



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

VARIACIONES DE LAS PROPIEDADES AGRICOLAS DE UN
SUELO POR EL RIEGO CON AGUAS RESIDUALES

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERIA AGRICOLA

P R E S E N T A

PATRICIA CONTRERAS MEDINA

ASESORES DE TESIS: M.C. LAURA BERTHA REYES SANCHEZ

BIOL. ARMANDO LUGO SOTELO

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

2005

M 340563



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
 CUAUTITLAN

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
 P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
 Jefe del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

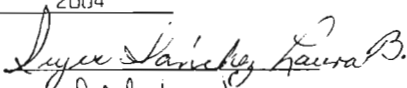
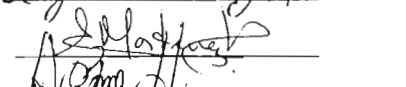

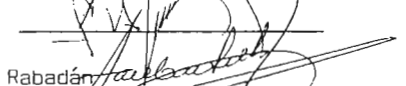
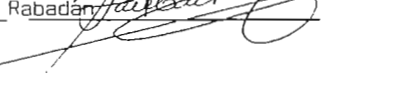
Variaciones de las propiedades agrícolas de un suelo, por el riego con aguas residuales.

que presenta la pasante: Patricia Contreras Medina
 con número de cuenta: 9304925-8 para obtener el título de
Ingeniera Agrícola

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 30 de Abril de 2004

- PRESIDENTE MCE. Laura Bertha Reyes Sánchez 
- VOCAL Biol. Elva Martínez Holquín 
- SECRETARIO Inq. Raúl Espinoza Sánchez 
- PRIMER SUPLENTE Inq. Angel Casado Hernández 
- SEGUNDO SUPLENTE Inq. Salvador Clemente del Castillo Rabadán 

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Creador de vida.

A mi madre Lina

Por apoyarme en todo momento y confiar en mí, además por enseñarme a tener valor y coraje para vencer los obstáculos que nos pone la vida y alcanzar mi meta por esto y por todo el amor que me ha dado, todos mis logros se los debo a usted.

A mi esposo Julio

Por estar siempre conmigo,
En las buenas y en las malas,
por toda la ayuda, apoyo y
amor brindado durante todo este tiempo
que hemos compartido.

**A mis hermanas Mayra y
Azucena**

Por compartir momentos tan
agradables.

**A M. C. Laura Bertha reyes Sánchez y
a el Biólogo Armando Lugo sotelo**
Por su amistad, el tiempo que me ha dedicado
y por compartir sus conocimientos para la
realización de éste trabajo.

Al Ing. Edgar Ornelas Díaz
Por brindarme su amistad y apoyo
durante mi formación académica.

DEDICATORIAS

A mi padre Juan José Contreras

Aunque Dios no quiso que en esta vida
estuviéramos juntos, yo sé que si tú
vivieras estarías orgulloso de mí.
Siempre te llevo en mi corazón
y mi pensamiento.

A mi abuelito Narciso Contreras

Yo sé que me quisiste más que a
cualquiera de tus nietos, por eso me
esforcé para que siempre estuvieras
orgulloso de mí, espero con esto
haberlo logrado, aunque ya no estés
conmigo.

A mi abuelita “Jovita”

Ya no tuviste la oportunidad de
ver culminado éste sueño mío,
que también fue tuyo.

A mi hijo Adrián

Tú eres la fuerza que
ahora me impulsa para
salir adelante. Te quiero
mucho.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
2. OBJETIVO GENERAL	6
2.1. Objetivos Particulares	6
3. HIPÓTESIS	6
4. MARCO DE REFERENCIA	7
4.1. Degradación del Suelo	7
4.1.1. Problemática de la Utilización del Suelo	9
4.1.2. Consecuencias de la Degradación	9
4.1.3. Tipos de Degradación	10
4.1.3.1. Pérdida de la Fertilidad	11
4.1.3.2. Erosión	11
4.1.3.3. Contaminación	13
4.2. Concepto de Contaminación del Suelo	13
4.2.1. Contaminación Natural o Endógena	14
4.2.2. Contaminación Antrópica o Exógena	15
4.2.3. Agentes Contaminantes y su Procedencia	17
4.3. Contaminación por Sales Solubles	18
4.3.1. Causas de la Salinidad	19
4.3.1.1. Causas Naturales	19
4.3.1.2. Causas Antrópicas	20
4.3.2. Eliminación Impedida de las Sales	22
4.4. Características de los Diferentes Tipos de Agua Utilizados en la Agricultura	23
4.4.1. Características del Agua Potable	23

4.4.2. Características del Agua de Riego	25
4.4.3. Calidad de las Aguas Residuales	27
4.4.4. Características de las Aguas Residuales	28
4.4.4.1. Características de las Aguas Residuales Domésticas	29
4.4.4.2. Características de las Aguas Residuales Industriales	30
4.4.5. Normas de Calidad del Agua de Uso Agrícola	30
4.5. Especies Hortícolas	31
4.5.1. Chícharo	31
4.5.1.1. Taxonomía y Descripción Botánica	31
4.5.1.2. Ciclo Biológico	33
4.5.2. Rábano	33
4.5.2.1. Taxonomía y Descripción Botánica	33
4.5.2.2. Ciclo Biológico	34
4.5.3. Zanahoria	34
4.5.3.1. Taxonomía y Descripción Botánica	35
4.5.3.2. Ciclo Biológico	35
5. MATERIALES Y MÉTODOS	36
5.1. Planteamiento del Problema	36
5.2. Localización de la Unidad Experimental	36
5.3. Diseño Experimental	36
5.4. Establecimiento y Manejo Agronómico de la Unidad Experimental	38
5.5. Métodos de Muestreo para el Suelo	40
5.6. Métodos de Muestreo para el Agua	40
6. RESULTADOS	41

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS	48
8. CONCLUSIONES	51
9. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES	52
10. ANEXOS	54
10.1. Metodología del Análisis de Muestras en el Laboratorio	54
10.2. Gráficas	55
11. GLOSARIO	81
12. BIBLIOGRAFÍA	83

1. INTRODUCCIÓN

El riego es una práctica necesaria cuando la precipitación pluvial no es suficiente para satisfacer la demanda hídrica de los cultivos agrícolas; sin embargo, el agua utilizada lleva siempre consigo diversos componentes en solución y suspensión que deterioran su calidad, lo que genera una situación controvertida. Por un lado, están los efectos positivos tales como el aumento en el rendimiento en la cosecha y el amortiguamiento en la salinización del suelo, ambos como resultado del contenido de materia orgánica en el agua y, por el otro, se tienen los efectos negativos que pueden verse desde diferentes puntos de vista como el agrícola; donde el mayor problema lo constituyen los metales pesados y las sales en solución que en concentraciones elevadas ocasionan cambios sobre las propiedades del suelo provocando su acumulación, salinidad, sodicidad, degradación e infertilidad, lo que se refleja en el menor desarrollo de los vegetales y en la disminución de opciones productivas.

Están también los problemas de salud, debidos a la contaminación de los productos agrícolas por ser regados con aguas residuales, que afectan tanto la alimentación de los animales como la del hombre; y por último, el problema ecológico, que si bien abarca la degradación del suelo, la mayor preocupación en este momento es la contaminación de acuíferos en el área de riego.

Actualmente, en México existen grandes extensiones de tierra que son regadas con aguas residuales por el hecho de estar ubicadas cerca de zonas industriales o habitacionales, y la mayoría han dejado de ser productivas por lo que, como futura ingeniera agrícola, se genera la inquietud de ampliar la frontera de conocimientos al respecto, e investigar y definir cuáles son las variaciones en las características químicas y físicas que se llevan a cabo durante la evolución del suelo en este proceso, para de esta manera, comprobar si su contaminación progresiva influye en las propiedades agrícolas del mismo y, por ende, en la calidad y cantidad de las especies cultivadas en él.

El presente trabajo de investigación da seguimiento a la tesis presentada por González Hernández Patricia, en 1998, para tres especies hortícolas de alto consumo sembradas en un suelo originalmente fértil y que se riega con cuatro calidades diferentes de aguas residuales.

2. OBJETIVO GENERAL

Evaluar experimental y continuamente a nivel invernadero, las variaciones de las propiedades agrícolas del suelo del Rancho Almaráz, como un efecto de la variación sobre las características fisicoquímicas del suelo al ser regado con diferentes calidades de agua provenientes del Municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México.

2.1. Objetivos Particulares

- 2.1.1. Evaluar las variaciones fisicoquímicas del suelo por riego continuo con aguas residuales.
- 2.1.2. Analizar los cambios progresivos en las características agrícolas del suelo al emplear diferentes calidades de agua.
- 2.1.3. Conocer y evaluar el impacto de dichos cambios en la producción y calidad de las hortalizas sembradas en él.

3. HIPÓTESIS

Existe y es posible evaluar y establecer la correlación, a diferentes plazos, entre la variación de las propiedades fisicoquímicas de un suelo y sus propiedades agrícolas.

4. MARCO DE REFERENCIA

El suelo se define como la parte superior de la corteza terrestre, que puede sostener la vida vegetal y se forma de material fragmentado de origen rocoso y materia orgánica. Es un recurso natural, que tiene un papel importante en el ciclo biogeoquímico, debido a que es la interfase entre la atmósfera, la planta y la fase geológica subyacente que intercepta las lluvias y el agua de riego, definiendo el reparto de agua, entre la que corre en la superficie y la que se infiltra. Siendo un lugar de tránsito de ésta hacia las reservas profundas y la atmósfera. El agua con su constante movimiento, es el vehículo de sustancias en disolución y suspensión, que interviene en la formación y evolución de los suelos y eventualmente en su degradación y contaminación.

4.1. Degradación del Suelo

Se considera como degradación del suelo a toda modificación que conduzca al deterioro de las propiedades del mismo. Según la *Food and Agricultural Organization* (FAO) y la *United Nations Educational Scientific and Cultural Organization* (UNESCO), la degradación es el proceso que disminuye la capacidad actual y potencial del suelo para producir, cuantitativa y cualitativamente, bienes y servicios.

La degradación del suelo es la consecuencia directa de su utilización por el hombre, bien como resultado de acciones directas como la agrícola, forestal y ganadera, o por las indirectas como lo son las actividades industriales, la eliminación de residuos, transporte, etc., (FAO, 1976).

Actualmente existe una fuerte tendencia que clama por una utilización racional del suelo, generando las teorías conservacionistas que persiguen obtener máximos rendimientos pero con mínima degradación. El cuidado del suelo es esencial para la supervivencia de la raza humana por que en él se produce la

mayor parte de los alimentos necesarios, fibras y madera y, sin embargo, **en muchas partes del mundo el suelo ha quedado tan dañado por un manejo abusivo y erróneo que nunca más podrá producir bienes** (FAO, 1976).

El contenido de metales pesados en los suelos debería ser únicamente función de la composición del material original y de los procesos edafogenéticos que dan lugar a su formación, pero la actividad humana ha incrementado su contenido en cantidades considerables siendo ésta, sin duda, la causa más frecuente de las concentraciones tóxicas que se encuentran en él.

De hecho, esto sucede debido a los vertidos de origen antropogénico procedentes de las industrias, a las actividades mineras, a la aplicación de plaguicidas o también debido al tráfico rodado. Como resultado de todo ello, se emiten grandes cantidades de partículas que, después de un cierto tiempo de permanencia en la atmósfera, precipitan en los suelos lejos del lugar donde originalmente fueron vertidas.

En un balance realizado a finales de la década de los años 80, se estimó que la cantidad anual de vertidos de metales en suelos ascendía a unos 5 mil billones de Kg. El 74% de esta cantidad corresponde a las cenizas procedentes de la combustión de carburantes, principalmente carbón.

En este sentido cabe preguntarse: ¿qué ocurre en los suelos de nuestros campos agrícolas?, ¿por qué presentan colores claros?, ¿dónde está el horizonte negro superficial que haría que en las imágenes de los paisajes rurales predominara el color negro, solamente enmascarado por el verde de la vegetación? La respuesta por aterradora que sea no deja de ser sencilla. ¡El horizonte superficial de color negro, rico en materia orgánica, el horizonte fértil, ha desaparecido de nuestros campos! –Un agricultor con dotes de observación habrá notado estos cambios si ha arado una tierra virgen–. Los cambios de coloración sólo pueden ser atribuibles a una degradación del suelo que ha perdido su materia

orgánica, la cual se origina por varias causas: por agotamiento (no reposición al extraer las cosechas), por mineralización (al eliminar la cobertura vegetal aumenta la temperatura del suelo y prevalece la mineralización frente a la humificación) o por erosión. Generalmente éstas actúan de forma progresiva, así el suelo pierde su materia orgánica, se vuelve muy inestable a la erosión que, en casos extremos, llega a destruirlo completamente, siendo posible mediante el conocimiento de su tipología, reconstruir sus horizontes y evaluar la intensidad de la erosión experimentada (FAO, 1976).

4.1.1. Problemática de la Utilización del Suelo

Como se ha expuesto en los puntos anteriores, el suelo es un ente de la naturaleza cuyas características son el resultado de una larga evolución, hasta alcanzar un equilibrio con las condiciones ambientales, y se ha de tener claro que en esas condiciones no está incluida la acción de las civilizaciones humanas. El suelo es un componente del medio natural y como tal, debe ser considerado como un suelo virgen, no explotado. Es evidente que su continua y abusiva utilización por parte del hombre ha truncado su evolución y ha condicionado negativamente sus propiedades; por lo que como resultado el suelo se deteriora, degradándose (García, 1993).

4.1.2. Consecuencias de la Degradación

La degradación tiene importantes consecuencias, aquí se mencionan las referidas al suelo en sí mismo.

- **La pérdida de elementos nutrientes (N, P, S, K, Ca, Mg)**, la cual puede ser de manera directa: al ser eliminados por las aguas que se infiltran en el suelo o bien por erosión a través de las aguas de escorrentía; o de una forma indirecta: por erosión de los materiales que los contienen o que podrían fijarlos.

- **Modificación de las propiedades fisicoquímicas.** Acidificación y bloqueo de los oligoelementos que quedan en posición no disponible.
- **Deterioro de la estructura.** La compactación del suelo provoca una disminución de la porosidad, que origina una reducción del drenaje y una pérdida de su estabilidad; como consecuencia, se observa un encostramiento superficial y por tanto, aumenta la escorrentía.
- **Disminución de la capacidad de retención de agua por degradación de la estructura o por pérdida de suelo.** Esta consecuencia es especialmente importante para los suelos andaluces sometidos a escasas precipitaciones anuales.
- **Pérdida física de materiales.** Erosión selectiva parcial (de los constituyentes más lábiles, como los limos) o masiva (pérdida de la capa superficial del suelo, o en los casos extremos, de la totalidad del suelo).
- **Incremento de la toxicidad.** Al modificarse las propiedades del suelo se da una liberación de sustancias nocivas en altas concentraciones.

Estos efectos tienen dos consecuencias generales: a corto plazo, disminución de la producción y aumento de los gastos de explotación toda vez que el suelo necesita mayor cantidad de abonos y cada vez produce menos; a largo plazo, infertilidad total, abandono y desertificación del territorio (García, 1993).

4.1.3. Tipos de Degradación

Dentro del amplio concepto de degradación se distinguen diferentes tipos y grados de ella.

4.1.3.1. Pérdida de la Fertilidad

Es la disminución de la capacidad del suelo para soportar vida debido a que cambia en sus propiedades físicas, químicas, fisicoquímicas y biológicas que conllevan a su deterioro. El suelo al degradarse pierde capacidad de producción por lo que cada vez hay que añadirle más cantidad de abonos para producir cosechas muy inferiores a las que produciría sino se hubiera degradado.

La degradación puede ser química y tiene diversos orígenes: pérdida de nutrientes, acidificación, salinización, sodificación, defloculación, aumento de la toxicidad por liberación o concentración de determinados elementos químicos; sin embargo, el deterioro del suelo a veces es consecuencia de una degradación física: pérdida de estructura, aumento de la densidad aparente, disminución de la permeabilidad, disminución de la capacidad de retención de agua. En otras ocasiones se habla de degradación biológica cuando se genera una disminución de la materia orgánica incorporada (García, 1993).

4.1.3.2. Erosión

La erosión es la pérdida selectiva de materiales del suelo, que por la acción del agua o del viento va arrastrando y lavando los materiales de las capas superficiales. El concepto de erosión del suelo se refiere a la erosión antrópica, que es de desarrollo rápido; frente a ella está la erosión natural o geológica, que es de evolución muy lenta.

La erosión geológica se ha dado desde siempre en la Tierra, es la responsable del modelado de los continentes y sus efectos se compensan en el suelo, ya que actúan con la suficiente lentitud como para que sus consecuencias sean contrarrestadas por la velocidad de formación del mismo; así, en los suelos de las superficies estables se produce suelo, como mínimo, a la misma velocidad con que se erosiona. Es más, es muy importante destacar que la erosión natural

es un fenómeno muy beneficioso para la fertilidad de los suelos, pues implica la renovación.

Efectivamente, como es sabido, todas las propiedades del suelo, y por tanto su profundidad, son consecuencia de la combinación de los factores formadores del mismo. En una región determinada se formará un suelo cuya profundidad será el resultado de un clima concreto (temperatura, precipitaciones, etc.), sometido a la actividad de los organismos, en un tipo de relieve, y que actúan sobre una clase de roca durante un tiempo. Si no actuase la erosión natural, esa profundidad de material edafizado se alteraría progresivamente cada vez más conforme el suelo se volviera más antiguo y llegaría un momento que todos los minerales originales se habrían transformado totalmente, ya no aportarían ningún nutriente nuevo al suelo y éste quedaría constituido por un residuo totalmente infértil. Prácticamente toda la Tierra estaría recubierta de una capa inerte, sin posibilidad de soportar vida alguna (García, 1993).

Afortunadamente este panorama aterrador no se presenta precisamente debido a la erosión geológica. Esta erosión va deteriorando lentamente las capas superiores de los suelos con lo que va disminuyendo su espesor y éste se va progresivamente profundizando hacia capas más internas donde se encuentra el material original sin transformar (para mantener su profundidad de equilibrio con las condiciones ambientales).

Así, de esta manera, se van incorporando continuamente nuevos materiales al suelo: materiales frescos, no alterados, con abundantes minerales que al alterarse aportan nutrientes a los suelos. El tipo de suelo será siempre el mismo mientras no se produzca un cambio en las condiciones ambientales pero, se desplaza con el tiempo hacia el interior de la Tierra en los relieves planos y avanzando lateralmente en los relieves profundos, por lo que los valles se van ensanchando (García, 1993).

4.1.3.3. Contaminación

Por último, el suelo se puede degradar al contaminarse con determinadas sustancias nocivas.

Un suelo contaminado es aquél que ha superado su capacidad de amortiguación para una o varias sustancias y, como consecuencia, pasa de actuar como un sistema protector, a ser causa de problemas para su interacción con el agua, la atmósfera y los organismos. Al mismo tiempo se modifican sus equilibrios biogeoquímicos y aparecen cantidades anómalas de determinados componentes que originan cambios importantes en sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

4.2. Concepto de Contaminación del Suelo

El conjunto de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo lo hacen un sistema especialmente importante en los ciclos biogeoquímicos superficiales, en los que actúa como un reactor complejo capaz de realizar funciones de filtración, descomposición, neutralización, inactivación, almacenamiento, etc. Por ello, el suelo actúa como barrera protectora de otros medios más sensibles, como los hidrológicos y los biológicos, siendo por lo tanto de primordial e indispensable importancia su papel en la realización de los ciclos biogeoquímicos.

La mayoría de los suelos presentan una elevada capacidad de depuración natural; sin embargo, ésta tiene un límite diferente para cada situación y para cada suelo en particular. Cuando se alcanza ese límite, el suelo deja de ser eficaz e incluso puede funcionar como "fuente" de sustancias peligrosas para los organismos que viven en él.

La FAO define la contaminación como una forma de degradación química que provoca la pérdida parcial o total de la productividad del suelo (FAO, 1976), mientras que el diccionario de la Real Academia la define como la alteración de la pureza de alguno de los componentes, como los alimentos, el agua, el aire, etc.

La contaminación suele ocasionarse de una manera artificial, como consecuencia de las actividades humanas, pero también puede ocurrir de manera natural durante la edafización ya que se liberan sustancias contenidas en las rocas (heredadas o neoformadas) que se concentran en el suelo. Por ello habrá de distinguirse entre contaminación natural o endógena y contaminación antrópica o exógena (Macías, 1993).

4.2.1. Contaminación Natural o Endógena

Un ejemplo de contaminación natural —término utilizado para indicar que el hombre no interviene— es el proceso de concentración que muestran determinados elementos metálicos presentes en los minerales originales de algunas rocas, a medida que el suelo evoluciona. Un caso significativo se produce sobre rocas serpentinizadas con altos contenidos de Cr, Ni, Cu y Mn cuya edafogénesis en suelos con fuertes lavados origina la pérdida de los elementos más móviles, prácticamente todo el Mg^{+2} y el Ca^{+2} entre otros, y en ocasiones hasta gran parte del Si^{+4} , con lo que los suelos residuales muy evolucionados presentan elevadísimas concentraciones de aquellos elementos, haciéndolos susceptibles de ser utilizados como menas metálicas.

