



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

## FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

Dinámica de sodio, potasio, fósforo y nitrógeno en  
*Escontria chiotilla* (Weber) Rose (Cactaceae) en  
Venta Salada, Coxcatlán, Pue.

### T E S I S

POR DESEMPEÑO ESCOLAR  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

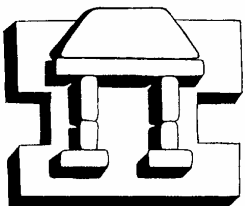
PRESENTA:

BEATRIZ AGUILAR BARAJAS

ASESORA:

M. en C. ANTONIA TRUJILLO HERNÁNDEZ

IZTACALA, ESTADO DE MÉXICO, 2007.



IZTACALA



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**Dinámica de sodio, potasio, fósforo y  
nitrógeno en *Escontria chiotilla* (Weber)  
Rose (Cactaceae) en Venta Salada,  
Coxcatlán, Pue.**



U. N. A. M. F. E. S. Iztacala. Laboratorio de Fisiología Vegetal.

Av. de los Barrios s/n Los Reyes Iztacala, c. p. 54090

Tlalnepantla, Edo. de Méx.

Contacto: [beti\\_a@hotmail.com](mailto:beti_a@hotmail.com)

## **Agradecimientos:**

A la **U. N. A. M.** como Institución, por haberme otorgado un sitio en su **Campus Iztacala** y cumplir uno de mis más grandes sueños: la realización profesional después de un gran esfuerzo. Mi escuela, mi casa y de la cual, me siento sumamente orgullosa por ser el punto de partida de todos aquellos que a través de nuestros sueños convertidos en proyectos, deseamos un futuro mejor para la humanidad.

Agradezco también a todos mis compañeros de la generación 90-93, su amistad y colaboración en los trabajos requeridos. También a todos mis profesores en las diferentes áreas, por sus conocimientos y ejemplos a seguir.

Un reconocimiento muy especial para mis compañeros y profesores, del Laboratorio de Fisiología Vegetal por ser antes que nada amigos que colaboraron en la realización del presente trabajo: Velázquez Ruíz Francisco Alfonso, Bautista A. Araceli, Herrera Rojas Diana, Sánchez Solís Ma. Teresa y Viveros Guzmán Noemí. A las Profras. Antonia Trujillo Hernández "Toni" y Graciela Molina G.; sin las cuales, este esfuerzo no se hubiese podido concretar. De igual forma, a las personas de la Localidad de Venta Salada, por su hospitalidad y las facilidades otorgadas para la realización del presente.

Un agradecimiento especial al Dr. Nobel y Brian R. Zutta, por sus atenciones e información proporcionada para concluir este trabajo. De igual forma, agradezco su valioso tiempo a los cinco profesores que con paciencia y esmero hicieron las correcciones pertinentes a esta tesis.

A la vida misma por darme esta segunda oportunidad para cumplir mis sueños.

A todas aquellas personas que permitieron la elaboración de este trabajo, de forma directa o indirecta, con todo mi cariño les agradezco su participación y apoyo. Para ustedes, dos breves palabras que encierran un mundo entero de gratitud, sentimientos y recuerdos:

**¡Muchas gracias!**

**Con todo cariño su amiga y servidora: Beti.**

## **Dedicatoria:**

Este trabajo lo dedico con todo mi cariño a mis hermanas Lupita y Carmelita y a mi maestra y amiga "Toni"; por su apoyo incondicional en todo momento. Asimismo, a todos mis maestros y amigos que me apoyaron para reanudar mi trabajo después de mucho tiempo por problemas de salud entre ellos: a los Profres. Daniel Tejero, Martha Salcedo y Ana Lilia Muñoz,

También como un humilde homenaje a la memoria de mis queridos profesores Roberto Rico Montiel y Antonio Meyrán Camacho, por ser realmente grandes seres humanos y por haberme brindado siempre su apoyo durante mis estudios.

A todos mis doctores, a mis amigos Enrique, Bety, Male, Luis, "rucio", "leo", Pascual, Ángel y Yamil, por darme siempre un momento de su valioso tiempo para sonreír y llenarme de esperanzas.

También lo dedico a todos mis compañeros que por alguna razón han interrumpido sus estudios. A ellos, podría decirles que no pierdan la esperanza de concluirlos, les aseguro que "es posible seguir cuando logramos que internamente el deseo de superación sea más grande que cualquier adversidad".

**Con cariño:**

**Beti.**

# Índice

	Pág.
Índice de figuras.....	I
Índice de cuadros.....	II
Resumen.....	III
1. Introducción.....	1
2. Objetivos.....	3
2. 1 Objetivo general.....	3
2. 2 Objetivos específicos.....	3
3. Antecedentes.....	4
3. 1 Generalidades de la nutrición mineral.....	4
3. 1. 1 Los macro y micronutrientes.....	5
3. 1. 2 Aspectos básicos de los elementos analizados: función, formas de absorción, disponibilidad, incorporación, deficiencias y excesos.....	6
3. 1. 2. 1 Sodio.....	6
3. 1. 2. 2 Potasio.....	6
3. 1. 2. 3 Fósforo.....	7
3. 1. 2. 4 Nitrógeno.....	8
3. 2 Respuesta de la planta ante deficiencias nutrimentales.....	10
3. 3 Nutrición mineral en cactáceas.....	11
3. 3. 1 Trabajos realizados en cactáceas.....	13
3. 3. 2 Las raíces y la nutrición.....	14
3. 3. 3 Las propiedades del suelo y la obtención de nutrimentos.....	16
3. 3. 3. 1 El color del suelo.....	16
3. 3. 3. 2 La textura.....	17
3. 3. 3. 3 La densidad y porosidad.....	17
3. 3. 3. 4 La materia orgánica.....	17
3. 3. 3. 5 La capacidad de intercambio catiónico total (C. I. C. T.).....	18
3. 3. 3. 6 El pH.....	18

	pág.
3. 4 Estudios con <i>Escontria chiotilla</i> .....	18
3. 4. 1 Ecofisiológicos.....	18
3. 4. 2 Con el fruto.....	19
3. 4. 3 De germinación.....	20
3. 5 <i>Escontria chiotilla</i> (Weber) Rose.....	20
3. 5. 1 Clasificación taxonómica.....	20
3. 5. 2 Descripción.....	20
3. 5. 3 Características del fruto.....	23
3. 5. 4 Distribución.....	25
3. 5. 5 Características del Municipio de Coxcatlán.....	25
<b>4. Material y métodos.....</b>	<b>30</b>
4. 1 Descripción del área de estudio.....	30
4. 2 Muestreo y material biológico.....	31
4. 3 Determinación de propiedades físicas y químicas del suelo.....	33
4. 4 Cuantificación de minerales.....	33
4. 5 Pruebas estadísticas.....	33
<b>5. Resultados.....</b>	<b>35</b>
5. 1 Características fisicoquímicas del suelo.....	35
5. 2 Resultados por nutrimento en planta y suelo.....	36
5. 2. 1 Sodio.....	36
5. 2. 2 Potasio.....	36
5. 2. 3 Fósforo.....	37
5. 2. 4 Nitrógeno.....	37
5. 3 Nutrientes en fruto.....	43
5. 4 Producción de frutos.....	44
<b>6. Discusión.....</b>	<b>45</b>
6. 1 Propiedades fisicoquímicas del suelo.....	45
6. 2 Sodio en planta y suelo.....	45

	pág.
6. 3 Potasio en planta y suelo.....	46
6. 4 Fósforo en planta y suelo.....	46
6. 5 Nitrógeno en planta y suelo.....	47
6. 6 Nutrición mineral en <i>E. chiotilla</i> .....	48
6. 7 Los nutrimentos y el tipo de suelo.....	48
6. 8 Análisis del fruto.....	49
6. 9 Producción de frutos.....	50
7. Conclusiones.....	51
8. Recomendaciones.....	52
9. Literatura citada.....	53



# I

## Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Escontria chiotilla</i> en Venta Salada.....	21
Figura 2. <i>E. chiotilla</i> con flor y frutos.....	22
Figura 3a. Frutos en diferentes grados de maduración.....	23
Figura 3b y 3c. Frutos en distintas etapas de crecimiento.....	24
Figura 4. Localidad de Venta Salada.....	26
Figura 5. Mapa de las zonas áridas y semiáridas de México.....	28
Figura 6. Localización de la zona de estudio.....	30
Figura 7. Muestreo de tejido.....	31
Figura 8. Muestreo de suelo.....	32
Figura 9. Gráfica de sodio.....	39
Figura 10. Gráfica de potasio.....	40
Figura 11. Gráfica de fósforo.....	41
Figura 12. Gráfica de nitrógeno.....	42

## II

### Índice de cuadros

	Pág.
Cuadro 1. Datos de precipitación pluvial de la Localidad.....	29
Cuadro 2. Factores para análisis estadístico en planta.....	33
Cuadro 3. Factores para análisis estadístico suelo.....	34
Cuadro 4. Análisis edafológico.....	35
Cuadro 5. pH del suelo.....	36
Cuadro 6. Resultados de sodio, potasio, fósforo y nitrógeno en <i>E. chiotilla</i> y suelo asociado.....	38
Cuadro 7. Análisis de los frutos de “jiotilla”.....	43
Cuadro 8. Producción de frutos.....	44

### III

## Resumen

Son pocos los estudios ecofisiológicos relacionados con la nutrición mineral de especies de cactáceas que representan un recurso potencial, que permitan un adecuado manejo y aprovechamiento de las mismas. El presente estudio, tiene como finalidad describir la dinámica del sodio y tres macronutrientes en planta y suelo asociado, durante el ciclo reproductivo de *Escontria chiotilla* en la Localidad de Venta Salada, Municipio de Coxcatlán, Pue. Para lo cual, se eligieron 6 organismos distribuidos al azar en dos cuadrantes, se recolectaron muestras de vástago, raíz y fruto, así como, de suelo a 20 y 40 cm de profundidad para analizar sus contenidos de Na, K, P y N. Se realizaron cuatro muestreos: etapa previa a floración (febrero), durante la floración (abril), fructificación (mayo) y al final del ciclo (julio). Los resultados encontrados indicaron que tanto en la superficie como en el fondo del suelo, no existen diferencias significativas en la concentración de Na. Mientras que, K, P y N; se presentan en mayor concentración en la superficie del suelo y disminuyen conforme avanza el ciclo reproductivo, en tanto que, el Na se mantiene constante. La concentración de Na, P y N en planta disminuye significativamente durante la etapa de floración (abril), y el K se mantiene constante a lo largo de todo el ciclo reproductivo. En el mes de mayo (fructificación), Na, P y N, se incrementan significativamente en tallo y raíz. La cuantificación de sodio, potasio, fósforo y nitrógeno en el tejido de *E. chiotilla* y el suelo durante su ciclo reproductivo, permitió conocer algunos aspectos de la dinámica de estos elementos en su hábitat natural durante cada etapa. También, se observó como los nutrimentos al aumentar en la planta desminuyen en el suelo. Comprobando así, que existe una muy estrecha relación entre la disponibilidad de éstos y la absorción de acuerdo a las demandas de la planta en cada fase. Al evaluar sodio, potasio y proteína cruda en los frutos, se pudo determinar su valor nutrimental.

# 1. Introducción

Las zonas áridas y semiáridas comprenden la más extensa zona ecológica con un área equivalente a la mitad del territorio de México. Por lo que las actividades forestales de carácter extractivo han afectado enormemente estas áreas, y la explotación de miles de productos de las plantas desérticas tales como la candelilla (*Euphorbia antisyphilitica*), guayule (*Parthenium argentatum*), jobjoba (*Simmondsia chinensis*), lechuguilla (*Agave lechugilla*), mesquite (*Prosopis juliflora*) y otras especies que no han sido registradas por este tipo de censos. A todo este problema se puede agregar la severa extracción y el tráfico ilegal de numerosas especies de cactáceas (Ramamoorthy, 1993).

Oropeza en 2005, menciona que de acuerdo a datos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y el Instituto Nacional de Ecología (INE), en el año 2000 la Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), definió que en México, el 47.5% del territorio corresponde a zonas áridas y semiáridas. Generalmente, dicha vegetación se desarrolla sobre suelos calcáreos y salinos, las características que estos suelos presentan en su composición y contenido de minerales, limitan el establecimiento de plantas no adaptadas a estas condiciones, lo que representa un factor importante en la distribución y productividad de algunas especies vegetales. Así mismo, las necesidades nutricionales de las plantas para su crecimiento, en estas zonas, podría variar en uno o más elementos específicos (Aguilera, 1989).

La mayor parte de los nutrimentos existen en la naturaleza en forma de minerales y materia orgánica, insolubles o inprovechables por las plantas. Los nutrimentos se vuelven disponibles por la intemperización de minerales y descomposición de materia orgánica; a excepción del nitrógeno, que se incorpora del suelo por medio de la acción microbiana. En realidad es muy raro aquél suelo capaz de proporcionar todos los elementos esenciales durante largos períodos y en cantidades necesarias para producir altos rendimientos. Los nutrimentos son absorbidos de la solución del suelo o de las superficies de los coloides como cationes y aniones (Aguilera, 1989). Por lo que el análisis del suelo es muy importante para conocer la cantidad de nutrimentos existentes en él, su pH y capacidad de intercambio catiónico y así, evaluar su potencial y capacidad para suministrar nutrimentos a la planta (Fernández y Maldonado, 2000).

En la planta, cada nueva célula requiere de cantidades reguladas de nutrimentos para su crecimiento y funcionamiento adecuados. Además, el incremento del tamaño de la planta en su mayoría depende de la adquisición de cantidades necesarias de minerales por proceso de absorción de las raíces. En este proceso la dinámica del desarrollo de la raíz asume un significado muy importante en el suelo, el cual es un medio no homogéneo en el que los iones nutritivos tienen diferente movilidad. La absorción de nutrimentos por la planta es el resultado de una rápida elongación del eje principal de la raíz y de la subsiguiente proliferación de ramificaciones laterales. Una de las estrategias para

hacer óptimo el volumen ocupado en el suelo es extendiendo la superficie radicular, y así adquirir los nutrimentos ya que las células de la raíz tienen una capacidad inherente para absorber iones (Clarkson y Hanson, 1980). Además de los minerales que son requeridos por las plantas, hay otros procesos que también contribuyen a la complejidad de las relaciones de nutrimentos: la fotosíntesis, el crecimiento y la productividad (Nobel, 1988).

El estudio de la nutrición mineral goza hoy en día de muy poca investigación y éste apareció formalmente en los años 30's. Sin embargo, la necesidad de comprender el papel de ciertos procesos y su interacción en el crecimiento, hacen que particularmente la demanda de este tipo de estudios se incremente debido a las necesidades de alimentación de la población humana (Clarkson y Hanson, 1980).

La experimentación futura de nutrición en cactus permitirá determinar tanto los niveles de deficiencia como los de toxicidad para los elementos en los cactus, acerca de los cuales se tiene actualmente muy poco conocimiento. Tal información puede servir a los ecologistas para relacionar los patrones de distribución de las especies de cactus en el campo por las características del suelo (Nobel, 1988).

Pocos son los estudios hechos en materia de nutrición mineral en plantas del desierto. Sin embargo, debido a la importancia que tienen todos los productos obtenidos y comercializados a partir de las plantas presentes en zonas áridas y semiáridas; se hace imprescindible evaluar el contenido de los nutrimentos presentes en cada etapa del ciclo reproductivo de estas especies. Específicamente de las cactáceas, por ser una familia de plantas ampliamente distribuidas en México y poco conocidas en el rubro de la nutrición mineral.

Con el fin de aportar información que permita conocer sus requerimientos nutrimentales y establecer su relación con el suelo en el que se desarrollan, lo cual permita en el futuro determinar cuáles elementos y en qué concentración son los ideales para su crecimiento y productividad, se plantea el presente trabajo.

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo general

- Describir la dinámica de Sodio (Na), Potasio (K), Fósforo (P) y Nitrógeno (N) en tejido de ***Escontria chiotilla*** y suelo asociado durante su época reproductiva, en Venta Salada, Coxcatlán, Puebla.

### 2.2 Objetivos específicos

- Determinar las características fisicoquímicas del suelo asociado a ***E. chiotilla*** en la localidad de Venta Salada, Municipio de Coxcatlán. Pue.
- Cuantificar Na, K, P y N, en tallo y raíz de ***E. chiotilla***, en su etapa de prefloración, floración, fructificación y al finalizar su ciclo de producción.
- Determinar el contenido de Na, K, P y N en suelo asociado a ***E. chiotilla*** a dos profundidades durante su ciclo reproductivo.
- Cuantificar sodio, potasio y nitrógeno proteico en frutos de ***E. chiotilla***.
- Registrar la producción de frutos en ***E. chiotilla*** durante un ciclo de producción.

### 3. Antecedentes

#### 3.1 Generalidades de la nutrición mineral

De los primeros estudios de nutrición mineral, se puede mencionar el de Macy (1936), quien realizó un diseño experimental con granos de cebada para determinar los niveles nutrimentales óptimos, medios y mínimos en la producción de este cereal. Todo esto, con el fin de aportar beneficios agrícolas al establecer cual es la cantidad requerida por la planta y elevar su producción aplicando de forma correcta los fertilizantes.

Trabajos como el de Longstreth y Nobel en 1980, han evaluado la influencia de los nutrimentos en la fotosíntesis de plantas de importancia económica como el algodón, *Gossypium hirsutum* L.

También, se ha elaborado para las plantas de importancia económica lo que se conoce como curva de absorción nutrimental. Una curva de absorción es la representación gráfica de la extracción de un nutrimento y representa las cantidades de este elemento extraídas por la planta durante su ciclo de vida. Conociendo el comportamiento de las curvas de absorción se determinan las épocas de mayor absorción de nutrimentos durante el ciclo de crecimiento. Esto a su vez permite definir las épocas de aplicación de los fertilizantes y su mejor aprovechamiento. Actualmente, cultivos como: fresa, melón, sandía y plátano; cuentan con curvas de absorción de nutrimentos, a través de las cuales se pueden establecer los momentos más adecuados; de acuerdo al ciclo de vida de la planta, en los que se deben agregar los fertilizantes y así incrementar su productividad. Para la fresa, se ha observado la absorción de los diferentes elementos como N, P y K encontrándose que, los valores máximos de absorción ocurren en etapas que coinciden con las épocas de mayor producción. En melón, las etapas de máxima absorción, y por lo tanto las etapas de mayor necesidad de nutrimentos, son la de emisión de guías y la de llenado de frutos, así mismo se ha demostrado que el K es el nutrimento que más se trasloca al fruto. En sandía, las épocas de máxima absorción coinciden con la emisión de guías e inicio de floración y después del pico de floración e inicio de llenado de frutos. Para el plátano, la mayor absorción ocurre entre la hoja 16 y la emergencia de la inflorescencia (Sancho, 1999).

Recientemente, se ha encontrado que existe variación significativa en los tallos con respecto a la concentración de carbono, calcio, potasio y magnesio entre los órdenes de las angiospermas. No existe evidencia de diferencias sistemáticas en la concentración del tallo de fósforo y nitrógeno orgánico entre órdenes. A nivel de las especies, existe una correlación positiva entre la concentración de calcio magnesio, fósforo y nitrógeno orgánico, y entre la concentración de K y el peso fresco (Broadley, 2004).

