

00377

2

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO



POSGRADO EN CIENCIAS BIOLOGICAS

IMPACTO EN LA ECOLOGIA DE ALGUNOS GENEROS
DEL ORDEN COLLEMBOLA POR LA INCORPORACION
DE CONTAMINANTES EN SUELOS DE
SAN SALVADOR, HIDALGO, MEXICO

06138

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE
MAESTRA EN CIENCIAS BIOLOGICAS

(ECOLOGIA AMBIENTAL)

PRESENTA:

ROSALBA CONTRERAS VALADEZ



DIRECTOR DE TESIS: DR. JOSE GUADALUPE PALACIOS VARGAS

DIRECCION

POSGRADO EN CIENCIAS
BIOLOGICAS

MEXICO, D.F.

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIAS

A Dios

Por haberme dado la vida tal como la concibo ahora, estar a mi lado en todo momento, ser la fuente de inspiración más importante. Quiero agradarte y amarte en todo tiempo

A mi mamá

Por tu gran corazón y por el amor que me has ofrecido sin reservas, porque siempre sé que estas ahí. Gracias por tu apoyo y por haber sido una gran inspiración en mi vida

A mi Hermana

Eres como mi mejor amiga, gracias porque has permitido que vea mi entorno de otra forma y compartir juntas la vida cotidiana

A Juan

Por estar ahí a pesar de todo, por tu gran lucha, por tu amor inquebrantable en muchos momentos, eres excelente

A Horacio

Por llegar de repente, por tu chispa para la vida, me encantas.

A mis Amigos

Juan Ángel, Alejandro, Luz María, Ana Berta y Lázaro, porque le dan mayor sentido a mi existencia

A mis compañeros

Sergio por tener un carácter que inspira a crecer, porque sabes reconocer y apoyar a los que te rodean
MariCarmen por tu fortaleza, porque sabes amar y eres ejemplo para mi.

AGRADECIMIENTOS

A **CONACYT** y **DGEP** por haberme becado durante los dos años que duró la obtención del 100% de los créditos de maestría.

A **DGAPA** por su apoyo a los proyectos **IN-201598** e **IN-108798** de cuya asignación me beneficié para la obtención de los análisis físicos, químicos y biológicos, dados en este trabajo.

A la **Facultad de Ciencias, UNAM** por haberme apoyado económicamente para presentar mi proyecto de investigación de maestría en el congreso **ISEB 15** realizado en **Wroclaw, Polonia**.

A mis tutores **Norma E. García Calderón, José G. Palacios Vargas, Marisa Mazari Hiriart y Joaquín Bueno Soria** que estuvieron conmigo a lo largo de la realización de esta investigación, gracias por su apoyo y disposición.

A los revisores de la tesis y que formaron parte del comité evaluador del examen de grado **Salvador Rodríguez Zaragoza, Santiago Zaragoza Caballero y Gabriela Castaño Meneses**, gracias por sus comentarios y sugerencias.

A **Lázaro Huerta Arcos** por su apoyo en todo tiempo, por la revisión total de mi tesis con comentarios atinados, por haber facilitado la realización de esta investigación.

A **Salvador Sánchez Colón** del **IPN** por su apoyo en los análisis matemáticos.

A **Juan Ángel Guzmán Muñoz, Leopoldo Q. Cutz Pool, Iván E. Reyes Solís y Laura Reyes Ortigoza**, por su importante colaboración en los análisis de laboratorio

A **Eduardo Andrade Ibarra, Eusteacio Pérez Zavala y Juan Carlos Pineda**, por las facilidades prestadas en la utilización del **Acelerador de 5.5 MeV** del **Instituto de Física, UNAM**.

A **Jorge Gama Castro** por la orientación y sostén brindados al inicio de mis estudios de maestría

A mis maestros **Luis Bojórquez Tapia, Julia Carabias Lilo, Jorge F. Cervantes Borja, Hans Martin Ricker y Carlos Vázquez Yáñez**, que tomaron de su tiempo para enseñarnos con tan buena disposición, me hicieron amar mis estudios y tener una visión panorámica de la ecología y materias afines.

RESUMEN

Debido a la degradación que los ecosistemas están sufriendo por el aporte de contaminantes, es importante realizar estudios que indiquen su impacto sobre la dinámica de la fauna edáfica. El objetivo de esta investigación fue establecer relaciones entre los géneros de colémbolos edáficos y el grado de contaminación por microelementos.

En el municipio de San Salvador, Hgo., Mex., se experimentó en dos terrenos con la misma clasificación y con diferente calidad de agua para riego (residual y manantial respectivamente). Cada dos meses durante un año se recolectaron 10 muestras de cada parcela, a las que se les practicaron los siguientes análisis: textura, conductividad eléctrica, pH, cationes intercambiables, elementos pesados totales (V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Br, Sr, Y, Zr y Pb), metales pesados intercambiables (Cu, Fe, Mn, Zn, Co, Cr, Ni, Cd y Pb), además de la determinación de los colémbolos en cada una de las muestras.

Para conocer la relación entre los parámetros examinados y los géneros, se utilizaron tres análisis matemáticos: *Multivariado de Varianza* (MANOVA) y *Univariado de Varianza* (ANOVA); y *Canónico de Correspondencia* (CANOCO).

