



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA**

***MANEJO DE LA FERTIRRIGACION EN CACTACEAS***

***CASO DE ESTUDIO***

***PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTENER EL***

***GRADO DE:***

**ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA.**

***OPCIÓN TERMINAL EN AGROPLASTICULTURA***



07 ENE 2005

**PRESENTADO POR:**

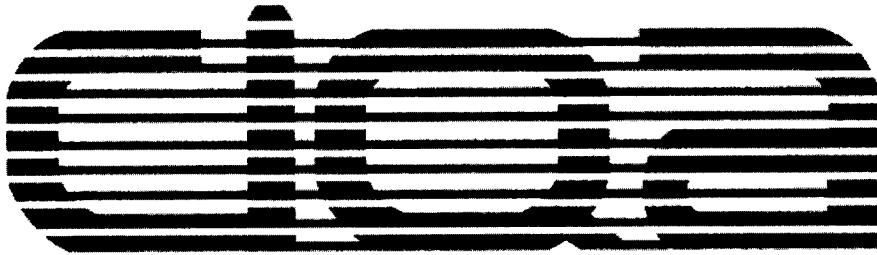
**PABLO GERARDO HERNÁNDEZ DÍAZ**

**RECIBIDO**

*Saltillo, Coahuila*

*Diciembre 2004.*

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA**



***HACE CONSTAR QUE EL CASO DE ESTUDIO TITULADO:***

**“ MANEJO DE LA FERTIRRIGACION EN CACTACEAS “**

***PRESENTADO POR:***

***Pablo Gerardo Hernández Díaz***

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE**

***ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA:***

**OPCION TERMINAL EN AGROPLASTICULTURA**

***Ha sido dirigida por:***

***M.C. Boanerges Cedeño Rubalcaba***

# **CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA**



***A TRAVES DEL JURADO EXAMINADOR HACE CONSTAR QUE EL  
CASO DE ESTUDIO TITULADO:***

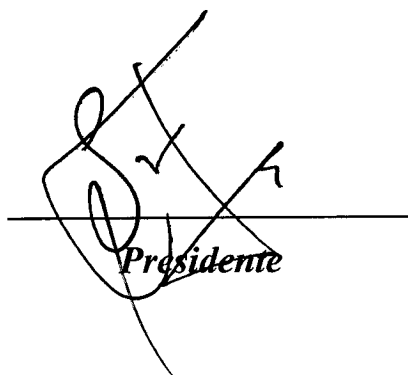
***“MANEJO DE LA FERTIRRIGACION EN CACTACEAS ”***

***Que Presenta:***

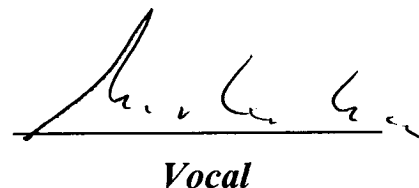
**Pablo Gerardo Hernández Díaz**

**HA SIDO ACEPTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL GRADO DE:**

***ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA.  
OPCION TERMINAL AGROPLASTICULTURA***



***Presidente***



***Vocal***

***Saltillo, Coahuila***

***Diciembre 2004***

## AGRADECIMIENTOS

*A mi familia por su apoyo incondicional*

*A CIQA por brindarme la oportunidad de superarme.*

*A los maestros, en especial a los del Dpto. de Agroplásticos.*

*A todas las personas que me brindaron el apoyo, para mi estancia en la Institución.*

*A todos mis amigos y compañeros de la Especialidad, por el gusto de conocerlos y por los momentos que pasamos juntos dentro y fuera de la Institución.*

*A las personas que contribuyeron en el inicio y fin de este trabajo.*

*A ustedes por su amistad y comprensión*



**DEDICATORIA**

*A toda mi Familia*

*A ustedes con todo mi amor*

## Nopalli



**TEN CUIDADO DE LAS COSAS DE LA TIERRA, HAZ ALGO, CORTA  
LEÑA, LABRA LA TIERRA, PLANTA NOPALES, PLANTA MAGUEYES,  
TENDRAS QUE BEBER, QUE COMER, QUE ESTIR, CON ESO ESTARAS EN PIE,  
SERAS VERDADERO, CON ESO SE HABLARA DE TI, SE TE ALABARA, CON  
ESO TE DARAS A CONOCER.**

**HUEHUETLATOLLI**

**INDICE DE CONTENIDO**

<b>Concepto</b>	<b>Pag.</b>
INDICE DE CONTENIDO .....	vii
INDICE DE CUADROS .....	ix
INDICE DE FIGURAS .....	ix
I. INTRODUCCIÓN .....	1
Objetivo .....	2
II. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA .....	3
Importancia de las cactáceas para su conservación .....	3
Importancia de las cactáceas para su propagación .....	4
Importancia económica de las cactáceas .....	4
Importancia medicinal del nopal .....	6
Ubicación del nopal entre las hortalizas .....	7
Morfología del nopal .....	8
Raíz .....	8
Tallo .....	8
Hoja .....	9
Flor .....	9
Fruto .....	10
Ecología del nopal .....	10
Fisiología del nopal .....	11
Intercambio diario de gases .....	11
Condiciones edofoclimaticas .....	12
Precipitación .....	12
Temperatura .....	12
Luz .....	12
Suelo .....	12
Altitud .....	13
Vientos .....	13
Manejo del cultivo .....	14
Propagación .....	14
Formas de reproducción .....	14
Reproducción sexual o por semilla .....	14
Reproducción asexual o vegetativa .....	14
Variedades .....	14
Valor nutritivo .....	16
Sistemas de producción .....	17
Manejo al aire libre .....	17
Manejo en microtúneles o mini-invernaderos .....	18
Fertilización .....	18
Riego .....	19
Plagas y Enfermedades .....	20
Practicas culturales y control de malezas .....	20

Poda .....	21
Cosecha .....	21
Producción de nopal forrajero .....	22
Producción de nopal hortícola bajo riego por goteo .....	22
Fertilización en nopal .....	23
Fertilización orgánica .....	23
Fertilización química .....	24
Nitrógeno Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) .....	24
Nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) .....	24
Nitrógeno orgánico soluble en agua .....	24
Nitrógeno orgánico insoluble en agua .....	25
Fósforo .....	25
Potasio .....	25
Calcio .....	26
Fertirriego .....	26
Ventajas .....	26
Inconvenientes .....	27
Ventajas del riego por goteo con respecto al cultivo de nopal verdura ..	27
Alimentación de las plantas .....	27
Hidroponía .....	28
III. ESTADO ACTUAL DEL ARTE O ESTADO ACTUAL DEL	
CONOCIMIENTO .....	29
Con base en análisis de la planta de nopal .....	30
Respuesta de las plantas al riego por goteo .....	31
Cultivo en hidroponía .....	32
IV. AREAS DE OPORTUNIDAD .....	37
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	41
VI. NOMENCLATURA .....	42
VII. REFERENCIAS .....	44
VIII. APÉNDICE .....	50
Anexo 1 .....	51



## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Concepto</b>	<b>Pag.</b>
Cuadro 1.-	Producción de nopal verdura en los últimos años .....	5
Cuadro 2.-	Principales hortalizas producidas en México en 1999 .....	7
Cuadro 3.-	Principales Variedades Cultivadas de Nopal Verdura .....	15
Cuadro 4.-	Valor nutritivo del nopal verdura en 100g de peso neto .....	16
Cuadro 5.-	Respuesta del nopal a la aplicación de fertilizantes al suelo .....	30
Cuadro 6.-	Programa mensual de fertirrigación en base a las recomendaciones globales y requerimientos de la planta de nopal verdura, bajo el esquema de explotación a cielo abierto .....	32
Cuadro 7.-	Solución nutritiva estándar utilizada para la producción de nopal forrajero .....	33
Cuadro 8.-	Contenido de nutrientes (Cenizas, proteína cruda, fibra ácido detergente, fibra detergente neutro) y digestibilidad <i>in vitro</i> de diferentes cultivares de nopal .....	34
Cuadro 9.-	Acumulación de N, P, K y Ca, de 30 cultivares de nopal del Centro de México .....	35
Cuadro 10.-	Efecto de las diferentes frecuencias de riego en el número de brotes y rendimiento promedio de materia base húmeda y seca por planta de nopal en los diferentes bancales .....	36
Cuadro 11.-	Efecto de la posición y la orientación en el número de brotes y producción de materia seca promedio por planta .....	36

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Concepto</b>	<b>Pag.</b>
Figura 1.-	Cactácea con tallos articulados .....	9
Figura 2.-	Plantación de nopal al aire libre .....	17

## I. INTRODUCCIÓN

Las cactáceas son, hoy en día de las plantas mas codiciadas del planeta debido a la hermosura y rareza de sus extrañas y caprichosas formas y colorido de sus flores (Bravo y Sánchez-Mejorada, 1978).

Después del descubrimiento de América y hasta nuestro días, en todas partes del mundo se usan las cactáceas de muy distintas formas; algunas son alimenticias (tunas y nopalitos), otras son forrajeras (nopales) y en general, la mayoría son apreciadas en la jardinería como ornamentales debido a las características peculiares que estas poseen y que algunas veces adquieren valor de colección y por lo tanto comercial, mientras otras poseen propiedades medicinales (Elizondo *et al.*, 1990).

Desde el siglo pasado el saqueo de plantas ha sido brutal y constante y se ha convertido en una amenaza para esta familia, miles de toneladas de plantas han sido arrancadas de su hábitat natural para ir a formar parte de jardines y colecciones privadas en todo el mundo. La demanda internacional (de empresas dedicadas al comercio y propagación, así como de aficionados europeos, japoneses y norteamericanos) se ha abastecido fundamentalmente con la extracción de plantas y semillas de su hábitat natural (Sánchez-Mejorada, 1982), el índice de especies extintas y en peligro de extinción es hoy mayor que en toda la historia del planeta (Díaz, 2004).

Las cactáceas son nativas del continente americano, ya que se extienden ampliamente por todo el nuevo mundo; así por ejemplo *Opuntia fragilis* (nopal) se encuentra en el norte de las provincias de Culumbia Británica y Alberta, en Canadá, mientras que otras especies brevemente columnares, Cilíndricas o ligeramente globosas como *Austrocactus* spp. y *Pterocactus* spp. así como algunas *Opuntia* spp. Habitan en la Patagonia y Sudamérica, pero la mayoría de las especies se distribuye en las regiones aridas y semiáridas (Areas, 1997). Además algunas especies de *Opuntia* actualmente forman parte de la flora introducida en varias regiones de los restantes continentes (Bravo y Sánchez-Mejorada, 1991).

México cuenta con la mayor diversidad de especies (Hernández y Godínez, 1994, Sánchez y Martínez, 2004) y son conocidas por sus nombres vulgares como órganos, nopales, pitayos, garambullos, biznagas, peyotes, viejitos, teteches, abrojos, candelabros, cardones, cardenches y juncos las cuales caracterizan el paisaje de nuestras zonas áridas junto con los mezquites, magueyes y yucas (Bravo, 1997).

Dentro de la Norma Oficial Mexicana vigente (NOM-054-ECOL-2001), incluye más de 300 especies de cactáceas en alguna categoría de riesgo, es por esto la necesidad de preservar estas especies y aprovechar de manera racional este recurso natural mediante su propagación en invernaderos, macrotuneles y en forma tradicional en el caso del nopal, con el uso de la técnica de fertirriego, además desarrollar los canales para su comercialización.

### **OBJETIVO**

\* Obtener información sobre el manejo y propagación de las cactáceas para la aplicación de fertirriego como una opción para el manejo de la fertilización con énfasis en el nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*).

## II. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

### **Importancia de las cactáceas para su conservación**

En México mas del 50 por ciento del territorio nacional ésta conformado por zonas áridas y semiáridas donde crecen cerca de 800 especies de cactáceas con importante grado de endemismo<sup>1</sup> (Franco 1997) a nivel genérico 73% y específico 78% (Hernández y Godínez, 1994).