### 3. 1. 1 Los macro y micronutrientes

Los nutrimentos son tradicionalmente clasificados dentro de dos categorías: micronutrientes y macronutrientes. Los micronutrientes, oligoelementos o elementos traza, son denominados así por su bajo contenido en la planta, inferior a 0.1% ( $< 3 \mu\text{mol. g}^{-1}$  de peso seco); incluyen al hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo), cloro (Cl), níquel (Ni) y sodio (Na). Debido a su baja concentración, aún no ha sido conocida en su totalidad su dinámica. Los macronutrientes o macroelementos, presentes en altos niveles en los tejidos, por encima de 0.1% ( $30 \mu\text{mol. g}^{-1}$  de peso seco) incluyen: al carbono (C), oxígeno (O), hidrógeno (H), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) (Fernández y Maldonado, 2000). Éstos, son requeridos para construir moléculas y formar parte del medio iónico de las células. Las moléculas del DNA contienen nitrógeno y fósforo, las proteínas contienen nitrógeno y azufre, y el potasio es el ión más común en las células vegetales y es muy importante en la apertura y cierre estomático. Se ha reportado que el calcio se presenta como un constituyente importante en la unión entre las células vegetales, y el magnesio es incorporado dentro de la molécula de clorofila (Gibson y Nobel, 1986).

Los macronutrientes poseen un alto umbral de toxicidad, es decir que pueden absorberse en grandes cantidades sin efectos nocivos, en cambio, los micronutrientes tienen un nivel de toxicidad bajo, y el límite (referido a la cantidad absorbida) entre la carencia y la toxicidad está muy próximo. Los nutrimentos que se encuentran en el suelo dependen, para la utilización de las plantas, de un aspecto cuantitativo y otro cualitativo. El primero se refiere a la cantidad existente, el segundo depende, en cambio, de la disponibilidad real de ese elemento que es biológicamente aceptable y absorbido por las plantas (su concentración, solubilidad, forma química, etc.). Los nutrimentos cumplen un rol determinado en el metabolismo vegetal. Su carencia se manifiesta externamente a través de síntomas característicos (Rodríguez, 1982).

Los nutrimentos, una vez absorbidos por la planta, ingresan al circuito fisiológico comportándose de una forma móvil o inmóvil; los móviles se mueven casi continuamente dentro del vegetal ocasionando un traslado en los distintos períodos del crecimiento y desarrollo; en cambio, los elementos inmóviles se fijan en ciertas partes de la planta y no se trasladan, por ejemplo desde las hojas viejas a las nuevas. Estas localizaciones permiten deducir las distintas deficiencias, pues en las hojas jóvenes se detectará las carencias de los elementos poco móviles, ya que éstos al no poder trasladarse, para cubrir los requerimientos de estas zonas manifiestan la carencia de alguno de ellos. Generalmente, en las hojas viejas se detectan las deficiencias de los nutrimentos móviles cuando la planta ya trasladó sus propios nutrimentos desde las hojas viejas hacia las jóvenes u otros órganos recientes, denunciando la carencia del elemento. Los nutrimentos móviles son: nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio. Los nutrimentos inmóviles son: hierro, calcio, azufre y zinc (op cit., 1982).



### 3. 1. 2 Aspectos básicos de los elementos analizados: función, formas de absorción, disponibilidad, incorporación, deficiencias y excesos.

#### 3. 1. 2. 1 Sodio

Existe evidencia que sugiere que el sodio es necesario para numerosas especies del desierto como *Atriplex vesicaria*, común en regiones secas del interior de Australia y, *Halogeton glomeratus*; una hierba importada común en suelos áridos salinos del oeste de Estados Unidos. Brownell y Crossland en los años 70's investigaron y revisaron la nutrición por sodio de 32 especies y concluyeron que las que tienen la ruta fotosintética C-4 probablemente necesitan sodio (Na<sup>+</sup>) como micronutriente. Brownell (1979), indica que muchas especies C-4 desarrollan clorosis severa en hojas y en ocasiones llegan a sufrir necrosis en márgenes y puntas de las hojas. La suposición razonable es que si los niveles tisulares se viesen aún más reducidos al eliminar todas las fuentes de posible contaminación por sodio, como el proveniente de materiales plásticos, de impurezas en el agua, el medio de cultivo o semillas; estas plantas, podrían mostrar síntomas de deficiencia más pronunciados y la muerte podría sobrevenir pronto. Sobre esta base podría decirse que el sodio es casi con seguridad esencial para las especies C-4, en especial cuando crecen en las concentraciones de CO<sub>2</sub> relativamente menores a las normales a las existentes en el aire. Además, ciertas especies que fijan CO<sub>2</sub> durante la fotosíntesis, vía la ruta del metabolismo ácido de las crasuláceas también crecen más rápido con sodio y para ellas; el Na<sup>+</sup> quizá también es esencial (Salisbury y Ross, 1994).

Un suelo es salino, cuando su solución posee una gran concentración de sales, produciendo los siguientes efectos: Físico-químico, aumenta el pH de la solución del suelo disminuyendo la actividad de muchos microorganismos y la permeabilidad de las células radicales en contacto con el suelo. Efecto físico, la sal aumenta la presión osmótica de la solución del suelo. Por lo que la absorción del agua es posible con un gradiente de difusión que depende de la presión osmótica tanto de la planta como de la solución. En la planta la presión osmótica debe ser mayor para que se produzca el movimiento del agua desde la solución del suelo hacia el interior de la planta. Al aumentar considerablemente la presión osmótica de la solución edáfica se produce una sequía fisiológica, la planta no puede absorber el agua del suelo porque no hay un gradiente adecuado. Efectos químicos: Al existir exceso de iones como el sodio (Na<sup>+</sup>) se producen los respectivos efectos tóxicos que alteran el metabolismo de la planta (Rodríguez, 1982).

#### 3. 1. 2. 2 Potasio

Después de la deficiencia de nitrógeno y la de fósforo, la deficiencia más común en los suelos es la de potasio. Debido a la importancia de estos tres elementos, en el empaque de los fertilizantes comerciales se indican los

porcentajes de nitrógeno, fósforo y potasio que contienen; aunque los dos últimos en realidad se expresan como porcentajes equivalentes de  $P_2O_5$  y  $K_2O$ . Como en los casos de nitrógeno y fósforo, el ión  $K^+$  se redistribuye con facilidad de los órganos maduros a los juveniles, por lo que los síntomas de deficiencia aparecen primero en las hojas viejas. En las dicotiledóneas, estas hojas al principio se ponen un poco cloróticas, en especial en las cercanías de las lesiones necróticas (manchones oscuros de tejido muerto) que pronto aparecen. En muchas monocotiledóneas, como en los cultivos de cereales, las células de puntas y márgenes de las hojas mueren primero y la necrosis se esparce de manera basipétala a lo largo de los márgenes y hacia las partes inferiores, más jóvenes, de las hojas (la base). La deficiencia de potasio en el maíz y otros cereales da por resultado tallos débiles y que las raíces sean atacadas con mayor facilidad por organismos que descomponen las raíces. Estos dos factores hacen que las plantas pierdan su verticalidad con mayor facilidad con la acción del viento, la lluvia o las primeras tormentas de nieve. El potasio es un activador de muchas enzimas que son esenciales en la fotosíntesis y la respiración, además de que activa enzimas necesarias para formar almidón y proteínas (Bhandal y Malik, 1988; citados por Salisbury y Ross en 1994). Este elemento también es tan abundante que contribuye de manera importante al potencial osmótico de las células y por consiguiente a su presión de turgencia.

### 3. 1. 2. 3 Fósforo

Después del nitrógeno, el fósforo es el elemento que con mayor frecuencia resulta limitante en los suelos. Se absorbe sobre todo como el anión monovalente fosfato ( $H_2PO_4^-$ ) y con mayor rapidez como anión divalente ( $HPO_4^{2-}$ ). El pH del suelo controla la abundancia relativa de estas dos formas: el  $H_2PO_4^-$  es favorecido a un pH menor de 7, y el  $HPO_4^{2-}$  lo es por encima de este valor. Gran parte del fosfato se convierte en formas orgánicas cuando entra en la raíz, o después de que es transportado por el xilema hasta el tallo o las hojas. En contraste con lo que ocurre con el nitrógeno y el azufre, el fósforo nunca es reducido en las plantas, en las que permanece como fosfato, ya sea libre o unido a las formas orgánicas tales como ésteres. Las plantas con deficiencias de fósforo presentan enanismo y en contraste con las que carecen de nitrógeno, con frecuencia tienen color verde oscuro. Algunas veces se acumulan pigmentos del grupo de las antocianinas. Las hojas más antiguas adquieren un color oscuro a medida que mueren. La madurez con frecuencia está retardada en comparación con lo que ocurre en plantas que contienen fosfato en abundancia. En muchas especies el fósforo y el nitrógeno como elementos móviles, interactúan de manera estrecha al afectar la madurez; el exceso de nitrógeno la retarda y la abundancia de fósforo la acelera. Si se proporciona fósforo en exceso, la del crecimiento de la raíz con frecuencia se incrementa en relación con el crecimiento de la parte aérea. Esto, en contraste con los efectos del exceso de nitrógeno, provoca bajas proporciones parte aérea - raíz. El fosfato se redistribuye con facilidad en la mayor parte de las plantas de un órgano a otro, y se pierde en las hojas antiguas, acumulándose en las hojas jóvenes y en flores y semillas en desarrollo. Como resultado de esto, los síntomas

de deficiencia se presentan primero en las hojas maduras. El fósforo es parte esencial de muchos glucosfosfatos que participan en la fotosíntesis, la respiración y otros procesos metabólicos, y también forma parte de nucleótidos (como: ARN y ADN) y de fosfolípidos presentes en las membranas. Así mismo, es esencial en el metabolismo energético debido a su presencia en las moléculas de ATP, ADP, AMP y pirofosfato (PPi) (Salisbury y Ross, 1994).

Estas son las funciones principales del fosfato en la planta: es constituyente de ácido nucleico, la fitina y los fosfolípidos, el abastecimiento adecuado de fósforo en el período de desarrollo inicial de la planta es importante en la formación de las partes reproductivas. Aparece en enzimas que catalizan reacciones metabólicas, estimula el desarrollo radicular inicial ayudando así al establecimiento rápido de la planta, origina el comienzo rápido y vigoroso de las plantas (Velarde et al., 1979, citado por López, 1996). También produce la madurez temprana de los cultivos, particularmente en los cereales, estimula la floración y ayuda en la formación de la semilla, aumenta la relación de grano/panoja o rastrojo, mejora la calidad alimenticia de los granos y de otras cosechas. Cuando es aplicado a las leguminosas, activa al *Rizhobium* y la formación de nódulos en las raíces. De este modo ayuda a la mejor fijación de nitrógeno atmosférico (Ortiz, 1990, citado por López, 1996).

En general los excesos de fosfatos no tienen influencia negativa sobre los cultivos y no se observan efectos tóxicos por este elemento (López, 1996). Su carencia se manifiesta en los vegetales por síntomas muy graves añadidos a los que se observan por carencia de nitrógeno. Las características más notables son: reducción del tamaño, porte erguido, follaje en general de color oscuro mate, que toma tonos púrpura; defoliación precoz, que comienza por la base de la planta. Incluso, se puede mencionar una fructificación defectuosa aunada al clima u otros déficits de nutrición que no pueden ser considerados como características (Rone, 1980, citado por López, 1996).

### 3. 1. 2. 4 Nitrógeno

Los suelos suelen ser más deficientes en nitrógeno que en cualquier otro elemento, si bien la deficiencia de fósforo también es muy común. De los suelos se absorben dos formas iónicas principales del nitrógeno: nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). Como el nitrógeno está en muchos compuestos esenciales, no es sorprendente que el crecimiento sea lento si no se añade nitrógeno. Las plantas que contienen una cantidad tal de nitrógeno que limita su crecimiento muestran síntomas de deficiencia que consiste en clorosis general, específicamente en las hojas más antiguas. En casos severos, estas hojas se tornan por completo amarillas dando el aspecto de quemadura en la medida que van muriendo. Con frecuencia cae la planta durante estas dos etapas. Las hojas más jóvenes permanecen verdes por más tiempo, ya que reciben formas solubles de nitrógeno provenientes de las hojas más antiguas. Algunas plantas, incluyendo tomate y ciertas formas cultivadas de maíz muestran una coloración púrpura causada por la

acumulación de pigmentos de antocianina. Las plantas que crecen con un exceso de nitrógeno casi siempre tienen hojas color verde oscuro y presentan abundancia de follaje, por lo común con un sistema radical de tamaño mínimo y, por consiguiente, con una elevada proporción parte aérea - raíz (la proporción inversa es frecuente cuando hay deficiencia de nitrógeno). Las plantas de papa que crecen con sobreabundancia de nitrógeno muestran un crecimiento excesivo de la parte aérea, con tubérculos pequeños. Se desconocen las razones de este crecimiento relativamente alto de la parte aérea, pero sin duda la translocación de azúcares hacia las raíces o tubérculos se ve afectada de alguna forma, quizá a causa de un desequilibrio hormonal. El exceso de nitrógeno también hace que los tomates se partan cuando maduran. La floración y la formación de semillas en varios cultivos agrícolas se ven retardadas por el exceso de nitrógeno (Salisbury y Ross, 1994).

El nitrógeno tiene un lugar especial en la nutrición no sólo debido a su elevado requerimiento por las plantas sino porque está casi completamente ausente de la roca madre de la cual se forman los suelos. La presencia del nitrógeno en el suelo es casi totalmente el resultado de la acción biológica, abono artificial o fertilización natural (resultante de las descargas eléctricas atmosféricas). Muchas plantas dependen para su crecimiento del nitrógeno inorgánico localizado en el suelo en forma de iones de nitrato o amonio aunque las leguminosas pueden utilizar el N<sub>2</sub> atmosférico (Rusell, 1988, citado por López, 1996).

Es de extraordinaria importancia el nitrógeno en las plantas porque: es un constituyente de proteínas y ácidos nucleicos, imparte un color verde oscuro a las plantas, promueve el desarrollo de hojas y tallos, produce una calidad mejorada en las legumbres que se cultivan por hojas, produce un desarrollo rápido en el primer ciclo del desarrollo y aumenta el contenido de proteínas en los cultivos alimenticios y forrajeros (Ortiz, 1990, citado por López, 1996).

Con el método de Kjeldahl, se mide la cantidad total de nitrógeno que contienen las muestras y luego se multiplica el resultado por el factor 6,25; esto nos da la cantidad de proteína bruta. Dicho factor resulta de que las proteínas tienen como promedio 16% de nitrógeno; por lo tanto,  $100:16 = 6.25$ , que es el factor usado para convertir a proteína el nitrógeno de la mayoría de las plantas (Ambaiza, 2005). La cuantificación de proteína permite conocer su concentración en diferentes tejidos vegetales tales como: tallos o cladodios, raíces, hojas y/o frutos de la planta según sea el caso y, por consiguiente; determinar su valor nutrimental para consumo humano o animal. Se han investigado aspectos nutricionales principalmente en la pera de cactus o tuna. Los frutos del género *Opuntia* sp. se caracterizan por tener altos niveles de aminoácidos (Sawaya et al 1983, citado en Esquivel, 2004).

La carencia de nitrógeno, provoca un efecto generalizado a la planta dando por resultado plantas enanas y de color verde claro (Rodríguez, 1982).

La sobreabundancia de nitrógeno causa con frecuencia una gran proliferación de tallos y hojas, pero determina una reducción de frutos en las plantas de cultivo (Bidwell, 1979, citado por López, 1996).

### **3. 2 Respuesta de la planta ante deficiencias nutrimentales**

Cuando alguno o algunos nutrientes no son suficientes, el crecimiento de la planta es más lento, pero esto puede verse afectado también por factores ambientales. Esta parece ser una respuesta común en todas las plantas, sin embargo existen trabajos que muestran que algunos nutrientes tienen un efecto más inmediato en el porcentaje de crecimiento que otros (Clarkson y Hanson, 1980).

En comunidades de plantas naturales donde los nutrientes son escasos, las plantas pueden tener una o más de las siguientes características: 1. Ajustar su tasa de crecimiento de acuerdo al suministro de nutrientes. 2. Hacer más eficiente la adquisición de nutrientes. 3. Optimizar la economía interna con la cual puede resultar más eficiente la distribución dentro de la planta y/o bajar los requerimientos en sitios funcionales. La primera de estas características es la más interesante para los agricultores, porque se relaciona con producción; natural y generalmente más concerniente a supervivencia. La morfología de las raíces, actividad microbiana, asociaciones con hongos y la afinidad de los sistemas de transporte; puede resultar en una eficiente explotación del suelo. Incluso la variabilidad genética de las plantas influye en la utilización de los nutrientes eficientemente para su crecimiento en niveles moderados a severos o de estrés nutrimental (op cit., 1980).

Debido a su lenta tasa de crecimiento, las plantas de sitios infértiles son generalmente de vida larga y, comparado con el rápido crecimiento de las plantas de hábitats fértiles, crecen por un largo tiempo para ir acumulando suficientes reservas para reproducirse. Muchas de estas especies de hábitats infértiles, se reproducen abundantemente, solamente durante espacios muy amplios como arbóreos anuales, siguiendo a menudo un año de clima favorable. El incremento de nutrientes provoca de igual forma la abundancia de floración, presumiblemente porque esto permite una más rápida acumulación de las reservas necesarias. El estrés nutrimental retarda la reproducción (Chapin, 1980).

Las plantas constantemente perciben cambios en su ambiente, cuando los elementos minerales son escasos, ellas a menudo distribuyen una gran proporción de biomasa hacia el sistema radicular. Esta aclimatación, responde y es una consecuencia de los cambios metabólicos en el tallo y a un ajuste del transporte de carbohidratos hacia la raíz. En ellas ha sido ampliamente conocido que las deficiencias de los macronutrientes esenciales (N, P, K y Mg) resultan en una acumulación de carbohidratos en las hojas y las raíces, y se modifica la relación de la biomasa tallo - raíz. Hermans et al., en 2006, presentan una actualización sobre los efectos de las deficiencias minerales en la expresión de genes

involucrados en el metabolismo primario en el tallo, la evidencia de un incremento en las concentraciones de carbohidratos y una alteración en la distribución de la biomasa entre tallo y raíz, y las consecuencias de estos cambios en el crecimiento y la morfología del sistema radicular de la planta.

### 3.3 Nutrición mineral en cactáceas

Gibson y Nobel en 1986, indican la importancia de comprender los niveles de elementos específicos en las cactáceas, ya que esto nos permitirá entender cómo ellas se ubican o son excluidas de ciertas regiones porque los niveles de minerales específicos pueden ser muy bajos (deficientes) o muy elevados (tóxicos). Específicamente, el calcio es muy importante en las cactáceas, ya que forma parte de prominentes cristales de oxalato y del mucílago. Por consiguiente, este nutrimento se presenta de forma directa en todas las consideraciones realizadas sobre el contenido de otros elementos minerales en estas plantas. Así mismo, los autores aportan datos sobre los niveles de los nutrimentos y las implicaciones fisiológicas de éstos en la planta, mismos que se presenta a continuación:

**Niveles de nutrimentos en cactus:** Dentro de la información referente al contenido de elementos minerales en cactáceas, se ha encontrado que, presentan calcio en forma de cristales y mucílago, pero éste es además un ingrediente clave como cemento que mantiene juntas las células de las plantas. Un átomo de magnesio se incorpora dentro de cada molécula de clorofila, y el magnesio no es únicamente un ión importante en general en las células de las plantas sino que además, es necesario para la actividad de la ribulosa-1,5-difosfato carboxilasa oxigenasa conocida como RuBisCO, la enzima que cataliza la incorporación de CO<sub>2</sub> en la fotosíntesis que se produce durante el día y de la fosfoenolpiruvato carboxilasa (PEP carboxilasa), la enzima que inicia la fijación del CO<sub>2</sub> nocturno en las plantas CAM.

