

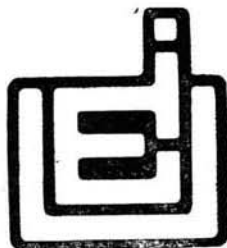


# Universidad Nacional Autónoma de México

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
IZTACALA

## ESTUDIO DE LA DINAMICA MICROBIANA EN SUELOS REGADOS CON AGUAS RESIDUALES

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
B I O L O G O  
P R E S E N T A  
BENITO RAFAEL RODRIGUEZ HUERTA



Los Reyes Iztacala, Estado de México

1990



Universidad Nacional  
Autónoma de México

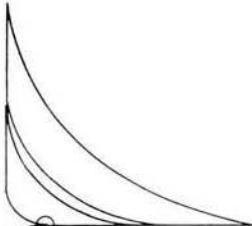


**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

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

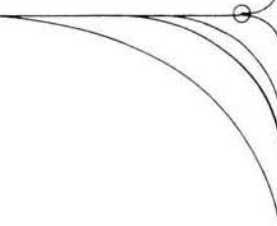
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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



El presente trabajo se realizó en El  
LABORATORIO DE ECOLOGIA MICROBIANA del  
Departamento de Microbiología de la  
Escuela Nacional de Ciencias  
Biológicas del I.P.N., con la asesoría  
del;

**M. en C. TEODORO GUTIERREZ CASTREJON**



A T I S E Ñ O R

PORQUE, ME SACASTE DEL ABISMO DE LA DESESPERACION,  
DEL PANTANO Y DEL LODO; PUSISTE MI PIE SOBRE SENDA  
FIRME Y ME SERENASTE MIENTRAS YO PROSEGUIA MI  
CAMINO.

ME HAS DADO UN CANTICO NUEVO PARA QUE YO LO CANTE  
CON ALABANZAS A NUESTRO DIOS.

PERO CUANDO TENGA MIEDO, PONDRE MI CONFIANZA EN  
TI. SI, CONFIARE EN LAS PROMESAS DE DIOS. ¿ QUE  
PODRA HACERME EL HOMBRE?

POR ESO NO TEMERE AUNQUE EL MUNDO SE DESINTEGRE Y  
LOS MONTES SE DERRUMBEN Y CAIGAN AL MAR; ¡RUJAN LOS  
OCEANOS ESPUMANTES! ¡QUE SE ESTREMEZCAN LOS  
MONTES;

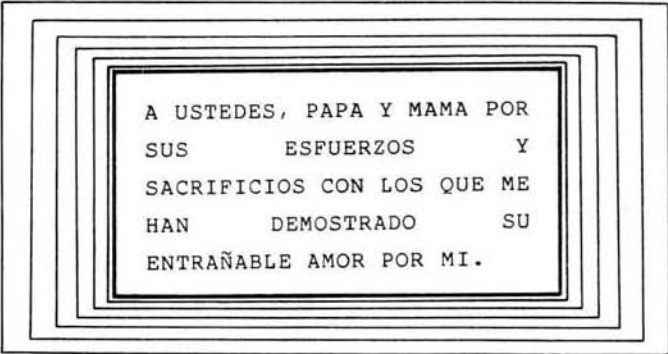
AMPLIOS COMO LOS CIELOS SON TU BONDAD Y TU AMOR.

TU FIDELIDAD ES MAS ALTA QUE EL CIELO.

PORQUE SOLO DE TI PROCEDE LA SALVACION. SI, SOLO  
TU ERES MI ROCA, MI LIBERTADOR, DEFENZA Y  
FORTALEZA.

SEÑOR JESUS SE EXALTADO, OH DIOS SOBRE LOS CIELOS.  
QUE TU GLORIA BRILLE POR TODA LA TIERRA.

LA TIERRA ENTERA TE ALABARA Y CANTARA TUS GLORIAS.



A USTEDES, PAPA Y MAMA POR  
SUS           ESFUERZOS           Y  
SACRIFICIOS CON LOS QUE ME  
HAN           DEMOSTRADO           SU  
ENTRAÑABLE AMOR POR MI.

## A G R A D E C I M I E N T O S

---

A MARTIN LOPEZ ARAGON porque tu amistad y apoyo fueron determinantes para alcanzar ésta meta.

A mis compañeros y amigos del Laboratorio de Ecología Microbiana de la ENCB-IPN, por su ayuda y comprensión, en especial al M. en C. TEODORO GUTIERREZ CASTREJON por su apoyo y confianza.

A mis compañeros y amigos del Laboratorio de Bioquímica y Microbiología de Suelos del Colegio de Postgraduados de Chapingo, por sus enseñanzas y amistad y por que creyeron en mi.

A mis compañeros y amigos del Laboratorio de Microbiología Marina del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología U.N.A.M., por sus enseñanzas y su amistad.

A mis compañeros y amigos del Departamento de Edafología de la E.N.E.P. Iztacala, por su apoyo.

A ustedes amigos, quienes de múltiples maneras colaboraron ayudándome para que saliéramos adelante.

## C O N T E N I D O

---

- I RESUMEN.
- II INTRODUCCION.
- III REVISION BIBLIOGRAFICA.
- IV DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO:
  - 4.1 Localización.
  - 4.2 Fisiografía.
  - 4.3 Clima.
  - 4.4 Hidrología.
  - 4.5 Edafología.
  - 4.6 Vegetación.
  - 4.7 Características de calidad sanitaria de las aguas residuales empleadas en el riego.
- V OBJETIVOS.
- VI MATERIALES Y METODOS:
  - 6.1 Procedencia y preparación de las muestras.
  - 6.2 Cuantificación de microorganismos del suelo.
  - 6.3 Análisis y caracterización físicoquímica del suelo.
- VII RESULTADOS:
  - 7.1 Análisis microbiológico del suelo.
  - 7.2 Caracterización físicoquímica del suelo.
  - 7.3 Análisis químico del suelo.
- VIII DISCUSION.
- IX CONCLUSIONES.
- X REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

---

## I R E S U M E N

---

Se realizó un estudio comparativo de la dinámica microbiana en dos alfalfares regados con aguas residuales, en Tlahuelilpan y Tezontepec, en el Distrito de Desarrollo 063 del Estado de Hidalgo.

Los suelos se estudiaron durante diez meses, analizándose un total de cincuenta muestras colectadas de 0-20 cms. Las cuales fueron procesadas para la cuantificación de actinomicetos, bacterias, hongos, amonificadores y celulolíticos. También se realizaron algunas pruebas fisicoquímicas para su caracterización.

El número más probable de amonificantes, indicó diferencias notables entre los dos suelos, siendo mayor su densidad en Tlahuelilpan; la densidad de los microorganismos celulolíticos también fué alta en ésta parcela, en los dos suelos fueron los grupos con mayor abundancia.

Las variaciones de los actinomicetos, bacterias y hongos en ambas parcelas fueron similares e independientes de sus densidades, las cuales fueron hasta tres veces más altas en Tlahuelilpan.

La caracterización fisicoquímica, indicó que se trata de suelos ligeramente alcalinos, ricos en carbonatos, cloruros, calcio y magnesio, de niveles medios en potasio y de alta capacidad de intercambio catiónico.

El suelo estudiado en Tlahuelilpan con altos niveles de sodio, materia orgánica y nitrógeno total, con textura arcillo limosa y de color gris oscuro.

El suelo estudiado en Tezontepec con niveles bajos en materia orgánica y nitrógeno total, de contenido medio en sodio, de textura migajón arenosa y de color pardo.

Se consideró que los grupos microbianos estudiados estuvieron presentes, pero no se afirma que actúen eficientemente debido al uso indiscriminado que se les da a las aguas residuales las cuáles están altamente contaminadas, permitiendo posiblemente el establecimiento de microorganismos tolerantes a éstos ambientes extremos.



## II. INTRODUCCION

En el Valle del Mezquital, el riego es el principal factor de producción que contribuye a satisfacer las demandas agrícolas de agua y nutrimentos (1, 24).

El agua al disolver los materiales orgánicos y minerales del suelo da las condiciones para que puedan aprovecharse por las plantas en la nutrición, crecimiento y para satisfacer las necesidades de evapotranspiración. Sin embargo, el mal control de la calidad y cantidad de las aguas utilizadas en el riego pueden inducir deterioros y aún su destrucción (32).

Son los suelos agrícolas receptores de aguas residuales un ejemplo claro de ésta situación. Los daños ocasionados al aplicarlas sin tratamiento alguno que permita mejorar su calidad, máxime que se vierten excesivamente, pueden alterar sus capacidades de autodepuración.

Se sabe que las aguas residuales de uso agrícola, contienen altos contenidos de sales, sin embargo las condiciones de drenaje, la abundancia de calcio, las texturas medias y ligeras que existen en la región, han hecho posible el establecimiento de actividades agrícolas remunerativas. Incluso, éstas aguas, de origen urbano y municipal, han mejorado las condiciones estructurales y de fertilidad, gracias a los nutrimentos disueltos o en suspensión (31).

Pero entre los materiales introducidos a los suelos además de los aprovechables por las plantas y microorganismos, hay otros que potencialmente son tóxicos. Actualmente las aguas residuales provenientes del Valle de México transportan una amplia gama de substancias derivadas de la metalurgia, química de pinturas y colorantes, cerámica y porcelana, textiles, fertilizantes, detergentes, refinación del petróleo, etc., ocasionando

problemas, debido a que no se degradan con facilidad (11, 12, 16).

### III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Estudios realizados en el Distrito de Desarrollo 063 (D.D.R.-063) indican que el contenido de metales pesados en las aguas residuales, sobrepasan los límites permisibles para las aguas de uso agrario (28, 31).

Los efectos de los metales pesados en los cultivos, pueden depender de sus concentraciones en el suelo y de la profundidad radical, tal como se ha observado con el Hg y el Cr, en cultivos de alfalfa (16, 19, 23).

También se ha comprobado que la influencia del pH del suelo es determinante para la asimilación de los metales por las plantas; cuando el pH es alcalino, difícilmente pueden ser asimilados debido a que se precipitan en la solución del suelo (3, 20).

Estudios de laboratorio realizados en suelos tratados con aguas residuales y con altas concentraciones en Cd, Pb, Ni, Zn, etc., indican alteraciones de las actividades respiratorias y enzimáticas del suelo, además de las variaciones en bacterias y hongos (15, 18, 28).

En los suelos del Valle del Mezquital se han reportado valores de Pb fluctuando desde trazas hasta 300 ppm, aunque de las plantas se han obtenido entre 7 y 779 ppm de Pb extractable (14), sin embargo las condiciones alcalinas de los suelos hacen difícil que el Pb pueda presentarse, debido a que tiende a lixiviarse (3, 18).

Los detergentes, cuyas proporciones han aumentado en las aguas de desecho, pueden ser tóxicos a las plantas y animales, además de intervenir en los mecanismos de eutroficación de los cuerpos de agua al producir abundante espuma que obstruye la penetración de la luz solar y la solubilidad del oxígeno, alterando seriamente los mecanismos naturales de autopurificación (11, 28).

Se ha encontrado que los detergentes del tipo alquilbencensulfonato (ABS) reducen la tensión superficial de la solución del suelo, acción que incrementa los fenómenos de absorción de agua y nutrimentos en las plantas (12, 13, 28).