Dentro de la Norma Oficial Mexicana vigente (NOM-059-ECOL-2001), se encuentran más de 300 especies de cactáceas clasificadas en alguna categoría de riesgo. Además la familia completa esta incluida en el apéndice II de la Convención sobre Trafico Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES)<sup>2</sup>, con base en la lista de plantas de los Apéndices (I, II y III CITES)<sup>3</sup> vigente a partir de abril de 1995, existen 47 especies de cactáceas mexicanas inscritas en el apéndice I (**ver anexo 1**), y las casi 750 especies restantes se incluyen en el II como estrategia para protegerlas, pues es difícil identificar las especies en comercio por formas muy parecidas.

---

<sup>1</sup> Especie endémica: Aquélla cuyo ámbito de distribución natural se encuentra circunscrito únicamente al territorio nacional y las zonas donde la Nación ejerce su soberanía y jurisdicción.

<sup>2</sup> CITES, regula, a través de un sistema de permisos, el comercio de las especies silvestres, animales y vegetales amenazadas de extinción, así como de sus partes y derivados fácilmente reconocibles.

<sup>3</sup> Apéndice I incluye todas las especies silvestres en peligro de extinción y que no pueden ser extraídas con fines comerciales de sus hábitat; únicamente se permite el comercio de las plantas propagadas y cultivadas en vivero; en el II están inscritas las especies que actualmente no se encuentran en riesgo de extinción pero que podrían estarlo si no se vigila y controla su comercio al permitirse su colecta y cultivo en viveros; y, en el apéndice III se encuentran las especies silvestres de un país en particular cuyo aprovechamiento está reglamentado por la legislación interna y que requiere la cooperación de los países miembros para su protección.

### **Importancia de las cactáceas para su propagación**

Montaño *et al.* (1993) señala que la participación de México en el aprovechamiento racional de este recurso es casi nulo; hoy en día el mercado internacional de cactáceas esta siendo dominado por países que paradójicamente no incluyen dentro de su flora endémica a estas plantas. Entre los países líderes en la distribución y producción de cactáceas para surtir el mercado internacional se encuentra Holanda (solo una empresa distribuye mas de 15 millones de cactáceas anualmente a los países de Europa y Asia) y Japón (líder del mercado asiático), con precios que van desde algunos dólares por plantas propagadas en invernaderos, hasta cientos (quizá miles) por plantas raras extraídas de su medio ambiente natural.

Bravo (1997) señala que reproducir las cactáceas en invernaderos ha modificado la tendencia de colecta e importación ilegal de las cactáceas de su hábitat natural. Además menciona que es nuestro deber como mexicanos de la presente generación, preservar estas especies, pero también los escenarios biológicos donde nos desarrollamos. Ya que relegar el deber de protegerlos a las futuras generaciones será para entonces demasiado tarde: sobrevivirá sólo una parte mínima de la actual biodiversidad.

### **Importancia económica de las cactáceas**

El negocio ilegal de cactáceas, no aporta beneficio alguno a nuestro país. Debido a ello es importante recalcar que el mercado de cactáceas mexicanas es interesante y con alto potencial para atraer una importante cantidad de divisas, pero ofreciendo alternativas viables de utilización racional y programada del recurso; ello hace indispensable enfocar esfuerzos para la resolución de interrogantes como: falta de información general sobre el recurso como planta de ornato; insuficiente información científico-tecnológica sobre el mismo (tecnología de propagación y desarrollo; modificar obsoletos mecanismos de protección ecológica; obtener información sobre oferta, demanda y precios etc).

Por otra parte el nopal se considera como un recurso natural de alto valor económico, debido principalmente a su uso en la alimentación humana y animal, así como por su potencial industrial. El aprovechamiento radica en la obtención de fruto fresco (tuna), forraje y brotes tiernos (nopalitos), sin embargo en los últimos años ha sido tal que se derivan productos como: alcoholes, vinagre, goma, mucílagos, harina de las semillas de tuna, mieles, queso de tuna, enlatado de nopalito, deshidratado para sopas; molida para forraje, cáscara de tuna cristalizada, mermelada de nopalito y brotes tiernos (nopalito para verdura). En las épocas de invierno y cuaresma se consume en grandes cantidades (80 a 100,000 ton/año); producidos en huertos familiares y comerciales principalmente en áreas de país con temporales regulares o malos, las plantaciones grandes son escasas y se dedican a la explotación de doble propósito de acuerdo con las condiciones climáticas del lugar. La producción de nopal verdura ha ido en aumento en los últimos años con una superficie de 5,582 ha de riego y temporal para 1994, para 1999 la superficie fue de 7,327 ha, en el 2003 la superficie alcanzó las 9,611 ha y para el 2004 la superficie fue de 10,152 ha (**Cuadro 1**).

**Cuadro 1.** Producción de nopal verdura en los últimos años

Año	Superficie Sembrada (ha)	Superficie Cosechada (ha)	Rendimiento Ton/ha	Producción (ton)
1994		5,582	46.442	266,062
1999	7,327	7,152	44.52	318,423
2003	9,611	9,095	46.000	418,366
2004	10,152	8,625	39.833	343,559

A nivel internacional México es el único país que consume y exporta nopal; principalmente a los nichos de mercados conformados por residentes de origen mexicano en los E.U.A. ya que México cuenta con un material genético con gran diversidad de variedades, recursos agroclimáticos, la tradición y usos de su cultivo, ventaja de la cual cuenta para ganar mercados en el extranjero, así como generación de divisas y empleos para el país.

### **Importancia medicinal del nopal**

Pimienta (1997) menciona que en un estudio reciente sobre los usos medicinales del nopal en varios países revelo que tanto las partes reproductivas como vegetativas de la planta se emplean con este fin. El fruto se utiliza como cataplasma en poblaciones nativas y de origen europeo en Suda-frica; la pulpa hervida con agua y azúcar se utiliza para tratar casos de tos severa; las pencas para sanar heridas y los extractos de cladodios son útiles para el tratamiento de úlceras estomacales y micciones ardientes. Se ha encontrado que la baba o mucílago presente en la pulpa del fruto tiene acción laxativa, en Hawai se utiliza con este propósito. En Sicilia se prepara un te de flores de nopal tunero para problemas renales y una pasta de flores secas para curar el sarampión. En México y Hawai se usa una bebida de agua y partes de cladodio para las mujeres con dificultades en el parto. En Perú la fruta asada se emplea para curar la tos, y la cáscara para enfermedades de los riñones.

En estudios etnobotánicos realizados en poblaciones rurales de México han revelado su uso para controlar la diabetes, y se ha demostrado que el consumo de brotes tiernos es útil en casos ligeros o benignos de diabetes tipo II. Aunque no libera al paciente de esta enfermedad, ni de las restricciones diabéticas que debe llevar. La ingestión de nopalitos cocinados a las brasas antes de cada comida reduce los niveles de colesterol, triglicéridos y glucosa, útil en el tratamiento de la diabetes y la obesidad. Las raíces de algunas especies de nopal se emplean también como remedio para la diabetes, hernias, erisipelas, hígado irritado y úlceras. Buena parte de las propiedades medicinales del nopal probablemente se deben al mucílago, pectina conocida vulgarmente como la “baba” del nopal, el cual es un polisacárido abundante en diferentes partes de la planta.

Negrete (1999) señala que la gran cantidad de Lignina y celulosa que posee lo hacen portador de la fibra indispensable para el buen funcionamiento del tracto gastrointestinal, con el cual se previene la diverticulosis (especie de hernias en el intestino). Y su contenido de proteínas y vitaminas, lo convierte, en algunas zonas rurales del país, en la fuente principal con un aporte del 50 % de la dieta total.

### Ubicación del nopal entre las hortalizas

Orona *et al.* (2003). mencionan que dentro del grupo de las principales hortalizas que produjo México en 1999, de acuerdo a SAGARPA (1999), la producción de nopalito en México se ubica en el lugar número 11 en volumen y en el lugar 12 en lo que se refiere a valor de la producción, tal y como se muestra en el cuadro 2. La superficie sembrada con nopal en México durante 1999 de acuerdo a las cifras oficiales fue de 7,327 ha -aunque Flores *et al.* (1995) citado por Orona *et al.* (2003) reportaron la existencia de 10,500 hectáreas con información obtenida por las delegaciones estatales de la SAGARPA y de los productores regionales-, distribuidas en 19 estados, 14 de los cuales participan con baja proporción con áreas menores a las 300 ha sembradas y que en conjunto representan el 17 % con 1.243 ha. El resto se encuentra en los Estados de Morelos. Con 796 ha, San Luis Potosí con 380, Tamaulipas 378 y Baja California con 371, significando este grupo el 26 %. Destaca el Distrito Federal con 4,159 ha que equivalen al 57.5 de la superficie total.

**Cuadro 2.** Principales hortalizas producidas en México en 1999.

Cultivo	Superficie Sembrada (ha)	Superficie Cosechada (ha)	Rendimiento Ton/ha	Producción (ton)	Valor de la producción \$
Tomate rojo	83,090	81,422.42	29.30	2,385,525	8,876,215,567
Papa	67,130	65,650.29	22.50	1,477,349	5,385,610,261
Chile Verde	93,991	90,778.67	13.66	1,240,339	4,215,155,911
Cebolla	53,316	51,985.76	23.58	1,226,025	2,093,394,678
Sandía	43,599	40,679.09	22.41	911,803	1,382,964,926
Melón	31,610	30,883.07	20.83	643,182	1,392,193,631
Tomate Verde	44,438	42,967.05	12.38	531,904	1,811,586,545
Pepino	18,813	18,437.28	25.75	474,745	848,437,976
Calabacita	29,844	28,532.12	14.63	417,567	1,252,190,186
Zanahoria	15,882	15,740.75	23.07	363,205	508,484,568
Nopalitos	7,327	7,152.00	44.52	318,423	650,522,107
Elote	29,476	29,376.01	10.50	308,330	278,616,861
Brócoli	21,516	21,078.71	12.47	262,952	644,310,697
Col (Repollo)	7,681	7,523.60	33.83	254,542	353,493,764
Lechuga	10,827	10,660.85	20.25	215,892	454,741,468
Fresa	6,570	6,453.09	21.19	136,744	690,096,888

Fuente: ACERCA con datos del anuario Estadístico de la producción Agrícola (1999). SAGARPA-CEA



## **Morfología del Nopal.**

De manera general la morfología del nopal es la siguiente:

**Raíz.** El sistema radicular es perenne, extenso y superficial. Las raicillas secundarias están provistas de pelos absorbentes, caducas, ya que su presencia se limita a la época de lluvias, por lo que su estructura y funcionamiento le permite captar con eficiencia la mayor cantidad de agua durante los breves periodos de lluvias.

**Tallo.** Se caracteriza por tener una cutícula gruesa y cubierta de una cera de una sustancia grasosa llamada cutina, suave al tacto. Esta primer capa del tallo llamada dermis tiene algunas funciones principales: 1) evita la pérdida de grandes cantidades de agua por el proceso de transpiración; 2) regula el movimiento de la entrada de dióxido de carbono y salida de oxígeno por la planta; 3) retiene agua dentro del cuerpo; y 4) protege a la planta del ataque de hongos, esporas, insectos y luminosidad intensa (Granados y Castañeda, 1996) El tallo es ramificado y multiarticulado (Figura 1). Se compone de un tronco cilíndrico y de ramas aplanadas y discoides llamados cladodios o pencas. Estos cladodios son aplanados en forma de raqueta, son suculentos y almacenan gran cantidad de agua, su principal función es fotosintética (Monroy *et al.*, 1989). Los nopales con cladodios planos, estos cuando están tiernos son muy suculentos y poco lignificado (CONAZA, 1994).