El contenido de los elementos minerales en cactáceas es similar al presente en la mayoría de las plantas. La mayor diferencia es un alto nivel de calcio en los cactus, porque se presentan numerosos cristales de oxalato de calcio. Además, el nivel del calcio en los tallos se incrementa con la edad; por ejemplo es tres veces más elevado en los cladodios de un año de edad de *Opuntia ficus – indica* que en los cladodios de 7 semanas de edad. El manganeso, también tiende a ser elevado en cactus, pero los niveles de sodio son mucho más bajos que los promedios de otras plantas. Además, el sodio está presente en todas las plantas y éste, puede no ser requerido actualmente. Los micronutrientes clorados, los cuales son necesarios para la fotosíntesis, a menudo se presentan en concentración similar como sodio y potasio combinados.

**Implicaciones fisiológicas:** Las cactáceas pueden afrontar condiciones de salinidad siempre que se presenta sequía. Por la pérdida de agua, el suelo tiende a concentrar los iones y a permanecer en la solución del suelo. De este modo, entender la tolerancia a la salinidad de los cactus puede ser importante para

evaluar los patrones de distribución de las especies. Cuando las plántulas de algunas cactáceas fueron crecidas en soluciones salinas, el crecimiento fue notablemente reducido; cuando las soluciones de cloruro de sodio excedieron 0.1 M y el crecimiento fue completamente inhibido con 0.2 M de NaCl (por comparación con el agua del mar que es de alrededor de 0.5 M de NaCl). Algunos estudios de Nobel sobre salinidad, fueron realizados con la especie ***Cereus validus***, un cactus que puede crecer periódicamente en áreas salinas cercanas a Salinas Grandes en Argentina, tolerando favorablemente altos niveles de salinidad de (0.4 M de NaCl) por pocas semanas. Sin embargo, la acumulación de los niveles de sodio y de cloruros en el clorénquima causó una disminución en la absorción de CO<sub>2</sub> nocturno y la acumulación de malato. Además, las raíces finas murieron por la elevación de los niveles de sales, para prevenir la acumulación excesiva de éstas. Para ***Opuntia ficus - indica*** los niveles de sodio son más elevados en la raíz y progresivamente se convierten en más bajos en los cladodios que están en crecimiento más activo. Sin embargo, el nivel de sodio siempre fue bajo, estos resultados indicarían que estas especies no acumulan sodio. En general las cactáceas estudiadas tienden a excluir el sodio y a no tolerar altos niveles en los tejidos.

Para muchas plantas durante su crecimiento en condiciones naturales, el nitrógeno es el elemento más limitante e igualmente se puede generalizar para las cactáceas. En los ejemplares de campo de 10 especies el promedio del nivel de nitrógeno fue del 1.7% del peso seco. Las que tienen más altos niveles de nitrógeno en el clorénquima, tienden a tener una acumulación mayor de ácido nocturno (ácido málico). Esta evidencia circunstancial de que los niveles de nitrógeno en tejido afectan el crecimiento de cactáceas fue directamente probada por variaciones del nivel de nitrógeno en soluciones acuosas usadas para crecimiento de plántulas. Cuando los niveles de nitrógeno fueron muy bajos casi no hubo cambio en el volumen de los tallos al concluir un período de 6 meses. Cuando la concentración de nitrógeno en la solución se incrementó, el volumen en los tallos se duplicó en 6 meses y el diámetro de los tallos aumentó ligeramente, además se elevó el nivel de nitrógeno en el tejido del tallo. Asimismo, los niveles más altos de nitrógeno reflejaron los niveles más altos de clorofila (cada molécula de clorofila contiene 4 átomos de nitrógeno) así como los niveles más altos de proteínas. De este modo, se concluyó que la aplicación de nitrógeno podría incrementar el crecimiento de esta especie. Este es aparentemente el caso de ciertas especies de ***Opuntia*** que se cultivan en el mundo; por sus frutos y en algunas localidades por sus cladodios jóvenes, los cuales pueden ser consumidos como verduras.

De acuerdo con Nobel (1998), los requerimientos y el contenido de nutrimentos en agaves y cactus son básicamente semejantes a los de otras plantas. Con frecuencia el nitrógeno es el elemento del suelo esencial más limitante para el crecimiento. Se sabe que el N tiene un fuerte impacto en la fructificación. Bajo experimentación, se ha observado que el contenido de clorofila como la concentración de N en el tallo, están altamente correlacionadas con la absorción total de CO<sub>2</sub> en cactus como ***Hylocereus undatus*** (Nobel y De la Barrera, 2002).

En años recientes, al hacer un estudio en el nopal se ha encontrado que, en general todas las variables medidas en los cladodios como: su área, número de cladodios jóvenes, longitud y grosor, peso fresco y seco; disminuyeron al incrementarse la salinidad bajo condiciones experimentales controladas. La proporción tallo - raíz y el contenido de agua en cladodios jóvenes, disminuye significativamente al incrementarse la salinidad. Otras variables que disminuyeron con el incremento de la salinidad fueron el índice de cosecha, la proporción relativa de crecimiento, proporción del área del tallo, la acumulación de base seca y las concentraciones de Na y Cl. En cladodios enraizados, al incrementarse la salinidad disminuye el peso fresco, la succulencia y el peso fresco de las raíces, el peso seco y la longitud (Murillo, 2001).

### 3. 3. 1 Trabajos realizados en cactus

Al hacer una amplia revisión de la literatura sobre las cactáceas, se encontró que los estudios en su mayoría son sobre fotosíntesis y ecología, son muy pocos los de nutrición mineral y generalmente éstos, se llevan a cabo en la especie ***Opuntia ficus-indica***, debido a la importancia económica de sus frutos conocidos como pera de cactus o “tuna”.

Villarreal en 1968 (Citado por José y Martínez en 1992), estudió las propiedades bioquímicas en seis especies de nopal. Ibarra e Irigoyen en 1986, hicieron una evaluación de las cactáceas como bioindicadoras de minerales. Retamal et al., en 1987, realizaron un estudio sobre las variaciones estacionales de la composición química de la tuna y el cladodio de ***Opuntia ficus - indica*** en diferentes épocas del ciclo reproductivo, incluyendo la floración y fructificación.

En el caso de la tuna, se han evaluado los cambios morfológicos, físicos y químicos del fruto durante su desarrollo y maduración en algunas variedades (Barbera et al., 1992); su crecimiento y cambios de la composición durante su desarrollo en varias especies (Kuti, 1992); el contenido de semillas y las características del fruto en cultivos mejorados (Barbera et al., 1994).

También, se han valorado el peso de la tuna y la concentración nutrimental del cladodio (Gugliuzza et al., 2002). Se han estudiado las condiciones necesarias para su utilización en zonas áridas (Felker e Inglese, 2003); experimentos de fertilización y nutrición en tres variedades de nopal, encontrando interacciones entre N-P, N-K, N-Mg, Ca-Mg y Ca-K (Valdez et al., 2003). También, como un fruto de importancia nutricional y funcional (Piga, 2004) y se ha hecho un diagnóstico de su composición nutrimental (Magallanes et al., 2004). Otros trabajos en ***Opuntia ficus – indica*** se enfocan a analizar las correlaciones entre el suelo y la concentración de nutrimentos en el cladodio y el fruto, así como el rendimiento y calidad de las tunas, aplicando diversas combinaciones de fertilizantes en diferentes variedades de la especie. Con estos trabajos se han determinado incluso las correlaciones entre nutrimentos y su efecto en el rendimiento o productividad (Galizzi et al., 2004). Los más recientes, han



determinado las interacciones nutrimentales y han propuesto modelos matemáticos para establecer normas de nutrición (Blanco et al., 2006).

Hasta el momento, sólo se tiene por antecedente cercano al presente trabajo, el estudio realizado sobre nutrición mineral específicamente en el Municipio de Coxcatlán, Puebla y con *E. chiotilla*, al de Hernández y Mendieta de 1987, quienes comparan las relaciones iónicas de las especies de cactáceas de mayor abundancia en diferentes zonas de este Municipio, durante y después de la época de lluvias.

### 3.3.2 Las raíces y la nutrición

La tasa de absorción de nutrimentos por la raíz, depende de un suministro de éstos en la superficie y de la actividad de absorción por parte de las células corticales. El suministro de nutrimentos para la superficie de las raíces, depende de: la concentración de la solución del suelo, de su poder buffer o de amortiguamiento, la capacidad de presentar cúmulos de agua intercambiable del suelo para llenar la solución de éste por nutrimentos que son absorbidos; y la tasa de movimiento de nutrimentos hacia la superficie de la raíz por difusión o por el flujo de agua en el suelo (Chapin, 1980).

La capacidad de absorción de las raíces está relacionada con factores como la concentración de nutrimentos en el suelo y la temperatura, y varía entre las especies. En el ambiente natural, hay una acumulación de biomasa en los tallos como resultado de la alta absorción de nutrimentos, reflejándose en crecimiento en la planta. La demanda del tallo es particularmente importante, determinando la capacidad de absorción de las raíces en suelos fértiles, donde el agua y las condiciones ambientales vienen siendo los factores primarios que regulan el crecimiento. El rápido crecimiento en las plantas, es resultado de tasas más rápidas de fotosíntesis, translocación de azúcar para las raíces, y su respiración. Así mismo, un incremento en la demanda de nutrimentos por el tallo, la translocación de nutrimentos inorgánicos fuera de las raíces, y consecuentemente el inicio de los procesos de absorción, desde inhibición, retroalimentación, o la síntesis de más transportadores (op cit., 1980).

Para la nutrición mineral en las plantas el aumento de la así llamada disponibilidad de nutrimentos en el suelo es de crucial importancia. Sin embargo, esta disponibilidad, se ha caracterizado por los métodos de extracción química probada en el suelo, siendo a menudo pobremente correlacionados con la absorción actual de nutrimentos por las plantas. Esto es por algunos factores, no se toma en cuenta el procedimiento de extracción, y además la importancia en la adquisición de nutrimentos minerales por las plantas desde el suelo, particularmente: disponibilidad espacial, determinada por el crecimiento de las raíces y el área de esta superficie y por la movilidad de los nutrimentos minerales en la solución del suelo por vía de la corriente de difusión; y la movilización e inmovilización de nutrimentos minerales en la rizósfera por los cambios inducidos

por la raíces (pH, exudados, actividad microbiana). Este asunto tan importante ha sido discutido recientemente en revisiones generales por muchos especialistas enfocados en la vegetación natural, la disponibilidad espacial, la actividad metabólica en las raíces y sus exudados (Marschner, 1991).

La disponibilidad de los nutrientes minerales para las plantas está determinada por las propiedades químicas, físicas y biológicas del volumen del suelo, así como por los cambios inducidos por las raíces en la rizósfera. La nutrición mineral que es provista para la superficie radicular, está principalmente regulada por el flujo masivo (por ejemplo para el calcio) o difusión (para el fósforo). Adecuadamente, el área de superficie radicular es muy importante para la adquisición de fósforo. La adquisición de los demás nutrientes es particularmente dependiente de un aumento en los cambios inducidos por las raíces en la rizósfera: pH, potencial de reducción y la liberación de solutos orgánicos de bajo peso molecular. Dependiendo de su naturaleza química, estos solutos pueden movilizar directamente nutrientes minerales, en el caso de ácidos orgánicos y de fitosideróforos (phytosiderophores) conocidos como PS, aminoácidos no proteínogénicos liberados por las yerbas, o indirectamente, por incremento de la actividad de microorganismos que no infectan en la rizósfera. En la rizósfera los microorganismos pueden, sin embargo, además disminuir la disponibilidad de micronutrientes (como el manganeso), o afectar la adquisición de nutrientes por los cambios en las raíces morfológicamente causados por hormonas. La obtención de nutrientes minerales puede ser considerablemente incrementada por la infección de las raíces de las plantas con micorrizas (por ejemplo la absorción de fósforo) o, en plantas perennes, la infección con ectomicorrizas. Los cambios inducidos en las raíces en la rizósfera varían entre genotipos, y son afectados por el estatus nutricional de la planta (deficiencia de fósforo o hierro). Los cambios en la extensión de las raíces inducidas en la rizósfera son importantes para la adaptación de plantas superiores a los suelos con propiedades físicas y químicas extremas (op cit., 1991).

Se ha observado que las raíces de agaves y cactáceas tienden a ser superficiales, de manera que los nutrientes minerales son obtenidos principalmente de la superficie del suelo, lo que las hace diferentes a otras plantas. Los agaves y las cactáceas son consumidos por los animales silvestres y domésticos, en regiones áridas y semiáridas. Algunas opuntias son el principal alimento para algunas especies de pájaros y mamíferos (Nobel, 1988); también, los cladodios jóvenes y los frutos de algunas platiopuntias se utilizan para consumo humano, en especial la especie *Opuntia ficus – indica*, que es consumida en Latinoamérica y en las regiones del Mediterráneo (Monjauze y Le Houerou, 1965; y Benson, 1982; citados por Nobel et al., 1987).

Las raíces de las plantas suculentas generalmente se presentan en la parte superior de 0 – 2 m en suelos porosos y arenosos (Cannon, 1911 y 1925; y Nobel, 1988; citados por Nobel, 1990), una región que tiende a estar convenientemente aireada (Hillel, 1971 y Brady, 1974; citados por Nobel, 1990). Las fuertes lluvias

pueden desplazar el aire de los poros del suelo (Curran, 1986, citado por Nobel, 1990) y puede incrementarse la producción de CO<sub>2</sub> que mantiene la descomposición microbiana de los exudados de la raíz, material lodoso de las raíces y otros compuestos orgánicos (Wildung, 1975 y Orchard y Cook, 1983; citados por Nobel, 1990). Sin embargo, los suelos porosos se secan rápidamente y de este modo las condiciones convenientes de aireación son rápidamente reestablecidas. Tal aireación mantiene los altos niveles de oxígeno y un bajo nivel de bióxido de carbono en la fase gaseosa del suelo, ambas condiciones son favorables para la respiración radicular (Jackson y Drew, 1984; Smit y Siachowiak, 1988; citados por Nobel, 1990).

Por otra parte, se ha encontrado que la concentración de fosfatos de las raíces superficiales, afectan las tasas de proceso de transporte a través del suelo y su absorción por la planta (Breeze et al., 1982).

Las raíces de las plantas suculentas del desierto, pueden crecer en contenedores divididos de acuerdo a las variantes de humedad en el suelo y diferenciar su desarrollo celular y conductividad hídrica. Capturando así el agua desde la poco húmeda superficie del suelo (North y Nobel, 2000).

### **3. 3. 3 Las propiedades del suelo y la obtención de nutrientes**

#### **3. 3. 3. 1 El color del suelo**

El color del suelo, es una propiedad física que aporta por si mismo muchos datos de sus contenidos mineralógicos. El color del suelo rojo supone una buena aireación y una cantidad de agua inferior a la que desarrolla el color amarillo. Podemos considerarlo pues, como un estado de deshidratación. Las temperaturas más elevadas aumentan la velocidad de descomposición de la materia orgánica (Alonso et al., 1974). Cuando el drenaje permite la aireación y las condiciones de humedad y temperatura son favorables para la actividad química, el hierro de los minerales del suelo se oxida e hidrata formando compuestos amarillos y rojos; pero al reducirse la hidratación los colores rojos sustituyen a los amarillos (Aguilera, 1989).

También, el color rojo del suelo se asocia a procesos de alteración de los materiales parentales bajo condiciones de alta temperatura, baja actividad del agua, rápida incorporación de materia orgánica, alta liberación de hierro de las rocas; es indicativo de condiciones de alta meteorización, se asocia a niveles bajos de fertilidad del suelo, pH ácidos y ambientes donde predominan los procesos de oxidación. En términos generales se asocia con la presencia de Óxidos de Fe<sup>3+</sup>, (Ovalles, 2003).

### **3. 3. 3. 2 La textura**

El tamaño relativo de las partículas del suelo se expresa mediante el término textura, el cual se refiere al grado de finura o al grosor de las mismas. La textura es la proporción relativa de arena, limo y arcilla. La magnitud de muchas reacciones físicas y químicas en los suelos está gobernada por la textura, ya que ésta determina el tamaño de la superficie sobre la cual ocurren dichas reacciones (Aguilera, 1989). Los suelos arenosos están generalmente bien aireados y absorben el agua muy fácilmente. Tienen dos limitaciones importantes. Una es que no retienen bastante agua, y la segunda es que tienen poca reserva de elementos nutricios. La materia orgánica en las arenas aumenta la capacidad para retener agua y el contenido de elementos nutricios. Los suelos arenosos casi siempre están mejor aireados, a pesar de tener un menor volumen total de poros. Drenan las aguas más fácilmente, sin retener gran cantidad de éstas (Alonso et al., 1974).

### **3. 3. 3. 3 La densidad y porosidad**

La densidad aparente del suelo está relacionada con el peso específico de las partículas minerales y las partículas orgánicas así como por la porosidad de los suelos. Los resultados de las densidades aparentes son fundamentales para calcular los movimientos de humedad, los grados de formación de arcilla y la acumulación de los carbonatos en los perfiles de los suelos. La densidad bruta permite diferenciar la evolución de los horizontes con base en sus materiales litológicos; además, permite conocer la movilidad del agua en el perfil del suelo (Aguilera, 1989).

Este mismo autor, indica que la porosidad es importante porque los poros del suelo están totalmente llenos de agua y aire. El agua se mueve más rápido a través de un suelo arenoso que en un suelo arcilloso. Después de lluvia, los poros más pequeños (capilares) se llenan con agua y los poros más grandes (aireación) se llenarán de aire. Obviamente, la cantidad y tamaño de los poros afectarán el contenido de agua y aire del suelo humedecido.

### **3. 3. 3. 4 La materia orgánica**

La materia orgánica, representa un componente importante para la proporción de nutrimentos en el suelo. Los principales elementos de constitución que posee la materia orgánica son el carbono (C), el hidrógeno (H), el oxígeno (O) y el nitrógeno (N). La materia orgánica proviene de la síntesis de los organismos vivos que combinan los distintos elementos en su funcionamiento metabólico y catabólico. El suelo físicamente está formado por una parte mineral y otra orgánica, la primera proviene de la génesis propia a partir de la "roca madre", los elementos de sedimentación, etc. La parte orgánica proviene de los distintos desechos de los organismos vivos que son transformados por microorganismos que posee naturalmente el suelo. La materia orgánica proviene de los residuos

vegetales y animales. Los restos vegetales derivan tanto de los cultivos como de las plantas naturales y de los llamados “abonos verdes” (se los entierra en un punto determinado de crecimiento para incorporar materia orgánica al suelo). Los restos animales provienen de los animales muertos, tanto de la fauna general como de la fauna edáfica (estos contribuyen además a las características del suelo, como la formación de poros, y a la aireación) y de las deyecciones y abonos orgánicos como el estiércol, el guano, harinas de sangre, etc. Los análisis del suelo y, principalmente, los análisis foliares permiten anticipar la corrección de las carencias potenciales, en este último caso se pueden corregir las carencias de un perjuicio considerable en la producción (Rodríguez, 1982).