En México, es posible encontrar en las aguas residuales concentraciones de 22 mg/L de diferentes surfactantes, quienes al ser poco degradables, ocasionan, disminuciones en la fertilidad de los suelos (28). Los detergentes también participan en la contaminación de los mantos freáticos y por lo tanto en las aguas de uso doméstico.

En el Mezquital se han encontrado valores de ABS que oscilan entre los 60 y 220 ppm, cantidades muy superiores a las establecidas en las normas de salud (30, 37).

Las características propias de éstos contaminantes transportados por las aguas residuales y vertidos a los suelos receptores pueden afectar la composición y fisiología de la microflora responsable de los mecanismos de descomposición, lo cuál implicaría alteraciones en serie en los niveles tróficos que sustentan el equilibrio ecológico (18,32).

El componente microbiológico es importante debido a sus cualidades metabólicas y, en consecuencia, por su potencialidad de transformación de los desechos vertidos (2).

Se considera que el componente orgánico de las aguas residuales permite el desarrollo de los microorganismos que cierran los ciclos biogeoquímicos de elementos como el S, C, N y el P, compitiendo frecuentemente, y eliminando los elementos microbianos patógenos que se encuentran en el hábitat (7, 33).

Las comunidades microbianas del suelo pueden presentar densidades de  $10^7$  bacterias,  $10^6$  actinomicetos,  $10^5$  hongos por gramo de suelo en los horizontes  $A_0$  y  $A_1$  (32).

Se ha observado que la aplicación de las aguas residuales, por lo general aumenta significativamente las cantidades anteriormente citadas, modificando la composición bacteriana y actinomicetal, al permitir la aparición de áreas con predominio de anaerobiosis temporal, y estimulando el establecimiento de ciertos grupos fisiológicos por adición de nutrimentos (18).

La capacidad de autopurificación natural funciona sólo en condiciones en las que la composición y cantidad de contaminantes no sobrepase ésta capacidad. La adición continuada de ciertos tipos de materiales orgánicos condicionaría la presencia persistente de determinados grupos microbianos, quienes al desarrollarse desequilibradamente, ocasionarían estados de competencia por el uso de alimento y espacio (18).

Se ha demostrado que las variaciones estacionales en las densidades de saprófitos, podrían ocurrir al modificarse las condiciones tróficas, por la autólisis de bacterias y hongos o acelerarse por las altas temperaturas, una mayor ingestión bacteriana al aumentar desequilibradamente las comunidades protistas, y en algunos casos por los efectos bactericidas inducidos por la luz diurna (34).

También ocurren disturbios cuando las aguas residuales al introducir sustancias tóxicas ocasionan la muerte de los microorganismos responsables de los procesos de mineralización, lo cuál frecuentemente sucede con los metales pesados, detergentes, cianuros, etc.

Algunos investigadores reportan que los metales

pesados como el Pb, Cd y el Zn presentes en los suelos, reducen la microflora, en especial de bacterias, hongos y levaduras; además se ha observado que el Cd en concentraciones de 10 y 100 ppm, ejerce efectos tóxicos sobre la microflora; las combinaciones de dichos elementos, reducen drásticamente la comunidad microbiana de los suelos (18).

Estudios bioquímicos y genéticos de resistencia hacia los metales pesados y antibióticos, sugieren que los microorganismos pueden seleccionarse en función a sus capacidades de resistencia a las dosis altas de dichos compuestos, éstas capacidades también son posibles en condiciones naturales, como sucede con las bacterias Gram-negativas (2).

En el caso de los detergentes se ha observado que dañan a la microbiota, por ejemplo el lauril-alkil-sulfonato (LAB), inhibe la movilidad de Proteus mirabilis cuando la concentración es de 400 ppm, el dodecil-sulfonato de sodio produce desintegración de flagelos, lo cual se debe a la acción de los detergentes al desnaturalizar las proteínas (18).

En los ambientes acuáticos el fitoplanctón es estimulado por el alto contenido de fósforo de los surfactantes junto con los materiales orgánicos presentes, dando lugar al fenómeno de eutroficación. Sin embargo concentraciones más altas de detergentes afectan a las microalgas, al reducir sus actividades fotosintéticas/(20).

Los surfactantes catiónicos inhiben a los microorganismos tanto Gram-positivos como Gram-negativos, mientras que las especies Gram-positivas son más susceptibles a los de tipo aniónico. Muchas bacterias no son afectadas por el Teepol a la concentración de 500 ppm mientras que otras como Staphylococcus aureus son

sensibles a concentraciones menores de 200 ppm (18).

Ciertos productos cosméticos y farmacéuticos pueden ser degradados microbiológicamente, por ejemplo, los detergentes aniónicos en shampoos pueden ser metabolizados por Citrobacter sp. y Aerobacter sp., las cremas cosméticas son fácilmente afectadas por pseudomonas debido a los componentes grasos que contienen (18).

Los hidrocarburos arrastrados por las aguas residuales también pueden alterar la microflora endémica. En suelos con altos contenidos de aceites pueden contener selectivamente comunidades microbianas que puedan utilizar a su vez elevadas concentraciones de hidrocarburos, por ejemplo, en los sedimentos de la área de la Bahía Bantaria del Golfo de México, donde existe contaminación crónica por grasas se han detectado densidades superiores a  $10^6$  bacterias degradadoras de grasas por gramo de sedimento (20).

Muchos investigadores han enfocado su atención en las influencias de ciertos hidrocarburos sobre los números totales de hongos, bacterias, actinomicetos, algas, protozoarios, nemátodos y artrópodos de los suelos. Mientras, otros han atendido a géneros bacterianos particulares tales como: Rhizobium, Nitrosomonas, Nitrobacter, Pseudomonas, Azotobacter, Thiobacillus, etc. (2, 32).

Se han registrado restricciones temporales en el crecimiento de hongos después de la adición del ácido fenoxiacético al suelo. Altos niveles de insecticidas pueden modificar radicalmente a las comunidad del suelo, al destruir la comunidad clímax, y como un resultado, posibles alteraciones en las interacciones preza-predador (26).

Es posible que los suelos estén recibiendo altas cantidades de hidrocarburos a través de las aguas residuales suministradas por el riego. lo cual puede alterar la flora microbiana durante varios meses. Numerosas formas bacterianas esporuladas (Bacillus sp., Clostridium sp.) y los hongos y protozoarios que forman estructuras de resistencia pueden dominar la comunidad (2, 32, 39).

#### **IV. DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO**

##### **4.1 Localización:**

El Distrito de Riego 063 (D.D.R.-063) Mixquiahuala, está ubicado en la porción suroriental del Estado de Hidalgo y al norte de la Cd. de México, entre los paralelos  $15^{\circ} 44'$  y  $20^{\circ} 29'$  de latitud norte y meridiano  $98^{\circ} 57'$  y  $99^{\circ} 21'$  de longitud oeste, con altitud promedio de 1895 m.s.n.m., comprende los municipios de Actopan, Atitalaquia, Atotonilco de Tula, El Arenal, Ixmiquilpan, Progreso, Mixquiahuala, Santiago de Anaya, San Salvador, Tepatepec, Tepeji del Río, Tepetitlán, Tezontepec de Aldama, Tlaxcoapan, Tlahuelilpan de Ocampo y Tula de Allende (8), Fig.1

Las aguas residuales, y las aguas del Lago de Texcoco son desalojadas del Valle de México por el Gran Canal del Desagüe y por el Emisor Profundo a través de los tuneles de Tequixquiac quienes las conducen a la cuenca del Mezquital (9), Fig.2

##### **4.2 Fisiografía:**

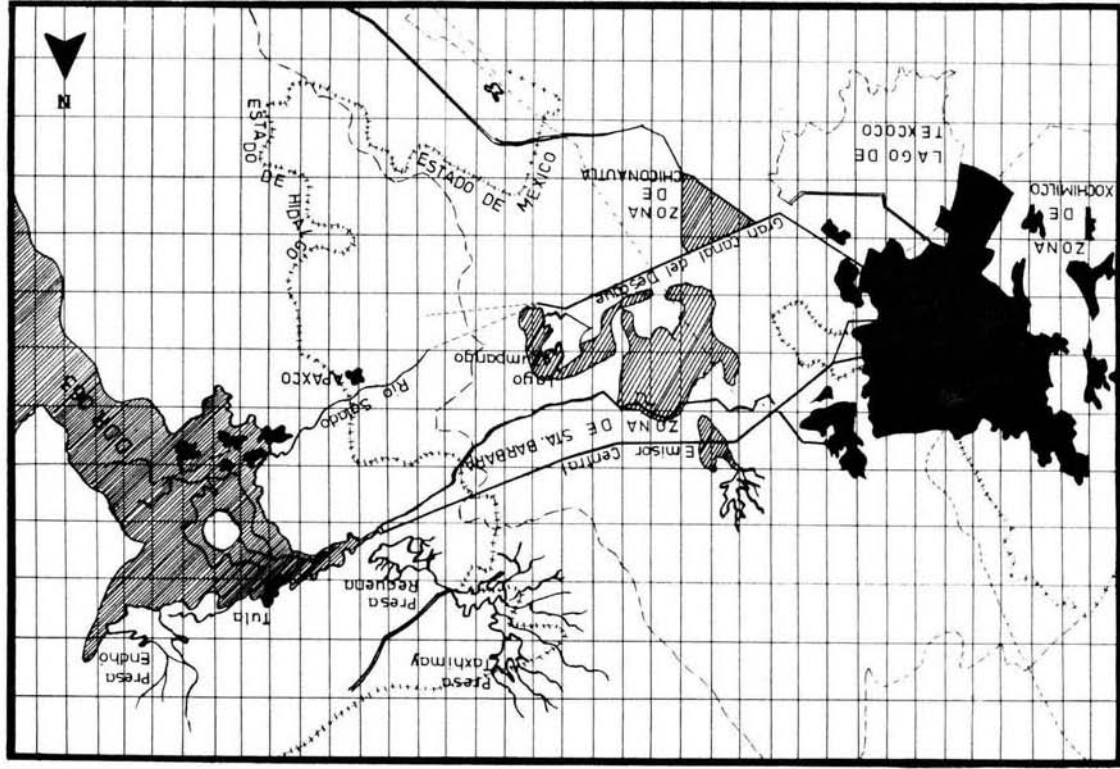
En cuanto a su geomorfología uno de sus principales elementos lo constituye la Sierra Madre Oriental localizada al norte y noreste del Valle del Mezquital



Fig.1 LOCALIZACION DEL DISTRITO DE RIEGO 063  
EN EL ESTADO DE HIDALGO.



Fig. 2 RIOS, CANALES DE DRENAGE Y AREAS DE IRRIGACION EN EL VALLE DE MEXICO Y LA REGION DEL MEZQUITAL.



conocida localmente con los nombres de sierras de Jacala, de Zimapán, de Pachuca, y una estribación de ésta que es la Sierra de Actopan; dichos elementos tienen gran importancia regional por el potencial que representan en recursos mineros y forestales.