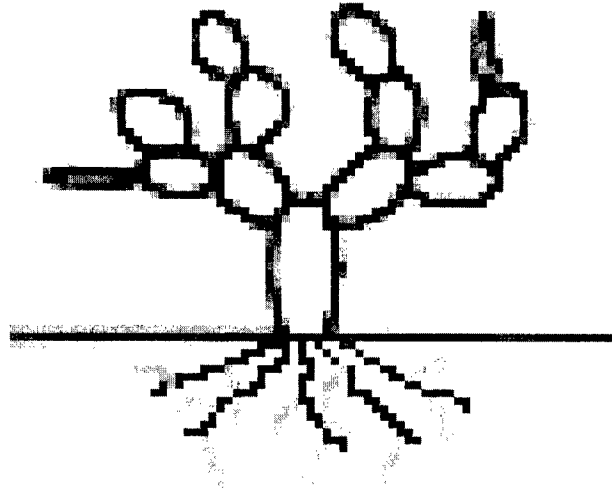


Figura 1. Cactácea con tallos articulados

**Hoja.** En el nopal solamente existe en los renuevos de las penca (cladodios) cuando están tiernas. Son hojitas cilíndricas y caducas, en forma de cuernitos; herbáceas, en cuyas axilas se hallan las areolas de las cuales brotan las espinas. Las hojas desaparecen completamente al alcanzar la penca cierto grado de desarrollo, o sea en unos cuantos días, en cuyo lugar quedan las espinas (Monroy *et al.*, 1989).

**Flor.** Las flores son diurnas, solitarias, sentadas, nacen en la base de las areolas que funcionan indistintamente como yemas florales o vegetativas. Constan de un cáliz con tubo oval, soldado con el ovario y con el limbo, muchos pétalos, numerosos estambres persistentes, con los filamentos largos, coloridos y anteras longitudinalmente dehiscentes; un pistilo grueso y tubuloso digitado en su extremo formando varios lóbulos estigmáticos. Presenta colores vivos (amarillo, rojo, rosa, salmón, etc.) y brillantes. Tienen polinización entomógama (insectos lepidópteros, hemípteros y coleópteros).

La apertura de la flor tarda en promedio 55 días después de la aparición de las yemas florales. La flor permanece abierta durante 24 horas; se considera que el momento de antesis, es decir, el punto exacto a partir de que se empieza a contar la vida del fruto, es a los dos días,

después de la apertura de la flor (CONAZA, 1994). La floración tiene lugar en la primavera, durante los meses de marzo, abril y mayo, aunque hay entidades en las que se realiza en otras épocas del año (Monroy *et al.*, 1989).

**Fruto.** El fruto (tuna) es una baya ovoide, cilíndrica, de diversos colores (amarillo, canario, amarillo limón, anaranjado, rojo, guinda, rojo-morado, verde tierno, blanco verdoso, etc.), umblicada en el extremo superior ( cicatriz floral), pericarpio correoso con numerosos colchones de ahuates distribuidos en tresbolillo, semillas lenticulares, con testa clara y arillo ancho.

### **Ecología del nopal**

Nieto-Garibay (2003) menciona que el nopal se encuentra distribuido mayormente en las regiones áridas y semiáridas como los desiertos. El éxito que tienen el genero *Opuntia* para adaptarse mejor a estos lugares se debe a las características ecológicas que poseen al igual que toda la familia de las cactáceas a la que pertenece y que han desarrollado a través de los años. Las condiciones para la vida en un desierto deben de obedecer a adaptaciones para climas con temperaturas extremas, alta radiación solar, fuertes vientos, poca humedad en el ambiente y suelo, suelos salinos y generalmente arenosos. Aunado a ello, deben enfrentarse a precipitaciones erráticas o nulas en largos periodos de tiempo. Por lo que el agua se convierte en el factor limitante para su vida. Las características ecológicas que incluyen las morfológicas, fisiológicas y bioquímicas del nopal han permitido su permanencia en estas regiones gracias a que juntas se combinan para lograr una economía del agua (Nobel, 1999).

La fisiología de los nopales al igual que la gran mayoría de las plantas de las zonas áridas o semiáridas debe evitar al máximo la perdida de agua a través del proceso de transpiración que enfrentan (Nieto-Garibay, 2003).

## **Fisiología del nopal**

El éxito ecológico que tienen el genero *Opuntia* se debe a su fisiología, el control en la pérdida de agua por transpiración es quizá la característica más importante en el genero *Opuntia* para la economía del agua. Estas presentan un mecanismo que les permite mantener sus estomas cerrados durante el día y abiertos durante la noche, reduciendo al máximo la pérdida de agua en el día cuando las temperaturas son más altas, la humedad ambiental es baja y la demanda evaporativa es alta. El genero *Opuntia* al abrir por la noche sus estomas, permiten la toma de CO<sub>2</sub> sin mayor problema, cuando las temperaturas son más bajas, la humedad relativa mayor y por lo tanto la demanda evaporativa es menor. A este tipo de metabolismo se le llama metabolismo del ácido crasuláceo (CAM) y es entonces determinante en la conservación del agua en la planta (Nobel, 1998).

Otro aspecto importante de este genero son los potenciales hídricos<sup>4</sup> que mantienen. El potencial hídrico de el genero *Opuntia* (-0.3 a-0.6 MPa) es significativamente mayor a la de cualquier planta con la que pueda co-habitar aún de especies tolerantes a la sequía -1.0 a -3.0 MPa. Lo anterior significa que mientras más negativo es el valor de potencial hídrico de la planta, es mayor la energía requerida para tomar el agua del suelo, por lo que este genero cuentan con una gran ventaja al presentar potenciales hídricos más positivos, es decir un menor gasto de energía para adquirir y conservar el agua dentro de ellas (Nieto-Garibay, 2003).

## **Intercambio diario de gases**

Como se indico, el genero *Opuntia* capta el CO<sub>2</sub> por la noche. Bajo condiciones húmedas y temperaturas moderadas, la absorción neta de CO<sub>2</sub> es positiva en la parte última de la tarde cuando las temperaturas del día han decrecido substancialmente y alcanza su máximo valor

---

<sup>4</sup> El potencial hídrico define la energía que necesita la planta para conservar y proveerse de agua. Su valor generalmente está dado en Mega pascales (MPa).

pocas horas después del crepúsculo. El CO<sub>2</sub> captado por una planta CAM en la noche es destinado a un componente de tres carbonos para formar un ácido orgánico de cuatro carbonos, como el málico. Los ácidos orgánicos acumulados son almacenados por la noche en grandes vacuolas dentro de las células del clorenquima (la región que contiene clorofila verdosa); así, el tejido se hace progresivamente más ácido durante el transcurso de la noche. El CO<sub>2</sub> es liberado de los ácidos orgánicos durante el siguiente día, causando que la acidez del tejido disminuya. Esta liberación de CO<sub>2</sub> la cual es impedida por el cierre de estomas durante el día por una planta CAM, es entonces incorporada en productos fotosintéticos dentro de las células del clorenquima, en presencia de luz del día. La oscilación diaria de acidez característica de las plantas de las plantas CAM, se desarrolla en grandes vacuolas que captan y almacenan por corto tiempo ácidos orgánicos (Orona *et al.*, 2003)

### **Condiciones Edafoclimáticas.**

**Precipitación.** (CODAGEM, 1979). Nos dice que las poblaciones silvestres del nopal, se encuentran en zonas con precipitación media anual de 150 milímetros o más, en climas semiáridas o esteparios donde se manifiesta escasez de lluvias durante las estaciones del año.

**Temperatura.** Blanco (1966) indica que el nopal se desarrolla entre temperaturas de 11.2 °C y 27.1 °C.

Vázquez (1999) indica que el rango óptimo de temperatura para la emisión de nopalitos fluctúa de 18 a 28 °C, durante la brotación la temperatura tolerable máxima es de 35 °C y a temperaturas de 40 °C el desarrollo de los brotes se ve afectado; las temperaturas menores a los 6 °C ocasionan quemaduras en los brotes tiernos.

**Luz.** Nobel (1997) menciona que la luz solar tiene una influencia marcada sobre diferentes características en la producción de brotes y frutos del nopal.

**Suelo.** Diversos autores coinciden en que las condiciones óptimas de un suelo para el desarrollo del nopal es que sea de origen calcáreo, que tenga una textura franca, franco

arcillosa franca arenoso y arena franca, que el suelo sea poco profundo de 10 a 15 cm, con pH de 6.5 a 8.5, es decir con tendencia alcalina (Bravo y Sánchez-Mejorada, 1978; Monroy *et al.*, 1989; Granados y Castañeda, 1996).

Los mejores suelos para las plantaciones de nopal son los de origen ígneo o calcáreo con textura arenosa, profundidad media y con un pH neutro o de preferencia alcalino (Nieto, 2003). Bravo y Sánchez-Mejorada (1978) menciona que las opuntias se desarrollan muy bien en suelos pedregosos como *Opuntia ficus-indica*, *Opuntia jaliscana*, *Opuntia phaeacantha* var. Chihuahuensis, *Opuntia tormentosa* var. Hernández.

**Altitud.** Rzedowski (1978) señalan que varía en su disposición, aunque la mayoría de las especies comerciales van de 1000-2500 metros sobre el nivel del mar.

**Vientos.** El instituto de Investigación de Zonas Desérticas (IIZA, 1971), aclara que el nopal es muy susceptible a los vientos intensos, pues debido a la debilidad del sistema radicular, presentan acame, las corrientes del viento cálido afecta al nopal deshidratándolo y desecando el suelo; los de más grave peligro son vientos fríos y los salinos, que proceden del mar.

## **Manejo del Cultivo**

### **Propagación.**

Mondragón-Jacobo *et al.* (2003) menciona que el procedimiento más eficaz para propagar las plantas en sus distintas variedades, es la producción vegetativa, utilizando raquetas u hojas enteras sanas y macizas, provenientes en lo posible de plantas recias y adultas, la ventaja es de que la planta alcanza su objetivo más rápidamente, éste sistema logra conservar las características genotípicas de las especies o variedades escogidas. Mientras que el uso de fracciones de pencas no es muy recomendable, debido a que las plantas tienen un desarrollo muy lento (Nobel, 1997).

### **Formas de Reproducción.**

**Reproducción sexual o por semilla.** Las plantas obtenidas por reproducción sexual tardan más tiempo en iniciar la producción y además, resultan heterogéneas en muchas de sus características por proceder de polinización cruzada. Su importancia radica en que se puede utilizar para trabajos de mejoramiento genético.

**Reproducción asexual o vegetativa.** Esta forma resulta más ventajosa desde el punto de vista comercial, debido a que se conservan las características fenológicas de la planta madre. Las plantas obtenidas por este método tienen una producción más rápida. Esta forma de reproducción puede realizarse mediante dos sistemas: pencas enteras o fracciones mínimas (CONAZA, 1994).

### **Variedades**

Las variedades de nopalitos que se producen en nopaleras silvestres y en huertos familiares son innumerables. A continuación se mencionan algunas de las utilizadas en

plantaciones comerciales *Opuntia ficus-indica* L. Es la variedad más importante del país en términos de área cultivada y del volumen de producción que llega al mercado, Copena V-1, Copena F-1, Villanueva, Tamazunchale entre otras (**Cuadro 3**).

**Cuadro 3** Principales Variedades Cultivadas de Nopal Verdura

VARIETADES	ZONA DE PRODUCCION	ESPECIE
Milpa Alta	Distrito federal, Morelos	<i>O. ficus-indica</i> (L)
Villanueva	Puebla, Zacatecas, Nuevo León, y Tamaulipas	
Jalpa	Puebla, Zacatecas, Nuevo León, y Tamaulipas	
Atlixco	Puebla, Edo. de México	
Copena V-1	Edo de México, Baja California, San Luis Potosí, Sonora, Hidalgo	
Copena F-1	Edo. De México, Sonora, Baja California	
Moradilla	Edo. de México	
Blanco	Michoacán	
Negro	Michoacán, Guanajuato	
Blanco con espinas	Guanajuato	
Polotitlan	Edo. De México	
Tamazunchale	San Luis Potosí, Hidalgo	<i>Nopaelea cochellinifera</i>
Tapón*	San Luis Potosí, Zacatecas, Guanajuato, Durango, Aguascalientes, Jalisco, Querétaro.	<i>O. robusta</i> (Weber)

\* Nopal silvestre y plantado como cerco de huertos familiares y parcelas agrícolas, objeto de recolección.

