

ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA  
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES  
Y CONSERVACION BIOLOGICA

**DETERMINACION DEL GRADO DE  
CONTAMINACION POR FERTILIZANTES  
EN UNA ZONA DE PRODUCCION  
INTENSIVA DE TOMATE**

Tesis presentada como requisito parcial para optar al  
título de Ingeniero Agrónomo en el grado  
académico de licenciatura

Por

**Moshe Pinargote Fuentes**

Honduras, 26 de abril de 1997



ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA  
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES  
Y CONSERVACION BIOLOGICA

DETERMINACION DEL GRADO DE  
CONTAMINACION POR FERTILIZANTES  
EN UNA ZONA DE PRODUCCION  
INTENSIVA DE TOMATE


Tesis presentada como requisito parcial para optar al  
título de Ingeniero Agrónomo en el grado  
académico de licenciatura

Por

**Moshe Pinargote Fuentes**

Honduras, 26 de abril de 1997

El autor concede a la Escuela Agrícola Panamericana permiso para reproducir y distribuir copias de este trabajo para fines educativos. Para otras personas físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor.



Moshe Pinargote Fuentes

Honduras, 26 de abril de 1997

## DEDICATORIA

- A Jehová Dios por haberme guiado durante toda mi vida.
- A mis padres, Julio Augusto y Rosa Laura, porque me formaron y me dieron las bases morales y espirituales para salir adelante y ser un individuo útil a la sociedad.
- A mi hermana Yara, mi segunda madre y mi hermano Pablo por estar siempre pendientes de mí en todo momento.
- A mis hermanas y hermanos Roxana, Indira, Julio César, Jorge, Julio Augusto y Julio Alberto quienes con su apoyo y confianza han contribuido a la obtención de mi título.
- A mis hermanos políticos.
- A mi tío Daniel.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos:

- A Jehová Dios, por haberme permitido llegar hasta aquí.
- Al Dr. Wilfredo Colón, mi asesor principal, no sólo por su apoyo constante en la elaboración de este documento, sino también por haber sido un buen ejemplo y haberme guiado durante estos cuatro años que he pasado fuera de mi país.
- A la Dra. Ana Margoth Andrews e Ing. Janeth Moncada por sus valiosas contribuciones y orientaciones como miembros del comité asesor.
- Al Grupo Confraternidad de Cristianos Zamoranos (CCZ).
- Al Departamento de Recursos Naturales y Conservación Biológica.
- Al Banco del Pacífico por haberme brindado el apoyo financiero necesario para culminar mis estudios.
- A mis compañeros Inti Jaramillo, Alvaro Gómez, Ricardo López, Angel Jara, Hernán Barrón y Wilfredo Márquez.
- A mis amigos y amigas.
- A todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron al feliz término de esta etapa de mi carrera.

## CONTENIDO

|   |      |
|---|------|
| Portada.....  | i    |
| Derechos de autor.....  | ii   |
| Página de firmas.....   | iii  |
| Dedicatoria.....  | iv   |
| Agradecimientos.....  | v    |
| Contenido.....  | vi   |
| Índice de Cuadros.....  | vii  |
| Índice de Figuras.....  | viii |
| Índice de Anexos.....   | ix   |
| Resumen.....  | x    |
| <br>  |      |
| I. INTRODUCCION.....  | 1    |
| 1.1 OBJETIVOS.....  | 2    |
| <br>  |      |
| II. REVISION DE LITERATURA.....                               | 3    |
| 2.1.EL TOMATE.....  | 3    |
| 2.1.1. ORIGEN Y CLASIFICACION.....                            | 3    |
| 2.2. SUELOS.....  | 3    |
| 2.3. FERTILIZACION.....                                       | 4    |
| 2.4. EL CICLO DEL NITROGENO.....                              | 5    |
| 2.5. DESCOMPOSICION DE LA UREA.....                           | 5    |
| 2.6. EL pH DEL SUELO.....                                     | 5    |
| 2.7. CONTAMINACION AMBIENTAL POR FERTILIZANTES AGRICOLAS..... | 6    |
| <br>  |      |
| III. MATERIALES Y METODOS.....                                | 8    |
| 3.1. DESCRIPCION GEOGRAFICA.....                              | 8    |
| 3.2. CARACTERISTICAS DEL AREA DE ESTUDIO.....                 | 8    |
| 3.3. SELECCION DEL SITIO.....                                 | 8    |
| 3.4. ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO.....                         | 8    |
| 3.5. FERTILIZACION.....                                       | 9    |
| 3.6. MEDICION DE NITRATOS.....                                | 9    |
| 3.7. MEDICION DE SALINIDAD.....                               | 10   |
| 3.8. MEDICION DE PRECIPITACION Y HUMEDAD.....                 | 10   |
| 3.9. MEDICION DEL NIVEL DE AGUA SUBTERRANEA.....              | 10   |
| 3.10. ANALISIS DE SUELO.....                                  | 12   |
| 3.11. ANALISIS ESTADISTICO.....                               | 12   |

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....      | 13 |
| 4.1. NITRATOS.....                   | 13 |
| 4.2. SALINIDAD.....                  | 24 |
| 4.3. NIVEL DEL AGUA SUBTERRANEA..... | 27 |
| 4.4. MATERIA ORGANICA.....           | 30 |
| 4.5. PRECIPITACION.....              | 31 |
| 4.6. pH.....                         | 33 |
| V. CONCLUSIONES.....                 | 34 |
| VI. RECOMENDACIONES.....             | 35 |
| VII. LITERATURA CITADA.....          | 36 |

## INDICE DE CUADROS

| Cuadro  | Pág. |
|---|------|
| 1. Concentración de nitratos (mg/l) registrada en la estación de muestreo 1 durante los meses de agosto y septiembre de 1996 en el invernadero G de Zona III, Departamento de Horticultura.....                           | 13   |
| 2. Concentración de nitratos (mg/l) registrada en la estación de muestreo 2 durante los meses de agosto y septiembre de 1996 en el invernadero G de Zona III, Departamento de Horticultura.....                           | 14   |
| 3. Promedio de las concentraciones de nitratos encontradas en las estaciones 1 y 2 durante los meses de agosto y septiembre en el invernadero G de Zona III, Departamento de Horticultura.....                            | 14   |
| 4. Conductividad eléctrica (mmhos/l) de cuarenta puntos de muestreo Tomados en tres fechas en el invernadero G de Zona III, Departamento de Horticultura, 1996.....   | 24   |
| 5. Diferencia en conductividad eléctrica (mmhos/l) entre hileras en 3 fechas.....   | 24   |
| 6. Diferencia en conductividad eléctrica (mmhos/l) entre bloques en tres fechas.....  | 26   |
| 7. Profundidad del nivel del agua subterránea (cm) en las estaciones de muestreo 1 y 2 en el Invernadero G de Zona III, Departamento de Horticultura, durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre de 1996..... | 29   |
| 8. Materia orgánica (%) encontrada al inicio y final del estudio a 15, 30 y 60 cm de profundidad en el invernadero G de Zona III, Departamento de Horticultura, 1996.....   | 30   |
| 9. Datos de precipitación de tres estaciones de muestreo (mm/día) desde junio hasta septiembre de 1996.....   | 31   |
| 10. pH del suelo medido a tres profundidades en cuatro puntos de muestreo el 13 de junio y 19 de octubre de 1996.....   | 33   |



## INDICE DE FIGURAS

| Figura   | Pág. |
|--|------|
| 1. Diagrama de las estaciones de muestreo de agua subterránea, ubicadas dentro del invernadero G de Zona III, Departamento de Horticultura.....  | 9    |
| 2. Ubicación de las estaciones de agua y medición del nivel de agua subterránea en el invernadero G de Zona III, Departamento de Horticultura.....   | 11   |
| 3. Relación existente entre el coeficiente del cultivo (kc) y la concentración de nitratos (mg/l) durante los meses de agosto y septiembre de 1996.....                                      | 15   |
| 4. Relación existente entre el tiempo del cultivo (días después del trasplante) y la concentración de nitratos (mg/l) durante los meses de agosto y septiembre de 1996.....                  | 17   |
| 5. Relación existente entre la precipitación más riego (mm/semana) y la concentración de nitratos (mg/l) durante los meses de agosto y septiembre de 1996.....                               | 19   |
| 6. Relación existente entre la precipitación más riego (mm/semana) y el nivel del agua subterránea (cm) en las estaciones 1 y 2 durante los meses de agosto y septiembre de 1996.....        | 20   |
| 7. Relación existente entre el coeficiente del cultivo(kc) y el nivel del agua subterránea en las estaciones 1 y 2 durante los meses de agosto y septiembre de 1996.....                     | 21   |
| 8. Relación existente entre el tiempo del cultivo (días después de la siembra) y el nivel del agua subterránea en las estaciones 1 y 2 durante los meses de agosto y septiembre de 1996..... | 23   |
| 9. Distribución de los cuarenta puntos de muestreo de conductividad eléctrica y la agrupación de hileras y bloques para análisis estadístico.....  | 25   |

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 10. | Medición de la profundidad a la que se encuentra el agua subterránea (cm) en las estaciones 1 y 2 en el invernadero G de Zona III, Departamento de Horticultura.....                          | 27 |
| 11. | Relación existente entre la precipitación (mm/semana) y el nivel del agua subterránea (cm) en las estaciones 1 y 2 durante los meses de agosto y septiembre de 1996.....                      | 28 |
| 12. | Precipitación medida en mm/semana en la estación 1 adyacente al invernadero G de Zona III, Departamento de Horticultura, durante el período comprendido entre junio y septiembre de 1996..... | 31 |
| 13. | Precipitación medida en mm/semana en la estación 2 durante el período comprendido entre junio y septiembre de 1996.....   | 32 |
| 14. | Precipitación medida en mm/semana en la estación 3 durante el período comprendido entre junio y septiembre de 1996.....   | 32 |

## INDICE DE ANEXOS

|   |    |
|---|----|
| Anexo 1. Análisis de cuatro puntos de muestreo a tres profundidades<br>el 13 de junio de 1996 en el invernadero G de Zona III,<br>Departamento de Horticultura.....   | 38 |
| Anexo 2. Análisis de cuatro puntos de muestreo a tres profundidades<br>el 19 de octubre de 1996 en el invernadero G de Zona III,<br>Departamento de Horticultura..... | 39 |

## RESUMEN

El tomate es una de las hortalizas más cultivadas en el mundo, pero para obtener rendimientos económicamente rentables, necesita grandes cantidades de fertilizantes de tipo potásico y nitrogenado. Este último por tener gran movilidad en la solución del suelo, sobre todo en forma de nitratos, puede causar contaminación de las aguas subterráneas al ser aplicado sin tomar en cuenta factores como humedad, temperatura, aireación del suelo y drenaje. Por estas razones, esta investigación tuvo como objetivos, registrar los cambios en la concentración de nitratos en el agua subterránea, proveer información básica sobre el uso de fertilizantes nitrogenados y su efecto en la salinidad del suelo y determinar la posible contaminación de agua subterránea bajo este sistema de producción. El estudio se llevó a cabo bajo invernadero en la sección de producción de hortalizas, zona III, del Departamento de Horticultura y consistió en establecer estaciones de donde se tomaban las muestras para el análisis de nitratos, además en estas estaciones se medía el nivel del agua subterránea. Fueron ubicados cuarenta puntos de muestreo para el análisis de conductividad eléctrica, además se midió la cantidad de fertilizante aplicado y el volumen de agua aplicado en forma de riego. Se midió también la precipitación en tres estaciones. Finalmente los resultados obtenidos indicaron que existe contaminación puntual por nitratos; el nivel del agua subterránea está limitando el crecimiento radicular y afectando los rendimientos. Se encontró también elevados niveles de conductividad eléctrica, lo que indica que existe una alta concentración de sales.

## I INTRODUCCION

El constante crecimiento de la población mundial, implica la necesidad de producir una mayor cantidad de alimentos; para cumplir con esto, la agricultura se apoya en el uso de prácticas específicas, con el fin de mejorar la productividad por unidad de área. Algunas de estas prácticas tales como la fertilización, el control de plagas y enfermedades, entre otras, requieren el uso de productos químicos; por otra parte la utilización de la maquinaria agrícola implica también la necesidad de usar productos de origen fósil, aumentando de esta manera la contaminación del medio ambiente con lo cual se está degradando la salud humana.

Según Troeh y Hobbs (1980) miles de químicos son usados para diferentes propósitos agrícolas, muchos de estos son aplicados en grandes extensiones de cultivos, lo cual trae consigo perturbaciones severas al medio ambiente. El uso de fertilizantes está en incremento debido a que estos generan una respuesta significativa en el aumento de la producción.