### **3. 3. 3. 5 La capacidad de intercambio catiónico total (C. I. C. T.)**

La arcilla junto con la materia orgánica humificada forman las fracciones más importantes del suelo, ya que representan las porciones más activas desde el punto de vista físico y químico. Esta actividad se basa en su carácter coloidal, en su gran área superficial y en su carga negativa, gracias a las cuales el suelo puede actuar como un almacén de nutrientes para los organismos. La adsorción de un catión por un núcleo o micela coloidal y la liberación consecuente de uno o más iones retenidos por el núcleo se denomina intercambio de cationes. Este intercambio, está afectado por múltiples factores como la naturaleza misma de cada catión, su concentración en relación a otros cationes existentes y el pH de la solución del suelo, entre otros. La capacidad de intercambio catiónico total (C. I. C. T.) es una expresión del número de sitios de adsorción de cationes por un unidad de peso de suelo. Se define como la suma de cationes intercambiables adsorbidos (Muñoz et al., 2000).

### **3. 3. 3. 6 El pH**

Una de las características más importantes del suelo es su reacción, debido a que los microorganismos y plantas superiores responden tan notablemente a su medio químico la importancia de la reacción del suelo y de los factores asociados con ella ha sido debidamente reconocida. Tres condiciones son posibles: acidez, neutralidad y alcalinidad. El valor del pH, es el logaritmo negativo de la concentración de hidrogeniones expresado en números positivos del 0 al 14 (Aguilera, 1989). Los suelos agrícolas generalmente tienen un pH entre 6 y 7.5, que es el rango en que mejor se desarrollan las plantas (Rodríguez, 1982).

## **3. 4 Estudios con *Escontria chiotilla***

### **3. 4. 1 Ecofisiológicos**

Algunos estudios ecofisiológicos realizados en el Valle de Tehuacán, específicamente en el Municipio de Coxcatlán, Puebla, son los de Martínez (1987) quien trabajó sobre el comportamiento de la fluctuación fotosintética de *Escontria*

**chiotilla** en campo y los de Mandujano (1988 y 2002), quien estudió la fisiología de **E. chiotilla** en condiciones controladas de estrés hídrico y diferentes intensidades de luz, así como evaluó el metabolismo ácido de crasuláceas en ramas jóvenes y maduras con orientación norte y sur. Ortega en 2001, estudió la demografía de la cactácea columnar **Escontria chiotilla**. Lechuga (2001), hizo un estudio de la vegetación en Ajalpán Puebla, encontrando cinco asociaciones vegetales entre las que menciona a **Cercidium praecox- Escontria chiotilla**.

Cruz (2002), realizó una caracterización morfológica y molecular de un posible híbrido entre **Escontria chiotilla** y **Polaskia chichipe** (Cactaceae). Arellano y Casas (2003), estudiaron la variación morfológica y la domesticación de **E. chiotilla** bajo manejo silvícola en el Valle de Tehuacán Puebla, Méx. Fuentes en 2004, analizó la anatomía floral de algunas especies de la tribu Pachycereeae (Cactaceae), a la cual pertenece **E. chiotilla**. Tinoco et al., (2005), estudiaron la genética poblacional de **E. chiotilla** en estado silvestre y con manejo silvícola en el Valle de Tehuacán Puebla, México y, recientemente; Oaxaca-Villa et al., en 2006 analizan en este mismo sitio la biología reproductiva de **E. chiotilla** en estado silvestre y con manejo silvícola.

### 3. 4 .2 Con el fruto

Nieto en 1980, presentó un comunicado con las características generales de **Escontria chiotilla**, su aprovechamiento y usos, así como su forma de cultivo, indicando que prácticamente crece abundante en “monte” y que, en las zonas donde crece de manera natural, representa una fuente adicional de ingresos para sus habitantes. Mientras que la presencia de pequeñas industrias pueden ir mejorando la calidad de vida al comercializar el fruto como mermeladas y conservas. Ramos (1983), realizó un análisis de los pigmentos del fruto de **E. chiotilla** para su utilización como colorante natural y Pimentel en 1984, una caracterización del pigmento que presenta el fruto de la jiotilla.

Flores et al., en 1991, destacaron la importancia ecológica y económica de **E. chiotilla** en los Valles Centrales de Oaxaca. José y Martínez (1992), determinaron los efectos de la orientación sobre la producción de frutos de **E. chiotilla**, encontrando que la orientación Norte - Sur presentó un número mayor de frutos y que la producción está relacionada con la acidez titulable, temperatura, humedad relativa y precipitación. Huerta en 1998, realizó un estudio sobre el crecimiento y análisis químico del fruto de **E. chiotilla** y **Stenocereus pruinosus**.

Los frutos de la “jiotilla” son importantes para la economía de muchas comunidades rurales de algunas zonas semiáridas de México. A pesar del amplio uso de estos frutos, existe poca información acerca de las prácticas culturales para su propagación y el establecimiento de huertos (López, 2000). Ponce de León y Pelayo en el 2004, revisaron las aplicaciones en postcosecha de estudios histológicos en frutos comestibles de cactáceas incluyendo al de **E. chiotilla**. Yáñez et al., (2004), hicieron una revisión de la jiotilla como un nuevo recurso nativo del sur de México. Esquivel (2004), menciona que las cactáceas

comestibles se pueden clasificar en tres tipos: las tunas (opuntias), las pitayas (trepadoras) y las pereskias (columnares), en esta última se incluyó ***Escontria chiotilla***. La autora hace hincapié en la importancia de realizar estudios en estas cactáceas por su alto potencial, ya sea como fuente de alimento ó como materia prima en diversas industrias. Ruiz et al., en 2005a, observaron los cambios morfohistológicos de la bráctea del fruto de ***Escontria chiotilla*** (Cactaceae) para fundamentar un indicador de cosecha. Además, lo mencionan como un recurso alternativo alimenticio en la zona sur de Puebla (Ruiz, 2005b). Recientemente, Yáñez et al., en 2006, trabajan en el uso de tres cactáceas columnares, incluyendo a ***Escontria chiotilla*** con el fin de optimizar la producción y el mercadeo en una región muy pobre de México: la Mixteca Baja Oaxaqueña.

### 3. 4. 3 De germinación

Rojas en 1995, realizó un estudio sobre la germinación de cactáceas del Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla y Rojas et al., en 1998, analizaron la germinación bajo diversas temperaturas en 7 especies de cactáceas en este mismo Valle. Rojas y Vázquez en el 2000, presentaron una revisión sobre la germinación en cactus. Herrera (2001), quien trabajó con la germinación de ***E. chiotilla*** en diferentes suelos y niveles de humedad; y Martínez et al., en 2003, realizaron estudios sobre la germinación de ***Stenocereus griseus*** y ***Escontria chiotilla***.

## 3. 5 ***Escontria chiotilla*** (Weber) Rose

### 3. 5. 1 Clasificación taxonómica

Clase	Dicotyledonese (Dicotiledóneas)
Subclase	Dialipétalas
Orden	Cactales Britton et Rose
Familia	CACTACEAE Lindley
Subfamilia	Cereoideae Schum
Tribu	Pachycereae Buxb
Subtribu	Pterocereinae Buxb
Género	<b><i>Escontria</i></b> Rose
Especie	<b><i>E. chiotilla</i></b> (Weber) Rose

### 3. 5. 2 Descripción

***Escontria chiotilla*** comúnmente llamada “jiotilla”, “quiotilla” o “chiotilla”, también recibe el nombre de “padre nuestro” según Piña - Lujan (1977), en zapoteco se le llama “chigus” y “tepepoanochtli” (Sánchez - Mejorada, 1982) y como “shishova” al fruto y “xuega” (Flores et al., 1991). Es una planta arborescente de 3 a 7 m de altura (Fig. 1), de tronco corto y grueso, ramas dicotómicas, de 7 a 8 costillas prominentes, algo crenadas; aréolas muy próximas a menudo confluentes, elípticas aproximadamente de 1 cm de longitud con fieltro



grisáceo. Espinas radiales de 10 a 15, tubuladas, rectas, extendidas, a veces dirigidas hacia abajo de 1 cm de longitud, espinas centrales de 3 a 5, una de ellas más larga de aproximadamente 7 cm de longitud; rectas tubuladas. Ligeramente aplanadas moreno grisáceo con la punta más oscura. Flores en la terminación de las ramas, infundiliformes, miden 3 cm de longitud (Fig. 2) segmentos anteriores del perianto amarillos, acuminados, pericarpelo y tubo con grandes escamas papiráceas translúcidas, brillantes acuminadas, pungentes, axilas sin lana ni cerdas, estambres amarillos; estigma con 8 a 10 lóbulos (Bravo - Hollis, 1978). La época de floración es durante los primeros meses del año y la fructificación en abril, mayo y junio.

***Escontria chiotilla***, se emplea en la elaboración de nieves por poblaciones de Oaxaca, se intenta su propagación vegetativa poco exitosa. En cuanto a sus usos, se menciona como una cactácea columnar con frutos comestibles de buena calidad, útil como forraje, empleada para elaboración de bebida alcohólicas, sus semillas, tallos y flores son comestibles, se emplea para cercas vivas y como leña. Con respecto al estatus cultural es silvestre recolectada y manejada *in situ* (Casas, 2002).



Figura 1. ***E. chiotilla*** en la localidad de V. Salada.





Figura 2. *E. chiotilla* con flor y frutos en crecimiento.

### 3. 5. 3 Características del fruto

Sus frutos son globosos, escamosos de color café rojizo, de hasta 3.5 cm de diámetro, sus semillas son negras de 1.0 - 1.3 mm de ancho y largo, con amplio hilio basal y testa gruesa (Figuras 3a, 3b y 3c). Son cosechados en su hábitat natural y presentan pulpa purpurina de sabor dulce y agradable por lo que son muy apreciados para comerse como fruta fresca, para preparar bebidas refrescantes y alcohólicas (vinillo de jiotilla), helados y para la elaboración de mermeladas o en conserva (Bravo- Hollis y Sánchez, 1991; y Nobel, 1998).

La utilización de estos frutos en la elaboración de mermelada, indica que deben ser ricos en mucílagos y sustancias pécticas, estas características le proporcionan una mayor utilidad, ya que este tipo de productos tienen una gran demanda en la industria alimenticia; para la elaboración de pastas, y en la farmacéutica como vehículo de pomadas, como demulcente y emoliente (Nieto, 1980).



Figura 3a. Frutos de *Escontria chiotilla* en diferentes grados de maduración.

Figura 3b.



Figura 3c.



Figuras 3b y 3c. Frutos de *E. chiotilla* en diferentes etapas de crecimiento.



### 3. 5. 4 Distribución

Se encuentra registrada en la Cuenca del Balsas, en el área del río Tepecaltepec cuenca alta del Papaloapan; en Oaxaca, región de Cuicatlán, Teotitlán y Totoloapan, en el cañón del Zopilote, Guerrero, en la presa del Infiernillo, Michoacán, en Puebla, en el Valle de Tehuacán es muy abundante principalmente en Calipan, Acatlán, Coxcatlán (Fig. 4) y la Sierra Mixteca (Bravo - Hollis, 1978 y Bravo- Hollis y Sánchez, 1991).

### 3. 5. 5 Características del Municipio de Coxcatlán, Puebla

Medina en el 2000, a lo largo de una cronosecuencia edáfica en un abanico aluvial en Coxcatlán, Valle de Tehuacán; encuentra principalmente 4 tipos de suelos para esta zona, denominados como: Fouquierial por dominancia de ***Fouquieria formosa*** Kunt, Cuajiotal por ***Bursera morelensis*** (Ramírez), Chiotillal por ***Escontria chiotilla*** (Weber) Rose y Cardonal por ***Pachycereus weberi*** (Coulter) Buxb. El autor menciona que el abanico aluvial se compone de cuatro superficies con marcadas diferencias edáficas. Todos los suelos, son porosos, no compactos, y de alta pedregosidad. El grado de diferenciación determina que los suelos se ubiquen como diferentes entidades taxonómicas. Las superficies Fouquierial y Cuajiotal comparten características adquiridas por una mayor dinámica pedogénica. Por otro lado ambas superficies, Chiotillal y Cardonal; muestran menor alteración respecto al material aluvial que les dio origen. La superficie Fouquierial es un Feozem hápico (PHh) y en la superficie Cuajiotal hay un Leptosol molico (LPm), en Chiotillal un Faeozem hápico (PHh) y con base en la poca alteración del material parental el suelo de la superficie más reciente el Cardonal, se clasifica como Regosol calcárico (RGc).

En cuanto a sus propiedades químicas, la mayor variación de pH entre los cuatro suelos analizados por Medina y al interior de los perfiles no excede la unidad. La relación directa entre mayor alcalinidad y profundidad se aprecia claramente en todos los perfiles. De acuerdo al criterio de Singer y Munns, son suelos moderadamente alcalinos; aún cuando el horizonte A de uno de los suelos analizados cae en el rango de ligeramente alcalino y algunos fuertemente alcalinos. Los mayores porcentajes de materia orgánica y nitrógeno se presentan en la parte superior de cada suelo; y descienden perfil bajo, con forme al patrón de distribución en el suelo. No se aprecian diferencias importantes de capacidad de intercambio catiónico total (C. I. C. T.). La capacidad de intercambio es alta y la disponibilidad de calcio y magnesio baja en todos los suelos. La presencia de fósforo, rico en todos los casos, muestra una tendencia descendente en el perfil del suelo. El contenido de sodio es constante y no representa en ningún caso niveles de toxicidad. El potasio alcanza las mayores proporciones en los primeros horizontes de todos los suelos, cayendo abruptamente en las capas subyacentes. Además de la constancia en este patrón entre los suelos, todos, a excepción de la superficie de uno de ellos son abundantes en potasio.



Figura 4. Localidad de Venta Salada, Municipio de Coxcatlán, Pue.

**Orografía:** El municipio pertenece a dos regiones morfológicas. A partir de la cota 2000 hacia el oriente forma parte de la Sierra de Zongolica, estribación de la Sierra Madre Oriental que se caracteriza por su rápido declive hacia la planicie costera del Golfo. De la cota 2000 hacia el poniente pertenece al valle de Tehuacán. El municipio se ubica en el costado sudoriental del Valle de Tehuacán y es donde el valle alcanza su nivel más bajo, menos de 900 metros sobre el nivel del mar. El relieve marca un declive constante en dirección noreste-suroeste que se inicia bruscamente y conforme avanza al suroeste, se va suavizando, el declive no es tan profundo como el que presenta la sierra hacia la planicie costera. Su mayor altura la alcanza en el Cerro Verde, con más de 2500 metros sobre el nivel del mar y la menor a orillas del Río Salado; con menos de 900 metros, ambos extremos guardan una distancia de 14 kilómetros solamente.

**Hidrografía:** El municipio pertenece a la cuenca del Papaloapan; es cruzado por varios ríos en dirección noreste-suroeste, que desembocan en el río Salado o en el Tehuacán. Destacan los Tepazolco, Atzompa, Tulancingo, Teotitlán, y Zicastla, todos ellos provenientes de la Sierra de Zongolica. El Río Tehuacán, proveniente de los manantiales cercanos a Santa María del Monte de la Sierra de

Zongolica, corre a lo largo del Valle de Tehuacán y baña el noroeste del municipio; más adelante se le une el Río Zapotitlán, proveniente de la sierra del mismo nombre, y cambia el nombre por el de Río Salado debido a la gran cantidad de sales de sodio proveniente de las depresiones de Zapotitlán. El Río Salado recorre el suroeste, sirviendo de límite con Oaxaca y continúa por el valle hasta salir del estado. Es uno de los principales afluentes del Papaloapan. El Río Tehuacán y Salado recorren más de quince kilómetros dentro del municipio. Cabe destacar una serie de canales de riego al suroeste y noroeste, que forman parte del distrito de riego del Río Salado.

**Clima:** En el municipio se presenta la transición de los climas secos característicos del valle de Tehuacán (Fig. 5), declive occidental de la sierra de Zongolica, a los climas templados de las partes altas de la sierra. Los cuatro climas que se identifican en el municipio, se presentan en franjas verticales y conforme se avanza de oeste a este, se van volviendo de cálidos-secos, cada vez más templados-húmedos.

Clima seco muy cálido, el más seco de los esteparios: se presenta en las partes más bajas del municipio, lo que corresponde al valle de Tehuacán (Cuadro 1).

Clima semiseco cálido, lluvias en verano y escasas a lo largo del año; de la sierra de Zongolica.

Clima templado subhúmedo, con lluvias en verano: se presenta en las partes altas de la sierra de Zongolica.

Clima semicálido subhúmedo, con lluvias en verano: se le identifica entre las primeras estribaciones occidentales de la sierra de Zongolica, y en las partes más altas de la misma.

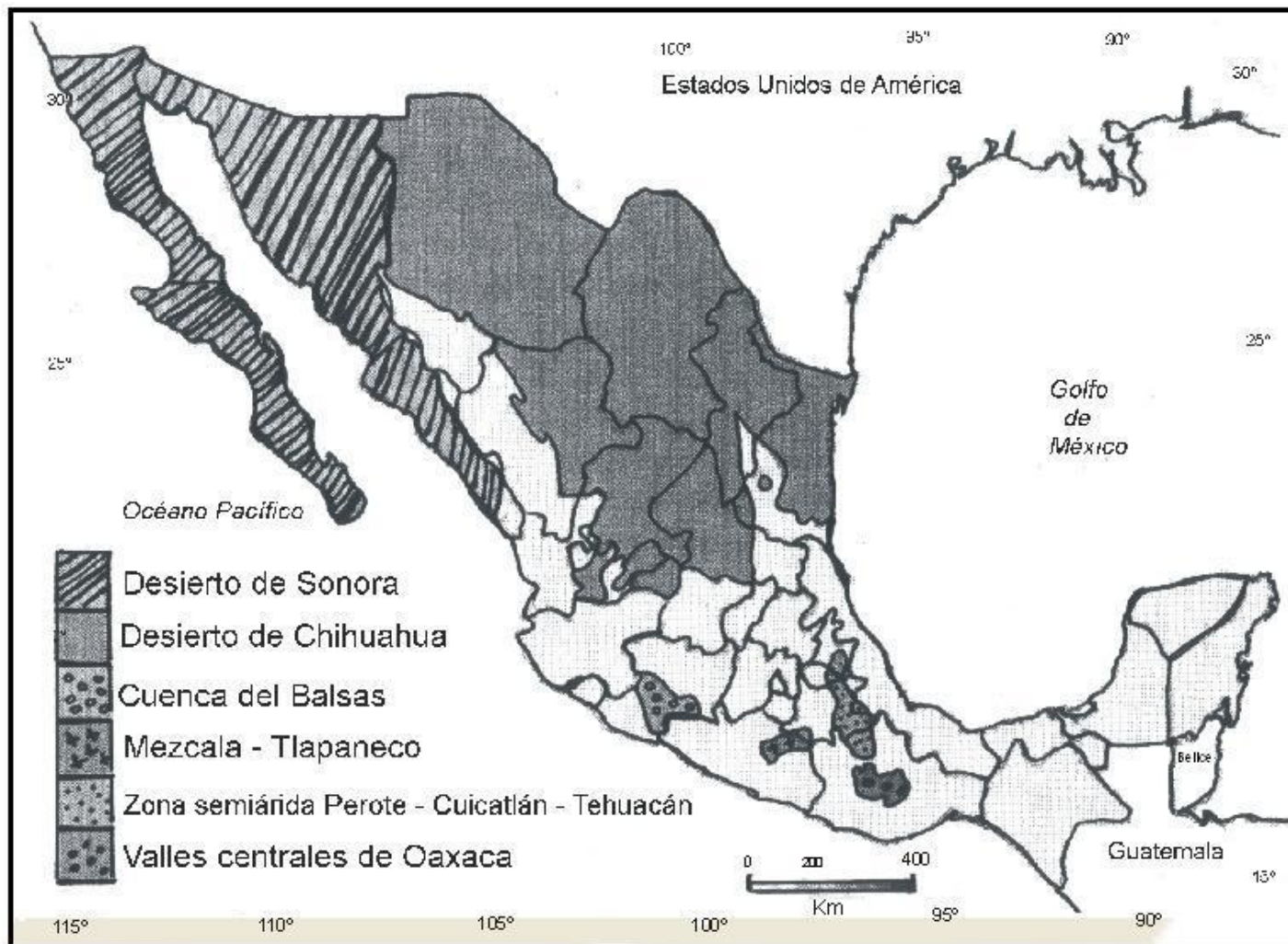


Figura 5. Mapa de distribución de las zonas áridas y semiáridas de México (Modificado de Cervantes, 2002).