Fuente: "Mercado mundial de nopalito" ACERCA, UAM, CIENTAAM, MÉXICO 1995.



### Valor nutritivo

Pimienta (1997) reporta que los nopalitos están constituidos principalmente de agua y cantidades bajas de carbohidratos, proteínas, fibras y contenido moderado de vitaminas, minerales y calcio. La vitamina C que reporta es superior al registrado en la lechuga y zanahoria y cercana a los valores del amaranto, chayote, espárragos, chícharo y tomate (Cuadro 4)

**Cuadro 4** Valor nutritivo del nopal verdura en 100g de peso neto

<b>VALOR NUTRICIONAL</b>	
<b>CONCEPTO</b>	<b>CONTENIDO</b>
Porción comestible (%)	78.00
Energía (kcal)	27.00
Proteína (g)	1.70
Grasas (g)	0.30
Carbohidratos (g)	5.60
Calcio (mg)	93.00
Hierro (mg)	1.60
Tiamina (mg)	0.03
Riboflavina (mg)	0.06
Niacinina (mg)	0.03
Ascórbico (mg)	8.00
Retinol (mcg Eq)	
<b>AMINOACIDOS</b>	
Lisina	4.00
Isoleucina	4.00
Treonina	4.80
Valina	3.80
Leucina	5.20
Triptofano	0.80
Metionina	0.70
Fenilalanina	5.40

Fuente: " Mercado mundial del nopalito " ACERCA, UAM, CIESTAAM, MEX. 1995

### **Sistemas de producción (Pasado y Presente)**

El uso del nopal en México incluye el desarrollo de tres sistemas de producción: nopaleras silvestres, huertos familiares y plantaciones comerciales (Flores Valdez, 1999). Las plantaciones comerciales en el cultivo de nopal verdura se desarrolla bajo dos sistemas de manejo: Tradicional o al aire libre y camas con microtúneles (De la Rosa y Santamaría, 1998; Flores Valdez 1999)

**Manejo al aire libre:** Este sistema de manejo es el más usado, pero tiene muchas limitaciones; en primer lugar, las heladas no permiten la producción en los meses en que el mercado ofrece precios mas altos; pero también tiene la ventaja de que su establecimiento es más barato que el de microtúneles.

Las plantas de nopal se cultivan en surcos de 1 a 1.5 m de distancia; las plantas están espaciadas a intervalos de 0.25 a 0.5 m, se dejan crecer a una altura entre 1.00 a 1.50 m. Las densidades varían desde 15,000 a 40,000 plantas por hectárea, aunque 17,000 plantas por hectárea es lo más común.



Figura 2. Plantación de nopal al aire libre



**Manejo en microtúneles (mini-invernaderos):** Este sistema se desarrolló en Chapingo, Estado de México en los años 70`s con la finalidad de obtener una producción continua durante todo el año evitando el efecto de las heladas. Con los microtúneles en el cultivo de nopal puede darse un uso intensivo al suelo y por lo tanto hacer más costeaible la aplicación de riego en la época de sequía (De la Rosa y Santamaría 1998).

Flores Valdez (1999) señala que el sistema en microtúneles consiste en camas de 1.20 a 2.00m de ancho, con 1.00 a 1.5m de calles entre las camas; la longitud varia entre 40 y 47 m. Los cladodios maduros adultos se plantan a intervalos de 5 cm entre si, y en hileras separadas de 20 a 30 cm. La densidad varia de 120,000 a 160,000 plantas por hectárea. Usando este sistema se obtiene nopalitos de brotes en los primeros cladodios; cuando mucho se permite que crezcan uno o dos cladodios en cada planta (de los cuales se obtienen las posteriores cosechas). En este sistema es posible colocar un túnel<sup>5</sup> con plástico sobre la cama durante los meses de invierno para reducir el riesgo de heladas y producir los nopalitos cuando los precios son altos.

### **Fertilización**

De la Rosa y Santamaría (1998) menciona que en la Delegación de Milpa Alta, D. F. (zona de mayor producción a nivel nacional), se alcanzan producciones elevadas, debido a las altas densidades de población que se manejan (40,000 plantas/ha), así como a la aplicación de abono orgánico fresco en gruesas capas que van de 25 a 40 cm de espesor, lo que equivale a una aplicación de 600 a 800 toneladas por hectárea; esto lo hacen con la finalidad de mantener la humedad en la planta, ya que es una zona que no cuenta con riego y de este modo se puede obtener producción en épocas de sequía, a la vez que se proporcionan nutrientes a la planta, fundamentalmente nitrógeno, elemento indispensable para estimular la brotación de renuevos y crecimiento de los mismos. Y en la aplicación de fertilizantes químicos se obtienen buenos resultados cuando se aplican 200 g de sulfato de amonio ó 100 g de urea por planta, estos resultados se mejoran si el fertilizante químico se aplica junto con el abono orgánico y

---

<sup>5</sup> Túnel: son estructuras hechas de arcos de hierro con un radio de 1.5 m y colocados a intervalos de 2 m cubiertos con una película de polietileno por lo general de calibre 600.

recomienda hacer la aplicación 2 ó 3 meses después de establecida la plantación y cuidando que haya humedad

Flores Valdez (1999) menciona que en la producción de nopalitos se utilizan grandes cantidades de materia orgánica. En plantaciones tradicionales las calles se cubren con 10 a 15 cm de estiércol (generalmente bovino) cada dos o tres años y muchos productores también aplican fertilizantes químicos (normalmente urea o sulfato de amonio) entre una a tres veces al año. En sistemas intensivo el abono orgánico se aplica cada año, la cantidad varía entre 100 a 200 t/ha y de fertilizante químico se aplica de 100 a 200 kg/ha de N y de 80 a 100 kg/ha de P.

### **Riego**

De la Rosa y Santamaría (1998) señala que el sistema tradicional se tienen que aplicar riegos ligeros cada 8 ó 15 días, dependiendo de las necesidades de la plantación además del abono orgánico con el fin de conservar la humedad. En el sistema de camas en microtúneles (Grajeda y García, 1982) reportó que con un riego de 3 litros (lamina de 3 mm) de agua por metro cuadrado cada mes es suficiente para obtener una buena producción. Técnicos de PROMAN, con base en observaciones prácticas sugieren un riego de 4 a 8 litros de agua por metro cuadrado cada 15 días dependiendo de la textura del suelo, ya que en suelos franco arenosos y arenas francas la velocidad de infiltración es alta y se requiere, por tanto, mayor cantidad de agua.

Flores Valdez (1999) menciona que las regiones con la mayor cantidad de cultivo de nopalito, Milpa Alta D.F. y Tlalneplanta Morelos, generalmente no utilizan riego; sin embargo hay regiones como Mexicali y Valles de la Costa en Baja California, donde la producción se realiza con riego. En Chapingo bajo sistema intensivo, aplicando 100 mm de agua por mes durante el periodo de sequía, se ha logrado un incremento de 10 a 25 por ciento en rendimiento.

### **Plagas y Enfermedades.**

Todas las plantas cultivadas enfrentan problemas de tipo fitosanitario causado por las diferentes organismos como: insectos, ácaros, nemátodos, roedores, hongos, bacterias, virus, etc. El nopal también es susceptible al ataque de diversos fitoparásitos (**ver anexo 3**).

De las plagas más importantes que atacan a este cultivo podemos mencionar: el picudo barrenador *Cactophagus spinulae* (Gyll), el picudo de las espinas *Cylindrocoptorus biradiatus* (Champs), el gusano blanco del nopal *Lanifera cyclades* (Druce), el gusano cebrá *Olycella nephelepsa* (Dyar) y la grana o cochinilla *Dactylopius indica* (Green), entre otras. Estas plagas atacan principalmente en estado larvario, por lo cual es importante determinar su ciclo biológico para proceder a su control. Otras plagas secundarias fuertes son: ratas, tuzas, pajaros y liebres, que se controlan mediante trampas o repelentes. ( Garza, 1999).

Otro factor fundamental que incide en el desarrollo de esta cactácea lo constituye las enfermedades, por eso es conveniente contar con el apoyo técnico para prevenirlas. Las más importantes son: la mancha bacteriana (*Bacterium sp.*), mancha o secamiento de la penca (*Alternaria sp.*), la pudrición de la epidermis, la antracnosis, el oro del nopal, el engrosamiento de cladodios, causado por un virus o un micoplasma, para lo cual no se ha encontrado control. ( Granata, 1999)

### **Prácticas culturales y control de malezas**

Considerando las densidades a la que se cultiva el nopal en sistemas tradicionales e intensivos, no es posible trabajar con tractor o con implementos de tiro animal. La limpieza de malezas se hace manualmente con azadón en el sistema tradicional y con una pequeña azada en el sistema intensivo. Algunos productores utilizan herbicidas, y el uso de grandes volúmenes de abono animal dificulta la brotación de las malezas (Flores-Valdez, 1999)

## **Poda**

En los sistemas tradicionales, la poda de formación se hace cada año para limpiar los caminos y mantener a las plantas a poca altura. En el periodo de más producción, los productores cortan los cladodios terminales a la mitad para detener la producción de nopalitas y permitir que la planta acumule reservas para el otoño e invierno (cuando suben los precios). Muchos productores producen solo la mitad, un tercio o un cuarto del area con cultivo de nopal en los periodos de precios bajos, manteniendo el resto del area en descanso (De la Rosa y Santamaría, 1998)

En los sistemas intensivos, la poda se realiza con varios fines:

- Desechar los nopales que no se logren cortar para su venta. Se evita el envejecimiento y con esto la producción de tunas
- Para sanear el cultivo, de nopales plagados o enfermos
- Retrasa el crecimiento de la planta. Evita la competencia de nutrientes
- Se tiene espacio suficiente para la cosecha.

Época de poda: al disminuir la producción de nopalito. En Julio y Agosto aproximadamente (Vázquez 1999).

## **Cosecha**

Los cladodios deben cosecharse a los 30 a 60 días después de brotar, cuando pesen entre 80 y 120 g y sean de 15 a 20 cm de largo (Flores Valdez 1999), los nopalitas de mas de 23 cm se tornan fibrosos o correosos (Vázquez 1999).

### **Producción de nopal forrajero**

En México las plantaciones de nopal con fines forrajeros son muy escasas; la mayoría de las ocasiones el nopal que se utiliza proviene de las nopaleras naturales (Granados y Castañeda, 1997). Varios estudios han demostrado que el cultivo del nopal para forraje es económicamente conveniente, la variedad de nopal que se recomienda para forrajes, según Barrientos y Brawer (19972), se denomina Copena f-1 (forrajera I); en las observaciones preliminares, esta planta se destacó en los lotes de selección debido a su rápido crecimiento y ramificación; posteriormente, dentro de otras plantas seleccionadas, se observó que los roedores y las hormigas preferían Copena f-1 lo cual era un índice de su palatividad.

### **Producción de nopal hortícola bajo riego por goteo**

El riego por goteo se define como la aplicación artificial del agua en forma lenta pero frecuente y en pequeñas cantidades directamente en la zona radical de las plantas que se proporciona a través de emisores. El agua aplicada se distribuye en el perfil del suelo describiendo un patrón de humedecimiento ovoide llamado bulbo de mojado cuyo contorno se extiende más lateral y vertical en suelos arcillosos, mientras que en suelos arenosos se presenta más alargado que ancho.