Los resultados indican que el terreno regado con agua residual está acumulando: Fe, Cu, Cd, Ni, Zn, Mn, Br, Co y Cr; y que el terreno regado con agua de manantial podría llegar a mostrar síntomas de salinidad, ya que presentó muestras cuya conductividad fue mayor a 4 dSm^{-1} .

La respuesta a cada metal pesado y a las condiciones edafológicas es genérica. La mayoría de los organismos encontrados son muy resistentes a la contaminación por metales pesados, toleran concentraciones que otros organismos edáficos no soportan y muchos de ellos se ven favorecidos por concentraciones altas, con excepción de *Sphaeridia*, *Isotomurus* y *Sminthurinus*. Para los géneros *Friesea*, *Schoettella*, *Xenyllodes*, *Brachysthomella*, *Sinella*, *Ceratophysella*, *Lepidocyrtus*, *Xenylla* y *Entomobrya*, se encontraron tolerancias de 669 de Cr, 194 de Cu y 841 mgKg^{-1} de Zn. *Cryptopygus* tolera concentraciones totales de Ni y Br de 142 mgKg^{-1} y 510 respectivamente. *Proisotoma* y *Pseudosinella* concentraciones de $1,721(\text{Co})$ y $4,302 \text{ mgKg}^{-1}$ (Mn). Finalmente, *Entomobrya* y *Tullbergia*, soportan concentraciones de 536 mgKg^{-1} de Pb. El ACC relacionó concentraciones altas de Ni directamente con poblaciones numerosas de *Cryptopygus* y viceversa; lo que sugiere que el aumento del número de individuos de *Cryptopygus* podría deberse a una afinidad con el metal. El número mayor de *Cryptopygus* se encontró en parámetros de Ni total entre 150 y 700 mgKg^{-1} .

INDICE

| | |
|--|----|
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. OBJETIVOS | 3 |
| III. HIPÓTESIS | 3 |
| IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | |
| A) Área de estudio | |
| 1.- Localización | 4 |
| 2.- Condiciones climáticas | 4 |
| 3.- Hidrología | 5 |
| 4.- Geología | 6 |
| 5.- Suelos | 7 |
| 6.- Historia de la incorporación del riego con aguas residuales. | 10 |
| B) La ecología del suelo | 12 |
| C) Contaminación del suelo | |
| 1.- Por metales pesados | 13 |
| 2.- Por sales | 21 |
| D) La mesofauna edáfica en relación con la contaminación del suelo | |
| 1. Mesofauna edáfica como bioindicadores | 22 |
| 2. Los colémbolos en pruebas de ecotoxicología | 23 |
| V. MÉTODO | |
| A) Trabajo en campo | 25 |
| B) Trabajo en laboratorio | 25 |
| C) Análisis matemático | 27 |
| VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS | |
| ETAPA I | |
| A) Análisis edafológicos | |
| 1.- Análisis multivariado de varianza (MANOVA) | 30 |
| 2.- Análisis univariados de varianza (ANOVA) | 31 |
| B) Metales pesados intercambiables | |
| 1.- Análisis multivariado de varianza (MANOVA) | 35 |
| 2.- Análisis univariados de varianza (ANOVA) | 35 |
| C) Metales pesados totales | |
| 1.- Análisis multivariado de varianza (MANOVA) | 39 |
| 2.- Análisis univariados de varianza (ANOVA) | 39 |
| D) Colémbolos por género | |
| 1.- Análisis multivariado de varianza (MANOVA) | 42 |

| | |
|--|----|
| 2.- Análisis univariados de varianza (ANOVA) | 42 |
| ETAPA II | |
| A) Relación entre la distribución de géneros y análisis edafológicos | 47 |
| B) Relación entre la distribución de géneros y metales pesados biodisponibles | 50 |
| C) Relación de la distribución de géneros con los elementos totales | 50 |
| VII. DISCUSIÓN | 52 |
| VIII CONCLUSIONES | 69 |
| IX. RECOMENDACIONES | 71 |
| X. BIBLIOGRAFÍA | 73 |
| apéndice 1. Tablas de resultados | 80 |
| apéndice 2. Resultados del análisis canónico de correspondencia (CANOCO) | 96 |

I. INTRODUCCIÓN

San Salvador se localiza dentro del Valle del Mezquital en el estado de Hidalgo; se caracteriza por tener clima semiárido cuya evapotranspiración rebasa a la precipitación pluvial, lo que provocaba, antes de la introducción del riego, pérdidas hasta del 50% de los cultivos sin riego [González, 1968]. El agua de pozo no fue suficiente para regar las áreas sembradas de todo el municipio, por lo que en los años cincuenta, como resultado de la construcción de la Presa Endhó, se introdujo el riego con aguas residuales a algunos terrenos de la zona.

En un principio, la introducción de las aguas residuales resultó muy positiva, ya que se registró un aumento considerable de las cosechas por el aporte de materia orgánica, pero al transcurrir el tiempo, las aguas netamente domésticas sufrieron cambios negativos por la incorporación de detergentes no biodegradables y por descargas industriales, con contenidos importantes de metales pesados y compuestos aromáticos. Por otro lado los canales de riego mal planeados provocaron la inundación de algunas zonas en San Salvador y posteriormente en la época de estiaje su salinización. Estos procesos contaminantes se fueron acumulando en los suelos, afectando su estructura y función.

