

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA

SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSGRADO



DESARROLLO RADICAL Y PRODUCCION DE NOPALITO
Opuntia ficus-indica (L.) MILL. EN FUNCION DE LA
BIODEGRADACION DEL ESTIERCOL BOVINO EN
DIFERENTES PROFUNDIDADES

POR

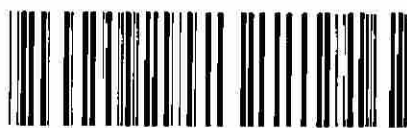
RAFAEL ZUNIGA TARANGO

COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AGRICOLAS
CON ESPECIALIDAD EN AGUA-SUELO

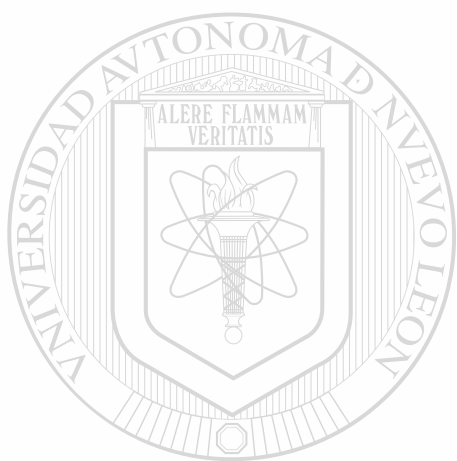
MARIN, N. L.

MARZO DEL 2002

ID
Z5071
FA
2002
.Z9



1020147953



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



DESARROLLO RADICAL Y PRODUCCIÓN DE NOPALITO *Opuntia ficus-indica*

(L.) MILL EN FUNCIÓN DE LA BIODEGRADACIÓN DEL ESTIÉRCOL

DE VINO EN DIFERENTES PROFUNDIDADES

UANL
POR

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

RAFAEL ZÚÑIGA TARANGO

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CON ESPECIALIDAD EN AGUA-SUELO



MARÍN N. L. MARZO DEL 2001

309773 *Automa*

TD
Z5071
FA
2002
.29



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



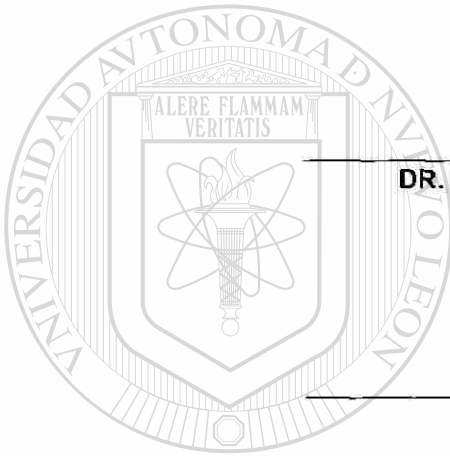
**DESARROLLO RADICAL Y PRODUCCION DE NOPALITO *Opuntia ficus-indica*
(L.) MILL EN FUNCION DE LA BIODEGRADACION DEL ESTIERCOL BOVINO
EN DIFERENTES PROFUNDIDADES**

APROBACION DE TESIS



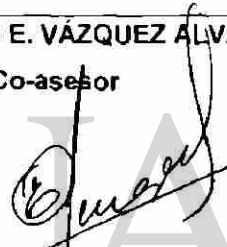
DR. JOSÉ ANTONIO CUETO WONG

Asesor Principal



DR. RIGOBERTO E. VÁZQUEZ ALVARADO

Co-asesor



DR. EMILIO OLIVARES SÁENZ

Co-asesor

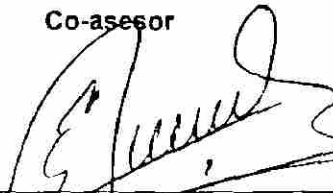
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

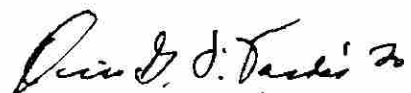
DR. JUAN F. PISSANI ZÚNIGA

Co-asesor



DR. ENRIQUE SALAZAR SOSA

Co-asesor



DR. CIRO G. S. VALDÉS LOZANO

Subdirector de estudios de posgrado de la Facultad de Agronomía de la U A N. L

DEDICATORIA

A MIS PADRES

JOSÉ TRINIDAD ZÚÑIGA OROZCO

JUANA TARANGO CASTRO

A MI ESPOSA

MARÍA DOLORES VALENZUELA GALLEGOS

A MIS HIJOS

ELIZABETH

RAFAEL

ERANDI



UANL

A MIS HERMANOS

YOLANDA

JOSÉ LUIS

IRENE

FRANCISCO

ISABEL

PAULA

CAROLINA

ISMAEL

MARIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

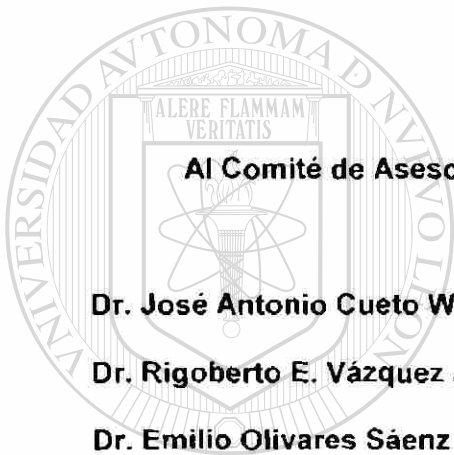


AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)

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



Al Comité de Asesores

Dr. José Antonio Cueto Wong

Dr. Rigoberto E. Vázquez Alvarado

Dr. Emilio Olivares Sáenz

Dr. Juan F. Pissani Zuñiga

Dr. Enrique Salazar Sosa

UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

A mis Compañeros

Clemente Gallegos Vázquez, María Antonia Cruz Hernández, José Hernández Dávila, Mario Dena Silva, Noé Flores Duran, Elvia Margarita Romero Treviño, José Luis Lara Mireles, José Verástegui Chávez, Juan Carlos Rodríguez Cabriales, Sergio J. García Garza, Neftali Gómez, Hilario Charcas Salazar, Manuela Bolívar Duarte y José Luis Woo Reza.

RESUMEN AUTOBIOGRAFICO

Rafael Zúñiga Tarango

Candidato para el grado de doctor en Ciencias Agrícolas con especialidad en
Agua-suelo

Tesis.

**DESARROLLO RADICAL Y PRODUCCIÓN DE NOPALITO *Opuntia ficus-indica*
(L.) MILL EN FUNCIÓN DE LA BIODEGRADACIÓN DEL ESTIÉRCOL BOVINO
EN DIFERENTES PROFUNDIDADES**

Áreas de estudio:

Fertilidad de suelos Nutrición vegetal y productividad del nopal

Biografía

Nacido el 24 de Octubre de 1960 en el Ejido Venecia Municipio de Gómez ®

Palacio Dgo Hijo de Jose Trinidad Zúñiga y Juana Tarango Castro

Educación:

Egresado de la Escuela Superior de Agricultura y zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango como Ingeniero Agrónomo con especialidad en Fruticultura en diciembre de 1985

Egresado del Centro de Investigación y Graduados Agropecuarios de Torreón Coah Con grado de Maestro en Ciencias en Suelos en junio de 1995

Experiencia Profesional

Profesor-Investigador de la Universidad Juárez del Estado de Durango
Facultad de Agricultura y Zootecnia de Venecia Dgo de Agosto de 1992 a la fecha

Jefe del departamento de uso y conservación del agua de la Facultad de
Agricultura y zootecnia de la universidad Juárez del Estado de Durango, de julio de
1995 a julio de 1997

Coordinador de Investigación de la Facultad de Agricultura y zootecnia de la
universidad Juárez del Estado de Durango, de diciembre de 2000 a la fecha



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



INDICE GENERAL

	Pág.
INDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xiii
SUMMARY	xiv
I INTRODUCCIÓN	1
1 1 Hipótesis General	3
1 1 1 Hipótesis Particulares	3
1 2 Objetivo General	4
1 2 1 Objetivos Particulares	4
II REVISIÓN DE LITERATURA	5
2 1 Evolución de la materia orgánica en el suelo	5
2 2 La materia orgánica en la fertilidad del suelo	6
2 3 El nitrógeno en el suelo	9
2 3 1 Fijación de nitrógeno	10
2 3 2 Fijación biológica	11
2 3 3 Fijación industrial	13
2 3 4 Fijación debida a fenómenos ionisantes	14
2 3 5 Mineralización del nitrógeno del suelo	14
2 3 6 Amonificación	15
2 3 7 Nitrificación	16
2 3 8 Fijación de amonio	17
2 3 9 Nitrógeno en la solución del suelo	17
2 3 10 Formas de nitrógeno absorbidas por las plantas	18

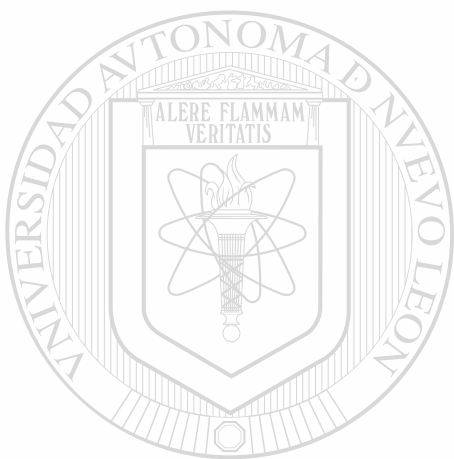
2 3 11	Asimilación y liberación del nitrógeno inorgánico	18
2 3 12	Pérdidas de nitrógeno inorgánico en el suelo	19
2 3 13	Desnitrificación	19
2 4	Aspectos generales del cultivo de nopal <i>Opuntia ficus-indica</i>	20
2 4 1	Taxonomía	21
2 4 2	Morfología general de la planta	22
2 4 3	Fisiología	24
2 4 4	Ecología	24
2 4 5	Producción de nopal para verdura en México	26
2 4 6	Principales zonas productoras	28
2 4 7	Aspectos de comercialización	34
2 4 8	El nopal como recurso forrajero	36
2 5	El sistema radical del cultivo de nopal <i>Opuntia spp</i>	36
2 5 1	Desarrollo radical bajo condiciones de humedad	39
2 5 2	Desarrollo radical bajo condiciones de sales solubles	40
2 5 3	Desarrollo radical bajo condiciones de sodio intercambiable	42
2 5 4	Desarrollo radical bajo condiciones de baja fertilidad	43
III	MATERIALES Y MÉTODOS	46
3 1	Experimento 1 Crecimiento radical de nopal <i>Opuntia ficus-indica</i> (L)	
	Mill con diferentes niveles de nitrógeno en hidroponía	47
3 1 1	Resumen	47
3 1 2	Summary	47
3 1 3	Antecedentes	48
3 1 4	Metodología	51
3 1 5	Resultados y discusión	54

3 1 6 Conclusiones	57
3 1 7 Bibliografía	58
3 2 . Experimento2. Análisis de crecimiento radical en cuatro variedades de nopal <i>Opuntia ficus indica</i> (L.) Mill.	61
3 2 1 Resumen	61
3 2 2 Summary	61
3 2 3 Antecedentes	62
3 2 4 Metodología	64
3 2 5 Resultados y discusión	65
3 2 6 Conclusiones	70
3 2 7 Bibliografía	70
3 3 Experimento 3 Desarrollo radical de nopal <i>Opuntia ficus-indica</i> (L) Mill en diferentes condiciones de suelo con relación al rendimiento y concentración nutrimental	73
3 3 1 Resumen	73
3 3 2 Summary	74
3 3 3 Antecedentes	74
3 3 4 Metodología	76
3 3 5 Resultados y discusión	78
3 3 6 Conclusiones	89
3 3 7 Bibliografía	90
IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES	92
V LITERATURA CITADA	94

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Pág
1	Análisis químico de 37 estiércoles de bovino lechero en la Comarca Lagunera	8
2	Superficie cultivada con nopal verdura por estado en 1994.	29
3	Composición de la solución nutritiva en el experimento de variedades de nopal con tres niveles de nitrógeno	53
4	Cuadros medios de los análisis de varianza de las variables evaluadas en dos variedades de nopal con tres niveles de nitrógeno	54
5	Medias de tratamiento de algunas características del sistema radical de cuatro variedades de nopal <i>Opuntia ficus-indica</i>	67
6	Longitud total diámetro y peso seco de raíz de cuatro variedades de nopal <i>Opuntia ficus-indica</i>	69
7	Análisis de suelo al inicio del experimento	77
8	Concentración mineral del estiércol utilizado	77
9	Peso seco de raíz por plantas en nopal según la cantidad y profundidad de aplicación del abono	79
10	Comparación de medias del diámetro de raíz y porcentaje de areolas enraizadas de nopal con tratamientos de abono y profundidad de aplicación	81
11	Comparación de medias del rendimiento de nopalito, de acuerdo con la cantidad y profundidad de aplicación del abono	82
12	Comparación de medias de los tratamientos en estudio en los parámetros con diferencia significativa en ocho cortes realizados en nopal con tratamientos de abono y profundidad de aplicación	84

- 13 Concentración de elementos en nopalito con tratamientos de abono y 86
profundidad de aplicación
- 14 Concentración de elementos in situ en el suelo al final del experimento de 89
nopal con tratamientos y abono y profundidad de aplicación



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

INDICE DE FIGURAS

Figura	Pág	
1	Ciclo del nitrógeno en la naturaleza	10
2	Peso fresco de raíz en nopal con tres niveles de nitrógeno.	56
3	Longitud de raíz en nopal con tres niveles de nitrógeno.	56
4	Tasa de crecimiento de raíz de cuatro variedades de nopal <i>Opuntia ficus-indica</i>	66
5	Distribución de la biomasa radical en dos variedades de nopal <i>Opuntia ficus-indica</i>	68
6	Profundidad y plano de distribución del crecimiento radical de dos variedades de nopal <i>Opuntia ficus-indica</i>	68
7	Longitud de raíz en nopal a diferentes dosis de estiércol bovino y profundidad de aplicación	80
8	Rendimiento de nopal a través del tiempo a diferentes niveles de estiércol bovino aplicado en el estrato superior del suelo	83
9	Producción acumulada y patrón de desarrollo radical del nopal a diferentes niveles de estiércol bovino y profundidades de aplicación	85
10	Valor de pH del suelo in situ al final de los tratamientos formados por la aplicación de estiércol y la profundidad de aplicación	87
11	Concentración de fósforo en nopal en función de diferentes niveles de estiércol bovino	87

RESUMEN

Rafael Zúñiga Tarango

Fecha de Graduación: Marzo de 2002

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Agronomía

Título del Estudio: Desarrollo Radical y Producción de Nopalito *Opuntia ficus indica* (L) Mill en Función de la Biodegradación del estiércol Bovino en Diferentes Profundidades.

Número de páginas: 105

Candidato para el grado de Doctorado en Ciencias Agrícolas con especialidad en Agua-Suelo.

Áreas de Estudio: Fertilidad, Nutrición Vegetal y Productividad del Nopal.

Propósitos y Métodos de Estudio: El nopal es cada vez más el objeto de estudio como recurso genético de alto valor potencial, para su aprovechamiento en sus diferentes usos. Como cultivo especializado en plantaciones comerciales de relevancia ha evolucionado hasta ser considerado una hortaliza de gran importancia, por lo cual, su explotación exige innovaciones tecnológicas de aspectos tales como nutrición y un sin número de prácticas culturales que permitan el mejoramiento de los sistemas de producción. Los objetivos del presente trabajo de investigación fueron: a) determinar el desarrollo radical y producción de nopalito en respuesta a la aplicación en diferentes estratos, dosis y fuentes de nitrógeno, b) determinar el efecto de las variedades y dosis de nitrógeno en el desarrollo radical del nopal en la etapa de establecimiento, c) determinar las diferencias morfológicas de la raíz en cuatro variedades de nopal y su velocidad de crecimiento en condiciones controladas y d) determinar el patrón de desarrollo radical, en diferentes condiciones de suelo, dado por la aplicación de estiércol bovino en tres profundidades y su influencia en el rendimiento de nopal verdura. Para tal efecto el estudio comprendió una serie de tres experimentos en diferentes condiciones. Experimento 1. Se realizó bajo condiciones de hidroponía variando los niveles de nitrógeno en 100, 150 y 200 ppm de una solución nutritiva estándar para determinar la influencia de este elemento en el desarrollo radical de dos variedades de nopal verdura. Experimento 2. Consistió en determinar la tasa de crecimiento por el método del cristal y las diferencias morfológicas de raíces por el método destructivo en cuatro variedades de nopal en condiciones controladas. Experimento 3. Este estudio se estableció para evaluar el rendimiento de verdura y el desarrollo radical del nopal en respuesta a la aplicación de dos niveles de

estiércol de bovino y una fuente de nitrógeno mineral colocados a tres profundidades de suelo.

Contribuciones y Conclusiones: Los resultados mostraron que la planta de nopal presenta su crecimiento radical en un 96% en la profundidad de 3 a 14 cm, teniendo poca influencia los fenómenos de geotropismo, hidrotropismo y quimiotropismo en su desarrollo. La tasa de crecimiento de raíz de nopal en el período de establecimiento es diferente entre variedades, fluctuando entre 1.44 y 1.95 cm por día en condiciones de humedad de suelo. El desarrollo radical entre las variedades presenta diferencias en el tipo de raíces emitidas, observándose mayor o menor número de raíces secundarias y terciarias, situación que muestra dentro de las variedades cuando se desarrollan en diferentes medios de suelo. En aplicaciones de estiércol bovino el mayor rendimiento en nopal se obtiene aplicando 100 ton ha⁻¹ incorporado al estrato de 0-18 cm. El fósforo es el elemento que presenta una mayor influencia sobre la producción de nopalito encontrándose concentraciones hasta de 0.72% con aplicación de estiércol.



FIRMA DEL ASESOR PRINCIPAL: _____

UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

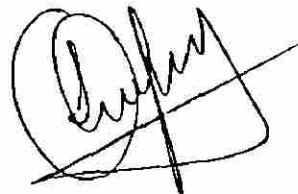
SUMMARY

Title: Prickly Pear [*Opuntia ficus indica* (L). Mill] Root Growth and Aboveground Yield as Affected by Manure Biodegradation Placed at Different Soil Depths.

Purposes and methods of this study. Prickly pear is being studied more and more every day because of its high potential to produce a variety of products. Prickly pear has changed from a native species harvested to feed autoctonous populations of las americas to a very important vegetable crop. Modern management practices are required to grow it. This includes irrigations systems, fertilization programs and a variety of other cultural practices. The objectives of this study were: a) to determine the prickly pear root development and yield as under different nitrogen levels and sources placed at different soil depths, b) to determine the effect of different varieties and nitrogen levels on root development during the establishment of the crop, c) to determine differences in root morphology and growth rate of four crop varieties, and d) to determine the root growth pattern and aboveground yield as affected by the application of dairy manure at three different soil depths. The project consisted of a set of three experiments each one with a particular set of conditions. Experiment 1. To evaluate the influence of nitrogen nutrition on root growth development, nutrient solutions containing 100, 150, and 200 ppm were applied to two prickly pear varieties established in pots. Experiment 2. This study was conducted to evaluate the root growth rate and morphological traits of four prickly pear varieties established in glass containers using destructive methods. Experiment 3. This study was conducted to detemine the aboveground yield and root growth as affected by two dairy cow manure rates and a mineral nitrogen source applied at three soil depths.

Contributions and Conclusions: Results showed that 96% of the prickly pear root mass was found between the 3 and 14 cm soil depth. Hydrotrophism and chemitrophism had little or no effect on the root system. Prickly pear varieties were different in terms of root growth development during the establishing period, ranging from 1.44 to 1.95 cm day⁻¹ under no limiting moisture conditions. Varieties were also different in the number and diameter of secondary and terciary roots produced. Best aboveground yields were obtained applying dairy cow manure at 100 ton ha⁻¹ placed into the upper 18 cm soil layer. Phosphorus was the nutrient most related to prickly pear yield showing P concentrations as high as 0.72%.

FIRMA DEL ASESOR PRINCIPAL:



I INTRODUCCIÓN

El interés del nopal como recurso genético de alto valor potencial, es cada vez más el objeto de estudio de la comunidad científica internacional, para su aprovechamiento en sus diferentes usos, particularmente de los países que buscan la explotación de sus regiones áridas y semi-áridas. Esta planta contribuye a reducir los efectos nocivos de la sequía y desertificación debido a una evolución orgánica milenaria, desarrollando características favorables para sobrevivir bajo las condiciones ambientales en referencia. El aprovechamiento del nopal ha trascendido finalmente en un cultivo especializado en plantaciones comerciales de gran relevancia, después de haber figurado como un sistema de recolección de frutos y segmentos jóvenes del tallo en nopaleras silvestres y un posterior establecimiento de especies sobresalientes próximo a las viviendas lo que generó una hibridación y la creación de los cultivares que se explotan actualmente.

En México el nopal evolucionó en las últimas cuatro décadas, ocupando el primer lugar en cuanto a la superficie cultivada, producción y consumo hasta ser considerado una hortaliza importante en la dieta del mexicano. El nopalito en particular ocupa el octavo lugar en volumen de producción de hortalizas sólo por abajo del jitomate papa chile verde cebolla, sandía, melón y tomate (Flores *et al* , 1997). Tomando en cuenta la forma en que ha evolucionado la explotación del nopal, de un producto de recolección a un cultivo altamente especializado, tanto las innovaciones tecnológicas producto de la investigación como las generadas por la experiencia de productores en forma empírica, son insuficientes y existe la necesidad de generar nuevos conocimientos sobre aspectos tales como nutrición y un sinnúmero de

prácticas culturales que permitan el mejoramiento de los sistemas de producción.