Obviamente, a medida que avanza el proceso de concentración residual de los metales pesados se produce el paso de éstos desde los minerales primarios, es decir, desde formas no asimilables a elementos de mayor actividad e influencia sobre los vegetales y el entorno. De esta forma, la presencia de una gran toxicidad para muchas plantas sólo se manifiesta a partir de un cierto grado de evolución edáfica, siendo máxima en condiciones tropicales y, por tanto, húmedas.

Otro ejemplo de aparición natural de una concentración anómala que puede llegar a ser negativa para la producción vegetal se presenta con la evolución acidificante de los suelos por la acción conjunta de la hidrólisis, lavado de cationes, concentración de CO_2 y ácidos orgánicos que progresivamente, conducen a una mayor concentración de Al^{+3} disuelto y, por tanto, a un predominio de elementos nocivos como éste o sus formas Al-OH escasamente polimerizadas.

Los fenómenos naturales pueden ser causa de importante contaminación en el suelo; así, es muy conocido el hecho de que un solo volcán activo, puede aportar mayores cantidades de sustancias externas y contaminantes como cenizas, metales pesados, H^{+1} y SO_4^- , que varias centrales térmicas de carbón (Macías, 1993).

4.2.2. Contaminación Antrópica o Exógena

Las causas más frecuentes de contaminación son debidas a la actuación antrópica que al desarrollarse sin la necesaria planificación, ocasionan un cambio negativo de las propiedades del suelo.

En los estudios de contaminación, no basta con detectar la presencia de los mismos; sino que se han de definir los máximos niveles admisibles y además se han de analizar los posibles factores que puedan influir en la respuesta del suelo a ellos, como son **vulnerabilidad** y **carga crítica**, que pueden modificar los denominados "umbrales generales de la toxicidad" para la estimación de los impactos potenciales y la planificación de las actividades permitidas y prohibidas en cada tipo de medio.

- **La vulnerabilidad representa el grado de sensibilidad (o debilidad) del suelo frente a la agresión de los agentes contaminantes.** Este concepto está relacionado con la capacidad de amortiguación: a mayor capacidad de amortiguación, menor vulnerabilidad. El grado de

vulnerabilidad de un suelo frente a la contaminación depende de la intensidad de la afectación, del tiempo que debe transcurrir para que los efectos indeseables se manifiesten en sus propiedades físicas y químicas y de la velocidad con que se suceden los cambios secuenciales en las propiedades de los suelos en respuesta al impacto de los contaminantes, permitiendo diferenciar los riesgos potenciales de diferentes actividades o predecir las consecuencias de la continuación en las condiciones actuales.

En muchas ocasiones resulta difícil obtener los grados de sensibilidad de los suelos frente a un determinado tipo de impacto, debido a la fuerte heterogeneidad de los mismos, incluso para suelos geográficamente próximos.

Por otro lado, el grado de contaminación de un suelo no puede ser estimado exclusivamente a partir de los valores totales de los contaminantes frente a determinados valores guía, sino que se hace necesario considerar la **biodisponibilidad**, la **movilidad** y la **persistencia**.

1. Por **biodisponibilidad** se entiende la asimilación del contaminante por los organismos y, en consecuencia, la posibilidad de causar algún efecto negativo o positivo.
2. La **movilidad** regula la distribución del contaminante y, por tanto, su posible transporte a otros sistemas.
3. La **persistencia** controla el periodo de actividad de la sustancia por lo que es otra medida de su peligrosidad.

✶ **Carga Crítica.** Representa la cantidad máxima de un determinado componente que puede ser aportado a un suelo sin que se produzcan efectos nocivos. (Calvo de Anta, 1997).

4.2.3. Agentes Contaminantes y su Procedencia

Los agentes contaminantes son muy diversos, entre ellos se tiene a los metales pesados, las emisiones ácidas atmosféricas, la utilización de aguas de riego residuales y los fitosanitarios.

- Los **metales pesados** en pequeñas dosis pueden ser beneficiosos para los organismos vivos y de hecho son utilizados como micronutrientes por las plantas, pero pasado un umbral específico se convierten en elementos nocivos para la salud, y éstos una vez incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías:
 1. Pueden quedar retenidos en el suelo ya sea disueltos en la solución del suelo o bien fijados por procesos de adsorción, complejación y precipitación.
 2. Ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas.
 3. Pueden pasar a la atmósfera por volatilización.
 4. Pueden movilizarse a las aguas superficiales o subterráneas.

- Las **emisiones ácidas atmosféricas** proceden generalmente de la industria, del tráfico rodado y de abonos nitrogenados que tienen un proceso de desnitrificación. Como consecuencia de esta contaminación, se disminuye el pH del suelo con lo que se puede superar la capacidad tampón y liberar elementos de las estructuras cristalinas que son altamente tóxicos para animales y plantas, y que a ese pH pueden solubilizarse.

- **Utilización de agua de riego residual**, salina y/o sódica cuyo mal uso provoca degradación, salinización y/o sodificación del suelo; en el primer caso, el suelo al degradarse sufre una pérdida progresiva a mediano y a

largo plazo de la productividad, en el segundo, se da una acumulación de sales con predominio de Ca^{+2} y Mg^{+2} , que interfieren en el crecimiento de la mayoría de los cultivos y plantas no especializadas (se evalúa por la elevación de la conductividad eléctrica del extracto de saturación). En el segundo caso, se origina por el almacenamiento de sodio intercambiable que tiene una acción dispersante sobre las arcillas y de solubilización de la materia orgánica, que afecta muy negativamente a las propiedades físicas del suelo (agregados menos estables, sellado del suelo, encostramiento y disminución de la conductividad hidráulica), por lo que el medio será menos apto para el crecimiento de los cultivos.

- **Fitosanitarios**, dentro de ellos se agrupan los plaguicidas y los fertilizantes. Son generalmente productos químicos sintetizados y sus efectos dependen tanto de las características de las moléculas orgánicas (mayoría de los plaguicidas) como de las características del suelo. Los fertilizantes, además de contener metales pesados, provocan contaminación por fosfatos (eutrofización en lagos) y nitratos (García, 1993).

4.3. Contaminación por Sales Solubles

La salinidad en el suelo, también se considera como algo dañino para las plantas debido a que cuanto más elevada sea la concentración de sales, sería mayor la presión osmótica de la solución del suelo, dificultando la absorción del agua y nutrientes por el sistema radical.

4.3.1. Causas de la Salinidad

Dos son las condiciones necesarias para que se dé la acumulación de sales en los suelos: aporte de sales y que su posible eliminación esté impedida (García, 1993).

4.3.1.1. Causas Naturales

Las sales pueden proceder directamente del material original. Algunas rocas, fundamentalmente las sedimentarias, contienen sales como minerales constituyentes y, en otros casos, ocurre que si bien el material original no contiene estas sales, éstas se pueden originar en el suelo por alteración de los minerales originales de la roca madre.

Por otra parte, también las sales disueltas en las aguas de escorrentía se acumulan en las depresiones, y al evaporarse la solución se forman acumulaciones de sales siendo este el origen de muchos suelos que derivaron en salinos.

También frecuentemente, los suelos toman las sales a partir de mantos freáticos superficiales (normalmente a menos de 3 m). Los mantos freáticos siempre contienen sales disueltas en mayor o menor proporción y en las regiones áridas, éstas ascienden a través del suelo por capilaridad. En general, la existencia de mantos freáticos superficiales ocurre en las depresiones y tierras bajas, y de aquí la relación entre salinidad y topografía.

La contaminación de sales de origen eólico es otra causa de contaminación. El viento en las regiones áridas arrastra gran cantidad de partículas en suspensión, principalmente carbonatos, sulfatos y cloruros que pueden contribuir en gran medida a la formación de suelos con sales.

El enriquecimiento de sales en un suelo se puede producir, en las zonas costeras, por contaminación directa del mar a partir del nivel freático salino, y por la contribución del viento.

En algunas ocasiones, la descomposición de las plantas o partes de éstas, libera sales que estaban incluidas en sus tejidos y contribuyen de esta manera a aumentar la salinidad del suelo; otras veces, las plantas contribuyen a la degradación de minerales relativamente insolubles y a partir de ellos se forman sales (García, 1993).

4.3.1.2. Causas Antrópicas

La salinidad del suelo, también se da como resultado de un manejo inadecuado por parte del hombre. La agricultura, desde su comienzo, ha provocado situaciones de salinización cuando las técnicas aplicadas no han sido las correctas.

La actividad agrícola, y especialmente el riego, ha provocado desde tiempos remotos procesos de salinización de diferente gravedad:

- **Cuando se han empleado aguas conteniendo sales sin el debido control (acumulándose directamente en los suelos o contaminando los niveles freáticos);** o bien, cuando se ha producido un descenso del nivel freático regional y la intrusión de capas de agua salinas, situadas en zonas más profundas, como consecuencia de su sobreexplotación. Es clásico el ejemplo de la región de Mesopotamia en la que la utilización de aguas de riego salinas condujo a la salinización de los suelos. La pérdida de la productividad de las tierras fue la causa de la caída de la civilización sumeria hace unos 5,000 años. Hoy día se acepta que la mayor parte de los suelos bajo riego, presentan algunas

pérdidas de productividad por problemas de salinidad, sin embargo, el hombre parece no aprender de su propia historia.

- **También se ocasionan problemas graves de salinización en superficies de cotas bajas**, cuando se realizan transformaciones de riego de áreas situadas en zonas altas y no se ha previsto su influencia en aquellas otras.
- **Directamente por la acción de las aguas de riego**, pero también se puede provocar por las movilizaciones de tierras que pueden provocar la aparición de rocas salinas en la superficie del terreno, que además de contaminar a los suelos *in situ*, provocarán su acumulación en los suelos de las depresiones cercanas por acción de las aguas de escorrentía.
- **El empleo de elevadas cantidades de fertilizantes**, especialmente los más solubles, cuando éstos se agregan más allá de las necesidades de los cultivos, es otra de las causas que provocan situaciones de altas concentraciones de sales que contaminan a los acuíferos y como consecuencia, a los suelos que reciben estas aguas. Estas situaciones se dan generalmente en las zonas áridas y semiáridas que son sometidas a una actividad agrícola intensa.
- Finalmente, **la actividad industrial**, en ocasiones, puede acarrear situaciones serias de acumulación de determinadas sales en los suelos situados bajo su zona de influencia, por medio de la contaminación atmosférica o mediante las aguas que discurren por su cuenca hidrográfica (García, 1993).

4.3.2. Eliminación Impedida de las Sales

La segunda condición que se debe cumplir para la formación de un suelo salino, es que la posible eliminación de las sales se encuentre fuertemente impedida, lo que se origina por las acciones del drenaje y del clima. Este proceso se debe a que el agua circula lentamente e impregna el suelo, disuelve las sales y éstas se distribuyen en el perfil sin que se logren eliminar grandes cantidades de ellas, lo cual sucede en suelos con malas condiciones de drenaje.

Por otra parte, el clima ejerce también una acción fundamental en la formación de estos suelos, hasta el punto de que en un principio se pensó que el clima árido era factor decisivo en ello, y de hecho, la mayoría de los suelos salinos se encuentran desarrollados bajo dichas condiciones pero al haberse encontrado suelos salinos formándose bajo otros tipos de clima, hoy se acepta que los climas áridos favorecen enormemente la formación de estos suelos y su conservación, pero no son un requisito excluyente. Bajo este clima los breves periodos húmedos provocan la disolución de las sales y con ello su movilización, mientras que con las intensas y largas sequías se originan fuertes evaporaciones que originan la ascensión de los mantos freáticos y al intensificarse la evaporación concentran las sales de la solución del suelo, que precipitan acumulándose en determinados horizontes del perfil.

Bajo climas húmedos, las sales solubles en un principio presentes en los materiales del suelo, son lavadas y transportadas a horizontes inferiores, hacia los acuíferos subterráneos y finalmente llevadas a los océanos. Por consiguiente, normalmente no existen problemas de salinidad en regiones húmedas excepto en los casos de contaminación agrícola e industrial o en zonas expuestas a la influencia del mar, como sucede con los deltas o marismas.

Resumiendo, para que se puedan formar los suelos salinos se necesitan una serie de condiciones muy particulares, y de ellas las que más favorecen el proceso son:

- Roca madre sedimentaria con alto contenido en sales solubles.
- Partes bajas del relieve, como los fondos de valle y las depresiones (manto freático cercano a la superficie, zonas de recepción de aguas de escorrentía superficial, suelos de texturas finas con mal drenaje).
- Zonas próximas al mar o a lagos salados.
- Malas condiciones de drenaje.
- Clima árido (además de escasez de precipitaciones, la red fluvial está poco desarrollada, presentándose frecuentes cuencas endorreicas en las que se acumulan las sales).
- Riegos con sales y fertilizaciones excesivas (García, 1993).

4.4. Características de los Diferentes Tipos de Agua Utilizadas en la Agricultura

4.4.1. Características del Agua Potable

El agua potable es el agua limpia, transparente, sin mal olor, que puede ser consumida por el ser humano y que ayuda a la salud y sobrevivencia. Para conocer la calidad de cierta agua para uso potable se toman en cuenta las normas de calidad o límites máximos permisibles que se describen en las Tablas 1, 2 y 3.

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGUA POTABLE

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Turbiedad	10 (escala de sílice)
Color	10 (escala de platino-cobalto)
Sabor	Insípida
Olor	Incolora

Fuente: SARH, 1976; citado por Rojo, 1993.

TABLA 2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL AGUA POTABLE

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE (ppm) (EXCEPTO *)
Nitrógeno amoniacal	0.50
Nitrógeno proteico	0.10
Nitrógeno de nitratos	5.00
Potencial de hidrógeno	8.00*
Oxígeno consumido	3.00
Sólidos totales disueltos	1,000
Alcalinidad total	400
Dureza total	300
Cloruro	250
Sulfatos	250
Magnesio	125
Zinc	15.00
Cobre	3.00
Fluoruros	1.30
Fierro y Magnesio	0.30
Arsénico	0.05
Selenio	0.05
Cromo	0.05
Compuestos fenólicos	
Fenol	0.001

Fuente: SARH, 1976; citado por Rojo, 1993.

TABLA 3. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DEL AGUA POTABLE

CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS	NUMERO MÁXIMO PERMISIBLE
Organelos de los grupos coli y coniformes	20
Colonias bacterianas por cm ³ de muestra	200

Fuente: SARH, 1976; citado por Rojo, 1993.

4.4.2. Características del Agua de Riego

Según Galván, 1983, el término calidad del agua se puede definir conforme a un conjunto de parámetros que son físicos, químicos y biológicos.

Los parámetros físicos incluyen a los sólidos totales en suspensión que se definen como la materia residual que queda al evaporarse el agua a una temperatura de 103-105° C, la temperatura, el calor, el olor, etc.

Para determinar la conveniencia o limitación del agua que se pretende utilizar con fines de riego, debe tomarse en cuenta: la composición química de ésta; la tolerancia de los cultivos a las sales; las propiedades físicas y químicas en los suelos; las prácticas de manejo de suelos, aguas y cultivos; las condiciones climatológicas; el método de riego por emplear y las condiciones de drenaje interno y superficial del suelo. En la actualidad, la calidad de agua se define exclusivamente basándose en sus características químicas.

Los criterios e índices de la clasificación hecha en la Universidad de Chapingo para determinar la calidad del agua para riego se muestran en las Tablas 4, 5, 6, 7, 8 y 9 (Martínez, 1987; citado por Rojo, 1993).

TABLA 4. CRITERIOS E ÍNDICES DE CLASIFICACIÓN DEL AGUA DE RIEGO

CRITERIOS	INDICES	SÍMBOLOS
Contenido de sales solubles	a. Conductividad eléctrica	CE
	b. Salinidad efectiva	SE
	c. Salinidad potencial	SP
Efectos probables del sodio sobre las características físicas del suelo	a. Relación de adsorción del sodio	RAS
	b. Carbonato de sodio residual	CSR
	c. Por ciento de sodio posible	PSP
Contenido elementos tóxicos para plantas	a. Contenido de Boro	B
	b. Contenido de cloruros	Cl

Fuente: Palacios y Aceves, 1970; citado por Aguilera y Martínez, 1990.

TABLA 5. CLASIFICACION DEL AGUA DE RIEGO SEGUN SU SALINIDAD EFECTIVA

CLASE	SALINIDAD EFECTIVA (meq/l)
Buena	Menos de 3.0
Condicionada	De 3.0 a 15.0
No recomendable	Más de 15.0

Fuente: Palacios y Aceves, 1970; citado por Aguilera y Martínez, 1990.

TABLA 6. CLASIFICACION DEL AGUA DE RIEGO SEGÚN SU SALINIDAD POTENCIAL

CLASE	SALINIDAD POTENCIAL (meq/l)
Buena	Menos de 3
Condicionada	De 3 a 15
No recomendable	Más de 15

Fuente: Palacios y Aceves, 1970; citado por Aguilera y Martínez, 1990.

TABLA 7. CLASIFICACION DEL AGUA DE RIEGO DE ACUERDO AL CARBONATO DE SODIO RESIDUAL

CLASE	VALOR DE CSR (meq/l)
Buena	Menos de 1.25
Condicionada	De 1.25 a 2.50
No recomendable	Más de 2.50

Fuente: Palacios y Aceves, 1970; citado por Aguilera y Martínez, 1990.

TABLA 8. CLASIFICACIÓN DEL AGUA DE RIEGO DE ACUERDO AL CONTENIDO DE BORO

CLASE	CONTENIDO DE BORO (ppm)
Buena	Menos de 0.30
Condicionada	De 0.5 a 4.00
No recomendable	Más de 4.00

Fuente: Palacios y Aceves, 1970; citado por Aguilera y Martínez, 1990.

TABLA 9. CLASIFICACIÓN DEL AGUA DE RIEGO DE ACUERDO AL CONTENIDO DE CLORO

CLASE	CONTENIDO DE Cl (meq/l)
Buena	Menos de 1.0
Condicionada	De 1.0 a 5.0
No recomendable	Más de 5.0

Fuente: Palacios y Aceves, 1970; citado por Aguilera y Martínez, 1990.

4.4.3. Calidad de las Aguas Residuales

Wolfgang, 1976; citado por Rojo, 1993, define al agua residual como el líquido de composición variada proveniente de usos urbanos, municipales, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarios, silvícola o de cualquier otra índole, ya sea pública o privada, que por tal motivo haya tenido degradación en su calidad real.

Las aguas residuales se clasifican en cinco tipos:

1. Domésticas.
2. Municipales.
3. Industriales.
4. Retorno Agrícola.
5. Pluviales.

Tres son los factores principales en la contaminación del agua: el social, al cual corresponden las cargas de origen doméstico y público (habitacional); el agropecuario, representado por los afluentes de instalaciones dedicadas a la crianza y engorda del ganado mayor y menor, así como por las aguas de retorno de los campos agrícolas (riego); y el industrial, generado por las descargas producidas en el desarrollo de actividades correspondientes a la extracción y transformación de recursos naturales en bienes de consumo (Fuad, 1991; citado por Rojo, 1993).

Las principales industrias que descargan mayor cantidad de contaminantes son: la química, la de papel y celulosa, petróleo, bebidas, textil, siderúrgica, eléctrica y alimentos (Fuad, 1991; citado por Rojo, 1993).

En la determinación de los análisis físicos de las aguas residuales se comprenden temperatura, color, turbiedad y conductividad eléctrica; mientras que en los análisis químicos, la concentración de sólidos.

4.4.4. Características de las Aguas Residuales

- ✓ **Características químicas orgánicas o degradables.** Los compuestos orgánicos están formados generalmente por una combinación de carbono, hidrógeno y oxígeno junto con nitrógeno en algunos casos. Los principales grupos de sustancias orgánicas halladas en el agua residual son: proteínas, carbohidratos, grasas y aceites así como la urea, principal constituyente de la orina; por otro lado, junto con éstas el agua residual contiene pequeñas cantidades de un gran número de diferentes moléculas orgánicas sintéticas tales como los fenoles, detergentes biodegradables y pesticidas usados en la agricultura; la presencia de estas sustancias ha complicado en los últimos años su tratamiento, ya que muchas de ellas no pueden descomponerse y persisten durante años o bien lo hacen muy lentamente (Rojo, 1993 *et. al.*).

- ✓ **Los detergentes están constituidos en un 25% de los surfactantes o también llamados sustancias activas de azul de metileno;** provienen de usos domésticos, comerciales e industriales. El sulfonato de alquibenceno (ABS) se usa en más del 90% de los productos de limpieza que se elaboran en México (Carvajal, 1970; citado por Rojo, 1993).