Los productos químicos, los metales pesados y la salinidad que causa el riego mal planeado, han alterado a las poblaciones de fauna edáfica de muy diferentes maneras; lo que además de causar un empobrecimiento de la biodiversidad en muchas zonas, ha influido sobre los demás niveles de la cadena trófica, al incorporar contaminantes en la dieta de sus depredadores (donde solamente han logrado sobrevivir especies más resistentes, y que por lo general son las más cosmopolitas).

La micro y mesobiota en el suelo es importante en la dinámica de la generalidad de los ecosistemas, ya que controlan la mayoría de los procesos de mineralización que se dan en los substratos orgánicos. Recientemente se ha asociado la cantidad de microorganismos en el suelo con la cantidad de nutrientes disponibles que posee, y por tanto el éxito de la vegetación natural y cultivos se encuentran en equilibrio con la vida de los microorganismos [Killham, 1994].

Los organismos en el suelo están adaptados al ecosistema en el que viven, han sufrido mutaciones y transferencias en su código genético en conjunción con los procesos de selección natural, por lo que las poblaciones se han adaptado en forma y fisiología a un suelo en particular. Sin embargo algunos géneros y/o especies de organismos se han visto alterados por la introducción de contaminantes a su medio. [Butovsky, 1996].

Al relacionar la presencia/ausencia de organismos en ecosistemas que han sido perturbados con sustancias contaminantes, se puede obtener información para emplearse en prevenir los efectos de las sustancias químicas en los ambientes naturales y establecer los riesgos de su presencia en ellos.

De los grupos de organismos de la mesofauna edáfica que son útiles en los experimentos de ecotoxicidad en campo, están las comunidades de colémbolos, ya que éstos son participantes activos en la mineralización de la materia orgánica del suelo y parte del segundo eslabón de la cadena alimenticia; por lo que al afectar su dinámica poblacional podría repercutir en los procesos edáficos y ecología del lugar. Para cuantificar el impacto de los compuestos tóxicos sobre ellos, se debe monitorear una zona con aporte constante de contaminantes, comparándola con zonas vecinas sin dicho aporte y con características edáficas similares.

Los colémbolos poseen comportamientos diversos ante la contaminación química [Walker *et al.*, 1996]. De esto deriva la importancia de realizar un trabajo que compare en campo la contaminación por microelementos y sales, con la abundancia de algunos géneros. Con ese trabajo se identifican posibles géneros como resistentes o susceptibles a dicha contaminación, con el fin de orientar a investigaciones posteriores que permitan establecer algunas poblaciones como indicadoras o restauradoras del suelo.

II. OBJETIVOS

A) Objetivo general

Establecer las relaciones que se dan entre la contaminación por sales y microelementos en suelos de San Salvador, Hidalgo, México, con géneros de la clase Collembola.

B) Objetivos particulares

1. Determinar el grado de contaminación por sales, sodio y metales pesados, en dos terrenos; el primero regado con agua residual y el segundo con agua de manantial.
2. Comparar la variabilidad en la concentración de los contaminantes por época del año.
3. Obtener los géneros que componen a la comunidad de colémbolos en los terrenos analizados.
4. Detectar el efecto de la variabilidad en la concentración de los contaminantes sobre los géneros identificados de la clase Collembola.

III. HIPÓTESIS

Los parámetros edafológicos serán similares en ambos terrenos, sin embargo la contaminación por sales y metales pesados será mayor en el suelo regado con agua residual y la composición genérica del orden Collembola dependerá de la contaminación.

II. OBJETIVOS

A) Objetivo general

Establecer las relaciones que se dan entre la contaminación por sales y microelementos en suelos de San Salvador, Hidalgo, México, con géneros de la clase Collembola.

B) Objetivos particulares

1. Determinar el grado de contaminación por sales, sodio y metales pesados, en dos terrenos; el primero regado con agua residual y el segundo con agua de manantial.
2. Comparar la variabilidad en la concentración de los contaminantes por época del año.
3. Obtener los géneros que componen a la comunidad de colémbolos en los terrenos analizados.
4. Detectar el efecto de la variabilidad en la concentración de los contaminantes sobre los géneros identificados de la clase Collembola.

III. HIPÓTESIS

Los parámetros edafológicos serán similares en ambos terrenos, sin embargo la contaminación por sales y metales pesados será mayor en el suelo regado con agua residual y la composición genérica del orden Collembola dependerá de la contaminación.

IV. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

A) Área de estudio

1.- Localización

La investigación correspondiente a este trabajo se realizó en el municipio de San Salvador, que es parte de la zona conocida como Valle del Mezquital en el estado de Hidalgo, México.