En el aspecto nutricional existe un reconocimiento generalizado entre productores e investigadores en el sentido de que a pesar de que el nopal se ubica como una planta rústica ésta responde favorablemente a la aplicación de abonos ya sea orgánicos o químicos (Pimienta, 1990, Mondragón y Pimienta, 1990), siendo por lo general ensayos con una orientación práctica los cuales indudablemente han contribuido a la adopción de esta labor cultural, sin embargo, el nopal como la mayoría de los cultivos manifiesta su producción en la parte aérea, de la cual el hombre se beneficia en forma directa lo que explica por qué gran parte de la investigación agrícola se refiere a los rendimientos de las plantas, y pocos investigadores consideran la influencia que ejercen las condiciones del suelo en la disponibilidad de nutrientes y distribución de raíces y estas a su vez, sobre la producción, por lo que es necesario destinarle mayor atención y contar con más elementos básicos para generar recomendaciones al respecto

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Particularmente sobre el uso del estiércol como abono al suelo, las evidencias [®] muestran ampliamente los beneficios cuando éste se utiliza de manera adecuada mejorando la calidad del suelo al incidir en las propiedades físicas, biológicas y químicas. No obstante, no deben esperarse grandes cambios en pocos años, particularmente en lo que respecta a las propiedades físicas ya que para lograr cambios significativos se requieren grandes cantidades de estiércol, lo que traería consigo una degradación de las propiedades químicas y disminuir la calidad del suelo. Aun cuando el lugar más idóneo de depósito del estiércol es el suelo, sobre todo de donde se dispone de cantidades tan grandes que llega a ser un problema como es el caso de los corrales de la producción lechera, éste debe hacerse con un manejo

adecuado que no produzca contaminación y proporcione al suelo una serie de ventajas desde el punto de vista nutrimental, aún cuando las propiedades físicas del suelo sean mejoradas con cambios a menudo lentos y difíciles de percibir. Sin embargo existen muchas discrepancias en cuanto a las recomendaciones de las dosis, además del desconocimiento generalizado de los efectos que provocan en el desarrollo y distribución de raíces

1.1. Hipótesis General

El desarrollo radical y la producción de nopalito dependerá de la variedad y dosis de nitrógeno en el cual se desarrolla, por lo tanto, un sustrato modificado con aplicaciones de estiércol bovino a diferentes profundidades afectará el rendimiento de nopalito y su crecimiento radical

1.1.1. Hipótesis Particulares

El nitrógeno y las características genéticas de la planta son esenciales para el desarrollo radical por lo tanto, el desarrollo de las raíces estará en función de la cantidad de nitrógeno suministrado y la variedad utilizada

La morfología radical depende de la información genética de la planta por lo tanto el desarrollo radical de las variedades de nopal será diferente

El desarrollo de las plantas está en función de su información genética y el medio donde estas se desarrollan, por lo tanto, el patrón de desarrollo radical y la producción de nopalito dependerá de las condiciones físicas y químicas del suelo

1.2. Objetivo General

Determinar el desarrollo radical y producción de nopalito en respuesta a la aplicación en diferentes estratos, dosis y fuentes de nitrógeno

1.2.1. Objetivos Particulares

Determinar el efecto de las variedades y dosis de nitrógeno en el desarrollo radical del nopal en la etapa de establecimiento.

Determinar las diferencias morfológicas de la raíz y su velocidad de crecimiento en cuatro variedades de nopal en condiciones controladas

Determinar el patrón de desarrollo radical, dado por la aplicación de estiércol bovino en tres profundidades y su influencia en el rendimiento de nopal verdura

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Evolución de la materia orgánica en el suelo

Si la función de la materia orgánica fuese únicamente aportar nutrientes al suelo, en especial nitrógeno tendría poco interés ya que la fertilización mineral actúa en este sentido cuantitativamente con mayor rapidez. Sin embargo, el papel de este elemento es por demás interesante aún cuando la materia orgánica en la complejidad del suelo es muy importante e insustituible

Los tejidos vegetales vivos que son los precursores mayoritarios de la materia orgánica en el suelo presentan una constitución promedio de un 75% de agua y un 25% de materia seca de esta, aproximadamente un 10% son compuestos minerales y el resto compuestos orgánicos. Los elementos químicos que encontramos en este porcentaje de compuestos orgánicos se hallan integrados en estructuras de carbono

en un 30 a 80% ligninas de 10 a 30%, proteínas de 1 a 15%, lípidos y otros (Labrador, 1996)

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

La materia orgánica hecha humus se transforma continuamente en humatos y fulvatos activos los cuales están compuestos de sustancias fibrosas elásticas que tienen grandes superficies internas y externas, que propician las reacciones físicas y químicas del suelo (Serrano 1990) En general la humificación sigue un esquema secuencial y progresivo mediante el cual los precursores más solubles evolucionarán en ácidos fulvicos después en ácidos húmicos y finalmente en huminas, creciendo en el mismo sentido la estabilidad de las macromoléculas. Sin embargo, este esquema es muy variable, está sometido a fases estacionales, y en la mayor parte de los suelos no

es tan simple, siendo muchos los factores de los que depende (Labrador, 1996)

2.2. La materia orgánica en la fertilidad del suelo

Desde una visión más global del suelo, la fertilidad se muestra no solo como la capacidad de este medio para aportar nutrientes minerales esenciales a la planta, sino además fertilidad del suelo es también, capacidad de ese recurso para mantener un nivel de producción alto pero perdurable en el tiempo sin perder por ello su diversidad biótica ni complejidad estructural y todo ello dentro de un equilibrio dinámico que sólo puede generarse con una aportación adecuada de materia orgánica.

Castellanos y Pratt (1981) de acuerdo a datos de laboratorio utilizando estiércol de bovino reportan un 14% de mineralización de nitrógeno en un periodo de 25 meses y un 26% acumulado en 10 meses en promedio, con rangos de 4.7% a 29.3% para el primer caso y 13.9% a 35.8% para el segundo caso

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Tomando en cuenta que la materia orgánica presente en los suelos agrícolas,® esta en forma de residuos orgánicos más o menos reconocibles o en forma humificada y ligada a la fracción mineral y representa en condiciones adecuadas un seguro de conservación al mejora los principales parámetros físicos. Pratt (1990) y Stewart (1990) mencionan que para lograr cambios substanciales en las propiedades físicas del suelo se requieren grandes cantidades de estiércol, las cuales pueden degradar las propiedades químicas y disminuir la calidad del suelo, recomendando aplicar aquellas cantidades requeridas para mantener una adecuada aportación de nutrientes para la producción de los cultivos y las propiedades físicas serán mejoradas normalmente con

cambios lentos. En este sentido Labrador (1996) cita que la dinámica del nitrógeno es muy importante a la hora de favorecer o no la inmovilización del mismo y limitar sus pérdidas a la hora de propiciar su participación en la formación de sustancias húmicas por lo que el balance de nitrógeno del suelo se equilibra más o menos a largo plazo según el régimen de aportes y pérdidas.

La composición química de las porciones sólidas y líquidas de los estiércoles, es muy difícil de considerar como constantes, esto es a causa de un número variable de factores que intervienen y pueden cambiar radicalmente las cantidades proporcionales de nitrógeno fósforo, potasio presentes. Así pues las características del estiércol están determinadas entre otros factores por la especie animal, edad, alimentación, tipo de cama y manejo del material. Para sustituir las fuentes minerales por estiércol para un cultivo que requiere 200 kg de nitrógeno disponible, sería necesario aplicar 50 toneladas de estiércol el primer año y reducir la dosis paulatinamente hasta aplicar menos de 20 toneladas después de 15 años. Al respecto

Velázquez (1995) reporta que el comportamiento de la producción de nopalito fue mayor en el tratamiento donde se aplicaron 600 ton ha⁻¹ seguido de las dosis de 400 y 200 ton ha⁻¹ respectivamente, en una plantación donde se incorporó estiércol bovino dos años antes. Los resultados se atribuyeron al efecto residual del mismo, mientras que este en su primer año las mayores producciones se observaron donde se aplicó la dosis de 400 ton ha⁻¹ utilizando la variedad Jalpa Vázquez y Gallegos (1995). Así mismo Fernández *et al* (1990) realizaron un estudio con el objetivo de determinar la dosis más adecuada de fertilización química y orgánica para reducir costos de producción y conocer sus efectos como producción de brotes con respecto a la época del año. Los resultados indicaron que en primavera-verano la mejor mezcla fue aquella que incluyó 300 ton de estiércol, 120 kg de N y 100 de P₂O₅, y en segundo término

aquella compuesta por 330 ton de estiércol y 120-50 kg de N y P₂O₅, respectivamente.

Cuadro 1. Análisis químico en muestras de 37 estiércoles de bovino lechero en la Comarca Lagunera.

Elemento	Rango (%)	Promedio	kg Ton ⁻¹
Nitrógeno	0.91-2.44	1.42	14.2
Fósforo	0.41-0.82	0.51	5.1
Potasio	1.79-4.78	3.41	34.1
Calcio	2.34-5.65	3.68	36.8
Magnesio	0.45-1.04	0.71	7.1
Sodio	0.25-0.75	0.51	5.1
Sales solubles	3.2-9.1	5.0	50
Relación C/N	13-19	15	
Humedad	5-55	35	
Ceniza	38.8-48.6	48.6	

Castellanos, (1982).

En otoño-invierno no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, atribuyéndose a que en esta época difícilmente puede influir la producción en base a fertilización, ya que la falta de humedad y temperaturas desfavorables limitan la expresión del potencial productivo de la especie.

En la región de Milpa Alta, Estado de México, principal zona productora de nopal verdura, la superficie destinada a este cultivo ha ido en aumento desde los años cincuenta caracterizándose por desarrollarse bajo una tecnología de producción

empírica, siendo la fertilización orgánica la mayor inversión una vez establecida la plantación, ya que se aplica hasta 800 ton ha¹ de estiércol de bovino Fernández *et al*, (1990)

Hernandez (1978), observó diferencias en la distribución de las raíces de las plantas de nopal establecidas con área de captación de agua y sin ella. En las primeras las raíces crecieron hasta llegar al fondo de la cepa e inicia la formación de masas radicales mientras que en las otras algunas crecieron hasta llegar a la pared y siguieron creciendo hacia abajo en el estrato de 0-30 lo que favoreció un crecimiento de raíces en dicha capa

2.3. El nitrógeno en el suelo

El nitrógeno es uno de los elementos más ampliamente distribuido en la naturaleza. Figura 1 El nitrógeno del suelo es sólo una pequeña fracción de la que se encuentra en la litosfera y se presenta en forma de iones NO_3^- o NH_4^+ (Mengel and Kirkby 1982). Es un elemento muy móvil que circula entre la atmósfera, el suelo y los organismos vivos. Aunque la provisión de nitrógeno atmosférico es prácticamente inagotable la forma en que se encuentra es inprovechable para la mayoría de las plantas. El nitrógeno es uno de los elementos más inertes, y requiere temperaturas y presiones excesivas para que reaccione con otros elementos o compuestos. Una gran proporción del nitrógeno que llega al suelo es fijada por microorganismos del suelo. Asimismo, pequeñas cantidades de óxidos de nitrógeno son producidas por las descargas eléctricas durante las tormentas con fuertes relámpagos. El hombre interviene en el ciclo del nitrógeno mediante el cultivo de leguminosas y por la

producción industrial de fertilizantes nitrogenados. La cantidad de este elemento que se fija anualmente por estos dos medios posiblemente excede en un 10% a la fijada por los ecosistemas terrestres naturales antes del surgimiento de la agricultura (Delwiche 1970)

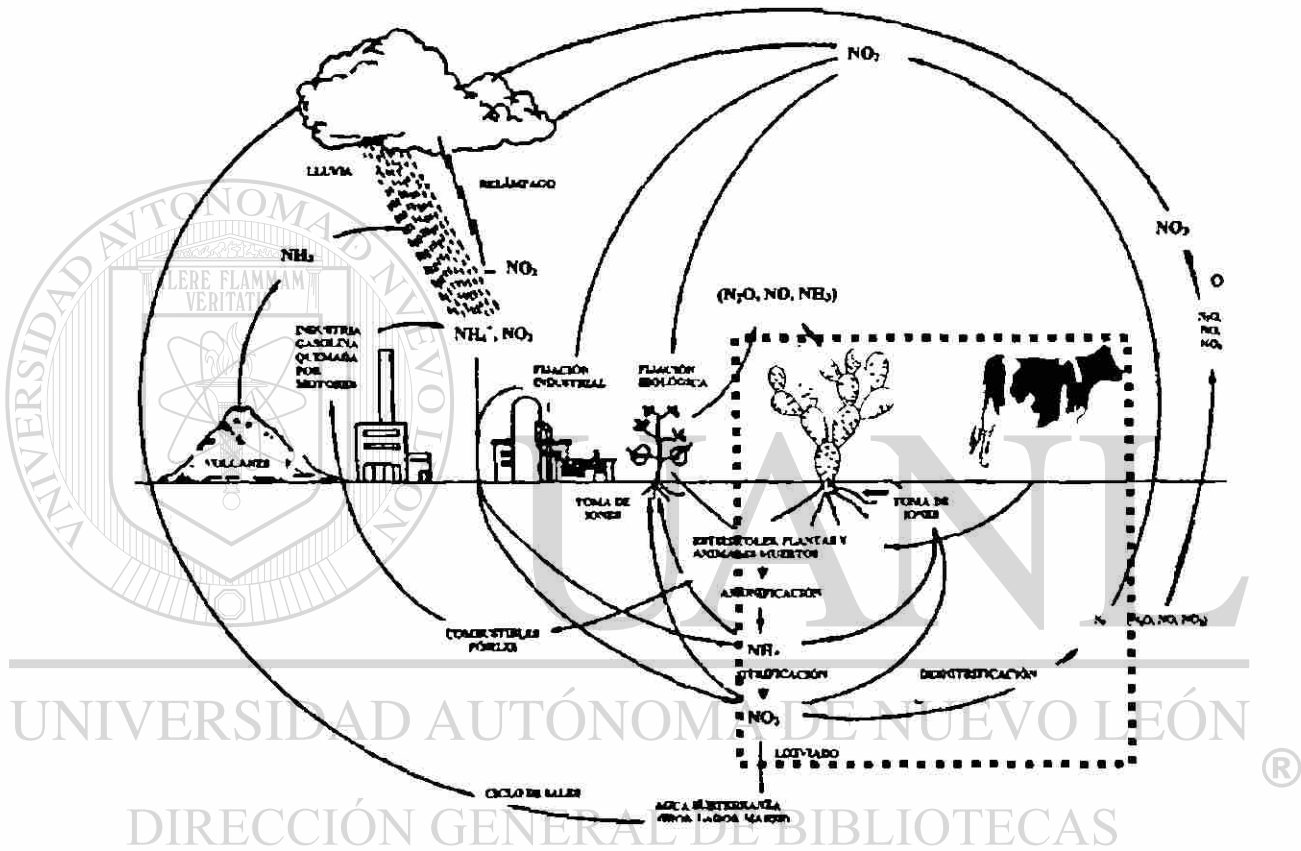


Figura 1. Ciclo del nitrógeno en la naturaleza.

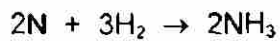
2.3.1 Fijación del nitrógeno

Es el proceso mediante el cual el N_2 atmosférico es fijado y transformado a una forma orgánica. Este proceso puede realizarse en las siguientes maneras: a) biológica, b) industrial y c) fenómenos ionizantes en la atmósfera (Delwiche 1970, Russell 1973, Mengel and Kirkby 1982).

El proceso de fijación de N_2 puede esquematizarse de la forma siguiente:



Activación (disociación)



Reacción con el hidrógeno

2.3.2 Fijación biológica

La realizan diferentes clases de microorganismos del suelo. Este tipo de fijación está condicionado por varios factores del suelo, entre los que destacan los siguientes: pH, disponibilidad de P y K, presencia de elementos minerales (molibdeno y cobalto) y régimen de humedad (Mengel and Kirkby, 1982).

Los microorganismos fijadores están comprendidos en once familias de bacterias y seis de algas *Cyanophyceae*, los cuales se dividen en dos grandes grupos: los de vida libre y los que viven en simbiosis con plantas superiores.

a) Fijación simbiótica: los microorganismos proporcionan el nitrógeno fijado (reducido) a la planta a cambio de carbohidratos solubles y nutrimentos especiales. Estos microorganismos incluyen especies del género *Rhizobium* y algunos *Actinomyces* (Mengel and Kirkby, 1982).

En la agricultura, las especies de *Rhizobium* que viven en simbiosis con plantas leguminosas son los microorganismos fijadores de N_2 más importantes. El lugar en donde se localiza la fijación de nitrógeno corresponde a los nódulos formados en las raíces de la leguminosa como resultado de la penetración de *Rhizobium*. Las plantas leguminosas presentan gran especificidad en relación con las especies de *Rhizobium*.

con las que se asocian simbióticamente, por tanto, para lograr buenos resultados, es importante que la leguminosa que se cultiva se inocule con la especie de *Rhizobium* apropiada. En buenos campos de trébol y alfalfa es posible fijar N₂ en cantidades de 100 a 400 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Mengel and Kirkby, 1982).

La cantidad de N₂ fijado por bacterias *Rhizobium* depende en gran medida de las condiciones nutrimentales. La mayoría de estas especies son sensibles a condiciones de pH bajo. La nodulación, el tamaño y número de nódulos son favorecidos por el Ca⁺⁺, y restringidos por altas concentraciones (>1 mM) de nitrato (NO₃⁻), nitrito (NO₂⁻), amonio (NH₄⁺) y urea ((NH₂)₂CO). Asimismo, se sabe que la fijación de N₂ por *Rhizobium* se incrementa cuando las plantas cuentan con un buen suplemento de P y K. El cobalto y molibdeno son elementos esenciales para todos los microorganismos que fijan N₂ (Mengel and Kirkby, 1982).

b) Fijación asimbiótica: las cantidades de nitrógeno fijadas por microorganismos de vida libre son generalmente bajas y varían de 5 a 10 kg ha⁻¹ año⁻¹; sin embargo, bajo condiciones tropicales la capacidad potencial de las bacterias para fijar N₂ es superior, y pueden llegar a fijar de 60 a 90 kg ha⁻¹ por ciclo de cultivo (Mengel and Kirkby 1982).

Algunas bacterias de vida libre están asociadas con plantas superiores, tales como *Azotobacter paspali* con el pasto tropical *Paspalum notatum*, *Spinillum lipoferum* con maíz, especies de *Beijerinckia* y *Enterobacter* con arroz, y *Bacillus maceraus* y *B. Polymyxa* con trigo. En el caso de las algas, un ejemplo de asociación es el de *Anabaena azollae* con el helecho *Azolla pinniata*, que juegan un papel muy importante en los campos de arroz. Con esta asociación ha sido posible obtener hasta 22

cosechas de *Azolla* con un rendimiento de 465 kg ha¹ por año¹ (Mengel and Kirkby, 1982)

La mayoría de los microorganismos de vida libre son sensibles a condiciones de pH bajo y a altas concentraciones de O₂

En general, la fijación de nitrógeno se inhibe por la presencia de amoníaco o por compuestos que fácilmente se convierten en amoníaco, como el nitrato y el nitro. Estos compuestos no interfieren con el mecanismo de fijación del nitrógeno, sino que son simplemente preferidos al nitrógeno molecular como fuentes de nitrógeno. Sin embargo ambas formas de nitrógeno pueden ser usadas simultáneamente, como ocurre normalmente (Devlin 1980)

2.3.3 Fijación industrial

Este proceso se basa en el método de fijación catalítica de alta presión desarrollado en Alemania, en 1914 consistiendo básicamente en lo siguiente[®] (Delwiche 1970)

- i) En un horno primario de reformación se ponen a reaccionar metano y vapor de agua para producir un gas rico en hidrógeno,
- ii) En un horno secundario de reformación, a los productos que resultaron de la reacción anterior se les agrega N₂ y O₂ atmosférico. El oxígeno se transforma en CO por una combustión parcial con metano,
- iii) En un reactor el CO reacciona con el vapor de agua
- iv) El CO₂ resultante se extrae y se puede utilizar para convertir parte del

amoniaco en urea,

- v) Los últimos vestigios de CO se convierten en metano;
- vi) El N_2 el H_2 se combinan a presiones y temperaturas elevadas, en presencia de un catalizador, para formar amoniaco. Parte del amoniaco producido se puede convertir rápidamente en ácido nítrico por reacción con oxígeno. El ácido nítrico y el amoniaco pueden entonces combinarse para formar nitrato de amonio.

2.3.4 Fijación debida a fenómenos ionizantes en la atmósfera

Una proporción muy pequeña de N_2 se fija debido a fenómenos ionizantes que ocurren debido a la radiación cósmica, meteoros y los rayos, que proporcionan instantáneamente la alta energía que se requiere para que el nitrógeno reaccione con el oxígeno o el nitrógeno del agua. Las cantidades fijadas en esta forma son algunos kilogramos de nitrógeno nítrico $ha^{-1} año^{-1}$. En los trópicos es donde mayormente se fija

en esta forma pero no excede a los $10 kg ha^{-1} año^{-1}$ (Delwiche, 1970, Devlin, 1980, Mengel and Kirkby 1982)

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

2.3.5 Mineralización del nitrógeno del suelo

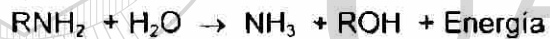
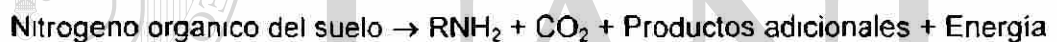
Proceso mediante el cual el nitrógeno de los compuestos orgánicos se convierte en iones amonio y nitrato. Esta transformación comprende las etapas siguientes (Russell 1973)

N orgánico \rightarrow amoniaco \rightarrow nitrito \rightarrow nitrato

Las transformaciones anteriores son realizadas predominantemente por microorganismos del suelo

2.3.6 Amonificación

La materia orgánica del suelo contiene nitrógeno principalmente en forma amínica (proteínas) y en menor proporción en compuestos nitrogenados heterocíclicos (bases nitrogenadas de ácidos nucleicos). La liberación del nitrógeno en forma amínica se le conoce como proteólisis, y a la reducción del nitrógeno de la forma amínica a amoníaco se le denomina amonificación. Estos procesos pueden representarse de la manera siguiente (Mengel and Kirkby, 1982)



En ambos procesos se libera energía, la cual es utilizada por los microorganismos heterótrofos que producen las reacciones. Estos microorganismos requieren de carbono orgánico como una fuente de energía. La mayoría de la microflora del suelo es capaz de producir las reacciones señaladas anteriormente. La mineralización del nitrógeno orgánico del suelo no está limitada por la carencia de microorganismos sino más bien es afectada por factores como temperaturas bajas y deficiencias o excesos de agua. El amoníaco resultante se combina con el agua y se forma el amonio (NH_4).

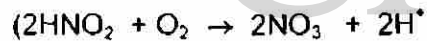
2 3 7 Nitrificación

Proceso de oxidación mediante el cual el amonio se transforma en nitrato. Este proceso comprende dos etapas:

- vii) Oxidación del amonio (NH_4^+) y producción de nitrito (NO_2^-): esta reacción es realizada por bacterias de los géneros *Nitrosomonas*, *Nitrosolobus* y *Nitrospira*.



- viii) Oxidación de nitrito (NO_2^-) y producción de nitrato (NO_3^-): la reacción la realizan bacterias del género *Nitrobacter*.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Las bacterias que participan en las dos etapas son autotróficas, es decir, obtienen su energía de la oxidación de sales inorgánicas, y usan CO_2 como una fuente de carbono. Ambos grupos son microorganismos aeróbicos obligados. En suelos inundados la oxidación del amonio está restringida. Además, estas bacterias prefieren condiciones de pH neutras a ligeramente ácidas.