Actualmente en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, se cultiva una gran variedad de frutas y hortalizas donde se hace uso de estas prácticas; el tomate, (*Lycopersicon esculentum*) es sin duda uno de ellos, en el cual se requiere aplicaciones considerables de fertilizante sobre todo de tipo nitrogenado y potásico.

Las mayores cantidades de nitrógeno (N) son absorbidas por las plantas en forma de los iones amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Este último por tener carga negativa es muy soluble en agua y no puede adherirse a los coloides del suelo, razón por la cual es de fácil lixiviación. Algunos de los factores involucrados en estas pérdidas son: el método de fertilización, la cantidad de fertilizante aplicado, el tipo de suelo y otras condiciones, por ejemplo climáticas o malas prácticas de riego (Tisdale *et al.*, 1993).

La lixiviación de nitratos debe ser cuidadosamente controlada ya que puede causar serios impactos ambientales, de los cuales, el más común es la contaminación del agua subterránea, al aumentar las concentraciones a niveles no adecuados (Nijhoff, 1983). Eventualmente, esta agua saldrá a la superficie, ya sea en lagos, ríos o manantiales promoviendo el desarrollo de plantas y algas que viven en este medio; finalmente, habrá una descomposición de la materia orgánica, lo que traerá consigo consumo de oxígeno, reduciendo de esta forma la disponibilidad del mismo para los peces (Foth, 1985).

Los objetivos de esta investigación fueron:

1. Registrar los cambios en la concentración de nitratos en el agua subterránea.
2. Proveer información básica sobre el uso de fertilizantes nitrogenados y su efecto en la salinidad del suelo.
3. Determinar la posible contaminación de agua subterránea bajo este sistema de producción.

## II. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. El Tomate

El tomate es una planta herbácea, anual de crecimiento determinado o indeterminado dependiendo de la variedad que se cultive, su flor es perfecta, en racimos que varían de 4 a 12 flores, su fruto es una baya, que presenta ciertas variaciones tanto en forma como en color, obteniéndose así, frutos redondos, periformes, existiendo rojos, amarillos, escarlata y naranja (Montes, 1995).

#### 2.1.1. Origen y clasificación

El tomate se originó en Suramérica en las regiones comprendidas entre Perú y Ecuador, demostrado por la alta cantidad de especies encontradas en los valles andinos. El tomate, es sin duda alguna, la hortaliza que más se siembra en todo el mundo después de la papa. Su alta popularidad para el consumo, se debe a que es una buena fuente de vitamina A y C (Villarreal, 1982).

Desde que Muller en 1940 publicó su revisión del género que incluye el tomate, se ha considerado como correcta la designación de *Lycopersicon esculentum* Mill. perteneciente a la familia solanaceae del orden tubiflorales (Cásseres, 1980).

### 2.2. Suelos

Según Montes (1995) el tomate puede ser cultivado en un amplio rango de suelos, con texturas desde franco arenosas hasta arena arcillosas, siempre y cuando exista buen drenaje. Los suelos profundos, francos, fértiles, con buen contenido de materia orgánica (2.5 a 3.5 %), bien drenados y con pH de 5.0 - 6.5 son los mejores para el cultivo.

Las raíces del tomate pueden penetrar eventualmente hasta 1.20 m de profundidad si no hay barrera en su penetración. Por esta razón y bajo condiciones ideales, el tomate que se produce bajo riego debe recibir riegos profundos que humedezcan más que la capa superficial de la tierra, además el campo de tomate debe mantenerse siempre próximo a capacidad de campo, de tal forma que, por ningún motivo se permita la marchitez temporal del cultivo, ya que esta condición sería favorable para el desarrollo de enfermedades que podrían terminar con el cultivo (Foth, 1985).

Por otra parte, un suelo saturado de agua durante un día puede causar marchitamiento o incluso la muerte de las plantas de tomate debido a que estas son muy sensibles a la falta de oxígeno. El suelo, además, debe proporcionar un medio libre de factores inhibidores tales como acidez o alcalinidad extrema, organismos causantes de enfermedades, sustancias tóxicas y excesos de sales o capas impermeables (Foth, 1985).

### 2.3. Fertilización

El hombre, tiene gran influencia en el medio ambiente, con el uso de N y P en forma de fertilizantes agrícolas. Fertilizantes comerciales de N son aplicados en forma de nitratos o de amonio. Este último es convertido rápidamente a  $\text{NO}_3^-$  en el suelo. El exceso de  $\text{NO}_3^-$  no tomado por las plantas puede entrar en las quebradas o corrientes o alcanzar las aguas subterráneas. El estiércol animal es también usado como fertilizante nitrogenado. El N orgánico y la urea en el estiércol son convertidos a amoníaco y finalmente a nitrato en el suelo (Hitt, 1996).

La fertilización es la aplicación de elementos nutritivos al suelo con el propósito de obtener la máxima rentabilidad en la producción. Sin embargo, hay que tener en cuenta ciertas consideraciones:

- Si reponemos las pérdidas de elementos nutritivos es posible conservar la fertilidad del suelo.
- El aumento en la dosis de fertilización no es proporcional al incremento en el rendimiento del cultivo.
- La eficiencia de un determinado elemento está limitado por la cantidad y disponibilidad de los otros elementos. Además cabe indicar que existen pérdidas de elementos nutritivos por causas como lixiviación, extracción por los cultivos ó fijación irreversible en los suelos (Fuentes, 1994).

En el caso del tomate, se ha calculado que éste requiere de 270 kg de N, 70 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y 500 kg de  $\text{K}_2\text{O}$  para producir 65,000 kg de tomate por hectárea (Geraldson, 1978). Se recomienda poner todo el fósforo (P) y el potasio (K) al momento del trasplante con 1/3 de la dosis de N. Los 2/3 restantes pueden ser aplicados en 2-3 veces, 15 y 30 días después del trasplante ó 10, 25 y 60 días después del trasplante respectivamente (Montes, 1995).



## 2.4. El ciclo del Nitrógeno

El N, al igual que los distintos elementos químicos, vuelve a pasar por un mismo compartimiento del medio ambiente después de un tiempo determinado, razón por la cual se puede hablar de un carácter cíclico del sistema, y establecer la secuencia de compuestos químicos y procesos por los que este elemento pasa. La atmósfera media actual contiene cerca de un 79 % de N en forma de  $N_2$ . La incorporación de este elemento al suelo se puede dar por procesos como fijación, que puede ser por las descargas eléctricas (N- $NO_3^-$ , N- $NH_4^+$ ), por actividad microbiana, simbiótica ( $NH_3$ ) o no simbiótica N-orgánico y N- $NO_3^-$  o por medio de la industria. Una vez fijado el N en el suelo, este puede pasar por varios procesos como la mineralización, que es el paso de N-orgánico a N- $NO_3^-$  y N- $NH_4^+$  por medio de hidrólisis. La nitrificación es el paso de N- $NH_4^+$  a N- $NO_3^-$  por oxidación enzimática. Puede ocurrir la fijación de N- $NH_4^+$  en arcillas, adsorción en las arcillas, o lavado ( $NO_3^-$ ). La desnitrificación que es la conversión de  $NO_3^-$  a  $N_2$  y tiene lugar en medios anaeróbicos; y la volatilización, es la pérdida de N del suelo al pasar de  $NH_4^+$  a N- $NH_3$  en suelos calizos y arenosos (Porta *et al.*, 1994).

## 2.5. Descomposición de la urea

La denitrificación y la volatilización de amoníaco causan pérdidas de N del suelo hacia la atmósfera. La volatilización en forma de amoníaco puede llegar a ser significativa especialmente si el suelo es alcalino. La urea reacciona con agua para formar carbonato de amonio:  $CO(NH_2)_2 + 2H_2O = (NH_4)_2CO_3$ , luego este en condiciones alcalinas puede reaccionar con una base y entonces volatilizarse en forma de  $NH_3$  (Troeh *et al.*, 1980).

## 2.6. El pH del suelo

Según Foth (1985), existen varios efectos del pH sobre el suelo, de los cuales, se citan los siguientes:

Biológicos.- Ciertos organismos pueden tolerar pequeñas variaciones en el pH; otros tienen un rango de tolerancia mucho más amplio.

Disponibilidad de nutrientes.- Existen ciertos nutrientes que a determinado rango de pH se fijan con otros quedando no disponibles para la planta.

Toxicidad.- Algunos elementos se vuelven tóxicos cuando el pH del suelo está alrededor de 4.5, por ejemplo, hierro y aluminio.

Preferencia de las plantas por pH.- Las plantas se desarrollan mejor en ciertos rangos de pH; por ejemplo, el tomate crece bien en suelos con pH de 5.0 a 6.5.

## 2.7 Contaminación ambiental por fertilizantes agrícolas.

No todo el fertilizante aplicado es consumido por las plantas. Existen excedentes en forma de iones, los cuales pueden seguir los siguientes caminos:

- Fijarse a los coloides del suelo, cuando se trata de cationes como el potasio ( $K^+$ ) o el amonio  $NH_4^+$ .
- Volatilizarse en la atmósfera, por ejemplo iones de N en las formas  $N_2$ ,  $N_2O$ , y  $NO$ .
- Ser arrastrados por las aguas superficiales tales como fósforo ( $H_2PO_4^-$  y  $HPO_4^{2-}$ ), o el  $K^+$  adherido a las partículas de suelo.
- Lixiviarse por las aguas de infiltración como es el caso de  $NO_3^-$  (Fuentes, 1994).

En el caso de los fertilizantes nitrogenados, la incorporación al suelo causa una serie de efectos complejos en el movimiento de los compuestos solubles de N, por ejemplo, la urea  $(NH_2)_2CO$ . En condiciones normales todos los compuestos solubles de N son oxidados a nitratos, los cuales por tener carga negativa no pueden adherirse a los coloides, encontrándose por lo tanto en la solución del suelo. Estos nitratos pueden tomar rutas diferentes tales como:

- Ser absorbidos por las plantas.
- Absorbidos por los microorganismos del suelo.
- Perderse en la atmósfera en forma de N u óxidos de N como consecuencia del proceso de desnitrificación.
- Lixiviarse en las aguas de drenaje.

Resulta difícil determinar la suerte que pueda correr el N añadido al terreno, sin embargo, cabe destacar que sólo una parte de los nitratos contenidos en el suelo procede de los fertilizantes. En muchos casos la mayoría procede de la descomposición de la materia orgánica. La parte más preocupante son los nitratos que se lixivian los mismos que al alcanzar las aguas subterráneas pueden producir concentraciones por arriba de lo aceptado por la FAO (50 mg/l) para agua potable (Ayers y Westcot, 1985).

El ingerir altas cantidades de nitratos, procedentes de agua o de las hojas de las plantas (ensaladas, verduras) en cuyo cultivo se ha abusado de los fertilizantes nitrogenados, puede tener efectos nocivos a la salud, ya que parte de esos nitratos al ser ingeridos, reaccionan con las aminas y forman las nitrosaminas las cuales son carcinogénicas (Fuentes, 1994).

Por otro lado, existe la preocupación por los niños pequeños, ya que el biberón preparado con agua que contiene más de 50 mg de  $NO_3^-$  /l se cree que entraña un riesgo de ataques de metahemoglobinemia infantil aguda (bebés azules). Además, el nitrato puede causar una diversidad de otras enfermedades: bocio, malformaciones y enfermedades cardíacas (Andrews, 1997).

Se conoce, que gran parte del nitrato contenido en las aguas subterráneas procede de la descomposición de la materia orgánica del suelo y al salir a ríos o quebradas y alcanzar concentraciones superiores a los 30 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup> / l, produce un desarrollo excesivo de algas y plantas acuáticas. En algunos casos ocurre una rápida multiplicación de las algas en toda la profundidad a la que llega la luz solar, provocando un excesivo consumo de oxígeno; en otros casos se desarrollan algas unicelulares en la superficie del agua, que impiden la penetración de la luz, con lo cual las algas situadas debajo no pueden efectuar la fotosíntesis y se mueren. En ambos casos se producen condiciones anaeróbicas que ponen en peligro la vida de los peces y de toda forma de vida acuática. Además se añade el hecho de que al florecer algunas algas liberan un pigmento marrón que se eliminan con mucha dificultad cuando esas aguas se utilizan para el consumo humano (Ayers y Westcot, 1985). Sin embargo, en la Escuela Agrícola Panamericana no se ha encontrado, en la época de lluvia, fuentes de agua que contengan más de 0.21 mg/l de nitratos (Orihuela *et al.*, 1997).