En cuanto a la morfología en el centro y sur de la región se encuentra representada por una serie de valles limitados por elementos montañosos de origen volcánico y origen sedimentario debido a ello gran parte de los valles están cubiertos por tobas, gravas y arenas. De esta serie de valles destaca el del río Tula, tanto por su extensión como por la importancia económica que ha adquirido debido a la intensa actividad agrícola existente en él (13).

#### **4.3 Clima:**

La presencia de estas sierras influye en el clima de la región al formar una barrera que impide el paso de las masas de aire húmedo provenientes del Golfo de México, por lo cual disminuye la precipitación en la vertiente occidental, de manera que en el Valle del Mezquital se presentan dos zonas: una que abarca la mayor parte de la región, situada en el centro de la misma, en donde se encuentran las variantes del clima seco BSkwg y BShwg identificadas en general, con las isoyetas medias anuales inferiores a 600 mm, y otra zona de menor extensión, localizada al norte, noreste y sur, en donde el clima es húmedo Cwag y Cwbg, donde el valor de las isoyetas es superior a los 600 mm.

La distribución de la precipitación marca el primer contraste regional, puesto que, existen áreas como Tasquillo y parte de Zimapán con precipitaciones inferiores a 400 mm, se encuentran otras como Metztitlán, cuya precipitación promedio anual es de 1500 mm, y permite la agricultura de temporal (8).

#### 4.4 Hidrología:

El D.D.R.- 063 se localiza en la Cuenca Alta del río Pánuco. Utiliza las aguas de los ríos Tula (con sus afluentes río Tepeji, río El Salto, río Rosas, río Tlautla) y Salado, que en conjunto abarcan una cuenca de captación de 11 000 Kms.

El colector principal en el Valle del Mezquital, es el río Tula, el cual nace en los flancos orientales del cerro de la Bura en el Estado de México, su curso superior se llama río Tepeji, el cual descarga sus aguas a la altura del poblado de Tepeji, en la presa Requena cerca de el poblado de Tula, más adelante sus aguas se almacenan en la presa Endhó y con el nombre de río Tula, avanza hacia el norte, en donde recibe como efluente el arroyo del Salto, después se conecta artificialmente con el río Cuautitlán. Se le agregan los ríos Tlautla y Rosas y posteriormente el río Salado. Este último capta las aguas provenientes de la zona metropolitana del Valle de México, a través de los túneles de Tequixquiac y del arroyo de Hueyoxtla, en donde toma el nombre de río Salado. Este río atraviesa a la zona de riego de sur a norte y confluye con el río Tula en las cercanías del poblado de Tezontepec. El río Tula continúa por el Valle del Mezquital a las orillas de Mixquiahuala e Ixmiquilpan, en donde se une al río Actopan. El río Tula desemboca al río San Juan en las cercanías de Zimapan y con el aporte del río Hondo, conforma al río Moctezuma. En ésta región se localizan la presa Endhó con un volumen de capacidad de 182.9 millones de metros cúbicos y la presa Requena con una capacidad de 70.7 millones de metros cúbicos, sus aguas son usadas para riego y control de avenidas (8) (Fig.3).



#### 4.5 Edafología:

Los suelos contienen bajos niveles de nitrógeno y niveles medios de fósforo en la capa superficial, por ser de textura franca o ligera, de naturaleza alcalina, con altos valores en calcio, niveles medios de salinidad, sodio y boro, éstos suelos son aptos para cultivos poco tolerantes a las condiciones mencionadas. Cuando los cultivos sufren de exceso de sales muestran síntomas de marchitez. Los principales cationes que participan en el carácter salino (fenómeno producido como consecuencia de las aplicaciones de las aguas residuales en el riego) son: Na, Ca, Mg, K y los aniones: sulfatos, cloruros, nitratos y boratos (8).

Los suelos se vuelven sumamente compactos y encharcados, su espacio poroso disminuye y las plantas pueden sufrir las consecuencias de las condiciones anaeróbicas, la nitrificación puede inhibirse; la respiración y la penetración radicales quedan restringidas ocasionando que las enfermedades radicales puedan aumentar. Actualmente no existen problemas graves que afecten la producción. Los cultivos que sobresalen son los siguientes: alfalfa, avena, calabaza, chile, frijol, jitomate, maíz, trigo, tomate (8, 13).

#### 4.6 Vegetación:

Existen áreas con vegetación de mezquitales y pastizales, así como matorrales crasicauales, Agave striata sobre todo en áreas limitadas sobre calizas; el matorral Hechtia podanta y Agave lechuguilla prosperan en suelos derivados de rocas ígneas. También un matorral con Opuntia streptocantha (nopal cardón). Zaluziana augusta, Mimosa biuncifera, Cephalocereus senilis, Montanoa xanthifolia, Taxodium mucronatum (ahuehuete) en

las orillas de los ríos (13, 30).

#### 4.7 Características de calidad sanitaria de las aguas residuales empleadas en el riego:

{Las aguas residuales empleadas en el riego no cumplen las características de calidad relacionadas con la protección a la salud pública en lo relativo a la concentración de bacterias, virus, helmintos y otros patógenos. Los patógenos que más frecuentemente se transmiten son los helmintos quienes afectan con mayor intensidad a los niños. También se han detectado enfermedades en los adultos ocasionadas por Ascaris sp. y Trichuris sp., enfermedades del ganado causadas por Taenia sp.(8).

Los factores antes mencionados, hacen pensar que el exceso de infecciones y enfermedades, causadas por las distintas clases de patógenos cuando se riega con aguas residuales, está en el siguiente orden de importancia:

1. Infecciones por nemátodos intestinales, Ascaris sp., Trichuris sp., etc.
2. Infecciones por bacterias excretadas (diarrea bacteriana, tifoidea, etc.).
3. Infecciones por virus excretados (diarrea, retrovirus y hepatitis).

La escasa investigación realizada en el D.D.R.-063 referente a todo lo antes mencionado hace que sea indispensable generar información precisa y oportuna que muestre las condiciones actuales de ésta problemática.

También son insuficientes los estudios acerca del control de plagas y enfermedades de los cultivos, así como las dosis de fertilización, las densidades de siembra (8, 13).

Algunas de las alternativas que se sugieren para la resolución de dichos problemas son:

Estudios básicos sobre suelos que permitan la utilización de las aguas residuales en su riego.

Implementación de estudios tendientes a cuantificar los contenidos de metales pesados en los suelos.

Intensificación de las investigaciones relativas a los regímenes de humedad, fertilización, manejo y mejoramiento de los cultivos, prevención y control de fitopatógenos, evolución de la salinidad, contaminación por grasas, detergentes.

Evaluación de los aspectos microbiológicos que involucran la fertilidad y su seguimiento a través del tiempo.

Implementación de tecnologías de conservación de los recursos agua y suelo que permitan el mantenimiento de sus calidades biológicas de manera sostenida.

Sin embargo ningún programa de conservación ecológica tendrá efectos positivos sin que antes sean cumplidas las reglamentaciones contra el deterioro del medio ambiente que el gobierno federal ha establecido para ello.

Así mismo es indispensable que el gobierno apoye en lo económico y en infraestructura para que los programas funcionen con eficiencia.

## V. O B J E T I V O S

---

Tomando en consideración los antecedentes mencionados, se plantearon los objetivos siguientes:

1. Determinación de las variaciones estacionales de los grupos microbianos : actinomicetos, bacterias, hongos, amonificadores y celulolíticos, en suelos irrigados con aguas residuales.
2. A partir de los resultados logrados, la realización de un análisis comparativo de las variaciones microbianas entre los suelos estudiados.
3. Determinación de algunas propiedades fisicoquímicas de los suelos para su caracterización.



## VI. MATERIALES Y METODOS

### 6.1 Procedencia y preparación de las muestras:

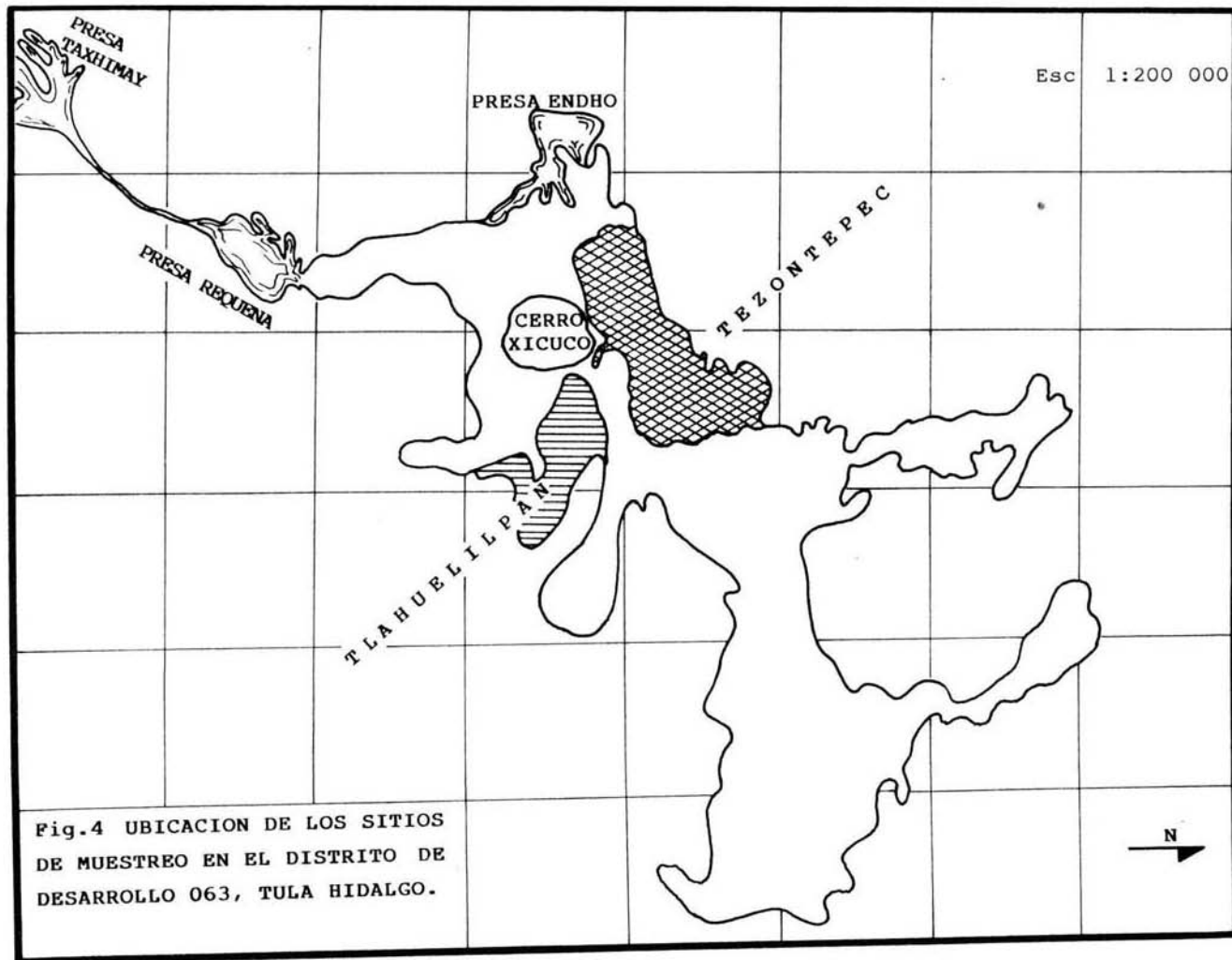
Los suelos estudiados se localizan en el Distrito de Desarrollo 063 (D.D.R.-063) en el Valle del Mezquital, Estado de Hidalgo (Fig.3) está formado por dieciseis municipios, con una extensión de 120 mil hectáreas, de las cuáles aproximadamente 80 mil utilizan para su riego las aguas residuales procedentes del Valle de México.