Las dos etapas del proceso de nitrificación pueden resumirse en el siguiente ecuación:



De lo anterior se infiere que el proceso de nitrificación tiene como consecuencia una acidificación del suelo

Finalmente, es necesario señalar que el amonio aplicado en forma de fertilizante también sufre el mismo proceso que el que resulta de la amonificación.

2 3 8 Fijación del amonio

Proceso mediante el cual el amonio (NH_4^+) es adsorbido fuertemente por los minerales de arcilla cargados negativamente. Este proceso se da principalmente en minerales de arcilla del tipo 2:1 tales como illitas, vermiculitas y montmorillonitas. El amonio que se fija en las arcillas posteriormente puede estar disponible para ser absorbido por las raíces de las plantas, esto es contrario a la creencia que se tenía anteriormente (Mengel and Kirkby, 1982).

Como resultado de los procesos de adsorción y fijación, la movilidad del ion amonio en el suelo es en gran medida inferior a la del nitrato, por esta razón el nitrógeno es lixiviado principalmente en forma de NO_3^- ; asimismo, la concentración del nitrato en la solución del suelo es mayor que la del amonio, excepto en los suelos ácidos (Mengel and Kirkby, 1982)

2 3 9 Nitrogeno en la solución del suelo

La concentración del nitrógeno en la solución del suelo cambia considerablemente en periodos cortos, esto se debe a los procesos que afectan el

movimiento de este elemento. Las condiciones que favorecen la nitrificación resultan en un incremento en el contenido de nitratos en la solución del suelo. Asimismo, en la primavera cuando se eleva la temperatura y mejora la aireación del suelo, también se incrementa la concentración de nitratos en la solución. Sin embargo, cuando la demanda del cultivo es alta los nitratos son absorbidos rápidamente (Mengel and Kirkby, 1982)

2 3 10 Formas de nitrógeno absorbidas por las plantas

El nitrógeno es absorbido por las plantas en las dos formas iónicas en las que se presenta NO_3^- y NH_4^+ . Sin embargo, la preferencia por una u otra forma depende de la especie y de factores ambientales. Las diferencias más importantes en la absorción de dichas formas se presentan en relación con el pH. La tasa de absorción del NH_4^+ es mayor en un medio con pH neutro, y se reduce a medida que aumenta la acidez, mientras que en el caso del NO_3^- sucede lo contrario (Russell, 1973, Mengel and Kirkby, 1982). Encontrándose que en nopal cultivado en hidroponía la absorción fue mayor cuando se aplicó NO_3^- (Gallegos, 1998)

2 3 11 Asimilación y liberación del nitrógeno inorgánico

La inmovilización y la mineralización del nitrógeno en el suelo son dos procesos opuestos. La tasa neta de liberación de nitrógeno inorgánico de estos dos procesos es de gran importancia para la nutrición de los cultivos. La inhibición de la asimilación microbiana mejora la disponibilidad del nitrógeno para las plantas. Asimismo, la liberación neta de nitrógeno inorgánico es más alta cuando la relación C/N de la

materia orgánica en el suelo es baja. Esto significa que entre más rica en nitrógeno es la materia orgánica, mayor es la posibilidad de que el nitrógeno sea mineralizado (Mengel and Kirkby 1982)

2.3.12 Pérdidas de nitrógeno inorgánico del suelo

Los compuestos inorgánicos de nitrógeno en el suelo sufren varios tipos de pérdidas: pueden ser absorbidos por las plantas en crecimiento, o ser asimilados por los microorganismos y devueltos así a la reserva de nitrógeno orgánico, o ser lavados del suelo, o bien pueden ser convertidos en compuestos volátiles y perderse en el aire. Solamente el último tipo de pérdida será considerado (Russell, 1973)

2.3.13 Desnitrificación

Proceso mediante el cual se reducen los nitratos y nitritos a gases (NO , N_2O ,

N_2) los cuales son liberados a la atmósfera. Este proceso puede representarse mediante la siguiente secuencia (Delwiche, 1970, Russell, 1973; Devlin, 1980, Mengel[®] and Kirkby 1982)



La desnitrificación cierra el ciclo del nitrógeno en la naturaleza. Las bacterias que lo realizan pertenecen a los géneros *Pseudomonas* y *Micrococcus*, las cuales obtienen de los nitratos parte del oxígeno que necesitan para la oxidación de la materia orgánica. La desnitrificación es estimulada por las siguientes condiciones del suelo:

exceso de humedad, pH neutro, temperaturas altas, tasa baja de difusión del oxígeno, así como por la presencia de materia orgánica soluble y nitratos

Las cantidades de nitrógeno que pueden perderse por efecto de la desnitrificación varían ampliamente.

Una solución al problema de la desnitrificación ha sido el desarrollo de inhibidores que bloquean la oxidación del amonio a nitritos, lo cual evita la formación de nitratos. Algunos inhibidores son los siguientes: N-serve (Nitrapiridina), Terrazole, KN_3 , etc. (Mengel and Kirkby 1982)

2.4. Aspectos generales del cultivo de nopal

En México reconocemos como nopales a plantas de la Familia Cactaceae de los géneros *Opuntia* y *Nopalea* (Flores y Gallegos, 1994). Debido a la presencia de gran cantidad de especies, México es considerado como el centro de origen de los nopales.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

De acuerdo con Bravo (1978), las cactáceas son originarias del continente americano y se distribuyen desde Canadá hasta la república de Argentina. Asimismo, la autora indica que en América del Norte se localizan 92 géneros de cactáceas y en América del Sur sólo 51. De las localizadas en América del Norte, 61 géneros existen en México y 31 en Estados Unidos. Esta ubica como centro de distribución a México.

El cultivo del nopal en México es reciente, se inició en los cincuenta y es en la

década de los ochenta cuando se consolida. De tal forma que las nopaleras cultivadas, tanto para la producción de tuna como para verdura, han aumentado notablemente en los últimos años. En 1976 el área reportada para la producción de tuna era de aproximadamente 12 000 ha hasta alcanzar en 1992 cerca de las 70,000 ha. Con relación al nopal para verdura, actualmente existen 10,000 ha de plantaciones comerciales (Flores y Olvera 1994), distribuidas principalmente en el centro del país.

En la república mexicana, el nopal se localiza prácticamente en la mayoría de las condiciones ecológicas, ocupando cerca de 3 millones de hectáreas distribuidas en los estados de Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato, Hidalgo, Chihuahua, Tamaulipas, Durango y Aguascalientes. En la actualidad, el nopal se le encuentra en forma cultivada y silvestre en España, Portugal, Italia, Argelia, Marruecos, Túnez, Grecia, Israel, Australia, Sudáfrica, Brasil, Argentina, Colombia y Estados Unidos de América (Pimienta 1990).

2.4.1 Taxonomía

De acuerdo con Bravo (1978), las plantas conocidas bajo el nombre común de nopal se han clasificado taxonómicamente de la manera siguiente.

Clase	Dicotiledónea
Orden	Cactales
Familia	Cactaceae
Tribu	Opuntioideae
Genero	Opuntia
Subgénero	Platyopuntia

Bravo (1978) distingue cinco subgéneros del género *Opuntia*: *Cylindropuntia*, *Grosonia*, *Carynopuntia*, *Opuntia* y *Stenopuntia* y subdivide a su vez el subgénero *Opuntia* en 17 series

2 4 2 Morfología general de la planta

En las zonas áridas y semiáridas de México, diferentes factores limitan el crecimiento de las plantas (Pimienta, 1990). La evolución de los nopales en este tipo de ambientes en donde predominan los factores limitantes sobre los favorables, ha conducido a que las diferentes especies del género *Opuntia* desarrollen características morfológicas, fisiológicas y bioquímicas que les permitan adaptarse a tales condiciones adversas (Pimienta 1988, 1990). Se estima que las *Opuntia* son las más recientes de la familia cactaceae, porque en ellas las gloquidias y la succulencia llegan a adquirir su máximo desarrollo

a) Raíz. Bravo (1978) manifiesta que se caracteriza tanto por su extraordinaria ramificación como por su gran longitud que alcanza a veces (más de 15 m), en tanto que Nobel (1994) indica que la característica más notable de la raíz es su superficialidad añadiendo que ésta tiende a ramificarse en más de una ocasión y que las raíces principales pueden engrosar con la edad

b) Tallo. Al desarrollarse el tallo del embrión se forma la primera penca que crece hasta alcanzar el tamaño de una raqueta pequeña, sobre los bordes de ésta, nace una o varios renuevos éstos además de servir de vías para la savia, ejercen la función clorofiliana a través del parénquima situado abajo de la epidermis y del tejido

suberoso (Bravo, 1978, Mauricio, 1985 y Borrego, 1986) La parte central del tallo está ocupada por la medula tejido que forma una columna central cuyo diámetro varía con la edad y de acuerdo con la característica de los distintos géneros.

c) Hoja. En gran parte de los géneros de la subfamilia *Opuntioidea* las hojas tectrices se modifican, la base se transforma en un tubérculo poco prominente, el peciolo desaparece y el limbo se reduce adquiriendo forma cónica o cilíndrica y es generalmente efímero a veces puede persistir transformado en espinas cuando los tejidos se esclerifican (Bravo 1978)

d) Espinas. Como ya se ha indicado, las espinas son consideradas como hojas modificadas según las investigaciones anatómicas que se han hecho acerca de su proceso de formación. En el género *Opuntia* es posible observar estados de transición entre hojas y espinas. Aunque esto ha sido demostrado, tienen sin embargo algunas diferencias estructurales como son la reducción de los parénquimas y la lignificación de los tegumentos (Bravo 1978) Ha sido demostrado científicamente que las espinas son en realidad porciones de limbo foliar modificado a lo largo de los milenios (Mauricio 1985)

e) Flor. Las flores son solitarias nacen en la base de las areolas y funcionan indistintamente como yema floral o vegetativa

f) Fruto. El fruto del nopal tunero ha sido descrito como una baya unilocular polispermica y carnosa que se origina de una flor con ovario ínfero (Bravo, 1978), con numerosos colchones de ahuates distribuidos a tres bolillo, semillas de colores

variables encontrándose frutos de cuatro a doce cm o más de longitud, de color amarillo canario, amarillo limón, anaranjado, rojo, guinda, rojo morado, verde tierno, blanco verdoso etc (CONAZA-INIF, 1981).

2 4 3 Fisiología

Peralta (1983) Mauricio (1985) y Pimienta (1988, 1990), indican que una de las adaptaciones mas importantes es su proceso fotosintético denominado metabolismo ácido crasuláceo (MAC) Este tipo de fotosíntesis se distingue del de la mayoría de las plantas en que los estomas se encuentran cerrados durante el día y abiertos en la noche este ácido cuando la temperatura y el déficit de presión de vapor son ordinariamente bajos En la fotosíntesis MAC, el CO₂ es finalmente refijado y reducido en los cloroplastos por medio del ciclo de Calvin En estas plantas, la fotosíntesis se efectua de manera principal en el tallo (cladodio) además de servir para el transporte de savia ascendente y descendente Segun Palomo (1963), la gran cantidad de ácidos

organicos libres que contiene el nopal en el jugo de sus células, hacen que éste aumente en capacidad osmotica y ésta forma apreciables cantidades de agua, siendo la transpiracion minima

2 4 4 Ecología

En la republica mexicana el nopal se localiza prácticamente en la mayoría de las condiciones ecologicas ocupando cerca de 30 millones de hectáreas distribuidas en diferentes estados de la republica

a) **Altitud.** La mejor altitud para establecer huertos comerciales en México es

de 1000 a 2500 msnm (Borrego, 1986)

b) Clima. El clima juega un papel muy importante en la producción agrícola, de tal forma que las condiciones desfavorables constituyen una restricción importante, sobre todo si se considera el establecimiento de cultivos durante todo el año. Se debe tomar en cuenta los elementos climáticos que influyen en el desarrollo del cultivo como son precipitación y temperatura, reportándose para el nopal una temperatura óptima entre 15 y 16 °C aunque puede desarrollarse satisfactoriamente en los extremos que son de 36 °C como máximo y un mínimo de 6 °C ya que temperaturas más bajas pueden afectar los brotes. La precipitación donde se puede desarrollar es entre 116 y 1800 mm con problemas de estrés en el primero y de enfermedades principalmente fungosas y pudriciones bacterianas en el segundo (Promotora del Maguey y el Nopal, 1987)

c) Humedad. Bravo (1978) indica que las cactáceas toleran largos períodos de sequía y necesitan de las lluvias anuales para reponer el agua que pierden a sus tejidos. Las especies de *Opuntia* (nopales) son las más afectadas, ya que en condiciones de aguda sequía sus tallos se adelgazan, arrugan y hasta pueden desprenderse del tronco. Las poblaciones se distribuyen principalmente en las zonas de precipitación media anual de 150 mm a más en climas semi secos o esteparios, con lluvias en verano (BS,) semi secos o esteparios, con lluvias escasas en todas las estaciones del año (BSo) y en climas desérticos con lluvias en verano, en cualquier época del año y en invierno (BW) (CONAZA-INIF, 1981)

d) Suelo. Las distintas especies de nopal se desarrollan bien en la mayoría de

los suelos existentes en el país. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que los mejores rendimientos se obtienen en suelos de origen ígneo o en suelos calcáreos (dependiendo de la especie) pero con textura arenosa, profundidad media y con un pH de preferencia neutro o bien ligeramente alcalina, pero nunca ácido.

2.4.5 La producción de nopal para verdura en México

Los sistemas de producción para nopal verdura en México, que históricamente se desarrollaron son nopaleras silvestres, nopaleras en huertos familiares y nopaleras en plantaciones comerciales (Flores 1992)

a) Producción de nopalitos en nopaleras silvestres. Se considera que dentro de los 13 millones de hectáreas de matorral crasicaule que existen en México, tres millones corresponden a nopaleras silvestres. Las pencas tiernas (nopalitos) de una gran cantidad de especies silvestres son utilizadas durante la época de brotación

(primavera) para consumo humano en los estados del Centro y Norte del país, sin embargo, estos aprovechamientos son en su mayoría de autoconsumo, casi nunca se comercializan. La excepción se presenta en San Luis Potosí, en donde el nopalito de "nopal tapon" (*Opuntia robusta* Wendl.) es recolectado de las nopaleras silvestres durante la época de brotación (marzo a junio) en un radio que en ocasiones alcanza los 120 kilómetros alrededor de la ciudad de San Luis Potosí. El nopalito de 8 a 12 cm de diámetro es colectado, limpiado (presenta mucha espina y ahuate), pesado y colocado en arpilleras de plástico para ser trasladado y vendido en fresco como verdura en los mercados y en su mayoría a las cinco industrias de San Luis Potosí que lo procesan y envasan para destinarlo a la exportación, puesto que

esporádicamente lo comercializan en el mercado nacional. El volumen procesado anualmente varía entre las 2 000 y 3,000 toneladas (Reyes, 1993).

b) Producción de nopalito en huertos familiares. En los huertos que rodea la casa habitación en el medio rural en ocasiones se cultiva nopal que comúnmente se usa como cerco. Los brotes tiernos (nopalitos) son aprovechados para consumo en la época de brotación (primavera). Esta producción concurre a los mercados de los pueblos pero fundamentalmente es utilizado para autoconsumo. La importancia de este sistema reside en la gran diversidad genética presente en los huertos, pues estos nopales han sufrido procesos de cruzamiento y selección durante mucho tiempo, de manera que los materiales de donde han surgido las variedades comerciales que se explotan en el sistema de plantación se obtuvieron en huertos familiares en México.

c) Producción de nopalitos en plantaciones. Este sistema es el más importante por la superficie que cubre (10 000 ha), por el volumen de producción y

porque es el sistema que fundamentalmente abastece los mercados nacionales y de exportación. Presenta dos variantes: a) Sistema tradicional. En este sistema se cultiva el nopal en hileras de 1 a 1.50 m de separación, las pencas se siembran de 0.25 a 0.50 m y se dejan crecer las plantas entre 1 y 1.50 m de altura (se forman macizos de nopal a lo largo de la hilera). Las densidades varían de 15,000 a 40,000 plantas por hectárea siendo las más comunes de 17 000 plantas por hectárea. b) Sistema de microtúnel. Este sistema intensivo se desarrolló en la Universidad Autónoma Chapingo en el Estado de México en los años sesenta y ha tenido un fuerte desarrollo para producir nopal en los meses de invierno. Consiste en camas de 1.20 a 2.0 m de ancho con calles entre camas de 1 a 1.5 m, el largo varía de 40 a 47 m. Las pencas se

plantan a lo ancho de la cama una junto a otra con una separación de 5 cm (entre bordes del cladodio) disponiéndose otra hilera a los 20 a 30 cm entre sí. Las densidades de siembra varían de 120 000 a 160,000 plantas por hectárea. En este sistema el nopalito se obtiene de los brotes de la primera penca o cuando mucho se dejan crecer una o dos pencas sobre cada planta y así se cosechan. Se coloca plástico sobre la cama durante los meses de invierno con lo que se disminuye el riesgo de heladas y se induce la producción para que el nopalito alcance buen precio.

2.4.6 Principales zonas productoras

La producción de nopal verdura en explotaciones comerciales (plantaciones) alcanza las 10 000 ha distribuidas territorialmente tal y como se ilustra en el Cuadro 2. De dicha información se desprende que cerca del 75% de la superficie cultivada se concentra en el Distrito Federal particularmente en la delegación de Milpa Alta, que participa con la mayor y más antigua producción de nopal verdura de México.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

La producción en estas plantaciones tuvo inicio en los años cincuenta y está basada en el sistema tradicional con 1.00 a 1.50 m entre hileras y 0.25 a 0.50 m entre plantas variando las densidades de 15000 a 40000 plantas por ha, siendo las más comunes de 27000 plantas por ha. La altura media sobre el nivel del mar 2420 m, los suelos son de origen igneo en algunas partes con afloramiento de lavas (se utilizan grandes volúmenes de estiércol) y el clima es Cb (W1) (w) (y) g, con una precipitación media anual de 756.1 mm y una temperatura media de 15.9 °C. Presenta temperaturas bajas los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril, lo que provoca disminución en la cosecha de nopalito.

Cuadro 2. Superficie cultivada con nopal verdura por estado en 1994.

Entidad Federativa	Superficie (ha)	Rendimiento (ton ha ⁻¹)
Distrito Federal	7,500	60.0
Morelos	450	70.0
Puebla	400	40.0
Michoacán	320	35.0
Guanajuato	280	35.0
Baja California	150	60.0
Jalisco	100	60.0
Oaxaca	100	60.0
México	90	25.0
Hidalgo	85	40.0
Zacatecas	65	30.0
Aguascalientes	55	30.0
Tlaxcala	45	25.0
Queretaro	35	20.0
San Luis Potosí	20	20.0
Durango	15	20.0
Sonora	10	80.0
Otros	10	10.0
SUMA	10,000	-----

SARH(1992 a) SARH(1992 b), Flores y Olvera (1994)

Morelos. En este estado el municipio más importante es Tlanepantla con cerca de 350 ha y 450 productores la variedad y el sistema de cultivo son los mismos que en

Milpa Alta y es una zona que empezó su producción de nopal a principios de los años ochentas por 4 o 5 productores que buscaban mejores alternativas productivas, tuvieron éxito y muchos miembros de la comunidad los siguieron. En un principio comercializaban el nopalito en el mercado de Milpa Alta y actualmente tres organizaciones venden su nopalito en la central de abastos de la ciudad de México

La altura media es de 2040 msnm y los suelos en esta región son profundos, arenosos originados de cenizas volcánicas, el clima es templado sub húmedo con precipitación media anual de 900 mm y una temperatura media anual de 18 °C sin presencia de heladas. Esto les permite tener una buena producción y entrar al mercado de Milpa Alta donde teniendo precios altos, toda su producción es de temporal

Puebla. En esta entidad encontramos dos regiones importantes de cultivos de nopal para verdura. La primera es la región comprendida entre Atlixco y Cholula y la segunda en el municipio de Acatzingo en especial la comunidad de San Sebastián Villanueva en que cultivan también nopal tunero

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

La primera zona tiene alturas sobre el nivel del mar alrededor de los 2000 m, sus suelos son de origen ígneo su clima es Cb (w1) (w) (y) gw" con precipitación promedio anual de 808 mm y temperatura media anual de 17.0 °C, casi sin presencia de heladas

La zona de Acatzingo presenta alturas sobre el nivel de mar de 2200 m, clima tipo (A) Cb (wo) (w) (Y) gw, la precipitación media anual es de 757 mm y la temperatura media anual es de 18.7 °C, sin heladas

En ambas regiones cultivan la variedad Atlixco, que es de un verde intenso y de pencas muy grandes en la primera zona algunos productores utilizan riego. El sistema de plantación es semejante al de Milpa Alta. Muchos productores venden su producción en pie (el comprador se encarga de cortar, empacar y comercializar) y se comercializa en los mercados de la ciudad de Puebla y los principales mercados y tianguis regionales

Michoacán. En esta entidad en condiciones de clima y suelo tan diversas, existe producción de nopalito en muchas pequeñas áreas, sin embargo, al sureste de Uruapan existe una zona productora de nopal verdura mayor a 250 ha que se ubica en las comunidades de Ziracuaretiro Zinenicuaró, Patuán, Caracha, Copal y Mesa de Cazerés en los municipios de Ziracuaretiro y Taretán.

La región tiene una altura de 1300 msnm los suelos son negros, pedregosos, de origen volcánico y el clima presenta una precipitación anual promedio de 1200 mm y una temperatura media anual de 20 °C sin presencia de heladas

En esta región cultivan bajo riego dos variedades. El blanco en un 90% y el verde o negro en un 10% siembran dos pencas juntas cada 0.50 m y utiliza de 2.0 a 3.0 m entre hileras algunos productores cosechan todo el año, pero la mayoría sólo de octubre a abril en que los precios son mejores, el nopalito lo venden a comerciantes que lo llevan a Guadalajara León Celaya Irapuato y Morelia

Guanajuato. En este estado al igual que en Michoacán se produce nopalito en muchas pequeñas áreas dispersas en el estado además se utiliza como nopalito los

brotos tiernos del nopal tunero cultivado en el norte del estado. Sin embargo, cuenta con una área de aproximadamente de 250 ha en la comunidad de Valtierra, Municipio de Salamanca

Esta region tiene una altura sobre el nivel de mar de 1720 m, los suelos son negros o cafe oscuro y el clima es Cb (wo) w (e) g con una precipitación promedio anual de 680 mm y una temperatura media anual de 17.7 °C. Cultivan bajo riego dos variedades El blanco (con mucha espina) y el nopal de hule, pelón o negro. Existe mayor superficie del blanco a pesar de lo difícil de su manejo al cultivar, cosechar y limpiar por su gran cantidad de espinas debido a que su sabor es mejor y el precio a que se comercializa es mayor Además de los mercados cercanos Celaya, Salamanca e Irapuato lo llevan a Leon donde se comercializan volúmenes mayores.