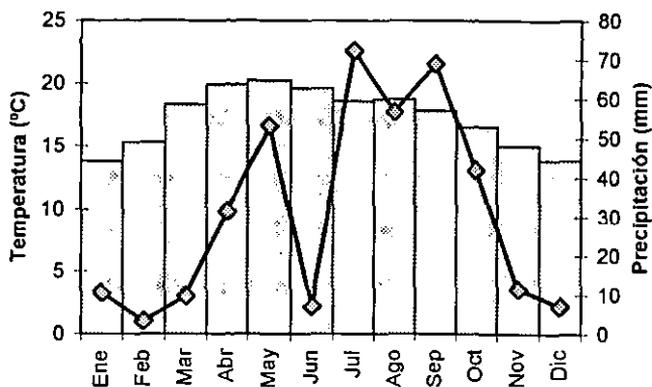
Hidalgo se ubica en la parte central de la República Mexicana. Su superficie es de 20,836 Km² que corresponde a 1.06% de la superficie total del país. Colinda al norte con San Luis Potosí, hacia el oriente con Puebla y Veracruz, al poniente con Querétaro y al sur con Tlaxcala y México [Monografía, 1982]. Dentro del estado de Hidalgo, al sudoeste se encuentra el Valle del Mezquital, que está limitado al Norte por la Sierra Juárez, al Este por la serranía que va desde el cerro Fraile hasta el del Águila y la Sierra de Actopan, al Sur por la serranía del Mexe y al Oeste por la Sierra del Xithe [González, 1968]. Al noroeste del Valle del Mezquital se encuentra el municipio de San Salvador entre los paralelos 19°40' y 20°29' LN y entre 99°57' y 99°27' LO, con una altitud media de 1,985 m [DDR 063, 1997].

2.- Condiciones climáticas.

San Salvador, Hgo., cuenta con un clima de tipo arídico que es el menos seco entre los de su denominación, donde la estación más seca es el invierno, con porcentaje de lluvia invernal menor al 5% de la anual, aunque también presenta estación seca de menor duración en primavera, siendo esta la variable más importante

Los datos que se utilizaron para el siguiente diagrama ombrotérmico (Fig.1) fueron tomados de la estación "Progreso, Hgo." a 20°15' y 99°11' a 2000 m, es un promedio de 10 años (1990-2000). Esto permite visualizar las condiciones de sequía o humedad que sufre la zona.

Figura 1.- Diagrama ombrotérmico



Como se puede observar en la fig. 1, los meses con mayor problema de sequía son: noviembre, diciembre enero, febrero, marzo y junio. Los meses en que se pueden dar inundaciones son julio, septiembre y agosto.

La temperatura media anual para los últimos 30 años (1969-1999) es de 17.3 °C, la máxima extrema de 39.5 °C y la mínima de -5.0 °C.

Al igual que la temperatura, la precipitación varía en las diferentes épocas del año. Se tiene una precipitación máxima extrema de 239 mm en el mes de septiembre, una máxima en un día de hasta 92 mm en el mes de mayo; en 5 meses en el año se tienen precipitaciones mínimas de 1 mm y la media de todos los años en todos los meses es de 31 mm.

3.- Hidrología

San Salvador se localiza en la cuenca del río Tula, que abarca un área de 6,551 Km². Forma parte del sistema hidrológico del río Pánuco, que drena en la vertiente del Golfo de México. El río Tula se origina en varios arroyos de corriente rápida que principian en el parteaguas de la cuencas Pánuco y Lema, a una altitud aproximada de 3,800 m, para concluir en la presa almacenadora Taxhimay [Tamayo *et al.*, 1962]. A partir de la cortina de esta presa, la corriente que se origina se llama río Tepeji. A unos 23 km de distancia río abajo, se encuentra la cortina de la Presa Requena, que es el límite donde la

corriente adquiere el nombre de río Tula y lo conserva hasta la confluencia con la presa de Zimapán.

El río Tula y sus afluentes forman el conjunto de valles interconectados, que recorren el área conocida como Valle del Mezquital donde se localiza San Salvador.

El agua residual que recibe San Salvador, es parte de los escurrimientos de la presa Endhó, la cual tiene una capacidad de 182 millones de m³. La Presa Endhó alimenta al canal que corre casi paralelo al canal Requena; hacia el norte, se canalizan aguas negras por medio del canal del Centro y de túneles cruzando zonas monticulares hasta la presa Rojo Gómez, interconectada a la vez con la presa Vicente Aguirre, que se localiza sobre el río Alfayucan, a su paso, estos canales alimentan a otros que sirven para irrigar con agua residual algunas parcelas de San Salvador. Actualmente estas dos últimas presas con sus canales y junto con el río Alfayucan, pertenecen al sistema de aguas residuales que se incorporan al río Tula al norte de Ixmiquilpan [Hernández *et al.*, 1990].

Además del agua residual que se aporta a San Salvador para riego de cosechas; se tiene el aporte de agua blanca para riego proveniente del Acueducto Sistema Valle del Mezquital, que se origina de los manantiales de Cerro Colorado y Tezontepec; actualmente se complementa con los pozos profundos ya que es insuficiente la captación de los manantiales [CNA, 1995].

4.- Geología

El Valle de San Salvador se localiza dentro de la provincia fisiográfica denominada Eje Volcánico Mexicano; está rodeado por sierras de tipo volcánico donde las rocas que afloran son sedimentarias de origen marino y continental, así como de tipo volcánico de diversa composición química.