Fueron seleccionados dos sitios de estudio, los cuáles se localizan de la siguiente manera, (Fig.4):

SITIO No.1: Se ubica geográficamente entre los paralelos  $20^{\circ}06'$  y  $20^{\circ}09'$  de latitud norte y  $99^{\circ}10'$  y  $99^{\circ}15'$  de longitud oeste, con una altitud promedio de 2000 m.s.n.m. La parcela de estudio se encuentra cerca del poblado de Tlahuelilpan, en donde se utilizan las aguas del Río Salado.

SITIO No.2 SE ubica geográficamente entre los paralelos  $20^{\circ}01'$  y  $20^{\circ}12'$  de latitud norte y  $99^{\circ}17'$  y  $99^{\circ}21'$  de longitud oeste, con una altitud promedio de 2326 m.s.n.m. La parcela de estudio se localiza en Tezontepec de Aldama, en ésta región se utilizan las aguas procedentes de las presas Requena y Endhó.

En cada sitio de estudio, se seleccionó una parcela con  $1000\text{ m}^2$  de superficie. Las parcelas se manejaron de la siguiente manera:



Por colecta se tomó al azar un cuadrante de 25 m<sup>2</sup> de donde se extraían cinco sub-muestras compuestas de aproximadamente 1 Kg de peso cada una, tomadas del suelo superficial a una profundidad de 0-20 cms. Las sub-muestras se guardaron en bolsas negras de polietileno previamente rotuladas. Posteriormente cada una se homogeneizó y tamizó con malla de 2 mm (para los análisis físico y microbiológico) y con malla de 0.5 mm (para las pruebas químicas). Hecho todo lo anterior se almacenaron en bolsas negras de polietileno a 4 °C de temperatura hasta su utilización. De allí se tomaron las cantidades necesarias para las pruebas respectivas. El periodo de estudio comprendió once meses, de febrero a diciembre de 1987, realizándose cinco colectas de donde se procesaron un total de 25 muestras por parcela.

## 6.2 Cuantificación de microorganismos del suelo:

Se estudiaron los grupos microbianos de bacterias, actinomicetos y hongos; además de los grupos fisiológicos de amonificadores y celulolíticos. El procedimiento fué el siguiente:

a. Para cada sub-muestra se elaboró una serie de botellas de dilución con 90 mL de solución salina isotónica a pH de 7.0 y estéril.

b. De cada sub-muestra se pesaron 10 g de suelo, los cuales se adicionaron a su botella respectiva. A partir de ellas se realizaron las diluciones decimales, conforme a sus series respectivas.

c. Se procedió a la inoculación, empleando la técnica de distribución superficial, en placa, la alícuota inoculada fué de 0.1 mL, la cual se distribuyó sobre la superficie del medio de cultivo con un ángulo de siembra estéril.

d. El medio de cultivo utilizado para el crecimiento de bacterias fué el propuesto por Bunt y Rovira (29), con las diluciones  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$  para las determinaciones de cuenta viable, se incubaron a  $28^{\circ}\text{C}$ .

e. El medio de cultivo empleado para actinomicetos fué el de Clarck (4), y las diluciones consideradas fueron  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$ , para cuenta viable e incubados a  $28^{\circ}\text{C}$ .

f. Para las determinaciones de conteos viables en hongos, se eligieron las diluciones  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ , las cuales se inocularon en el medio de Martin (22), a  $28^{\circ}\text{C}$  para incubación.

g. Para celulolíticos se eligieron las diluciones  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$ ,  $10^{-7}$ , empleando el medio de Parkinson (10), los que se incubaron a  $28^{\circ}\text{C}$ .

h. Transcurridos cinco días de incubación se procedió a contar las colonias formadas. Los resultados se multiplicaron por la dilución y el factor de la alícuota, expresando el resultado cómo Unidades Formadoras de Colonias (U.F.C.) por gramo de suelo seco (6)

i. Para la evaluación de microorganismos amonificantes se consideró la Técnica del Número Más Probable (N.M.P.) (38).

1.- Se utilizaron las mismas series de dilución para determinar su presencia.

2.- Se prepararon tubos con medio líquido según Pochón y Tardieux (36) y las diluciones  $10^{-6}$ ,  $10^{-7}$ ,  $10^{-8}$ . Se incubaron a  $28^{\circ}\text{C}$  y después de cinco días se valoraron. La presencia de los microorganismos se evidenció por la aparición de reacciones coloridas con la participación del reactivo Nessler.

3.- Se estimaron los contenidos de amonificantes en función de las reacciones coloridas experimentadas por la presencia de los mismos en los tubos inoculados, el número más probable se expresó como el número de amonificantes por gramo de suelo seco, con ayuda de las tablas de Mc. Grady.

CALCULOS:

$$\text{Número más probable: } \frac{(b)(c)}{(a)(p)}$$

dónde:

- a: Alícuota de inoculación.
- b: Número de diluciones representadas por el tubo de menor dilución.
- c: N.M.P. de las tablas de Mc. Grady.
- p: Peso seco de la muestra dilución/ gramo.

NOTA: En todas las pruebas microbiológicas se realizaron cinco repeticiones.

### 6.3 Análisis y caracterización fisicoquímica:

Las muestras se tomaron de la capa superficial del suelo a una profundidad de 0-20 cms. De cada lugar se colectaron cinco porciones al azar, se mezclaron y homogeneizaron para que de ésta manera integraran la muestra respectiva. Las pruebas ejecutadas, fueron las siguientes:

TEXTURA: Se determinó por el método del hidrómetro de Bouyoucos (25).

POROSIDAD: Se valoró mediante la relación de la densidad aparente y la densidad real (35).

HUMEDAD: Se determinó por el método gravimétrico (25).

COLOR: Por comparación con la escala Munsell (26)

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO: Se determinó por el método del acetato de sodio 1N, pH de 8.2 (21).

CLORUROS: Se determinaron con el método de Mohr (21).

CARBONATOS: Se determinaron por análisis volumétrico (25).

CALCIO Y MAGNESIO: Se evaluaron por titulación con EDTA (6).

SODIO Y POTASIO: Se determinaron por flamometría (6).

Las determinaciones del pH, materia orgánica (M.O.) y nitrógeno total ( $N_t$ ) se realizaron en todas las colectas y para cada sub-muestra.

**NITROGENO TOTAL:** Las determinaciones se hicieron con la técnica Kjeldahl modificada para nitrógeno total (25).

**MATERIA ORGANICA** Se realizó con la técnica de Walkley y Black (25).

**pH:** Se utilizó el método electroquímico en una suspensión agua-suelo (1: 2.5) (25).

Las tres pruebas indicadas arriba se hicieron con cinco repeticiones en cada colecta.

## **VII. RESULTADOS**

---

Los distintos factores estudiados se detallarán por separado.

**7.1 Análisis microbiológico del suelo:** En las figuras 5(a, b) y 6(a, b) se muestran las variaciones en las densidades de actinomicetos, bacterias, hongos, microorganismos amonificantes y celulolíticos.

Los resultados logrados se refieren al número de microorganismos viables como unidades formadoras de colonias (U.F.C.) y el número más probable (N.M.P.) por gramo de suelo seco, según el caso (Cuadros 1, 2, 3, 4 y 5).

**Tlahuelilpan:** La abundancia relativa de los microorganismos viables en orden decreciente fué la siguiente: bacterias, actinomicetos y hongos (Fig. 5a).

Los intervalos de variación para bacterias, actinomicetos y hongos fueron  $68 \times 10^5$  a  $12.5 \times 10^7$ ,  $21.2 \times 10^3$  a  $32.9 \times 10^5$   $13.4 \times 10^3$  a  $4.6 \times 10^4$  respectivamente.

La densidad promedio más alta se observó en el mes de diciembre y la menor por el mes de febrero.

La variación total experimentada por los hongos fué mínima, y en el caso de los actinomicetos fué la más

acentuada.

La presencia de los microorganismos amonificantes y celulolíticos (Fig. 5b) experimentó fluctuaciones de  $1.4 \times 10^6$  a  $18 \times 10^8$  y  $20.26 \times 10^5$  a  $43.02 \times 10^6$ , respectivamente.

La abundancia de los grupos fisiológicos se alternó, cuando los amonificantes aumentaron los celulolíticos disminuyeron y viceversa.

**Tezontepec:** La abundancia relativa de los microorganismos viables en orden decreciente fué la siguiente: bacterias, actinomicetos y hongos (Fig. 6a).

Los intervalos de variación para bacterias, actinomicetos y hongos viables fueron 0 a  $16.02 \times 10^6$ ,  $4.4 \times 10^2$  a  $30.72 \times 10^4$  y  $4.4 \times 10^3$  a  $4.2 \times 10^5$ , respectivamente.

Cabe señalar que no se lograron resultados en las cuentas viables de bacterias en la colecta de febrero.

El comportamiento entre los grupos indicó ciertas similitudes, solo en los actinomicetos y en los hongos, no así en las bacterias debido a su ausencia en la primera colecta.

Para los microorganismos amonificantes y celulolíticos (Fig. 6b) los intervalos de variación fueron  $1.4 \times 10^6$  a  $18 \times 10^8$  y  $10.38 \times 10^6$  a  $32.52 \times 10^6$ , respectivamente.

Durante el mes de noviembre se encontró la mayor densidad de amonificantes, mientras que los celulolíticos tuvieron un periodo con cierta estabilidad entre julio y noviembre.

Al comparar los resultados logrados en los dos suelos observamos, que, la abundancia relativa de los mismos conservó el mismo orden: amonificadores, celulolíticos, bacterias, actinomicetos y hongos. No obstante que las condiciones ambientales y de riego fueron diferentes.



COLECTA	TLAHUELILPAN	TEZONTEPEC
Febrero	3292.0	186.0
Junio	21.2	0.44
Julio	249.2	307.2
Septiembre	23.6	55.4
Diciembre	308.8	305.8
$\bar{x}$	778.96	170.99
s	1410.84	140.89

Cuadro No.1 VALORES PROMEDIO  
DE ACTINOMICETOS VIABLES EN  
U.F.C./g de suelo ( $10^3$ ).

COLECTA	TLAHUELILPAN	TEZONTEPEC
Febrero	6.76	0
Junio	56.08	160.18
Julio	19.94	34.28
Septiembre	20.62	34.94
Diciembre	1248.34	117.58
$\bar{x}$	273.61	66.53
s	545.20	68.83

Cuadro No.2 VALORES PROMEDIO  
DE BACTERIAS VIABLES EN  
U.F.C./g de suelo ( $10^5$ ).