Baja California. Este estado es la excepcion a la aseveración de que en el Norte de Mexico no se consume (ni se produce nopal). En Baja California se produce nopal para verdura por dos razones La primera es el gran porcentaje de su población que ha emigrado de los estados del centro del país y segundo la cercanía a los grandes núcleos de poblacion estadounidense de origen mexicano que consumen nopalito en el estado de California

En el estado se produce bajo riego, nopalito en sus cuatro municipios. En Mexicali se produce en surcos a 1.50 entre hileras y 0.40 m entre plantas con agua del Rio Colorado en Tijuana existen pequeñas superficies irrigadas con agua potable de la red municipal en Ensenada en valles libres de heladas, se cultiva el nopal con sistemas de riego por aspersion y goteo, en Tecate se cultiva el nopal verdura en invernaderos en camas y altas densidades utilizando sistemas de riego por goteo. Las

variedades utilizadas son muchas Milpa Alta, Copena F1, Copena V1, entre otras.

Jalisco. En Jalisco existen pequeñas zonas de producción de nopal verdura dispersas en el estado la principal se ubica en las cercanías del Lago de Chapala, donde producen bajo negro y el principal mercado es la ciudad de Guadalajara.

La altura es de 1550 msnm con un clima (A) Ca (w1) (w) (y) g., con una precipitación promedio anual de 880 mm y una temperatura media anual de 20.0 °C.

Oaxaca. En Oaxaca las principales producciones de nopal verdura se localiza en valles centrales Utilizan variedades locales sin espinas y pocos ahuates

La producción se localiza a una altura promedio de 1550 msnm, en suelos cafés y un clima BS1 hw (w) (y) gw^r, con una precipitación anual de 650 mm y una temperatura media anual de 20.5 °C

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Zacatecas. La zona productora de nopal verdura queda comprendida en la región denominada como "Los Cañones", ubicada en la parte meridional del estado de Zacatecas comprendida entre los 21° 01' y los 22° 15' latitud norte y entre los 102° 27' y 103° 45' longitud oeste (Cervantes y Ramírez, 1992). Su altura sobre el nivel del mar oscila entre los 900 hasta los 2900 m Su área comprende una superficie total de 8215.97 Km² distribuidos en las áreas denominadas como "Cañón de Juchipila" y Cañón de Tlaltenango

2.4.7 Aspectos de comercialización

a) La oferta de nopal verdura en México. La oferta de nopal verdura está definida por la distribución de los centros de producción y por la temporada de alta producción y cosecha de cada entidad federativa. Como se puede apreciar en tales cifras la superficie cultivada con nopal para verdura se concentra en el centro del país. En los meses con oferta alta, para evitar que los precios se derrumben los productores dejan descansar parte de su plantación y sólo siguen cosechando del 20 al 50 % de su superficie.

b) La demanda de nopal verdura en México. La demanda de nopalitos en México se ubica en la población de los estados del centro del país; en el norte y las costas la demanda es mucho menor detectándose en los últimos años una tendencia ascendente de la misma sobre todo en las ciudades del norte del país. Podría considerarse que la demanda se mantiene homogénea durante todo el año,

registrándose períodos de mayor demanda como cuaresma (marzo-abril) y navidad (diciembre).

c) La distribución espacial de los precios. En la central de abastos del Distrito Federal y en el mercado de Milpa Alta los precios son bajos, pero tienden a incrementarse en las centrales de abastos secundarias (Guadalajara, Monterrey y Torreon) y en las terciarias (Leon, San Luis Potosí, Guanajuato y Zacatecas), lo cual se asocia a la lejanía de estas a las zonas de los centros de producción.

d) La distribución temporal de precios. En la comercialización del nopal, de

acuerdo con las cantidades variables de oferta, se dan fuertes cambios en los precios. La paca es la forma mas usual como venden los productores de Milpa Alta, Distrito Federal y Tlalnepantla Morelos en la central de abastos del Distrito Federal (probablemente el 70% de toda la producción de nopal verdura en México) En cuanto a los precios por ciento o kilogramo varían dependiendo de la central de abastos, por ejemplo en Puebla o Monterrey el precio es generalmente más alto que en Guadalajara y el Distrito Federal

De la información anterior se desprende que los precios máximos son mayores en los meses de octubre a enero. Lo anterior es de relevancia, máxime si se combina con los mejores precios alcanzados en las ciudades alejadas de los centros de producción

e) Demanda internacional. En la medida en que el consumo de nopal de verdura está restringido a la comida mexicana, la oferta y la demanda de nopalitos se

limita a México y otros países donde existe población de origen mexicano. Otra fuente de demanda se encuentra en Estados Unidos de Norte América y algunos países europeos y asiáticos donde se consume esporádicamente y en pequeños volúmenes, como alimento exótico

f) Oferta internacional. La producción de nopalito, además de México, se realiza en Estados Unidos (en los estados de California y Texas principalmente), siendo las variedades pertenecientes al género *Nopalea* los más comúnmente utilizadas en estos estados que presentan un verde brillante, con pocas espinas, y con una cutícula gruesa características poco deseables, en el sentido de que el

consumidor prefiere las variedades de *Opuntia* de origen mexicano.

2.4.8 El nopal como recurso forrajero

En las plantaciones para producir nopal de verdura, se obtienen grandes volúmenes de pencas maduras que resultan de las podas y del material que se deja madurar en la temporada en que los precios son bajos, generalmente, este material se corta se saca de la parcela (en ocasiones se pica y se incorpora al suelo dejándolo entre las hileras de nopal) con el riesgo de que se convierta en foco de plagas y enfermedades

Un aprovechamiento alternativo a los volúmenes de nopalito no comercializado, es el de alimentar ruminantes (bovinos, ovinos o caprinos) con nopal. Para ello se debe tomar en cuenta que el nopal al tener mucha agua, no es un forraje completo por lo que se debe complementar con forrajes secos (pajas o rastrojos) y alimentos que

proporcionen proteína y energía (en dietas bien balanceadas, el nopal puede proporcionar el 60% de la energía y su aportación de proteína se puede considerar nula) (Flores 1977)

2.5.- El sistema radical del cultivo de nopal

El crecimiento de la raíz se realiza por los dos principales meristemos que ésta tiene: el meristemo apical y el cámbium. El primero determina crecimiento en longitud que está determinado en su dirección tanto por el geotropismo como por hidrotropismo, mientras que el segundo es responsable en el diámetro o grosor

(Calderon, 1977)

La característica más notable de los sistemas radicales de las plantas del género *Opuntia* es su superficialidad (Bravo, 1978, 1980; Nobel, 1994). Esto se hace patente también en otras cactáceas, por ejemplo en el "saguaro" (*Carnegiea gigantea*) que puede sobrepasar los 10 m de altura, decenas de toneladas de peso y puede vivir 200 años tienen raíces a una profundidad de únicamente 25 cm.

Aunque la profundidad de las raíces es aproximadamente la misma para magueyes y nopales (cactus) la morfología radical difiere de manera considerable. Bravo (1978) los nopales como dicotiledóneas, tiende a ramificarse en más de una ocasión y las raíces principales pueden engrosar con la edad. Las raíces de los nopales viejos pueden exceder los 2.5 cm de diámetro Bravo (1978), manifiesta que se caracteriza tanto por su extraordinaria ramificación como por su gran longitud que alcanza a veces (más de 15 m) en tanto que Nobel (1994) indica que la característica

más notable de la raíz es su superficialidad, añadiendo que ésta tiende a ramificarse en más de una ocasión y que las raíces principales pueden engrosar con la edad. ®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

En general el desarrollo radical de la planta de nopal se presenta en el estrato superior del suelo entre cero y dieciocho centímetros de profundidad, donde se desarrolla el 96 % de la masa radical encontrándose un 3% en el estrato de 18 a 36 cm (Zuñiga *et al* 1999) Este comportamiento en el desarrollo de la raíz se presenta al eliminar restricciones de fertilidad, humedad aprovechable, temperatura y compactación del suelo (Glinski and Steoniewski, 1985 , Taiz and Zeiger, 1991).

Los cambios morfológicos y anatómicos en la raíz de nopal son muy pocos en

plantas de un mes de edad expuestas a sequia en suelos inicialmente húmedos; esto se debe a la formación de cubiertas de suelo alrededor de la raíz, entrelazadas con exudados y pelos absorbentes (Nobel 1997)

La solución del suelo (agua más iones minerales) se mueve entre y a través de varios tipos de células y por dos sendas distintas: la senda apoplástica o absorción pasiva y la ruta simplástica o absorción activa.

En relación a la absorción activa se reporta que la solución del suelo puede atravesar la epidermis radical y la corteza moviéndose hacia el interior de las células (ruta simplástica).

De acuerdo con Nobel (1994), en la capa de células conocida como endodermis la senda apoplástica se bloquea. Específicamente la pared celular, donde se ponen en contacto células endodérmicas adyacentes, está llena de una sustancia cerosa: suberina, la que reemplaza al agua entre los polímeros celulósicos. De esta manera el agua y los solutos del suelo deben entrar al citoplasma a través de la ruta simplástica al citoplasma de las células endodérmicas radicales para continuar su movimiento al sistema vascular de la raíz y eventualmente llegar al tallo.

La endodermis con suberina llena las paredes celulares de contacto entre sus células y de esta manera se genera un sitio en donde se regula lo que entra al tallo. Después de cruzar la endodermis el agua puede entrar a las células conductoras del tejido vacuolar (xilema) las cuales son simplemente conductos huecos hechos de paredes celulares. Estas células carecen de membranas, citoplasma y núcleos. Esta situación curiosa significa que las células conductoras de agua del xilema sólo

funcionan cuando están muertas. Debido a que estas células se alinean en una configuración tubular, el agua y los nutrientes disueltos generalmente fluyen rápidamente en el xilema a lo largo del eje de la raíz para llegar al tallo.

No obstante Nobel (1994), indicó que aún cuando se acepta que los nutrientes son transportados por un proceso que requiere energía de la planta (transporte activo) se conoce muy poco de este proceso en las raíces de cactus (entre los *Opuntia*) y agaves.

2.5.1 Desarrollo radica bajo condiciones de humedad

La humedad es uno de los factores más importantes que influyen en el crecimiento de las raíces; no obstante, debe estar comprendida entre ciertos límites y que tanto el exceso como su deficiencia puede limitar el crecimiento. Demolon (1972), indica que la desecación de las capas superficiales favorecen la extensión de las

raíces en profundidad. Agrega que la masa del sistema radical se desarrolla cada vez más a medida que aumenta la humedad hasta un óptimo, sin embargo, cuando hay excesos se da una regresión debida a la falta de aire en el suelo.

Hernández (1978) observó diferencias en la distribución de las raíces de las plantas de nopal establecidas con área de captación de agua y sin ella. En las primeras las raíces crecieron hasta el fondo de la cepa (0.3 m) e inician la formación de masas radicales que viven a expensas del material inicial depositado. En las plantas que son cultivadas en cepas sin captación de agua, algunas raíces crecieron horizontalmente hasta llegar a la pared de la cepa y siguieron creciendo hacia abajo y otras hacia arriba sin llegar a la superficie.

La persistencia de las raíces laterales de los nopales, aunado a la tendencia general de las raíces a ramificarse (ante un eventual humedecimiento del suelo) conduce a la presencia de muchas raíces finas. Por ejemplo, un cladodio de *O. ficus-indica* en suelo húmedo y fértil aproximadamente el 80%, en base a peso seco, de su sistema radical consta de raíces laterales relativamente delgadas (Nobel, 1994).

Nobel (1997) al analizar las raíces de nopal reporta que se escogen radialmente cuando estas son expuestas a condiciones de sequía prolongada. Lo cual tiene como consecuencia el desarrollo de cámaras de aire entre la superficie de la raíz y las partículas de suelo a través de las cuales el agua debe moverse en forma de vapor. Debido que el agua del suelo se mueve más fácilmente en forma líquida que de vapor, estas cámaras de aire pueden retener el flujo de agua de adentro hacia fuera de las raíces.

2.5.2 Desarrollo radial bajo condiciones de salinidad

La respuesta de la planta a la salinidad varía entre especies, entre cultivares de una especie e incluso entre etapas de crecimiento en una planta. En general, la mayoría de los cultivos agrícolas son sensibles en alguna etapa de su desarrollo, sin embargo hay especies cultivables que son resistentes a diferentes contenidos de sales y composiciones cualitativas de las soluciones salinas de los suelos. Asimismo, se considera que la mayoría de las plantas incrementa su tolerancia conforme avanza el crecimiento a través de las diferentes etapas vegetativa, reproductiva y llenado de grano (Franco y Maas, 1994).

Russell *et al.* (1968) consideran que de una manera general, el efecto de las

sales solubles sobre las plantas se pueden dividir en dos tipos. 1) efectos específicos, esto debido a los iones perjudiciales para las especies vegetales, los cuales pueden ser tóxicos tanto en pequeñas cantidades como en elevadas concentraciones y 2) efectos generales que son ocasionados por el aumento de la presión osmótica de la solución que rodea a las raíces de las plantas reduciendo marcadamente el poder de la planta para absorber el agua y nutrientes ya que la energía que tienen que gastar las plantas para tal efecto aumenta a medida que aumenta la presión osmótica de la solución en que crecen

La absorción de un ion dado se encuentra afectado no sólo por la concentración del mismo sino también por la presencia y concentración de otros iones en el ambiente de la raíz. Cuanto más clases de iones están presentes, más complicadas son las interacciones. Además de las interacciones usuales entre iones que dependen de carga eléctrica y del grado de hidratación, también intervienen efectos sobre las membranas protoplásmicas de las células radiculares, los sistemas transportadores y los efectos competitivos entre iones (Kramer, 1989).

La tolerancia a la salinidad es la capacidad de una planta para crecer y completar su ciclo de vida sobre un sustrato que contenga altas concentraciones de sales principalmente NaCl pero algunas veces también de otras sales, incluyendo sales de calcio, magnesio y potasio. Jeschke (1984), Maas y Hoffman, (1976) la definen como la capacidad de las plantas para sobrevivir y producir rendimientos económicos bajo condiciones adversas causadas por las concentraciones de sales en el suelo. Para cultivos agrícolas comúnmente se expresa en términos de descenso del rendimiento asociado con incrementos de la salinidad del suelo (Maas y Hoffman 1977).

2.5.3 Desarrollo radical bajo condiciones de sodio intercambiable

La deshidratación osmótica puede ser la causa inmediata de los daños por sales como disminución del crecimiento y rendimiento en los cultivos por altas concentraciones de sal. La causa principal de la inhibición del crecimiento inducida por el NaCl es la reducción de la disponibilidad de nutrientes minerales y la competencia con el ion sodio (Levit 1972, Aceves 1987).

Neue *et al* (1990) mencionan que las relaciones entre el transporte neto por las raíces y la concentración de sodio resultante en el tallo es determinado por la retención en las raíces, la acumulación de agua en los tejidos del tallo, la transpiración y la proporción de crecimiento. La reducción de la transpiración debido a un bajo potencial de agua en el medio induce el cierre estomatal, en cambio si se tiene un incremento de humedad se reduce la entrada de sodio y su contenido en el tallo (Neue 1990, Veázquez 1995).

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Al analizar los niveles de sodio en nopal Nobel (1983) encontró que éstos fueron más altos en la raíz que en los tallos y dentro de estos últimos, el contenido fue mayor en el parénquima que en el clorénquima. Resultados similares fueron reportados por Lopez *et al* (1990) para *Opuntia amyoclaea*, encontrándose que en promedio el Na alcanzó valores de 206, 88,6 y 40,3 ppm en la raíz, parénquima y clorénquima respectivamente. En el estudio se señala que la mayor concentración de Na en la raíz sugiere la existencia de mecanismos de retención y acumulación de éstos y con ello de su traslocación hacia la parte aérea. Por otra parte Berry y Nobel (1985), observaron una mayor acumulación de Na en la raíz, sosteniendo que existe una

limitada traslocación hacia tallos como consecuencia de su posible exclusión del xilema en la raíz

Ebert (1994) reporta que vastagos enraizados de nopal fueron tratados con una solución nutritiva de 30 y 60 mM de NaCl y de 15 a 20 mM de Na₂SO₄ durante tres meses encontrándose que la salinidad redujo el crecimiento de brotes cuando el consumo de Na aumentó con el NaCl mientras que el Na₂SO₄ tuvo mayor efecto en las raíces al decrecer con respecto a la solución de control. Este mismo efecto fue encontrado por Hatzmanns *et al* (1991) y Munillo *et al* (1999), con concentraciones en la solución nutritiva de 50 y 100 mM de NaCl y 5 dS m⁻¹ en suelos respectivamente sin que se presentaran síntomas de toxicidad.

2.5.4 Desarrollo radicular bajo condiciones de baja fertilidad

El sistema radical manifiesta un quimiotropismo, unido al gradiente de concentración de elementos nutritivos que le permite adaptar su desarrollo a las condiciones de ordenamiento. Cuando se cultiva una planta en un medio constituido por una serie de capas diferentes, unas pobres en nutrientes, como ciertas arenas, otras más ricas, en estas últimas se localiza un abundante desarrollo de raicillas, mientras que en las capas arenosas son muy escasas (Demolon 1972).

La fertilidad interactúa con la salinidad afectando la tolerancia aparente de muchos cultivos. Bernstein *et al* (1974) mencionan que el rendimiento es controlado por el factor que más limita el crecimiento (salinidad o deficiencia de nutrientes). Así las interacciones son basadas en las respuestas de la planta a la salinidad conforme

esta se incrementa de niveles no limitantes a severamente limitantes. En condiciones de baja salinidad la deficiencia de nutrientes limita el crecimiento más que la salinidad moderada. Tanto la deficiencia de nutrientes como la salinidad pueden igualmente limitar el crecimiento y no ocurre interacción, por lo que la tolerancia a las sales no es modificada (Bernstein *et al* 1974). Los suelos salinos se caracterizan generalmente por una baja actividad iónica de los nutrientes y altas relaciones iónicas: $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$, Na^+/K^+ , $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$ y $\text{Cl}^-/\text{NO}_3^-$, lo cual provoca desórdenes nutricionales (Grattan y Grene 1994).

Bajo condiciones de alta salinidad esta limita el crecimiento más que la deficiencia de nutrientes y existe una interacción negativa o descenso en la tolerancia a la salinidad cuando se desarrollan en condiciones de poca fertilidad, lo anterior es debido a que los rendimientos disminuyen más bajo suelos no salinos que bajo suelos salinos cuando existe una deficiencia de nutrientes (Maas y Hoffman 1976). Esto sucede por una severa reducción del crecimiento bajo condiciones de alta salinidad a tal grado que no existe una respuesta de la adición de nutrientes.

Por lo anterior podemos concluir que el nopal es un recurso vegetal con un alto potencial productivo bajo diferentes condiciones ecológicas. En su modalidad de nopa para verdura puede ser un cultivo alternativo en el patrón de cultivos de productos que dispongan de poca agua para riego en el norte de México, en donde la producción intensiva de nopalito se considera técnicamente viable y económicamente rentable.

Las condiciones de suelo que determinan el desarrollo radical, pueden ser divididas en dos grupos: 1) las que tienen un efecto directo, ya que actúan como

factores esenciales para su crecimiento o bien, que representan un obstáculo de naturaleza física que impide su desarrollo. En este grupo se incluye a los regímenes de humedad y de aireación algunas propiedades químicas entre ellas sales solubles y baja fertilidad y 2) las condiciones de suelo que tienen un efecto indirecto, en donde una variación de las mismas provoca un cambio en la distribución radical. En este sentido se puede agrupar a la textura, espesor del suelo, estructura, densidad aparente compactación y el régimen de temperatura. Entre ambos grupos existe una relación estrecha así por ejemplo la textura la estructura, la densidad aparente y la temperatura de suelo tienen un efecto muy marcado en los regímenes de humedad y de aireación en las propiedades químicas y en la resistencia a la penetración.

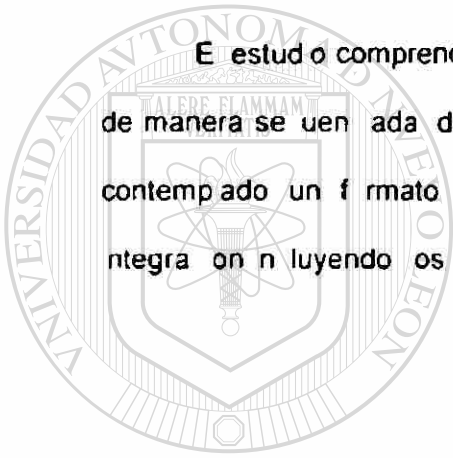
En general para la mayoría de los cultivos y en particular sobre el cultivo del nopal no existen suficientes trabajos que indiquen los puntos críticos a partir de los cuales las condiciones químicas del suelo limitan el crecimiento radical. Esto se explica en parte debido a la dificultad de distinguir el efecto independiente que tiene

cada una de las condiciones en el suelo pues como ha sido expuesto, todas ellas tienen entre sí una relación muy estrecha. Por otra parte, la falta de conocimiento de la contribución de las características químicas del suelo en la distribución de las raíces puede atribuirse a que ha habido poco interés por parte de los investigadores para esclarecer esta problemática.

III MATERIALES Y MÉTODOS

La totalidad de estudio se desarrolló en el área de invernaderos y cultivos hidropónicos del Centro de investigaciones Agrícolas en la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León ubicada en Marín N.L., el cual se encuentra situado entre las coordenadas 25°53' de latitud norte y 100°03' de longitud oeste con una altitud de 375 msnm

El estudio comprendió una serie de tres experimentos, los cuales se presentan de manera separada describiéndose por separado cada uno de ellos, habiéndose contemplado un formato de artículo científico con todos los elementos para su integración incluyendo los materiales y métodos particulares de cada uno de ellos



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

3.6. Experimento 1. Crecimiento radical de nopal *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. con diferentes niveles de nitrógeno en hidroponía.

Prickly pear *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Root growth in response to nitrogen in hydroponic.