- ✓ **Características químicas inorgánicas.** Los compuestos inorgánicos de las aguas residuales y de desecho, son importantes para establecer y controlar la calidad del agua. Las concentraciones de sustancias inorgánicas en el agua natural se incrementan con la formación geológica con la cual el agua se pone en contacto, por las aguas

residuales tratadas o no, que se descargan en ella (Morones y Moreno, 1983; citado por Rojo, 1993). Los parámetros más importantes y comunes para caracterizar la materia inorgánica en las aguas residuales son: potencial de hidrógeno (pH), cloruros, alcalinidad, Nitrógeno, Fósforo, Azufre, gases y metales pesados.

- **Características biológicas.** Todas las aguas residuales que no contengan desechos industriales tóxicos o nocivos para la vida, podrán contener organismos patógenos y no patógenos. La composición de las aguas residuales es variable, por lo que también varía en tipo y número de organismos como virus, bacterias, hongos, protozoarios, nemátodos, platelmintos y nematelmintos (Rojo, 1993 *et. al.*).

4.4.4.1. Características de las Aguas Residuales Domésticas

Las aguas domésticas son las provenientes de las viviendas y contienen excrementos humanos, basura, papeles, productos de limpieza, jabones, detergentes, grasas y aceites; físicamente presentan un color grisáceo y diversidad de materia orgánica flotante; químicamente poseen los compuestos de nitrógeno de las heces fecales y del fósforo de los detergentes; biológicamente contienen gran cantidad de microorganismos como coliformes fecales, estreptococos fecales, huevecillos de nemátodos como *Entamoeba histolytica*, *Taennia spp*, *Ascaris lumbricoides*, algunos de los cuales pueden provocar diversas enfermedades.

Los contaminantes de las aguas de desecho domésticas se agrupan en:

1. Microorganismos patógenos.
2. Elementos nutritivos para las plantas.
3. Minerales disueltos.

4. Productos químicos tóxicos (metales pesados, residuos de plaguicidas).
5. Material orgánico biodegradable.

Contradictoriamente a los microbios patógenos cuya transmisión depende enteramente del contacto directo, los metales traza una vez introducidos en el suelo, pueden traslocarse dentro del tejido de la planta, alcanzando concentraciones elevadas mediante su acumulación en los diferentes órganos. Al hacer uso de esas aguas con fines de riego por muchos años, no es de descartar la posibilidad de que conforme pasa el tiempo, la concentración de los metales pesados se eleve a niveles fitotóxicos en el suelo (Rojo, 1993 *et. al.*).

4.4.4.2. Características de las Aguas Residuales Industriales

En las aguas industriales el contenido de contaminantes depende de los tipos de industrias y del proceso usado. Es común que tengan un alto contenido de materia orgánica, de medio a alto contenido de sales, sustancias tóxicas (metales pesados, detergentes), así como condiciones extremas de pH, color, mal olor y altas temperaturas. Esto limita su aprovechamiento en cultivos tolerantes previo tratamiento para ajustarlos de 4 a 8 micromhos/cm en su conductividad eléctrica libre de tóxicos o sujeto a los máximos permisibles. (Wolfgang, 1976; citado por Rojo, 1993).

4.4.5. Normas de Calidad del Agua de Uso Agrícola

Las normas vigentes en México para el uso de agua residual en la agricultura (NOM-001-ECOL) se introdujeron en 1997 (Tabla 10). Estas normas son parte de una reorganización a fondo de la normatividad sobre la descarga industrial y doméstica hacia aguas y tierras nacionales.

Anteriormente existían más de 40 normatividades distintas, lo que hacía casi imposible la regulación. La nueva normatividad está diseñada para ser más técnica y económicamente factible en el México actual.

TABLA 10. NORMAS MEXICANAS PARA EL USO DE AGUAS RESIDUALES EN LA AGRICULTURA (NOM-001-ECOL)

Riego	Norma de coliformes fecales (CF/100 ml)	Norma de huevecillos de nemátodos (huevos/litro)
Restringido	No se requiere	≤ 1
No restringido	≤ 1000	≤ 1

El riego no restringido se define como el riego de todo tipo de cultivos, mientras que el riego restringido excluye verduras y hortalizas que se consumen crudas.

4.5. Especies Hortícolas

Las especies en estudio son: chícharo, rábano y zanahoria, las cuáles se seleccionaron debido a que son plantas de ciclo corto y fácil cultivo, además de que son susceptibles a la salinidad.

4.5.1. Chícharo (*Pisum sativum* L.)

4.5.1.1. Taxonomía y Descripción Botánica

El chícharo pertenece a la familia Leguminosae, subfamilia de las Papilionoideas y tribu Vicieas. Se clasifica en: chícharo arvense, que se destina a la producción de grano en seco y, algunas veces, a la alimentación animal y en

chícharo sativum, que se cultiva para la producción en fresco y en vaina, ya que contiene mayor cantidad de azúcar que la anterior.

Es una planta de germinación hipogea, con sistema radicular poco desarrollado en conjunto, aunque posee una raíz pivotante que puede llegar a ser bastante profunda y en forma de cono invertido; cubierta de nódulos que se forman por las bacterias fijadoras de nitrógeno del género *Rhizobium*. Sus tallos son angulosos, de sección y porte variable, en este último aspecto, cabe mencionar que existen tres grupos varietales de guisante: variedades enanas, cuyo tallo alcanza entre 20 y 25 cm de longitud; varietales de medio enrame, cuyos tallos miden entre 90 y 150 cm y variedades de enrame de tallos con una longitud comprendida entre 150 y 300 cm. Cuando es variedad de desarrollo determinado, el tallo cesa su crecimiento con la conformación de una inflorescencia apical; cuando son variedades con crecimiento indeterminado, el número de nudos o entrenudos es variable de acuerdo a las condiciones ambientales.

Hojas con un número de folíolos comprendido entre dos y ocho, de color verde glauco, a veces jaspeado, acabadas en un zarcillo simple o ramificado y dotadas en su base de dos estipulas muy grandes.

Flores aisladas o en grupos de tres a cuatro, fecundación autógama regida con un mecanismo de cleistogamia, cuya corola suele ser blanquecina en las variedades de aprovechamiento por sus semillas. Las flores pueden aparecer en nudos distintos del tallo, según de la variedad de que se trate.

El fruto es una legumbre o vaina, de forma y dimensiones variables (longitud de 6 a 14 cm) de semillas globosas o cúbicas, lisas o rugosas, pudiendo contener en cada vaina entre cuatro y doce semillas; el color de la semilla corresponde al del tegumento y el de los cotiledones varía de verde a blanco. Maduración del fruto a temperaturas máximas de 20° C (López, 1994).

4.5.1.2. Ciclo Biológico

La germinación se da de los 7 a los 10 días, a 5° C aproximadamente, apareciendo las dos primeras hojas verdaderas. El desarrollo vegetativo queda comprendido entre los 40 ó 60 días, la floración se favorece con la prolongación del día, iniciando de la base a la punta, así como la maduración que resulta más prolongada mientras más alta sea la planta. La floración en las variedades tardías responde positivamente a los días largos y a la vernalización. Las flores caen cuando no han sido fecundadas y cuando hay una sequía durante la floración. En el fruto se desarrolla primero el tegumento y su cosecha se realiza de los 50 a 80 días (Maroto, 1992).

4.5.2. Rábano (*Raphanus sativus* L.)

4.5.2.1. Taxonomía y Descripción Botánica

Hortaliza cuya parte comestible es la raíz; pertenece a la familia Cruciferae y algunos autores distinguen botánicamente dos subespecies:

- *Raphanus sativus major*, cuyos tubérculos hipocotíleos son alargados (diámetro mayor a 7 cm).
- *Raphanus sativus ssp Parvus*, cuyos tubérculos hipocotíleos son redondeados (diámetro menor a 4 cm).

Agronómicamente los rábanos se agrupan en tres tipos varietales, que son los siguientes:

- Variedades de todos los meses, de raíces pequeñas y ciclo muy cortó (4 semanas). Los hay de tubérculos redondeados, semirredondos, semilargos y largos.

- Variedades de verano-otoño, que tienen tubérculos más voluminosos y ciclo más largo que las anteriores (6 semanas).

- Variedades de invierno, son de tubérculos grandes y ciclo muy largo (hasta 100 días).

El rábano es una planta anual o bianual con raíz pivotante que se inserta en la base de un tubérculo hipocotíleo comestible, que puede ser redondo o alargado y de color diverso. Su sabor es más o menos picante. Las hojas son oblongas, hendidas pinnado-partidas en la base y ásperas al tacto. La fecundación es alógama. El fruto es una silicua indehisciente y las semillas son de color marrón rojizo y forma más o menos redondeada (Maroto, 1992).

4.5.2.2. Ciclo Biológico

La germinación se obtiene entre los 7 y los 10 días, aproximadamente; el desarrollo vegetativo queda comprendido entre 21 a 60 días. En camas calientes se cosecha el rábano después de los 30 días de la siembra o a los 2 meses al aire libre. Las variedades de verano y otoño se siembran en marzo y abril; las de invierno en septiembre y octubre. Si se anticipa la siembra de éstos últimos llegan a florecer antes del invierno.

4.5.3. Zanahoria (*Daucus carota* L.)

Dentro de su familia la zanahoria es la más conocida y la más importante de las hortalizas de raíz, por la demanda de que es objeto. Se consume en ensaladas, jugos y guisos.

La zanahoria es originaria de Asia Central. Fue introducida a Europa en el Siglo XIII, arribando al continente Americano a principios del año 1600.

4.5.3.1. Taxonomía y Descripción Botánica

La zanahoria pertenece a la familia Umbelliferae género *Daucus*, especie *carota*. Es una planta bianual y alógama; la parte comestible es una raíz carnosa cuya coloración es generalmente amarilla, anaranjada o roja. Su longitud puede variar de 15 a 18 cm y su sistema de raíces laterales –que se derivan de la raíz principal– alcanza a desarrollarse entre 1.2 y 1.5 cm, extendiéndose hasta 90 cm. El tallo es muy rudimentario y alcanza una longitud de 1.0 a 2.5 cm; sin embargo, el tallo floral llega a medir de 0.5 a 1.0 m de altura. Las hojas son pubescentes, de color verde, de segmentos dentados y lobulados y con pecíolos largos.

La inflorescencia es una umbela compuesta subglobosa, formada por umbelas primarias y secundarias; las flores siempre son blancas, menos las centrales de cada umbela que son de color rosado o púrpura, siendo a veces todas coloreadas. Cada flor esta compuesta por cinco pétalos y cinco estambres; son hermafroditas, pero algunas veces puede haber flores masculinas y femeninas. (Sarlı, 1980).

4.5.3.2. Ciclo Biológico

La germinación tiene lugar de 12 a 18 días. La zanahoria es una planta bianual que en condiciones normales, durante el primer año de cultivo, desarrolla principalmente una roseta de hojas y almacena posteriormente sus reservas en su propia raíz, hipertrofiándola. La primera cosecha se lleva a cabo a los 55 a 80 días. Las líneas varietales que acumulan mayor contenido de azúcares son las que poseen una madurez fisiológica más tardía, lo que les permite una mayor prolongación de la actividad fotosintética. Durante el segundo año de cultivo emite el tallo floral, que se desarrolla gracias a las reservas acumuladas en el primer año de cultivo (Sarlı, 1980).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Planteamiento del Problema

Determinar los efectos que generan cuatro clases de agua utilizadas para riego: agua de emisores industrial, habitacional, riego y potable, sobre el suelo en que se cultivan tres diferentes especies hortícolas (chicharo, rábano y zanahoria), así como evaluar el rendimiento de estas especies producidas bajo condiciones de invernadero.

5.2. Localización de la Unidad Experimental

El presente trabajo de investigación se lleva a cabo en los invernaderos de cristal ubicados en las instalaciones de la FES-C, localizada en la Cuenca del Valle de México, al Oeste de la Cabecera Municipal de Cuautitlán, Estado de México. El Municipio de Cuautitlán Izcalli se extiende entre los 19° 27" y 19° 45" de Latitud Norte y entre 99° 07" y 99° 14" de Longitud Oeste. Limita al Norte con el Municipio de Teoloyucan, al Sur con Tultitlán, al Este con Melchor Ocampo, al Oeste con Tepetzotlán, al Noroeste con Zumpango y al Sudeste con Tultepec.

El establecimiento del cultivo se llevó a cabo en contenedores (tinajas) de 1.5 m de longitud, 0.40 m de ancho y 0.25 m de profundidad los cuales se llenaron con suelo proveniente de la parcela N° 7 de la misma Facultad, clasificado dentro del Orden Inceptisoles, Suborden Andept, Gran Grupo Umbrandept, como Umbrandepts mólico vertisol (De La Teja, citado por González Hernández, 1998).

5.3. Diseño Experimental

Debido a que la naturaleza de los tratamientos a evaluar en este experimento (agua de riego y especies hortícolas) dificultan las operaciones contempladas y el manejo de todas las combinaciones de factores en una misma

forma, se optó por utilizar el diseño de parcelas divididas en bloques al azar, el cual involucra la asignación de tratamientos de un factor a parcelas principales (aguas de riego) y los tratamientos de un segundo factor se asignan a subparcelas (correspondientes a las diferentes especies hortícolas). Considerando además que la intensidad de la luz de la parte Este del invernadero es mayor que en la parte Oeste, así como en la parte Norte es mayor que en la Sur del invernadero, causando un efecto sobre la temperatura del suelo, se formaron bloques (repeticiones) como se observa en la Figura 1, todo con la finalidad de que cada bloque sea lo más uniforme posible, de tal manera que las diferencias observadas sean exclusivamente por el efecto de los tratamientos. En cada bloque se asignaron al azar los tratamientos y subtratamientos, quedando de la siguiente manera:

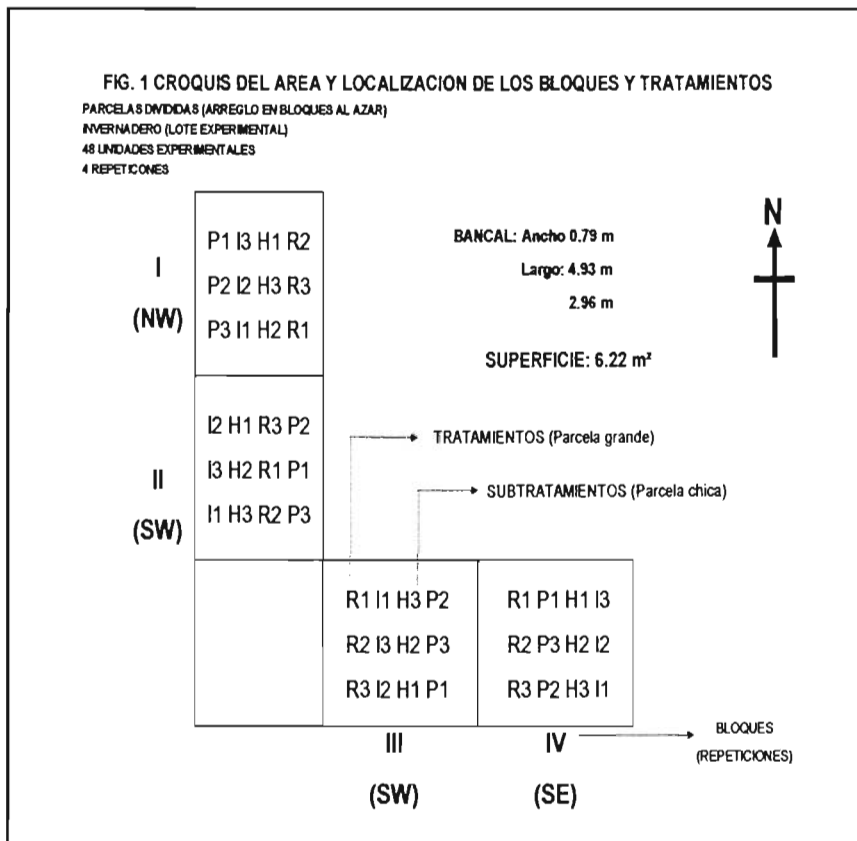
ESPECIES HORTÍCOLAS	TRATAMIENTOS
1. Chicharo (1)	1. Agua de Emisor Industrial (I)
2. Rábano (2)	2. Agua de Emisor Habitacional (H)
3. Zanahoria (3)	3. Agua de Riego (R)
	4. Agua Potable (P)

Bloques

El bloqueo se realiza debido a un gradiente de luz que se tiene en el invernadero, pues el bancal tiene forma de "L".

Para el Bloque I y II se tiene Menor Gradiente de Luz.

Para el Bloque III y IV se tiene Mayor Gradiente de Luz, como se muestra en la Figura 1.



5.4. Establecimiento y Manejo Agronómico de la Unidad Experimental

El suelo extraído de la parcela N° 7 de la FES-C fue previamente cernido y esterilizado y con él se llenaron los contenedores de 0.40 m de ancho, 0.25 m de profundidad y 1.5 m de largo. Posteriormente se realizó la siembra de las siguientes especies durante 6 ciclos consecutivos:

1. Chícharo *Pisum sativum* L. Var. Early Perfection Gre.
2. Rábano *Raphanus sativus* L. Var. Scarcet Globe.

3. Zanahoria *Daucus carota* L. Var. Nantes Strong.

Cada una de ellas con el siguiente manejo agronómico:

- **Siembra.** En el caso del chícharo se depositan 8 semillas por sitio, ubicando 4 sitios o partes en el interior de cada contenedor, mientras que para el rábano y zanahoria se realiza la siembra a chorrillo, por lo que en este caso se debe de realizar aclareo, dejando las plantas más vigorosas.
- **Control de malezas.** Se realizará en forma manual y constante por lo menos una vez a la semana. Por ningún motivo serán utilizados los agroquímicos.
- **Aporques y tutores.** Para el chícharo deberán utilizarse tutores cuando las plantas alcancen los 10-15 cm de altura, y para el rábano y la zanahoria los aporques necesarios, ya que la semilla se instala superficialmente y con los riegos ésta puede permanecer fuera y podría darse un desarrollo aéreo de la raíz.
- **Riegos.** Dos veces por semana y en la época de mayor calor, si es necesario, se hará tres veces por semana. De igual forma, en días nublados se reducirán los riegos a uno por semana.
- **Plagas y enfermedades.** No se aplican agroquímicos, se aplicaron solamente métodos de control mecánico y control biológico. En los 3 ciclos de cultivo se tuvo la incidencia de cenicilla polvosa, en zanahoria, también se tuvo una infestación de pulgón, durante el primer ciclo agrícola. Además en el último ciclo se tuvo la presencia de *ascochyta spp.* en chícharo.

- **Fertilización.** No se hará ningún tipo de fertilización, ya que de hacerlo, al igual que en el caso de los agroquímicos para control de malezas, plagas y enfermedades, los remanentes que dejan en el suelo alterarían la residualidad de contaminantes a evaluar y correlacionar, que serían aportados al suelo por las aguas con que se regará.

- **Cosecha.** Se llevará a cabo cuando las raíces del rábano y zanahoria alcancen su máximo desarrollo. En el caso del chícharo se realizará cuando la primera vaina alcance su máxima maduración, basado en su ciclo biológico a través de la calendarización.

5.5. Métodos de Muestreo para Suelo

El muestreo de suelo de la parcela se llevó a cabo utilizando el método de muestreo al azar, tomando la muestra de un solo pozo, obteniendo un total de tres muestras a las profundidades de 0–10 cm, 10–20 cm y 20–30 cm, de modo que fue la parte arable del suelo la que se utilizó para el establecimiento de los cultivos. Con estas tres muestras del suelo original se realizó una mezcla homogénea y se llenaron los contenedores a fin de garantizar que todo el suelo tuviera las mismas características.

Así mismo, después de cada ciclo agrícola se tomaron muestras de cada uno de los tratamientos realizando una mezcla homogénea entre repeticiones, obteniendo cuatro muestras por ciclo de cultivo.

5.6. Métodos de Muestreo para el Agua

El organismo público descentralizado OPERAGUA del Municipio de Cuautitlán Izcalli, apoyó con el muestreo y traslado de las aguas utilizadas en este trabajo; dichas muestras provienen de los emisores industrial, habitacional, riego y el agua potable utilizada como testigo, proviene de la FES-C.

6. RESULTADOS

Los resultados obtenidos de los análisis físicos y químicos realizados a los suelos, así como los rendimientos de las especies cultivadas en ellos, se muestran en las Tablas 11, 12, 13, 14, 15 y 16. De igual manera las Tablas 17, 18 y 19 contienen el análisis estadístico del experimento realizado.

TABLA 11.RESULTADOS DE LOS ANALISIS FISICOS DEL SUELO.