Los conocimientos que se tienen actualmente del proceso de desnitrificación concuerdan en señalar unas importantes pérdidas de N, que pueden alcanzar en ocasiones hasta la tercera parte del N aplicado en los fertilizantes. Estas pérdidas son debidas a la restricción del aporte de oxígeno, que da lugar a la reducción de los nitratos a formas gaseosas. En muchos terrenos se forman grandes masas de tierra en condiciones anaeróbicas durante los períodos húmedos, en donde se produce una desnitrificación importante durante el ciclo de crecimiento del cultivo (Fuentes, 1994).

En general, el tomate es una de las hortalizas más cultivadas en el mundo, pero para obtener rendimientos económicamente rentables, necesita grandes cantidades de fertilizantes de tipo potásico y nitrogenado. Este último por tener gran movilidad en la solución del suelo, sobre todo en forma de nitratos, puede causar contaminación de las aguas subterráneas al ser aplicado sin tomar en cuenta factores como humedad, temperatura, aireación del suelo y drenaje. Por estas razones, esta investigación tuvo como objetivos, registrar los cambios en la concentración de nitratos en el agua subterránea, proveer información básica sobre el uso de fertilizantes nitrogenados y su efecto en la salinidad del suelo y determinar la posible contaminación de agua subterránea bajo este sistema de producción.

## EL MATERIALES Y METODOS

### 3.1. Descripción Geográfica

El estudio se llevó a cabo en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, ubicada en el km 30 de Tegucigalpa carretera a oriente, en el valle del río Yeguaré, en el Departamento de Francisco Morazán, Honduras, durante el período comprendido entre el 8 de junio y el 8 de octubre de 1996.

### 3.2. Características del área de estudio

El sitio de la investigación se encuentra a 800 msnm, 14°30' latitud norte, 87°02' longitud oeste con una estación lluviosa comprendida entre los meses de mayo a octubre y una estación seca de noviembre a abril. Para el año 1996, de acuerdo con la estación meteorológica del Departamento de Agronomía, los promedios de precipitación y temperatura fueron de 1059 mm y 22° C, respectivamente.

### 3.3. Selección del sitio

El sitio seleccionado fue Zona III de la sección de producción de hortalizas del Departamento de Horticultura, de donde se seleccionó un invernadero con un área de 1200 m<sup>2</sup>.

### 3.4. Establecimiento del cultivo

El tomate fue trasplantado el 12 de junio de 1996; a un distanciamiento de 0.30 m entre plantas y 1.5 m entre hileras; es decir, a una densidad de 22,200 plantas por hectárea. se cultivó tomate de tipo indeterminado, variedad Santa Cruz. Se eligió este cultivo, debido a los grandes requerimientos de N por hectárea (250 kg), por lo que, durante el ciclo del cultivo, podríamos esperar variación en algunos indicadores de calidad del suelo tales como la salinidad, el pH y la concentración de nitratos.

### 3.5. Fertilización

El 28 de mayo se realizó la fertilización básica con 18-46-0 ( $N-P_2O_5-K_2O$ ) a razón de 300 kg/ha; y 0-0-60 a razón de 100 kg/ha. Además se incorporaron tres toneladas de gallinaza con un tiempo de cuatro meses de almacenaje, es decir, parcialmente descompuesta. Luego se realizaron tres aplicaciones de N en forma de urea el 22 de junio, 7 de julio y 6 de septiembre en dosis de 100, 150 y 50 kg de urea/ha, respectivamente, haciendo un total de 192 kg de N en forma de urea, 138 kg de  $P_2O_5$  y 60 kg de  $K_2O$ . Las fertilizaciones fueron realizadas en bandas, ubicando el fertilizante a 10 cm de distancia de las plantas.

### 3.6. Medición de nitratos

Se recolectaron, semanalmente, muestras de agua en dos estaciones de muestreo de agua subterránea ubicadas a 15 m y 105 m de distancia de la entrada principal del invernadero. Se eligió estas distancias con el fin de evitar el efecto de borde. Las estaciones consistían en tubos de PVC de dos pulgadas de diámetro, perforados completamente, enterrados hasta una profundidad de 120 cm rodeados con grava gruesa (Figura 1). Al obtener las muestras de agua en estas estaciones, se analizaron para determinar su contenido de nitratos en forma inmediata utilizando un colorímetro marca HACH modelo DR 100, del Laboratorio de Suelos del Departamento de Agronomía de Zamorano.

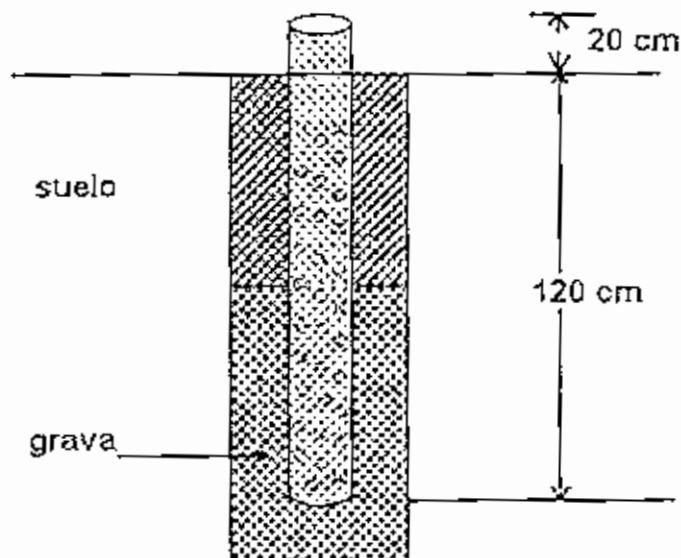


Figura 1. Diagrama de las estaciones de muestreo de agua subterránea ubicadas dentro del invernadero G, Zona III Departamento de Horticultura.

### 3.7. Medición de salinidad

La recolección de muestras de suelo para análisis de salinidad se llevó a cabo en tres etapas. Se establecieron cuarenta puntos fijos de muestreo, de los cuales se tomaron muestras de suelo en los primeros diez centímetros de profundidad. Las fechas de recolección fueron: 10 de agosto, 7 de septiembre y 8 de octubre. Se analizó la conductividad eléctrica, de cada uno de los puntos, utilizando un puente de conductividad marca YSI modelo 31, en el Laboratorio de Suelos del Departamento de Agronomía.

### 3.8. Medición de precipitación y humedad

Las mediciones de la precipitación se tomaron en tres lugares distintos en forma diaria, mediante el uso de pluviómetros. Una estación se encontraba adyacente al invernadero, mientras que la estación 2 y 3 quedaban a 300 m y 800 m de distancia del invernadero respectivamente.

La humedad de suelo se determinó por medio de bloques de yesos colocados a 15, 30 y 60 cm de profundidad. Se midió también el volumen total de agua utilizado en forma de riego, durante el ciclo del cultivo (33264 l) y la cantidad de fertilizante aplicado. Estos datos fueron facilitados por el Departamento de Horticultura.

### 3.9. Medición del nivel del agua subterránea

La medición del nivel del agua subterránea se llevo a cabo en las mismas estaciones de muestreo de las que se extrajo el agua para el análisis de nitratos. La Figura 2, muestra el área del invernadero con las estaciones. Se realizaron las mediciones cada semana, introduciendo un tubo de PVC de media pulgada, previamente marcado a cada centímetro.

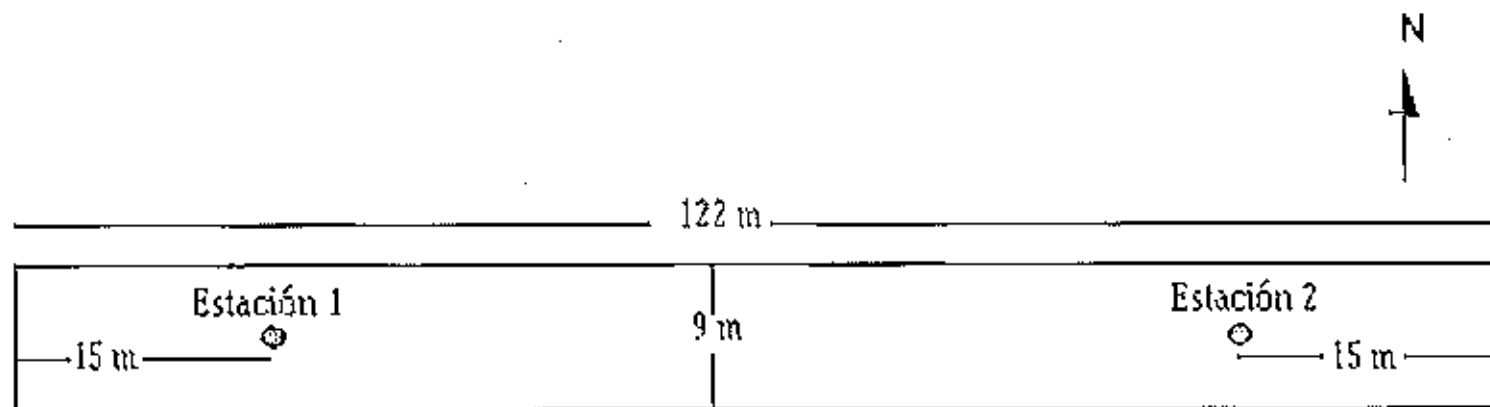


Figura 2. Ubicación de las estaciones de muestreo de agua y medición del nivel del agua subterránea en el invernadero G, Zona III Departamento de Horticultura

### 3.10. Análisis de suelo

Con el fin de conocer el tipo de suelo y sus características, un día después del trasplante se tomaron muestras al azar en cuatro puntos del área bajo invernadero, con tres muestras por punto a 15, 30 y 60 cm de profundidad. El 19 de octubre, es decir, 129 días después del trasplante, se tomaron nuevamente muestras en los mismos sitios con el propósito de determinar si existió algún cambio durante el ciclo del cultivo.

### 3.11. Análisis de Datos

El análisis estadístico de los datos se realizó en el programa SPSS para Windows y consistió en comparaciones múltiples de media, prueba t y estadística descriptiva. También se utilizó el programa Sigma Plot para realizar los análisis de regresión.



## IV. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1. Nitratos

De acuerdo con la información obtenida a través del tiempo de estudio podemos decir que existe una gran variabilidad en las concentraciones de nitratos. Es así, que en la estación 1, encontramos concentraciones de nitratos desde 64 mg/l, hasta 104 mg/l (Cuadro 1), lo cual, según la FAO (Andrews, 1997) está dentro de un rango aceptable. Sin embargo, en la estación 2 se encontraron concentraciones muy elevadas que van desde 154 mg/l hasta 488 mg/l (Cuadro 2).

Cuadro 1. Concentraciones de nitratos (mg/l) registradas en la estación 1 durante los meses de agosto y septiembre de 1996 en el invernadero G de Zona III, Departamento de Horticultura.

| Días después del trasplante | Fecha         | mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> / l | Profundidad de la muestra (cm) |
|-----------------------------|---------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| 54                          | agosto 5      | 104                                 | 67                             |
| 62                          | agosto 13     | 77                                  | 62                             |
| 69                          | agosto 20     | 64                                  | 54                             |
| 75                          | agosto 28     | 104                                 | 32                             |
| 87                          | septiembre 7  | 77                                  | 36                             |
| 94                          | septiembre 14 | 82                                  | 40                             |
| 101                         | septiembre 21 | 65                                  | 46                             |
| 108                         | septiembre 28 | 76                                  | 42                             |
| Promedio                    |               | 81.13                               | 51.68                          |

Como se puede apreciar en el Cuadro 1, las concentraciones de nitratos, en la estación 1, dadas en mg/l, varían a través del tiempo de estudio, alcanzando los puntos más altos el 5 y 26 de agosto y el más bajo el 20 de agosto. Sin embargo, la amplitud de estos rangos no es muy grande ( $s=15.4$ ).

Cuadro 2. Concentraciones de nitratos en mg/l registradas en la estación 2 durante los meses de agosto y septiembre de 1996 en el invernadero G de Zona III, Departamento de Horticultura.

| Días después de la siembra | Fecha         | mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /l | Profundidad de la muestra (cm) |
|----------------------------|---------------|------------------------------------|--------------------------------|
| 54                         | agosto 5      | 488                                | 67                             |
| 62                         | agosto 13     | 396                                | 32                             |
| 69                         | agosto 20     | 308                                | 68                             |
| 75                         | agosto 26     | 308                                | 58                             |
| 87                         | septiembre 7  | 198                                | 47                             |
| 94                         | septiembre 14 | 154                                | 51                             |
| 101                        | septiembre 21 | 330                                | 52                             |
| 108                        | septiembre 28 | 154                                | 48                             |
| Promedio                   |               | 292                                | 54                             |

En el Cuadro 2 se encuentran las concentraciones de nitratos de la estación 2 donde se puede observar que existen grandes diferencias a lo largo del estudio, es así, que tenemos desde 154 mg/l en el mes de septiembre en los días 14 y 29, hasta 488 mg/l el día 5 de agosto. El promedio observado es de 292 mg/l.