3 6 1 Resumen

El nopal como la mayoría de los cultivos manifiesta su producción en la parte aérea por lo que al referirse a los aspectos nutricionales se han reportado diversos ensayos de fertilización con productos químicos y orgánicos limitándose a evaluar sus efectos en el rendimiento y su fenología. En el presente trabajo que se realizó bajo condiciones de hidroponía se variaron los niveles de nitrógeno de una solución nutritiva para determinar la influencia de este elemento en el desarrollo radical de dos variedades de nopal para verdura donde se comportaron de diferente manera las variedades utilizadas de acuerdo a las dosis de nitrógeno suministradas, resultando ser más eficiente para la absorción de nutrientes la variedad Jalpa

Palabras clave Raíz, Nopal, Nitrogeno, *Opuntia ficus-indica*

3 6 2 Summary

The prickly pear like most of the crops has their yield in the aerial part. For this reason when we refer to the nutritional aspects it has been reported different fertilization problems with chemical and organic products limiting their evaluations

effects at the yield and phenology. In the present work that was carried out under hydroponic conditions, the levels of nitrogen of a nutritional solution were varied in order to determine the influence of this element in the development of the root of two varieties of vegetable prickly pear. The used varieties according to the dose of given nitrogen behaved in several ways. The more efficient of these varieties according to the absorption of nutrients was the Jalpa variety.

Index Words: Root, Prickly pear, Nitrogeno, *Opuntia ficus-indica*

3.6.3 Antecedentes

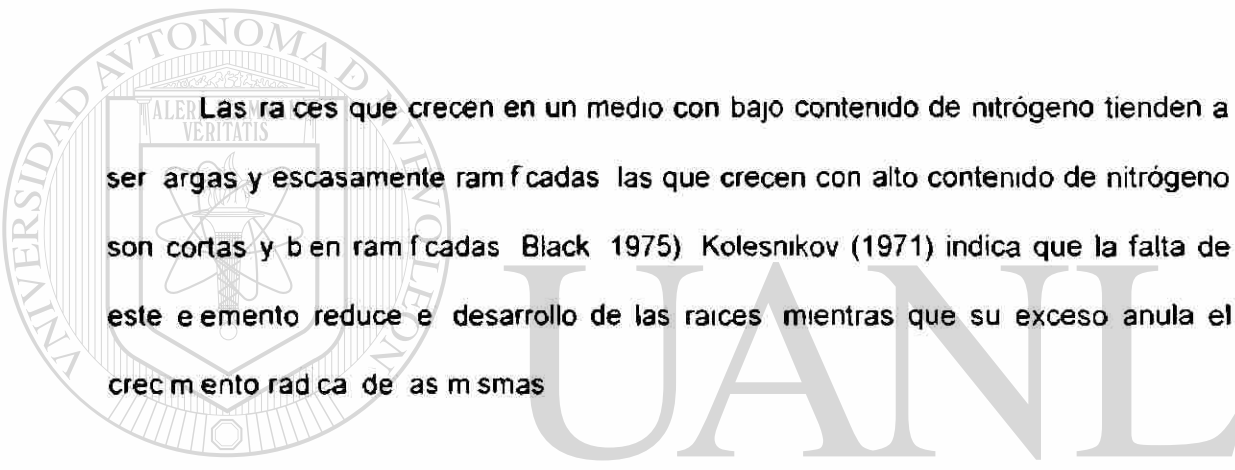
En México se cultivan 10 500 ha de plantaciones para producir nopalito. Obtendose una producción de 54 82 t ha⁻¹ sin contar con los huertos familiares utilizados para este mismo propósito (Flores 1997) considerando la ciudad de México y su área conurbada el primer centro de consumo en el país. Además se reportan tres

millones de nopaleras sivestes donde se recolectan entre tres y cuatro mil toneladas de nopalito por temporada siendo distribuida fundamentalmente en salmuera y escabeche. Flores et al. 1996

El nopal como a mayoría de los cultivos manifiesta su producción en la parte aérea de la cual el hombre se beneficia en forma directa. Por ello, al referirse a los aspectos nutricionales de nopal se han realizado diversos ensayos de fertilización con productos químicos y orgánicos limitandose a evaluar su efecto sobre la fenología, rendimiento y calidad de su producto. Sin embargo existe la necesidad de encontrar las bases técnicas de las manifestaciones de la producción relacionadas con la

capacidad de extracción y selectividad realizadas por parte de las raíces de las plantas

Existen varios factores que afectan el desarrollo de la raíz. Entre ellos se incluyen factores que dependen de las especies vegetales, hábitos de crecimiento, y algunas variables ambientales como la concentración del O_2 , la temperatura y el estado hídrico del suelo y la planta (Glinski and Steoniewski, 1985; Taiz and Zeiger, 1991)



Las raíces que crecen en un medio con bajo contenido de nitrógeno tienden a ser largas y escasamente ramificadas, las que crecen con alto contenido de nitrógeno son cortas y bien ramificadas. Black (1975) y Kolesnikov (1971) indican que la falta de este elemento reduce el desarrollo de las raíces, mientras que su exceso anula el crecimiento radicular normal.

Baca (1999) determinó la sintomatología específica de cada uno de los elementos estudiados y para el caso de deficiencia de nitrógeno reporta manifestaciones eventuales en los bordes superiores de los cladodios que se transforman en tejido corchoso de tamaño variable, mismos que en ocasiones inhiben la formación de yemas vegetativas.

Nobe (1988) concluye que la actividad metabólica es promovida cuando el contenido de nitrógeno en el clorofilo es cerca del 2%, lo cual coincide con otras plantas de interés agrónomo además de que todos los elementos probados en cerca de 2 especies, es la absorción nocturna de CO_2 y la acumulación nocturna de ácidos se correlaciona positivamente con el contenido de nitrógeno en los tejidos. Haciendo

énfasis en el nitrógeno lo considera como el elemento de mayor influencia en el crecimiento de agaves y cactáceas y otros resultados de este mismo trabajo mostraron que el crecimiento de la raíz así como de la parte aérea se incrementó cuando el nivel de nitrógeno al año es 0.1 % en el suelo aunque disminuyó al incrementarse su contenido

En este contexto en un estudio llevado a cabo bajo condiciones de hidroponía usando clones de 7 meses de *Opuntia amygdala* (Cruz *et. al.*, 1990) encontraron que el nitrógeno es el elemento que más limitó el crecimiento y la producción de materia expresada en peso fresco. Su ausencia en la solución nutritiva fue similar al tratamiento que involucró solo agua destilada

Legasp (1987) reporta una mayor producción de raíces con una mezcla de tepalcates y suelo mencionando que esta mejora los regímenes de aireación y humedad de suelo a incrementar el tamaño de los poros con lo que favorece el intercambio gaseoso y propiciar una mayor retención de humedad con las partículas finas del suelo

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Nobe y Hartsock (1986) al evaluar la respuesta de plántulas de *Agave deserti* a las adiciones de nitrato, fosfato, potasio encontraron que los incrementos mayores de materia seca se correlacionaron positivamente con incrementos de NO_3^- , registrándose que el aumento del peso seco fue proporcional logarítmicamente al nitrógeno adicionado hasta cerca de 10 mg de nitrógeno por planta para aquellas plántulas de 3.5 meses de edad desarrolladas en arena lavada como sustrato.

Adicionalmente a lo anterior el estado nutrimental de las plantas, el cual afecta su actividad metabólica ha sido estudiado en detalle para plantas C3 y C4, en tanto que para las plantas CAM en general y particularmente el nopal (*Opuntia spp*), han recibido escasa atención (Nobel 1983) de manera que son pocos los estudios que revelan el efecto de los iones minerales sobre este tipo de plantas

Por lo anteriormente expuesto se planteo el siguiente trabajo cuyos objetivos fueron

a) Determinar la variedad de nopal que muestre mayor respuesta a la aplicación de nitrógeno y b) determinar el efecto de las dosis de nitrógeno en el desarrollo radicular de nopal en la etapa de establecimiento

364 Metodología

Ubicación del Area de Estudio. El experimento se llevó a cabo en el

vernadero de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, ubicada en Marín N.L. la cual se encuentra situada entre las coordenadas 25°53' de latitud norte y 100°03' de longitud oeste con una altitud de 375 msnm.

Conducción del Experimento. Para el establecimiento se utilizaron cladodios de nopal para verdura (*Opuntia ficus indica* L.) variedad "Jalpa" y "Villanueva", las cuales se depositaron en macetas de 25 cm de diámetro por 25 cm de fondo, usando arena sílica como medio de soporte. La plantación se llevó a cabo en el mes de octubre de 1997 y se mantuvieron por un periodo de 7 meses regándose semanalmente con una solución nutritiva estandar a la cual se le varió el contenido de

nitrogeno en tres dosis de fertilizante La composición química de la solución nutritiva utilizada se presenta en el Cuadro 3 la cual ha sido utilizada y recomendada en trabajos anteriores con resultados favorables en plantas de nopal creciendo en condiciones de hidroponia (Calderon 1994)

Diseño Experimental. El experimento se estableció como un factorial bajo un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones correspondiendo una maceta (planta como unidad experimental) Se realizó una prueba de medias (Tukey) para jerarquizar los tratamientos

Tratamientos Evaluados. El factor A correspondió a las variedades Jalpa y Vanueva y el factor B represento los niveles de nitrógeno con 100, 150 y 200 ppm en las unidades nutritivas

Variables Evaluadas. Los parametros que se tomaron en cuenta, se realizaron

con un muestreo destructivo después de 7 meses de que se estableció la plantación, tomando en cuenta las siguientes variables

Rendimiento. Se evaluo cuando mas del 50% de los brotes del nopal alcanzaron su tamaño comercial (20 cm de longitud por 11 cm de ancho) Siendo uno de los criterios para la finalización del experimento asumiendo que la planta de nopal habia expresado su maximo desarrollo de raíz cuando se cosecha en el primer nivel

Porcentaje de Areolas Enraizadas. Se cuantificó el número de areolas ubiertas por el sustrato y el número de estas que emitieron raíces.

Peso Fresco de la Raiz. Se lavaron las raíces con una solución de agua y ácido clorhídrico a 2 / dejándose secar al ambiente durante 2 horas para pesar las muestras

Longitud de raíz. Se tomo en cuenta el máximo crecimiento de las raíces principales de las áreas enraizadas

Cuadro 3. Composición de la solución nutritiva utilizada en el experimento de variedades de nopal con tres niveles de nitrógeno.

Elemento	Conc ppm	Fuente	100 mg L ⁻¹ de N-NO ₃	150 mg .L ⁻¹ de N-NO ₃	200 mg. L ⁻¹ de N-NO ₃
N		Ca NO ₂ 4H ₂ O	0 8220	1 2390	1 2390
		KNO ₃		0 02163	0 3838
P	4	KH PO ₄	0 1756	0 1756	0 1756
K	225	K SO ₄	0 3900	0 37056	0 0591
Ca	21	CaC ₂	0 1850		
Mg	40	MgSO ₄ 7H ₂ O	0 4155	0 4155	0 4155
g para preparar 1000 L de solución patrón					
B	0 6	H BO	3 4320	3 4320	3 4320
Mn	2 0	MnSO ₄ 4H ₂ O	0 6091	0 6091	0 6091
Zn	0 2	Zn SO ₄ 7H ₂ O	0 8794	0 8794	0 8794
Cu	0 1	Cu SO ₄ 5H ₂ O	0 3929	0 3929	0 3929
M	0 5	(NH ₄ Mo O ₄ 4H ₂ O	0 0920	0 0920	0 0920
Fe	5 0	Max quel Fe 930*	71 42	71 42	71 42

*E Fe se ap en f ma de E TA n 7 de Fe

3.6.5 Resultados y discusión

Los resultados de experimento (Cuadro 4) muestran evidencias ($P < .05$) de que se presentó diferencia significativa en los parámetros de rendimiento, porcentaje de areolas enraizadas y peso fresco de la raíz

Cuadro 4. Cuadrados medios de los análisis de varianza de las variables evaluadas en dos variedades de nopal con tres niveles de nitrógeno.

Fuentes de varianza	Rendimiento	% de areolas enraizadas	Peso fresco de raíz	Longitud de raíz
Variedades	22204.37*	582.32*	19147.78*	4160.66*
Niveles de N	667.87	51.06	40.95	76.79
Interacción	2183.6	109.61	1162.48*	385.04*
Error	13.78	53.68	8.79	25.86
C.V.	14.35	14.38%	7.67%	10.52%

Los resultados de la comparación de medias en la producción de nopalito al primer corte muestran una superioridad significativa por parte de la variedad Jalpa sobre la variedad Vanueva con un rendimiento de 254.3 contra 193 gramos por planta con lo cual podemos asumir que la primera es más eficiente que la segunda. La vez que en el desarrollo radical el comportamiento fue inverso.

En cuanto respecta al porcentaje de areolas enraizadas se encontraron diferencias significativas en el factor correspondiente a las variedades utilizadas, resultando la variedad Jalpa con un mayor porcentaje de areolas enraizadas con un

55 84 mientras que la variedad Villanueva presentó un 46% de enraizamiento de
are as s n embargo e desarrollo fue mayor para la variedad Villanueva al presentar
un peso fresco y longitud mas e evados

Para e pes fresco de la raiz se presentaron diferencias significativas en la
ntera con y a rea zar la comparacion de medias de los niveles de nitrógeno
ap cad s dentro de as variedades utilizadas tuvieron un comportamiento diferente en
cada variedad manifestandose un mayor peso en la variedad Villanueva con un
pr med de 147 5 gr por panta mostrando que a mayor cantidad de nitrógeno fue
may r su peso fresco de raz Mientras que la variedad Jalpa presentó un promedio
men r n 91 1 gr por panta y mostro un comportamiento inverso en los niveles de
n trogen n respect a de la vanedad Villanueva es decir a mayor cantidad de
n tr gen en a s u n menor peso fresco de la raiz (Figura 2), aún cuando los
n ve es de 1 y 15 fuer n estad sticamente iguales en ambos casos

Los resultados de longitud de raíz presentaron diferencias significativas en la
ntera n de s d s fa t res eva uados y la comparacion de medias de los niveles
de n tr geno dentr de as variedades presentaron un comportamiento similar al peso
fres de a raz m strando en a variedad Vilanueva una mayor longitud con un
promedo de 61 25 cm resultando el nivel de nitrógeno de 200 ppm el de mayor
ongitud c n 71 cm seguido de nivel de 150 y 100 ppm con 61 8 y 51 cm
respect vamente sendo estad sticamente diferentes Para la variedad Jalpa que tuvo
un pr med de 34 9 a mayor longitud la presentó en el nivel de 100 ppm,
mp rtand se gua e tratamiento de 150 ppm de nitrógeno pero diferente al de 200
ppm m strand una tenden a des endente a medida que aumentaba la concentración
de n tr gen en la solu ion lo anter or se manifiesta gráficamente en la Figura 3

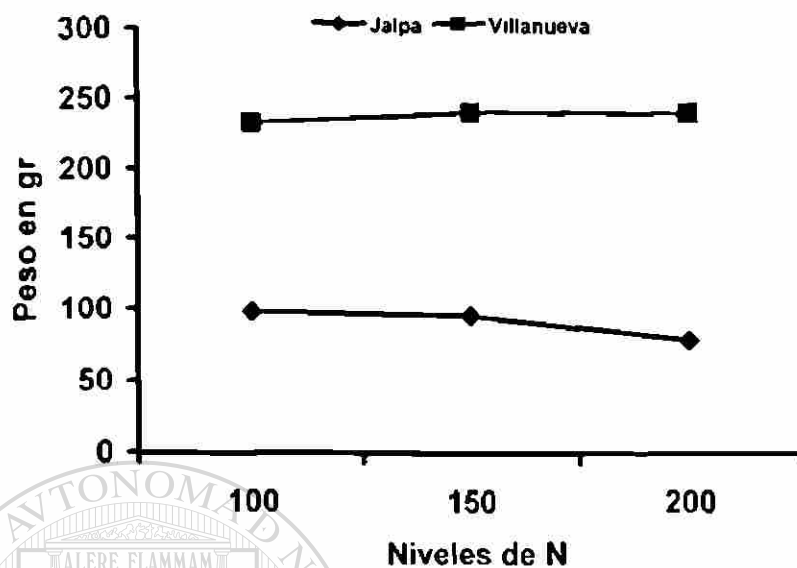


Figura 2. Peso fresco de raíz en nopal con tres niveles de nitrógeno.

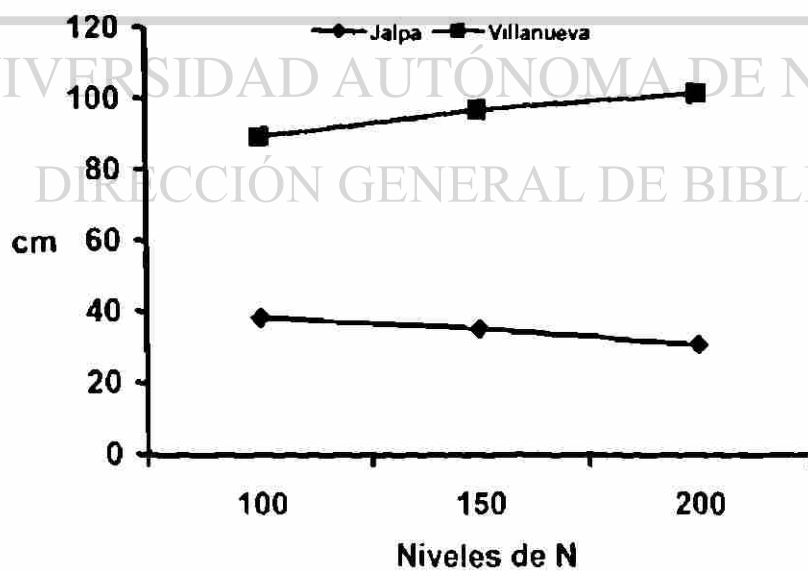


Figura 3. Longitud de raíz en nopal con tres niveles de nitrógeno

En lo general los resultados del desarrollo radical (peso fresco y longitud de raíz) para la variedad Jalpa coinciden con lo reportado por Black 1975, Kolesnikov 1971 y Nobe 1988 al referirse a que un aumento en el contenido de nitrógeno en el suelo reduce el crecimiento de la raíz. Sin embargo, esta misma aseveración contrasta con los resultados presentados por la variedad "Villanueva" al tener un comportamiento inverso dentro de los niveles evaluados y coincidir con Aguilar 1991, que reporta un incremento en el peso fresco de la raíz al hacer inyección de soluciones de Urea al suelo por lo que se asume que las variedades presentan diferente respuesta a la aplicación de nitrógeno.

366 n us nes

Basándose en los resultados de experimento la variedad que presentó la más alta producción por hectárea y un mayor porcentaje de enraizamiento fue la variedad Jalpa.

El comportamiento en el desarrollo radical de las plantas de nopal en su etapa de establecimiento resultó ser diferente de acuerdo a las variedades, mostrando una mayor respuesta a la concentración de nitrógeno la variedad "Villanueva" en lo concerniente al peso fresco y longitud de raíz.

La respuesta de las variedades mostró tendencias diferentes en los parámetros evaluados resultando la variedad Jalpa ser la más eficiente en la absorción de nutrientes manifestando al contrario con un desarrollo radical moderado y producción evaluada en el rendimiento por hectárea.

367 Bibliografía

Aguilar B G 1991 Contribuciones al conocimiento del nopal (*Opuntia spp.*).
Universidad Autónoma de Chapingo 20 p

Baca C G A 199 Deficiencias nutrimentales inducidas en nopal proveniente de
cultivo *in vitro* En J López G y M J Ayala O (Eds) El nopal su conocimiento
y aprovechamiento III Reunión Nacional y I Internacional (memorias) UAAAN
Buenavista Saltillo Mex pp 155-163

Baker C A 1975 Reacción Agua Suelo-Planta Traducido por Rabuffetti, A. Ed Hemisferio
Sur pp 26-32

Caderón P N 1994 Efecto de la salinidad en la producción de materia seca y
absorción nutrimental de plantas micropropagadas de nopal (*Opuntia spp.*)

Tesis profesional División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma
Chapingo Chapingo México

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Cruz H J P López G y Baca C 1990 Inducción de deficiencias de
magnésio y de Fe en nopal tunero (*Opuntia spp.*). En J J López G y
M J Ayala O (Eds) El nopal su conocimiento y aprovechamiento, III Reunión
Nacional y Internacional (memorias) UAAAN Buenavista, Saltillo, Méx. pp
215-224

Fores V C A 1997 La producción de nopalito en México Conocimiento y
aprovechamiento del nopal 7 Congreso Nacional y 5º Congreso Internacional

UANL Monterrey Mexico pp 28-38

Fores V C A J M De Luna E y P P Ramirez 1996 Mercado mundial de nopalito.

ASER A CIE TAM UACH Chapingo Edo de México 145 p

Legasp G A 1987 Distribución de raíces de nopal (*Opuntia Amyclaea*, Tenore) en
cepas desarrolladas bajo tres materiales de relleno en suelos degradados.

Tesis de Maestría Colegio de Postgraduados 75 p

Glink J y W Ste newsk 1985 Soil aereation and its role for plants. CRC Press

in Boca Raton Florida pp 137-145

K esn v V 1971 The root system of fruit plants. Traslated from the russian by L

Ak en va Mir Pub shers pp 53-54 103

N be P S 1983 Nutrient levels in cacti-relation to nocturnal acid accumulation and
growth Amer J Bot 70 8 1244-1253

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

N be P S y T L Harts k 1986 Influence of nitrogen and other nutrients on the
growth of agave desert. J of Plant nutrition 9 (10) 1273-1288

N be P S 1988 Environmental biology of agaves and cacti Cambridge University
Press USA 166 p

N be P S 1994 Remarkable agaves and cacti Oxford University Press New York,
USA 166 p

3.7. Experimento 2. Analisis de crecimiento radical en cuatro variedades de nopal *Opuntia ficus indica* (L.) Mill.

Root growth rate analysis in four *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill, varieties.

371 Resumen

Los objetivos de presente estudio fueron determinar la tasa de crecimiento y las diferencias morfológicas de raíces de cuatro variedades de nopal bajo condiciones controladas. El trabajo se llevó a cabo durante 54 días. Durante los primeros 12 días, se midió el crecimiento diario de las raíces visibles a través del cristal de los contenedores en donde se realizó la investigación. Al final, se llevó a cabo un muestreo destructivo para evaluar otras variables. La velocidad de crecimiento radical presentaba entre 1.44 y 1.95 cm día⁻¹. Se encontró que el 87% de las raíces se concentraron en el estrato de 2 a 8 cm de profundidad por tan sólo 13% en el estrato de 12 a 14 cm y las variedades mostraron diferente comportamiento en las características morfológicas.

Palabras clave: Nopal, raíces, desarrollo, profundidad

372 Summary

The objectives of this study were to determine the root growth rate and morphological differences of four Mexican prickly pear varieties under controlled conditions. Day measurements of root growth and penetration were taken using crystal containers. The study was complemented with a destructive sampling carried out 54 days after planting. It was found that growth rate ranged from 1.44 to 1.95 cm day⁻¹.