Orona *et al.* (2003) realizaron un experimento con tres variedades de *Opuntia megacantha* (40, 60, y 8) y *Opuntia ficus-indica* (69) en dos posiciones de la cinta de riego por goteo (cinta superficial y subterránea), aplicando láminas de riego semanales del 30, 45 y 60 por ciento de la evaporación acumulada (la tasa de evaporación diaria fue tomada de un tanque evaporimetro tipo "A"). Los resultados fueron los siguientes el sistema más productivo al segundo año del estudio fue riego por goteo superficial y se atribuyó al sistema radical superficial del cultivo. La lámina en la cual se obtuvieron los mejores resultados en producción fue aquella que representó el 30 % de la evaporación diaria, lo cual equivale a un rango aproximado de 60 a 65 cm (lámina de 600 a 650 mm) por año para la Comarca Lagunera, lugar donde se realizó el estudio. La variedad que mostró mayor productividad fue

la 69 de *Opuntia ficus-indica*, la cual es la de mayor aceptación en el mercado debido a la escasa presencia de espinas en el nopalito.

### **Fertilización en nopal**

El objetivo de la fertilización es aumentar los rendimientos del cultivo; favoreciendo el crecimiento vegetativo y reproductivo, además de mejorar la calidad del producto y de mantener y/o incrementar la fertilidad del suelo (Vazquez, 1999)

Existen dos tipos de fertilización en el cultivo del nopal: Fertilización orgánica y Fertilización química. Siendo esta última la que se utiliza en el sistema de fertirriego. (Granados y Castañeda, 1997)

**Fertilización orgánica** es una técnica que utilizan los productores de nopal principalmente en la época de sequía para mantener la humedad del suelo a la vez que se fertiliza, el estiércol puede tener diferentes orígenes en el ganado vacuno puede ser de ganado de engorda, o de ganado lechero. La gallinaza es el estiércol más rico en nutrientes, sobre todo en nitrógeno, sobre todo el de las gallinas ponedoras (Vazquez, 1999)

El uso continuo de abonos provocan cambios en las propiedades físicas del suelo, las propiedades químicas y las propiedades biológicas. Los cambios en las propiedades físicas del suelo son: 1) cambios en la velocidad de infiltración del agua en el suelo; 2) Retención y conservación del agua; 3) densidad aparente; 4) Estabilidad de los agregados del suelo y 5) Reducción a la erosión del suelo. Los cambios en las propiedades químicas del suelo son: 1) Mayor efecto residual en materia orgánica; 2) Aumento en la capacidad de intercambio de nutrientes del suelo; 3) Se favorece la disponibilidad de micronutrientes; 4) Presencia de ácidos orgánicos húmicos y flúvicos y 5) Modificación de pH del suelo. (Vazquez, 1999)

En la región de Milpa alta, bajo una tecnología de producción empírica, la fertilización orgánica es la de mayor inversión una vez establecida la plantación.



**Fertilización química** es otra forma de aplicar fertilizantes al suelo o a la plantas y esto es debe a que el suelo no provee suficientes cantidades de los nutrimentos esenciales para las plantas para satisfacer los requerimientos nutricionales del cultivo y maximizar el rendimiento (Valdez-Cepeda *et al.* 2003)

#### **Nitrógeno Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ )**

Esta forma de nitrógeno es disponible para las plantas. El nitrato es soluble, se mueve con el agua que se aplica al suelo y es fácilmente lixiviado. También es la principal forma de nitrógeno absorbido por las plantas, incluyendo al nopal (Valdez-Cepeda *et al.* 2003)

#### **Nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ )**

Cuando el nitrógeno es incorporado al suelo puede ser adsorbido fácilmente por los coloides arcillosos y orgánicos, pero también puede ser lixiviado si entra en solución a menos que el suelo tenga una baja capacidad de intercambio cationico. Sin embargo, las bacterias empiezan inmediatamente a transformar el amonio en nitrato. La transformación completa se realiza de un día a dos semanas, dependiendo de las condiciones ambientales que gobiernan la nitrificación:

- Temperatura optima (27-32°).
- Suficiente humedad en el suelo. En los suelos muy húmedos o muy secos no se efectúa la nitrificación.
- pH optimo. El rango va de 5.5 a 7.0.

#### **Nitrógeno orgánico soluble en agua**

La urea y la cianina cálcica son los dos materiales considerados como fertilizantes organicos solubles en agua. Cuando la urea se incorpora al suelo, la enzima ureasa la transforma en amonio. La reacción es muy rápida porque la ureasa esta siempre presente en



los suelos que contienen microorganismos. Por lo tanto, el amonio es nitrificado en nitrito (Valdez-Cepeda *et al.* 2003)

### **Nitrógeno orgánico insoluble en agua**

Los organismos naturales son las formas de nitrógeno insoluble en agua. Deben ser descompuestos o mineralizados para que el nitrógeno quede en formas disponibles para las plantas, de manera que liberan nitrógeno lentamente conforme la materia orgánica se desintegra en coloides orgánicos. Lo ideal es tener suelos agrícolas ricos en materia orgánica, lo cual difícilmente se presenta en las regiones agrícolas de las regiones áridas y - semiáridas (Valdez Cepeda *et al.* 2003)

### **Fósforo**

La mayor parte del fósforo presente en los suelos proviene de la degradación de los minerales naturales o de los fertilizantes comerciales. Un exceso de fósforo en el suelo afecta negativamente la absorción del hierro y zinc por las plantas.

### **Potasio**

El potasio difiere de otros nutrientes de las plantas porque permanece en la savia pero puede ser lixiviado fácilmente de los tejidos de las plantas muertas. No es necesario que la materia orgánica vegetal se descomponga para que sea liberado, ya que por lo general, las plantas presentan la tendencia de absorber más potasio del que requieren y por lo consiguiente, es factible que se desarrolle un antagonismo entre el potasio y otro nutriente, es decir, que se presente una relación negativa entre el potasio y otro elemento. La cantidad de potasio que se incorpora al suelo depende de la cantidad de materia orgánica animal y vegetal que se aplica. O bien de la cantidad y naturaleza de los fertilizantes inorgánicos comerciales que se aplican. (Valdez-Cepeda *et al.* 2003)

## **Calcio**

El calcio se encuentra principalmente en la pared celular de los cactus, proveyendo soporte mecánico a las células. También participa en el ATP y la hidrólisis de los fosfolípidos. En los cactus es encontrado como oxalato en drusas y cristales (Gibson y Nobel, 1986).

## **Fertirriego**

Pizarro (1990) señala que el término fertirrigación significa la aplicación de los abonos disueltos en el agua de riego. El fertirriego es técnica que ofrece la posibilidad de realizar una fertilización día a día, en función del proceso fotosintético y exactamente a la medida de un cultivo, un sustrato y un agua de riego determinados y para unas condiciones ambientales definidas (Cadahia, 1998). La aplicación debe hacerse de forma fraccionada, dados los pequeños volúmenes de suelo explorados por las raíces, lo que se consigue de forma económica mediante la fertilización a través del agua de riego (Rodrigo-López, et al., 1992).

Cadahia (1998) menciona que el riego localizado presenta numerosas ventajas respecto al sistema de riego tradicional en relación a la utilización de aguas salinas y al ahorro de agua. Sin embargo, en los últimos años se ha demostrado que las mayores posibilidades de este sistema de riego se centran en su utilización como vehículo de una dosificación racional de fertilizantes en el cultivo y permite hacer frente a los posibles problemas de contaminación que pueden originarse por un exceso transitorio de fertilizantes en el suelo o sustrato.

## **Ventajas**

Entre las ventajas del sistema de fertirrigación se citan las siguientes:

- Dosificación racional de fertilizantes.
- Ahorro considerable de agua
- Utilización de aguas de riego de baja calidad
- Nutrición optimizada del cultivo y por lo tanto aumento de rendimientos y calidad de los frutos.
- Control de la contaminación.



- Mayor eficacia y rentabilidad de los fertilizantes.
- Alternativas en la utilización de diversos tipos de fertilizantes
- Fabricación a la carta de fertilizantes concentrados adaptados a un cultivo, sustrato, agua de riego y condiciones climáticas durante todos los días del ciclo del cultivo.

### **Inconvenientes**

- Costo inicial de infraestructura
- Obturación de goteros
- Manejo por personal especializado.

Vázquez (1999) señala que la aplicación de fertilizantes a través del sistema de riego es más eficiente que con los sistemas tradicionales de riego y fertilización y señala las siguientes ventajas del riego por goteo con respecto al cultivo de nopal verdura y alimentación de las plantas.

### **Ventajas del riego por goteo con respecto al cultivo de nopal verdura**

- No se riega ni se fertiliza todo el terreno
- Los nutrientes se depositan en la zona del suelo en que se concentran las raíces.
- Existe una mayor facilidad para controlar la aplicación de los fertilizantes.
- Las aplicaciones se pueden ajustar a las distintas fases de desarrollo de la planta y dosificarse en varias veces, según sean las necesidades.
- Durante el riego, la variación del emisor no debe superar el 5 % y el coeficiente de uniformidad del sistema de riego por goteo no ser inferior al 94 %
- 

### **Alimentación de las plantas**

- Para obtener buenos rendimientos, hay que fertilizar en los primeros 60 cm del suelo.
- La absorción de humedad, no se realiza de una forma uniforme en toda la zona radicular, concentrándose en las zonas más próximas a la superficie.

## **Hidroponía**

La palabra hidroponía significa literalmente “trabajos en agua” e incluye todos los métodos y sistemas para cultivar plantas sin suelo (Douglas, 1985). De acuerdo con Durany, (1982), los sistemas hidropónicos más comunes son:

- ❖ Cultivo en medio líquido. En este sistema las plantas tienen sus raíces inmersas en la solución nutritiva y el tipo de soporte depende del cultivo.
- ❖ Cultivo en sustrato sólido, inerte y poroso. En este caso la planta se ancla al sustrato y adquiere los nutrientes por percolación.

La hidroponía promueve el uso eficiente del agua y los nutrientes. Comparada con la agricultura tradicional, usa solamente una fracción insignificante de agua. La hidroponía permite también el uso de aguas de baja calidad, ya sea moderadamente salina o alcalina. Algunas desventajas son: alto uso de energía (gas, gasolina, aceite y electricidad) e inversión inicial. Se necesita un análisis básico inicial de la calidad del agua y entrenamiento para preparar y mantener las soluciones nutritivas. Asimismo, la disponibilidad de instrumentos para determinar el pH y la conductividad eléctrica, deben ser considerada (Mondragón- Jacobo *et al.*, 2003).

### III. ESTADO DEL ARTE O ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

En el caso del nopal cultivado para la producción de tuna, nopalito verdura y penca para consumo animal y propagación vegetativa, los estudios de fertilización y nutrición son relativamente pocos en comparación con especies como el maíz, frijol, soya, papa, duraznero, guayabo, etc. (Valdez-Cepeda *et al.*, 2003). En general, las dosis de fertilización aplicadas en parcelas de nopal han sido diferentes (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) por ejemplo: 160-00-00 (Nobel *et al.*, 1987), 20-00-00 y 40-00-00 (Mondragón y Pimienta, 1990), 30-00-00, 60-00-00, 120-00-00 y 60-20-35 (Nerd y Mizrahi, 1992) y 224-00-00 y 224-112-00 (Gonzales y Everitt, 1990).

En el cuadro 5 se presentan evidencias de los efectos de la incorporación de fertilizantes en suelos donde se cultiva nopal. Se han encontrado respuestas positivas a la aplicación de fertilizantes nitrogenados. Esas respuestas se han manifestado en términos de número de brotes vegetativos o de cladodios nuevos en *Opuntia engelmannii* (Nobel *et al.*, 1987) y *O. Ficus-indica* variedad Esmeralda (Mondragón y Pimienta, 1990), producción de yemas florales en *O. Ficus-indica* (Nerd *et al.*, 1991; Nerd y Mizrahi, 1992), materia seca de planta en *O. Engelmannii* y *O. Rastrera* (Nobel *et al.*, 1987).