COLECTA	TLAHUELILPAN	TEZONTEPEC
Febrero	46.0	420.0
Junio	41.4	14.4
Julio	13.4	72.8
Septiembre	19.6	61.0
Diciembre	42.0	223.4
$\bar{x}$	32.5	158.3
s	14.86	165.99

Cuadro No.3 VALORES PROMEDIO  
DE HONGOS VIABLES EN U.F.C./g  
de suelo ( $10^3$ ).

COLECTA	TLAHUELILPAN	TEZONTEPEC
Febrero	4302	2386
Junio	202.6	3252
Julio	546.4	2456
Septiembre	530	1038
Diciembre	2266	1952
$\bar{x}$	2052.92	1733.28
s	1558.84	1187.11

Cuadro No.4 VALORES PROMEDIO  
DE CELULOLITICOS VIABLES EN  
U.F.C./g de suelo ( $10^4$ ).

COLECTA	TLAHUELILPAN	TEZONTEPEC
Febrero	1.4	1.4
Junio	120.0	46.8
Julio	70.0	112.9
Septiembre	46.16	53.46
Diciembre	1800.0	1800.0
$\bar{x}$	407.51	402.91
s	779.59	782.0

Cuadro No.5 VALORES PROMEDIO  
DE AMONIFICADORES VIABLES COMO  
N.M.P./g de suelo ( $10^6$ ).

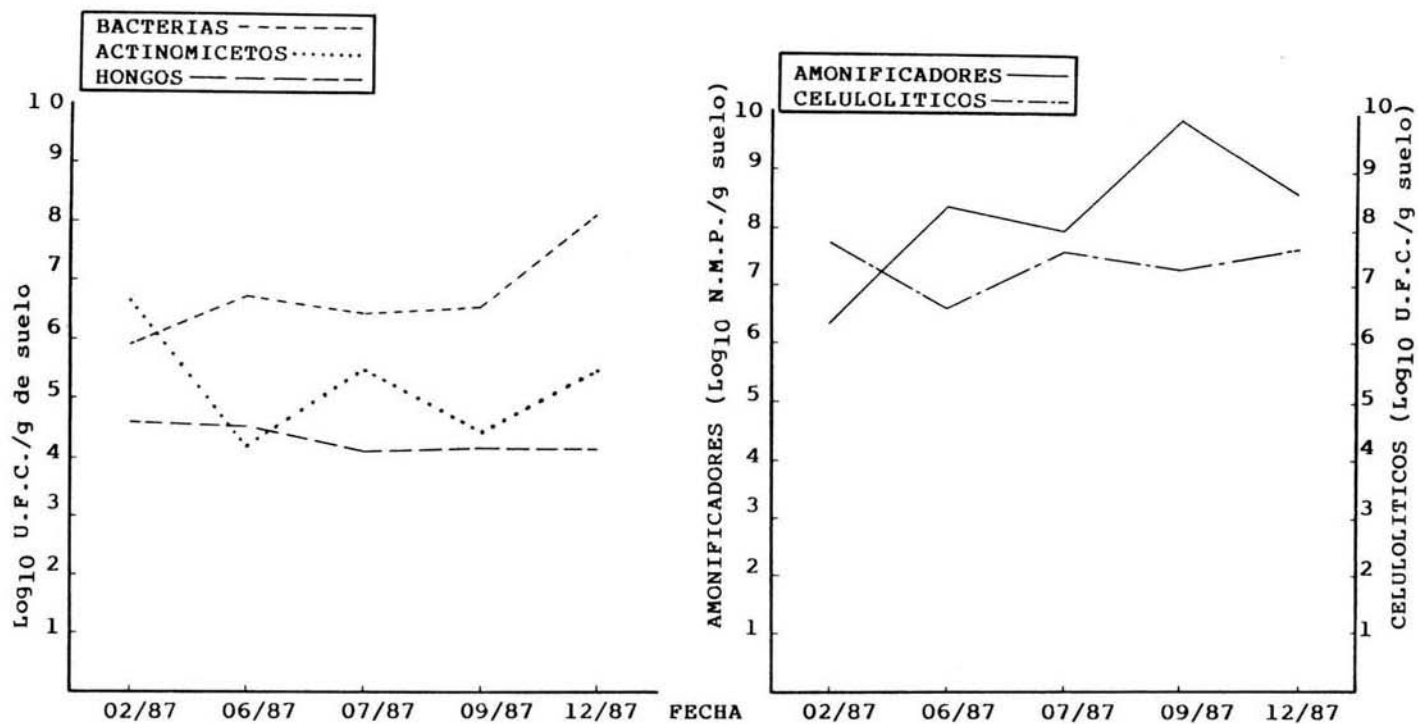


Fig.5 VARIACION DE LA COMUNIDAD MICROBIANA EN EL SUELO DE TLAHUELILPAN, HGO.

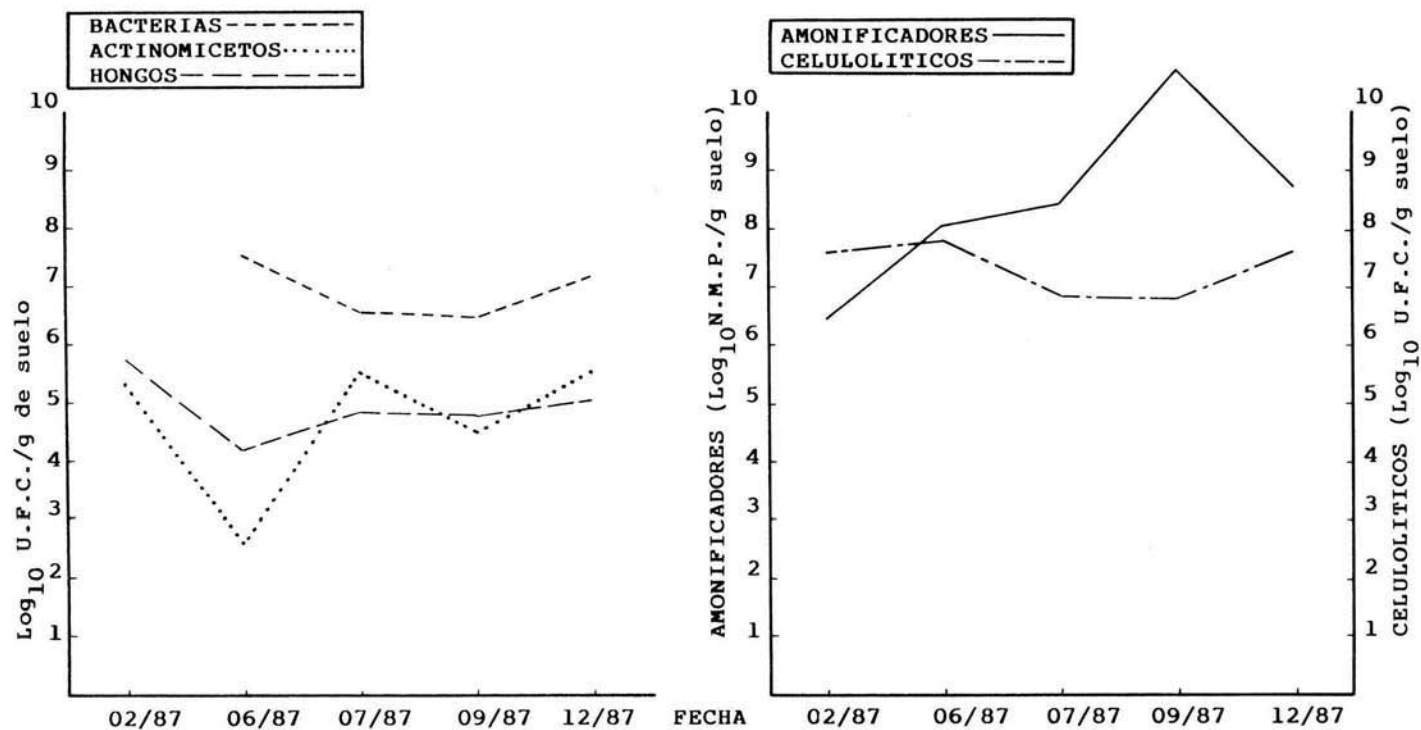


Fig.6 VARIACION DE LA COMUNIDAD MICROBIANA EN EL SUELO DE TEZONTEPEC, HGO.

Las variaciones mostradas fueron semejantes en las bacterias, actinomicetos y amonificadores, mientras que los hongos y celulolíticos se comportaron diferentemente, entre los meses de junio a noviembre.

Las dos comunidades mostraron tendencias a incrementar sus densidades relativas hacia finales del año.

**7.2 Caracterización fisicoquímica del suelo:** En el cuadro No.6 se muestran los resultados del análisis fisicoquímico de los dos suelos estudiados.

En cada uno de los análisis se hicieron cinco repeticiones, y los resultados que se presentan son sus promedios.

Los resultados señalaron que se trata de suelos con altos contenidos de carbonatos, cloruros, calcio y magnesio; con niveles medios de potasio, el contenido de sodio fué regular en Tezontepec pero alto en Tlahuelilpan; ligeramente alcalinos, con alta capacidad de intercambio catiónico.

La textura del suelo de Tlahuelilpan fué arcillo-limosa, de color grisáceo oscuro, rico en materia orgánica y nitrógeno total.

La textura del suelo de Tezontepec de tipo migajón arenoso, de color amarillo café y deficiente en materia orgánica y nitrógeno total.

**7.3 Análisis químico del suelo:** Para ello se realizó un seguimiento de las variaciones del pH, materia orgánica y nitrógeno total el cuál duró todo el ciclo de estudio. En el cuadro No.7 se indican los resultados.

**Tlahuelilpan:** El pH varió de 7.74 en febrero a 7.9 en los meses de julio a noviembre; el porcentaje más alto de materia orgánica se registró en febrero con un valor de 5.46% y el menor en diciembre con 0.18%; el porcentaje



PRUEBA	TEZONTEPEC	TLAHUELILPAN
TEXTURA	10.054% arcilla	46.134% arcilla
	15.986% limo	40.67% limo
	73.960% arena	13.20% arena
CLASIFICACION TEXTURAL	MIGAJON-ARENOSO	ARCILLO-LIMOSO
POROSIDAD (%)	63.48	45.24
HUMEDAD (%)	11.36	15.90
COLOR	10 YR 7/3 (seco)	10 YR 5/2 (seco)
	10 YR 5/4 (húmedo)	10 YR 2/2 (húmedo)
C . I . C . (meq./100g)	38.4	40.5
CLORUROS (%)	3.9	3.2
CaCO <sub>3</sub> (%)	11.5	10.33
Na (meq./100g)	3.6	7.13
K (meq./100g)	2.0	3.28
Ca (meq./100g)	13.15	15.42
Mg (meq./100g)	13.33	13.16
* pH (2.5:1)	7.7	7.8
* Materia Orgánica (%)	1.4	4.5
* Nitrógeno Total (%)	0.11	0.28
* C/N	12.71	16.07
*Valores promedio		

Cuadro 6. CARACTERIZACION FISICO QUIMICA DE SUELOS REGADOS CON AGUAS RESIDUALES.