Cuadro 3. Promedio de las concentraciones de nitratos encontradas en las estaciones 1 y 2 durante los meses de agosto y septiembre, en el invernadero G, zona III, Departamento de Horticultura, 1996.

|  | Estación 1 | Estación 2 | Prueba T |
|--|------------|------------|----------|
| Concentración promedio <sup>x</sup> de NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l) | 81.13      | 292.0      | **       |

<sup>x</sup> n = 8

\*\* = Altamente significativa

Una diferencia tan significativa (Cuadro 3  $P \leq 0.01$ ) en una distancia tan corta, nos hace pensar que podría tratarse de aguas confinadas a una área determinada, delimitada por capas arcillosas que impiden el movimiento normal del agua subterránea. Este hecho, se puede apoyar con el tipo de suelo encontrado al momento de sacar las muestras a 60 cm de profundidad, en donde se observó que existían moteaduras, que no son otra cosa que pedazos de arcillas con incrustaciones de coloración negra (Anexos 1 y 2). Este fenómeno ocurrió en la parte superior del invernadero (Profesor Pablo Quintana, comunicación personal).

De acuerdo con el análisis de regresión (Figura 3) efectuado entre la concentración de nitratos (variable dependiente) en las estaciones de muestreo 1 y 2 y el coeficiente del cultivo (variable independiente), se puede apreciar que existe una relación considerable en el caso de la estación 1 ( $r^2 = 0.63$ ) y mucho mayor en la estación 2 ( $r^2 = 0.83$ ).

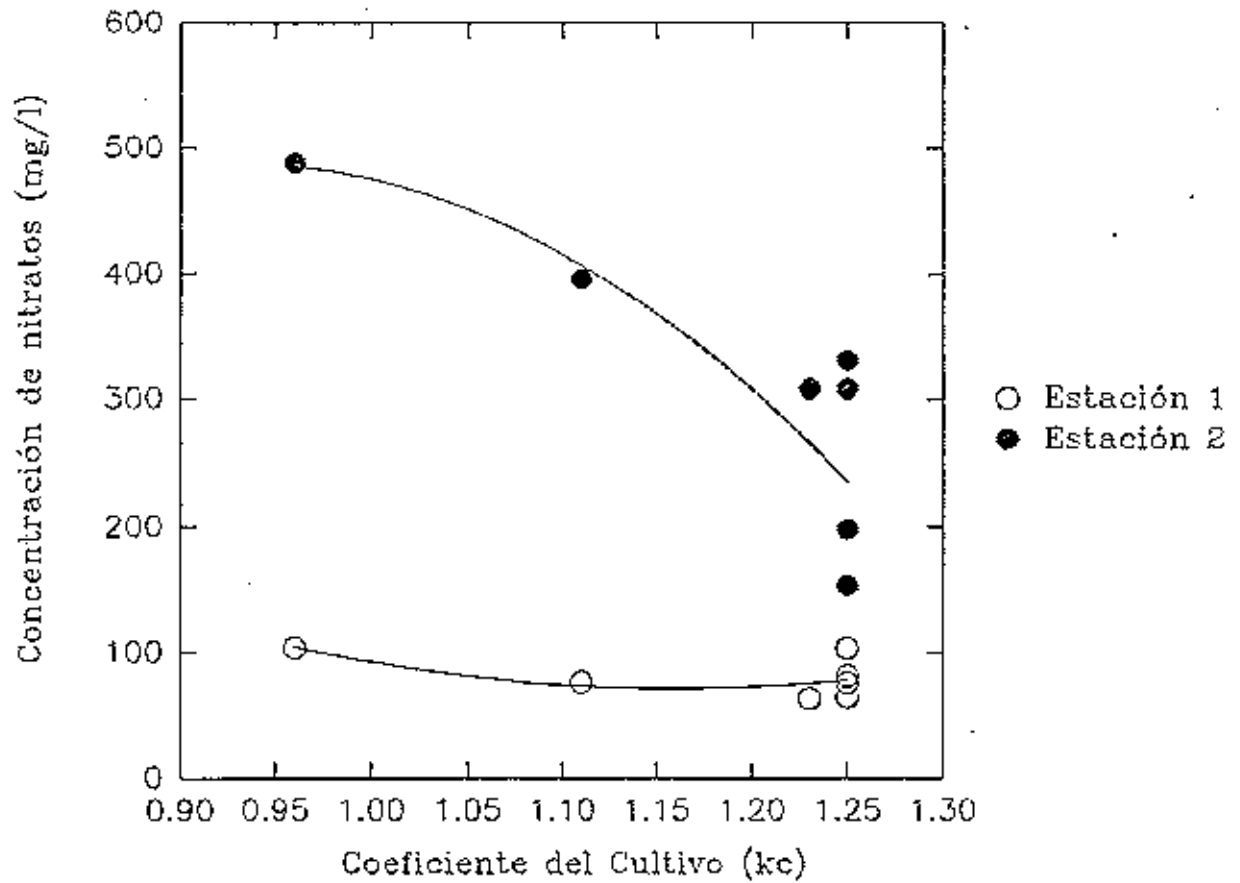
En base a esto, y de acuerdo con la lógica, se puede decir que a medida que el cultivo va desarrollando, la concentración de nitratos en el agua subterránea va disminuyendo. Esto se debe a que el nivel de el agua está muy cerca de la superficie (54 cm), razón por la cual las raíces del tomate pueden aprovechar parte de estos nitratos disueltos en el agua y así, disminuir la concentración de los mismos.

Este fenómeno ocurre de manera similar al relacionar la concentración de nitratos con los días después del trasplante del tomate (Figura 4). Aquí se puede apreciar mejor la curva ya que el rango en que ésta se da es más amplio que en el caso anterior. Se observa además en las dos estaciones que los valores más altos son registrados al principio y luego fueron bajando paulatinamente. Sin embargo, en la estación 2, el día 21 de septiembre (101 días después del trasplante) se puede apreciar claramente una observación fuera de tipo, es muy probable que esta se trate de un error experimental, o de otro factor desconocido, ya que el cambio es muy brusco y no se encontró causa lógica para este cambio.

Se puede observar que existe una fuerte relación negativa entre las variables antes mencionadas, sobretudo en el caso de la estación 2, donde se encuentra un  $r^2 = 0.87$ , lo que nos indica que la asociación que se hizo entre estas variables, se ajusta a un modelo cuadrático en un 87%.

En el caso de la estación 1 se obtuvo una relación más baja, ( $r^2 = 0.47$ ), esto indica que existen otros factores que están involucrados en la concentración de nitratos, aumentando así la fuente de variabilidad y disminuyendo de esta forma el porcentaje explicado por la variable independiente. Se puede observar que no existe una diferencia marcada en cuanto a las concentraciones de nitratos a lo largo del estudio. Esto se debe posiblemente al efecto de la textura en el drenaje de las aguas subterráneas, que para el caso del área de la estación 1 era más arenosa que la estación 2, razón por la cual permitía que el agua, junto con los nitratos disueltos, fluya con mayor facilidad, como si se tratara de un sistema abierto, en el cual no existe acumulación de sus elementos.

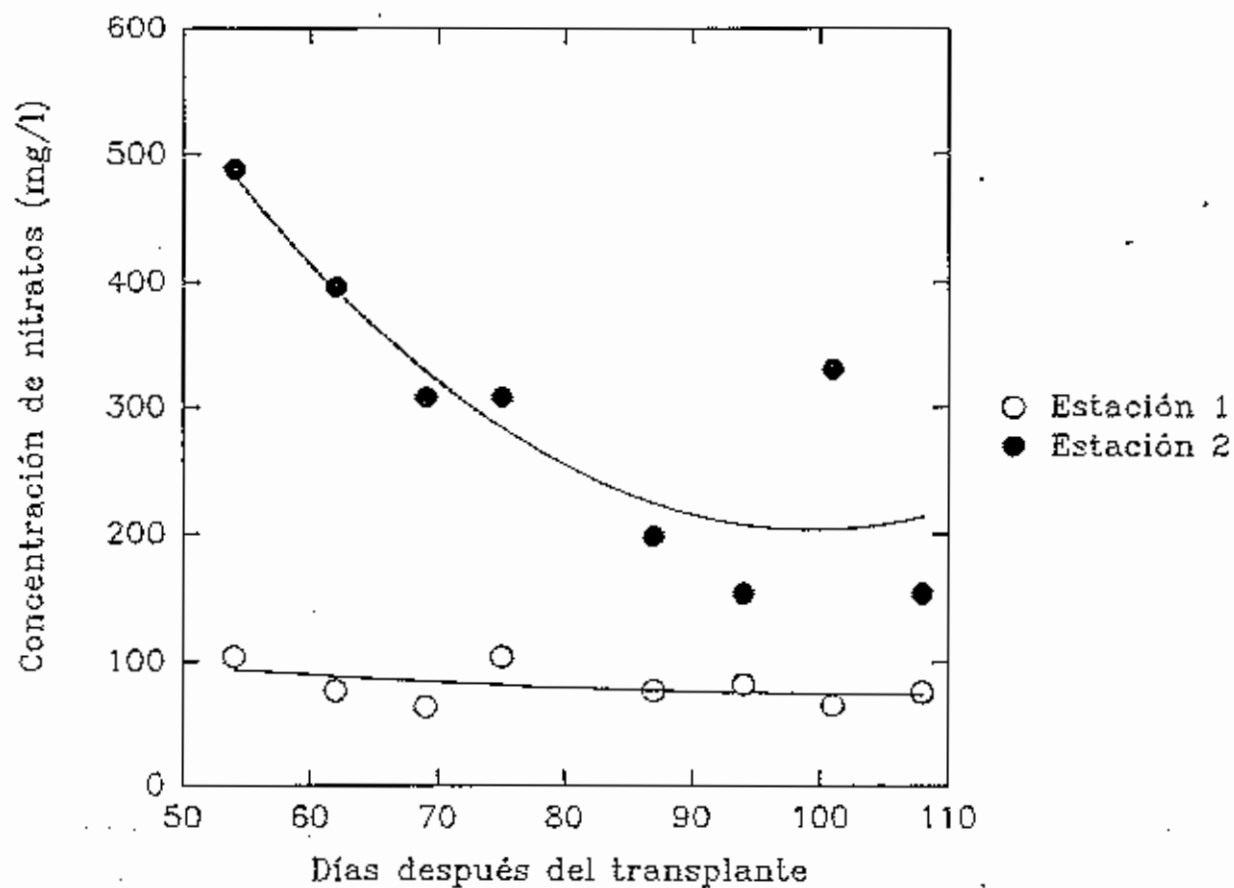
De acuerdo con la ecuación obtenida de la estación 2 ( $Y = 1548.01 - 27.1X + 0.007X^2$ ), se puede decir que por cada día después del trasplante que transcurra, se esperaría que la concentración de nitratos en el agua subterránea disminuya en 27.1 mg/l. Sin embargo, se puede notar claramente que las concentraciones de nitratos al final del ciclo del cultivo, no llegaron a un límite aceptable, es decir, que siempre se mantuvieron por arriba de este índice permitido por lo que se puede decir que existe contaminación de tipo puntual, en el área de la estación 2.