**Cuadro 5** Respuesta del nopal a la aplicación de fertilizantes al suelo.

<b>Nutriente (fertilizante)</b>	<b>Efectos positivos</b>	<b>Referencia (s)</b>
N	Numero de brotes vegetativos	Nobel et al. (1987), Mondragón y Pimienta (1990)
	Numero de yemas florales	Nerd et al. (1991), Nerd y Mizrahi (1992)
	Kg materia seca	Nobel et al. (1987)
N, P, y K <sup>+</sup> (+ sequia)	Yemas florales	Nerd et al. (1991)
N y P	Kg materia seca	Gonzalez y Everitt (1990)
N, P, K <sup>+</sup> y Ca <sup>2+</sup>	Rendimiento tuna	Claaessens y Wessels (1997)
	Kg materia fresca por planta	Valdez-Cepeda et al. (2002)
	Kg / cladodio	Valdez-Cepeda et al. (2002)
	Numero de cladodios	Valdez-Cepeda et al. (2002)

**Con base en análisis de planta de nopal**

En relación al análisis de tejido en nopal, se han desarrollado pocos estudios sobre la concentración de los nutrientes en los cladodios. En general, el N tiende a estar más concentrado en cladodios jóvenes que en los maduros (Nobel, 1983). Asimismo, el nopal cultivado tiende a acumular más Ca<sup>+2</sup> en sus cladodios en comparación con la mayoría de las especies cultivadas, lo cual se agudiza con la edad del tejido (Valdez-Cepeda *et al.*, 2003). Gathaara *et al.* (1989) reportaron que a mayores concentraciones de N en los cladodios, el crecimiento vegetativo se incrementa pero se reduce la producción de tuna en *O. engelmannii*. Valdez-Cepeda *et al.* (2002) señala que los requerimientos de nitrógeno para la producción de tuna son menores que los correspondientes a producción de nopalitas (verdura) y cladodios para propagación y consumo animal. Asimismo, en los últimos casos es necesario ser

**Cuadro 6** Programa mensual de fertirrigación en base a las recomendaciones globales y requerimientos de la planta de nopal verdura, bajo el esquema de explotación a cielo abierto.

Intervalo de tiempo (Mes)	N Kg/ha/mes	N g/ha/día	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Kg/ha/mes	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> g/ha/día	K <sub>2</sub> O Kg/ha/mes	K <sub>2</sub> O g/ha/día
ENERO	5.0	161	3.0	97.0	1.5	49.0
FEBRERO	8.0	296	4.0	148.0	2.0	74.0
MARZO	9.0	290	5.0	161.0	2.5	81.0
ABRIL	12.5	417	12.0	400.0	6.0	200.0
MAYO	20.5	661	14.0	452.0	7.0	226.0
JUNIO	23.5	783	15.0	500.0	7.5	242.0
JULIO	20.0	645	12.0	387.0	6.0	200.0
AGOSTO	17.0	548	11.0	355.0	5.5	161.0
SEPTIEMBRE	12.5	417	12.0	400.	6.0	200.0
OCTUBRE	9.0	290	5.0	161.0	2.5	80.0
NOVIEMBRE	8.0	266	4.0	143.0	2.0	74.0
DICIEMBRE	5.0	161	3.0	97.0	1.5	49.0
TOTAL	150.0		100.0		50.0	

Además menciona que para una buena fertilización se tiene que establecer un calendario de fertilización; tratando de calcular el nivel de fertilización por planta y programar un calendario de análisis de agua y planta.

### **Cultivo en hidroponía**

Mondragón- Jacobo *et al.* (2003) señalan que la hidroponía es quizá la última frontera en la producción de nopal forrajero; puede ser adaptada a zonas áridas donde la disponibilidad de agua es restringida donde hay mucha presión sobre los pastizales y mencionan que los módulos hidropónicos pueden permitir el uso eficiente de volúmenes limitados de agua para producir alimentos o forrajes, mejorando el ingreso rural.

En el estudio que realizaron con 30 variedades de nopal, las cuales fueron provistas por el Instituto Nacional de investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en el cual se utilizó una solución nutritiva (Cuadro 7).



**Cuadro 7.** Solución nutritiva estándar utilizada para la producción de nopal forrajero.

<b>Fuente</b>	<b>Cantidad, g/ m<sup>3</sup> de agua</b>	<b>Nutrimento</b>
Nitrato de potasio	150 – 250	N
Ácido fosfórico	40	P
Nitrato de potasio	289.4 – 350	K
Nitrato de calcio	210	Ca
Sulfato de magnesio	40	Mg
Sulfato ferroso	12	Fe
Sulfato de cobre	0.1	Cu
Sulfato de zinc	0.2	Zn
Ácido bórico	0.	

Los resultados que arrojó el estudio fueron los siguientes, el contenido de proteína del nopal obtenido en hidroponía vario de 11,72 a 18,07 por ciento para el cultivar Pabellón Amarillo y LCNF (Cuadro 8), estos valores cubren los requerimientos mínimos para bovinos, ovinos y caprinos en pastoreo.

**Cuadro 8.** Contenido de nutrientes (Cenizas, proteína cruda, fibra ácido detergente, fibra detergente neutro) y digestibilidad *in vitro* de diferentes cultivares de nopal.

Variedad	MS %	Cenizas, %	Proteína cruda %	ADF (%)	NDF (%)	Contenido celular (%)	Hemicelulosa (%)	Digestibilidad <i>in vitro</i> de MS %
Italiano	94.61	24.01	17.78	18.67	29.42	70.58	10.75	88.4
40	92.9	25.44	16.25	23.01	35.71	64.29	12.70	87.2
34	92.79	26.37	15.28	19.66	27.63	72.37	7.97	89.9
RDR	93.17	26.28	15.21	23.6	26.71	73.29	3.11	86.7
LCNF	92.59	28.59	18.07	24.78	30.35	69.65	5.57	87.8
Villanueva	92.96	30.31	15.55	21.17	39.27	60.73	18.10	84.9
Tehuacan	93.75	22.35	15.77	14.45	32.26	67.74	17.81	91.3
75	92.65	27.37	15.25	16.20	32.23	67.77	16.03	87.2
70	92.94	22.51	13.67	20.08	37.42	62.58	17.34	84.8
RSR	93.19	23.52	15.91	20.21	37.23	62.77	17.02	91.5
Rosalito	92.75	28.40	15.58	20.78	34.98	65.02	14.20	92.4
AGD	92.32	26.01	16.41	21.97	33.97	66.03	12.00	90.6
44	93.17	28.07	15.86	21.00	33.36	66.64	12.36	22.6
Copena	92.39	24.59	16.55	18.53	33.08	66.92	14.55	91.9
Pelón Amarillo	92.77	18.68	11.72	18.37	37.10	62.90	18.73	95.5

ADF: fibra insoluble en detergente ácido; NDF: fibra insoluble en detergente neutro

Con relación a la acumulación de N, los cultivares Milpa Alta (1.22g), AGO (1,12g) y la Selección 44 (1,09) presentaron los valores más altos. Mientras que para P, los materiales más altos fueron RSR (0,20 g) y F1 (0,017 g), LCNF (1,23 g) y Pabellón Amarillo (1,15 g). También se registro acumulación significativa de Ca en los cultivares Villanueva (1,03 g) y Ago (0,95) (Cuadro 9).

**Cuadro 9.** Acumulación de N, P, K y Ca, de 30 cultivares de nopal del Centro de México.

Variedad	Peso seco (g)	Acumulación			
		N	P	K	Ca
1. Redondo	16.6	0.44	0.06	0.94	0.27
2. ACNF	27.5	0.93	0.08	1.31	0.31
3. 70	21.8	0.56	0.11	1.14	0.45
4. Milpa Alta	37.1	1.22	0.13	1.55	0.76
5. Tehuacán	22.4	0.70	0.15	1.02	0.44
6. 44	29.7	1.09	0.07	0.65	0.80
7. Rosalito	22.3	0.72	0.12	1.02	0.51
8. RSA	26.8	0.80	0.15	1.18	0.50
9. 40	14.9	0.53	0.10	0.71	0.43
10. Villanueva	20.9	0.36	0.08	0.65	1.03
11. RSR	33.2	0.99	0.20	1.82	0.65
12. RDR	12.6	0.39	0.06	0.67	0.37
13. 34	17.5	0.45	0.08	0.65	0.46
14. LCNF	28.7	0.92	0.15	1.23	0.67
15. 75	13.5	0.42	0.09	0.77	0.28
16. Italiano	12.9	0.45	0.09	0.61	0.33
17. V-3	13.2	0.39	0.07	0.54	0.84
18. T-L	10.6	0.32	0.07	0.43	0.29
19. Valtierra*	7.6*	0.30	0.04	0.25	0.27
20. V-1	13.2	0.44	0.06	0.62	0.30
21. RSB	8.9	0.25	0.05	0.34	0.24
22. R-7	19.4	0.70	0.11	0.53	0.59
23. F-1	29.5	1.04	0.17	0.97	0.69
24. AGO	29.1	1.12	0.16	0.63	0.95
25. R-72	15.2	0.51	0.07	0.37	0.36
26. Sel. Pabellón	15.2	0.47	0.08	0.90	0.34
27. COPENA	13.0	0.35	0.04	0.39	0.33
28. Pabellón Amarillo	23.7	0.74	0.14	1.15	0.54
29. Tapón Hembra	10.4	0.08	0.06	0.35	0.38
30. Tapón macho	4.5	0.16	0.02	0.13	0.10

#### IV AREAS DE OPORTUNIDAD

México se caracteriza por sus zonas áridas y semiáridas, áreas deficientes de disponibilidad de agua limitan por este factor la mayor parte de las actividades de producción agropecuaria. Alrededor del 53% de la superficie nacional esta ocupada por zonas áridas y semiáridas (CONAZA, 1992).

Entre los cultivos que pueden adaptarse a este tipo de regiones se encuentra el nopal, (*Opuntia spp.*), el cual presenta una opción productiva a un no explorada. Su metabolismo ácido crasuláceo, baja demanda hídrica y su amplia capacidad de adaptación a condiciones extremas de temperatura y altitud, así como los múltiples usos a que puede destinarse lo perfilan como un cultivo prometedor.

El Manejo en microtúneles que describe De la Rosa y Santamaría (1998) en el cual se le da un uso intensivo al nopal, además de proporcionarle abrigo en épocas frías es una área donde la aplicación del fertirriego puede dar una solución a la demanda de nutrientes por el cultivo, proporcionando con esto una mayor producción y mejor calidad en los nopalitas.

La Delegación de Milpa alta en D.F. (zona de mayor producción a nivel nacional) de acuerdo a De la Rosa y Santamaría (1998) donde se alcanzan producciones elevadas debido a las altas densidades del cultivo y el al cual aplican abono orgánico fresco de 600 a 800 toneladas por hectárea, además de fertilizantes químicos, es una área donde el fertirriego evitaría la aplicación de tanto abono orgánico y le proporcionaría a la planta los requerimientos necesarios de nutrientes para estimular la brotación de renuevos y crecimiento de los mismos y disminuyendo los costos de abono orgánico y mano de obra utilizada en la aplicación del mismo a si como de los fertilizantes químicos.

En las regiones áridas y semiáridas la incorporación de materia orgánica ayudaría a mejorar la estructura del suelo, retener la humedad en el suelo entre otros factores, que de acuerdo con Valdez Cepeda *et al.* (2003) los organismos naturales son las formas de nitrógeno

precavidos con respecto de la fertilización nitrogenada, principalmente, ya que el nopal posee la peculiaridad de absorber y acumular fácilmente nitratos en sus nopalitos y cladodios y pueden alcanzar niveles tóxicos para personas y animales que los consumen.