COLECTA	TLAHUELILPAN				TEZONTEPEC			
	pH	Materia Orgánica(%)	Nitrógeno Total (%)	C/N	pH	Materia Orgánica(%)	Nitrógeno Total (%)	C/N
Febrero	7.74	5.46	0.27	20.2	7.96	1.38	0.07	19.71
Junio	7.78	4.43	0.27	16.4	7.54	1.37	0.08	17.12
Julio	7.92	4.7	0.48	9.8	7.96	2.13	0.28	7.6
Octubre	7.92	4.43	0.22	20.1	7.54	1.22	0.06	20.33
Noviembre	7.86	3.53	0.18	19.6	7.52	0.88	0.04	22.0
$\bar{x}$	7.8	4.51	0.28	17.2	7.7	1.4	0.11	17.35
s	0.08	0.69	0.11	4.4	2.33	0.46	0.09	5.72

Cuadro No. 7 VALORES PROMEDIO POR COLECTA DE LAS VARIABLES FISICOQUIMICAS PARA TLAHUELILPAN Y TEZONTEPEC, HIDALGO.

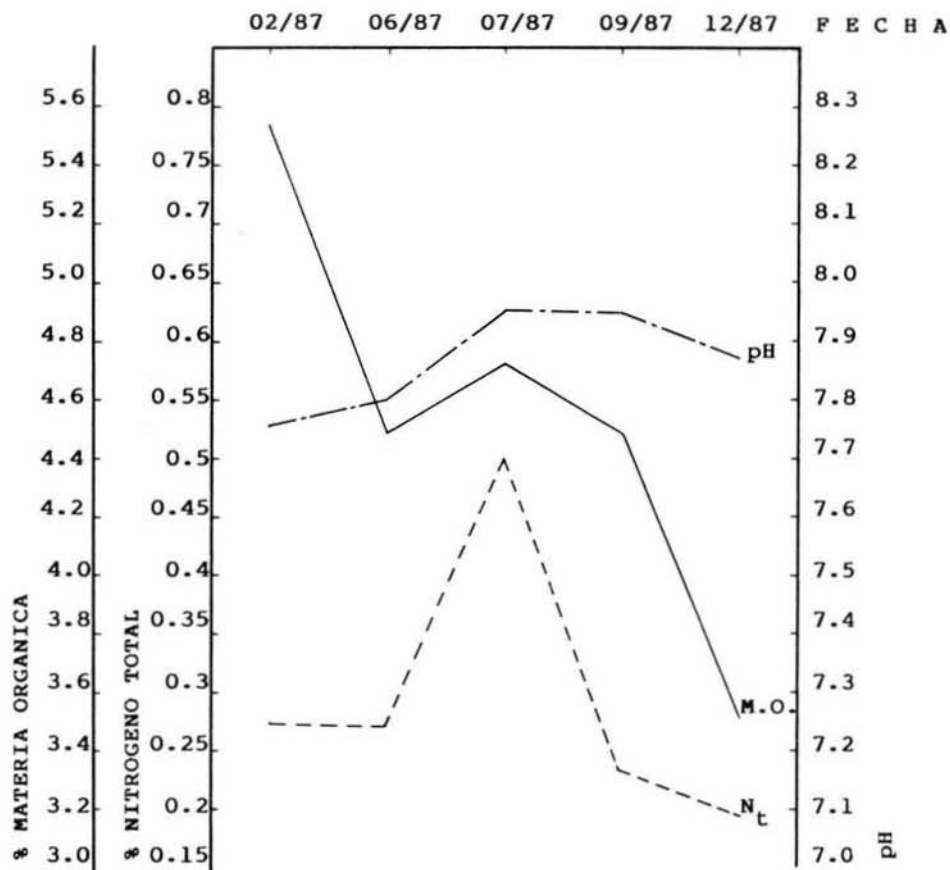


Fig.7 VARIACIONES DEL pH, MATERIA ORGANICA, NITROGENO TOTAL EN EL SUELO DE TLAHUELILPAN HIDALGO.

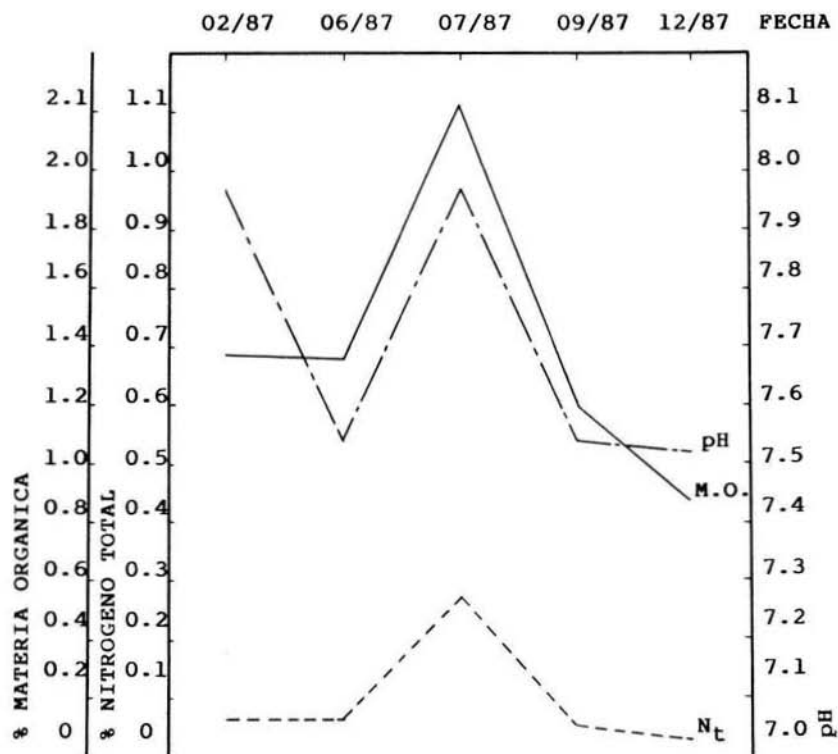


Fig.8 VARIACIONES DEL pH, MATERIA ORGANICA , NITROGENO TOTAL EN EL SUELO DE TEZONTEPEC , HIDALGO.

mayor en nitrógeno total se encontró en julio con un 0.48% y el menor con 0.18% en diciembre. Las tres variables consideradas mostraron una tendencia gradual a la disminución. La relación C/N fluctuó de 9.8 a 20.2 con un valor promedio de 17.2 (Fig. No.7).

**Tezontepec:** El pH varió de 7.5 en diciembre a 7.9 en febrero y en julio; el mayor porcentaje de materia orgánica fué de 2.13% en julio y el menor en diciembre con 0.88%; el porcentaje más alto de nitrógeno total fué de 0.28% en julio y el menor en diciembre con 0.04%. Las tres variables consideradas también mostraron una tendencia gradual a la disminución. La relación C/N varió de 7.6 a 22 con un promedio de 17.35 (Fig. No.8).

#### **VIII. D I S C U S I O N**

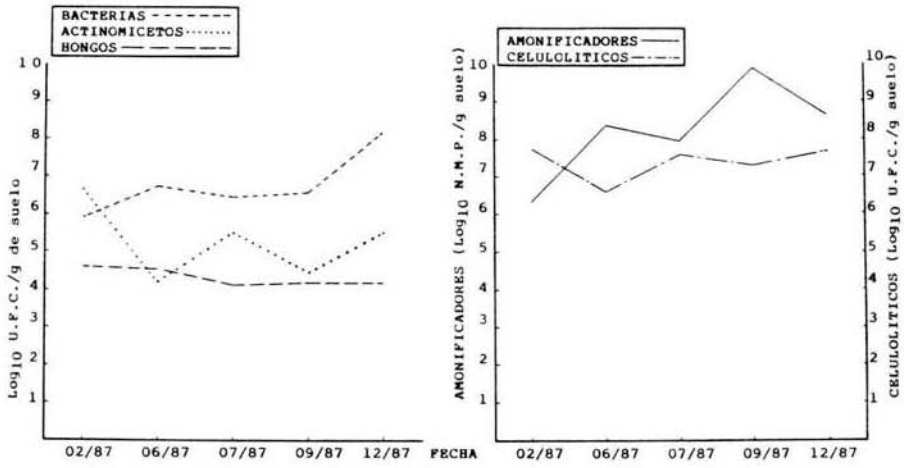
---

Observamos que los grupos microbianos de actinomicetos, bacterias y hongos cuantificados en los medios de cultivo, mostraron variaciones similares (Fig. No.9).

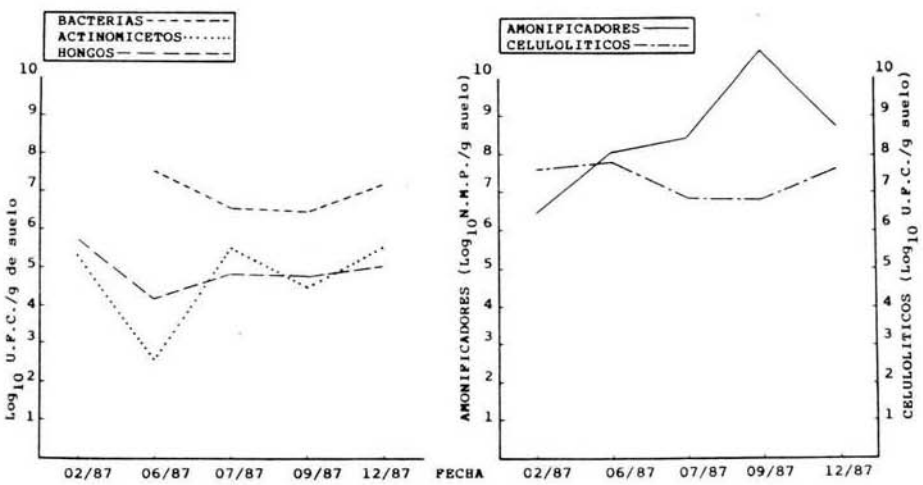
Diversos microbiólogos han considerado que los microorganismos que más abundan en los suelos son las bacterias, actinomicetos y hongos, ya sean agrícolas o forestales. Lo cual se debe a sus capacidades transformadoras del CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y minerales en la mayoría de los compuestos orgánicos naturales (2, 10).

En éste mismo orden de abundancia se reporta en los suelos de los alfalfares estudiados.

Sin embargo a través de los recuentos se observó que las densidades relativas de actinomicetos y bacterias en el suelo de Tlahuelilpan fué hasta cuatro veces mayor que las registradas en Tezontepec. Cosa contraria ocurrió con los hongos, quienes mostraron una densidad cinco veces menor ( $32.5 \times 10^3$ ) a la registrada en Tezontepec ( $15.8 \times 10^4$ ), ver cuadros 1, 2 y 3.



TLAHUELILPAN



TEZONTEPEC

Fig.9 DINAMICA MICROBIANA PRESENTE EN SUELOS REGADOS CON AGUAS RESIDUALES.

La textura del suelo puede emplearse para pronosticar algunos fenómenos químicos, tales como, el intercambio iónico y físicos como la retención del agua, la infiltración o la consistencia; condicionando el grado de intemperización de los suelos, las dificultades de labranza, las necesidades del drenaje y sus potenciales biológicos (26, 35).

Por todo lo antes mencionado la textura del suelo es uno de los factores determinantes en la fertilidad.