Las rocas más antiguas corresponden a calizas depositadas en ambientes marinos durante el Cretácico Inferior; posteriores levantamientos de la corteza terrestre depositaron rocas calcáreas arcillosas y rocas clásticas en el Cretácico Superior; finalmente las regresiones marinas permitieron la sedimentación de materiales clásticos en ambientes continentales durante el Terciario Inferior. El cambio de ambiente geológico propició la presencia de rocas volcánicas de composición basáltica o riolítica durante el Terciario Medio y Superior. Mientras que en el Oligoceno hubo movimientos de disensión que generaron el fallamiento normal que dio origen a las fosas tectónicas presentes en Valle del Mezquital con rumbo general SE-NW, las cuales consisten en materiales piroclásticos y

lacustres principalmente. Las fallas y fracturas están constituidas por calizas de la sierra de San Miguel de la Cal y durante su formación se expulsaron materiales ígneos de composición basáltica a través de fisuras que se acumularon en las partes altas de rocas ígneas preexistentes, lo que originó las mesetas de lava [CNA, 1995].

Por todos los procesos que se describieron anteriormente se tiene que en el área del Municipio de San Salvador y los alrededores del Valle de Mezquital hay rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. Entre las ígneas se encuentran las andesitas, dacitas, riolitas, andesitas basálticas, basaltos y diabasas; entre las sedimentarias están las hidroclásticas, pizarras arcillosas, pizarras calizas, calizas, margas, conglomerados, brechas, arenas y aluviones; auto-atmoclasticas; ílitas, areniscas, arcillas y piroclásticas; tobas andesíticas, riolíticas y basálticas, brechas, arenas y cenizas basálticas. Entre las metamórficas solamente se encuentra el mármol.

Las corrientes basálticas están afectadas por numerosas leptoclasas que dividen a la roca en grandes prismas irregulares pentagonales y hexagonales, corrientes basálticas (aún no han sido destruidas por la erosión) que se han observado en los alrededores de San Salvador.

5.- Suelos

Los suelos que se encuentran en las formaciones sedimentarias del relleno de las cuencas, son de carácter residual, que se han formado *in situ* por la alteración del material subyacente del que proceden; sin embargo gran parte de los suelos planos del Valle son de origen aluvial.

Los materiales del suelo de la zona de San Salvador presentan un sistema complejo de sales, en general un predominio de calcio y poca cantidad de sulfatos. El caliche constituye un horizonte de acumulación de sales dentro del suelo. Los suelos de la región son relativamente jóvenes y el caliche constituye un *saxum* no maduro o suave, que en general entorpece el crecimiento de las raíces, pero como es poroso no obstaculiza el paso del agua. No obstante, en la parte llana del municipio se encuentran suelos con la capa petrocálcica demasiado profunda, por lo que no constituye un problema.

En San Salvador hay una tendencia marcada hacia la retención de sales solubles, por lo que se tiene una influencia importante sobre las posibilidades agrícolas de los suelos. Las sales provocan una mala condición física en los suelos, pero los carbonatos origi-

nan transformaciones más complejas que los cloruros y éstos más que los sulfatos, tendiendo a la disminución de la permeabilidad [INEGI, 1992].

Los suelos de esta región sustentan un mosaico edáfico mas o menos homogéneo, donde la llanura es profunda (entre 50 cm y 1 m), con fases dúricas y petrocálcicas. El suelo en la mayor parte de esta provincia es negro o pardo oscuro con una capa superficial rica en materia orgánica y nutrimentos, a este tipo se le llama Feozem háplico; a otros que tienen una acumulación de arcilla se les denomina Feozem lúvicos; y a los que contienen cal en todos sus horizontes, Feozem calcáricos [Siebe *et al.*, 1997]. En los llanos de Actopan, cerca de San Salvador, existen amplias zonas de terrenos planos con piso rocoso asociado a lomeríos; ahí se presentan suelos poco profundos. Existe en estos suelos gran aportación de carbonatos provenientes de las sierras calizas y caliza-lutita del Cretácico Superior e Inferior que los rodea, dicha aportación los hace pertenecer a los denominados suelos calcáricos, que se encuentran asociados a Rendzinas y a Regosoles (que son suelos que sobreyacen a material endurecido por cementación del carbonato de calcio y que se conoce como caliche) [Contreras, 1998].

A los Feozem siguen en importancia Vertisoles pélicos; estos suelos son de color negro o gris oscuro, contienen muchas arcillas expansibles de tipo montmorillonítico, por lo que son lodosos y adhesivos; tienen la característica de que en época seca sufren fuerte agrietamiento, son duros y masivos; asimismo en época de lluvias se hidratan y expanden, además de ser fuertemente adhesivos y plásticos.

La mayoría de los suelos en el Valle del Mezquital, de manera virgen, son de naturaleza calcárea con contenidos medios de sales, de poca profundidad y baja productividad. Sin embargo la incorporación del riego con aguas residuales ha cambiado sus propiedades; por lo que ahora presentan texturas arcillosas y arcillo-limosas, así como capacidad de intercambio catiónico (CIC) de 20 a 40 $\text{cmol}^{(+)}\text{Kg}^{-1}$, por el alto contenido de materia orgánica y de arcillas. Así los suelos regados con aguas residuales durante períodos de 4 a 80 años, muestran claros aumentos en los contenidos de metales pesados, y después de 80 años sobrepasan las tolerancias marcadas por otros países [DDR 063, 1996]. A su vez, los contenidos de carbono orgánico, nitrógeno y fósforo en los suelos, muestran incrementos significativos asociados con el uso de aguas residuales para riego, en comparación con los valores bajos que presentan los suelos con vegetación nativa y los de agricultura de temporal [INEGI, 1992].