Estación 1.  $Y = 1187 - 1925X + 831X^2$        $r^2 = 0.63$

Estación 2.  $Y = -1576 + 4459X - 2408X^2$        $r^2 = 0.83$

Figura 3. Relación existente entre el coeficiente del cultivo ( $K_c$ ) y la concentración de nitratos (mg/l) durante los meses de agosto y septiembre de 1996



Estación 1.  $Y = 152.30 - 1.44X + 0.007X^2$   $r^2 = 0.47$

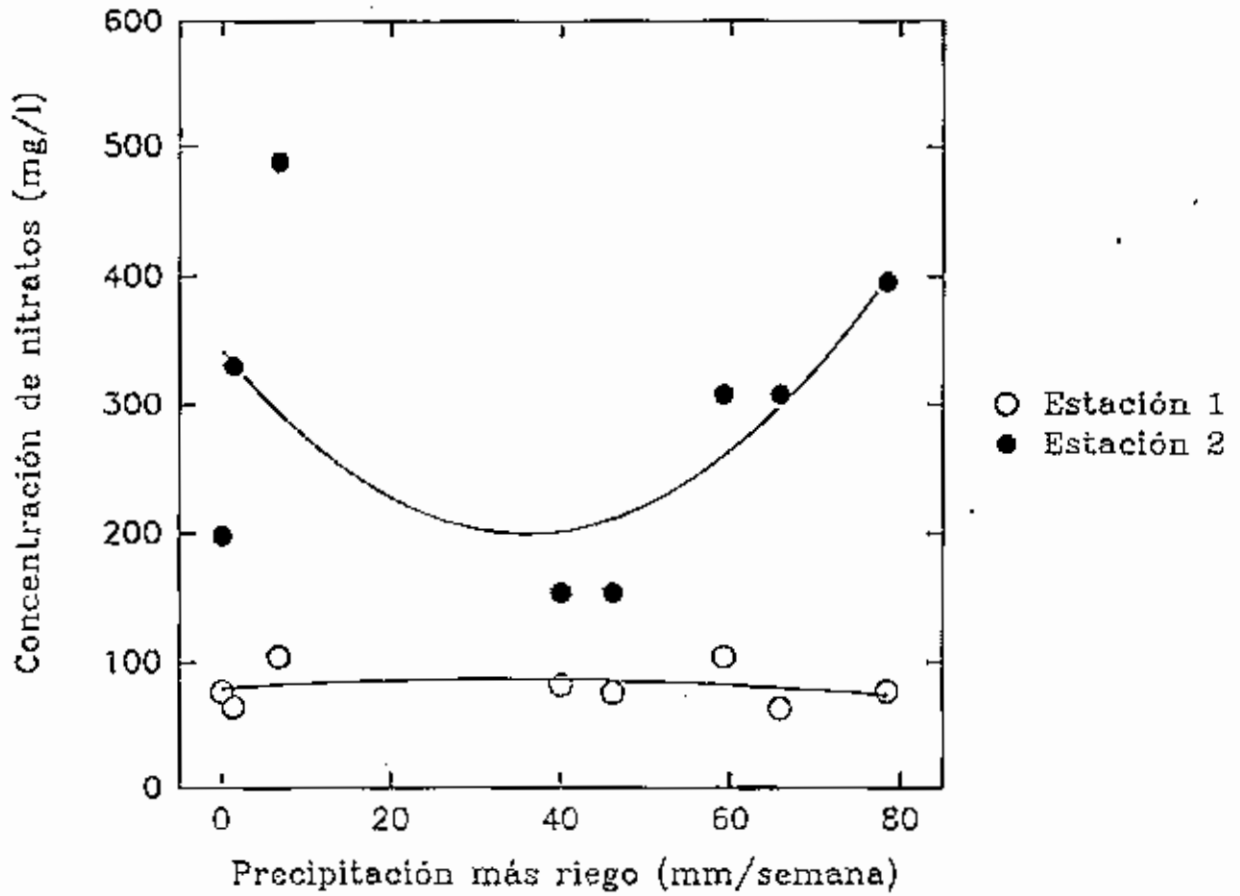
Estación 2.  $Y = 1548.01 - 27.1X + 0.14X^2$   $r^2 = 0.87$

Figura 4. Relación existente entre el tiempo del cultivo (días después del trasplante) y la concentración de nitratos (mg/l) durante los meses de agosto y septiembre de 1996.

De acuerdo con el análisis de regresión realizado (Figura 5), entre la precipitación más riego (variable independiente) y la concentración de nitrato (variable dependiente), en el caso de la estación 2 se puede observar que existe, una relación negativa entre estas dos variables. Es decir, que a medida que aumenta la precipitación y el riego, la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en el agua subterránea disminuye. En base a esto, se puede decir que al aumentar el nivel freático los nitratos son diluidos en un mayor volumen de agua, obteniéndose así concentraciones más bajas y viceversa. Sin embargo esto tiene un límite, en el cual se mantiene estable por un momento y luego empieza a ocurrir lo contrario, es decir que la concentración de nitratos aumenta a medida que se incrementa la precipitación y el riego. Esto se debe posiblemente a que con mayor volumen de agua existe una mayor presión hacia el terreno ocasionando mayor infiltración a través de las arcillas y permitiendo que los nitratos queden confinados en este espacio. En el caso de la estación 1 la relación fue muy baja entre estas dos variables ( $r^2 = 0.25$ ) esto puede atribuirse al tipo de suelo, ya que al ser más arenoso, permite que el agua junto con los nitratos disueltos, fluya con mayor facilidad por esta zona.

Lo dicho anteriormente se confirma con el análisis de regresión realizado entre la precipitación más riego y el nivel del agua subterránea (Figura 6), en donde se observa claramente en la curva  $Y = 64.14 + 0.63X - 0.012X^2$  tiende a subir ligeramente al inicio pero luego baja marcadamente, lo que indica que a mayor precipitación y riego el nivel del agua subterránea aumenta, diluyendo así, la concentración de nitratos.

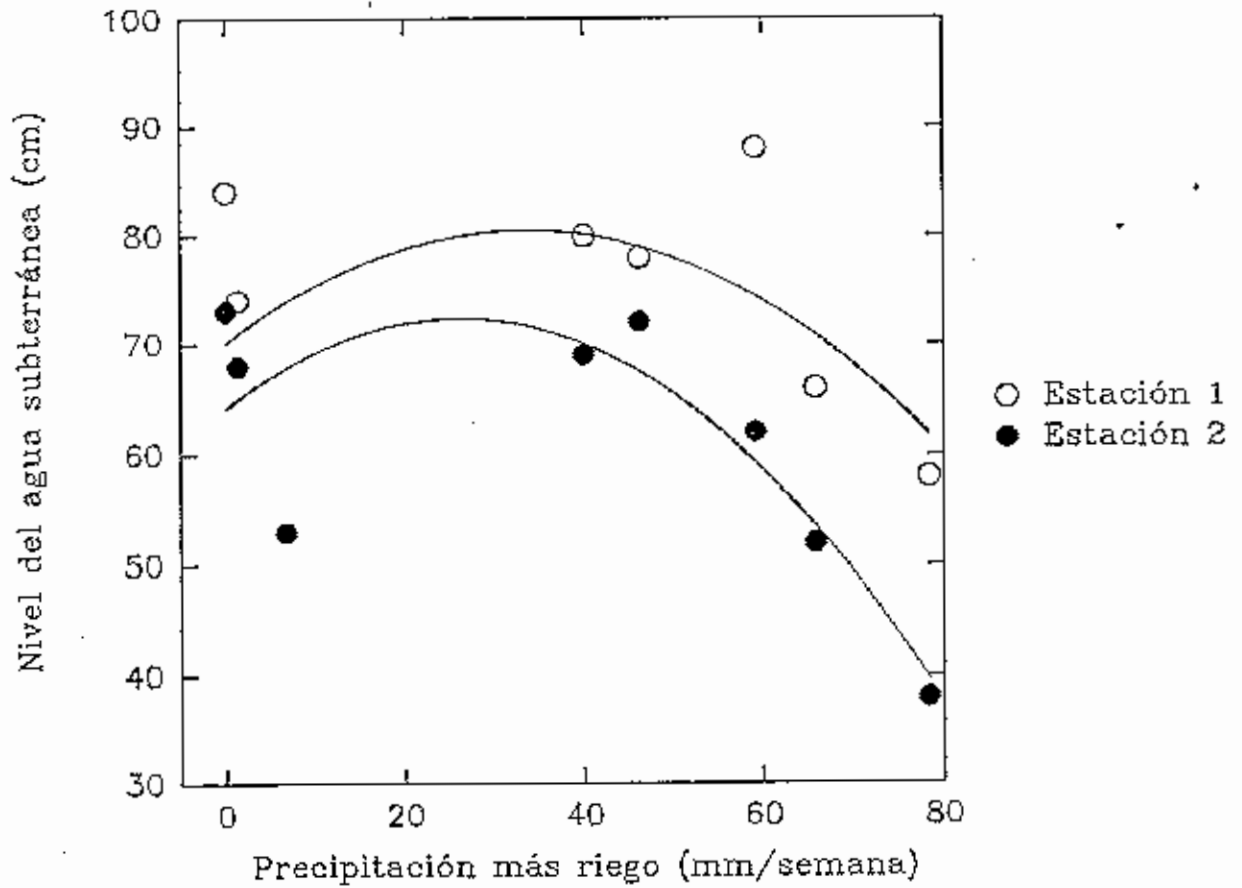
Sin embargo, con precipitaciones superiores a los 40 mm/semana, (Figura 5) vemos que la curva cambia de pendiente y ocurre lo contrario aumentando de esta forma la concentración de nitratos. Esto puede ser consecuencia de cierta infiltración de agua conteniendo nitratos de zonas aledañas o incluso provenientes de la lluvia misma. De acuerdo con Hitt (1996), componentes de N de la atmósfera pasan por una transformación que eventualmente dejan el nitrógeno en forma de  $\text{NO}_3^-$ , estos pueden ser disueltos en agua de lluvia o nieve y alcanzar las quebradas o aguas superficiales por medio de escorrentía.



Estación 1.  $Y = 79.33 + 0.42X - 0.007X^2$   $r^2 = 0.25$

Estación 2.  $Y = 341.87 - 7.94X + 0.011X^2$   $r^2 = 0.57$

Figura 5. Relación existente entre precipitación más riego (mm/semana) y la concentración de nitratos (mg/l) durante los meses de agosto y septiembre de 1996.



Estación 1.  $Y = 70.07 + 0.62X - 0.009X^2$   $r^2 = 0.46$

Estación 2.  $Y = 64.14 + 0.63X - 0.012X^2$   $r^2 = 0.82$

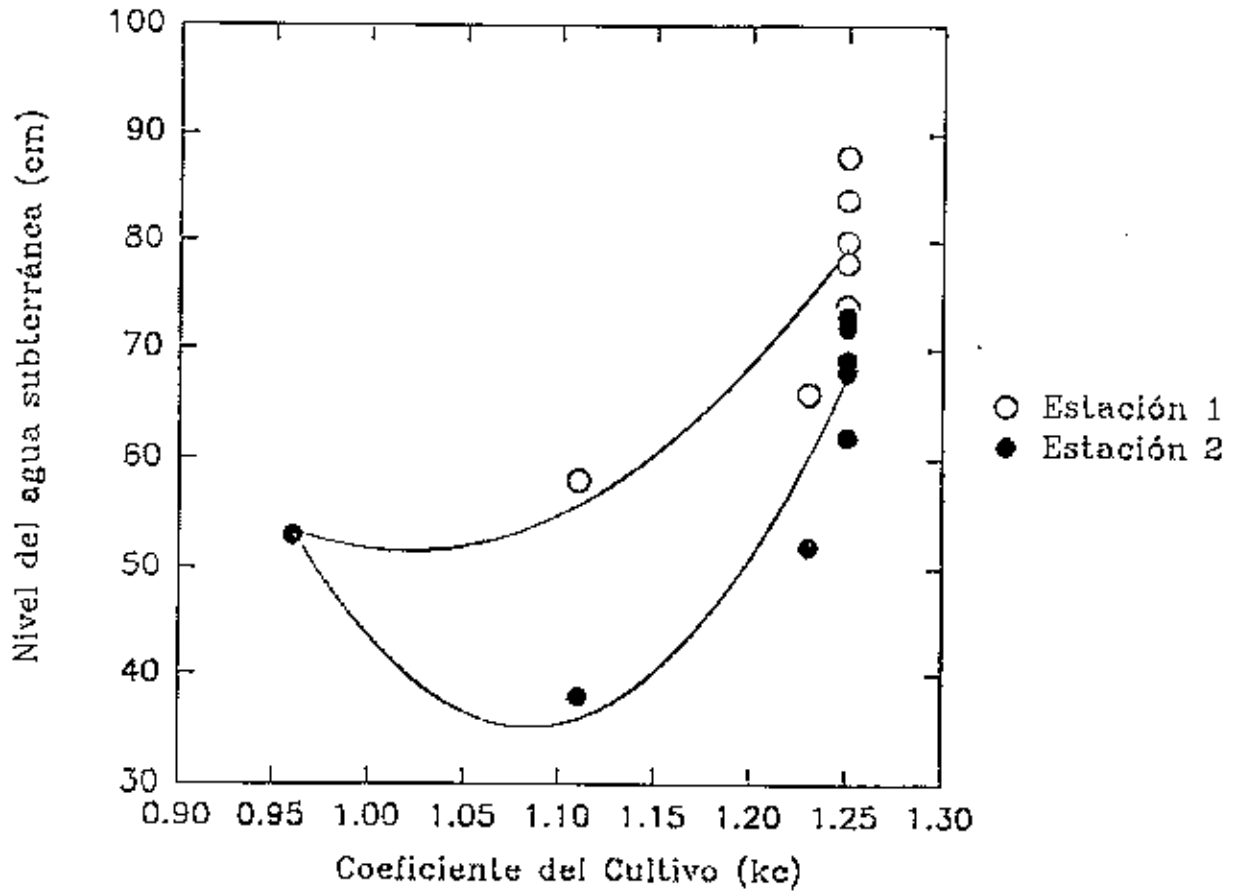
Figura 6. Relación existente entre precipitación más riego (mm/semana) y el nivel del agua subterránea (cm) en las estaciones 1 y 2 durante los meses de agosto y septiembre de 1996.