**Principales Ecosistemas:** El municipio por su ubicación geográfica, extensión, gran variedad de climas y suelos, presenta también variedad vegetativa; desde agricultura de riego en el valle, hasta bosque mesófilo de montaña en la sierra de Zongolica. Las áreas correspondientes al valle de Tehuacán, al poniente, están dedicadas al cultivo de riego, principalmente de caña de azúcar. Conforme se va ascendiendo a la sierra se tiene matorral crasicaule y selva baja caducifolia, así como una franja horizontal de pastizal inducido a lo largo de la carretera Coxcatlán-Xoquitlán. Las partes más altas de la sierra al oriente deben haber estado cubiertas totalmente por bosques de pino, pino-encino y bosque mesófilo de montaña, en la actualidad está siendo deforestada para abrir tierras de cultivo,

o para pastizal inducido. Aunque los bosques siguen predominando, si se sigue abriendo al cultivo, pronto pueden acabar con ellos.

**Características del Uso del Suelo:** Presenta una gran diversidad edafológica, pues pueden identificarse cuando menos seis grupos de suelo:

Cambisol: es el suelo que predomina, ocupa todo el oriente, coincidiendo con el declive de la sierra de Zongolica. Litosol: se identifica al extremo noroeste; ocupa un área restringida. Feozem: ocupa un área reducida al norte y noreste del declive de la sierra de Zongolica. Regosol: ocupa una gran área al centro del municipio y presenta una posición intermedia entre el declive de la sierra de Zongolica y las partes más bajas del valle de Tehuacán, es decir, entre los cambisoles y xerosoles. Xerosol: ocupa la parte más profunda del valle de Tehuacán, es decir, en todo el costado oeste. Y Fluvisol: se presenta en áreas muy reducidas, a orillas del Río Atzompa y Zicastla (Enciclopedia de los Municipios de México, 2005).

Mes	1993 mm	1994 mm	1995 mm	1996 mm
Enero	0	0	2.5	0
Febrero	7	0	5.7	0
Marzo	2.7	0	6.5	0
Abril	<b>40.6</b>	7.3	6	0
Mayo	<b>26.1</b>	57	26	0
Junio	186.6	36.5	80.9	156.7
Julio	<b>69.6</b>	28	65	44.3
Agosto	87	93.5	153.7	88
Septiembre	131.7	9.8	48.2	69
Octubre	0	32	71.3	41
Noviembre	21.5	0	0	6.5
Diciembre	0	0	45.5	0
<b>Total</b>	<b>572.8</b>	<b>264.1</b>	<b>511.3</b>	<b>405.5</b>

Cuadro 1. Registros de precipitación pluvial, proporcionados por el Ingenio de Calipan, Coxcatlán Pue., para 4 años consecutivos al que se realizó el presente estudio. En negritas, los datos de los meses muestreados.



## 4. Material y métodos

### 4.1 Descripción del área de estudio

El Municipio de Coxcatlán, Puebla se encuentra situado en la región del Valle de Tehuacán el cual, se ubica en la parte alta de la cuenca del Papaloapan a una altitud de 1000 - 1800 msnm.

La localidad de Venta Salada (Fig. 6) se ubica a los  $97^{\circ} 10' 44.6''$  y  $97^{\circ} 10' 49''$  Longitud Oeste y a los  $18^{\circ} 15' 39.2''$  y  $18^{\circ} 15' 40.8''$  Latitud Norte, a una altitud de 1020 m. s. n. m. (Carta geológica; Orizaba E-14-3, escala 1:250,000). Su suelo data del periodo Cuaternario, con rocas sedimentarias y volcano sedimentarias en conglomerados; presenta dos horizontes A y C y tres tipos de textura; franco, migajón arcilloso y arcilloso arenoso, pH alcalino y ácido. Su vegetación es de tipo Micrófilo y Crasicaule, con dominancia fisonómica de *Escontria chiotilla* (Weber) Rose, por lo que se denomina como "Jiotillal".

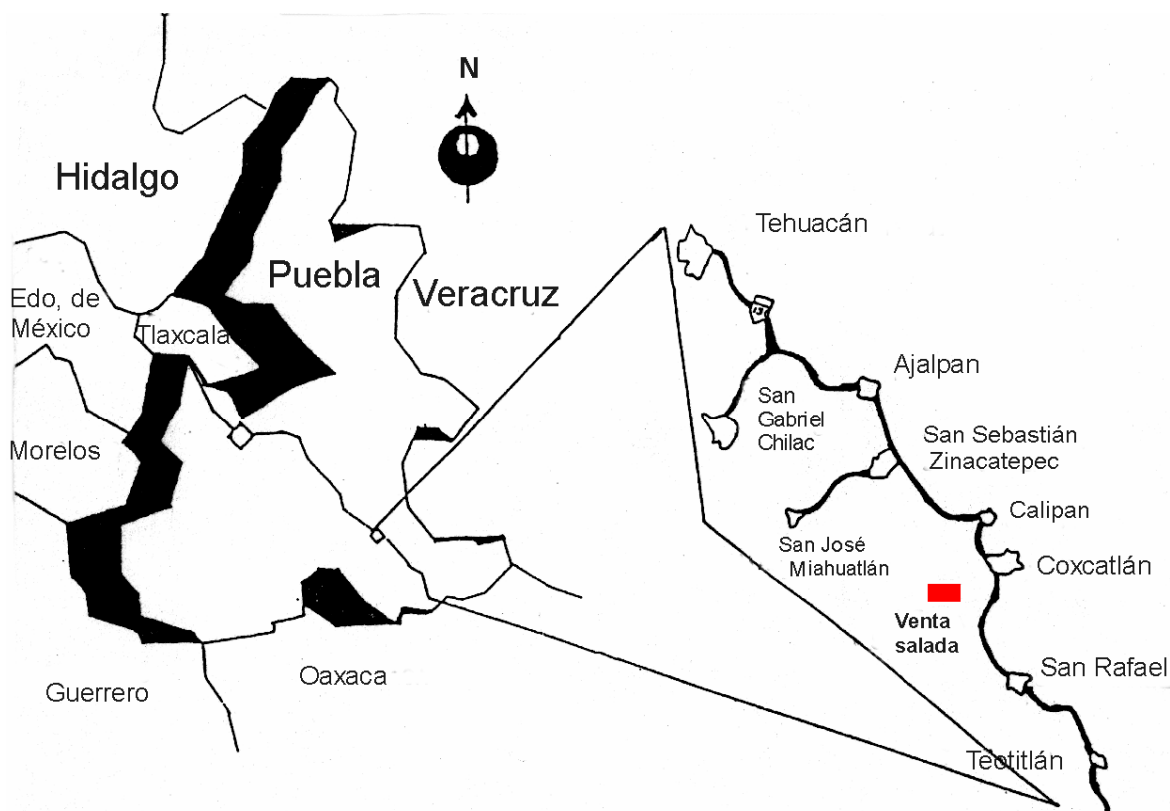


Figura 6. Ubicación de la zona de estudio (Tomada y modificada de la Carta Geológica Orizaba E -14 - 3, guardando proporción a escala 1:250, 000. Dirección General de Geografía, 1983).

## 4. 2 Muestreo y material biológico

Se eligieron seis organismos de *Escontria chiotilla* distribuidos al azar en dos cuadrantes y se tomaron muestras de tejido del tallo y la raíz (Fig. 7), en cuatro meses del año 1993 de acuerdo al ciclo reproductivo de la especie: en la etapa previa a la floración (febrero), durante la floración (abril), fructificación (mayo) y en la etapa final del ciclo (julio). Las muestras de tejido fueron secadas en estufa a 65 °C durante 24 horas y posteriormente trituradas en molino manual y mortero de porcelana. De cada uno de los organismos se tomaron muestras de suelo de 0 a 20 cm y de 20 a 40 cm de profundidad (Fig. 8), las cuales; se secaron a temperatura ambiente en el laboratorio. Con respecto a los frutos, fueron recolectados en el mes de mayo, contabilizados y pesados en campo para determinar su peso fresco. Posteriormente, secados en estufa de la misma forma que el tejido de la planta, se determinó su peso seco y evaluó el % de humedad, de biomasa y proteína total a partir de nitrógeno; de acuerdo a las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ de Humedad del fruto} = \frac{\text{peso fresco} - \text{peso seco}}{\text{peso fresco}} \times 100$$

$$\% \text{ de Biomasa} = 100\% - \% \text{ de Humedad}$$

$$\text{Proteína total} = (\text{N} \times 6.25) *$$

\* Valor de conversión tomado de Emaldi et al., (2004).



Figura 7. Muestreo de material biológico en la Localidad de Venta Salada, Pue.



Figura 8. Muestreo de suelo en la zona de estudio.

### 4.3 Determinación de propiedades físicas y químicas del suelo

De las muestras de suelo se determinaron sus características físicas y químicas en el primer muestreo (febrero), a excepción del pH que se evaluó al inicio (febrero) y al final del ciclo reproductivo (julio); por medio de las técnicas de Aguilera, modificadas por Muñoz et al., (2000).

### 4.4 Cuantificación de minerales

Las técnicas utilizadas para el análisis de los minerales en planta (tallo, raíz y fruto) y suelo fueron: Sodio y Potasio, por digestión húmeda y espectrofotometría de flama con un Flamómetro Corning 400; Fósforo total, por el método de azul de Molibdeno; y Nitrógeno total, por Microkjeldahl (Técnicas de Chapman, 1979; modificadas por Hernández y Mendieta, 1987).

### 4.5 Pruebas estadísticas

De las muestras trabajadas en laboratorio se hicieron tres repeticiones y los datos fueron sometidos a un ANOVA de tres factores y la comparación de medias por la prueba de Fisher en el programa STATISTICA versión 6.0.

Los factores para el análisis estadístico en planta fueron: el cuadrante, la parte de la planta y el mes de muestreo considerando al estado fenológico; de acuerdo al siguiente esquema:

<b>Factor 1 Cuadrante (a)</b>	<b>Factor 2 Parte de la planta (b)</b>	<b>Factor 3 Mes de muestreo (c)</b>
<b>a1 Cuadrante 1</b>	<b>b1 Tallo</b>	<b>c1 Febrero (Prefloración)</b>
		<b>c2 Abril (Floración)</b>
<b>a2 Cuadrante 2</b>	<b>b2 Raíz</b>	<b>c3 Mayo (Fructificación)</b>
		<b>c4 Julio (Final del ciclo reproductivo)</b>

Cuadro 2. Distribución de factores para análisis estadístico en planta.

Mientras que, para el análisis estadístico en suelo los factores fueron: el cuadrante, la profundidad y el mes de muestreo; como lo indica el siguiente esquema:

<b>Factor 1 Cuadrante (a)</b>	<b>Factor 2 Profundidad (b)</b>	<b>Factor 3 Mes de muestreo (c)</b>
<b>a1 Cuadrante 1</b>	<b>b1 Superficie (0 - 20 cm)</b>	<b>c1 Febrero (Prefloración)</b>
		<b>c2 Abril (Floración)</b>
<b>a2 Cuadrante 2</b>	<b>b2 Fondo (20- 40 cm)</b>	<b>c3 Mayo (Fructificación)</b>
		<b>c4 Julio (Final del ciclo reproductivo)</b>

Cuadro 3. Distribución de factores para análisis estadístico en suelo.

## 5. Resultados

### 5.1 Características fisicoquímicas del suelo

Los resultados del análisis edafológico (Cuadro 4), mostraron un suelo de color café rojizo, con textura de migajón arenoso en las dos profundidades, densidad aparente y densidad real considerada como media en superficie y fondo. En cuanto al % de porosidad, para ambas profundidades fue alta. Por su pH, en la superficie es un suelo moderadamente ácido y en el fondo ligeramente ácido. La materia orgánica es moderadamente rica en la superficie y de porcentaje medio en el fondo. Finalmente, la Capacidad de Intercambio Catiónico Total (C. I. C. T.) es de valor medio en la superficie y en el fondo. Las categorías de cada propiedad del suelo, fueron determinadas con base en los criterios presentados por Muñoz et al., (2000).

Propiedades físicas y químicas	Profundidad	
	Superficie (0 - 20 cm)	Fondo (20 – 40 cm)
Color	Seco Café rojizo 5 YR 4/4	Húmedo Café rojizo 5YR 1/4
Textura	Migajón arenoso	Migajón arenoso
Densidad aparente (gr/cc)	1.08	1.13
Densidad real (gr/cc)	2.54	2.65
Porosidad (%)	57.48	57.36
pH	6.10	6.49
Materia orgánica (%)	3.30	2.09
C. I. C. T. (meq/100 gr)	23.44	27.26

Cuadro 4. Análisis edafológico de la localidad de Venta Salada, en el Municipio de Coxcatlán, Pue.

El promedio del pH en la superficie del suelo es moderadamente ácido al inicio y al final del ciclo reproductivo de *E. chiotilla*. Mientras que, en el fondo, va incrementándose conforme avanza el ciclo reproductivo, pasando de ligeramente ácido en prefloración a neutro al final del ciclo (Cuadro 5).



Etapa de muestreo	pH Superficie	pH Fondo
<b>Febrero</b>		
Inicio del ciclo (Etapa previa a la floración)	6.10	6.49
<b>Julio</b>		
Final del ciclo (Después de la fructificación)	6.06	6.85

Cuadro 5. Muestra los valores promedio de pH en el suelo al inicio y al final del ciclo reproductivo de *E. chiotilla*.

## 5. 2 Resultados por nutrimento en planta y suelo

Los valores promedio  $\pm$  Error estándar (Es) para los 4 elementos analizados, se presentan en el siguiente orden: sodio, potasio, fósforo y nitrógeno; en planta tallo, raíz, suelo; superficie y fondo (Cuadro 6) así como los promedios: para planta obtenido a partir del tallo y raíz y para suelo los correspondientes a superficie y fondo (Figuras 9 a 12). Para abreviar en lo posterior, se considerarán las etapas del ciclo fenológico de la planta sin mencionar los meses de muestreo, considerando febrero como inicio del ciclo o prefloración, abril la floración, mayo fructificación y julio el final del ciclo reproductivo.

### 5. 2. 1 Sodio

Con respecto a este elemento, se encontró el valor promedio en **planta** más bajo (0.28 ppm) durante la época de floración y el más elevado (0.95 ppm) en la época de fructificación. Presentándose un comportamiento similar de acuerdo al ciclo reproductivo en los valores promedio de **tallo y raíz**. En cuanto al **suelo**, el valor promedio menor (30.62 ppm) se presentó en la etapa previa a la floración y el más elevado (35.13 ppm) durante la fructificación. La **superficie** tuvo el promedio menor al inicio del ciclo (30.20 ppm) y el más alto durante la floración (34.27 ppm). Mientras que, el **fondo**, tuvo el valor promedio más bajo (31.03 ppm) al inicio del ciclo y el más alto (35.87 ppm) durante la fructificación (Cuadro 6 y Fig. 9).

### 5. 2. 2 Potasio

En la **planta**, el promedio más bajo de potasio se presentó en la etapa de fructificación (24.71 ppm) y el promedio más elevado (32.56 ppm) durante la floración (abril). Mientras que, el promedio más bajo en **tallo** se presentó al final del ciclo (38.95 ppm) y el más elevado en la floración (51.80 ppm). Para **raíz**, el promedio menor fue al inicio del ciclo (7.32 ppm) y el más alto durante la floración (12.48 ppm). Con respecto al **suelo**, el promedio menor (18.04 ppm) se presentó

al final del ciclo (julio) y el promedio mayor (25.38 ppm) al inicio del mismo en prefloración. La **superficie** tuvo el promedio más bajo (20.35 ppm) al final del ciclo y el más alto (28.93 ppm) al inicio del mismo. Mientras que, en el **fondo**, el valor menor (14.67 ppm) se presentó durante la fructificación y el más alto (21.83 ppm) al inicio del ciclo (Cuadro 6 y Fig. 10).

### 5. 2. 3 Fósforo

El promedio más bajo de fósforo en la **planta** (46.92 ppm) se presentó en la etapa de floración y el promedio más elevado (83.18 ppm) al final del ciclo. Con respecto al **tallo**, el promedio menor fue durante la floración (70.17 ppm) y el mayor al inicio del ciclo (103.83 ppm). La **raíz**, tuvo los valores promedio más bajos en la floración (22.00 ppm) y el más alto al finalizar el ciclo (64.94 ppm). Por otra parte, el promedio más bajo en **suelo** (37.59 ppm) fue en la etapa de fructificación y el promedio más alto (61.88 ppm) se presentó al inicio del ciclo, esto es, previo a la floración. La **superficie** tuvo el promedio menor (34.81 ppm) al final del ciclo y el más alto (57.76 ppm) al inicio de éste. El **fondo** tuvo el promedio menor (32.67 ppm) durante la fructificación y el mayor (65.83 ppm) al inicio del ciclo (Cuadro 6 y Fig. 11).

### 5. 2. 4 Nitrógeno

El porcentaje promedio más bajo de nitrógeno en la **planta** (0.68%) se presentó durante la floración y el promedio más alto (1.51%) durante la fructificación. El **tallo** tuvo el promedio más bajo en la floración (0.70%) y el más alto en la fructificación (1.80%). La **raíz**, presentó promedios mínimos y máximos que siguen el mismo comportamiento que el tallo de acuerdo al ciclo. Con respecto al **suelo**, el valor promedio más bajo (0.45%) se presentó al final del ciclo y el promedio más alto (0.96%) durante la floración. La **superficie** presentó el valor promedio menor (0.50%) al final del ciclo y el más elevado (1.22%) durante a fructificación. En el **fondo**, el valor menor (0.31%) fue en la fructificación y el mayor (0.80%) en la floración (Cuadro 6 y Fig. 12).