Tratamiento	Ciclo	Color				Densidad		
		Húmedo	Interpretación	Seco	Interpretación	Aparente g/m ³	Real g/m ³	E.Porosos %
Suelo Original	0 - 10	10YR3/2	Café grisáceo muy oscuro	10YR4/2	Café grisáceo oscuro	1.19	2.21	46.15
	10 20	10YR3/2	Café grisáceo muy oscuro	10YR4/2	Café grisáceo oscuro	1.13	2.01	43.78
	20-30	10YR2/1	Negro	10YR4/2	Café grisáceo oscuro	1.17	1.97	40.35
	X					1.16	2.06	43.42
T 1 Agua Industrial	Ciclo I	10YR2/1	Negro	10YR3/2	Café grisáceo muy oscuro	1.25	1.88	33.62
	Ciclo II	10YR3/2	Café grisáceo muy oscuro	10YR4/2	Café grisáceo oscuro	1.20	2.75	56.36
	Ciclo III	10YR3/2	Café grisáceo muy oscuro	10YR4/1	Café grisáceo oscuro	1.10	2.43	55.00
	Ciclo IV	10YR2/2	Café muy oscuro	10YR2/1	Negro	1.07	2.01	46.50
	Ciclo V	10YR2/2	Café muy oscuro	10YR2/1	Negro	1.09	2.10	48.09
	Ciclo VI	10YR2/2	Café muy oscuro	10YR2/1	Negro	1.30	1.98	34.34
T 2 Agua Habitacional	Ciclo I	10YR2/1	Negro	10YR3/2	Café grisáceo muy oscuro	1.21	1.90	35.96
	Ciclo II	10YR3/1	Gris muy oscuro	10YR5/2	Café grisáceo	1.12	3.03	62.77
	Ciclo III	10YR2/2	Café muy oscuro	10YR3/2	Café grisáceo muy oscuro	1.14	2.08	46.00
	Ciclo IV	10YR5/2	Café grisáceo	10YR3/1	Gris muy oscuro	1.13	2.59	56.29
	Ciclo V	10YR5/2	Café grisáceo	10YR3/1	Gris muy oscuro	1.13	2.01	43.78
	Ciclo VI	10YR5/2	Café grisáceo	10YR3/1	Gris muy oscuro	1.08	1.97	45.17
T 3 Agua de Riego	Ciclo I	10YR2/1	Negro	10YR3/2	Café grisáceo muy oscuro	1.19	1.89	37.20
	Ciclo II	10YR3/1	Gris muy oscuro	10YR5/2	Café grisáceo	1.17	1.98	64.84
	Ciclo III	10YR4/3	Café muy oscuro	10YR4/2	Café grisáceo oscuro	1.11	2.29	52.00
	Ciclo IV	10YR4/2	Café grisáceo oscuro	10YR2/1	Negro	1.07	2.14	49.85
	Ciclo V	10YR4/2	Café grisáceo oscuro	10YR2/1	Negro	1.06	2.13	50.23
	Ciclo VI	10YR4/2	Café grisáceo oscuro	10YR2/1	Negro	1.06	1.96	45.91
T 4 Agua Potable	Ciclo I	10YR2/1	Negro	10YR3/2	Café grisáceo muy oscuro	1.17	1.87	37.47
	Ciclo II	10YR3/1	Gris muy oscuro	10YR4/2	Café grisáceo oscuro	1.19	3.17	70.18
	Ciclo III	10YR4/1	Café oscuro	10YR4/2	Café grisáceo oscuro	1.14	2.73	59.00
	Ciclo IV	10YR5/2	Café grisáceo	10YR3/1	Gris muy oscuro	1.08	2.08	48.54
	Ciclo V	10YR5/2	Café grisáceo	10YR3/1	Gris muy oscuro	1.08	2.03	46.79
	Ciclo VI	10YR4/1	Café oscuro	10YR3/1	Gris muy oscuro	1.03	1.98	47.97

TABLA12. RESULTADOS DE LOS ANALISIS FISICOS Y FISICOQUIMICOS DEL SUELO.

Tratamiento	Ciclo	Textura				Capacidad de Campo %	Agua Disponible %	P.M.P. %	pH	Conductividad Eléctrica $\mu\text{mhos/cm}$
		Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase textural					
Suelo Original	0 - 10	56.56	20.00	23.44	Mig-arc-ar	18.37	8.35	9.92	6.4	
	10 20	52.56	20.00	27.44	Mig-arc-ar	20.38	9.31	11.07	6.5	
	20-30	50.56	20.00	29.44	Mig-arc-ar	21.44	9.79	11.65	6.5	
	X	53.22	20.00	26.77		20.06	9.15	10.88	6.4	180
T 1 Agua Industrial	Ciclo I	52.71	20.88	26.41	Mig-arc-ar	19.97	9.12	10.85	6.1	210
	Ciclo II	50.28	19.28	29.44	Mig-arc-ar	21.32	9.74	11.58	7.5	230
	Ciclo III	50.2	25.64	24.16	Mig-arc-ar	19.54	8.93	10.61	7.5	230
	Ciclo IV	49.46	26.00	24.54	Mig-arc-ar	19.81	9.04	10.77	7.0	349
	Ciclo V	49.93	26.32	23.75	Mig-arc-ar	19.45	8.88	10.57	7.3	383
	Ciclo VI	50.17	25.57	24.26	Mig-arc-ar	19.60	8.95	10.65	7.0	460
T 2 Agua Habitacional	Ciclo I	49.71	23.53	26.76	Mig-arc-ar	20.59	9.40	11.19	6.9	100
	Ciclo II	44.20	26.00	29.80	Mig-arc-ar	22.59	10.32	12.27	7.1	230
	Ciclo III	48.36	25.64	26.00	Mig-arc-ar	20.52	9.37	11.15	7.5	175
	Ciclo IV	48.46	23.00	28.54	Mig-arc-ar	21.44	9.79	11.65	6.9	375
	Ciclo V	49.10	25.20	25.70	Mig-arc-ar	21.41	9.78	11.63	6.5	410
	Ciclo VI	50.01	24.79	25.20	Mig-arc-ar	19.97	9.12	10.85	7.2	476
T 3 Agua de Riego	Ciclo I	49.41	22.67	27.92	Mig-arc-ar	21.05	9.61	11.44	7.0	330
	Ciclo II	49.28	17.28	33.44	Mig-arc-ar	23.12	10.56	12.56	6.9	180
	Ciclo III	47.84	22.36	29.80	Mig-arc-ar	22.00	10.05	11.95	6.6	200
	Ciclo IV	48.28	26.00	25.72	Mig-arc-ar	20.44	9.34	11.10	6.8	415
	Ciclo V	48.74	22.06	29.20	Mig-arc-ar	21.64	9.88	11.76	6.5	370
	Ciclo VI	48.12	22.53	29.35	Mig-arc-ar	21.80	9.96	11.84	6.6	412
T 4 Agua Potable	Ciclo I	54.35	21.67	23.98	Mig-arc-ar	18.81	8.59	10.22	7.1	250
	Ciclo II	50.56	23.64	25.80	Mig-arc-ar	20.10	9.18	10.92	7.1	120
	Ciclo III	46.20	26.00	27.80	Mig-arc-ar	21.52	9.83	11.69	7.2	160
	Ciclo IV	47.64	26.00	26.36	Mig-arc-ar	20.77	9.48	11.29	6.9	113
	Ciclo V	49.35	24.45	27.20	Mig-arc-ar	21.00	9.59	11.41	6.7	265
	Ciclo VI	49.30	23.70	27.00	Mig-arc-ar	20.74	9.47	11.27	7.2	310

TABLA 13. RESULTADOS DE LOS ANALISIS QUIMICOS DEL SUELO.

Tratamiento	Ciclo	Materia Orgánica %	C.I.C. meq/100g	Nitrógeno N %	Fósforo P ppm	Potasio K ppm	Sodio Na ppm	Calcio Ca ² meq/100g	Magnesio Mg ² meq/100g
Suelo Original	0 - 10	3.62	32.96	/	/	/	/	11.84	3.68
	10 20	3.96	34.50	/	/	/	/	10.46	4.14
	20-30	4.94	34.88	/	/	/	/	15.52	4.17
	X	4.17	34.11	0.54	2.00	27.50	20.50	12.60	4.17
T 1 Agua Industrial	Ciclo I	2.24	26.33	0.50	1.40	32.50	11.50	16.67	4.52
	Ciclo II	3.01	20.00	0.39	2.40	38.00	20.00	10.10	4.60
	Ciclo III	3.01	20.00	0.52	1.65	41.00	14.00	5.50	5.50
	Ciclo IV	2.49	14.40	/	/	/	/	5.10	5.30
	Ciclo V	3.13	16.20	/	/	/	/	4.73	6.00
	Ciclo VI	2.20	14.00	/	/	/	/	4.06	5.40
T 2 Agua Habitacional	Ciclo I	4.82	39.61	0.47	2.18	39.00	19.00	16.14	4.85
	Ciclo II	2.41	26.60	0.62	1.79	35.50	16.50	10.30	5.10
	Ciclo III	3.19	20.00	0.47	2.12	42.00	17.50	6.30	6.60
	Ciclo IV	2.15	16.33	/	/	/	/	4.80	5.80
	Ciclo V	1.97	15.22	/	/	/	/	4.86	5.63
	Ciclo VI	2.30	17.14	/	/	/	/	6.10	6.00
T 3 Agua de Riego	Ciclo I	4.57	37.94	0.41	2.30	27.50	19.00	15.79	4.75
	Ciclo II	2.58	30.33	0.54	2.15	36.50	20.00	9.30	5.50
	Ciclo III	3.19	17.33	0.39	2.10	34.25	20.50	5.30	7.20
	Ciclo IV	2.48	11.43	/	/	/	/	3.93	6.10
	Ciclo V	1.93	11.02	/	/	/	/	3.02	5.45
	Ciclo VI	1.53	9.66	/	/	/	/	3.50	4.90
T 4 Agua Potable	Ciclo I	4.08	34.64	0.29	2.10	35.50	15.50	13.03	5.29
	Ciclo II	2.58	24.00	0.41	2.00	25.00	12.00	10.60	5.20
	Ciclo III	1.46	16.33	0.33	1.85	28.00	14.00	5.70	7.50
	Ciclo IV	1.15	9.22	/	/	/	/	3.90	6.80
	Ciclo V	0.93	9.51	/	/	/	/	3.47	6.30
	Ciclo VI	0.82	9.23	/	/	/	/	3.65	5.78

TABLA14. RESULTADO EN EL RENDIMIENTO DE CHICHARO

CICLO DE CULTIVO	TRATAMIENTO	PESO FRESCO (gr)	LONGITUD TOTAL (cm)	LONGITUD AEREA (cm)	LONGITUD DE RAIZ (cm)	No. DE VAINAS	PESO FRESCO DE VAINAS (gr)
C I	T 1	6.7475	29.2725	23.9225	5.3500	1.7500	1.9525
	T 2	7.0725	29.2150	23.2575	5.9575	1.4975	1.5950
	T 3	5.9900	29.6350	22.9475	6.6875	1.7500	1.3150
	T 4	4.8075	26.9350	22.4450	4.9900	1.7900	0.9375
C II	T 1	3.1050	22.9550	18.2875	5.1625	1.4975	0.9425
	T 2	3.1125	20.0800	14.9150	5.1650	1.4975	1.1450
	T 3	2.7800	21.1625	16.1200	5.0400	1.1650	1.0600
	T 4	3.8825	25.3725	19.7875	5.5825	1.7500	1.0900
C III	T 1	11.6325	41.8300	35.3300	6.5000	2.4150	1.5575
	T 2	7.4900	33.2450	26.8975	6.2900	1.8300	1.4175
	T 3	10.6700	39.4975	32.6650	6.8300	2.4125	1.4300
	T 4	11.7050	42.4950	35.4125	7.1050	2.5580	1.5115
C IV	T 1						
	T 2						
	T 3						
	T 4						
C V	T 1	3.0191	33.3583	25.1583	8.2000	1.0000	1.3875
	T 2	2.7964	36.7571	27.3643	9.3928	0.7142	1.0093
	T 3	4.6125	35.0937	28.9437	6.1500	0.9375	1.4187
	T 4	3.5312	38.0687	29.8812	8.1875	0.8750	0.9906
C VI	T 1						
	T 2						
	T 3						
	T 4						

TABLA15. RESULTADO EN EL RENDIMIENTO DE RABANO

CICLO DE CULTIVO	TRATAMIENTO	PESO FRESCO (gr)	LONGITUD TOTAL (cm)	LONGITUD AEREA (cm)	LONGITUD DE RAIZ (cm)	DIAMETRO DE RAIZ (cm)
C I	T 1	8.8975	23.5050	15.1125	8.3900	
	T 2	12.5850	24.8625	16.8475	8.0125	
	T 3	8.4900	22.6900	13.8875	8.7975	
	T 4	6.5300	18.8300	10.7625	8.0625	
C II	T 1	31.9150	41.3100	32.4975	8.8100	2.2300
	T 2	33.4125	39.8100	30.4050	8.4050	2.1225
	T 3	32.7975	39.2775	31.4975	7.7775	2.2725
	T 4	36.4675	41.5605	32.4050	9.1550	2.1475
C III	T 1	19.8150	27.9350	28.0275	4.9025	1.8925
	T 2	15.9850	25.2175	20.7775	4.4325	1.8850
	T 3	28.2775	30.2475	25.1850	5.0925	2.4925
	T 4	16.7225	27.1225	22.9350	4.1850	1.7975
C IV	T 1	14.3884	33.7517	25.8862	7.8655	1.5422
	T 2	18.8980	33.2884	25.6697	7.6187	1.4044
	T 3	21.8080	33.6100	25.8065	7.8035	1.7395
	T 4	19.7689	33.2285	25.1730	8.0555	1.5631
C V	T 1	16.8669	34.8125	27.4375	7.3750	1.5950
	T 2	17.4325	38.1125	30.4000	7.7125	1.4331
	T 3	24.7687	39.1250	30.8500	8.2750	1.9262
	T 4	25.4931	40.8000	31.8000	9.0000	2.0269
C VI	T 1	14.2625	36.2062	26.3562	9.8500	1.9937
	T 2	15.0750	39.4499	29.9187	9.5312	1.5812
	T 3	14.7062	36.6875	27.6125	9.0750	2.0062
	T 4	13.6312	37.8375	27.9625	9.8750	1.8437

TABLA 16. RESULTADO EN EL RENDIMIENTO DE ZANAHORIA

CICLO DE CULTIVO	TRATAMIENTO	PESO FRESCO (gr)	LONGITUD TOTAL (cm)	LONGITUD AEREA (cm)	LONGITUD DE RAIZ (cm)	DIAMETRO DE RAIZ (cm)
C I	T 1	12.5050	29.5800	22.8625	6.7125	
	T 2	6.6000	27.3150	19.7625	7.5500	
	T 3	6.3225	28.3925	22.3600	6.0150	
	T 4	5.8575	29.0775	23.2200	5.8450	
C II	T 1	31.9150	41.3100	32.4975	8.8100	2.2300
	T 2	33.4725	39.8100	30.4050	8.4050	2.1225
	T 3	32.7975	39.2775	31.4975	7.7775	2.2725
	T 4	36.4675	41.5606	32.4050	9.1550	2.1475
C III	T 1	27.8125	38.1250	29.8750	8.2500	2.0438
	T 2	23.4812	28.4688	28.2188	7.2500	1.9625
	T 3	21.1250	34.9063	28.2188	7.7500	1.8375
	T 4	27.6187	41.3125	32.3750	8.9375	1.9503
C IV	T 1	14.0387	27.9365	22.2849	5.6516	1.3303
	T 2	12.1182	26.7398	21.4206	5.3192	1.2540
	T 3	12.2408	27.9869	22.7225	5.2644	1.3425
	T 4	13.6437	29.2964	23.7766	5.5198	1.2271
C V	T 1	6.9125	27.9187	22.5937	5.3250	1.2281
	T 2	4.5525	27.4667	23.1500	4.3166	1.1350
	T 3	8.4125	32.7374	27.2069	5.5312	1.3712
	T 4	6.9187	32.1724	26.4537	5.7187	0.8125
C VI	T 1	5.0875	30.6624	25.8812	4.7812	1.1500
	T 2	4.6031	31.3812	26.9875	4.3937	1.0500
	T 3	4.7875	31.3250	26.8125	4.5125	1.2312
	T 4	5.0000	32.6687	28.2062	4.4625	1.2250

TABLA 17. ANÁLISIS DE VARIAZA DE CHÍCHARO

FV	GL	SC	CM	FC	FT	PROB
Bloques	3	2.98	0.99	0.83	3.86	0.05
Tratamientos	3	9.93	3.31	2.76		
Error	9	10.76	1.19			
Total	15	187.07				

TABLA 18. ANÁLISIS DE VARIAZA DE RÁBANO

FV	GL	SC	CM	FC	FT	PROB
Bloques	3	467.53	155.84	4.44	0.01	0.05
Factor A	3	185.83	61.95	1.76	0.17	
Factor B	2	362.36	181.18	5.16	0.01	
AB	6	149.74	24.96	0.71		
Error	33	1159.16	35.12			
Total	47	2324.64				

TABLA 19. ANÁLISIS DE VARIAZA DE ZANAHORIA

FV	GL	SC	CM	FC	FT	PROB
Bloques	3	91.62	30.54	7.67	0.0005	0.05
Factor A	3	8.71	2.90	0.73		
Factor B	2	47.96	23.98	6.02	0.0059	
AB	6	4.85	0.80	0.20		
Error	33	131.36	3.98			
Total	47	284.51				

7. ANALISIS DE RESULTADOS

Las características fisicoquímicas del suelo a lo largo de 6 ciclos agrícolas han cambiado mucho, encontrando que la **densidad aparente** con respecto al suelo original ha disminuido en forma progresiva, mientras que para los últimos ciclos el porcentaje de **espacios porosos** en general se incrementó.

El suelo conserva su **clase textural** en migajón-arcillo-arenoso, confirmando que ésta es una propiedad genética e invariable del suelo. Con lo que respecta a la **capacidad de campo**, el porcentaje de agua disponible se incrementó en general para todos los tratamientos, excepto el del suelo tratado

ESTA TESIS NO SALE DE LA BIBLIOTECA

49

con agua industrial, en el que los valores se mantuvieron por debajo de los del suelo original.

Si bien la **conductividad eléctrica** no representó problema durante los primeros 3 ciclos; los valores obtenidos para los tratamientos de agua industrial, habitacional y de riego, durante el sexto ciclo están sobre el límite para un suelo normal lo que es un claro indicador de la acumulación progresiva de sales que se está generando, presentándose valores apenas por debajo de los 400 $\mu\text{mhos/cm}$ en todos los casos para el suelo tratado con agua potable.

El **pH** aumentó con respecto del valor para el suelo original, registrándose los valores más elevados en el suelo regado con aguas industrial y potable, en tanto que el tratado con agua de riego fue el que menos variación presentó en los 3 últimos ciclos agrícolas.

El contenido de **materia orgánica**, a excepción del primer ciclo en que se incrementó para todos los tratamientos, se ha derrumbado; siendo el suelo menos afectado, el regado con agua industrial. La **capacidad de intercambio catiónico** consecuentemente con la disminución de la materia orgánica, se ha visto abatida, presentando valores para el suelo tratado con agua de riego prácticamente iguales a los del tratado con agua potable.

El contenido de **calcio** en consecuencia con el incremento de materia orgánica en el primer ciclo, también aumentó, pero de igual forma se derrumbó progresivamente en el resto de los ciclos. El contenido de **magnesio** se incrementó en todos los casos y para todos los tratamientos; presentándose los mayores valores para el tratamiento con agua potable.

En lo que a los aspectos productivos se refiere, el **chicharo** es la especie vegetal que se ha visto más afectada, ya que es muy susceptible al ataque de plagas, por lo que la cosecha se perdió en 2 ciclos agrícolas: en el cuarto, debido

a que el chícharo no emergía porque la semilla se llenaba de hongo antes de la germinación, y en el sexto, al empezar a fructificar fue atacado por *ascochyta sp.*, el cual se expandió por toda la planta; en el ciclo 5 se logró gracias a que se optó por esterilizar nuevamente el suelo antes de realizar la siembra.

Se observa que el mayor rendimiento de peso en fresco lo obtuvo el suelo tratado con agua de riego, seguido por el regado con agua potable; en tanto que, paradójicamente, el que registró menor rendimiento fue el regado con el agua del emisor habitacional; mientras que en el suelo regado con agua potable se tuvo una mayor longitud aérea y de raíz, siendo el suelo regado con agua del emisor industrial, la que tuvo el menor desarrollo aéreo y radicular.

En tanto que con respecto del número de vainas en el suelo tratado con agua del emisor industrial se obtuvo el mayor número de vainas, seguido por el tratamiento regado con agua de riego, mientras que en éste se registró el mayor peso en fresco.

El **rábano** ha tenido un rendimiento en fresco muy variado, encontrando que el suelo regado con agua industrial fue el que obtuvo un menor rendimiento sobre todo en los tres últimos ciclos agrícolas, mientras que el regado con el agua de riego, obtuvo el mayor rendimiento en el cuarto ciclo, siendo superado por el regado con agua potable en el quinto; pero el mejor en el sexto ciclo fue el del suelo regado con agua habitacional.

En lo que respecta al desarrollo foliar, el mejor de ellos se obtuvo en el quinto ciclo agrícola con respecto a los ciclos 4 y 6; observándose que en los 3 ciclos, el menor desarrollo de hojas lo tuvo el suelo regado con agua industrial, y aunque ha variado un poco, el mayor crecimiento de hojas se registró en el suelo regado con agua del emisor habitacional, seguido éste por el regado con agua potable.