En la Figura 7 se puede observar que existe una fuerte relación entre el coeficiente del cultivo (variable independiente) y el nivel del agua subterránea (variable dependiente) en las estaciones de muestreo 1 ( $r^2 = 0.90$ ) y 2 ( $r^2 = 0.92$ ).

Es decir que a medida que incrementa el  $k_c$  del cultivo, la profundidad a la que se encuentra el nivel del agua subterránea aumenta. Esto es lógico ya que el cultivo al incrementar su área foliar conforme a su crecimiento, aumentará paralelamente su evapotranspiración hasta llegar a un punto máximo en el cual permanecerá estable por un tiempo determinado y luego empieza a decrecer de acuerdo a la edad con que se encuentre.

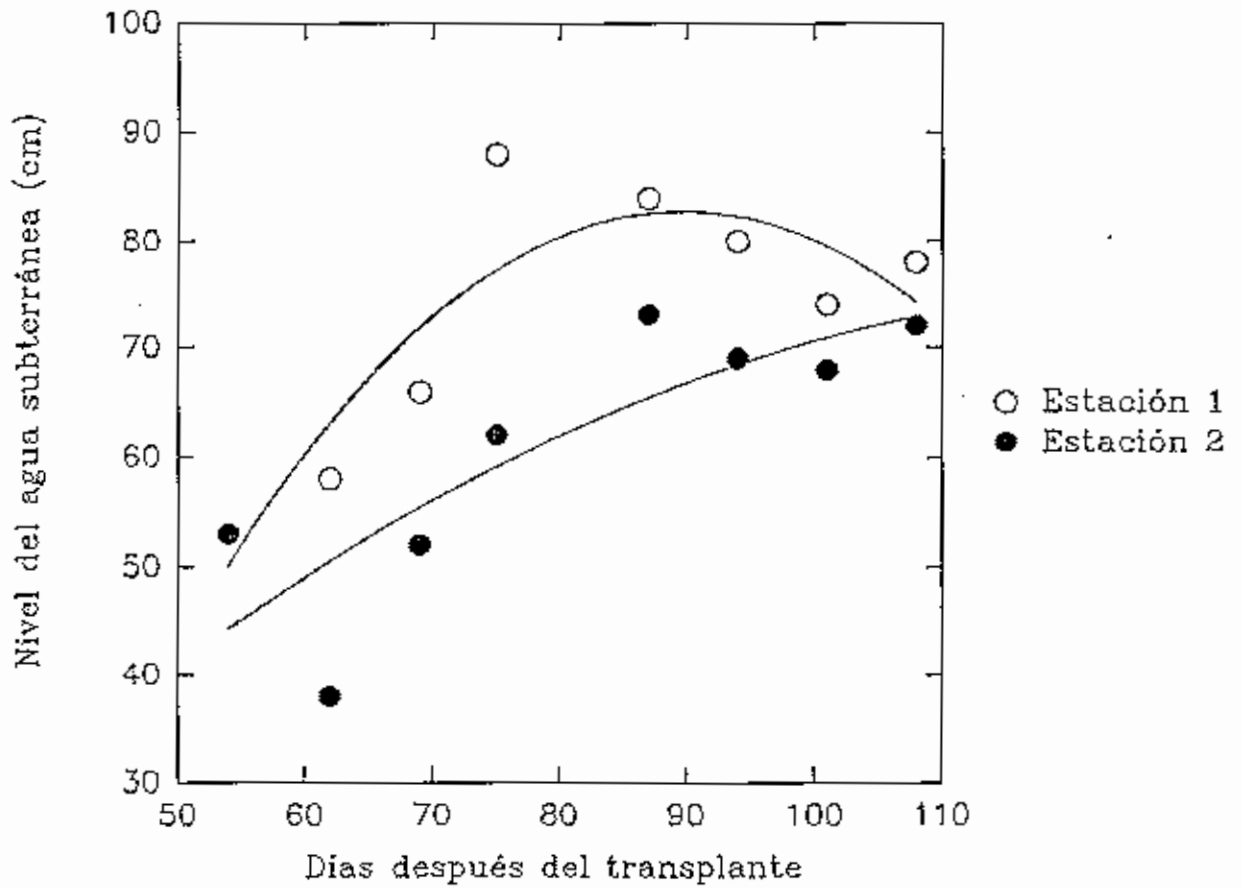
Esta relación se observa mejor en un rango más amplio en el análisis de regresión realizado entre el tiempo del cultivo (Días después del trasplante) y el nivel del agua subterránea (Figura 8). Se puede observar que ocurre el mismo fenómeno que en el caso anterior ya que las variables (coeficiente del cultivo y días después del trasplante) dependientes son muy parecidas.



Estación 1,  $Y = 604 - 1083X + 530X^2$   $r^2 = 0.90$

Estación 2,  $Y = 1425 - 2563X + 1181X^2$   $r^2 = 0.92$

Figura 7. Relación existente entre el coeficiente del cultivo (kc) y el nivel del agua subterránea en las estaciones 1 y 2 durante los meses de agosto y septiembre de 1996.



Estación 1.  $Y = -123.28 + 4.60X - 0.03X^2$   $r^2 = 0.89$

Estación 2.  $Y = -15.23 + 1.39X - 0.005X^2$   $r^2 = 0.83$

Figura 8. Relación existente entre el tiempo del cultivo (días después del trasplante) y el nivel del agua subterránea en las estaciones 1 y 2 durante los meses de agosto y septiembre.

#### 4.2 Salinidad

La diferencia promedio observada en la salinidad (Cuadro 4) entre los meses de agosto y septiembre es de 10.15 mmhos/cm, siendo mayor en el mes de septiembre. De manera similar entre los meses de septiembre y octubre la diferencia promedio observada es de 10.49 mmhos/cm. Manteniéndose mayor en el mes de septiembre. Sin embargo, no se encontró diferencia significativa entre el primero y el último muestreo. En base a esto, se puede decir que no existió cambio en la salinidad del suelo durante el ciclo del cultivo y los niveles altos encontrados en el mes de septiembre posiblemente se debieron a la aplicación del fertilizante (50 kg/ha urea) del día 6 del mismo mes ya que las condiciones de humedad eran favorables para la descomposición del fertilizante.

Cuadro 4. Conductividad eléctrica (mmhos/l) de cuarenta puntos tomados en tres fechas en el Invernadero G de Zona III, Departamento de Horticultura, 1996

|                     | agosto 10 | septiembre 7 | octubre 8 |
|---------------------|-----------|--------------|-----------|
| Salinidad promedio* | 5.32 b    | 15.48 a*     | 4.98 b    |

\* Promedio de salinidad en cada fecha de muestreo seguidos de la misma letra no difieren significativamente según la prueba de comparación múltiple de medias de Duncan ( $P \leq 0.05$ ).

\* n = 40

Para poder determinar si existía algún gradiente de concentración de sales en el terreno, se agruparon los resultados obtenidos en hileras y en bloques, en las tres fechas de muestreo (Figura 9).

Cuadro 5. Diferencias en conductividad eléctrica (mmhos/l) entre hileras en 3 fechas.

| FECHA        | HILERA 1 | HILERA 2 | HILERA 3 | HILERA 4 |
|--------------|----------|----------|----------|----------|
| agosto 10    | 4.06 a*  | 4.87 a   | 6.91 a   | 5.46 a   |
| septiembre 7 | 13.70 ab | 19.24 a* | 18.02 a  | 10.94 b  |
| octubre 8    | 5.07 a   | 6.00 a   | 5.33 a   | 4.98 a   |

\*Promedio de salinidad entre hileras de muestreo seguidos de la misma letra no difieren significativamente según la prueba de comparación múltiple de medias de Duncan ( $P \leq 0.05$ )

\* n = 10

Como se muestra en el Cuadro 5 podemos observar que no existe diferencia significativa en el promedio de la salinidad entre todas las hileras en el primer y tercer muestreo. Sin embargo, en el segundo muestreo, del 7 de septiembre, se pudo observar claramente diferencia entre la hilera 4 con la hilera 2 y 3. Es posible que esta diferencia se debió a que la hilera 1 y 4 por encontrarse más cerca de las paredes del invernadero tenían una temperatura mayor por lo tanto la demanda evaporativa podría ser mayor.

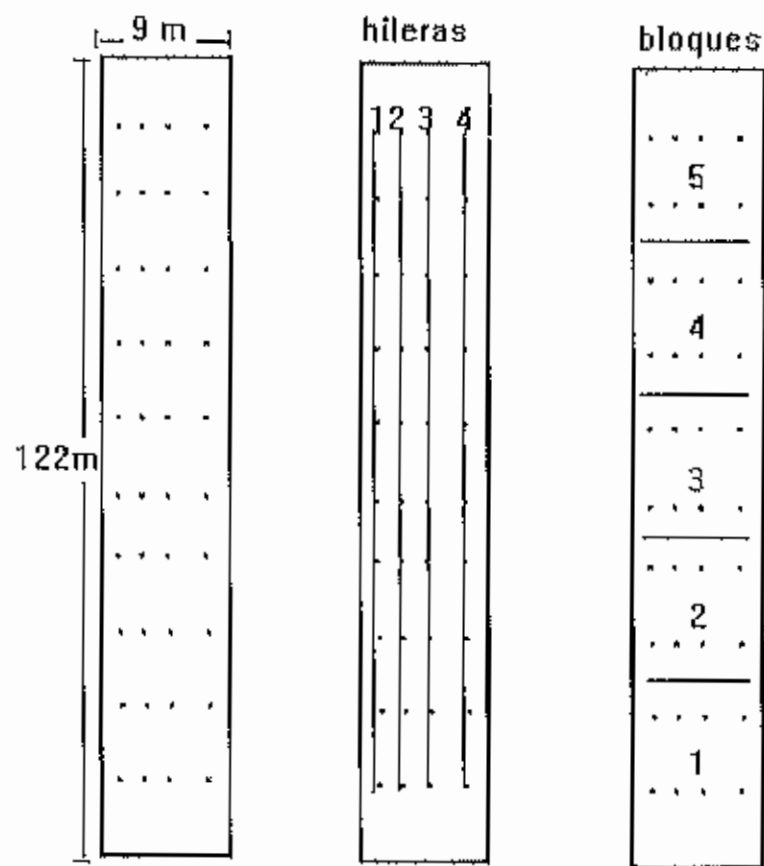


Figura 9. Distribución de los 40 puntos de muestreo de conductividad eléctrica y agrupación de hileras y bloques para análisis estadístico

Cuadro 6. Diferencias en conductividad eléctrica (mmhos/l) entre bloques en 3 fechas.

| FECHA        | BLOQUE 1 | BLOQUE 2 | BLOQUE 3 | BLOQUE 4 | BLOQUE 5 |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| agosto 10    | 2.82 b*  | 5.76 ab  | 4.84 ab  | 6.28 a   | 6.92 a   |
| septiembre 7 | 12.25 a  | 16.68 a  | 13.03 a  | 17.56 a  | 17.88 a  |
| octubre 8    | 4.07 a   | 5.38 a   | 3.73 a   | 5.33 a   | 6.39 a   |

Promedio de salinidad entre bloques de muestreo seguidos de la misma letra no difieren significativamente según la prueba de comparación múltiple de medias de Duncan ( $P \leq 0.05$ )

\* n = 8

En el Cuadro 6 se puede apreciar que existe diferencia entre bloques en la conductividad eléctrica obtenida en el primer muestreo; no así en el segundo y tercero. sin embargo, la conductividad siempre se mantuvo mayor en los bloques 5 y 4 respectivamente. Esto se debe posiblemente a que existe cierta influencia de la concentración de sales del invernadero de la parte superior;

Finalmente se puede decir, que aunque no existió, cambio en la conductividad eléctrica durante el ciclo del cultivo, los niveles encontrados desde el inicio ya eran elevados. Según Sys *et al.* (1993) el tomate empieza a tener disminución en un 10 % del rendimiento cuando la conductividad eléctrica se encuentra en los 3.5 mmhos/l y pueden decrecer en un 25 % y hasta en un 50% si aumenta a niveles de 5 mmhos/l y 7.6 mmhos/l respectivamente. Esto se confirma con este estudio ya que los rendimientos alcanzados (22000 kg/ha) apenas estuvieron cerca de la mitad del potencial del cultivo. Lógicamente existieron otros factores de manejo que afectaron los rendimientos, pero si se puede decir que gran parte de esta disminución se debió a la salinidad del suelo.