	Período			
	Inicio del c. r.	Floración	Fructificación	Final del c. r.
<b>Sodio (ppm)</b>	<b>Febrero</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Julio</b>
Tallo	0.95 ± 0.16	0.22 ± 0.07	1.03 ± 0.30	0.75 ± 0.21
Raíz	0.55 ± 0.21	0.33 ± 0.06	0.87 ± 0.20	0.38 ± 0.05
Superficie	30.20 ± 2.27	34.27 ± 5.25	33.55 ± 2.76	32.45 ± 1.67
Fondo	31.03 ± 6.84	33.75 ± 4.54	35.87 ± 4.21	34.13 ± 2.16
<b>PLANTA</b>	0.75 ± 0.14	0.28 ± 0.04	0.95 ± 0.18	0.60 ± 0.11
<b>SUELO</b>	30.62 ± 3.44 (0.0031 %)	34.01 ± 3.32 (0.0034 %)	35.13 ± 2.60 (0.0035 %)	33.29 ± 1.33 (0.0033 %)
<b>Potasio (ppm)</b>				
Tallo	48.00 ± 4.26 (2.40 %)	51.80 ± 5.82 (2.59 %)	39.38 ± 6.95 (1.97 %)	38.95 ± 2.15 (1.95 %)
Raíz	7.32 ± 2.21	12.48 ± 1.55	10.03 ± 2.69	11.80 ± 1.67
Superficie	28.93 ± 2.57	24.35 ± 2.06	22.47 ± 2.46	20.35 ± 1.85
Fondo	21.83 ± 0.41	18.53 ± 1.38	14.67 ± 0.84	15.73 ± 1.77
<b>PLANTA</b>	27.66 ± 6.57	32.56 ± 6.50	24.71 ± 5.68	25.38 ± 4.30
<b>SUELO</b>	25.38 ± 2.03	21.44 ± 1.47	18.57 ± 1.71	18.04 ± 1.41
<b>Fósforo (ppm)</b>				
Tallo	103.83 ± 15.80	70.17 ± 9.34	87.78 ± 8.01	101.42 ± 7.24
Raíz	35.83 ± 6.47	22.00 ± 2.97	55.90 ± 5.96	64.94 ± 4.90
Superficie	57.76 ± 6.51	42.11 ± 8.55	42.50 ± 10.08	34.81 ± 3.22
Fondo	65.83 ± 28.68	36.43 ± 10.32	32.67 ± 12.11	41.25 ± 11.73
<b>PLANTA</b>	69.83 ± 13.11	46.92 ± 8.81	71.84 ± 6.77	83.18 ± 6.91
<b>SUELO</b>	61.88 ± 14.09	39.27 ± 6.46	37.59 ± 7.67	37.61 ± 5.97
<b>Nitrógeno (%)</b>				
Tallo	1.05 ± 0.21	0.70 ± 0.09	1.80 ± 0.38	1.03 ± 0.19
Raíz	1.02 ± 0.34	0.65 ± 0.11	1.22 ± 0.31	0.67 ± 0.12
Superficie	0.73 ± 0.24	1.12 ± 0.49	1.22 ± 0.35	0.50 ± 0.13
Fondo	0.64 ± 0.07	0.80 ± 0.45	0.31 ± 0.11	0.39 ± 0.09
<b>PLANTA</b>	1.03 ± 0.19	0.68 ± 0.07	1.51 ± 0.25	0.85 ± 0.12
<b>SUELO</b>	0.68 ± 0.12	0.96 ± 0.32	0.76 ± 0.23	0.45 ± 0.08

Cuadro 6. Resultados de sodio, potasio, fósforo y nitrógeno de *E. chiotilla* y suelo asociado de acuerdo a su ciclo reproductivo (c. r.). Promedio ± Error estándar (Es).

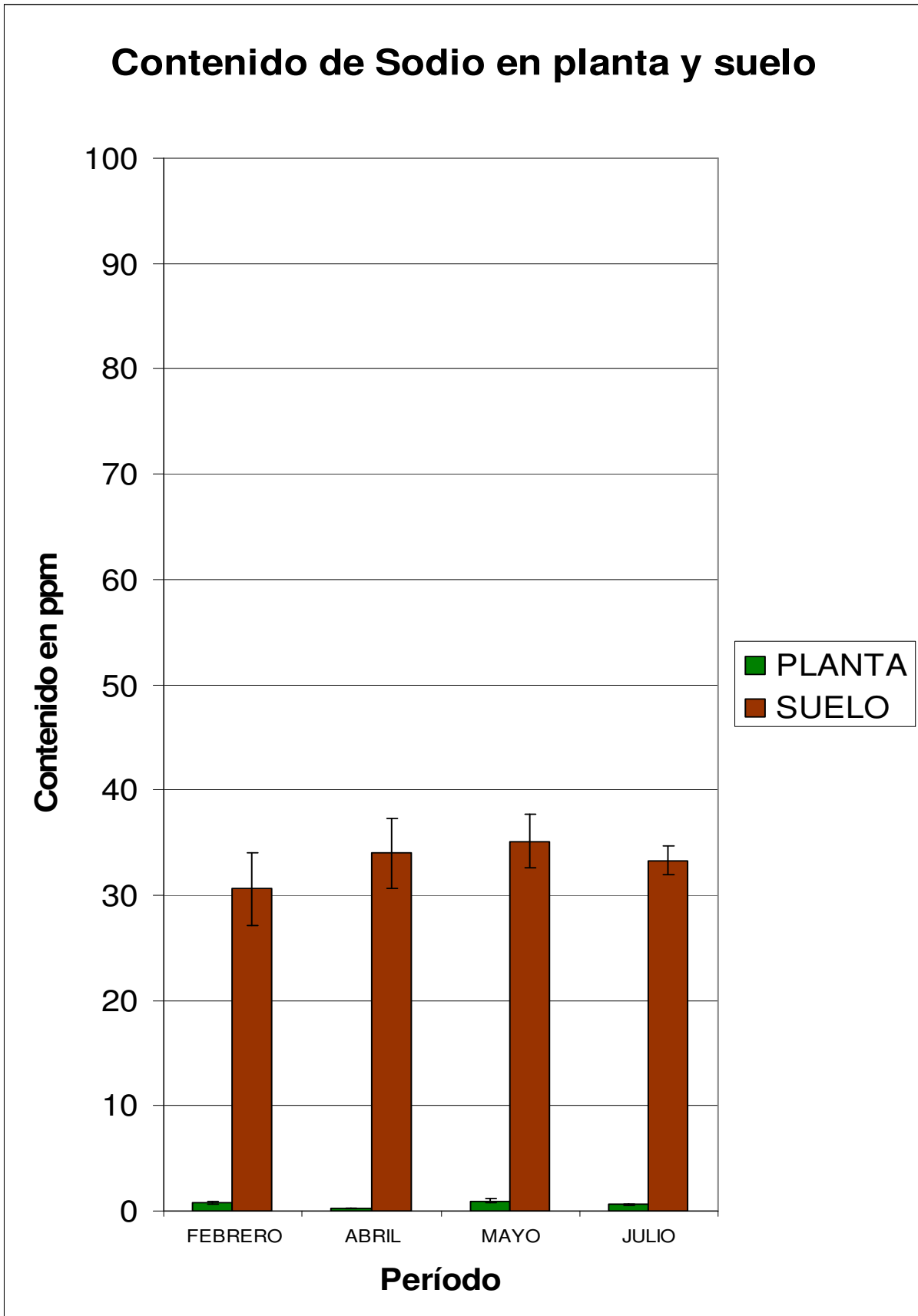


Figura 9. Contenido de sodio (Na) en *E. chiotilla* y suelo asociado a lo largo del ciclo reproductivo. Promedio  $\pm$  Error estándar (Es).

# Contenido de Potasio en planta y suelo

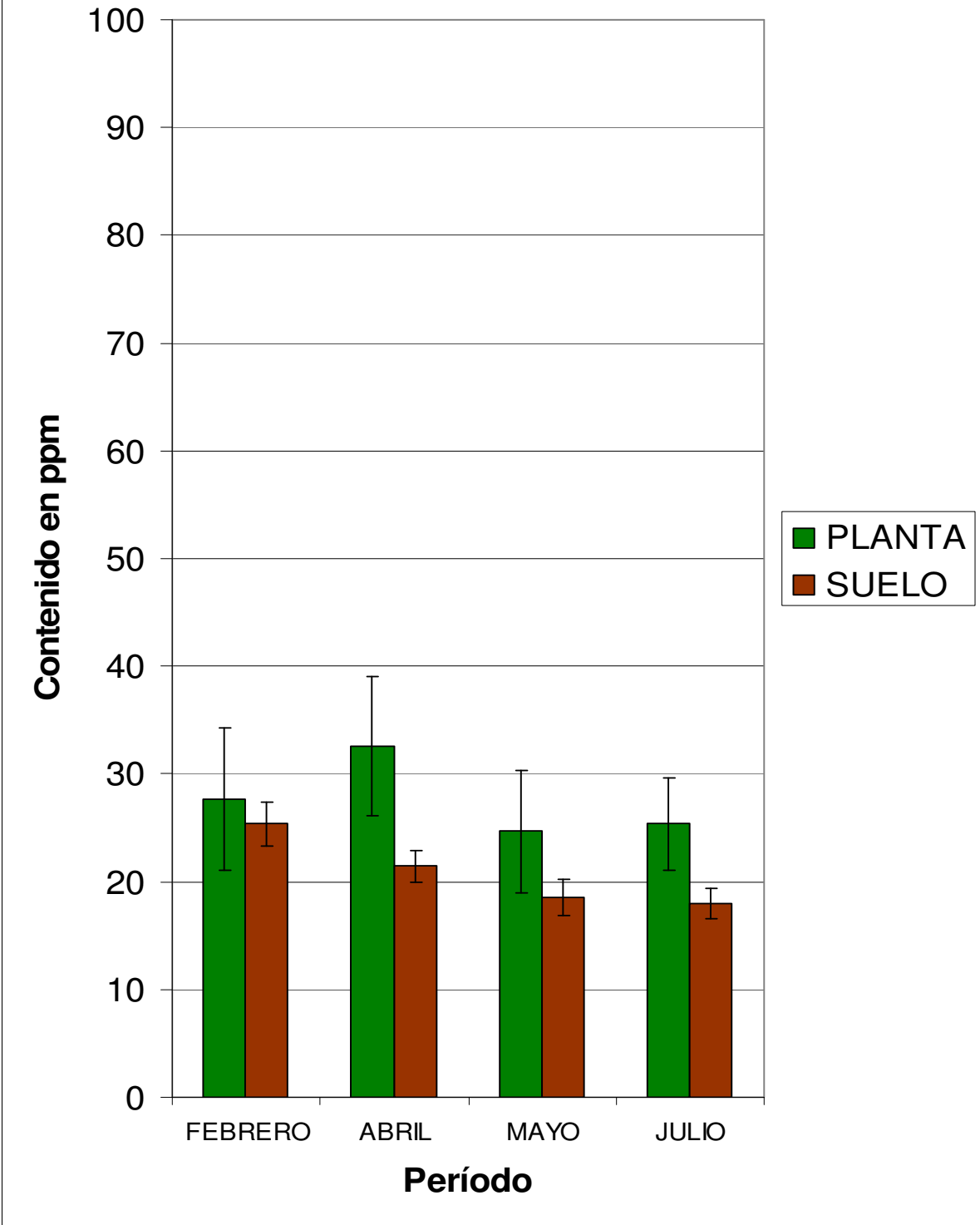


Figura 10. Concentración de potasio (K) en *E. chiotilla* y suelo durante el ciclo reproductivo. Promedio ± Error estándar (Es).

## Contenido de Fósforo en planta y suelo

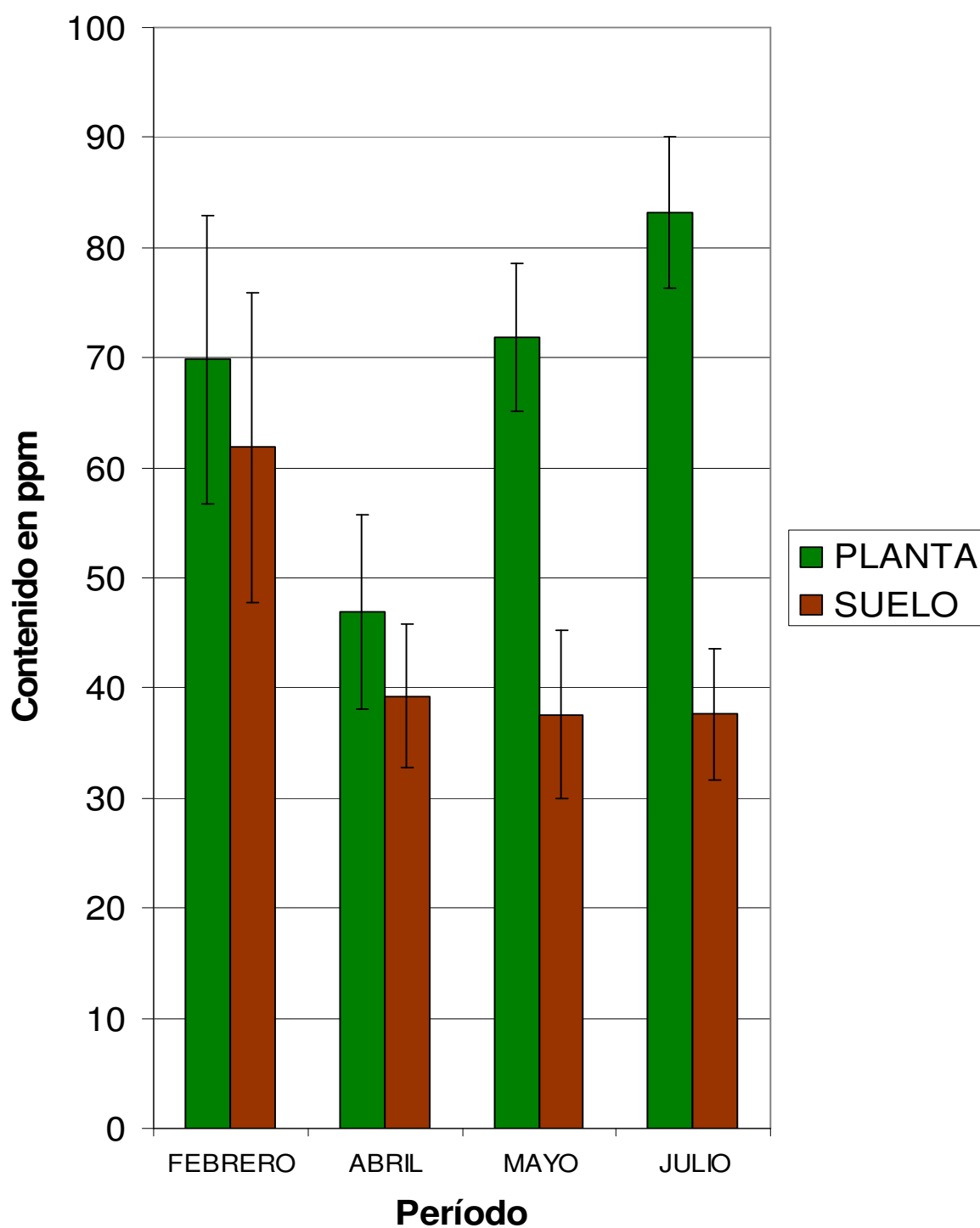


Figura 11. Valores de fósforo (P) en *E. chiotilla* y suelo asociado en las 4 etapas del ciclo reproductivo. Promedio  $\pm$  Error estándar (Es).

## Contenido de Nitrógeno en planta y suelo

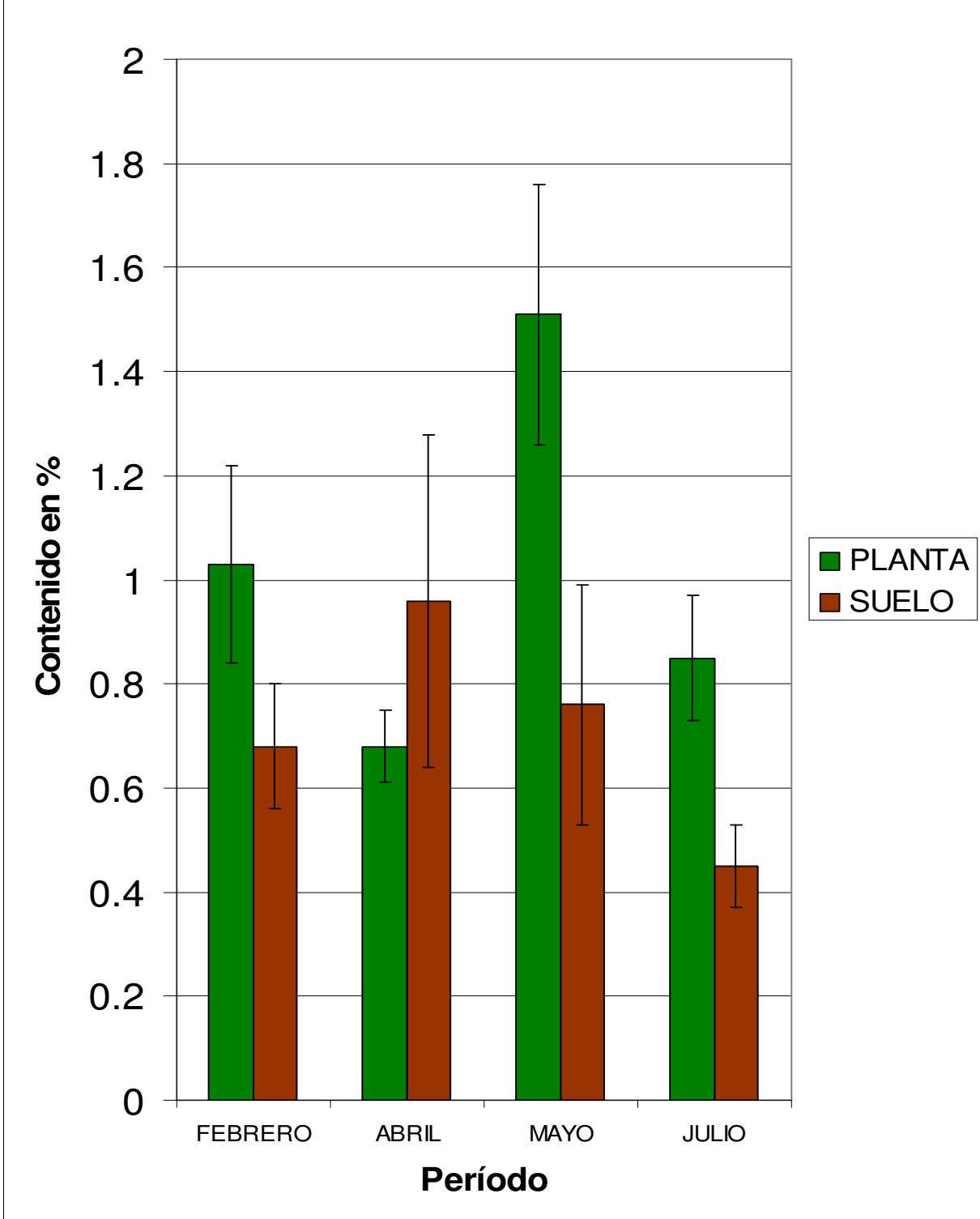


Figura 12. Contenido de nitrógeno (N) en *E. chiotilla* y suelo a lo largo de su ciclo reproductivo. Promedio  $\pm$  Error estándar (Es).

### 5.3 Nutrimientos en fruto

El peso fresco promedio del fruto de *E. chiotilla* es cercano a los 8 g y seco se aproxima a 1.5 g. Por consiguiente, el contenido de humedad supera al 80% y la biomasa es menor al 20%. Los porcentajes de sodio y potasio encontrados en 100 gramos de base seca son inferiores al 2.3%, mientras que en peso fresco; de alrededor de 10 mg para sodio y casi 390 mg para potasio. Finalmente, la cantidad de proteína encontrada representa casi el 5.5% (Cuadro 7).