El suelo estudiado en Tezontepec mostró una textura media de tipo migajón arenoso, en donde posiblemente la infiltración sea regular, de buen drenaje, fácil de labrar, y por lo tanto, permita un buen abastecimiento de agua a los cultivos.

El suelo estudiado en Tlahuelilpan mostró una textura fina de tipo arcillo limoso, donde posiblemente la infiltración es deficiente y en consecuencia puede provocar que el agua se anegue en el horizonte superficial, es difícil de labrar por la formación de agregados compactos.

La textura fina de ésta parcela al ocasionar que la lámina de riego permanezca más tiempo en la capa superficial del suelo y más aún cuando el volumen del vertido sea elevado, podría inducir juntamente con los materiales orgánicos parcialmente descompuestos en las aguas residuales, diversos niveles de anaerobiosis, con lo cual la microflora heterótrofa permanecería en formas de resistencia, seleccionando ciertos tipos fisiológicos adaptados a las condiciones imperantes en el hábitat (2, 18).

Posiblemente los bajos resultados de densidad en las bacterias y actinomicetos se debiera a éstos factores, además el escurrimiento, los desiguales volúmenes de los vertidos, su frecuencia y la textura del suelo, al

interaccionar podrían inducir mayor movilidad de los materiales contenidos en las aguas hacia las partes inferiores del terreno, arrastrando los materiales y/o lixiviándolos, en tal forma que la microflora pudiera disminuir a pesar del buen contenido de materiales orgánicos en los vertidos.

El color del suelo es otro factor físico e indicador de la eficacia del drenaje (35). El color pardo del suelo estudiado en Tezontepec parece señalar un buen drenaje que permite condiciones oxidativas.

El color grisáceo del suelo en Tlahuelilpan, indica problemas en el drenaje, lo cual estimula fenómenos de reducción debido a condiciones anaeróbicas.

Por otro lado, en los grupos fisiológicos de amonificadores y celulolíticos los resultados de densidad fueron muy altos en los dos suelos, principalmente para los amonificadores.

Las diferencias en la textura de los suelos, en los sistemas de riego y geográficas no influyeron para que ambas comunidades estuvieran presentes en ellos. Pero no se afirma que actúen con eficacia.

Se sabe que, la relación C/N es un indicador de los fenómenos de inmovilización y mineralización nitrogenada. Si el material orgánico tiene una baja proporción C/N sucede la mineralización, por el contrario cuando es alta puede ocurrir la inmovilización (7, 17).

En los suelos estudiados la relación C/N fluctuó en un intervalo de 7.6 a 22.0. Lo cual supone una mineralización irregular, además hay que tomar en cuenta la naturaleza química de los materiales residuales y su contenido variable de nitrógeno.

Al comparar éstos resultados con los datos de las densidades microbianas, se encontró lo siguiente:



En los dos suelos el menor valor de la relación C/N se obtuvo en julio, en Tlahuelilpan fué de 9.8 y en Tezontepec fué de 7.6. Ambos resultados no correspondieron con los valores más altos de las densidades microbianas.

De lo anterior se supone que la densidad microbiana en términos generales no siempre es indicio del nivel de productividad (2, 33).

Por lo tanto, conviene considerar otros factores ya que los mecanismos de degradación proteica y otras sustancias nitrogenadas son el resultado del metabolismo de una amplia variedad de cepas microbianas, cada una de las cuales tiene participación en la ruta de degradación. Además las condiciones físicas y químicas, tales como la humedad, pH, aireación, temperatura, la naturaleza y disposición de los nutrientes inorgánicos, pueden intervenir en la rapidez de la mineralización.

Bueno sería, considerar otros factores como: La duración del riego, intervalos de tiempo entre vertido y vertido, las estaciones anuales, las épocas de lluvia y sequía, heladas, vientos, variaciones térmicas, los tipos de prácticas agrícolas, la naturaleza química y los estados físicos de los constituyentes de los vertidos así como sus concentraciones, quienes en conjunto y de múltiples maneras influyen sobre la composición y fisiología microbiana del suelo, promoviendo la presencia y las actividades de ciertos heterótrofos (32).

Las condiciones anaeróbicas que pudieran suceder estimularían la presencia, entre otros, de los desnitrificantes microbianos, quienes al restituir el nitrógeno a la atmósfera ocasionan su empobrecimiento, principalmente cuando imperan en forma prolongada las condiciones anóxicas en el hábitat, eventos que suelen ser comunes en lugares arcillosos y/o en las épocas de lluvia o mientras permanecen las láminas residuales sobre los suelos debido a la poca solubilidad del oxígeno en el agua, tal

como pudiera acontecer en los suelos de Tlahuelilpan.

Por referencias bibliográficas se conoce que las aguas residuales son altamente salinas con elevadas concentraciones en detergentes, metales pesados (Cr, Cd, Pb, Hg, etc.), grasas, aceites (20, 31, 32).

Quienes pueden estimular ciertos eventos cómo:

- a. Modificaciones en el color del suelo, en la densidad aparente, en la estructura y plasticidad del suelo.
- b. Se cubra por la formación de películas aceitosas de espesores variables.
- c. Saturación por metales pesados lixiviados.
- d. Contaminación de los mantos acuíferos por lixiviación de los metales pesados y por la gran movilidad de los nitratos, etc.
- e. Modificaciones en la tensión superficial del suelo por efecto de los detergentes quienes juntamente con los materiales orgánicos pueden promover una mayor retención de agua reduciendo de ésta forma la permeabilidad de los suelos.

Tales acontecimientos aunados a las características fisicoquímicas intrínsecas de los hábitats, interactuarán periodica y continuamente en función de las aplicaciones de las aguas residuales a los suelos receptores.

Los análisis fisicoquímicos indicaron lo siguiente: en Tlahuelilpan los niveles de fertilidad son buenos, pero al parecer existen problemas de sodicidad y muy probablemente contengan buenas cantidades de sales, lo cual afectaría los mecanismos de absorción radicular, reflejándose en la disminución de la productividad de los cultivos. En Tezontepec los niveles de fertilidad son bajos, aunque las cantidades de sales son buenas, afectarían también su productividad.

Si las cualidades osmóticas de los microorganismos fueran alteradas y por lo consiguiente la fisiología de la comunidad, sería posible el establecimiento de individuos adaptados a condiciones más extremas o formas de resistencia (3, 8, 12, 14, 19).

Lo antes mencionado pueden ser algunas de las causas de los resultados obtenidos en los suelos estudiados:

- a. La menor densidad aparente del suelo en Tlahuelilpan.
- b. La alta capacidad de retención de humedad en el suelo de Tlahuelilpan.
- c. La relativa estabilidad del pH en los dos suelos.
- d. Los altos valores de la C.I.C. en los dos suelos.
- e. El color oscuro en el suelo de Tlahuelilpan.
- f. La mayor densidad bacteriana en Tlahuelilpan en contraste con su menor densidad heterotrófica (hongos).
- g. La mayor densidad microbiana relativa en el suelo de Tlahuelilpan.

Debido a las condiciones ecológicas imperantes en la región de Tlahuelilpan es posible que la materia orgánica humificada tenga valores altos.

Los contenidos en nitrógeno ( $N_t$ ) a diferencia de las variables anteriores, si mostraron diferencias significativas en los dos suelos. Sus valores fluctuaron entre 0.18 a 0.48% en Tlahuelilpan y 0.04 a 0.28% en Tezontepec.

Una de las causas probables sería la liberación en forma de nitrógeno gaseoso (desnitrificación), la volatilización en formas amoniacales y por la gran movilidad de los nitritos y nitratos, fenómenos que pueden ser favorecidos por las condiciones imperantes en éstos ambientes extremos (2, 3, 15).

Las altas capacidades de intercambio catiónico no concuerdan con los "bajos" valores del pH en los dos suelos, se esperaría que fueran más altos.

En cuanto al pH del suelo, no se observaron diferencias notables entre las dos parcelas, probablemente el carácter salino, los altos contenidos de materiales orgánicos y detergentes, así como las condiciones fisicoquímicas de las aguas residuales ocasionan fenómenos que tengan que ver con las cualidades amortiguadoras del hábitat (18, 22, 32).

Los materiales orgánicos de éstos suelos proceden principalmente de los vertidos residuales. Los resultados señalaron el mayor contenido en la zona de Tlahuelilpan, mientras que en Tezontepec varían de bajos a moderados.

Es bien sabido que las aguas residuales contienen altos contenidos de materiales orgánicos, aunque pueden bajar o aumentar dependiendo de la estación del año, puesto que las demandas de agua para consumo humano y/o industrial se ven afectados sobretodo en la época de estiaje con lo cual también las aguas de desecho aumentan sus contenidos transportables.

Lo anterior podrá reflejarse en la dosificación de las vertidos en los suelos receptores, de tal manera que no se vean afectados durante éstos periodos. Aunque al parecer éstos procedimientos no se cumplen, se aplican en exceso y están poco espaciados. Lo cual es perjudicial a los cultivos porque afecta por un lado la respiración radicular y por el otro no considera los incrementos en las concentraciones de las sustancias orgánicas e inorgánicas de las aguas, quienes alterarán las propiedades de los suelos así como los mecanismos de absorción de las plantas, las propiedades osmóticas de las comunidades microbianas y su fisiología, provocando que algunos mueran mientras que otros tal vez no con la misma eficiencia puedan establecerse bajo éstas condiciones extremas ya sea como estados de inhibición o como estructuras de resistencia (2, 3, 18, 34).

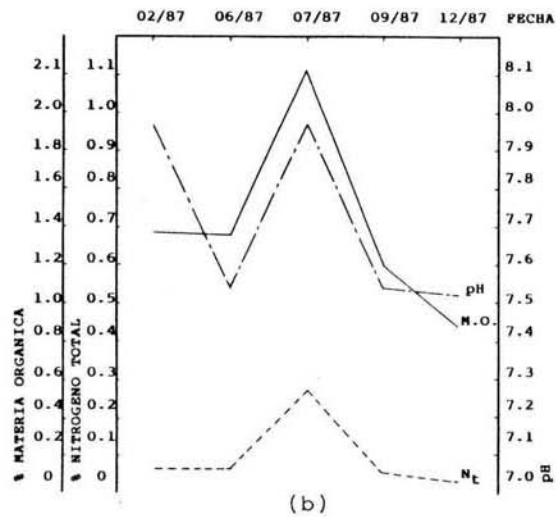
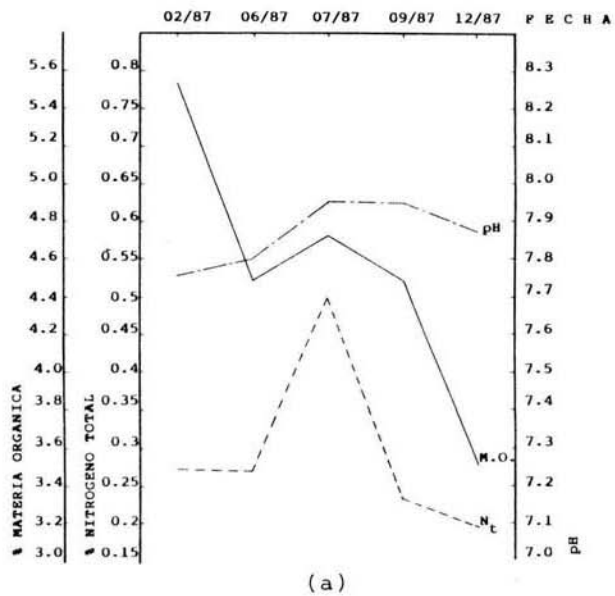


Fig.10 VARIACIONES DEL pH, MATERIA ORGANICA Y NITROGENO TOTAL EN LOS SUELOS DE TLAHUELILPAN (a) Y TEZONTEPEC (b), HIDALGO.