### **Respuestas de las plantas al riego por goteo**

- El riego por goteo permite aplicar nutrientes ajustándose a las necesidades de la planta.
- El nitrógeno se debe aplicar periódicamente para favorecer el crecimiento vegetativo.
- El fósforo, puede aplicarse desde la primera fase, cuando tiene lugar el desarrollo radicular y posteriormente en dosis de mantenimiento.
- El potasio, puede aplicarse en forma alterna cada 2 ó 3 riegos. Aumenta su calidad al hacer los nopalitos más resistentes a la manipulación, o vida de anaquel.
- En microtúneles. La carencia de micronutrientes es frecuentemente un problema en el riego por goteo, se sugiere la aplicación de quelatos compuestos en formulas comerciales

Vázquez (1999) recomienda la siguiente dosis de fertilización mensual (cuadro 6) a través del sistema de fertirriego de Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K), en la producción de nopal verdura en la explotación a cielo abierto. Cabe señalar que el fósforo se maneja en términos de pentóxido de fósforo ( $P_2O_5$ ) y el potasio como óxido de potasio ( $K_2O$ ), de esta manera en los fertilizantes comerciales que contienen los macronutrientes nitrógeno, fósforo y potasio se presentan los contenidos en términos de N-  $P_2O_5$ -  $K_2O$  por cada 100 kg de fertilizante.

La aplicación del riego dos veces al día, cada tercer día fue significativamente superior al resto de los tratamientos. Las diferencias en rendimiento fueron atribuidas únicamente al tamaño de cladodio (Cuadro 10). Los cladodios plantados en posición vertical y orientados Norte- Sur (N-S) presentaron un mayor número de brotes y mayor rendimiento (Cuadro 11).

Y concluyen que es factible producir forraje de alta calidad en hidroponía durante la estación seca cuando otras fuentes de forraje son escasas. Los mejores resultados se obtienen irrigando dos veces al día cada tercer día.

**Cuadro 10.** Efecto de las diferentes frecuencias de riego en el número de brotes y rendimiento promedio de materia base húmeda y seca por planta de nopal en los diferentes bancales.

Tratamientos	Número de brotes	Peso base húmeda (g)	Peso materia seca (g)
T1) Un riego día <sup>-1</sup> , todos los días	4.65	875.85 b	65.73 b
T2) Dos riegos día <sup>-1</sup> , cada tercer día	5.07	1401.4 a	84.20 a
T3) Dos riegos día <sup>-1</sup> , todos los días	4.1	1080.8 b	75.11 b
T4) Un riego día <sup>-1</sup> , cada tercer día	5.1	574.7 c	52.07 c

Nota: a, b medias en la misma columna, con distinta letra son diferentes ( $p < 0.05$ ).

**Cuadro 11.** Efecto de la posición y la orientación en el número de brotes y producción de materia seca promedio por planta.

Posición (Orientación)	Peso fresco (g)	Número de brotes
Vertical(norte-sur)	757.04	4.93
Horizontal	596.18	2.72
Vertical (este-oeste)	355.87	4.61

insoluble en agua. Deben ser descompuestos o mineralizados para que el nitrógeno quede en formas disponibles para las plantas, de manera que liberan nitrógeno lentamente conforme la materia orgánica se desintegra en coloides orgánicos, esto complementado con el fertirriego ayudaría a tener una mejor producción del cultivo de nopal en las zonas áridas y semiáridas con un manejo intensivo a cielo abierto o micro túneles.

Las Ventajas del riego por goteo con respecto al cultivo de nopal verdura que señala Vázquez (1999) son las siguientes: no se riega ni se fertiliza todo el terreno; los nutrientes se depositan en la zona del suelo en que se concentran las raíces; existe una mayor facilidad para controlar la aplicación de los fertilizantes; las aplicaciones se pueden ajustar a las distintas fases de desarrollo de la planta y dosificarse en varias veces, según sean las necesidades; durante el riego, la variación del emisor no debe superar el 5 % y el coeficiente de uniformidad del sistema de riego por goteo no ser inferior al 94 %

Además menciona que en la alimentación de las plantas, para obtener buenos rendimientos, hay que fertilizar en los primeros 60 cm del suelo, y la absorción de humedad, no se realiza de una forma uniforme en toda la zona radicular, concentrándose en las zonas más próximas a la superficie. Estas ventajas que proporciona el riego por goteo pueden ser utilizadas en las plantaciones comerciales para una mejor eficiencia del agua así como un mejor uso de los fertilizantes evitando en lo posible la contaminación por exceso en la aplicación de estos, además de obtener una producción constante durante todo el año si es que se utiliza los microtuneles mencionados por De la Rosa y Santamaría (1998) para la estación invernal.

El Nitrógeno es un elemento indispensable para estimular la brotación de renuevos y crecimiento de los mismos (De la Rosa y Santamaría, 1998). Otros estudios han encontrado respuestas positivas a la aplicación de fertilizantes nitrogenados. Esas respuestas se han manifestado en términos de número de brotes vegetativos o de cladodios nuevos en *Opuntia engelmannii* (Nobel *et al.*, 1987) y *O. Ficus-indica* variedad Esmeralda (Mondragón y Pimienta, 1990)

Los requerimientos de nitrógeno para la producción de tuna son menores que los correspondientes a producción de nopalitos (verdura) y cladodios para propagación y consumo

animal. Asimismo, en los últimos casos es necesario ser precavidos con respecto de la fertilización nitrogenada, principalmente, ya que el nopal posee la peculiaridad de absorber y acumular fácilmente nitratos en sus nopalitos y cladodios y pueden alcanzar niveles tóxicos para personas y animales que los consumen Valdez-Cepeda *et al.* (2002). La técnica de la fertilización a través del sistema de riego proporcionaría los requerimientos necesarios de nitrógeno y demás nutrimentos a la planta evitando con ello la toxicidad por la acumulación de nitratos en los nopales. Se llevaría un control adecuado de fertilización utilizando también los análisis de las plantas para verificar el por ciento de nitratos y elementos presentes para evitar un exceso que sería problemático para el consumo humano y animal.

De acuerdo a Vázquez (1999) el potasio, puede aplicarse en forma alterna cada 2 ó 3 riegos. Aumenta su calidad al hacer los nopalitos más resistentes a la manipulación, o vida de anaquel, con el fertirriego se llevaría un control de la fertilización adecuada para la incorporación del potasio a la planta aumentando la calidad del producto y haciéndolo más resistente.

Existe una diversidad de dosis de fertilización con diferencias extremas entre ellas, aplicadas en parcelas de nopal (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) por ejemplo: 160-00-00 (Nobel *et al.*, 1987), 20-00-00 y 40-00-00 (Mondragón y Pimienta, 1990), 30-00-00, 60-00-00, 120-00-00 y 60-20-35 (Nerd y Mizrahi, 1992) y 224-00-00 y 224-112-00 (Gonzales y Everitt, 1990), es por ello la necesidad de establecer programas de fertilización acordes al sistema de producción y al tipo de producción destinada (tuna, nopalitos, forraje) de acuerdo a la región y las condiciones climáticas así como también a las necesidades de las plantas.

El fertirriego permite la dosificación de fertilizantes distribuida durante todos los días del ciclo del cultivo, con ayuda de los análisis de suelo, agua y de planta, esto es útil para establecer programas de fertilización que proporcionen los nutrimentos requeridos por las plantas, además de mantener la calidad del producto y también alargar la vida en anaquel.

En la última década, se muestra un cambio hacia una producción más intensiva del cultivo motivada por el mercado que ha venido ganando este cultivo en la producción nacional.





Además puede ser una alternativa de los productores, con plantaciones de sistemas intensivos bajo el sistema de fertirriego, de obtener mayores rendimientos y a su vez ganar mercados en el extranjero ya que México es el principal productor y exportador del cultivo, así como también es el país donde se encuentra la mayor diversidad de variedades de nopal y así generar divisas y empleos para el país.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del trabajo realizado se concluye que México tiene un gran potencial para el desarrollo de plantaciones de nopal para verdura y forraje por su superficie, condiciones agroclimáticas y el material genético con que cuentan.

El nopal se encuentra entre los cultivos que pueden adaptarse a las regiones áridas y semiáridas, el cual presenta una opción productiva a un no explorada, los múltiples usos a que puede destinarse lo perfilan como un cultivo prometedor.

Se cuenta con tecnología apropiada para el desarrollo de este cultivo a través del sistema del fertirriego que es generada por las universidades y en parte por los mismos productores, aunque no todas cuentan con ella.

El fertirriego presenta la opción viable para la producción en calidad y cantidad de los productos a que sea destinada la plantación, así como para evitar la contaminación por exceso de fertilizantes aplicados al cultivo y un manejo eficiente del agua de riego que en las zonas áridas es una limitante.

El fertirriego proporciona un manejo adecuado de los fertilizantes así como las dosis necesarias requeridas por las plantas para un buen desarrollo y probablemente alargar la vida en anaquel.

En la actualidad, México se considera como el principal exportador de nopal verdura. Nuestro país tiene oportunidad de ampliar su mercado a los demás países, así como en E.U.A por los residentes de origen mexicano y por los países que integran el TLC.

### NOMENCLATURA

NOM-054-ECOL-2001	Norma Oficial Mexicana de Protección a las especies de Flora y Fauna Silvestres
CITES	Convención sobre Trafico Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres
INIFAP	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias
CODAGEM	Comisión coordinadora para el desarrollo agrícola y ganadero del estado de México
CONAZA	Comisión Nacional de Zonas Áridas
SAGARPA	Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural y Pesca
IIZA	Instituto de Investigación de Zonas Desérticas
PROMAN	Promotora Nacional del Maguey
TLC	Tratado de Libre Comercio
E. U. A.	Estados Unidos Americanos
D. F.	Distrito Federal
Edo.	Estado
CAM	Metabolismo Acido Crasuláceo
ATP	Adenosin-trifosfato
MPa	Mega Pascales
N-S	Norte- Sur
<i>et al.</i>	Colaboradores
<i>Spp</i>	Especies
<i>sp</i>	Especie
N	Nitrógeno
P	Fósforo
K	Potasio
Ca	Calcio
Mg	Magnesio
Fe	Fierro
Cu	Cobre
Zn	Zinc
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Penta oxido de fósforo
K <sub>2</sub> O	Oxido de potasio
CO <sub>2</sub>	Bióxido de carbono
pH	Potencial de hidrógenos
°C	Grados centígrados
°	Grados
%	Por ciento
\$	Signo de pesos
Ton/año	Toneladas por año
Ton/ha	Toneladas por hectárea
Plantas/ha	Plantas por hectárea



Kg/cladodio	Kilogramos por cladodio
Kg/ha/mes	Kilogramos por hectárea por mes
g/ha/día	Gramos por hectárea por día
g/m <sup>3</sup>	Gramos por metro cúbico
dia <sup>-1</sup>	Por día
Ton,ton	Toneladas
ha	Hectárea
Kcal	Kilocalorías
Kg	Kilogramos
g	Gramos
m	Metro
cm	Centimetro
mm	Milimetro
mg	Miligramo

## REFERENCIAS

- Areas, M. S. 1997. Distribución, grupos taxonómicos y formas de vida: Distribución general. 17-25pp. En: Valles-Septián (Ed). *Suculentas mexicanas Cactáceas*. Edit. CVS Publicaciones S.A. de C.V. México. 143p.
- Barrientos, P.I. y Brawer, O. 1972. Mejoramiento genético del nopal, revista de la vida rural de México 8 (9): 4-7.
- Bravo, H y H. Sánchez-mejorada, 1978. *Las cactáceas de México*. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F. Segunda edición. Vol. 1. 755pp.
- Bravo, H. y H. Sánchez-Mejorada. 1991. *Las cactáceas de México*. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F. Vol. 3. 404pp.
- Bravo, H. H. 1997. Semblanza histórica. 10-15pp. En: Valles-Septián (Ed). *Suculentas mexicanas Cactáceas*. Edit. CVS Publicaciones S.A. de C.V. México. 143p
- Cadahia, C. 1998. *FERTILIZACION Cultivos hortícolas y ornamentales*. Ediciones Mundi-Prensa. 475 p
- Claaessens, A.S. and A.B. Wessels. 1997. The fertilizer requirements of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) under summer rainfall conditions in South Africa. In: Inglese, P. and M.O. Brutsch. Proc. III Int. Congress on Cactus Pear and Cochenille. *Acta Horticulturae* 438:83-95.
- CODAGEM. 1979. Cultivo, explotación y aprovechamiento del nopal. México. Folleto informativo No. 158. 10 p.