El crecimiento de la raíz se ha visto favorecido sobre todo en el último ciclo agrícola, no siendo así con lo que respecta a su diámetro, que ha disminuido en comparación con los tres primeros ciclos; aunque en el sexto, se superó al tercero para los regados con agua de los emisores industrial y potable.

Para la **zanahoria**, el rendimiento se ha visto abatido en los tres últimos ciclos agrícolas; siendo el más afectado el procedente del suelo regado con agua del emisor habitacional y obteniéndose el mejor peso, en el suelo regado con agua del emisor industrial, el cual es seguido por el del agua potable.

Como consecuencia, el desarrollo del área foliar también se ha visto afectado obteniendo en los tres últimos ciclos agrícolas las menores alturas, en general; aunque en particular, los cultivos menos afectados fueron los tratados con agua potable.

El desarrollo radicular se ha visto afectado de igual forma, observándose consecuentemente que el tratamiento regado con agua potable obtuvo el mayor desarrollo radicular, seguido por el regado con agua del emisor industrial; en tanto que el más afectado fue el producido en el suelo regado con agua del emisor habitacional; comportamiento similar al observado para el diámetro de raíz, sólo que en éste caso el mayor diámetro lo obtuvo el tratamiento con agua de riego.

8. CONCLUSIONES

1. En términos generales, la calidad del agua empleada para el riego agrícola ha afectado de manera negativa la fertilidad del suelo; esto se manifiesta en los análisis del mismo, así como en los rendimientos de las hortalizas cultivadas en él.
2. El suelo a lo largo de 6 ciclos agrícolas se ha degradado, ya que ha perdido en gran medida su materia orgánica volviéndose muy inestable

estructuralmente; incrementándose su porcentaje de espacios porosos a la vez que disminuyó su densidad aparente.

3. El rendimiento de las especies hortícolas producidas en el suelo regado con las aguas residuales del Municipio de Cuautitlán Izcalli, también se ha visto afectado, ya que éste disminuyó a través de los ciclos agrícolas, además de que cada vez son más susceptibles al ataque de plagas y enfermedades.
4. Por lo mencionado anteriormente se establece que las aguas evaluadas en este trabajo, no son las mejores para utilizarse con fines de riego; ya que dañan al suelo y a las plantas cultivadas en él sin contar los daños que pudieran ocasionar a la salud pública, lo cual será objeto de otra investigación al interior de esta misma línea.
5. Por lo que respecta al contenido de metales pesados, estos fueron ya determinados como parte de este mismo proyecto por Gascón (2001), para los primeros 4 ciclos y cabe señalar que por el momento, aún están dentro de los límites permitidos para un suelo agrícola, pero que de continuar las curvas de acumulación de éstos, con la misma pendiente, en un número igual de ciclos, se tendrá una concentración de zinc muy por encima del límite máximo establecido para este metal por la Organización Mundial de la salud.

9. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

Siempre se ha creído que la aplicación de materia orgánica a un suelo aumentará su fertilidad y mejorará su estructura; sin embargo, del análisis de resultados y de las conclusiones anteriores, se observa lo contrario. Por tal motivo, resulta imperativo un tratamiento previo de las aguas residuales que debe llevarse

con estricto rigor para que también puedan ser destruidos virus, bacterias, protozoarios y demás microorganismos patógenos.

Para mejorar la estructura de los suelos sería recomendable la aplicación de abonos orgánicos y quizá la utilización de algún polímero, cuidando que éste no resulte de alto costo.

Para evitar y disminuir las enfermedades fungosas, principalmente de la raíz, considero que se deben tratar previamente las semillas y alternar los cultivos.

El cultivo de chícharo, bajo estas condiciones de riego, podría ser permisible ya que la parte consumible por el humano es la vaina; no así para la zanahoria y el rábano, que por ser raíces, están en contacto directo con el suelo y resultan peligrosos para la salud humana debido a su consumo en crudo.

Por último, cabe insistir en que debe evitarse la contaminación de las aguas, tanto superficiales como subterráneas, porque esto entraña un verdadero peligro para la salud de todos los seres vivos, además de la degradación física y química del recurso no renovable suelo.

10. ANEXOS

10.1. METODOLOGÍA DE ANALISIS DE MUESTRAS EN EL LABORATORIO

TEXTURA: se determinó por el método de Bouyoucos, el cual se basa en las diferentes velocidades de sedimentación de esferas, cuyo diámetro, serían la longitud mayor de las partículas.

DENSIDAD APARENTE, DENSIDAD REAL Y PORCENTAJE DE POROSIDAD: se evaluó por los métodos de la probeta y del picnómetro.

COLOR: se obtuvo por comparación con las tablas de colores de Munsell.

MATERIA ORGANICA: se cuantificó por el método de Walkley y Black.

CALCIO Y MAGNESIO: el calcio y magnesio intercambiables se determinaron por el método del Versenato.

pH REAL y pH POTENCIAL: los valores de pH se obtuvieron por medición directa con el potenciómetro.

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO: el método utilizado para su determinación fue el de Versenato.

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA: se midió con el conductímetro.

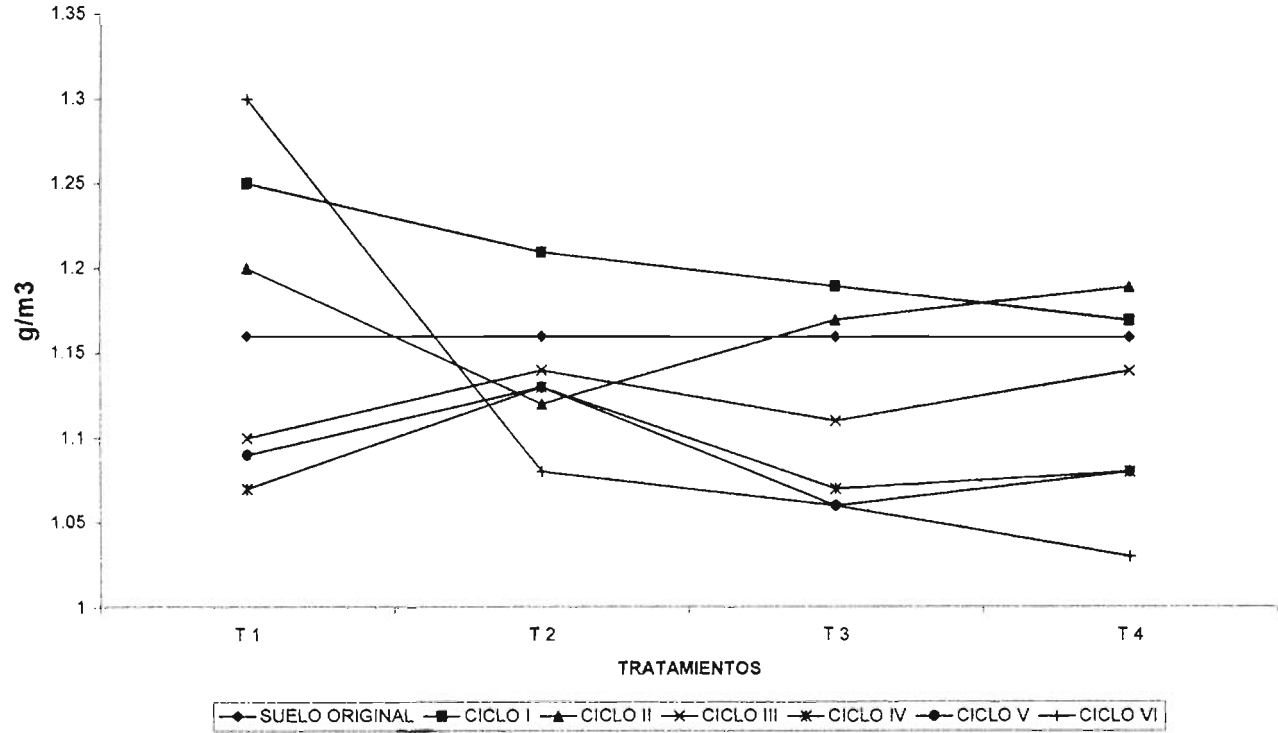
CONCENTRACION DE NITROGENO: se evaluó por el método de Kjeldhal.

CONCENTRACION DE FOSFORO, POTASIO Y SODIO: se obtuvieron por Colorimetría.

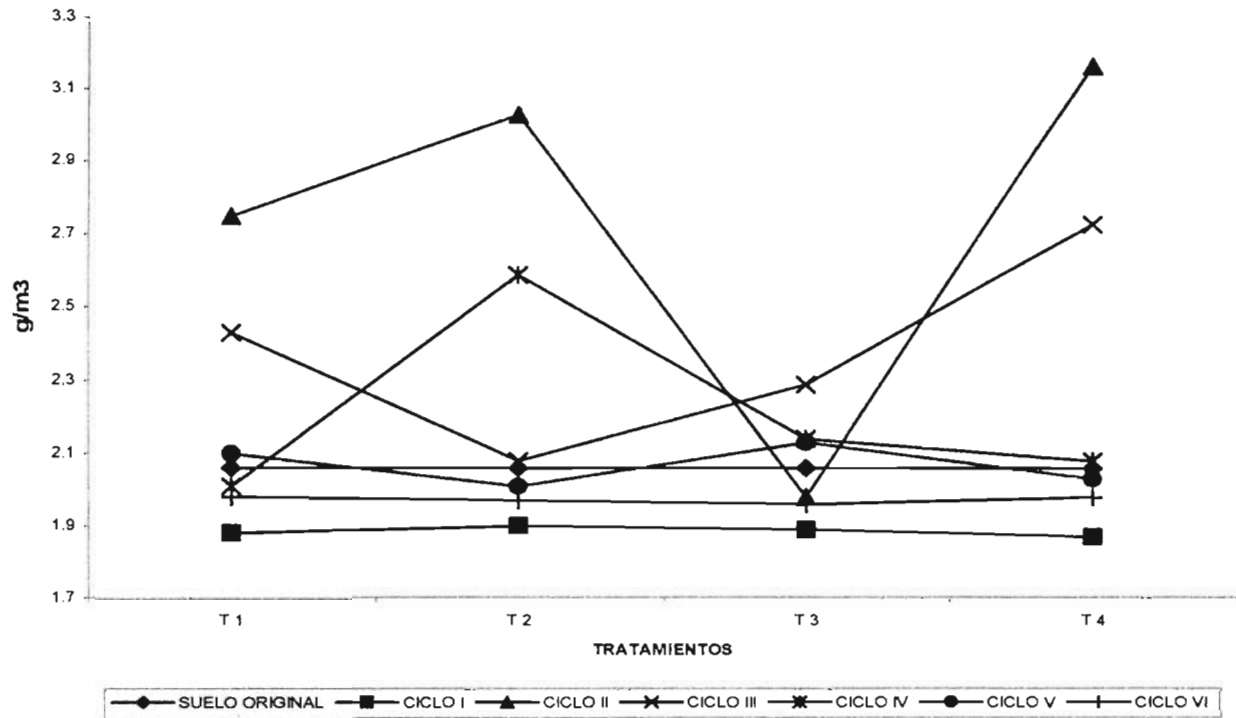
10.2. GRÁFICAS

Las gráficas 1-12 muestran el comportamiento de las propiedades físicas y químicas del suelo y las 13-25 los rendimientos de las especies hortícolas estudiadas.

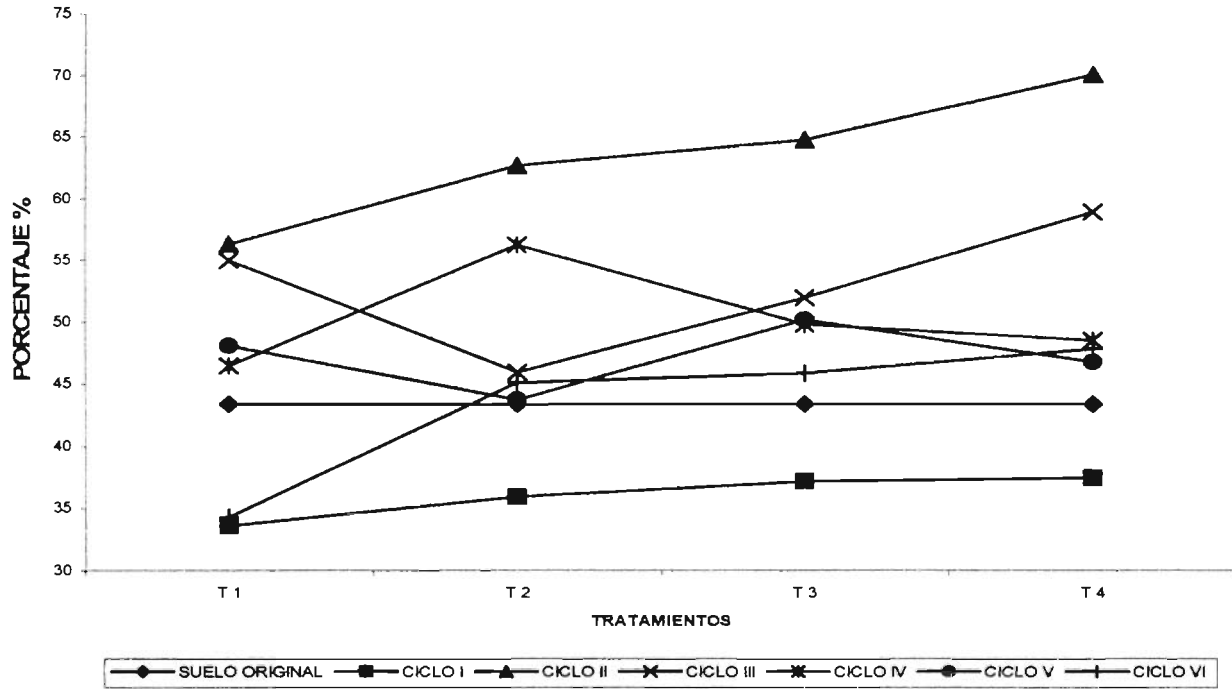
GRAFICA 1. DENSIDAD APARENTE



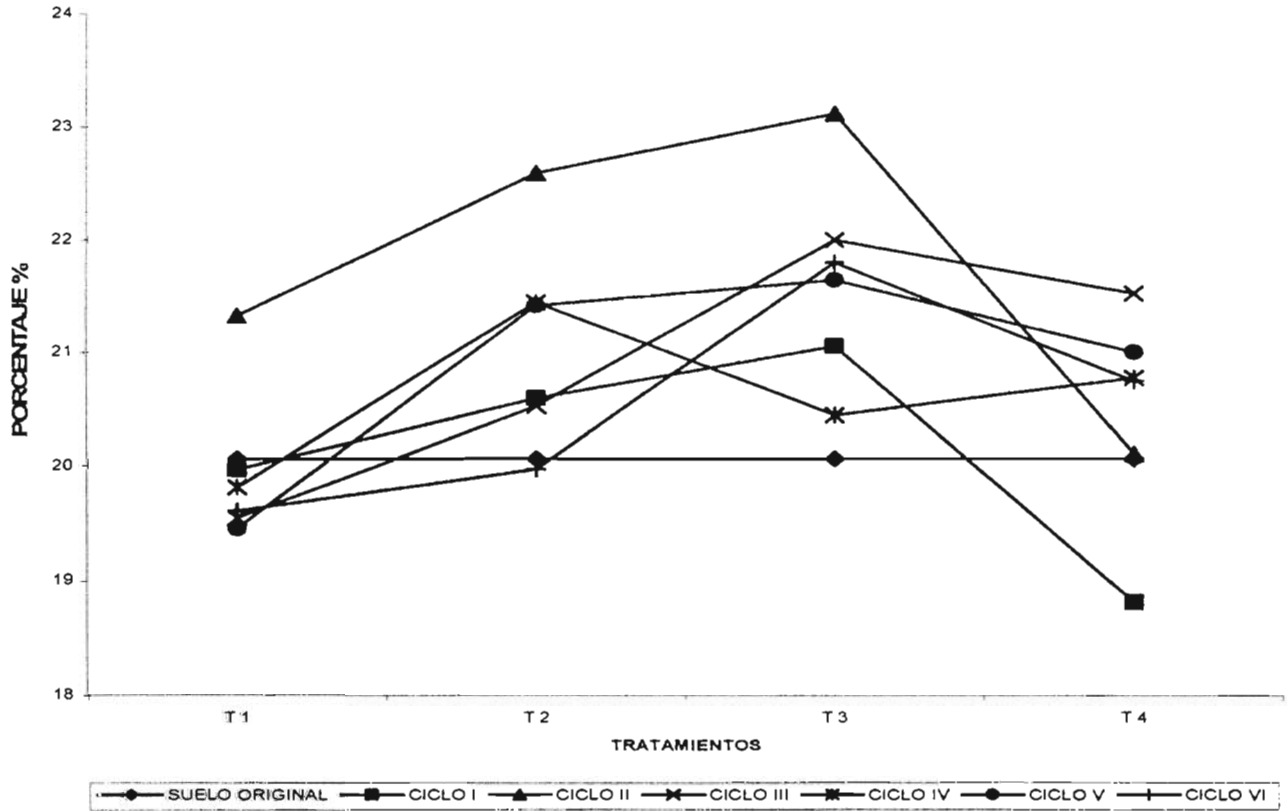
GRAFICA 2. DENSIDAD REAL



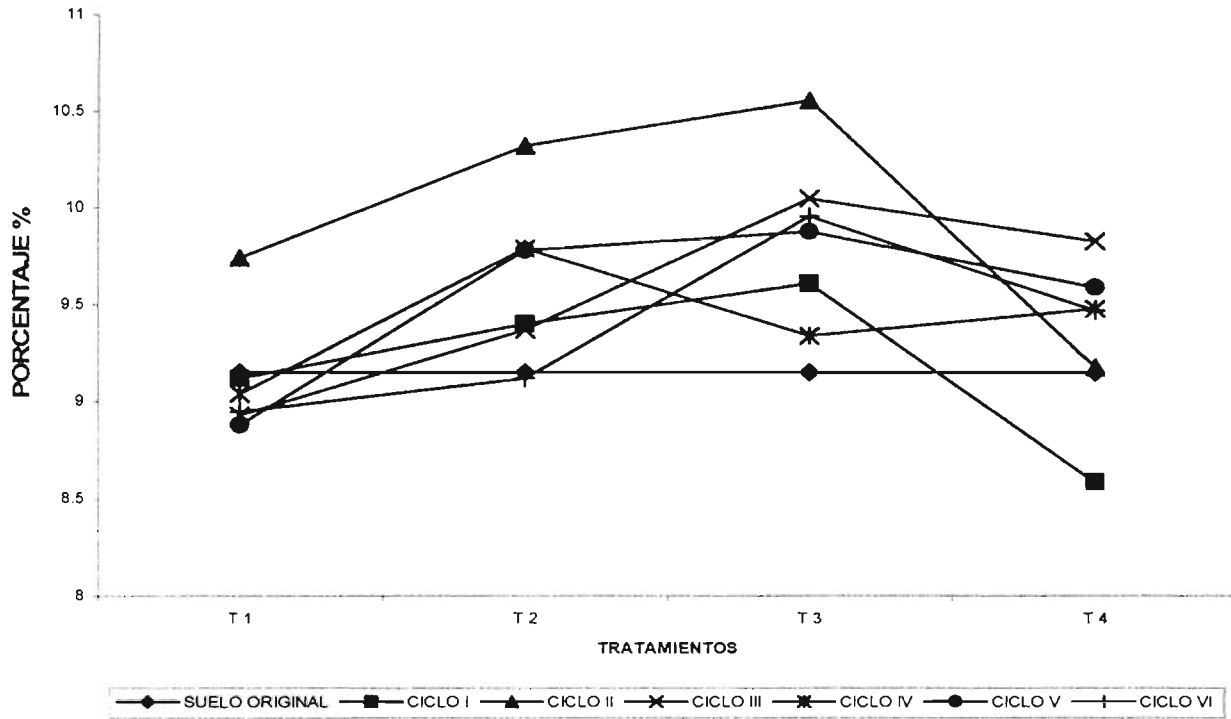
GRAFICA 3. PORCENTAJE DE ESPACIOS POROSOS