Also we found that 87% of the total amount of roots were located in the top 8 cm. The rest were found at depths between 12 to 14 cm.

Key words: Prickle pear, root system, development, morphology

3.7.3 Antecedentes

En México como en la mayoría de las especies cultivadas, el producto de interés comercial se ubica en su parte aérea ya sea para cosecha de tuna o nopalito. Pero al igual que en otras especies la gran mayoría de estudios nutrimentales hacen énfasis principalmente en aspectos fenológicos de la parte aérea, rendimiento y calidad del producto. En contraste son pocos los estudios encontrados que describen el desarrollo del sistema radicular en respuesta a variables de manejo del cultivo (Zúñiga et al. 1998, Zúñiga et al. 1999). Un mejor conocimiento de cómo esta especie desarrolla su sistema radicular podría contribuir a hacer un uso más eficiente de agua y

fertilizantes al indicar cómo pueden hacerse aplicaciones más localizadas de estos nutrientes.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

El análisis de crecimiento ha sido utilizado para estimar las reacciones de las plantas a las diferentes condiciones de manejo de los cultivos, así como para comparar el rendimiento de diferentes cultivos y especies en condiciones similares de crecimiento. Martínez (1995). Para una planta o cualquier organismo, el análisis de crecimiento ha sido definido como un proceso cuantitativo relacionado a un incremento irreversible de tamaño que está generalmente unido a un incremento de peso seco, susceptible de medirse expresándolo como aumento de longitud o diámetro del

cuerpo vegetal (Berner y Galston 1973). Por otro lado, Crofts *et al.*, (1971) indican que el crecimiento ocurre en número y tamaño señalando además que puede medirse como el incremento de materia seca contenida en un vegetal.

El crecimiento de la raíz se lleva a cabo principalmente en el meristemo apical y cambium. El primero está asociado con crecimiento longitudinal y la determinación de la dirección se basa en los fenómenos de geotropismo e hidrotropismo. El cámbium está asociado con cambios en el diámetro o grosor de la raíz (Calderón, 1977). De acuerdo con Nabe (1997) los cambios morfológicos y anatómicos en la raíz de nopal son muy pocos en plantas de un mes de edad expuestas a sequía en suelos inicialmente húmedos; esto se debe a la formación de cubiertas de suelo alrededor de la raíz, entre azadas, en exudados y pelos absorbentes. En general, el desarrollo radicular de la planta de nopal se presenta en el estrato superior del suelo, entre cero y diez centímetros de profundidad, donde se desarrolla el 96% de la masa radical, encontrándose sólo un 3% en el estrato de 18 a 36 cm (Zuñiga *et al.*, 1999). Este tipo

de comportamiento en el desarrollo de la raíz del nopal es el observado al desarrollarse en ambientes sin imitaciones de fertilidad, humedad disponible, temperatura y compactación de suelo (Głnski and Steoniewski, 1985; Taiz and Zeiger 1991).

Debido a que la absorción de los nutrimentos por la planta, así como el manejo de suelo y agua dependen de las características del suelo y de la distribución y cantidad de raíces absorbentes de la raíz se realizó este trabajo con el objetivo de determinar las diferencias morfológicas de la raíz en cuatro variedades de nopal y su velocidad de crecimiento en condiciones controladas.

3.7.4 Metodología

El trabajo de investigación se estableció el 17 de agosto de 1999, en el área de invernaderos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León ubicada en Marín Nuevo León México (25° 53' latitud norte, 100° 03' longitud oeste y una altitud de 375 msnm). Se utilizó material vegetativo de cuatro variedades de nopal para verdura provenientes del Programa de Mejoramiento de la propia Universidad. Los genotipos se seleccionaron en base a su adaptación a las condiciones de la región en ve de producción y calidad mostrados en estudios previos (Vázquez et al., 1999) siendo las variedades utilizadas Jalpa, Villanueva, Liso Frajero y Copena. Las plantas fueron encajadas durante tres semanas después de su corte. Los materiales se plantaron en contenedores de vidrio con dimensiones de 4 cm los cuales se llenaron con arena sílica como medio de soporte y fueron regados con una solución nutritiva estandar que ha sido utilizada y recomendada en trabajos anteriores con resultados favorables en condiciones de hidroponía (Calderón,

1994; Zúñiga y Vázquez, 1998)

La tasa de crecimiento radical se realizó a través de una pared de cristal de los contenedores. Esto permitió la medición diaria del crecimiento de la raíz en forma longitudinal durante los 8 días iniciales del crecimiento. El tiempo en que la exposición de las raíces permitiera su medición. Para lo anterior de cada planta se seleccionaron y marcaron ocho raíces a momento de ser visibles a través del cristal. Se utilizó un marcador fluorescente para indicar sobre el cristal el crecimiento correspondiente a cada día. A los 54 días después de la plantación en coincidencia con el inicio de brotación de las plantas se realizó un muestreo destructivo para evaluar la abundancia radical, capacidad de ramificar y densidad de pelos radicales. Los datos

de estas tres variables se generaron mediante apreciación visual de una muestra de 10 personas seleccionadas al azar de la comunidad de estudiantes y maestros de la Facultad de Agronomía de la Universidad. Se asignó un puntaje entre 50 y 100 para cada variedad utilizada. El valor de 100 se asignó a la variedad con mayor abundancia radial total, capacidad de ramificación y densidad de raíces secundarias. Lo anterior se complementó con los parámetros de peso seco, longitud y diámetro de raíz, a los que se les practicó un análisis de varianza.

3.7.5. Resultados y discusión

En la Figura 4 se presentan los resultados obtenidos en la tasa de crecimiento de la raíz. Puede observarse que el tiempo transcurrido entre la plantación y aquel en que fueron visibles las raíces en la pared de cristal del contenedor fue diferente para los genotipos estudiados. La variedad Liso Forrajero mostró la mayor precocidad en la emisión de raíces al hacerlas visibles a través del cristal 5 días después de la

plantación (ddp). Esto coincide con lo reportado por Fabri *et al.* (1996), quien indica que la aparición de meristemo apical de la raíz se presenta transcurridas las primeras 48 horas después de la plantación de cladodios de un año. Para lo anterior habrá que considerar la distancia entre las áreas y el cristal que en este caso en particular fue de 10 cm. La variedad Copena V1 resultó ser la más tardía al mostrar hasta nueve ddp raíces a través de cristal de contenedor. Las variedades Jalpa y Villanueva, tuvieron una aparición intermedia (siete ddp) con respecto a los valores de las otras dos variedades. En lo referente a crecimiento longitudinal, las medias de los valores obtenidos se compararon de menor a mayor con respecto a la fecha de aparición. Liso Forrajero presentó una tasa de crecimiento promedio de 1.4 cm día⁻¹ contra 1.95 cm día⁻¹ de la variedad Copena V1. Jalpa y Villanueva tuvieron valores de 1.85 y 1.70 cm

d a respectivamente

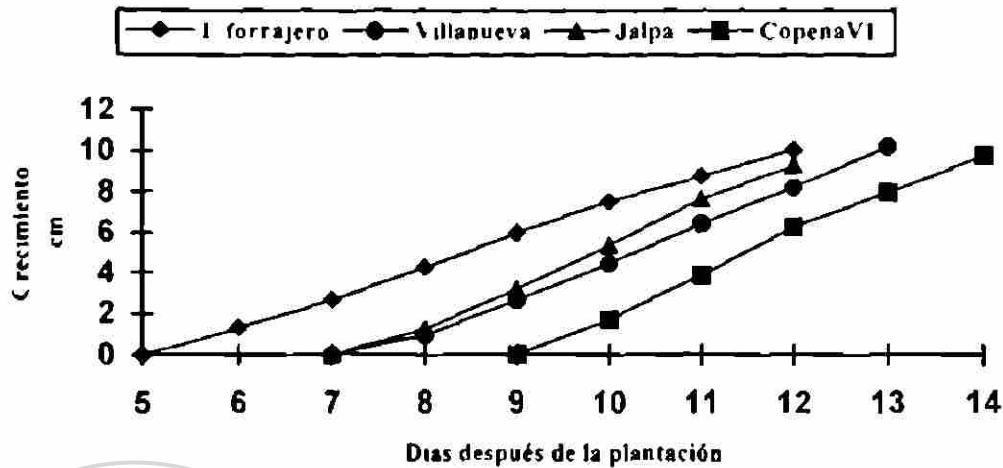


Figura 4. Tasa de crecimiento de raíz de cuatro variedades de nopal *Opuntia ficus indica*.

En el Cuadro 5 se muestran los resultados de abundancia y densidad de raíces obtenidos mediante la aplicación visual directa. En lo referente a la abundancia radical sobresalen sus valores registrados a la variedad Villanueva con un promedio de 95.5 el

cual resulta estadísticamente similar al presentado por la variedad Jalpa pero superiores a las variedades Lso Forrajero y Copena V1. Para las variables de capacidad de ramificar y densidad de pelos radicales los valores máximos los presentó la variedad Jalpa con una capacidad de 97.5 y 95.5 respectivamente siendo estadísticamente superiores a los valores presentados por las otras variedades.

Los resultados de la comparación de medias en el parámetro de longitud (cm), diámetro (mm) y peso seco de raíz (g) (Cuadro 6) muestran que la variedad Villanueva fue la que presentó sus valores más altos siendo estadísticamente igual a la variedad Jalpa en longitud mientras que en el diámetro de raíz su comportamiento fue

estadísticamente igual a la variedad Copena V1. Estos resultados contrastan con

Cuadro 5. Medias de tratamiento de algunas características del sistema radical de cuatro variedades de nopal *Opuntia ficus-indica*.

Variedad	Abundancia radical	Capacidad de ramificar	Densidad de pelos radicales
Liso Forrajero	71.5 b	77.0 b	74.5 b
Villanueva	95.5 a	70.0 b	66.0 b
Jalpa	88.0 a	97.5 a	95.5 a
Copena V1	70.5 b	73.5 b	75.5 b
DMS	9.757	9.1108	11.1276

Los resultados en las variables de apreciación donde la variedad Jalpa supera en el desarrollo a la variedad Villanueva situación que se explica debido a que la cantidad de materia seca en la variedad Jalpa se distribuye en pelos radicales mientras que la variedad Villanueva lo hace en mayor diámetro de raíz principal, como se aprecia en la Figura 5. Aunado a lo anterior los valores tan pequeños del diámetro y peso seco obtenidos son más susceptibles de error (Bohmer 1979) por lo cual se hace necesario implementar una técnica para evaluar en forma cuantitativa los pelos radicales que es donde se presenta la diferencia en los resultados.

Al cuantificar la profundidad de crecimiento de la raíz se utilizó el plano de papeletas de papel seco que a su vez sirvió como separador de las variedades en las contenedores utilizados.

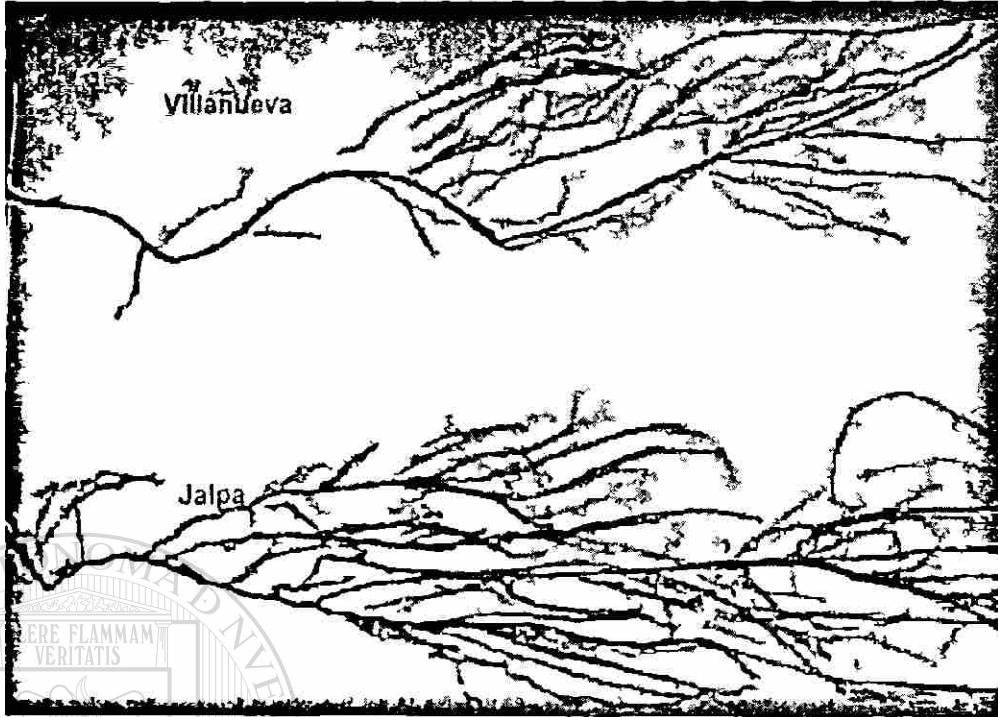


Figura 5. Distribución de la biomasa radical en dos variedades de nopal *Opuntia ficus-indica*.



Figura 6 Profundidad y plano de distribución del crecimiento radical de dos variedades de nopal *Opuntia ficus-indica*

Las raíces se incrustaron en la lamina de poliuretano indicando claramente la profundidad a la que lograron crecer

Se encontro que un 87% de todas las raíces se ubicaron en el estrato de 3 a 8 cm y 13 entre 12 y 14 cm de profundidad

Esto coincide con lo reportado por Zúñiga y Vázquez (1999) y que es presentado en la Figura 6 Cabe señalar que la dirección de las raíces se dio de manera horizontal aun cuando el poliuretano mostraba mayor resistencia a la penetración que el mismo sustrato mientras que en el cristal chocaron y crecieron sobre la pared internandose en el sustrato despues de 10 cm de profundidad sin llegar a tocar fondo ya en el interior del mismo

Cuadro 6. Longitud total, diametro y peso seco de raíz de cuatro variedades de nopal *Opuntia ficus-indica*.

Variedad	Longitud de raíz	Diametro de Raíz	Peso seco de raíz
Liso forrajero	58 25 bc	1 8250 b	0 5880 b
Villanueva	72 25 a	2 6000 a	0 9445 a
Jalpa	68 67 ab	1 9000 b	0 4937 b
Copena VI	50 2 c	2 0750 ab	0 5400 b
DMS	11 9393	0 5934	0 2129

3 7 6 Conclusiones

La materia seca de la raíz se distribuyó de diferente manera en las variedades estudiadas en algunas se produjeron mayor cantidad de raíces secundarias

La tasa de crecimiento de raíz de nopal *Opuntia ficus-indica* en su periodo de establecimiento es diferente en las variedades evaluadas, la cual varió entre 1.44 y 1.95 cm día

La profundidad de desarrollo de la raíz de nopal se presentó principalmente en el estrato entre 0 y 16 cm de profundidad

3 7 7 Bibliografía

Berner J y A Gastón 1973 Principios de fisiología vegetal Ed Aguilar España 485

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Bharm W 1979 Methods of studying root systems Springer-Verlag Berlin

Heideberg Germany 190 p

Caderín A E 1977 Estructura y fisiología de la raíz Fruticultura general primera parte Ed E C A pp 43 54

Crofts C D Kaushik P Martín y J Patrik 1971 Los vegetales y sus cosechas Fundamentos de agricultura moderna AEDOS Barcelona España 245 p

Fabbri A A Cicala A Tambunno 1996 Anatomy of adventitious root formation in *Opuntia ficus indica* cladodes Journal of Horticultural Science. 71:2, 235-242; 10 pl

G nski J y W Stepn ewski 1985 Soil aereation and its role for plants. CRC Press Inc B ca Raton F orda pp 137 145

Mart nez M J 1995 Est mac on de la eficiencia del agua mediante mediciones de intercambio de gases y ana sis de crecimiento en tres especies cultivadas Tes s de maestr a F A U A N L Mar n N L Mexico

N be P S 1997 Re entes descubrim entos ecofisiologicos en *Opuntia ficus-indica* C n ment y Apr vechamiento del nopal VII Congreso Nacional y V Interna na M nterrey N L Mexico pp 11-20

Vazquez A R E Sa nas G G Ga egos V C y Valdez C R 1999 Recolección y c nserva n ex stu de la dversidad genetica del nopal en el noreste de Mex C n ment y aprovechamiento del nopal VIII Congreso Nacional y V Interna na A S L P San Luis Potosi Mexico pp 19-20

Taz L y E Zeger 1991 Pant physiology The Benjamin/Cummings Publishing C mpany In Redw d C ty Ca fornia pp 282-367

Zun ga T R y R Vazquez 1998 Respuesta radicular de dos variedades de nopal a tres d s s de n tr geno bajo condiciones de hidroponia Seminarios primavera F A U A N L Mar n N L Mexico pp 96-102

3.8. Experimento 3. Desarrollo radical de nopal *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill en diferentes condiciones de suelo con relación al rendimiento y concentración nutrimental

Root growth, yield and nutrimental concentration in *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill as affected by several soil conditions.

3 8 1 Resumen

Se estudiaron los factores que afectan el desarrollo de la raíz, dentro de éstos se encuentran aquellos que dependen de la especie vegetal, hábitos de crecimiento y algunas variables ambientales. El objetivo de este trabajo fue determinar la influencia que ejercen las condiciones de suelo dadas por la aplicación de estiércol bovino con respecto a la producción de nopalito y su relación con el crecimiento radical. La plantación se condujo durante 18 meses con tratamientos formados por la dosis de

abono (1 y 3 toneladas de estiércol bovino) y la profundidad de aplicación (0-18, 18-36 y 36-54 cm) además de un testigo sin abono. El experimento se estableció bajo un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones donde se evaluaron variables de respuesta para raíz y producción de nopalito encontrándose que la mayor producción se presentó en las dosis aplicadas en el estrato superior sobresaliendo la dosis de 100 toneladas por hectárea teniendo un crecimiento radical inversamente proporcional a la producción en todos los tratamientos.

Palabras clave: Nopal, desarrollo radical, aplicación de estiércol

3 8 2 Summary

Several factors affect root growth such as variety, environmental factors and soil types. The main objective of this study was to determine soil variables that are affected by manure application and their influences on prickly pear production and root growth. The experiment was conducted during 18 months using one treatment of chemical fertilizer and cow manure at 100 and 300 ton ha¹, combined with 0-18, 18-36 and 36-54 cm depth. Likewise one control was placed to have 10 treatments, with four replications. The experimental design used was a randomized complete block and the main parameters evaluated were root development and yield per hectare of prickly pear *puntilla* spp. in different soil conditions. The highest yield was produced with the level of 1 t n ha¹ applied at depth 0-18 cm which produced a root growth inversely proportional to the yield in the treatments.

Keywords: Prickly pear, root growth, manure application

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

3 8 3 Antecedentes

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Existen varios factores que afectan el desarrollo de la raíz. Entre ellos se encuentran factores que dependen de la especie vegetal, hábito de crecimiento, y algunas variables ambientales como la concentración del O₂, la temperatura y el estado hídrico de la planta (Taz y Zeiger 1994).

La importancia de estudio del comportamiento de los patrones de extracción y los factores que influyen es de gran interés dado que es el conducto por el cual las

plantas se satisfacen de agua y nutrientes para su desarrollo permitiendo un aumento en la superficie de exploración. Este comportamiento del desarrollo radical está fuertemente influenciado por la compactación del suelo dado que aumenta la densidad aparente reduce la velocidad de infiltración y disminuye la aireación del suelo. Estos factores contribuyen a restringir el desarrollo de la raíz tanto longitudinal como radialmente lo cual a su vez limita la absorción de agua y nutrientes. Lo anterior, generalmente reduce el desarrollo, calidad y producción. (Unger y Kasper, 1994). Además de la compactación existen otros factores que afectan la aireación en el suelo. Tal es el caso de prácticas de drenaje agrícola inadecuadas que crean condiciones de inundación y reduciendo considerablemente el intercambio de gases en el suelo. Una detención de las condiciones ideales para un adecuado intercambio de gases en el sistema raíz suelo-atmósfera como lo son suelos bien drenados con buena estructura y porosidad de gases (Taiz y Zeiger 1991).

En el aspecto nutricional existe un reconocimiento generalizado entre productores

e investigadores en el sentido de que a pesar de que el nopal se ubica como una planta rústica ésta responde favorablemente a la aplicación de abonos ya sea orgánicos o químicos (Pimental 1990, Mondragón y Pimental 1990). En general, los ensayos han tenido una buena práctica, los cuales indudablemente han contribuido a la adopción de esta labor cultural. Sin embargo, el nopal como la mayoría de los cultivos manifiesta su producción en la parte aérea, lo que explica por qué gran parte de la investigación agrícola se refiere a los rendimientos aéreos. Pocos investigadores consideran la influencia que ejercen las condiciones de suelo en la disponibilidad de nutrientes y distribución de raíces y estas a su vez sobre la producción. Por esta razón, se considera necesario destinarle mayor atención y contar con más elementos básicos para generar recomendaciones a respecto.

Particularmente sobre el uso del estiércol como abono al suelo, las evidencias muestran ampliamente los beneficios cuando éste se utiliza de manera adecuada, mejorando la calidad del suelo al incidir en las propiedades físicas, biológicas y químicas. No obstante no deben esperarse grandes cambios en pocos años, particularmente en lo que respecta a las propiedades físicas ya que para lograr cambios significativos se requieren grandes cantidades de estiércol lo que traería consigo una degradación de las propiedades químicas y la disminución de la calidad del suelo. Aun cuando el lugar más idóneo de depósito de estiércol es el suelo sobre todo de donde se dispone de cantidades tan grandes que llega a ser un problema como es el caso de los corrales de la producción lechera este debe hacerse con un manejo adecuado que no produzca contaminación y proporcione al suelo una serie de ventajas desde el punto de vista nutricional. Las propiedades físicas del suelo serán mejoradas con cambios a menudo lentos y difíciles de percibir en el corto plazo. Sin embargo existen muchas discrepancias en cuanto a las recomendaciones de las dosis además del desconocimiento generalizado de los efectos que provocan en el desarrollo y distribución de raíces

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Por lo anterior es importante considerar la influencia que ejercen las condiciones de suelo en la distribución de raíces y de éstas sobre la producción. El objetivo del presente estudio fue de determinar el patrón de desarrollo radical dados por la aplicación de estiércol bovino en tres profundidades y su influencia en el rendimiento de la planta de nopal.