De acuerdo a la morfogénesis de los suelos es posible diferenciar cinco series de suelos [Siebe *et al.*, 1997]:

Serie Lagunilla: Son suelos aluviales someros poco desarrollados que se forman a partir de material andesítico y/o riolítico que acarrear los ríos de las zonas vecinas. La textura es de franco arcillosa a arcilla; presentan un color café o gris (claro y oscuro). La capacidad de retención de humedad es buena con drenaje interno deficiente, presentando inundaciones periódicas causadas por las avenidas de los ríos o bien por la acumulación del agua que escurre de las partes adyacentes altas; estos suelos tienen el nivel freático de alrededor de un metro de profundidad y presentan problemas de salinidad; la topografía es casi plana con pendientes que no exceden del 2%, por lo cual el drenaje superficial es deficiente.

Serie Progreso: Son suelos cuya profundidad máxima es de 75 cm, se localizan en las partes altas de las lomas, cerros, montañas, y en las laderas. Estos depósitos se han formado *in situ* y son originados de una capa caliza cementada de 10 a 70 cm de espesor, de color blanco-amarillento o blanco rojizo, en algunas ocasiones se presenta adyacente a la toba amarillenta; las texturas predominantes de perfil varían de arcilla a franco arenosa, con coloraciones de café rojizo claro; la topografía es ondulada e inclinada y en algunos casos es accidentada, con pendientes que van del 2 al 12%, por lo que resulta un drenaje superficial de eficiente a rápido, según el grado de la pendiente.

Serie Actopan: Estos suelos con perfil profundo e incipiente grado de desarrollo, se origina de rocas volcánicas principalmente, de tobas y andesitas que son las que predominan en la región; su formación es aluvial por deposición de materiales desintegrados por las corrientes que bajan de las partes altas; se localizan en las vegas de los ríos y arroyos que existen en la zona. La textura de estos suelos varía de arena a franco arenosa ha ido cambiando a más pesada en aquellos suelos que son regados con aguas negras; la capacidad de retención de humedad es baja; el drenaje interno es excesivo debido a su textura ligera; la topografía es casi plana, con pendientes que no exceden al 2%, su drenaje superficial es deficiente.

Serie Salitre: Los suelos aluviales profundos de esta serie son originados del material arrastrado y depositado por las corrientes que fluyen de partes altas que circundan el valle. Estos suelos presentan horizontes superiores con altos contenidos de sales especialmente de sulfato de calcio; en los horizontes subyacentes existe menor cantidad de sales que en los horizontes superiores, pero sus características químicas denotan cierta tendencia a la salinidad; presentan colores café oscuro, gris parduzco y amarillo grisáceo; la textura es franco arcillo-limosa; la permeabilidad y el drenaje interno son buenos, pero

como el manto freático se encuentra muy superficial, presenta una capacidad de retención de humedad muy alta, por lo que el agua de escorrentía es deficiente debido a su topografía plana.

Serie Tepatepec: Su formación es aluvial, el material es acarreado de las partes altas que circundan los valles. Estos suelos tienen una profundidad que varía de 40 a 150 cm, encontrándose debajo una toba de color amarillenta en la que se encuentran concreciones calcáreas; esta toba es alterada fácilmente al contacto con el agua y el medio ambiente. Los suelos que se anteponen a esta capa presentan un color pardo grisáceo. Su textura característica le proporciona una buena capacidad de retención de humedad; la estructura es de tipo columnar; la porosidad va de buena a mala; el drenaje interno es de deficiente a eficiente; la topografía es casi plana con ligera pendiente (menor al 2%) y el drenaje superficial es regular.

En el área de San Salvador se tiene una amplia zona afectada por sales y/o sodio. Estos suelos se localizan en las partes bajas e inundadas debido al mal drenaje superficial, están sujetas a un efecto de artesianismo por excesos de aguas procedentes de los abundantes riegos de las partes altas. La superficie afectada por sales y/o sodio aproximadamente de 1,452 Ha, correspondiendo la mayor parte al área de las series Lagunillas y Actopan [SARH, 1993].

6.- Historia de la incorporación del riego con aguas residuales.

La historia de la zona data desde épocas prehispánicas, cuando el florecimiento de Tula necesitaba de la agricultura para el desarrollo del núcleo urbano. Dado que el Valle del Mezquital tiene un clima semiárido, la agricultura de temporal era apenas de subsistencia, ya que tenían que aprovechar la humedad subsuperficial [Millón, 1959].

La agricultura de humedad persistió durante la época colonial; en general esta actividad se limitaba a zonas reducidas, como se había hecho en la época prehispánica; en ese tiempo la agricultura no ocupaba las grandes extensiones de terrenos como ocurre en el presente; de todas maneras, permitió el florecimiento de varias poblaciones e incluso monasterios y haciendas relacionados con esta actividad [Von Wobeser, 1983].