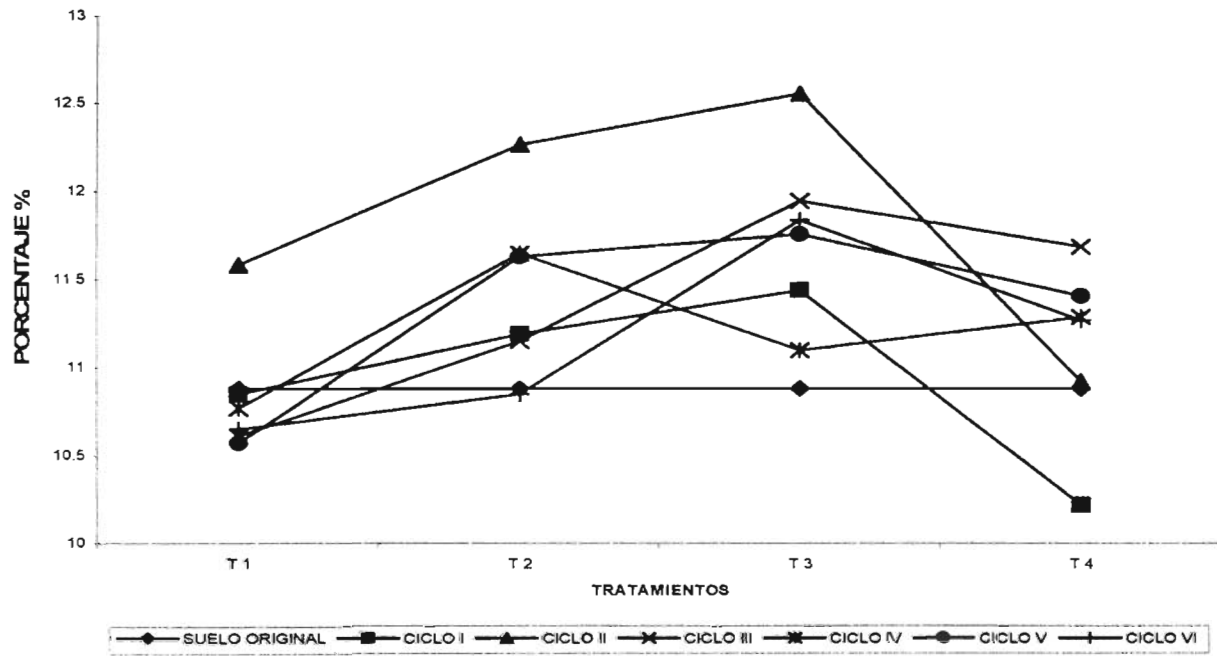
GRAFICA 4. CAPACIDAD DE CAMPO



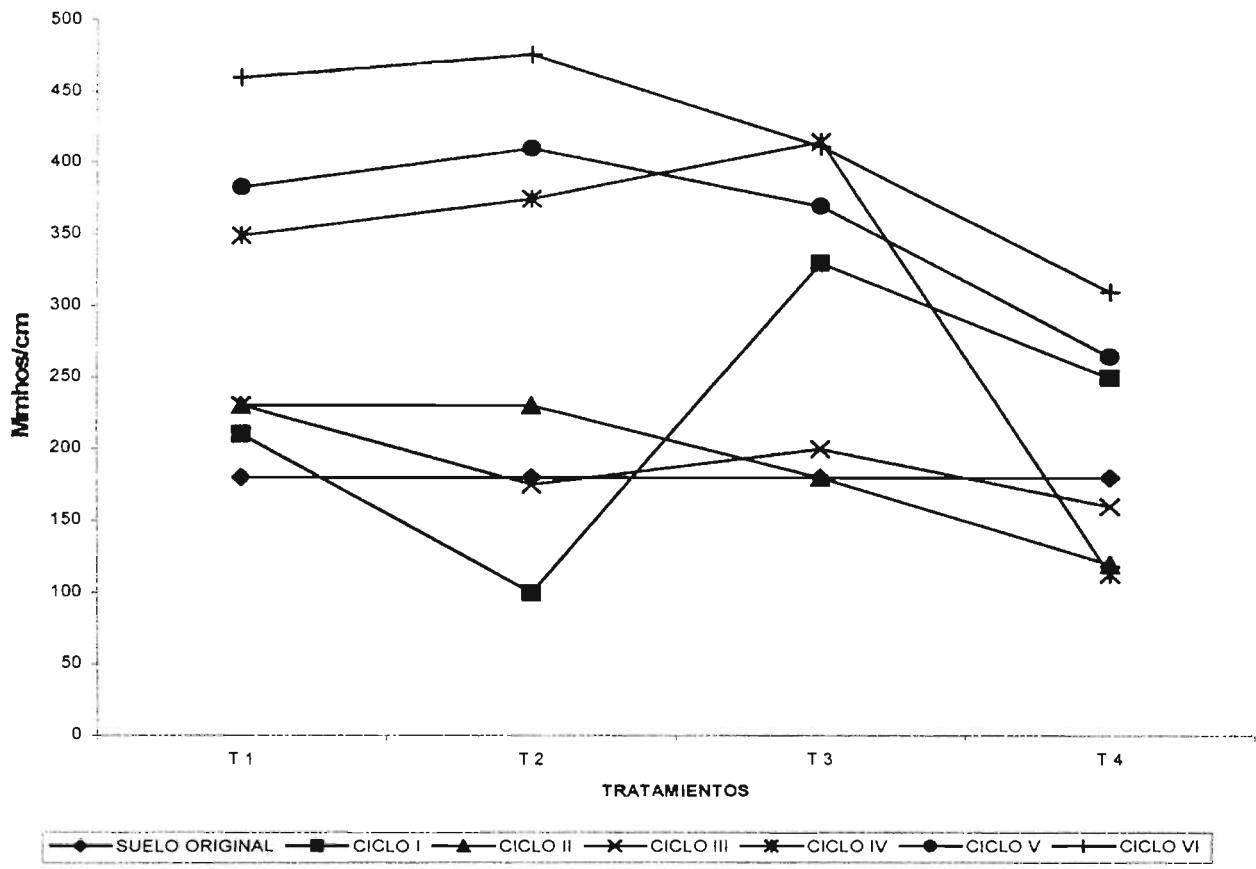
GRAFICA 5. AGUA DISPONIBLE



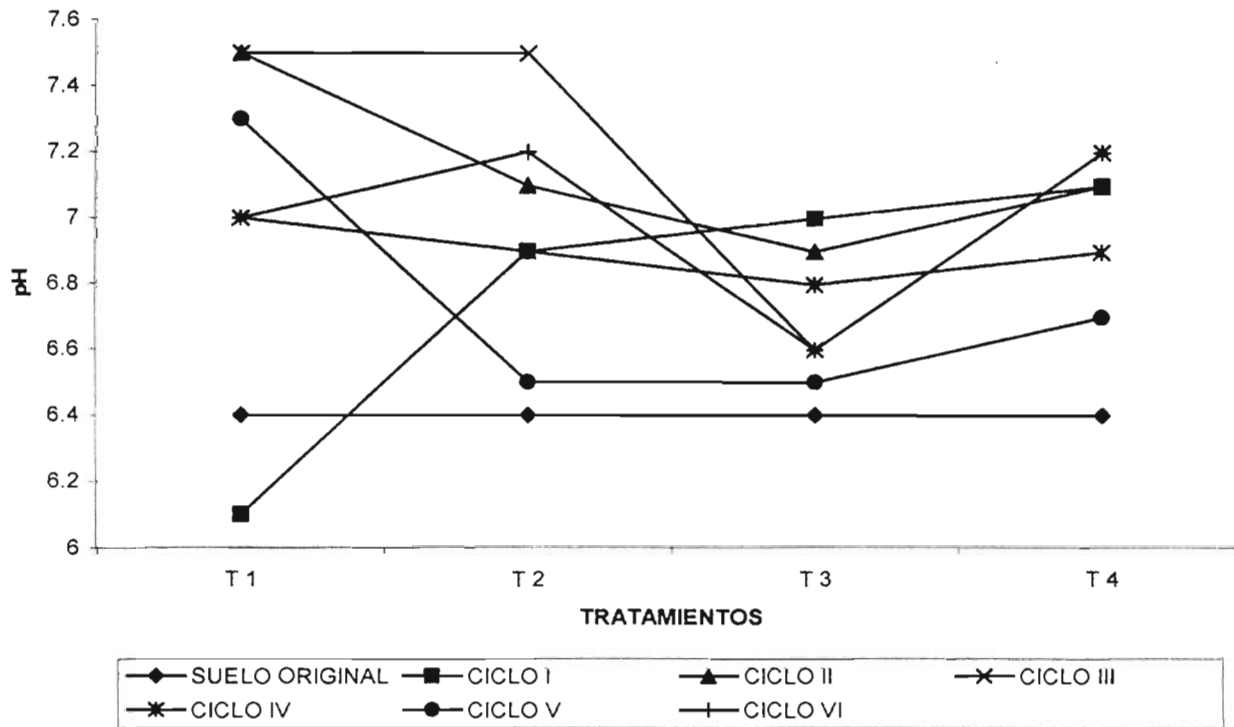
GRAFICA 6. PUNTO DE MARCHITES PERMANENTE



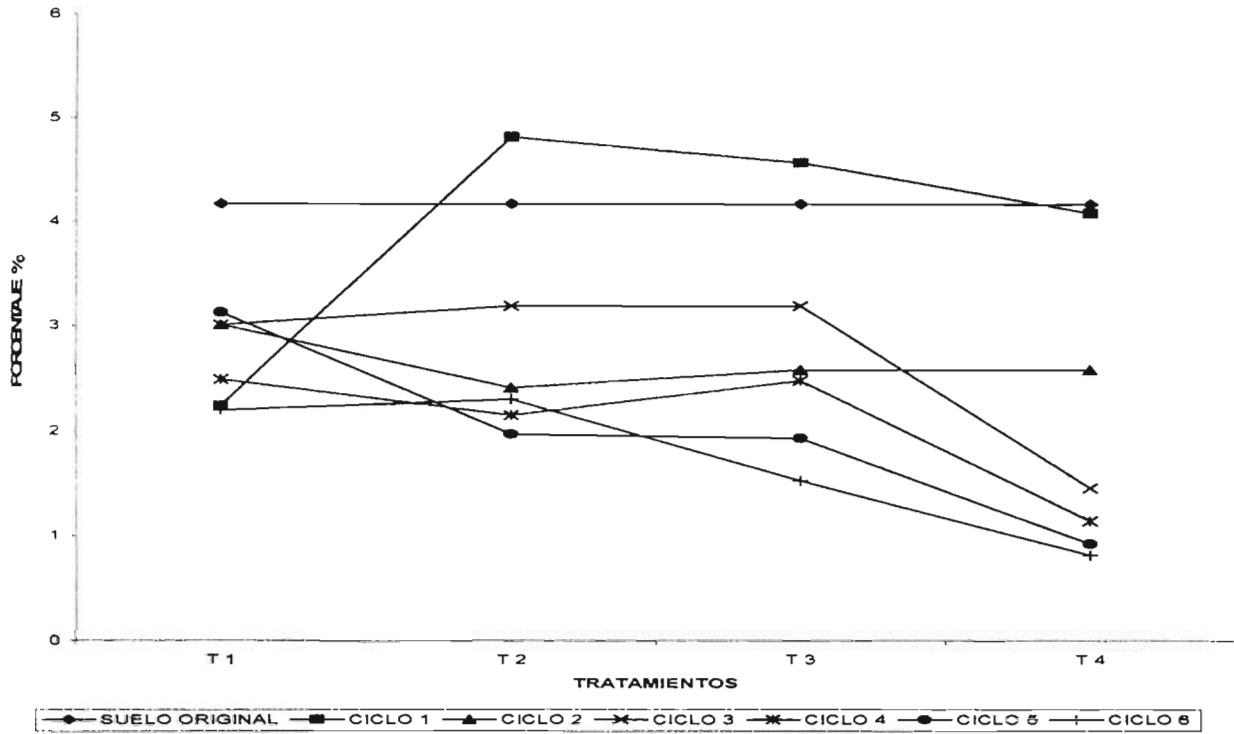
GRAFICA 7. CONDUCTIVIDAD ELECTRICA



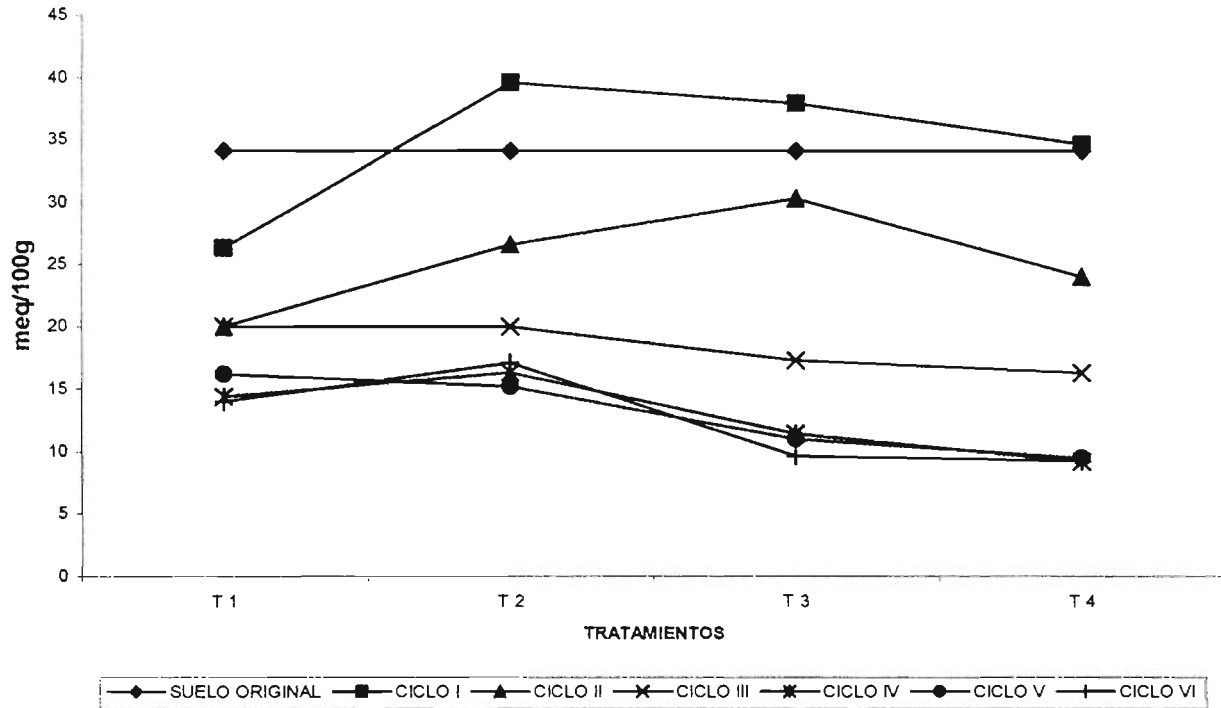
GRAFICA 8. pH



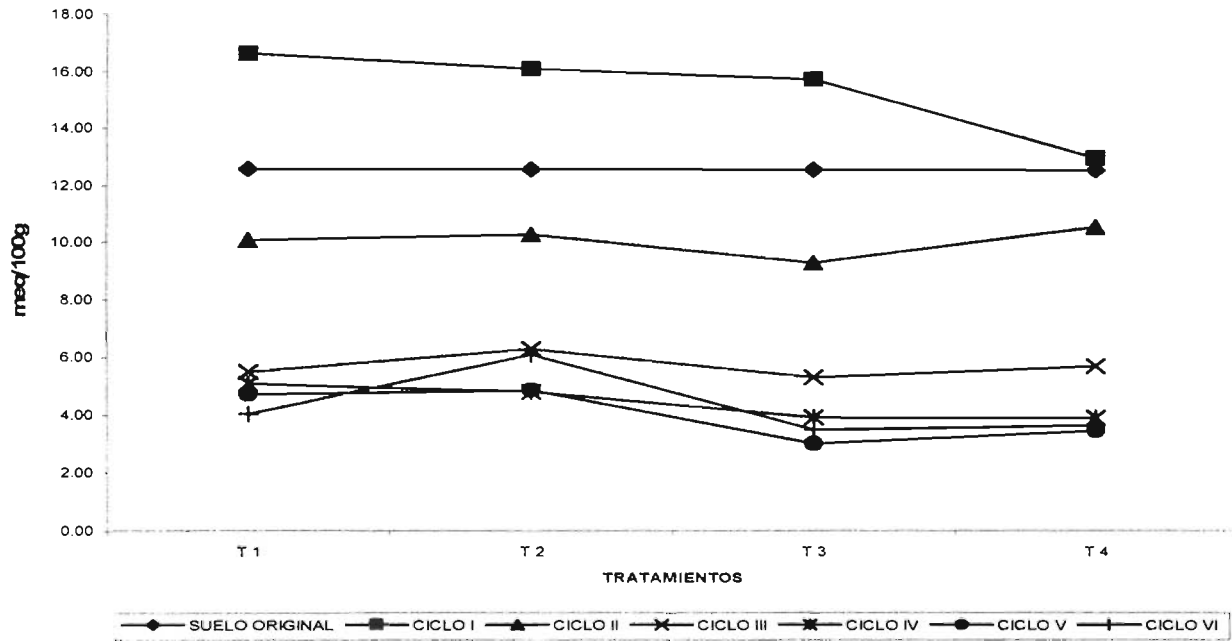
GRAFICA 9. MATERIA ORGANICA



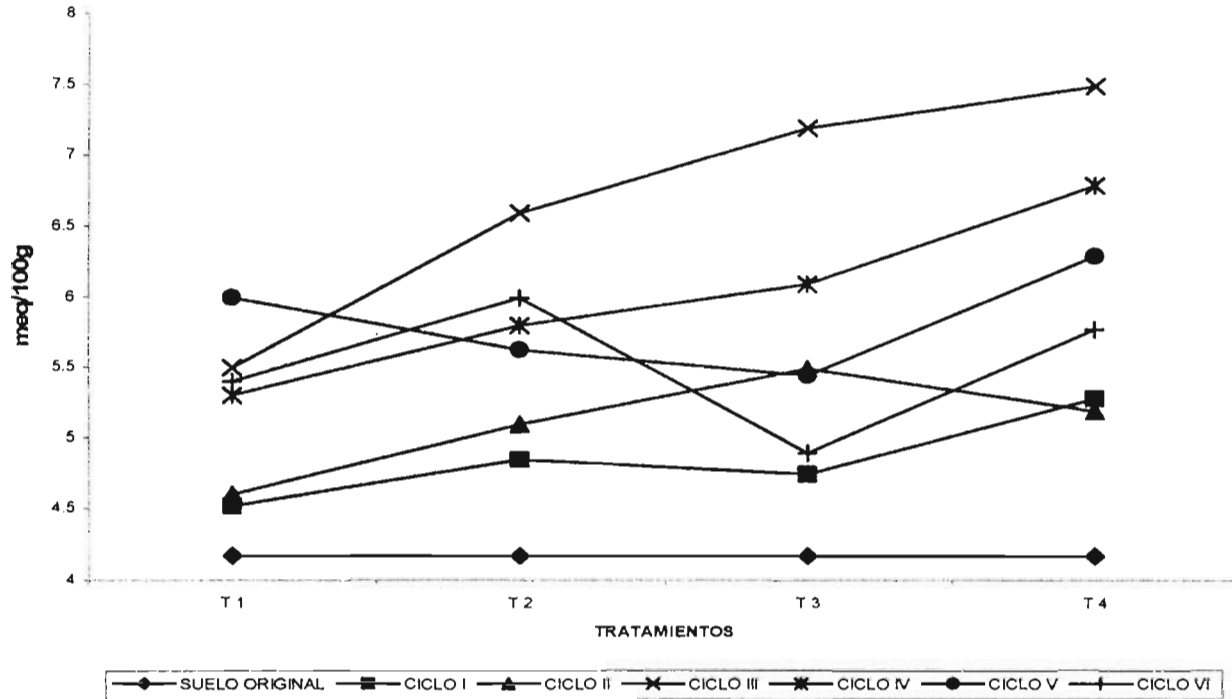
GRAFICA 10. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO



GRAFICA 11. CALCIO

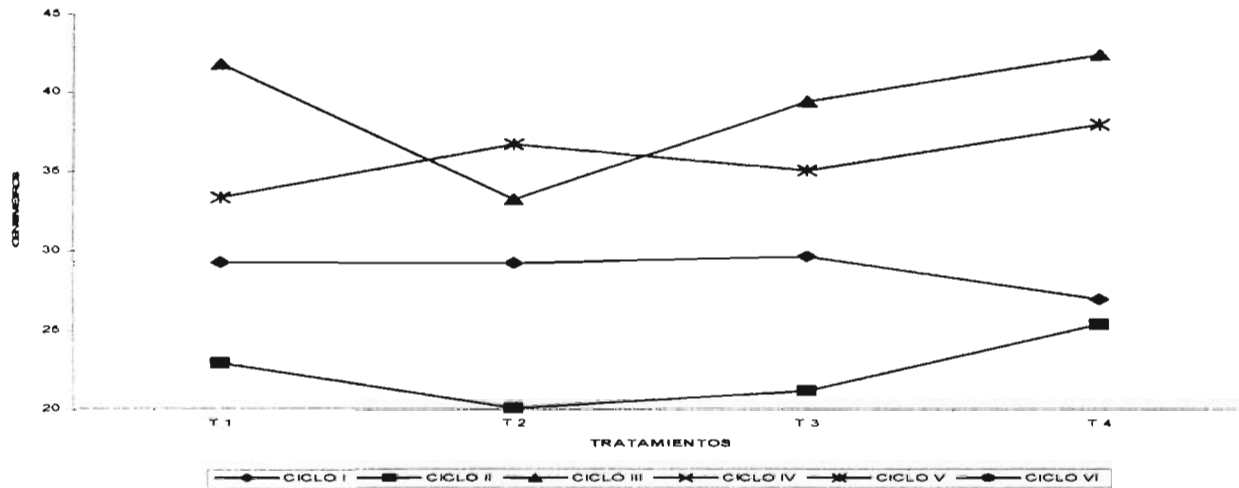


GRAFICA 12. MAGNESIO

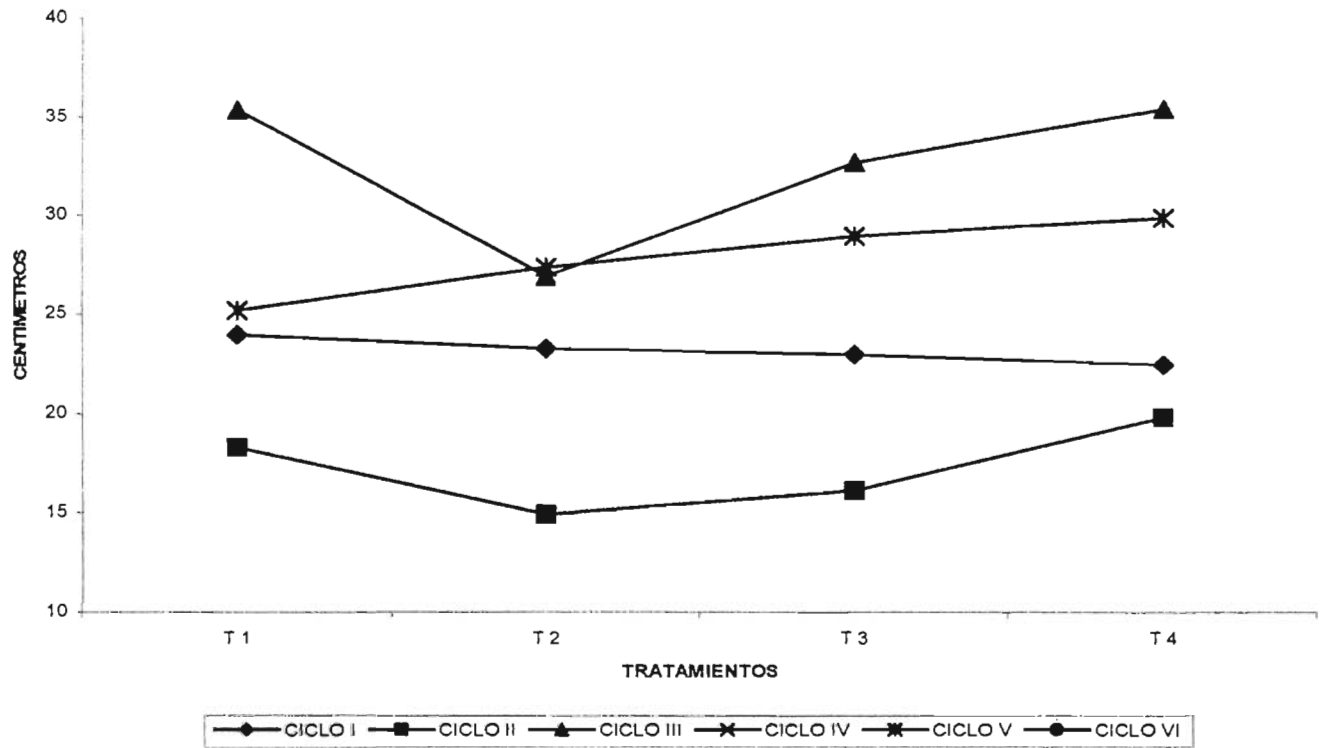


GRAFICOS DE LAS ESPECIES HORTICOLAS

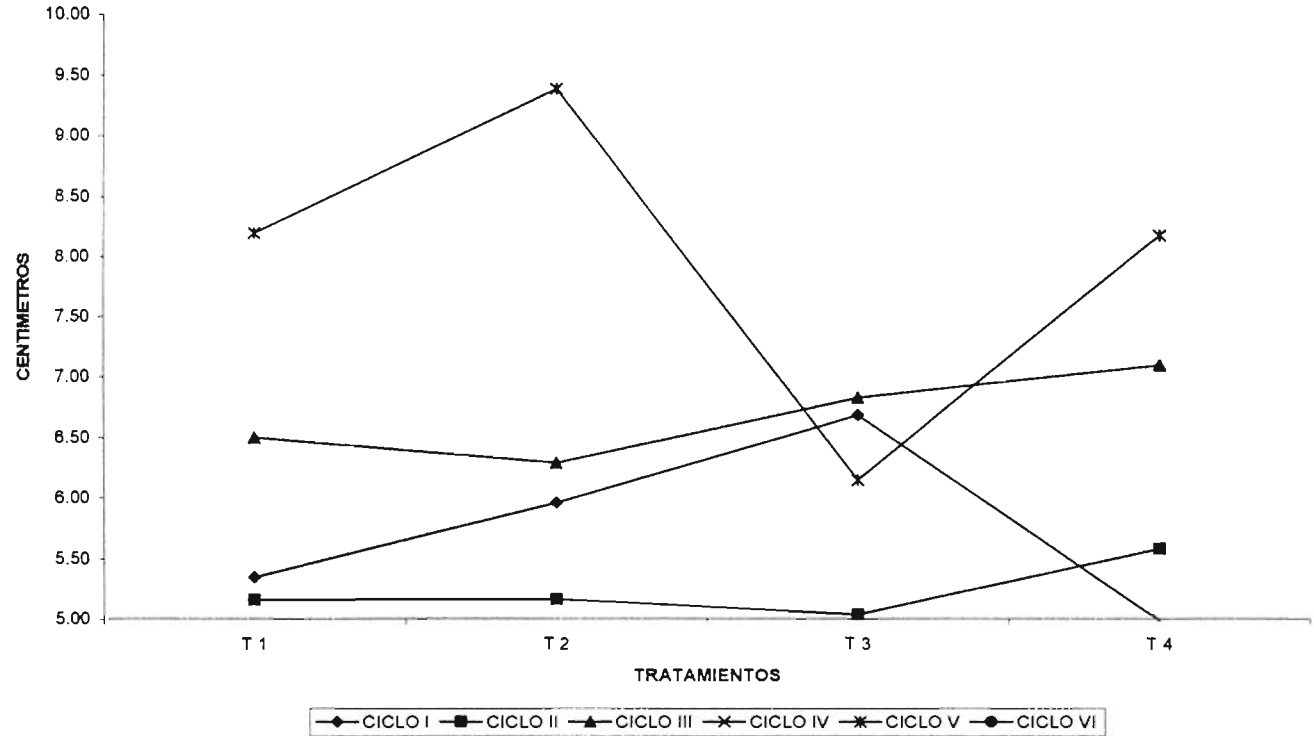
GRAFICA 13. LONGITUD TOTAL DE CHICHARO



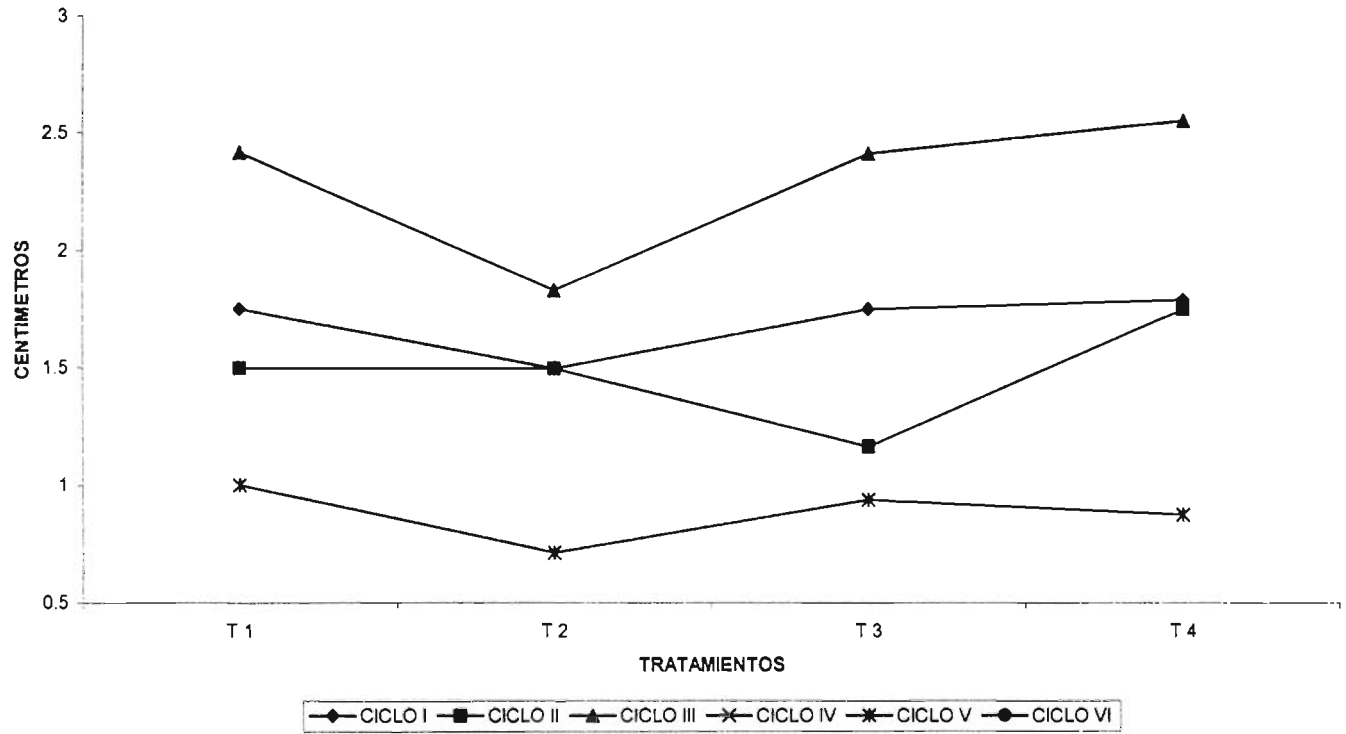
GRAFICA 14. LONGITUD AEREA DE CHICHARO



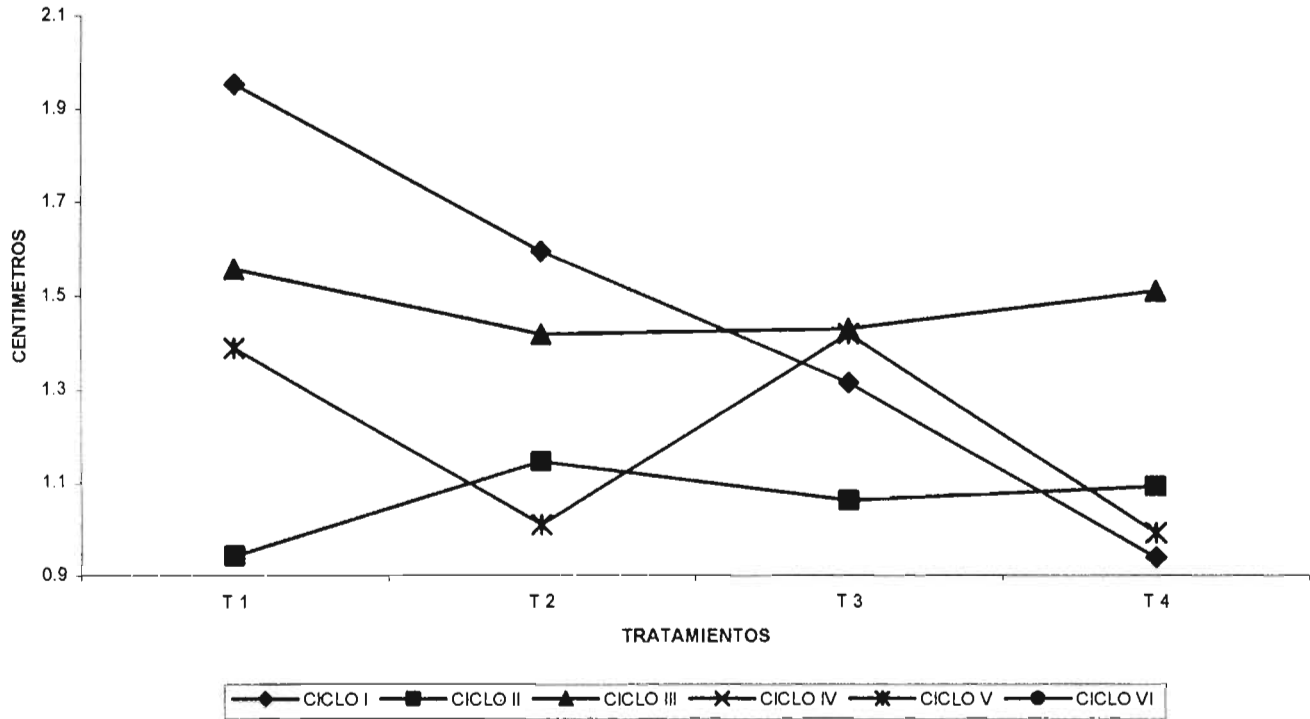
GRAFICA 15. LONGITUD DE RAIZ DE CHICHARO