3.8.4 Método

La planta de nopal cosechada al primer nivel (planta madre), se condujo durante el periodo comprendido entre julio de 1998 y enero de 2000 con diez

tratamientos formados por la dosis de estiércol y la profundidad de aplicación. En este periodo se hicieron tres evaluaciones para cuantificar el desarrollo radical con muestreos destructivos utilizando el método del monolito o bloques descrito por Kresnikov (1971). Se utilizaron cladodios de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) que se plantaron en contenedores de 0.648 m³ con dimensiones de 1 m de largo por 1.2 m de ancho y 0.54 m de profundidad llenándose de suelo y dividiendo la profundidad en tres estratos de 0.18 m. Cada estrato representó un nivel del factor en estudio, correspondiendo a otro factor las dosis de estiércol utilizadas de 100 y 300 ton ha⁻¹ con la concentración mostrada en el Cuadro 7 añadiéndose un nivel de fertilizante químico equivalente a 100 ton de estiércol. Estas dosis se combinaron con el factor que representa la profundidad de aplicación de 00-18, 18-36 y 36-54 cm, formando nueve tratamientos a los cuales se les agregó un testigo con la fertilidad natural del suelo. Cuadro 8 quedando T1 f. mineral 00-18, T2 f. mineral 18-36, T3 f. mineral 36-54, T4 10 t 00-18, T5 10 t 18-36, T6 100 t 36-54, T7 300 t 00-18, T8 300 t 18-36, T9 300 t 36-54 y T10 sin aplicación.

Cuadro 7. Concentraciones mineral del estiércol utilizado.

Nitrogeno	Fosforo	Potasio
3.9	0.46 %	4.12 %

Cuadro 8. Analisis de suelo al inicio del experimento.

N NO ppm	P ppm	K ppm	MO (%)	CO tot (%)	pH	CE
2.5	16	298	1.61	3.71	8.54	17.8

El experimento se estableció bajo un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones correspondiendo un contenedor con cuatro plantas como unidad experimental

Las variables evaluadas fueron peso seco de raíz, longitud de raíz, diámetro de raíz, porcentaje de enraizamiento, producción de materia seca, número de brotes por planta, concentración de nutrientes en planta y fertilidad de suelo.

3.8.5 Resultados y discusión

La cuantificación de raíz de acuerdo a su peso seco (Cuadro 9) muestra en lo general que el desarrollo radical de la planta de nopal se presenta en el estrato superior a la guapa que reportada por Zuñiga y Cueto (2001) encontrándose que a una profundidad entre 0 y 18 cm esta planta desarrolla el 96% de abundancia radical, correspondiendo un 3% a profundidad de 18-36. En el estrato de 36-54 cm, sólo

se encuentran trazas de raíz estimándose en un 1%. Este comportamiento en el desarrollo radical se asume que está dado por la especie al eliminar las variables ambientales como temperatura, contenido de humedad y compactación del suelo (Gonsk y Stepienewski 1985, Taiz y Zeiger 1991)

Los resultados de los análisis que complementan las variables de raíz (Cuadro 9) presentan diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, cuyos valores estadísticos fueron el promedio obtenido de los tres muestreos destructivos realizados durante el desarrollo de cultivo.

Cuadro 9. Peso seco de raíz (g) por plantas en nopal en función del tipo, la cantidad de abono y profundidad de aplicación.

Tratamiento		Estrato 0-18			Estrato 18-36		
Dosis	Profundidad	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3
		22/X/98	15/V/99	5 I/2000	22/XII/98	15/VI/99	5/II/2000
1 t/ha	18-36	3 822 a	3 7617 b	3 7370 c	1098 a	1378 a	1147 c
Mea	1-36	2 4260 b	2 408 c	2 2782 cd	1010 a	1245 ab	0723 cd
300 ton/ha	36-54	2 995 bc	2 7243 c	2 9227 cd	1061 a	1408 ab	0951 cd
Mea	36-54	2 251 bcd	6 641 a	3 2070 cd	1048 a	1355 bc	0982 cd
Mea	18	2 155 bde	3 5965 b	3 0455 cd	1075 a	1595 cd	0921 cd
1 t/ha	1	1 992 cde	2 521 c	6 7228 a	1142 a	1708 d	2164 a
1 t/ha	1	1 557 de	2 4343	6 3698 a	1200 a	1830 d	2004 a
Teig		1 757 ef	2 5443 c	3 8465 bc	1130 a	1700 d	1123bc
1 t/ha	18-36	1 345 fg	2 7475 c	5 5133 ab	1035 a	1308 d	1612 ab
1 t/ha	36-54	1 2847 g	3 5098 b	3 1344 cd	1048 a	1245 d	0931 cd
		X = 2 12	X = 3 289	X = 4 07	X = 0 1094	X = 0 1084	X = 1200
			96			3°	

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

La longitud de raíz se determinó en la masa radical encontrada en el estrato superior 18 m

El comportamiento de los tratamientos se muestra en la Figura 7. Puede apreciarse que los tratamientos del abono aplicados en el estrato superior presentan una tendencia similar a la de testigo. Sobresale el tratamiento de 300 toneladas por hectárea en un valor de 4 25 mg estadísticamente superior al de los tratamientos 1 y 4, correspondientes a fertilizante mineral y 100 toneladas de estiércol, respectivamente

Una situación similar se presenta en los valores obtenidos cuando los tratamientos del abono aplicado se realiza en el estrato inferior (36-54 cm) los cuales presentan en lo general mayor longitud independientemente de la cantidad de abono aplicado. Sin embargo, de toda de los tratamientos el que comprende el fertilizante mineral aplicado en el estrato inferior que a su vez es estadísticamente igual al tratamiento de 3 toneladas de estiércol aplicadas a una profundidad de 18-36 cm.

De acuerdo a estos resultados el desarrollo en la longitud de raíz estuvo determinada por el fenómeno de quimiotropismo toda vez que el abono fue aplicado en la parte más distante de los contenedores por lo que la planta desarrolló una mayor longitud tratando de dar alcance a los nutrientes.

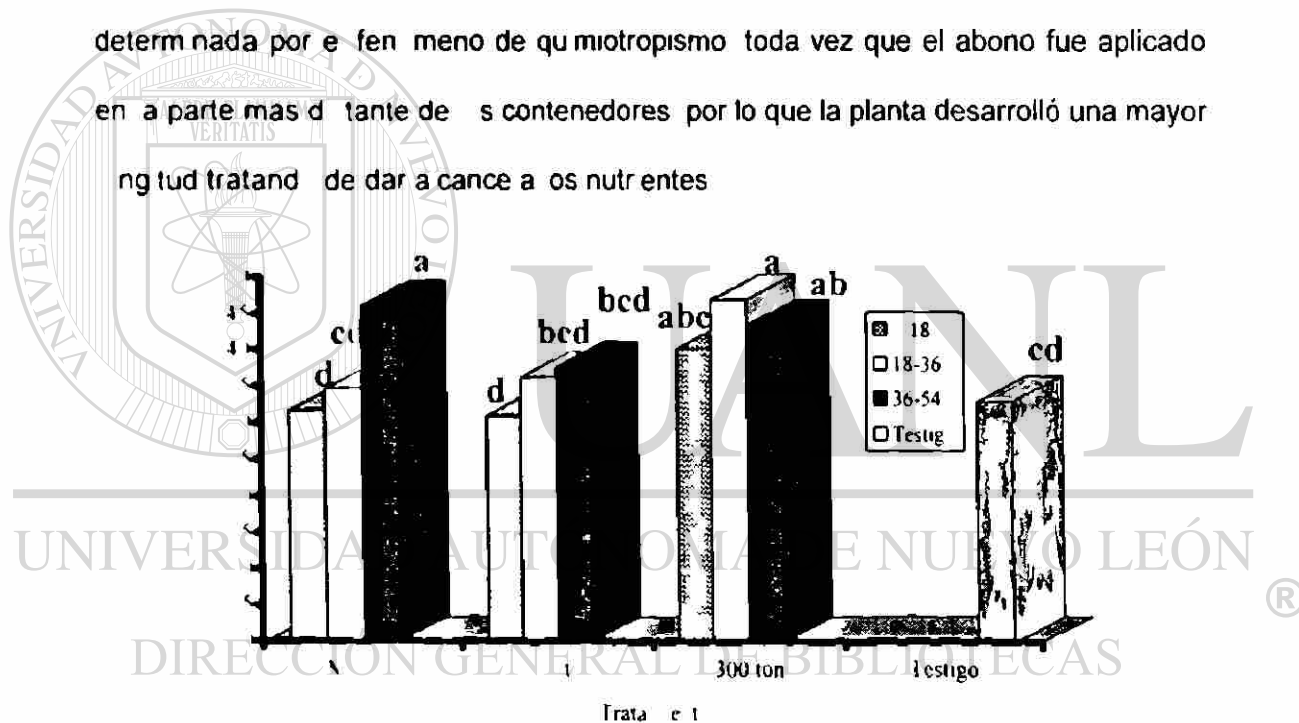


Figura 7. Longitud de raíz en nopal a diferentes dosis de estiércol bovino y profundidades de aplicación.

El comportamiento de diámetro radicular se puede interpretar como similar en todos los tratamientos generados incluyendo el testigo. Con excepción de aquellos formados por dosis de 10 ton de estiércol en sus tres profundidades, donde su

comportamiento tiene una marcada tendencia ascendente cuando el nivel de aplicación es más profunda (Cuadro 10) situación similar a la mostrada en el parámetro de longitud de raíz (Figura 7)

El porcentaje de enraizamiento en nopal fue determinado por el número de areolas abiertas por el sustrato cuantificándose el número de las que emitieron raíces

Cuadro 10. Comparación de medias del diámetro de raíz y porcentaje de areolas enraizadas de nopal con abono y profundidad de aplicación.

Tratamientos	Diámetro de raíz (mm)	Areolas enraizadas (%)
M nera 18	3 05 a	40 00 ab
1 t 36 54	2 95 a	22 75 c
M nera 36 54	2 70 ab	40 25 ab
3 t 36 54	2 55 ab	40 00 ab
3 t 18	2 45 abc	39 00 ab
1 t 18 36	2 32 bc	36 00 ab
3 t 18 36	2 22 bc	29 50 bc
Te t g	2 20 dc	45 00 a
M nera 18 36	2 15 dc	30 25 bc
1 t 18	1 85 c	32 00 bc

Los resultados muestran en lo general que los tratamientos tuvieron un comportamiento similar al Cuadro 10. Esto coincide con lo reportado por Zúñiga y Vázquez 1998 al probar dosis de nitrógeno en la misma variedad, por lo que se

puede asumir que las condiciones en las cuales se inicia el crecimiento radical está en función de la cantidad de luz y las condiciones de humedad existentes en el sustrato como lo menciona Aguilar (1991) aun cuando en este caso el tratamiento de 100 toneladas aplicado en la profundidad de 36.54 presente el menor porcentaje situación que explica a significancia en los tratamientos

Aunado al rendimiento de nopalito (Cuadro 11) destacan notablemente los tratamientos de estercol aplicados en el estrato de 0-18 basando la superioridad en la cantidad de la producción

Cuadro 11. Comparación de medias del rendimiento de nopalito, de acuerdo con la cantidad y profundidad de aplicación del abono.

		Rendimiento en ton h ⁻¹							
D	P	1	2	3	4	5	6	7	8
1 t ha	18	2.98a	4.8ab	8.24a	5.75a	4.06a	5.10a	16.2a	13.5a
1 t ha	18	1.98a	5.08a	6.81b	5.09a	2.6ab	4.32a	14 ab	12 ab
1 t ha	1.36	2.36a	4.6a	5.7bc	2.7bc	1.8bc	2.84b	11 bc	10.6bc
Mne a	18	2.34a	3.3bd	6.9ab	3.52b	1.1bc	1.34c	14 ab	10.1cd
1 t ha	1.36	1.98a	3.6bd	4.4ce	1.8cd	0.83c	2.1bc	12 bc	9.8 cde
Mne a	1.36	2.2 ^a	3.8a	3.7ce	7.2de	8.2bc	1.10c	9.51c	7.48 f
1 t ha	36.54	2.34 ^a	2.9cd	3.2de	4.9de	1.55c	1.15c	10.2c	9.3ce
M e a	36.54	1.2 ^a	3.1bd	4.2ce	5.1de	1.9bc	1.7bc	12 bc	8.2ef
1 t ha	36.54	1.40 ^a	3.7bd	3.16e	2.83e	8.3bc	1.49c	10.1c	8.7df
Te t g		1.71 ^a	1.99d	5.5cd	9.1de	9.7bc	1.54c	10.5c	8.3ef

Esta situación contrasta con el resto de los tratamientos al observar los resultados en la comparación de medias por lo que se asume que se vieron afectados

en su rendimiento en el periodo invernal (Figura 8). Esta situación es similar a la mencionada por Vazquez y Guegas (1995) quienes encontraron mayor respuesta en la producción de nopal cuando aplicaron dosis altas de estiércol en invierno.

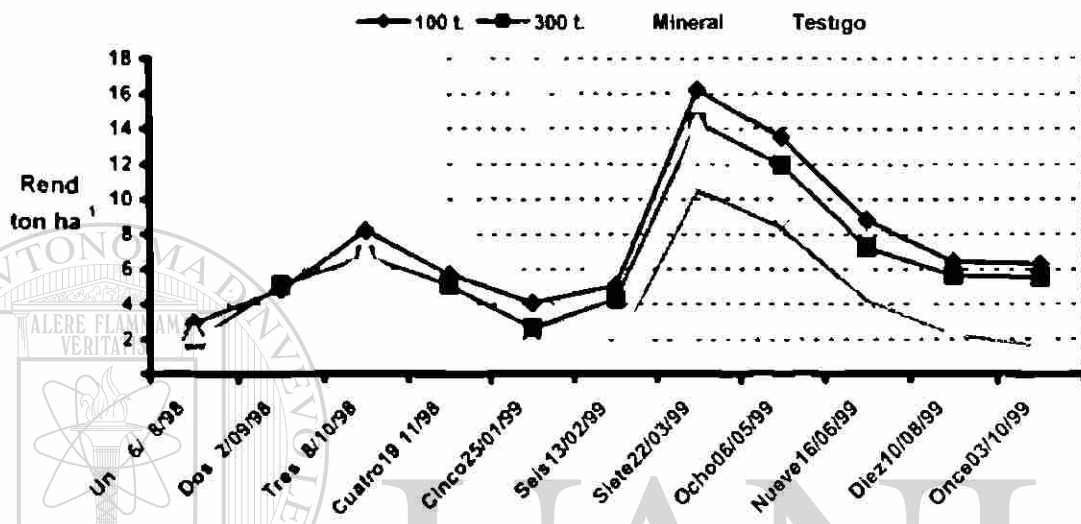


Figura 8. Rendimiento de nopal a través del tiempo a diferentes niveles de estiércol bovino aplicado en el estrato superior del suelo.

Dentro de este mismo parámetro se presenta la producción de materia seca cuadrado en m² y una proporción de 10% con respecto al rendimiento de nopal. Este número es reportado por Flores y Aguirre (1992) la que a su vez fue determinada por el número de brotes por planta presentado toda vez que uno de los criterios para seleccionar el tamaño de brote al considerar largo por ancho.

La relación de la producción acumulada de nopalito, en los tratamientos estudiados, en el desarrollo de las plantas (Figura 9) se presenta con una proporción inversa entre la producción de nopalito y el desarrollo radical por lo cual podemos asumir que los fitosistemas generados los utiliza la planta para desarrollar la

parte aerea a tener satisfechas las necesidades de nutrientes proporcionadas por el medio a través de la raíz reafirmandose al tomar en cuenta lo reportado por Zúñiga y Vazquez 1998 a evaluar diferentes dosis de nitrógeno y variedades donde la variedad Jaapa estaba incluida y presentando el mismo comportamiento

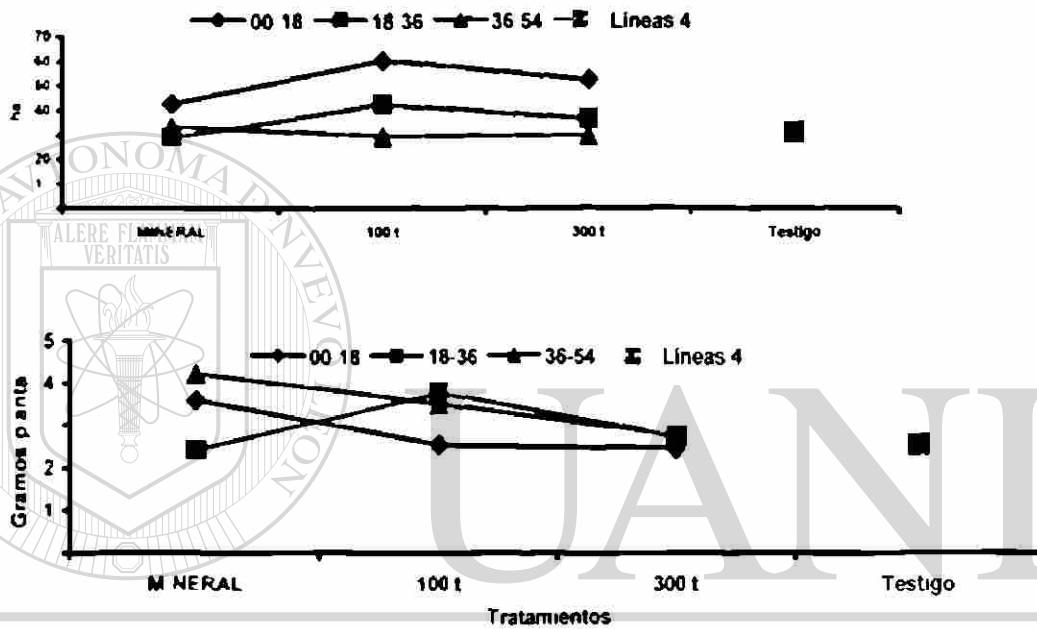


Figura 9 Producción acumulada y patrón de desarrollo radical del nopal a diferentes niveles de estiércol bovino y profundidades de aplicación.

La concentración de los micronutrientes encontrados en los nopales (Cuadro 13), tuvieron en general un comportamiento similar con respecto al testigo para el Nitrógeno, Fosforo y Magnesio por lo que no es posible determinar la influencia de los tratamientos evaluados sin tomar en cuenta lo complicado y variadas que son las respuestas debido a las interacciones entre los elementos en el suelo y durante la vida de los mismos por las raíces.

Cuadro 13. Concentración de elementos en nopalito con tratamientos de abono y profundidad de aplicación.

Element	M nera	100 ton ha ¹	300 ton ha ¹	Testigo	Nobel 1988
Nitrogen	2 3 0	2 450	2 570	2 240	2.610
Fósfor	0 3 2	0 561	0 595	0 381	0 330
Potasio	6 240	6 580	5 970	6 020	1.180
Ca	5 38	5 040	3 690	4 820	6 330
Magnes	1 72	1 372	1 397	1 383	1 430
Sod	131	0 128	0 130	0 127	31 ppm
Manganes ppm	33 130	39 660	33 530	29 300	54
bre ppm	17 0	18 900	18 300	14 700	15
Zn ppm	29 3	44 800	39 100	32 000	52
Ferr ppm	172 6	179 700	130 600	139 700	88

De acuerdo a las tendencias presentadas por los microelementos, estos muestran una mayor concentración en los tratamientos donde se realizaron aplicaciones de fertilizantes sobre todo cuando este fue aplicado en la parte superior de las plantas. Esto se debe a que está correlacionada positivamente con las modificaciones sufridas en el pH de suelo (Figura 10) con la aplicación del abono.

Dentro de los elementos considerados en la variable de fertilidad, destaca la presencia de fósforo presente en el análisis vegetal (Figura 11) donde podemos observar una marcada influencia de los tratamientos evaluados, al mostrar superioridad en relación al testigo y lo reportado por Nobel (1998).

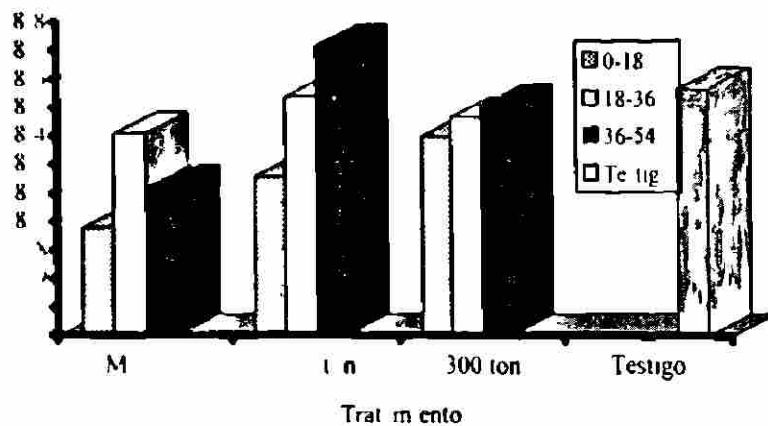


Figura 10 Valores de pH del suelo *in-situ* al final en los tratamientos formados por la aplicación de estiércol y la profundidad de aplicación.

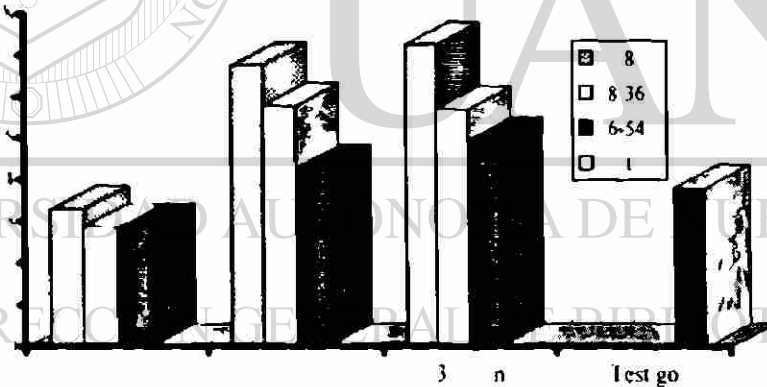


Figura 11 Concentración de fósforo en nopal en función de diferentes niveles de estiércol bovino

Destaca en el presente estudio la mayor concentración de este elemento en los nopalitos obtenidos de los tratamientos donde se aplicó el estiércol con un comportamiento

similar en cuanto a las dosis de 100 y 300 toneladas y valores promedio de 0.56 y 0.59% respectivamente, pero superiores a los obtenidos de donde la aplicación fue con fertilizante mineral que presentó un valor de 0.31%, mientras que el testigo mostró una concentración de 0.38%.