<b>Peso y contenido de nutrimentos en fruto de <i>E. chiotilla</i></b>	<b>Resultados</b>
<b>Peso fresco promedio por fruto (gr)</b>	7.60 ± 0.49
<b>Peso seco promedio por fruto (gr)</b>	1.30 ± 0.10
<b>% de Humedad</b>	82.98 ± 0.58
<b>% de Biomasa</b>	17.02 ± 0.58
<b>% de Sodio en 100 gr de Base Seca</b> <b>mg de Sodio en 100 gr de Peso Fresco</b>	0.06 ± 0.00 10.26 ± 0.00
<b>% de Potasio en 100 gr de Base Seca</b> <b>mg de Potasio en 100 gr de Peso Fresco</b>	2.27 ± 0.14 388.04 ± 0.14
<b>% de Proteína cruda o total</b>	5.44 ± 0.13

Cuadro 7. Análisis de los frutos de *E. chiotilla*.

## 5. 4 Producción de frutos

El número de frutos encontrados en los 6 organismos de *E. chiotilla*, fue de 0 hasta 101 (Cuadro 8).

Cuadrante	Número asignado al organismo	Número total de frutos encontrados
1	1	101
	2	35
	3	58
2	7	11
	12	4
	14	0

Cuadro 8. Registro del número total de frutos contabilizados en los 6 organismos de *Escontria chiotilla* en los 2 cuadrantes.

## 6. Discusión

### 6.1 Propiedades fisicoquímicas del suelo

El suelo de la zona de estudio, presentó características físicas y químicas que de acuerdo a la literatura (Alonso et al., 1974; Rodríguez, 1982; Aguilera, 1989; Muñoz et al., 2000 y Ovalles, 2003), permiten la absorción de nutrimentos hacia la planta, ya que al tratarse de suelos rojizos existe una alta actividad de descomposición microbiana por la elevada temperatura. Asimismo, la textura migajón arenosa, junto con los valores de la densidad real y aparente; y el % de porosidad, indican que la distribución del aire y el agua en las partículas del suelo favorecieron la absorción de minerales de la raíz hacia la planta. De igual forma el pH, el porcentaje de materia orgánica y la C. I. C. T. (Cuadro 4).

Por tratarse de un suelo con pH que va de moderadamente ácido hasta neutro (Cuadro 5), cae en el rango en donde la mayor parte de los nutrimentos se absorben mejor. Cabe mencionar, que algunos trabajos realizados en la localidad de Venta Salada como el de Hernández y Mendieta (1987) y Herrera en 2001; así como el de Medina (2000) en el Municipio de Coxcatlán; presentan análisis de suelo y los resultados de las propiedades fisicoquímicas de éste, con valores muy disímiles a los obtenidos en el presente trabajo; ya que a pesar de tratarse de la misma localidad, el suelo varía según el punto de muestreo. Estas diferencias en el suelo, seguramente se deben a que el Municipio de Coxcatlán, Pue., pertenece a dos regiones morfológicas y a que en él, existe la transición de climas secos cálidos hasta subhúmedos en un trayecto pequeño (Enciclopedia de los Municipios, 2005), aunado a la perturbación del suelo provocada por el pastoreo y el tránsito poblacional, observaciones realizadas durante el desarrollo del presente trabajo.

### 6.2 Sodio en planta y suelo

En la Figura 9, y de acuerdo al análisis estadístico, se observa que la concentración de sodio en *E. chiotilla* varía en forma significativa ( $p < 0.05$ ) a lo largo de las diferentes etapas del ciclo reproductivo (meses de muestreo), sin que se presenten diferencias significativas entre tallo y raíz ni entre cuadrantes. En general los valores promedio de sodio son inferiores a 1 ppm (Cuadro 6), lo cual es adecuado para el desarrollo de las plantas ya que de acuerdo con algunos autores altos niveles de este elemento pueden afectar el crecimiento, disminuir la biomasa y provocar fotoinhibición (Nobel, 1983; Nobel et al., 1984; Berry y Nobel, 1985; citados por Nobel et al., 1987). Al respecto Nobel y colaboradores (1984) evaluaron la influencia de la salinidad sobre el metabolismo tipo MAC y los niveles iónicos en el cactus *Cereus validus*, y encontraron que el sodio, como NaCl en altas concentraciones inhibe el crecimiento. Sin embargo, de acuerdo con Hernández (2002), también existe información que indica que el sodio es esencial para *Atriplex*, además de ser requerido para las plantas que realizan el Metabolismo Ácido de Crasuláceas ya que es vital para la regeneración del ácido



fosfoenolpirúvico, sustrato de la primera carboxilación, de este tipo de metabolismo (Salisbury y Ross, 1994), asimismo en bajas concentraciones beneficia a muchas especies ya que estimula el crecimiento a través del alargamiento celular y puede llegar a reemplazar al potasio.

Con respecto al contenido de sodio en el suelo, no se presentaron diferencias significativas por cuadrantes, profundidad, ni entre las etapas del ciclo reproductivo. Comparando con la mayoría de las plantas de interés agrícola, el nivel del sodio tiende a ser bajo en cactáceas, existiendo además una correlación muy fuerte entre los niveles de 11 de los nutrimentos y los procesos metabólicos con el N (Nobel, 1983).

### **6. 3 Potasio en planta y suelo**

En cuanto a la concentración de potasio en planta, se observa que existen diferencias significativas ( $p < 0.01$ ) entre cuadrantes y entre el tallo y raíz (Cuadro 6 y Figura 10), no encontrándose diferencias significativas en los diferentes etapas del ciclo reproductivo, en los cuadrantes tales diferencias se atribuyen a la variación que presenta el suelo de la misma localidad según estudios realizados con anterioridad por Hernández y Mendieta (1987), Medina (2000) y Herrera (2001). En cuanto a las diferencias entre la parte de la planta se sabe que una de las funciones primordiales de este elemento consiste en mantener el potencial osmótico en los tejidos y por tanto la turgencia, en este caso en el tallo es donde se presenta la mayor reserva de agua, lo que proporciona su aspecto suculento, al respecto se ha encontrado que el K en el cladodio de las opuntias permanece por arriba del 3% del peso seco, comparado con el 2% presente en las demás plantas (Epstein, 1972 y Larcher, 1980; citados por Nobel, 1987).

Con respecto al potasio en el suelo, se presentan diferencias significativas ( $p < 0.01$ ) tanto entre cuadrantes, como por profundidad, siendo superior la concentración en la superficie; así como entre etapas del ciclo reproductivo, donde se observa que el promedio más alto es en la prefloración y el más bajo en la etapa final.

### **6. 4 Fósforo en planta y suelo**

De acuerdo al análisis estadístico, se encontraron diferencias significativas en el contenido de fósforo entre tallo y raíz específicamente entre floración y fructificación (Cuadro 6 y Figura 11). Donde se observó una disminución en la concentración promedio en planta de este nutrimento, debida a la demanda durante la floración, así como un incremento durante la fructificación e inicio de lluvias, misma que favorece la movilización y disponibilidad de este elemento en el suelo (Marschner, 1991), por lo que al finalizar el ciclo, se observa un incremento en la planta.

En el suelo de acuerdo al análisis estadístico, se encontraron diferencias significativas entre la superficie y el fondo, específicamente el valor más alto en prefloración. En algunas cactáceas se ha encontrado que el P se presenta en muy bajas cantidades; en los cladodios de las opuntias de zonas desérticas del Norte de México (Coahuila) mientras que el suelo puede presentar niveles relativamente altos (Nobel et al., 1987).

## 6.5 Nitrógeno en planta y suelo

Para nitrógeno, de acuerdo al análisis estadístico, no se encontraron diferencias significativas entre tallo y raíz, ni entre cuadrantes, pero sí en promedio en las diferentes etapas del ciclo reproductivo (Cuadro 6 y Figura 12). Donde se observa un incremento en fructificación y posteriormente un decremento, ya que la concentración de nitrógeno es utilizada por la planta para aumentar su actividad metabólica, su crecimiento y movilización del elemento hacia el fruto. Con respecto a esto, en los cladodios de *Opuntia ficus indica*, se encontró que en etapa de fructificación presentaron un alto contenido de N y un bajo contenido de K. Asimismo el contenido de N cambia en relación con la edad del cladodio, el punto donde se toma la muestra y dentro del clorénquima y parénquima (Gugliuzza, 2002).

Con respecto al nitrógeno en el suelo, se observó que hubo diferencias significativas por profundidad y entre las diferentes etapas del ciclo (Cuadro 6 y Figura 12), presentándose los valores más bajos al final de éste y los más altos durante la floración. Esto se debe a un incremento en la absorción de este nutrimento por las demandas de la planta. Se ha encontrado que la fertilización (N-P-K) incrementa la producción de los brotes florales (Nerd et al., 1989 y 1991; citados por Nerd y Mizrahi, 1994). En estudios recientes se ha demostrado que el nitrógeno es el elemento responsable del otoño productivo en el nopal tunero (Nerd et al., 1993; citados por Nerd y Mizrahi, 1994). En este caso la movilización del nutrimento fue favorecida por una época de sequía no muy marcada con casi 41 mm de precipitación pluvial (Cuadro 1). Durante la época seca la planta va utilizando este nutrimento y se espera que en época de fructificación y época de lluvias incremente su absorción; en el suelo también se observa un incremento debido a que el nitrógeno atmosférico se precipita y la actividad microbiana aumenta, al igual que la materia orgánica y el proceso de nitrificación, siendo ésta última muy importante para la obtención del nitrógeno en forma de nitratos y amonio asimilables para la planta (Hernández y Mendieta, 1987). Asimismo se ha observado para opuntias que el crecimiento está positivamente correlacionado con los niveles de N en el suelo ((Nobel et al., 1987) así como en otras cactáceas, (Dodd y Lauenroth, 1975 y Nobel, 1983; citados por Nobel et al., 1987) y ocurre lo mismo para las plantas en general (Epstein, 1972 y Larcher, 1980; citados por Nobel et al., 1987).

## 6.6 Nutrición mineral en *E. chiotilla*

Los valores de los nutrimentos en planta y suelo (Cuadro 6), fueron muy diferentes a los reportados por Hernández y Mendieta (1987) para esta especie y de acuerdo a los datos de nutrimentos presentados para cactáceas por Nobel en 1998, se observaron concentraciones mucho más bajas de sodio y fósforo; mientras que para potasio y nitrógeno fueron similares. Las diferencias encontradas pueden atribuirse a las respuestas que presentan las especies en cuanto a sus requerimientos y disponibilidad de los elementos. Además, los valores pudieron verse sensiblemente afectados por varios factores como: el estado fenológico, sitio específico de muestreo y presencia de otras especies, ya que se ha observado; en estudios bajo condiciones controladas que, al ser sometidos a varios análisis de composición química incluyendo el contenido de Na y K, los cladodios de *Opuntia ficus – indica* muestran diferencias significativas a lo largo del año en su ciclo reproductivo para todos los componentes en los diferentes estados de desarrollo: cladodios jóvenes y maduros con o sin frutos y; en cada estación (Retamal et al., 1987).

Las respuestas de los nutrimentos suelen ser complicadas y variadas en extremo. Ya que, existen diversas interacciones entre los elementos en el suelo y durante la toma de los mismos por las raíces. Por ejemplo, el potasio interactúa con el sodio. Además, las cantidades de la mayoría de los elementos varían de forma considerable en el suelo según las diferentes localidades. Los micronutrientes tienden a presentarse en niveles un poco más bajos en agaves y cactus con respecto a las plantas cultivadas, aunque existe una variación considerable (Nobel, 1998).

## 6.7 Los nutrimentos y el tipo de suelo

Al analizar el contenido de nutrimentos en el suelo (Cuadro 6) se encontró que de acuerdo a la concentración de sodio presente (considerando el cociente resultante de dividir las ppm entre 10000 para calcular el porcentaje de sodio y así hacer una comparación), los porcentajes resultantes no rebasan el 0.0035%, resultando entonces un suelo no salino. Esto de acuerdo a Aubert (1960), citado por (Binet, 1975) quien menciona que los suelos arenosos pueden ser considerados como salinos cuando el aumento de sales solubles alcanza el 0.2%. Asimismo la flora contribuye en la distribución y el movimiento de los elementos de las sales en solución.

El suelo analizado resultó ser muy pobre en potasio y extremadamente rico en fósforo y nitrógeno; esto de acuerdo a las categorías de Vázquez y Bautista (1993); y la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (S. A. R. H) en 1970, citadas por Muñoz et al., (2000).

El sodio fue el elemento que se presentó en mayor concentración en el suelo, mientras que el potasio, fósforo y nitrógeno, son más elevados en el tejido vegetal

(Cuadro 6 y Figuras 9 - 12). Sin embargo, no en todas las cactáceas ocurre lo mismo para estos cuatro elementos, tal es el caso de ***Opuntia chlorotica***, en la cual tanto el nitrógeno, como el potasio, el fósforo y el sodio; sí se presentan en mayor cantidad en la planta que en el suelo (Nobel, 1983).

## 6. 8 Análisis del fruto

En cuanto a los frutos de ***E. chiotilla***, se observa un elevado contenido de humedad, por lo cual la biomasa es menor al 20% (Cuadro 7). De acuerdo a datos presentados por Bravo – Hollis y Sánchez (1991), la tuna cardona en base húmeda presenta un 85.30% de humedad y ***Stenocereus griseus*** un 84.13%. Por lo tanto, hay una gran similitud en los porcentajes de humedad para estas tres cactáceas.

Los altos porcentajes de humedad en los frutos de jiotilla, pueden explicarse de acuerdo a lo que ocurre en los frutos de ***Opuntia ficus – indica*** en donde se ha observado que el fruto presenta una capacidad para acumular agua cuando los cladodios experimentan estrés hídrico lo que da pie a la búsqueda de agua y que ésta sea llevada al interior del fruto, por el floema y no por el xilema, el requerimiento inmediato se da por disminución del potencial hídrico del cladodio para el fruto (Nobel et al., 1994; citados por Nerd y Nobel, 2000).

Se encontró además una similitud en el % de humedad con la ***Annona muricata*** (L.) conocida como guanábana, que es una fruta con un 83.2 %. ***Brosimum alicastrum*** Sw. conocido como Ramón verde, tiene frutos con un contenido de proteína de 5.5 % (Sandoval et al., 1959). Porcentajes respectivos de humedad y de proteína, muy cercanos a los presentes en los frutos de ***E. chiotilla*** (Cuadro 7). La concentración de proteína en jiotilla es muy superior a la de la pitahaya blanca ***Hylocereus undatus*** B. et. R; con 1.31 % y es aproximadamente una tercera parte de la que se encuentra en las semillas de amaranto: ***Amaranthus paniculatus*** var. ***leucocarpus*** Saff, con 14.62 % (Sandoval et al., 1959).

La concentración de sodio en 100 g de peso fresco de frutos de jiotilla es muy baja, de acuerdo a los criterios de clasificación manejados por Adams (2006); mientras que, son muy ricos en potasio y de concentración similar a la que contiene el plátano (Martínez, 2007).

Cabe mencionar que si se calcula el porcentaje de la concentración de potasio en 100 g en base seca de fruto (Cuadro 7) y se compara con los resultados de la concentración para el tallo (Cuadro 6), hay gran similitud debida a la movilización de este nutrimento que es requerido en mayor proporción durante el desarrollo del fruto.

## 6.9 Producción de frutos

En promedio, cada jiotilla de las observadas en el campo produjo entre 35 y 101 frutos (Cuadro 8). Flores et al., (1991), mencionan que la productividad de frutos es variable entre los diferentes años y de acuerdo a sus reportes de producción en *E. chiotilla*, se observa que la producción de los organismos elegidos para la determinación de nutrimentos, cae en el rango de usual y mala según sus criterios de clasificación. Asimismo la productividad en las plantas está influenciada por las condiciones de agua, la actividad fotosintética y los niveles de los elementos en el suelo (Nobel, 1989). Se ha observado, que la fertilización con N, P y posiblemente B; puede incrementar el crecimiento de algunas opuntias, las cuales; pueden conseguir un incremento relativo en su productividad expresada en peso seco (Nobel et al., 1987).

Cabe señalar, que el número de frutos producidos pudo verse sensiblemente alterado ya que los organismos no fueron aislados y la población local los recolecta para su consumo.

## 7. Conclusiones

- El suelo presentó características fisicoquímicas que de acuerdo a la literatura favorecieron la absorción de nutrimentos en ***E. chiotilla***.
- El Na en ***E. chiotilla*** fue significativamente mayor durante la fructificación.
- En el suelo el sodio se mantuvo constante en las diferentes profundidades y meses de muestreo.
- El K en planta es constante a lo largo de todo el ciclo reproductivo.
- En la superficie del suelo, el potasio fue mayor durante la prefloración.
- El P en planta se incrementa en fructificación y al final del ciclo reproductivo.
- El fósforo en el fondo del suelo es más elevado en la prefloración.
- El N se incrementa durante la fructificación en la planta, y en el suelo durante la floración.
- El potasio, fósforo y nitrógeno se presentaron en mayor concentración en la superficie del suelo y tienden a disminuir conforme avanza el ciclo reproductivo.
- El nutrimento que se presentó en mayor cantidad en la planta fue N, seguido de P, K y Na.
- La concentración de Na, P y N en planta disminuye significativamente durante la etapa de floración.
- Durante el periodo de fructificación, el Na, P y N; se incrementan significativamente en tallo y raíz.
- Por su contenido en proteína y potasio, así como bajos niveles de sodio, los frutos de jiotilla pueden considerarse recurso alimenticio alternativo valioso para la población local.
- Los nutrimentos al aumentar en la planta disminuyen en el suelo comprobando así, la relación entre la disponibilidad de éstos y la absorción de acuerdo a las demandas de la planta en cada fase.
- Al conocer las demandas nutrimentales específicas para esta especie durante las diferentes etapas de su ciclo reproductivo, puede ser posible establecer una adecuada fertilización para incrementar su productividad y por consiguiente, los beneficios para la comunidad.

## 8. Recomendaciones

- Cuantificar y ver la dinámica de otros nutrimentos en esta especie.
- Registrar el número de frutos en diferentes años.
- Aislar los organismos a estudiar en campo para contabilizar adecuadamente la producción de frutos de ***Escontria chiotilla***.

## 9. Literatura citada

- Adams, M. 2006. Dieta de Dos Gramos de Sodio (2,000 miligramos). Portal del Hospital General de Massachusetts. [En línea]: <http://healthgate.partners.org/browsing/LearningCenter.asp?fileName=177888.xml&title=Dieta%20de%20Dos%20Gramos%20de%20Sodio>
- Aguilera, H. N. 1989. Tratado de Edafología de México. Tomo 1. U. N .A. M. México. 222 p.
- Alonso, C.; Durán, J. L.; Frómata, E.; Martín, N. y Gutiérrez, C. 1974. Compendio de suelos. Instituto Cubano del Libro. La Habana. 472 p.
- Ambaiza, T. 2005. Procedimiento para el análisis proximal de alimentos. En: García, V. W.; Pezo, C. D.; San Martín, H. F.; Olazábal, L. J. y Franco, F. F. 2004 - 2005. Manual del Técnico Alpaquero. Amauta. Lima. pp. 90 -91.
- Arellano, E. y A. Casas. 2003. Morphological variation and domestication of *Escontria chiotilla* (Cactaceae) under silvicultural management in the Tehuacán Valley, Central Mexico. Genetic Resources and Crop Evolution. 50(4): 439 – 453.
- Barbera, G.; Carimi, F.; Inglese, P. y Panno, M. 1992. Physical, morphological and chemical changes during fruit development and ripening in three cultivars of prickly pear, *Opuntia ficus - indica* (L.) Miller. Journal of Horticultural Science. 67(3): 307 – 312.
- Barbera, G.; Inglese, P. y La Mantia, T. 1994. Seed content and fruit characteristics in catus pear (*Opuntia ficus – indica* Mill.) Scientia Horticulturae. 58: 161 - 165.
- Binet, P. 1975. Short – term dynamics of minerals in arid ecosystems. En: Goodall, D. W. (Ed.). 1981. Arid – land Ecosystems: structure, functioning and management. Cambridge University Press. pp. 325 - 356.
- Blanco, M. F.; Lara. H. A.; Valdez, C. R. D.; Cortés, B. J. O.; Luna. F. M. y Salas, L. M. A. 2006. Interacciones Nutrimientales y Normas de la Técnica de Nutrimiento Compuesto en Nopal (*Opuntia ficus-indica* L. Miller). Rev. Chapingo Serie Horticultura 12 (2): 165 -175.
- Bravo- Hollis, H. 1978. Las Cactáceas de México. U. N. A .M. Vol. I. 743 p.
- Bravo- Hollis, H. y Sánchez, M. H. 1991. Las Cactáceas de México. U. N. A. M. Vol. III. 643 p.