### 4.3. Nivel del agua subterránea

En la Figura 10 se muestra la profundidad en centímetros, a la que se encontró el nivel del agua subterránea desde el 23 de junio hasta el 21 de septiembre, en las dos estaciones de muestreo. Como se puede observar, la mayor profundidad para las estaciones 1 y 2 se presenta el 27 de julio y 15 de agosto, con 71 y 96 cm de profundidad respectivamente y la menor profundidad observada es de 32 cm y 37 cm el 26 de agosto y el 23 de junio en las estaciones 1 y 2 respectivamente. Se nota claramente que durante los primeros meses existe la tendencia a disminuir, esto se debió a que el cultivo, conforme crecía, utilizaba parte de esta agua. Luego se puede observar un incremento considerable en el nivel del agua, esto se debió a las fuertes lluvias del mes de agosto y finalmente el nivel se mantuvo casi constante cerca de los 50 cm de profundidad.

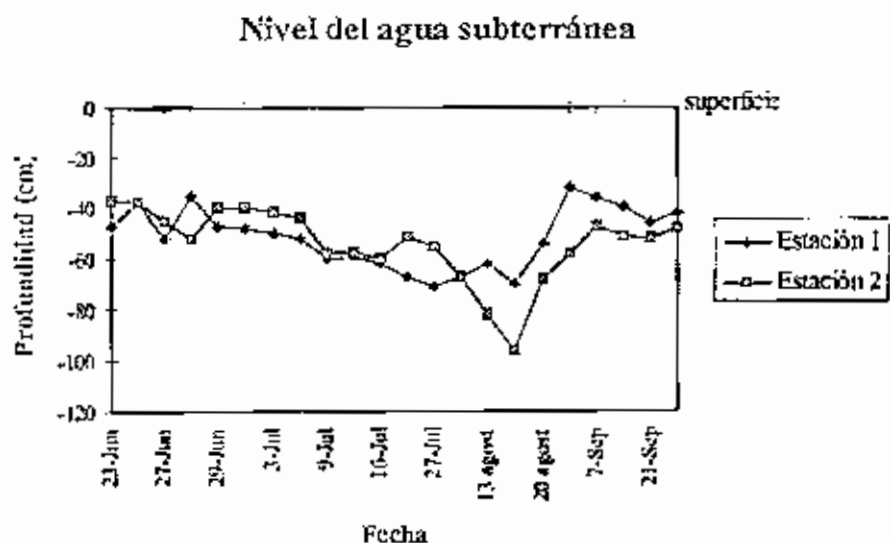


Figura 10. Medición de la profundidad a la que se encuentra el nivel del agua subterránea dada en centímetros en las estaciones de muestreo 1 y 2 en el invernadero G de Zona III, Departamento de Horticultura, desde el 23 de junio hasta el 21 de septiembre de 1996.

La Figura 11 muestra la relación que existe entre la precipitación y el nivel del agua subterránea. Se puede observar que en el caso de la estación 2 la relación es mayor ( $r^2 = 0.73$ ) que en la estación 1 ( $r^2 = 0.34$ ). Es posible que exista cierto tipo de barreras físicas en el centro del invernadero como ser capas de arcillas que están impidiendo el flujo normal del agua subterránea.

Por otro lado si comparamos este análisis con el de precipitación más riego y nivel del agua subterránea (Figura 6), se puede notar que la relación aumenta en ambos casos en forma proporcional tanto para la estación 1 como para la estación 2, por lo que se puede decir que las fluctuaciones del nivel del agua subterránea son debidas a la precipitación, riego y, además a la etapa de desarrollo del cultivo como se explicó anteriormente.

Cuadro 7. Profundidad del nivel del agua subterránea (cm) en las estaciones de muestreo 1 y 2 en el invernadero G de Zona III, Departamento de Horticultura, durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre de 1996.

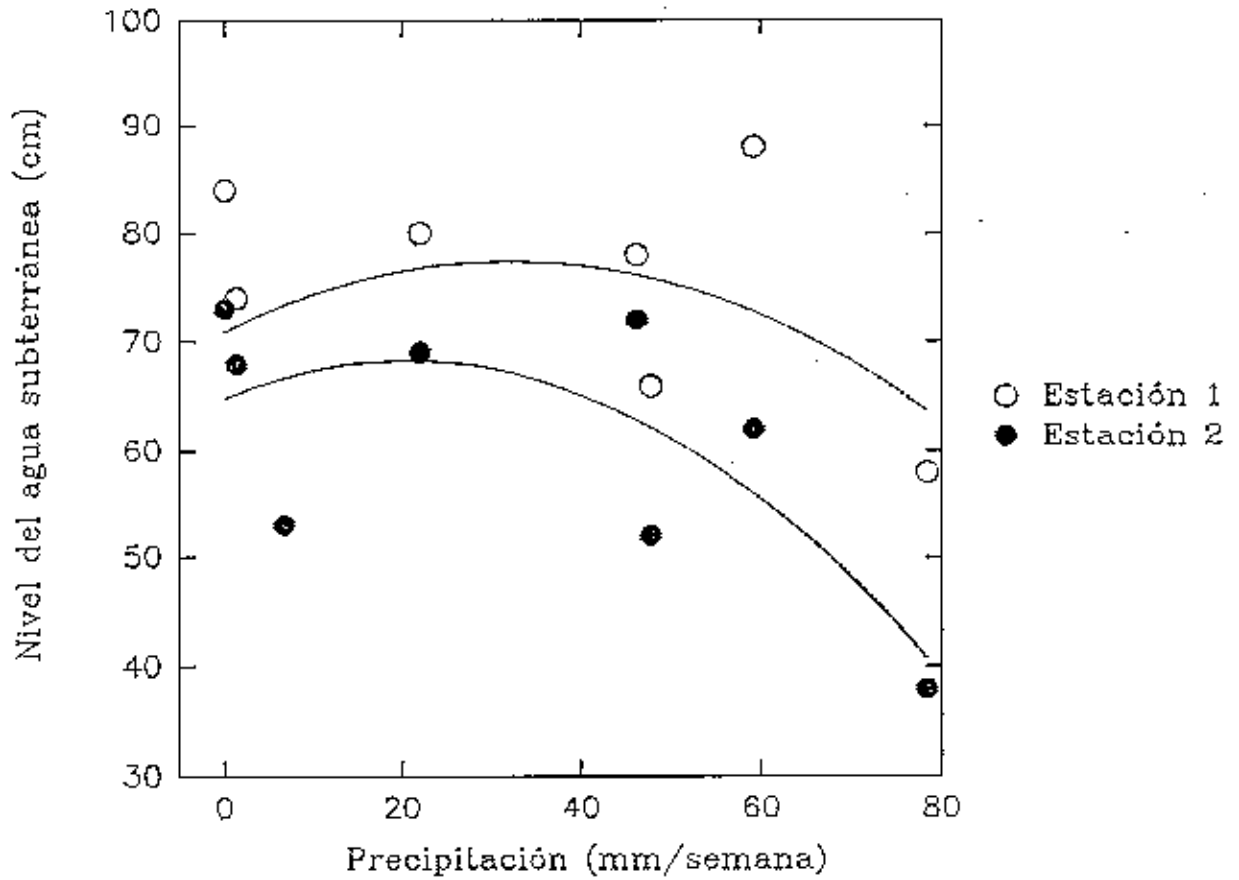
|                            | Estación 1 | Estación 2 | Prueba T |
|----------------------------|------------|------------|----------|
| Profundidad promedio* (cm) | 51.68      | 54.00      | N.S.     |

\* n = 8

N.S. = No significativo a  $P \leq 0.05$

Se puede decir que el nivel del agua subterránea se ha mantenido en promedio a 52 cm de profundidad en la estación 1 y 54 cm de profundidad en la estación 2 durante el tiempo de estudio, no encontrándose diferencia significativa entre estaciones como se muestra en el Cuadro 7.





$$\text{Estación 1. } Y = 70.88 + 0.41X - 0.006X^2 \quad r^2 = 0.34$$

$$\text{Estación 2. } Y = 64.14 + 0.63X - 0.012X^2 \quad r^2 = 0.73$$

Figura 11. Relación existente entre la precipitación (mm/semana) y el nivel del agua subterránea (cm) en las estaciones 1 y 2 durante los meses de agosto y septiembre de 1996.

## 4.4. Materia orgánica

Cuadro 8. Materia orgánica (%) encontrada al inicio y final del estudio a 15, 30 y 60 cm de profundidad en el invernadero G de Zona III, Departamento de Horticultura, 1996.

| Fecha                 | Profundidad de la muestra (cm) |      |      |      |
|-----------------------|--------------------------------|------|------|------|
|                       | 15                             | 30   | 60   | X    |
| junio 13              | 2.55 <sup>x</sup>              | 1.54 | 1.06 | 1.71 |
| octubre 19            | 5.62                           | 4.09 | 1.68 | 3.79 |
| Prueba T <sup>y</sup> | *                              | **   | N.S. | *    |

<sup>x</sup> n = 4<sup>y</sup> \*\*, \*, N.S. = Altamente significativo, significativo y no significativo a  $P \leq 0.05$ , respectivamente.

En el Cuadro 8 se puede observar la alta diferencia mostrada entre los niveles de materia orgánica encontrados entre los análisis de suelo, realizados al inicio y al final del ciclo, de muestras tomada de 15 a 30 cm de profundidad. Este incremento de la materia orgánica se debió posiblemente a la descomposición paulatina de las raíces del cultivo anterior de sandía (*Citrullus lanatus*). Lo que podría causar que las raíces no puedan continuar con su curso normal, por las condiciones de saturación de agua, y empiecen a distribuirse en forma lateral, incrementando así el contenido de materia orgánica a esta profundidad y es probable que en el caso del tomate haya ocurrido el mismo fenómeno (Dra. Margoth Andrews, comunicación personal).

#### 4.5. Precipitación

Las Figuras 11, 12 y 13 muestran la precipitación semanal en tres diferentes estaciones ubicadas desde zona tres hasta el Departamento de Agronomía. Se puede notar que no existe diferencia significativa entre las tres estaciones (Cuadro 9) y que el patrón de lluvias se mantiene casi uniforme para los tres casos.

Cuadro 9. Precipitación de tres estaciones de muestreo (mm/día) desde junio hasta septiembre de 1996.

|   | Estación 1 | Estación 2 | Estación 3 |
|---|------------|------------|------------|
| Promedio <sup>a</sup> de la precipitación diaria (mm) | 5.29 a*    | 7.09 a     | 5.75a      |

\* Promedio de Precipitación en cada estación seguidos de la misma letra no difieren significativamente según la prueba de comparación múltiple de medias de Duncan a  $P \leq 0.05$

<sup>a</sup>n = 60

#### Estación 1

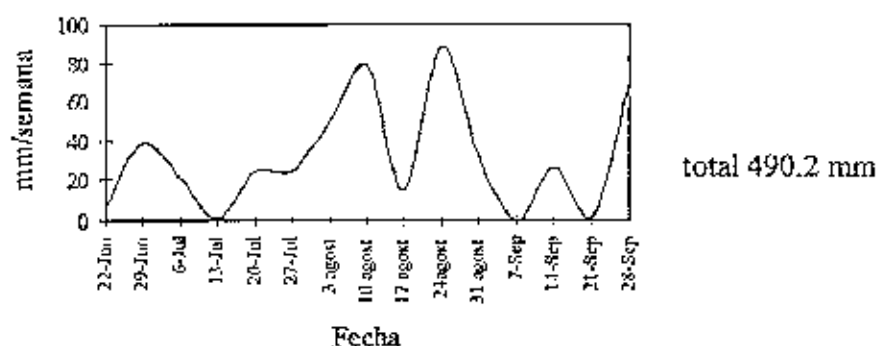


Figura 12. Precipitación medida en mm/semana en la estación 1 adyacente al invernadero G en Zona III durante el período comprendido entre junio a septiembre de 1996

## Estación 2

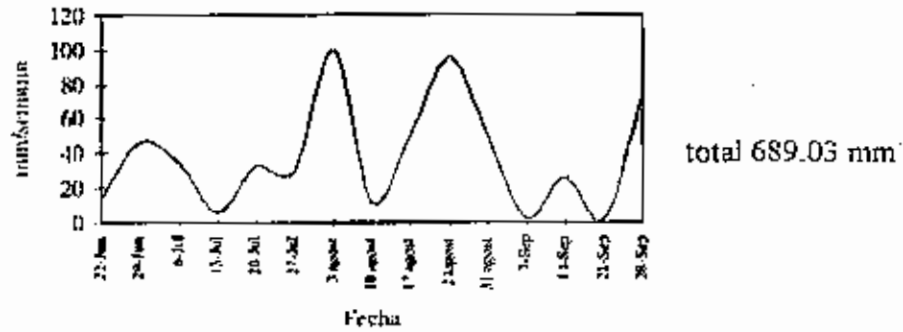


Figura 13. Precipitación medida en mm/semana en la estación 2 durante el período comprendido entre junio y septiembre de 1996.