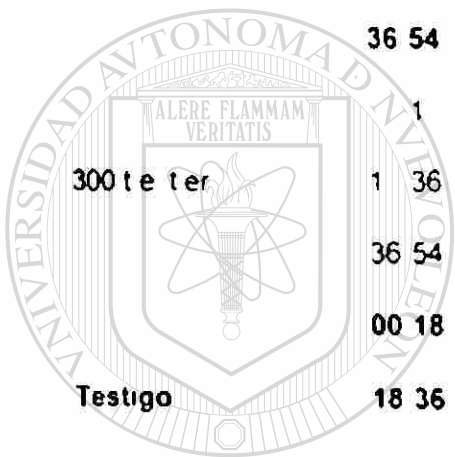
De acuerdo a la profundidad de aplicación los valores encontrados fueron de mayor a menor sólo en los tratamientos con estiércol promediando en el estrato de 0-18 cm una concentración de 0.69%, contra 0.57% de cuando se aplicó en el estrato 18-36 cm y 0.46% cuando se aplicó en el estrato más profundo (36-54 cm) siempre con valores que superaban los obtenidos donde se aplicó fertilizante mineral al igual que el testigo.

Los datos complementarios del análisis de suelo al final del experimento (Cuadro 14), presentan una correlación positiva del contenido de materia orgánica con el fósforo residual, lo que muestra claramente la capacidad de abastecimiento del suelo donde hubo aplicaciones de estiércol para años subsecuentes, tal como lo menciona Pratt (1982) al discutir el valor del estiércol como fertilizante.

La información es complementada con el contenido de nitrato y potasio donde en ambos casos los valores son superiores al testigo sobresaliendo el caso del potasio donde aún cuando en el tratamiento mineral y el estiércol en 100 ton eran equivalentes, al final presenta un mayor contenido de potasio residual en la aplicación mineral atribuyéndose a la solubilidad del mismo y un posible efecto de lixiviación como lo cita Pratt (1982) para el caso del estiércol, al pasar a formar parte de los efectos de salinidad.

Cuadro 14 Concentracion de elementos *in-situ* en el suelo al final de experimento de nopal con abono y profundidad de aplicación.

Tratamientos	Profundidad	Nitrogeno NO ₃	Fosforo	Potasio	M. Orgánica
M nera	18	36.0	22.0	1077	1.62
	18-36	21.1	22.0	855	1.58
	36-54	2.5	20.0	1356	1.58
100 t estercol	00-18	124.0	40.0	683	2.52
	18-36	47.0	40.0	654	2.71
	36-54	65.5	36.0	657	3.32
300 t ester	18-36	18.5	134.0	1697	4.44
	36-54	114.5	196.0	837	7.54
	00-18	45.5	192.0	1467	7.80
Testigo	00-18	4.0	18.0	336	0.97
	18-36	11.0	20.0	249	1.31
	36-54	13.0	20.0	230	1.00



U A N L

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

1 El tratamiento que presentó mayor rendimiento de nopal fue el de 100 ton de estercol aplicado en el estrato superior.

2 El patrón de desarrollo radicular de nopal de acuerdo a su abundancia radica sobre todo en el estrato superior a 18 cm y un 30% en el estrato de 18 a 36 cm.

3 La influencia del desarrollo radical con respecto al rendimiento se presentó inversamente proporcional al término de un año y medio

4 El elemento que presentó mayor influencia sobre la producción de nopalito para la variedad Jalpa fue el fosforo al encontrarse concentraciones hasta de 0.72% en los tratamientos con estiércol

3.8.7 Bibliografía

Aguir B. G. 1991. Contribuciones al conocimiento del nopal (*Opuntia spp.*)
Universidad Autónoma de Chapingo. 20 p

Flores V. C. y J. R. Aguirre R. 1992. El nopal como forraje. Universidad Autónoma
Chapingo. Chapingo. 2ª Reimpresión México. 91 P

Glinski J. y W. Stepniewski. 1985. Soil aeration and its role for plants. CRC Press
Inc. Boca Raton, Florida. pp 137-145

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Kolesnikov V. 1971. The root system of fruit plants. translated from the Russian by L.
Aksenova. Mir Publishers. pp 53-54, 103

Mondragón J., C. y E. Pimienta B. 1990. Fertilización orgánica y química del nopal
tunero en zonas semiáridas. Conocimiento y aprovechamiento del nopal. 4
Congreso Nacional y 2. Internacional. Zacatecas, México. 28 pp

Nobel P. S. 1988. Environmental biology of agaves and cacti. Cambridge University

Press USA 270 p

Pimenta B E 1990 El nopal tunero Universidad de Guadalajara Guadalajara, Jal
México 246 P

Pratt P F 1982 Fertilizer value of manures La utilización de los estercoles en la
agricultura Primer ciclo de conferencias Torreon Coah , Mex 79-84 pp

Taiz L y E Zeiger 1991 Plant physiology The Benjamin/Cummings Publishing
Company Inc Redwood City California 282-367

Unger W P y T C Kaspar 1994 Soil compaction and root growth. A review
Agronomy Journa volume 96 Number 5

Vazquez A R y C Gallegos V 1995 Organic fertilization for production of young
tender pads of *Opuntia spp* in Nuevo Leon Mexico Professional association for
cactus development first annual conference San Antonio Texas 49-60 pp

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Zuñiga T R y J A Cueto W 2001 Aná lisis de crecimiento radical en cuatro
variedades de nopal *Opuntia ficus-indica* Agrofaz 1er Vol Facultad de
Agricultura y Zootecnia UJED Gomez Palacio Dgo Mexico pp 80-87

Zuñiga T R y R Vazquez 1998 Respuesta radicular de dos variedades de nopal a
tres dosis de nitrogeno bajo condiciones de hidroponia Seminarios primavera
FAUANL Marin N L Mexico pp 96 102

IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

Se concluye que el crecimiento radical del nopal se presenta en un 96% de 3 a 14 cm de profundidad el cual está dado por la información genética que ha acumulado a través de los años toda vez que los resultados muestran que su desarrollo fue el mismo en condiciones mínimas de humedad, fertilidad y condiciones físicas del suelo. Por lo que los fenómenos de geotropismo, hidrotropismo y quimiotropismo en lo general tienen poca influencia en su desarrollo.

La respuesta del desarrollo radical entre las variedades es diferente al presentar una variación en el tipo de raíces emitidas es decir mayor o menor número de raíces secundarias y terciarias. Esta situación también se presenta dentro de las variedades cuando se desarrollan en diferentes medios de suelo.

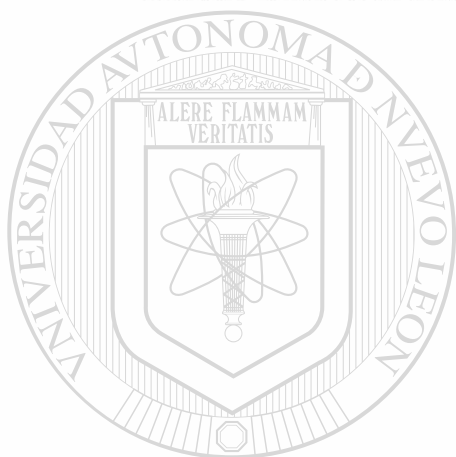
El desarrollo radical presenta una correlación positiva con el rendimiento al emitir una mayor cantidad de raíces finas resultando ser más eficientes en la absorción de nutrientes manifestando lo anterior con un desarrollo radical moderado y producción elevada de nopalito sobretodo en las condiciones de suelo de adecuada fertilidad.

La tasa de crecimiento de raíz de nopal *Opuntia ficus-indica* en su periodo de establecimiento es diferente entre las variedades variando entre 1.44 y 1.95 cm día⁻¹ en condiciones de humedad en el suelo.

La dosis que presenta el mayor rendimiento de nopal es la de 100 toneladas por hectarea de estiércol incorporado al estrato de 0-18 cm cada dos años.

El elemento que presenta una mayor influencia sobre la producción de nopalito es el fósforo al encontrarse concentraciones hasta de 0.72% en condiciones de fertilización con estiércol donde se obtienen los mayores rendimientos

Se recomienda en trabajos posteriores sobre el desarrollo radical, mejorar los métodos de muestreo de las raíces finas del nopal así como ampliar el espectro de muestreo de los elementos considerando los la totalidad de la planta y su concentración de elementos con mayor detalle



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

V LITERATURA CITADA

Aceves N E 1987 Salinity problems in food production of the mexican irrigation districts In Proceeding of International Salinity Conference Texas A&M University 5 p

Aguilar B G 1991 Contribuciones al conocimiento del nopal (*Opuntia spp*) Universidad Autónoma de Chapingo 20 p

Baca C G A 1990 Deficiencias nutrimentales inducidas en nopal proveniente de cultivo *in vitro* En J J Lopez G y M J Ayala O (Eds) El nopal su conocimiento y aprovechamiento III Reunion Nacional y I Internacional (memorias) UAAAN Buenavista Salto Mex pp 155-163

Bernstein L E Franco s y R A Clark 1974 Interactive effects of salinity and fertility on yields of grains and vegetables Agron J 66 412-421

Berry W L y P S Nobel 1985 Influence of soil an mineral stresses on cacti Journal of Plant Nutrition 8 (8) 679-696

Black C A 1975 Re acion Agua Suelo-Planta Trad por Rabuffetti A Ed Hemisferio Sur pp 26 32

Bohom W 1979 Methods of studying root systems Springer-Verlag Berlin Heidelberg Germany 190 p

Booner J y A Galstón 1973 Principios de fisiología vegetal Ed Aguilar España 485 p

Borrego E F y N Burgos V 1986 El nopal Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" Buenavista Saltillo Mexico 202 P

Bravo H Helia 1978 Las cactaceas de México Vol I UNAM Mexico 43 p.

Calderon A E 1977 Estructura y fisiología de la raíz Fruticultura general primera parte Ed E C A pp 43-54

Calderon P N 1994 Efecto de la salinidad en la producción de materia seca y absorción nutrimental de plantas micropropagadas de nopal (*Opuntia spp*) Tesis profesiona Division de Ciencias Forestales Universidad Autónoma Chapingo Chapingo Mex

Castelanos J Z y P F Pratt 1981 Mineralization of manure nitrogen-correlation with laboratory indexes Soil Sci Soc Amer J 45-354-357

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Caste lanos J Z 1982 El efecto del estiércol sobre la calidad del suelo Memorias del ciclo internac onal de conferencias sobre la utilizacion de los estiércoles en la agricultura pp 11-24

Cervantes H J y C Ramirez M 1992 La Producción agropecuaria en la region de los Cañones En C Ramirez M y C Gallegos V (Ed) La Agricultura regional en el estado de Zacatecas Centro Regional Universitario Centro Norte Universidad Autonoma Chapingo El Onto Zac pp 54 - 69

CONAZA-INIF 1981 El Nopal Publicación especial No 34 Comisión Nacional de las Zonas Áridas Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México, D. F. 85 p

Cruz H., J. P., A. López G. y G. Baca C. 1990 Inducción de deficiencias de macronutrientes y de Fe en nopal tunero (*Opuntia spp*) En J. J. López G. y M. J. Ayala O. (Eds.) El nopal su conocimiento y aprovechamiento, III Reunión Nacional y I Internacional (memorias) UAAAN Buenavista, Saltillo, Méx pp

215-224

Crofts C. D. Kachson P. Martin y J. Patrik 1971 Los vegetales y sus cosechas Fundamentos de agricultura moderna AEDOS Barcelona España 245 p

Dewche C. C. 1970 El Ciclo del nitrógeno En Química y ecósfera Scientific American pp 53-63

Demolon A. 1972 Principios de agronomía II Crecimiento de los vegetales cultivados trad de la 5ª Edición Francesa por J. P. Malla Ed. Omega Barcelona p 92-108

Devlin R. M. 1980 Fisiología vegetal Omega Barcelona 517 p

Ebert G. 1994 Growth ion uptake and CO₂ exchange of fluid-producing cactus species under salinity Symposium on Tropische Nutzpflanzen Hamburg Germany 5 173-178

Fabbri A , A Cicala, A Tamburino 1996 Anatomy of adventitious root formation in *Opuntia ficus-indica* cladodes Journal of Horticultural Science 71.2, 235-242, 10 pl

Fernandez M W R J Vazquez R y J A Villalobos 1990 Fertilización preliminar de nopal para verdura en Milpa Alta, D F Conocimiento y aprovechamiento del nopal 4 Congreso nacional y 2° internacional Zacatecas, México 29 pp

Flores V C A 1997 La Producción de nopalito en México. Conocimiento y aprovechamiento del nopal 7 Congreso Nacional y 5° Congreso Internacional UANL Monterrey Mexico pp 28-38

Flores V C A J M De Luna E y P P Ramirez 1996 Mercado mundial de nopalito ASERCA-CIESTAM-UACH Chapingo Edo de México 145 p

Flores V C A y C Gallegos V 1994 El sistema producto tuna Universidad Autonoma Chapingo-Subsecretaria de Agricultura SARH Chapingo Mex 93 p (apendices)

Flores V C A y J Overa M 1994 El sistema-producto nopal verdura en Mexico SARH UACH CIESTAAM Chapingo Mex 149 p

Flores V C y J R Aguirre R 1992 El nopa como forraje Universidad Autónoma Chapingo Chapingo 2ª Reimpresion Mexico 91 p

Flores V C 1992 La produccion de nopal verdura y tuna CIESTAAM, Universidad

Autónoma Chapingo Chapingo México 16 p. (Mecanografiado inédito).

Flores V, C A 1977 El nopal como forraje Tesis Profesional, Escuela Nacional de Agricultura Chapingo México 179 p

Francois L E y E V Maas 1994 Crop response and management on salt-affected soils En M Pessaraki (ed) Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Decker Inc New York pp 149 181

García O J G 1994 Efecto de Profit-G gallinaza y estiércol bovino sobre la actividad fotosintética y rendimiento de maíz en el distrito de negro No. 26 Tesis de Maestría FAUANL

Ga egos V C 1998 Absorción y asimilación de nitrato y amonio en *Opuntia ficus-indica* en condiciones de hidroponía Tesis de Doctorado FAUANL 99 p

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

G nski J y W Steon ewski 1985 Soil aereation and its role for plants CRC Press®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS
Inc Boca Raton Florida pp 137-145

Grattan S R y C M Grieve 1994 Mineral nutrient and response by plants grown in saline environments En M Pessaraki (ed) Handbook of Plant and Crop Stress Marce Decker Inc New York pp 203-226

Gresshoff P M 1990 The importance of biological nitrogen fixation to new crop development In Advances in new crop J Janick, Timber Press Portlad Oregon 113 119 pp

Hatzmann S , Ebert G Ludders P 1991 Influence of NaCl salinity on growth, ion uptake and gas exchange of *Opuntia ficus-indica* Angewandte-Botanik 65. 3-4 161-168

Hernández R L , 1978 Distribucion del sistema radical del nopal (*Opuntia amyclaea* Tenore) Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados Chapingo, México.

Jeschke W D 1984 K^+ - Na^+ exchange at cellular membranes, intracellular compartmentation of cations and salt tolerance In Salinity tolerance in plants Richard C Staples and Gary H Toenniessen Jhon Wiley & Sons Inc Canada

Kramer P J 1989 Relaciones hidricas de suelos y plantas Una sintesis moderna Haria Mexico 538 p

Kolesnicov V 1971 The root system of fruit plants Traslated from the russian by L Aksenova Mr Publishers pp 53-54 103

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Labrador M J 1996 La materia orgánica en los agroecosistemas Ed Mundiprensa 167 p

Legaspi G A 1987 Distribucion de raices de nopal (*Opuntia Amyclaea* Tenore) en cepas desarro adas bajo tres materiales de relleno en suelos degradados Tesis de Maestria Colegio de Postgraduados 75 p

Levitt J 1972 Response of plants to environmental stresses Academic Press New

York 697 p

Lopez J , A y J P Cruz H 1990 Efecto de la fertilización con N, P, K y tres fuentes de materia organica en nopal tunero (*Opuntia amyclaea* T) En J J López G Y M J Ayala O (Eds) El nopal su conocimiento y aprovechamiento 3ª Reunión Nacional y 1ª Internacional (Memorias) UAAAN Buenavista, Saltillo, Méx pp 149-154

Lopez M J L Cruz H A Lopez J 1990 Contenidos nutrimentales en tallos y raíces de nopal tunero (*Opuntia amyclaea* T) En J J López G y M J Ayala O (Eds). El nopal su conocimiento y aprovechamiento 3ª Reunión Nacional y 1ª Internacional (Memorias) UAAAN Buenavista Saltillo, Méx pp 178-186

Mauricio L R 1985 Caracterización fenológica y morfológica de formas de nopal (*Opuntia spp* tunero en el Altiplano Potosino Zacatecano 1983 Tesis profesional. Universidad de Guadalajara Guadalajara Jal 113 p

Maas E V y G J Hoffman 1976 Crop salt tolerance Current assessment J Irrigation and Drainage Division ASCE 103 115-134

Maas E V y G J Hoffman 1977 Crop salt tolerance Journal and Drainage Division Vol 103 No 122 pp 115 134

Martinez M J 1995 Estimacion de la eficiencia del agua mediante mediciones de intercambio de gases y analisis de crecimiento en tres especies cultivadas Tesis de maestría F A U A N L Marín N L México

Mengel K y E A Kirkby 1982 Principles of plant nutrition. 3er. Ed. International Potash Institute Bern, Switzerland 655 p

Mondragón J C y E Pimienta B 1990 Fertilización orgánica y química del nopal tunero en zonas semiaridas. Conocimiento y aprovechamiento del nopal 4° Congreso Nacional y 2° Internacional Zacatecas México 28 pp

Murillo A B E Toyo Diéguez E y H A Cortez A 1999 Efecto de la salinidad en la producción de nopalito *Opuntia ficus-indica*. Conocimiento y aprovechamiento del nopal 8° Congreso Nacional y 6° Internacional UASLP San Luis Potosí, Mex pp 85-86

Neue H U M I A E Naggar and M Rashd 1990 Responses and tolerance mechanisms of rice to saline conditions. Memorias del 14 CMCS Tokio, Japon

Nobel P S 1983 Nutrient levels in cacti - relation to nocturnal acid accumulation and growth. Amer J Bot 70 (8) 1244-1253

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Nobel P S and T L Hartsock 1986 Influence of nitrogen and other nutrients on the growth of agave deserti. J of Plant nutrition 9(10) 1273-1288

Nobel P S 1988 Environmental biology of agaves and cacti. Cambridge University Press USA 166 p

Nobel P S 1994 Remarkable agaves and cacti. Oxford University Press New York USA 166 p

Nobel P S 1997 Recientes descubrimientos ecofisiológicos en *Opuntia ficus-indica*
Conocimiento y aprovechamiento del nopal VII Congreso Nacional y V
Internacional Monterrey, N L Mexico pp 11-20

Olmedo B M C G 1990 Caracterización de algunas respuestas morfológicas y
fisiológicas del frijol a la salinidad Tesis de Maestría en Ciencias Colegio de
Postgraduados Montecillo, México 182 p

Palomo G y D 1963 Datos sobre los nopales *Opuntia spp* utilizados como forraje en el
sureste de Mexico Tesis Prof ITESM Monterrey N L México.

Peralta M V M 1983 Caracterización fenológica y morfológica de formas de nopal
(*Opuntia spp*) de fruto (tuna) en el Altiplano Potosino Zacatecano Tesis
profesional Universidad Autónoma de Aguascalientes México 88 P

Pimenta B E 1988 El nopal tunero Descripción botánica uso e importancia
económica Germen 7 8-52

Pimenta B E 1990 El nopal tunero Universidad de Guadalajara Guadalajara, Jal
Mexico 246 P

Pratt P F 1982 Fertilizer value of manures La utilización de los estercoles en la
agricultura Primer ciclo de conferencias Torreón Coah , Méx 79-84 pp

Pratt P F F E Boradbent y J P Martin 1973 Using organic wastes as nitrogen
fertilizers Calif Agric 27 (No 6) 10-13

Pratt, P F 1990 Fertilizer value of manures La utilización de los estiércoles en la agricultura. Primer ciclo de conferencias 79-84 pp

Promotora de Maguey y del Nopal 1987 El Cultivo del Nopal. PROMAN - SARH Mexico D F 81 p

Russell E J y E Walter Russell 1968 Condiciones del suelo y crecimiento de las plantas Efectos de la acidez y de la alcalinidad del suelo sobre el crecimiento de las plantas Trat 9ª Ed en inglés por González G , Madrid

Russell E W 1973 Soil conditions and plant growth 10th Ed Longman London.

SARH 1992a Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos Tomo 1 Subsecretaría de Planeación Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos Mexico 592 p

SARH 1992b Estrategia nacional de mediano plazo (1992-1999) de desarrollo y promoción de exportaciones de nopal verdura Dirección General de Política Económica Subsecretaría de Agricultura Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos 35 p

Serrano C Z 1990 Técnicas de invernadero PSGSA Sevilla España pp 238-292

Stewart A B 1990 El efecto del estiércol sobre la calidad del suelo Memorias del ciclo internacional de conferencias sobre la utilización de los estiércoles en la agricultura 69 79 pp

Taiz L , y E , Zeiger 1991 Plant Phisiology The Benjamin/Cummings Company, Inc
Redwood City, California pp 282-367

Unger W P y T C Kaspar, 1994 Soil compaction and root growth A review
Agronomy Journal volume 96 Number 5

Vázquez A , R E , Salinas G , G , Gallegos V , C y Valdez C., R 1999 Recolección y
conservación *ex situ* de la diversidad genética del nopal en el noreste de
México Conocimiento y aprovechamiento del nopal VIII Congreso Nacional y
VI Internacional U A S L P San Luis Potosí, México pp 19-20

Vázquez, A R y C Gallegos V 1995 Organic fertilization for production of young
tender pads of opuntia spp in Nuevo Leon Mexico Professional association for
cactus development first annual conference San Antonio Texas 49-60 pp

Velásquez M M A 1995 Efecto de sales y fertilización sobre la emergencia de las
plantulas de siete cultivares Tesis de Maestria INR Programa de Edafología
Colegio de Postgraduados Montecillo Mex 140 p

Zuñiga T R y J A Cueto W 2001 Analisis de crecimiento radical en cuatro
variedades de nopal *Opuntia ficus-indica* Agrofaz 1er Vol Facultad de
Agricultura y Zootecnia UJED Gomez Palacio Dgo Mexico pp 80-87

Zuñiga T R y R Vázquez 1998 Respuesta radicular de dos variedades de nopal a
tres dosis de nitrogeno bajo condiciones de hidroponia Seminarios primavera
F A U A N L Marin, N L Mexico pp 96-102

Zúñiga T R , R Vázquez y E Salazar 1999 Patrón de desarrollo radical de nopal en
diferentes condiciones de suelo y su relación con el rendimiento Conocimiento
y aprovechamiento del nopal VIII Congreso Nacional y VI Internacional
U A S L P San Luis Potosi México pp 12-13



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