- CONAZA, 1992. Nopal, cultivo alternativo para las zonas áridas y semiáridas de México. Edit. Comisión Nacional de Zonas áridas, Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de la reforma Agraria. Saltillo, Coahuila, México.
- CONAZA. 1994. Nopal verdura. *Opuntia spp.* 31 pag.
- De la Rosa, H.J.P y D. Santamaría, A. 1998. *EL NOPAL*. Usos, agronómico y costos de producción en México. CONAZA-UACH-CIESTAAM. 173 pag.
- Díaz, C. C. H. 2004. Rescatemos a una especie *Mammillaria mercadensis* Patoni. In: Resúmenes IV congreso Mexicano y III Latinoamericano y el Caribe de Cactáceas y otras Suculentas.
- Douglas, J. S. 1985. Advanced guide to hydroponics. Drake Pub. Inc. New York. 367 pp.
- Durany, V. 1982. Hidroponía, cultivo de plantas sin tierra. Barcelona. Editorial Sintesis
- Elizondo, E. J. L., J. Valdez, R. y A. Rodríguez, G. 1990. Cactáceas vulnerables y en peligro de extinción para Coahuila, México. Biotam. vol. 2:17-22 pp.
- Franco, M. S. 1997. Usos y conservación: Legislación y conservación.101-111pp. En: Valles-Septién (Ed). Suculentas mexicanas Cactáceas. Edit. CVS Publicaciones S.A. de C.V. México. 143p
- Flores-Valdez, C. A. 1999. Producción, industrialización y comercialización de nopalitos. 97-15 pp. En: Pimienta-Barrios, E., Barbera, G., Inglese, P. (Eds). Agroecología, cultivo y usos del nopal. Producido en el marco de la Red FAO de Cooperación técnica internacional en nopal (CACTUSNET)..

- Gathaara, G.N., P. Felker and M. Land. 1989. Influence of nitrogen and phosphorus application on *Opuntia engelmannii* tissue N concentrations, biomass production and fruit yield. *J. Arid Envir.* 16: 337-347.
- Gibson, C.G. y Nobel, P.S. 1986. *The Cactus Primer*. Cambridge, Mass. Harvard University Press.
- Gonzalez, C.L. and J.H. Everitt. 1990. Fertilizer effects on the quality and production of prickly pear cactus and its wildlife value. In: *Proc. First Annual Texas Prickly pear Council*. Kingsville, Texas. Pp. 3-13.
- Grajeda G. J. E., A. García V. 1982. *Cultivo nopal para verdura*. Centro de genética. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México.
- Granados, S. D. y A. D. Castañeda, P. 1997. *El nopal. Historia, fisiología, genética e importancia frutícola*. Ed. Trillas. México.
- Hernández, M. H., H. Godinez, A. 1994 *Contribución al conocimiento de las cactáceas mexicanas amenazadas*, *Acta Botánica Mexicana*, 26:33-52.
- Mondragón, J. C., S. de J. Méndez G., G. Olmos O. 2003. El cultivo de *Opuntia* para la producción de forraje: de la reforestación al cultivo hidropónico. En: Mondragón-Jacobo C. y S. Pérez-González (Eds.). *El nopal (Opuntia ssp.) como forraje*. Producido en el marco de la red Internacional de cooperación técnica del nopal. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN.  
[http://www.fao.org/documents/show\\_cdr\\_head.asp?url\\_file=/docrep/007/y288s.htm](http://www.fao.org/documents/show_cdr_head.asp?url_file=/docrep/007/y288s.htm)
- Mondragón, C. y E. Pimienta, B. 1990. Corrección del amarillamiento del nopal tunero: una posible deficiencia nutrimental. In: *memorias del IV Congreso Nacional y II Congreso*

- Internacional Sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Zacatecas. Zac., México. 26-27 pp.
- Monroy, R. Betancur, H. Y Oliver R. 1989. “ Estudio comparativo de las características edáficas del cultivo del Nopal *Opuntia sp.* de tres edades diferentes”. In: Resúmenes. XXI congreso Nacional de las Ciencias del suelo.
- Montaño, M. C., V. Villasante, F., H. Nolasco, S. 1993. Aspectos ecológicos y económicos de las cactáceas mexicanas. *Cact. Suc. Mex.* 89-92pp.
- Negrete, H. S. 1999. Perspectivas del mercado nacional e internacional del nopal verdura. 30-34 pp. Curso taller sobre conocimiento y aprovechamiento del Nopal. Asociación de productores de Nopal, Facultad de Agronomía, UANL. Programa Universitario de Investigación y servicio en Nopal y Tuna, CUESTAAM-UACH. 87p.
- Nerd, A. and Y. Mizrahi. 1992. Effects of fertilization on prickly pear production in Israel. In: Proc. 3<sup>rd</sup> Annual Texas Prickly Pear Council. Kingsville, Texas. 1-4 pp.
- Nieto-Garibay A. 2003. Ecología del Nopal. pp. 27-47. En: Murillo-Amador, B., E. Troyo-Diéguez, J.L. García-Hernández. (Eds.). El Nopal, alternativa para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI. Edit. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, B.C.S. México. 293p
- Nobel, P.S. 1983. Nutrient levels in cacti-relation to noturnal acid accumulation and growth. *Amer. J. Bot.* 7(8): 1244-1253.
- Nobel, P. S. 1998. Los incomparables agaves y cactus. Trillas, México, 211p.
- Nobel, P. S., Ch. E. Russeli, P. Felker, J. Galo and E. Acne. 1987. Nutrient relations and productivity of prickly pear cacti. *Agron. J.* 79(3): 55-555.



- Orona-Castillo, I., J de J. Espinosa, A., E. Troyo-Diéguéz, B. Murillo-Amador, J. L. García-Hernández. 2003. Situación actual de la comercialización de nopal verdura en México. 177-202 pp. En: Murillo-Amador, B., E.Troyo-Diéguéz, J.L. García-Hernández. (Eds.). El Nopal, alternativa para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI. Edit. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, B.C.S. México. 293p
- Orona-Castillo, I., E. Troyo-Diéguéz, A. Nieto-Garibay, L. F. Beltrán-Morales. 2003. Uso de riego de alta tecnología en la producción de nopal. 95-116 pp. En: Murillo-Amador, B., E.Troyo-Diéguéz, J.L. García-Hernández. (Eds.). El Nopal, alternativa para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI. Edit. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, B.C.S. México. 293p
- Pimienta-Barrios, E. 1997. Usos y conservación: El nopal en México y en el mundo. 87-95 pp. En: Valles-Septién, C. (Ed). *Suculentas mexicanas Cactáceas*. Edit. CVS Publicaciones S.A. de C.V. México. 143p.
- Pizarro, C. F. 1990. Riegos localizados de alta frecuencia. 2a edición. Ed Mundi-prensa. Madrid, España. 471p.
- Rodrigo, L. J., J.M. Hernández A., A. Pérez R., J. F. González H. 1992. Riego localizados. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 405p.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Editorial Limusa. México, D.F. 432 pp.
- Sánchez, I. E. S. y Y. Martínez, L. 2004. El genero *Mammillaria* en la colección del jardín botánico de la Universidad de Guadalajara. In: Resúmenes IV congreso Mexicano y III Latinoamericano y el Caribe de Cactáceas y otras Suculentas.
- Sánchez-Mejorada, H. 1982. México's problems and programas monitoring trade in common and endangered Cacti. *Cact. Succ. J. Gr. Brit.* 44: 36-38.
- Valdez-Cepeda, R.D., F. Blanco-Macías, R.R. Ruiz-Garduño, M. Márquez-Madrid y F.J. Macías-Rodríguez. 2002. Fertilización-nutrición en nopal. Informe de investigación

PUIFRU 230308 (2001). Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario Centro Norte. Zacatecas, Zac., México. 30pp.

Valdez-Cepeda, R. D., F. Blanco-Macías, B. Murillo-Amador, M. Márquez-Madrid, R. Magallanes-Quintanar, R. R. Ruiz-Garduño, J. L. García-Hernández, J. C. Ledesma-Mares, F. J. Macías-Rodríguez. 2003. Fertilización química en nopal. 117-135 pp. En: Murillo-Amador, B., Troyo-Diéguez, E., García-Hernández, J.L. (Eds.). El Nopal, alternativa para la agricultura de zonas áridas en el siglo XXI. Edit. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, B.C.S. México. 293p

Vázquez-Alvarado, R. 1999. Manejo del abonado y fertilización del nopal para verdura, Marín, N.L. 15-23 pp. Curso taller sobre conocimiento y aprovechamiento del Nopal. Asociación de productores de Nopal, Facultad de Agronomía, UANL. Programa Universitario de Investigación y servicio en Nopal y Tuna, CIESTAAM-UACH. 87 p.

Vázquez-Alvarado, R. 1999. Producción de nopal verdura. 1-14 pp. Curso taller sobre conocimiento y aprovechamiento del Nopal. Asociación de productores de Nopal, Facultad de Agronomía, UANL. Programa Universitario de Investigación y servicio en Nopal y Tuna, CIESTAAM-UACH. 87 p

## **APÉNDICE**

### **ANEXO 1**

#### **CACTACEAS DENTOR DEL APÉNDICE I DE CITES**

Anexo 1. Especies de cactáceas mexicanas inscritas en el apéndice I de la CITES

ESPECIE	EN PELIGRO DE EXTINCION	RARA	AMENAZADA
<i>Ariocarpus agavoides</i> *	X		
<i>Ariocarpus bravoanus</i> *		X	
<i>Ariocarpus fissuratus</i> *			X
<i>Ariocarpus kotschoubeyanus</i> *			X
<i>Ariocarpus retusus</i>			
<i>Ariocarpus scaphirostris</i> *	X		
<i>Ariocarpus trigonus</i> *			X
<i>Astrophytum asterias</i> *	X		
<i>Aztekium ritteri</i> *			X
<i>Backebergia militaris</i> *		X	
<i>Coryphantha werdermannii</i> *	X		
<i>Disocactus macdougallii</i>			
<i>Echinocereus lindsayi</i> *	X		
<i>Echinocereus schmollii</i> *	X		
<i>Mammillaria pectinifera</i> *			X
<i>Mammillaria solisoides</i> *			X
<i>Obregonia denegrii</i> *			X
<i>Pelecypora aselliformis</i> *			X
<i>Pelecypora strobiliformis</i> *	X		
<i>Sclerocactus erectocentrus</i>			
<i>Sclerocactus mariposensis</i>			
<i>Strombocactus disciformis</i> *			X
<i>Turbinicarpus alonsoi</i>			
<i>Turbinicarpus flaviflorus</i>			
<i>Turbinicarpus gautii</i> *			X
<i>Turbinicarpus gielsdorfianus</i> *			X
<i>Turbinicarpus gracilis</i>			
<i>Turbinicarpus hoferi</i> *			X
<i>Turbinicarpus horripilus</i>			
<i>Turbinicarpus klinkerianus</i>			
<i>Turbinicarpus knuthianus</i>			
<i>Turbinicarpus krainzianus</i>			
<i>Turbinicarpus laui</i> *			X
<i>Turbinicarpus lophophoroides</i> *			X
<i>Turbinicarpus macrochele</i>			
<i>Turbinicarpus mandrágora</i> *			X
<i>Turbinicarpus pseudomacrochele</i> *	X		
<i>Turbinicarpus pseudopectinatus</i> *		X	



<i>Turbinicarpus roseiflorus</i>			
<i>Turbinicarpus saueri</i> *			X
<i>Turbinicarpus schmiedickeanus</i> *			X
<i>Turbinicarpus schwarzii</i>			
<i>Turbinicarpus subterraneus</i> *			X
<i>Turbinicarpus swoboda</i> *			X
<i>Turbinicarpus valdezianus</i> *			X
<i>Turbinicarpus viereckii</i> *			X
<i>Turbinicarpus ysabelae</i> *			x

\*Especies endémicas de México