En el suelo de Tezontepec los resultados más altos en el pH, materia orgánica (M.O.) y nitrógeno ( $N_t$ ) coincidieron en el mes de julio, disminuyendo hacia finales del año (Fig. No.8).

Para el suelo de Tlahuelilpan se observó que el pH, M.O., y  $N_t$  también tuvieron sus mayores valores en julio. Aún cuando sus contenidos en M.O. y  $N_t$  fueron disminuyendo progresivamente hacia finales del año. Simultáneamente el pH disminuyó ligeramente en contraste con las otras variables (Fig. No.7).

En la Fig. No.10, se aprecian las diferencias entre los valores de cada variable estudiada, donde prácticamente los contenidos de M.O. y  $N_t$  en Tlahuelilpan fueron el doble de los contenidos encontrados en Tezontepec, aún cuando no se apreciaron diferencias notables en sus valores de pH.

Llama la atención el hecho de que en Tlahuelilpan el pH no aumentó cuando aumentó la proporción de M.O., posiblemente influyeron algunos otros factores como la naturaleza fisicoquímica de los materiales parentales, las condiciones fisicoquímicas de las aguas residuales, la fisiografía del lugar, etc.

Posiblemente el inadecuado manejo de los agroecosistemas en cuanto al uso de las aguas residuales esté ocasionando fenómenos de contaminación orgánica en diversas localidades del Valle del Mezquital, tal como puede acontecer en el municipio de Tlahuelilpan.

## IX. CONCLUSIONES

1. Los grupos microbianos estudiados se consideraron como integrantes de los procesos de la descomposición aerobia del suelo.
2. Las cuentas viables mostraron sólo aquellos microorganismos capaces de crecer en las condiciones impuestas por las técnicas microbiológicas utilizadas.
3. El análisis microbiano reveló que los microorganismos considerados estuvieron presentes en los suelos, siendo la densidad microbiana relativa más alta en Tlahuelilpan.
4. Se observó que los hongos tuvieron la menor densidad, probablemente por el carácter alcalino de los hábitats, fué más acentuado en Tlahuelilpan en donde la fineza textural y el sistema de riego por inundación tal vez crearon condiciones anaeróbicas desfavorables para ellos.
5. La caracterización fisicoquímica indicó que son suelos ligeramente alcalinos, ricos en carbonatos, cloruros, Ca, Mg, con niveles medios de K y alta C.I.C.
6. El suelo de Tlahuelilpan rico en Na, M.O. y  $N_t$ , arcillo-limoso y de color gris. El de Tezontepec bajo en M.O. y  $N_t$ , de contenido medio en K, migajón-arenoso y color pardo.

## X. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

---

1. Aguirre, J.(1981). THE ROLE OF THE MEXICAN STATE AND FEDERAL GOVERNMENTS IN THE PROMOTION AND COORDINATION OF WASTEWATER RENOVATION AND REUSE. Municipal Wastewater in Agriculture. Academic Press, Inc.: 1-14.
2. Alexander, M., (1980). MICROBIOLOGIA DEL SUELO. Libros y Editores S.A., México.
3. Babich, M. y Stotsky, G., (1980). ENVIRONMENTAL FACTORS THAT INFLUENCE TOXICITY OF METAL AND GASEUS POLLUTANTS TO MICROORGANISMS. Experimental Microbial Ecology. Richard G. Burns y Howard J.S. editores, Univerity of Kent, Canterbury, Gran Bretaña.
4. Black, C.A., (1965). METHODS OF SOIL ANALYSIS (parte 2). Amer. Soc. of Agro. Iowa St. Univer.
5. Brown, P.E. y Johnson, D. R., (1918). EFFECTS OF CERTAIN ALKALI SALTS OF AMONIFICATION. Iowa Agr. Exp. Sta. Res. Bull. 44.
6. Bremner, J. M., (1965). METHODS OF SOIL ANALYSIS. Amer. Soc. of Agro. Iowa St. Univer.
7. Campbell, C.A., (1978). SOIL ORGANIC CARBON, NITROGEN AND FERTILITY. Soil organic matter. Elsevier Sci. Pub. Co. Amsterdam.
8. Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias de Hidalgo CIFAP-Hidalgo, (1988). Primera Reunión Científica Forestal y Agropecuaria, México.
9. Centro Nacional de Estudios Municipales, (1987). LOS MUNICIPIOS DE HIDALGO. Secretaria de Gobernación, México.
10. Clark, F. E., (1965). ACTINOMYCETES. Methods of Soil Analysis. Mad. Amer. Soc. of Agro. Vol. 2.
11. Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México CHVM, (1961). ANALISIS DE AGUAS NEGRAS DEL GRAN CANAL DEL DESAGUE DE LA CIUDAD DE MEXICO. Pub. No.1, México.
12. Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México CHVM,(1963). ANALISIS DE AGUAS NEGRAS EN LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO Y EN LA REGION DEL MEZQUITAL, HGO. Pub. No.5, México.
13. Cuadra, M. J., (1981). AGRICULTURAL LAND IRRIGATION WITH WASTWWATER IN THE MEZQUITAL VALLEY. Municipal Wastewater in Agriculture. Academic PressInc.: 217-247.



14. Delgado, S.M.E. y Rojas, L.M., (1987). EFECTO DE CONTAMINANTES PRESENTES EN AGUAS NEGRAS SOBRE LOS MICROORGANISMOS DEL SUELO. Tesis profesional ENCB-IPN, México.
15. Echegaray, A. A. Y Tirado, O.F., (1973). ESTUDIO BIOLOGICO DE ALGUNOS SUELOS DEL LAGO DE TEXCOCO. Memorias del II Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, México.
16. Flores, E.M.A., (1980). EVALUACION DE ALGUNOS MICRONUTRIENTES Y CONTAMINANTES DE LA ALFALFA EN LA REGION DE TLAHUELILPAN, HGO. Tesis profesional ENCB-IPN, México.
17. Fundora, M.O. y Arzola, P.N., (1979). AGROQUIMICA. Ed. Pueblo y Educación, La Habana Cuba.
18. Higgins, I.J. y Burns, G.R., (1975). THE CHEMICAL AND MICROBIOLOGY OF POLLUTION. Academic Press., Gran Bretaña.
19. Izquierdo, I. C., (1985). RELACION SUELO PLANTA DE ALGUNOS ELEMENTOS EN LA ZONA HUMEDA DEL VALLE DEL MEZQUITAL REGADAS CON AGUAS NEGRAS DEL CANAL DEL DESAGUE DEL VALLE DE MEXICO. Tesis profesional ENCB-IPN, México.
20. Izquierdo, V. F., (1981). ESTUDIO MONOGRAFICO ACERCA DE LA MICROBIOLOGIA MARINA. Tesis profesional, Fac.Qu'i. UNAM, México.
21. Jackson, M. L., (1958). SOIL CHEMICAL ANALYSIS. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs., N. J.
22. Martin, J. P., (1950). USE OF ACID ROSE BENGAL AND STREPTOMYCIN IN THE PLATE METHOD FOR ESTIMATING SOIL FUNGI. Soil Sci. Vol. 69: 215-233.
23. Mascareño, C. F., (1974). ESTUDIO PRELIMINAR SOBRE CONTAMINACION DE LOS SUELOS Y DE LA PRODUCCION AGRICOLA EN EL DISTRITO DE RIEGO 03 POR EL USO DE LAS AGUAS NEGRAS EN LA CIUDAD DE MEXICO. Colegio de Postgraduados, Chapingo México.
24. Mora, M. C., (1981). ADMINISTRATIVE ASPECTS FOR THE RENOVATION AND REUSE OF WASTEWATER. Municipal Wastewater in Agriculture. Academic Press. Inc. :27-41.
25. Nava, D. J., (1980). Manual de prácticas de laboratorio del curso de análisis especiales en química agrícola. ENCB-IPN, México.
26. Ortíz, V. B., (1977). FERTILIDAD DE SUELOS. Chapingo, México.

27. Peralta, B. F. A., (1983). DETERMINACION DE ALGUNOS METALES PESADOS EN SUELOS AGRICOLAS DE XOCHIMILCO. Tesis profesional ENCB-IPN, México.
28. Rivera, J. D. y Gómez, E., (1970). EFECTO DE LOS DETERGENTES PRESENTES EN AGUAS NEGRAS DE RIEGO SOBRE EL DESARROLLO DE 7 CULTIVOS BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO. Tesis profesional ENACH, México.
29. Rodina, G. A., (1972). METHODS IN AQUATIC MICROBIOLOGY. Univer. Park Press., Londres Inglaterra:251-317.
30. Rodríguez, Z. C. y Albarran, M. M., (1986). CARACTERIZACION ECOLOGICA DEL AREA DE ESTUDIO. Trabajo de investigación en el Estado de Hidalgo, SARH, México: 1-17.
31. Secretaria de Recursos Hidráulicos, SRH (1982). CONSIDERACIONES PRELIMINARES PARA EL ESTUDIO DEL MEJORAMIENTO DE LA PRODUCCION EN EL DISTRITO DE RIEGO 003 TULA HIDALGO. Dirección General de Distritos y Unidades de Riego.
32. Seoanez, C. M., (1978). APROVECHAMIENTO Y TRATAMIENTOS AGRARIOS DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS. Monografía No.25 Ministerio de Agricultura, Madrid España.
33. Stewart, J. W. B., INTERRELATION OF CARBON, NITROGEN, SULFUR AND PHOSPHORUS CYCLES DURING DESCOMPOSITION PROCESSES IN SOIL. Univer. Saskatchewan, Saskatoon Canadá (sobretiro).
34. Swift, J. M., Heal, W. O., Anderson, M. J., (1979).DESCOMPOSITION IN TERRESTRIAL ECOSYSTEMS. Studies in ecology Vol.5 Blackwell Sci. Pub. Gran Bretaña.
35. Tavera, G. y German, S., (1985). CRITERIOS PARA LA INTERPRETACION Y APROVECHAMIENTO DE LOS REPORTES DE LABORATORIO PARA LAS AREAS DE ASISTENCIA TECNICA. Sociedad de la Ciencia del Suelo, Deleg. Laguna, Pub. No.3, México.
36. Valdez, H.,(1986). Manual de prácticas de laboratorio del curso de microbiología agrícola. ENCB-IPN, México.
37. Velázquez, H.A., (1966). ANALISIS FISICOQUIMICO DE SUELOS DEL VALLE DEL MEZQUITAL (Zona Húmeda). Tesis profesional ENCB-IPN, México.
38. Vincent, J., (1975). ESTIMACION DE LA CANTIDAD MAS PROBABLE (Máxima probabilidad). Manual práctico de rizobiología. Ed. Hemisferio Sur, Buenos Aires Argentina: 85-87.