## Estación 3

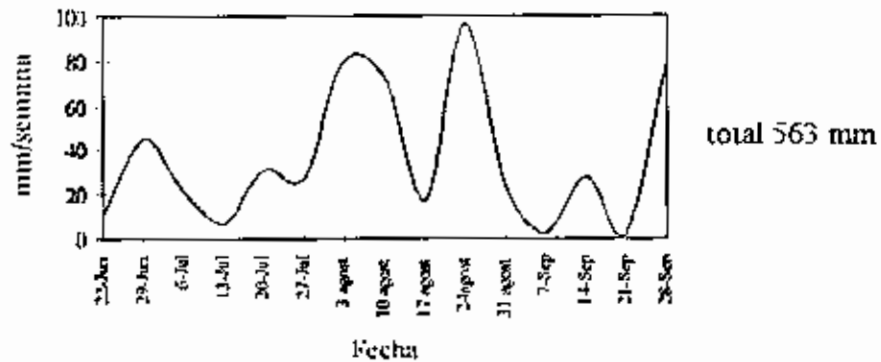


Figura 14. Precipitación medida en mm/semana en la estación 3 durante el período comprendido entre junio y septiembre de 1996.

## 4.6. pH

El cuadro 10 muestra los promedios en el pH en los diferentes puntos de muestreo. Como se puede observar, no existe cambio entre profundidades en la misma fecha de muestreo, sin embargo, si se observó diferencia significativa entre los promedios de las dos fechas. Se observa que tuvo un ligero incremento a través del ciclo del cultivo, esto se debió posiblemente al uso de los fertilizantes.

Cuadro 10. pH del suelo medido a tres profundidades en cuatro puntos de muestreo, el 13 de junio y 19 de octubre de 1996.

| Fecha      | Profundidad de la muestra (cm) |      |      |      |
|------------|--------------------------------|------|------|------|
|            | 15                             | 30   | 60   | X    |
| junio 13   | 6.29 <sup>x</sup>              | 6.04 | 6.21 | 6.18 |
| octubre 19 | 6.70                           | 6.66 | 6.50 | 6.62 |
| Prueba T   | N.S. <sup>y</sup>              | N.S. | N.S. | *    |

<sup>x</sup> n = 4

<sup>y</sup> \*,NS: significativo y no significativo a  $P \leq 0.05$  respectivamente.

## V. CONCLUSIONES

Se puede concluir que:

- Existe contaminación puntual por nitratos.

Las concentraciones de nitratos al inicio del cultivo estaban muy elevadas, fueron disminuyendo con el paso del tiempo, pero no llegaron a un límite aceptable, es decir, que siempre se mantuvieron por arriba de este índice permitido (100 mg/l) por lo que se puede decir que existe contaminación de tipo puntual, en el área de la estación 2. En el caso de la estación 1 se puede decir que las concentraciones fluctuaron cerca del límite, por lo que debe de ser considerada como una zona de riesgo de contaminación por nitratos.

- Existe contaminación por sales.

Aunque no se encontró diferencia significativa entre los análisis de conductividad eléctrica de las muestras de suelos tomadas al inicio y final del ciclo del cultivo, se puede decir que existe contaminación por sales ya que estos niveles están elevados. Esto se refleja en los rendimientos obtenidos ya que no alcanzaron ni la mitad del óptimo esperado.

- El contenido de materia orgánica sufrió un incremento entre los 15 y 30 cm.

Debido a la proximidad del nivel del agua subterránea a la superficie, la descomposición de las raíces del ciclo anterior fue rápida, incrementando de esta forma el contenido de la materia orgánica a esta profundidad.

- Fertilización.

No se está llevando a cabo una buena fertilización, no se tomó en cuenta la cantidad y la disponibilidad de nutrientes que tenía el suelo, sólo se aplicó el fertilizante en base a los requerimientos del cultivo.

- Nivel del agua subterránea

Existe muy poca distancia de la superficie hasta el nivel del agua subterránea, por lo que la posibilidad de contaminación por nitratos es muy elevada. Además se está limitando el crecimiento de las raíces del cultivo y esto está contribuyendo con la disminución en los rendimientos del tomate.

## VI. RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos del estudio se recomienda:

- 1) Construir drenajes de un metro de profundidad a los lados del invernadero a fin de alejar el nivel del agua subterránea por lo menos 0.80 m. de esta forma, estamos proveyendo a las raíces una mayor área de exploración y aprovechamiento de nutrientes y a la vez creamos mayor distancia para el recorrido de los nitratos a través del perfil del suelo disminuyendo de esta forma el riesgo de contaminación, ya que estos nitratos en este transcurso pueden ser convertidos a N gaseoso y volatilizarse.
- 2) Medir el crecimiento radicular del cultivo para saber a ciencia cierta que está pasando con las raíces y si se está afectando su curso y crecimiento normal.
- 3) Establecer una red de estaciones de muestreo de agua subterránea fuera del invernadero para el análisis de nitratos, determinar el rumbo que siguen estos nitratos y, si al llegar a las aguas superficiales están causando concentraciones tan elevadas que provoquen efecto negativo en la vida acuática.
- 4) Realizar los análisis de suelo respectivos, determinar la cantidad y disponibilidad de los nutrientes y en base a los resultados obtenidos y los requerimientos del cultivo a sembrar establecer el plan de fertilización con los fertilizantes y las cantidades apropiadas.
- 5) Realizar un lavado del terreno con abundante agua de buena calidad a fin de disminuir la concentración de sales en las capas superficiales.

## LITERATURA CITADA

- ANDREWS, A. M. 1997. Notas de clase del curso Manejo de Agroquímicos. Escuela Agrícola Panamericana. Hond.
- AYERS, R. S.; WESTCOT D. W. 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29, 174p.
- CASSERES, E. 1980. Producción de hortalizas. 3 ed. San José, C.R., Maulde de la Cruz. 228p.
- FOTH, H. D. 1985. Fundamentos de la ciencia del suelo. Trad. por Antonio Marino A. México, D.F., Continental. 433p.
- FUENTES, J.L. 1994. El Suelo y los fertilizantes. 4 ed. Madrid, España, IRYDA 327p.
- GERALDSON, C. M. 1978. Fertilizing vegetable crops. Florida Fertilizer and Lime Conference. Brandeston Fl. Vol. 9. 74p.
- HITT, K. 1996. What are the Sources of Nutrients in Water?. U.S. Geological Survey (EE.UU.) No.1136.
- MONTES, A. 1995. Cultivos de Hortalizas en el Trópico. E.A.P. Tegucigalpa, Hond., 208p.
- NIJHOFF, M. 1983. Handbook on environmental aspects of fertilizer use. N.Y., U.S.A., Netherlands. p.185 - 243.
- ORIHUELA, D.L.; COLON, W.; ROMERO, E. y LEE, M. 1997. Estudio de la Carga Salina de las Aguas del Valle del Río Yeguaré (Hond.). La Ceiba (Hond.) No. AG9604; 12p.
- PORTA, J.; LOPEZ-ACEVEDO, M.; ROQUERO, C. 1994. Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. Madrid, España, Mundi-Prensa. 807p.



SYS, L.; RANST, E. V.; DEBAVEYE, J.; BÉERNEERT, F. 1993. Land Evaluation part III. International training centre for post-graduate soil scientist, University Ghent, Belgium, Agricultural publications No. 7. 199P.

TEUSCHER, H.; ADLER R. 1987. El suelo y su fertilidad. Trad. por Rodolfo Vera y Zapata, México, D.F., Continental. 510p.

TISDALE, S.; NELSON, W. L.; HAVLIN, L. W.; BEATON J. D. 1993. Soil fertility and fertilizers. 5 ed. N.Y., U.S.A. Macmillan. 432p.

TROEH, F.; HOBBS, A.; DONAHUE, R. 1980. Soil and water conservation for productivity and environmental protection. N.Y., U.S.A., Prentice-Hall. 718p.

VILLAREAL, R. 1982. Tomatoes in the tropics. Boulder, Colorado, U.S.A. Westview Press. 174p.

## ANEXOS

## Anexo 1

Análisis de suelo en cuatro puntos de muestreo a tres profundidades al 13 de junio de 1996 del Invernadero G de Zona III, Departamento de Horticultura.

| P. Muestreo, profundidad | Textura          | Arena % | Limo % | Arcilla % | pH (Agua)   | M. O. %   |
|--------------------------|------------------|---------|--------|-----------|-------------|-----------|
| #1- 15 cm                | franco           | 32      | 44     | 24        | MLA<br>6.76 | M<br>2.28 |
| #1- 30 cm                | Franco arcilloso | 36      | 36     | 28        | MLA<br>6.64 | B<br>1.36 |
| #1- 60 cm                | Franco arcilloso | 44      | 22     | 34        | MLA<br>6.67 | B<br>1.04 |
| #2- 15 cm                | Franco           | 30      | 46     | 24        | LA<br>6.39  | M<br>2.54 |
| #2- 30 cm                | Franco           | 32      | 44     | 24        | LA<br>6.05  | M<br>2.01 |
| #2- 60 cm                | Franco arcilloso | 38      | 30     | 32        | LA<br>6.54  | B<br>1.43 |
| #3- 15 cm                | Franco           | 34      | 42     | 24        | LA<br>6.25  | M<br>2.47 |
| #3- 30 cm                | Franco           | 36      | 42     | 22        | LA<br>6.16  | B<br>1.43 |
| #3- 60 cm                | Franco arcilloso | 38      | 28     | 34        | LA<br>6.17  | B<br>0.94 |
| #4- 15 cm                | Franco           | 42      | 36     | 22        | MA<br>5.77  | M<br>2.92 |
| #4- 30 cm                | Franco           | 44      | 34     | 22        | FA<br>5.30  | B<br>1.36 |
| #4- 60 cm                | Franco arcilloso | 42      | 30     | 28        | FA<br>5.47  | B<br>0.84 |

Λ= Alto  
M= Medio  
B= Bajo

FA= Fuertemente ácido  
MA= Moderadamente ácido  
MLA= Muy levemente ácido

## Anexo 2

Análisis de suelo en cuatro puntos de muestreo a tres profundidades al 19 de octubre de 1996 del Invernadero G de Zona III, Departamento de Horticultura.

| P. Muestreo, Profundidad | Textura          | Arena % | Limo % | Arcilla % | pH (agua)    | M.O. %    |
|--------------------------|------------------|---------|--------|-----------|--------------|-----------|
| #1- 15 cm                | franco           | 34      | 44     | 24        | MLA<br>6.86  | A<br>4.75 |
| #1- 30 cm                | Franco arcilloso | 38      | 36     | 30        | MLA<br>6.39  | M<br>3.12 |
| #1- 60 cm                | Franco arcilloso | 42      | 24     | 34        | LA<br>6.51   | B<br>1.42 |
| #2- 15 cm                | Franco           | 32      | 42     | 22        | MLA<br>6.61  | A<br>5.46 |
| #2- 30 cm                | Franco           | 32      | 44     | 24        | MLA<br>6.78  | A<br>4.80 |
| #2- 60 cm                | Franco arcilloso | 40      | 32     | 34        | MLA<br>6.76  | M<br>2.20 |
| #3- 15 cm                | Franco           | 34      | 42     | 24        | MLAL<br>7.05 | A<br>7.73 |
| #3- 30 cm                | Franco           | 38      | 44     | 22        | MLAL<br>7.03 | A<br>4.30 |
| #3- 60 cm                | Franco arcilloso | 40      | 28     | 34        | MLA<br>6.86  | B<br>1.29 |
| #4- 15 cm                | Franco           | 42      | 36     | 22        | MLA<br>6.30  | A<br>4.56 |
| #4- 30 cm                | Franco           | 42      | 36     | 24        | MA<br>5.95   | A<br>4.16 |
| #4- 60 cm                | Franco arcilloso | 40      | 32     | 28        | MA<br>5.86   | B<br>1.81 |

A= Alto  
M= Medio  
B= Bajo

FA= Fuertemente ácido  
MA= Moderadamente ácido  
MLA= Muy levemente ácido

MLAL= Muy levemente alcalino