Breeze, V. G.; Canaway, R. J.; Wild, A.; Hopper, M. J. y Jones, H. P. 1982. The Uptake of Phosphate by Plants from Flowing Nutrient Solution. *Journal of Experimental Botany*. 33(133): 183 -189.

Broadley, M. R.; Bowen, H. C.; Cotterill, H. L.; Hammond, J. P.; Meacham, M. C.; Mead, A. y White, P. J. 2004. Phylogenetic variation in the shoot mineral concentration of angiosperms. *Journal of Experimental Botany*. 55 (396): 321 – 336.

Casas, A. 2002. Uso y Manejo de Cactáceas Columnares Mesoamericanas. *Biodiversitas: Boletín Bimestral de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. 40: 18 - 22.

Cervantes, R. M. C. 2002. Plantas de importancia económica en las zonas áridas y semiáridas de México. Instituto de Geografía. UNAM. México. pp. 17 - 39.

Chapin, F. S. 1980. The Mineral Nutrition of Wild Plants. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 11: 233 – 260.

Chapman, H. D. y P. F. Pratt. 1979. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Trillas. México. 195 p.

Clarkson, D. T. y J. B. Hanson. 1980. The Mineral Nutrition of Higher Plants. *Ann. Rev. Plant. Physiol.* 31: 239 - 298.

Cruz, G. Z. Y. 2002. Caracterización morfológica y molecular de un posible híbrido entre *Escontria chiotilla* y *Polaskia chichipe* (Cactaceae). Tesis Licenciatura (Biólogo) U. N. A. M. Facultad de Ciencias. México. 68 p.

Emaldi, U.; Nassar, J. M.; y Semprun, C. 2004. Physicochemical character and food value of two Venezuelan cactus fruits. *Trop. Sci.* 44: 105 –107.

Enciclopedia de los Municipios de México. Puebla, Coxcatlán. 2005. Portal del Gobierno del Estado de Puebla. [En línea]: <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/puebla/Mpios/21035a.htm>

Esquivel, P. 2004. Los Frutos de las Cactáceas y su Potencial como Materia Prima. *Agronomía Mesoamericana*. 15 (2): 215 – 219.

Felker, P. y P. Inglese. 2003. Short -Term and Long-Term Research Needs for *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Utilization in Arid Areas. *J. PACD*. pp.131 -152.

Fernández, J. A. y Maldonado, J. M. 2000. Absorción y transporte de nutrimentos minerales. En: Azcón-Bieto, J. y Talón, M. (Comps.). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. McGraw-Hill Interamericana. España. pp. 99 -113.

Flores, M. A.; Manzanero, M. G.; Acosta, C. S.; Aguilar, S. R. y Saynes, V. A. 1991. Importancia Ecológica y Económica de *Escontria chiotilla* (Weber) Rose en la Porción Este de los Valles Centrales de Oaxaca. *Cact. y Suc. Mex.* 36 (1): 16 - 23.

Fuentes, P. M. 2004. Anatomía floral de algunas especies de la tribu Pachycereae (Cactaceae). Tesis Licenciatura (Biólogo) U. N. A. M. F. E. S. Iztacala. México. 119 p.

Galizzi, F. A.; Felker, P. González, C. y Gardiner, D. 2004. Correlations between soil and cladode nutrient concentrations and fruit yield and quality in cactus pears, *Opuntia ficus indica* in a traditional farm setting in Argentina. *Journal of Arid Environments.* 59 (1): 115 -132.

Gibson, A. C. y P. S. Nobel. 1986. *The cactus primer.* Harvard University Press. U. S. A. 286 p.

Gugliuzza, G.; La Mantia, T. and Inglese, P. 2002. Fruit Load and Cladode Nutrient Concentrations in Cactus Pear. *Acta Hort.* 581:221 – 224.

Hermans, C.; Hammond, J. P.; White, P. J. y Verbruggen, N. 2006. How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation?. *Trends in Plant Science.* 11(12): 610 – 617.

Hernández, G. O. y Mendieta, S. M. 1987. Estudio comparativo de las relaciones iónicas de cactáceas en diferentes zonas del municipio de Coxcatlán, Pue. Tesis de Licenciatura. U. N. A. M. E. N. E. P. Iztacala. Edo. de México. 100 p.

Hernández, G. R. 2002. Libro de Botánica Online. Portal del Departamento de Botánica, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes - Mérida – Venezuela. [En línea]: [http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/nutricionmineral/#micronutrientes%20\(OLIGOLEMENTOS\)](http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/nutricionmineral/#micronutrientes%20(OLIGOLEMENTOS))

Herrera, R. D. 2001. Germinación de *Escontria chiotilla* (Weber) Rose y *Myrtillocactus geometrizans* (Bravo) Backeberg en diferentes suelos y niveles de humedad. Tesis de Licenciatura. U. N. A. M. F. E. S. Iztacala. Edo. de México. 58 p.

Huerta, P. C. 1998. Crecimiento y análisis químico del fruto de *Escontria chiotilla* (Weber) Rose y *Stenocereus pruinosus* (Otto) Buxbaum; en Venta Salada, Puebla. Tesis de Licenciatura. U. N. A. M. E. N. E. P. Iztacala. Edo. de México. 61 p.

Ibarra, M. E e Irigoyen, C. R. M. 1986. Las cactáceas como bioindicadoras de minerales. Tesis Licenciatura (Biólogo) U. N. A. M. Facultad de Ciencias. México. 82 p.

José, J. R. y Martínez, M. D. 1992. Efecto de la orientación en la producción de ***Escontria chiotilla*** (Weber) Rose en la localidad de Venta Salada, Municipio de Coxcatlán, Pue. Suc. Mex. 37:46 – 57.

Kuti, J. O. 1992. Growth and compositional changes during the development of prickly pear fruit. *Journal of Horticultural Science*. 67(6): 861- 868.

Lechuga, F. E. 2001. Estudio fisonómico de la vegetación de Ajalpán, Puebla. Portal de la Comisión Nacional Forestal. [En línea]: <http://www.conafor.gob.mx/conaecaf/docs/publicos/Tesis%20UACH-CP.pdf>

Longstreth, D. J. y P. S. Nobel. 1980. Nutrient Influences on Leaf Photosynthesis. *Plant Physiol*. 65: 541 – 543.

López, G. R.; Díaz, P. J. C. y Flores. M. G. 2000. Propagación Vegetativa de tres Especies de cactáceas: Pitaya (***Stenocereus griseus***), Tunillo (***Stenocereus stellatus***) y jiotilla (***Escontria chiotilla***). *Agrociencia*. 34: 363 - 367.

López, P. I. 1996. Efecto de Diferentes Niveles de Fertilización Nitrogenada y Fosforada sobre el Rendimiento del sorgo (***Sorghum bicolor*** L. Moench), en un Valle alto. Tesis de Licenciatura. U. N. A. M. E. N. E. P. Iztacala. Edo. de México. 73 p.

Macy, P. 1936. The Quantitative Mineral Nutrient Requirements of Plants. *Plant Physiol*. 11 (4): 749 - 764.

Magallanes, Q. R.; Valdez, C. R. D.; Blanco, M. F.; Márquez, M. M.; Ruíz, G. R. R.; Pérez, V. O.; García, H. J. L.; Murillo, A. B.; López, M. J. D. y Martínez, R. de C. E. 2004. Compositional Nutrient Diagnosis In Nopal (***Opuntia ficus-indica***). *J. PACD*. pp. 78 -89.

Mandujano, P. M. 1988. Respuesta Fotosintética (Metabolismo Ácido de las Crasuláceas) en ***Escontria chiotilla*** (Weber) Rose en Ambiente Controlado. Tesis de Licenciatura. U. N. A. M. E. N. E. P. Iztacala. Edo. de México. 51p.

\_\_\_\_\_. 2002. Evaluación del Metabolismo Ácido de Crasuláceas en ramas jóvenes y maduras de ***Escontria chiotilla*** (Weber) Rose con orientación norte y sur en el municipio de Coxcatlán, Puebla. Tesis de Maestría U. N. A. M. F. E. S. Iztacala. Edo. de México. 80p.

Marschner, H. 1991. Plant - soil relationships: acquisition of mineral nutrients by roots from soils. En: J. R. y D. W. Lawlor (Eds.). *Plant growth: interactions with nutrition and environment*. Cambridge University Press. pp. 125 -155.

Martinez, C. M. L.; Carmona, A. A.; Cabrera, J. M. C. y Varela, H. G. 2003. Germination studies on ***Stenocereus griseus*** and ***Escontria chiotilla***. *Acta Horticulturae*. 598: 39 - 41.

Martínez, C. V. 2007. El Mundo de las Plantas: Lista de alimentos ricos en potasio. Portal de la Revista Botanical online. [En línea]: <http://www.botanical-online.com/listadealimentosricosenpotasio.htm>

Martínez, M. D. 1987. Fluctuación Fotosintética de *Escontria chiotilla* (Weber) Rose en la localidad de Venta Salada Municipio de Coxcatlán, Puebla. Tesis de Licenciatura. U. N. A. M. E. N. E. P. Iztacala. Edo. de México. 97 p.

Medina, S. J. 2000. Determinación del vigor y el estado reproductivo de *Stenocereus stellatus* (Cactaceae) a lo largo de una cronosecuencia edáfica en un abanico aluvial en Coxcatlán, Valle de Tehuacan. Tesis Licenciatura (Biólogo) U. N. A. M. E. N. E. P. Iztacala. México. 48 p.

Muñoz, I. D. J., Mendoza, C. A., López, G. F., Soler, A. A., y Hernández, M. M. M. 2000. Edafología: Manual de Prácticas. U. N. A. M. E. N. E. P. Iztacala. México. 82 p.

Murillo, A. B.; Cortés, A. A.; Troyano, D. E.; Nieto, G. A. y H. G. Jones. 2001. Effects of NaCl Salinity on Growth and Production of Young Cladodes of *Opuntia ficus-indica*. Journal of Agronomy and Crop Science. 187(4): 269 – 279.

Nerd, A. y P. S. Nobel. 2000. Water Relations during Ripening for Fruit of Well-watered versus Water-stressed *Opuntia ficus –indica*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 125 (5): 653 - 657.

Nerd, A. y Y. Mizrahi. 1994. Effect of nitrogen fertilization and organ removal on rebudding in *Opuntia ficus – indica* (L.) Miller. Scientia Horticulturae. 59: 115 - 122.

Nieto, P. C. 1980. La jiotilla. Comunicado No. 41 Sobre recursos bióticos potenciales del país. Instituto Nacional de Investigaciones sobre recursos bióticos. México.

Nobel, P. S. 1983. Nutrient Levels in Cacti-Relation to Nocturnal Acid Accumulation and Growth. Amer. J. Bot. 70 (8): 1244 -1253.

Nobel, P. S.; Lüttge, U.; Heuer, S. y Ball, E. 1984. Influence of Applied NaCl on Crassulacean Acid Metabolism and Ionic Levels in a Cactus *Cereus validus*. Plant. Physiol. 75: 799 - 803.

Nobel, P. S.; Russell, C.E.; Felker, P.; Medina, J. G. and Acuña, E. 1987. Nutrient Relations and Pruductivity of Prickly Pear Cacti. Agron. J. 79: 550-555.

Nobel, P. S. 1988. Enviromental Biology of Agaves and Cacti. Cambridge University Press. New York. pp. 175 -189.

- \_\_\_\_\_. 1989. A Nutrient Index Quantifying Productivity of Agaves and Cacti. *Journal of Applied Ecology*. 26: 635 - 645.
- \_\_\_\_\_. 1990. Soil O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> Effects on Apparent Cell Viability for Roots of Desert Succulents. *Journal of Experimental Botany*. 41(229): 1031 -1038.
- \_\_\_\_\_. 1998. *Los Incomparables Agaves y Cactus*. Trillas. México. 211 p.
- Nobel, P. S. y E. De la Barrera. 2002. Nitrogen relations for net CO<sub>2</sub> uptake by the cultivated hemiepiphytic cactus, *Hylocereus undatus*. *Scientia Horticulturae*. 96: 281 – 292.
- Norh, G. B. y P. S. Nobel. 2000. Heterogeneity in Water Availability Alters Cellular Development and Hydraulic Conductivity along Roots of a Desert Succulent. *Annals of Botany*. 85: 247 – 255.
- Oaxaca - Villa, B.; Casas, A. y Valiente-Banuet, A. 2006. Reproductive Biology in Wild and Silvicultural Managed Populations of *Escontria chiotilla* (Cactaceae) in the Tehuacán Valley, Central Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 53(2): 277-287.
- Oropeza, O. O. 2005. Portal del Instituto Nacional de Ecología. [En línea]: <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/437/oropeza.html>
- Ortega, B. F. P. 2001. Demografía de la cactácea columnar *Escontria chiotilla*. Tesis Maestría (Maestría en Ciencias Biológicas) U. N. A. M. Facultad de Ciencias. México, 82 p.
- Ovalles, V. F. A. 2003. El Color del Suelo: definiciones e interpretación. Portal de la Revista Digital del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela. [En línea]: [www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy/articulos/n3/texto/fovalles.htm](http://www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy/articulos/n3/texto/fovalles.htm)
- Piga, A. 2004. Cactus Pear: A Fruit of Nutraceutical and Functional Importance. *J. PACD*. pp. 9 – 22.
- Pimentel, G. R. S. 1984. Caracterización del pigmento rojo de la Jiotilla (*Escontria chiotilla*). Tesis de Licenciatura. U. N. A.M. Facultad de Química. México. 59 p.
- Piña, L. I. 1977. Pitayas y otras cactáceas afines del Estado de Oaxaca. *Cact. Suc. Mex.* XXII: 3 - 14.
- Ponce de León, G. L y Pelayo, Z. C. 2004. Aplicaciones en postcosecha de estudios histológicos de frutos comestibles de cactáceas. Memorias del XXVIII Congreso Nacional de Histología. Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa. pp. 88.

Ramamoorthy, T. P.; Bye, R.; Lot, A. y Fa, J. (Eds.). 1993. Biological Diversity of Mexico: Origins and Distribution. Oxford University Press. U. S. A. 812 p.

Ramos, B. V. R. 1983. Utilización de pigmentos rojos de *Escontria chiotilla* como colorante de alimentos. Tesis de Licenciatura Q. F. B. U. N. A. M. Facultad de Química. México. 66 p.

Retamal, N.; Durán, J. M. y Fernández, J. 1987. Seasonal Variations of Chemical Composition in Prickly Pear (*Opuntia ficus - indica* (L.) Miller). Journal of the Science of Food and Agriculture. 38 (4): 303 – 311.

Rodríguez. S. F. 1982. Fertilizantes. Nutrición Vegetal. AGT Editor. México. 157 p.

Rojas, A. M. 1995. Estudios sobre la germinación de cactáceas del Valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla. Tesis Maestría en Ciencias Biología. Facultad de Ciencias. U. N. A. M. México. 125 p.

Rojas. A. M.; Vázquez, Y. C y Orozco, S. A. 1998. Seed response to temperature of Mexican cacti species from two life forms: an ecophysiological interpretation. Plant Ecology. 135: 207-214.

Rojas, A. M. y Vázquez, Y. C. 2000. Cactus seed germination: a review. Journal of Arid Environments. 44: 85 - 104.

Ruiz, H. E. A.; Gómez, B. J. M.; Barbosa, M. C.; Márquez, G. J.; Pelayo, Z. C. y Ponce de León, G. L. 2005. Cambios morfo-histológicos de la bráctea del fruto de *Escontria chiotilla* (Cactaceae) para fundamentar un indicador de cosecha. Memorias del XXIX Congreso Nacional de Histología. Universidad Autónoma de Tlaxcala. pp. 43 - 44.

Ruiz, H. E. A.; Pérez, G. M.; Carrillo, C. J.; Talavera, C. L. A.; Rojas, R. C. A. y Gómez, B. J. M. 2005. Recursos alternativos de la Región sur de Puebla. En: Simposio Internacional el Conocimiento Botánico en la Gestión Ambiental y el Manejo de Ecosistemas y 2° Simposio Botánico del Norte de México. Libro de resúmenes. pp. 84.

Salisbury, F. B. y C. W. Ross. 1994. Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica. México. 759 p.

Sánchez - Mejorada, H. 1982. Algunos usos prehispánicos de las cactáceas entre los indígenas de México. Secretaría de Desarrollo Agropecuario. Gobierno del Estado de México. Toluca. México 48 p.

Sancho, V. H. 1999. Curvas de Absorción de Nutrientes: Importancia y Uso en los Programas de Fertilización. Informaciones Agronómicas No. 36: 11 – 13.

Portal del IPNI: International Plant Nutrition Institute. [En línea]: [www.ppi-ppic.org/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/8DD2B8D2DBA77FC205256A310075B334/\\$file/Curvas+de+Absorción.pdf](http://www.ppi-ppic.org/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/8DD2B8D2DBA77FC205256A310075B334/$file/Curvas+de+Absorción.pdf)

Sandoval, V. M.; Illescas, F. R.; Díaz, B. M.; García, P.; Hurtado, L.; Núñez, C.; Quevedo, M. L.; Ruíz, Q. A.; Salazar, T.; Villadelmar, M. L.; Villegas, E.; Bolívar, C.; Álvarez, D. V. J.; Martínez, M. y Díaz, B. J. 1959. Contribución Adicional al Estudio de la Composición de Alimentos Mexicanos. *Ciencia*. XIX (4 – 5):53 -66.

Tinoco, A.; Casas, A.; Luna, R. y Oyama, K. 2005. Population Genetics of ***Escontria chiotilla*** in Wild and Silvicultural Managed Populations in the Tehuacán Valley, Central Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 52(5): 525 – 538.

Valdez, C. R. D.; Blanco, M. F.; Murillo, A. B.; García, H. J. L.; Ruíz, G. R. R.; Márquez, M. M.; López, M. J. D.; Ledesma, M. J. C. y Macías, R. F. J. 2003. Fertilización y Nutrición en Tres Variedades de Nopal (***Opuntia ficus-indica***). *Agrofaz*. 3 (2): 347 -351.

Yáñez, L.; Armella, M. A.; Pelayo, C.; Soriano, J.; Ramírez, G.; Sánchez, D. M.; Juárez, A. y García, L. 2004. Jiotilla Plant (***Escontria chiotilla*** [Weber] Britt. & Rose) as a new resource native to south México. *Acta Horticulturae*. 632: 69 -74.

Yáñez, L.; Armella, M. A.; Andrade, S.; Sánchez-Díaz, D. M.; Ramírez, G. y González, O. 2006. Use of a Three Cacti System to Optimise Production and Marketing in a Poor Region of México. *Acta Hort*. 699: 495 – 500.