Desde la época prehispánica se tenían los problemas de inundación en el Lago de Texcoco sobre Tenochtitlan, por lo que en la época colonial se propuso dar salida al agua por medio de un túnel a través de las montañas más bajas que circundaban la Cuenca de México. En 1607 se inició la construcción del Socavón de Huehuetoca, con una longitud

de 8.6 km, permitiendo el flujo de las aguas por gravedad. Posteriormente, al no tener recubrimiento, el túnel sufrió derrumbes por lo que se convirtió en tajo, quedando terminado en 1789. Con esta obra, conocida como el Tajo de Nochistongo, se daba salida a las aguas del río Cuautitlán, que se encontraba con el cauce del río El Salto, afluente del Tula [Anónimo, 1946]. El río Cuautitlán originalmente desembocaba en la laguna de Zumpango, donde también se recibían los excedentes del Lago de Texcoco con lo que, al desviar el río se prevenía el desbordamiento de este lago sobre la ciudad de México [Benítez, 1982].

En el siglo XIX las inundaciones de la Ciudad de México eran frecuentes, pero fue hasta 1900 que se terminó la construcción del Túnel de Tequisquiatic, que en forma conjunta con el Gran Canal del Desagüe (construido al mismo tiempo), se controlaron directamente las aguas del Lago de Texcoco. El Túnel Tequisquiatic representó una alternativa para que el paso de las aguas no fuera exclusivamente a través del Tajo de Nochistongo.

El Túnel Tequisquiatic, construido con revestimiento de ladrillo, comenzó a deteriorarse debido a la naturaleza salitrosa de las aguas y a las fluctuaciones en el nivel del agua. Durante la época de lluvias llegaba a aumentar el paso del agua por el túnel en cantidades de 40 m³/s, el doble para lo que fue originalmente planeado. Ante la amenaza de un derrumbe, Lázaro Cárdenas ordenó en 1937 la construcción de otro túnel de Tequisquiatic, inaugurado en 1946, junto con una ampliación del Gran Canal de Desagüe. Los túneles de Tequisquiatic tienen salida al río Salado, un afluente del Tula [Anónimo, 1946].

En el siglo XX se construyen las presas para controlar el río Tula. La primera fue la presa Taxhimay, cuya obra se inició a finales del porfiriato, se concluyó en 1912 y se llenó durante 1933 y 1934. La presa Requena, construida entre 1919 y 1922, se llenó en 1926 bajo la supervisión de la Comisión Nacional de Irrigación, entonces recién formada. La presa Endhó fue construida por la Secretaría de Recursos Hidráulicos entre 1947 y 1951. A partir de la construcción de esta presa se inicia el riego con aguas residuales en algunos terrenos del municipio de San Salvador. Entre 1963 y 1966 se construyeron las presas Rojo Gómez y Vicente Aguirre, ambas reciben aguas residuales provenientes de la presa Endhó a través del Canal del Centro y del túnel del Gallinero [Corona, 1967].

La última obra hidráulica de importancia para controlar los excedentes de la Cuenca de México fue el Emisor Central, que consiste en un túnel de 68 km, con capacidad de 220 m³/s; este canaliza aguas negras del Interceptor Central y del Emisor de Oriente, a desembocar cerca de la cortina de la Presa Requena [Benítez, 1982].

En 1949 se funda el Distrito de Riego de Tula (Distrito 03), manejado por la SARH. En 1987 este distrito cambia de organización y se le añade el Distrito 100 para formar el Distrito de Desarrollo Rural 063, del que actualmente forma parte San Salvador [DDR 063, 1997].

B) La ecología del suelo

El suelo es la superficie de la corteza terrestre en la que la litósfera, hidrósfera, atmósfera y biósfera interactúan. Es un sistema producto de la intemperización de las rocas y la transformación de la materia orgánica. Es el medio sobre el cual se puede desarrollar la vegetación y que representa, por lo tanto, el fundamento de la vida humana y animal.

El suelo es un cuerpo natural, producto de la interacción de sus factores formadores, es decir, de los procesos pedogenéticos, intemperización y neoformación de minerales, descomposición y humificación, estructuración y translocación, no renovable en escalas de tiempo humanas, está sujeto a la degradación bajo prácticas de manejo arbitrarias. El suelo entonces, es un sistema tridimensional dinámico, complejo y activo en el espacio y en el tiempo [FitzPatrick, 1987; Siebe *et al.*, 1997].

A través de los procesos que ocurren en ellos, los suelos toman el papel de reguladores dentro de los ecosistemas. Las principales funciones que se dan por medio de ellos, se ejemplifican en la cuadro 1.