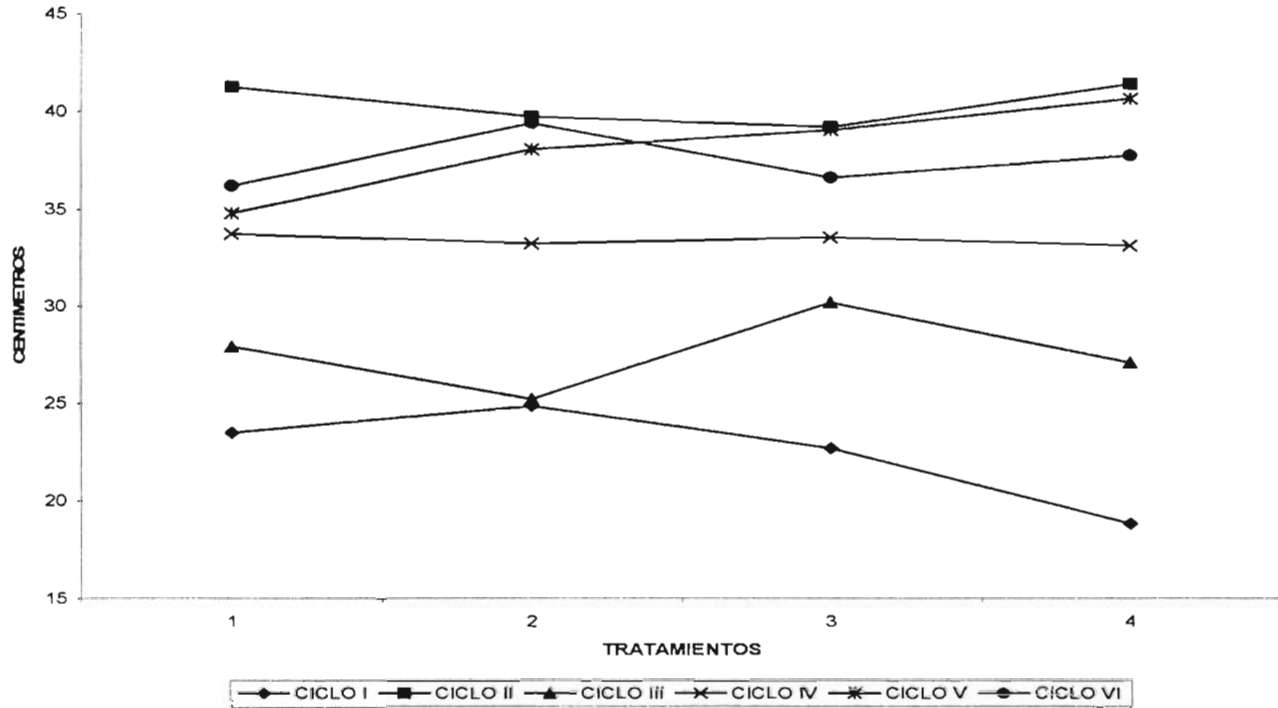
GRAFICA 16. NUMERO DE VAINAS



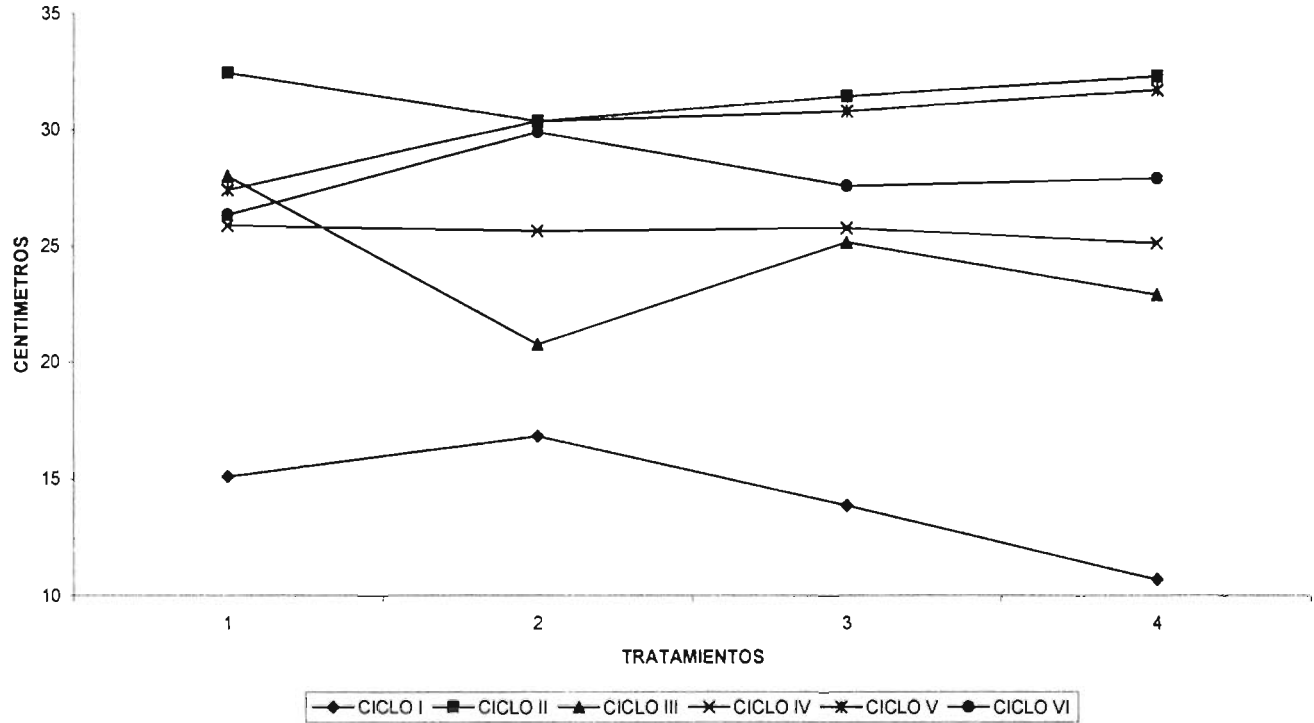
GRAFICA 17. PESO FRESCO DE VAINAS



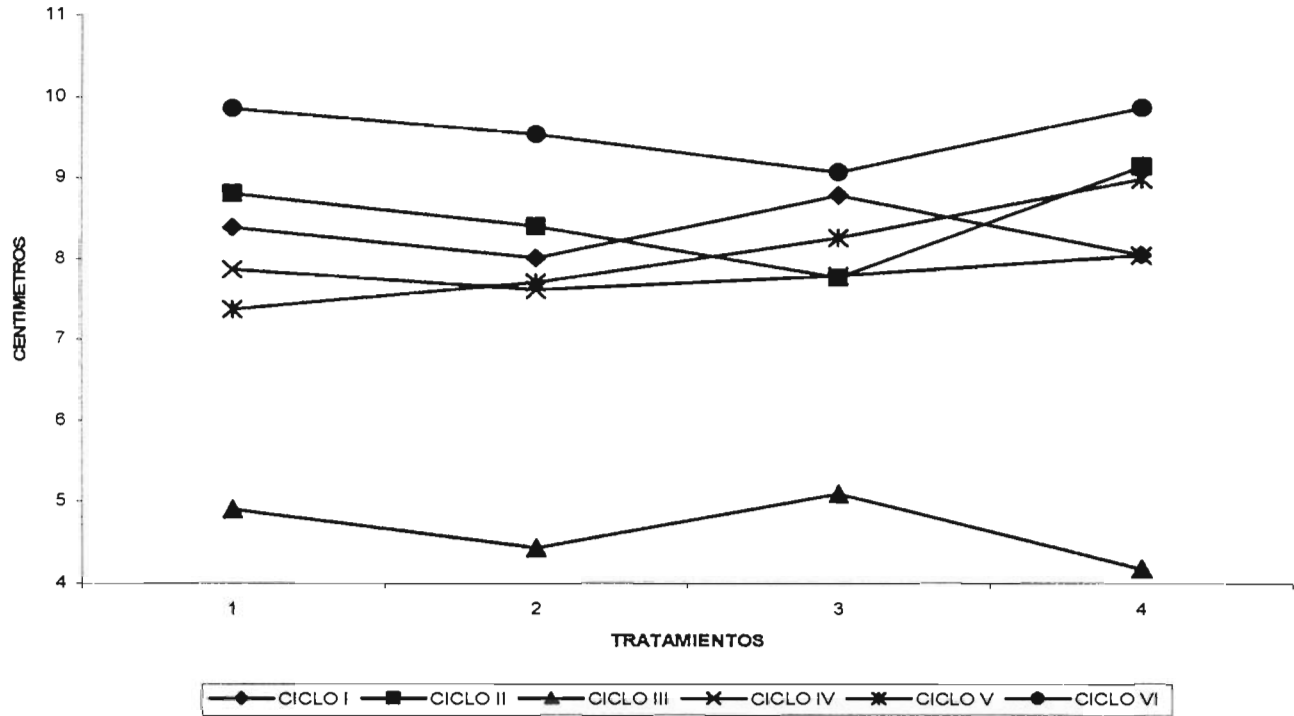
GRAFICA 18. LONGITUD TOTAL DE RABANO



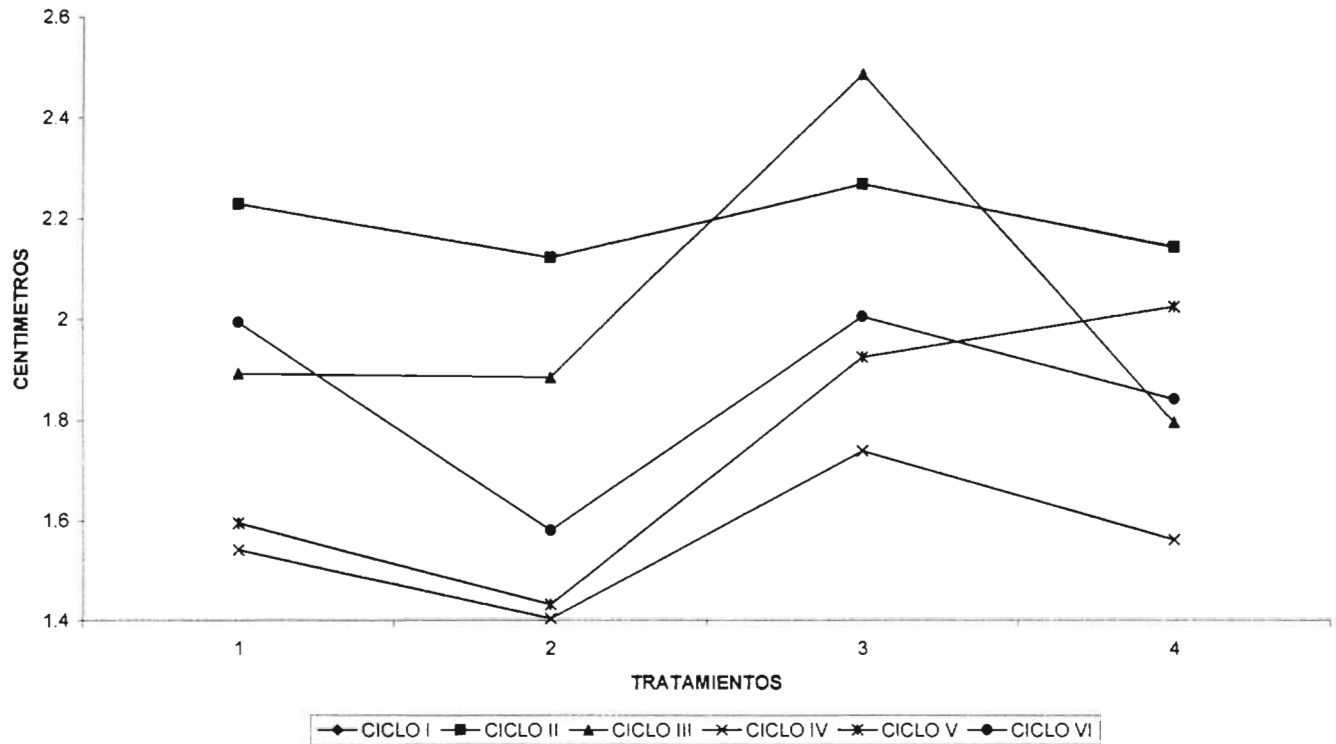
GRAFICA 19. LONGITUD AEREA DE RABANO



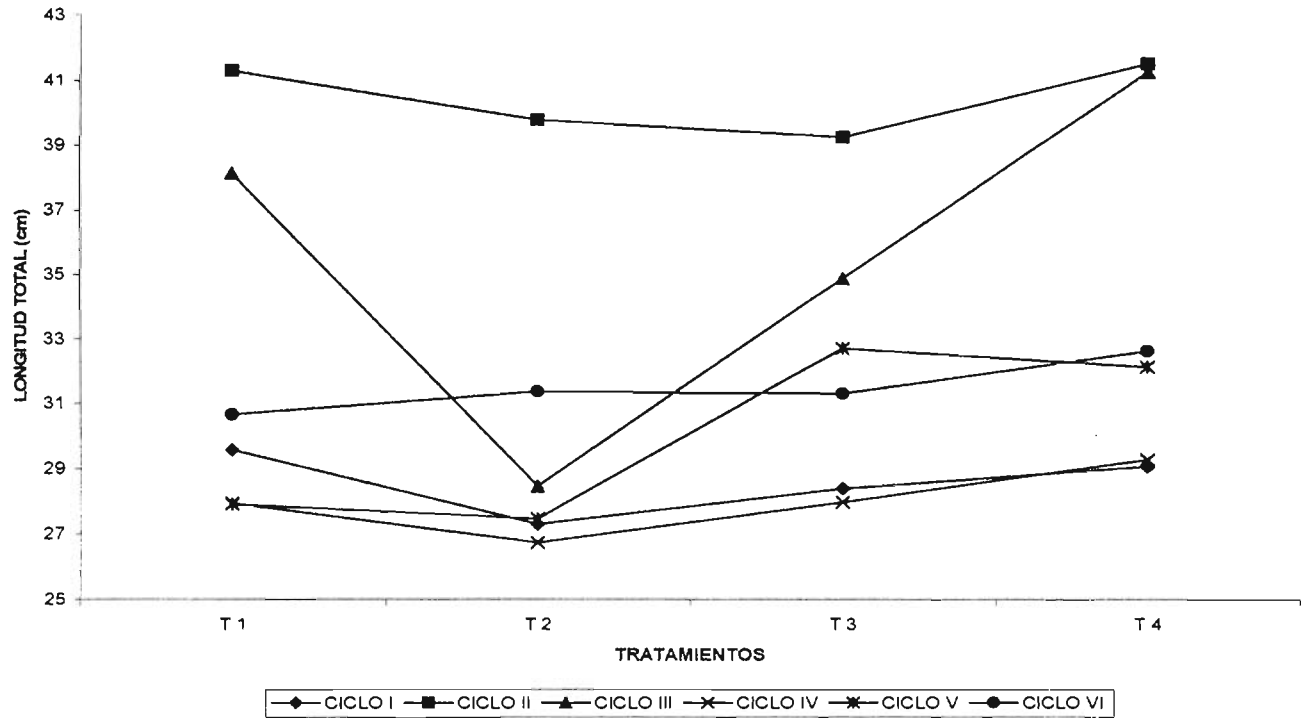
GRAFICA 20. LONGITUD DE RAIZ DE RABANO



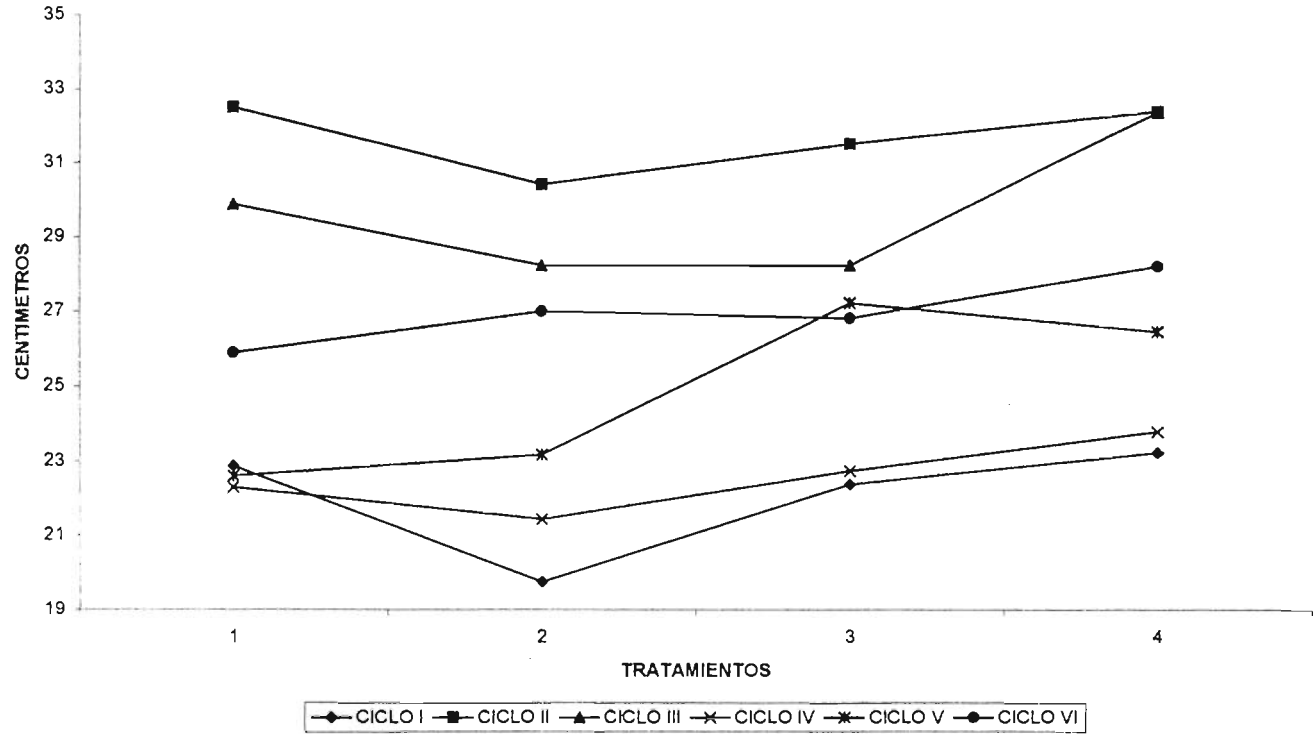
GRAFICA 21. DIAMETRO DE RAIZ DE RABANO



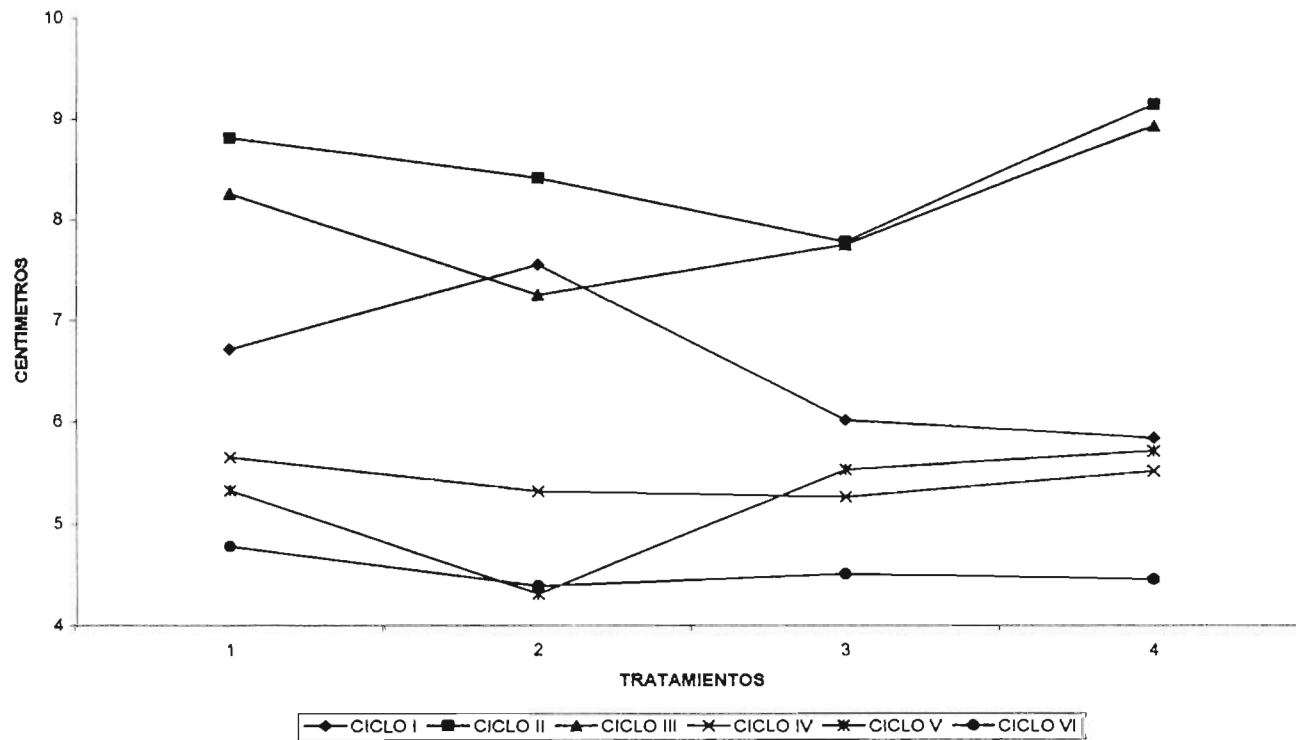
GRAFICA 22. LONGITUD TOTAL DE ZANAHORIA



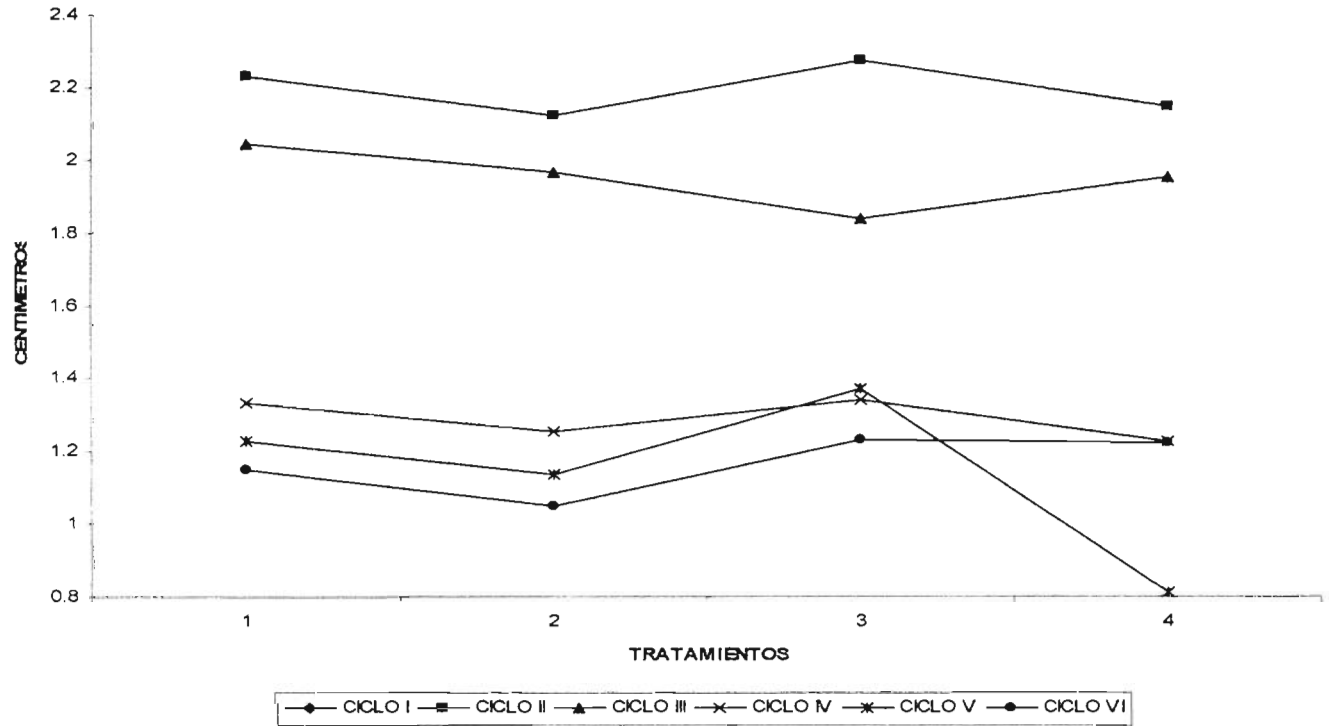
GRAFICA 23. LONGITUD AEREA DE ZANAHORIA



GRAFICA 24. LONGITUD DE RAIZ DE LA ZANAHORIA



GRAFICA 25. DIAMETRO DE RAIZ DE ZANAHORIA



11. GLOSARIO

Antrópicas: cuando se ha producido un descenso del nivel freático regional y la intrusión de capas de agua salinas, situadas en zonas más profundas, como consecuencias de la sobreexplotación.

Ascochyta spp. Hongo que tiene como hospedante casi exclusivo al chícharo. Es responsable de la enfermedad conocida con el nombre común de tizón del chícharo. Sus lesiones se desarrollan en las hojas, en la base del tallo y en las vainas. Las manchas foliares denotan su origen por el color café claro. Una característica común es la presencia de puntitos negros (picnidios) esparcidos en las manchas. Las hojas infectadas mueren prematuramente y las vainas experimentan una pudrición.

Densidad real, aparente y Porcentaje de porosidad: Los materiales porosos como el suelo tienen dos densidades, una real y una aparente. La densidad real depende únicamente de la composición química del material que forma el suelo, mientras que, la densidad aparente depende además de la textura y la estructura, es decir, del tamaño y forma de los agregados y partículas del suelo. El método utilizado para obtener la densidad real, la densidad aparente y porcentaje de espacios porosos fue por medio del método de la probeta.

Menas: mineral metalífero antes de limpiarse.

Purines: compuesto orgánico que aparece como producto final del metabolismo de animales superiores, y como sustancias de reserva en vegetales.

Textura. La textura es la proporción relativa de las diferentes partículas minerales (arenas, limos y arcillas) que contiene un

suelo. Y de acuerdo a ésta, se pueden distinguir varias clases texturales.

12. BIBLIOGRAFIA

1. Aguilera Contreras, C., y Martínez Elizondo, R. 1990. *Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera*. Universidad Autónoma Chapingo. México.
2. Comisión Nacional de Ecología (CONADE). 1989-1990. *Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente*.
3. Coras Merino, Pablo M. 1996. *Calidad Química del Agua para Riego*. Universidad Autónoma Chapingo. México.
4. J. Cajuste L., y Carrillo, G.M.C. *La Contaminación por Metales Pesados en Suelos Agrícolas*. Primer simposio nacional de agricultura sustentable: una opción para el desarrollo sin deterioro ambiental. Tesis. Colegio de Postgraduados M.O.A. 199 Montecillo, México.
5. FAO. 1976. *Contaminación del Suelo*.
6. García, Inés. 1993. *Causas de la Salinidad en Suelos*. México.
7. Gascón Figueroa, Julio. 2001. *Estudio Analítico de las Variaciones Físicas, Químicas y Fisicoquímicas de un Suelo Agrícola bajo Riego con Cuatro Tipos de Agua*. Tesis. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM.
8. González Hernández, Patricia. 1998. *Efectos del Riego con Diferentes Calidades de Agua, sobre las Características Fisicoquímicas del Suelo*. Tesis. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM.
9. Little, T.M., y Jackson Hills, F. 1991. *Métodos Estadísticos para la Investigación en la Agricultura*. Trillas. México.
10. López Torres M. 1994. *Horticultura*. Trillas, México.
11. Maroto Borrego, J.V. 1992. *Horticultura Herbácea Especial*. Mundi Prensa, Madrid.

12. México. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. 1993. *Informe Sobre el Estado del Medio Ambiente en México*.
13. Narro Farías, Eduardo. 1994. *Física de Suelos con Enfoque Agrícola*. Trillas, México.
14. Ortiz Olguín, Miguel. 1997. *La Calidad de las Aguas de Riego*. Universidad Autónoma Chapingo. México.
15. Raymond Sánchez, L.B. 1985 *Horticultura*. Blume, Barcelona.
16. Rojo M.G.E., López C.J., y Martínez R.R. 1993. *Estudio del Grado de Contaminación por Sustancias Tóxicas en Aguas Residuales con Fines de Riego en el Municipio de Teoloyucan, Estado de México*. FES Cuautitlán.
17. Sarlí, E. Antonio. 1980. *Tratado de Horticultura*. Hemisferio Sur. Argentina.
18. Valadez López A. 1994. *Producción de Hortalizas*. UTEHA-Limusa, México.