E-6	0.000	0.271	0.789

a. Variable dependiente: Y = BS

14 DÍAS

Resumen del modelo

FV	R	R ²	R ² _{Ai.}	Error estándar
Regresión	0.414 ^a	0.171	-0.066	0.13675

a. Predictores: (Constante), GD², GD

ANOVA^b

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Regresión	.027	2	.014	.722	.519 ^a
Residual	.131	7	.019		
Total	.158	9			

a. Predictores: (Constante), GD², GD

b. Variable dependiente: Y = BS

coeficientes^a

Modelo	Coefficiente de regresión	Error estándar	t	Sig.
Constante	-0.997	1.008	-0.988	0.356
GD	0.010	0.009	1.179	0.277
GD ²	-2.242E-5	0.000	-1.195	0.271

a. Variable dependiente: Y= BS

21 DÍAS

Resumen del modelo

FV	R	R ²	R ² _{Ai.}	Error estándar
Regresión	0.953 ^a	0.907	0.861	0.03044

a. Predictores: (Constante), GD, GD²

ANOVA^b

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Regresión	0.036	2	0.018	19.592	0.009 ^a
Residual	0.004	4	0.001		
Total	0.040	6			

a. Predictores: (Constante), GD, GD²

b. Variable dependiente: Y = BS

Coefficientes^a

Modelo	Coefficiente de regresión	Error estándar	t	Sig.
Constante	-1.260	0.345	-3.650	0.022
GD ²	-1.385E-5	0.000	-5.041	0.007
GD	0.009	0.002	4.727	0.009

a. Variable dependiente: Y = BS

30 DÍAS

Resumen del modelo

FV	R	R ²	R ² _{Ai.}	Error estándar
Regresión	0.891 ^a	0.794	0.657	0.07997

a. Predictores: (Constante), GD², GD

ANOVA^b

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Regresión	0.074	2	0.037	5.788	0.093 ^a
Residual	0.019	3	0.006		
Total	0.093	5			

a. Predictores: (Constante), GD², GD

b. Variable dependiente: Y = BS

Coeficientes^a

Modelo	Coeficientes		t	Sig.
	de regresión	Error estándar		
Constante	-2.752	1.042	-2.641	0.078
GD	0.012	0.004	3.048	0.056
GD ²	-1.209E-5	0.000	-3.153	0.051

a. Variable dependiente: Y = BS