Tabla 1. Principales procesos que se dan en los suelos

| PROCESO | EJEMPLO |
|--------------------|--|
| 1. Filtración | Polvos Gases |
| 2. Amortiguamiento | Fertilizantes Metales pesados Ácidos |
| 3. Transformación | Feldespatos ⇒ Arcillas Hojarasca ⇒ humus Herbicidas ⇒ CO ₂ + H ₂ O |
| 4. Almacenamiento | Agua Nutrientes Energía Humus |
| 5. Expansión | Nutrientes (K, Ca, Mg, P) Ácido silícico CO ₂ |

| PROCESO | EJEMPLO |
|-------------|---------------------|
| 6. Traslado | Metales Sales |
| 7. Pérdidas | Nitratos Humedad |

A veces el suelo se afecta en sus funciones por la acumulación excesiva de contaminantes. La operación de las casas habitación y de las industrias producen una serie de desperdicios contaminantes, que en algunos casos son arrojados al agua del drenaje. De manera tradicional el suelo es el vertedero para esos contaminantes, entre los que se incluyen pesticidas, fertilizantes, metales pesados, residuos de aromáticos, etc.

C) Contaminación del suelo

1.- Metales pesados

Los metales traza son aquellos que se encuentran de manera natural en la corteza terrestre en concentración de $1,000 \text{ mgKg}^{-1}$ o inferior. Constituyen la principal fuente de los problemas de toxicidad por los metales, puesto que la mayoría de los organismos no se adaptan a ellos cuando se encuentran en altas concentraciones en el ambiente.

Los niveles excesivos de metales traza pueden producirse de modo natural por los fenómenos geológicos, como la meteorización de las rocas, lixiviación, etc. Sin embargo, actualmente los seres humanos liberan más metales quemando combustibles fósiles, extrayendo minerales, descargando residuos industriales, agrícolas y domésticos, o mediante la aplicación deliberada de plaguicidas. Una vez que están disponibles en el ambiente, de ordinario los metales no cambian de lugar con prontitud ni experimentan desintoxicación rápida a través de actividades metabólicas, por lo que se acumulan en el suelo. Por ello, su paso en el ambiente debe ser controlado [Duffus, 1988].

Los procesos químicos más importantes que se dan en la contaminación de suelo por metales pesados, son cuando los metales pasan de la fase acuosa a la sólida, dentro del suelo. Estos procesos controlan la concentración de los iones metálicos, su presencia en la solución del suelo y la incidencia de su absorción por medio de las raíces de las plantas. Una gran gama de mecanismos diferentes pueden estar participando en la adsorción de iones metálicos, entre los que se incluyen intercambio catiónico, adsorción específica, interacciones con la materia orgánica y coprecipitación.

El contenido de metales pesados disponibles en el suelo depende de factores físicos y químicos, como son los que se citan a continuación.

pH: El pH es determinante en la disponibilidad y solubilidad de los metales, a pH básico, hay menor cantidad de metales disponibles y viceversa (excepto el caso de Pb y Cu, cuya retención se debe a otros factores). Hatton y Pickering [1980], mencionan que la cantidad de iones metálicos adsorbidos incrementan al aumentar el pH sobre un rango de 3 a 6 y que en ausencia de especies capaces de convertir los iones metálicos en complejos solubles estables, se establece una región de pH (menor a 6), en el cual dichos iones son casi totalmente adsorbidos y posteriormente precipitados. [Harter, 1983]

Bergkvist [1987] reporta que la acidificación incrementa la concentración de Al y metales pesados en la solución del suelo a niveles tóxicos para la fauna edáfica. De igual manera se incrementa tanto la capacidad de absorción de las raíces para ciertos metales como el lixiviado de los mismos especialmente para el Cd, Zn, Ni y Mn.

Según Bergkvist [1987], la liberación de Na, Mg, Ca, Cd y Zn del horizonte A, aumenta al elevar la acidez del suelo y que estos elementos son liberados a través del perfil del suelo, incrementando su concentración en la solución del mismo. Por lo tanto se puede decir que la retención de Pb, Cd, Cu, Zn y Ni depende del pH del suelo, ya que se incrementa notablemente con valores entre 7.0 y 7.5, [Singh, 1979; Harter, 1983; Sims, 1986; Anderson y Christensen, 1988; King, 1990].

Varios investigadores reportan que existe una correlación negativa entre el pH y el Zn disponible. Dado lo anterior, los suelos calcáreos al tener pH alto muestran una deficiencia de dicho elemento; asimismo un decremento grande en el pH está asociado con un incremento del Zn contenido en hojas de plantas que crecen en estos suelos [Reddy y Perkins, 1974; Saeed y Fox, 1977]. McBride [1979] reporta que el Zn se utiliza con mayor eficiencia a pH entre 6.0 y 6.5, ya que por debajo de 6.0 su concentración en la solución del suelo puede ser lo suficientemente grande para causar serios daños a las plantas

Materia orgánica: La materia orgánica desempeña un papel importante en la energía de unión con los metales pesados [McLaren et al., 1986]. La concentración de carbono orgánico es uno de los factores más importantes involucrados en la solubilización y subsiguiente migración de los metales a través del suelo [Bourg, 1995]. La materia orgánica adsorbe cantidades considerables de cationes inorgánicos [Boekhold y Van der Zee, 1992; Novotny, 1995]. Sin embargo su efectividad para adsorber metales pesados depende de sus propiedades de quelación [Petruzzelli et al., 1978].

Los metales pesados fácilmente móviles, como Zn y Cd, generalmente están unidos a compuestos orgánicos, lo mismo que Cu, Pb y Mo [Kabata-Pendias y Pendias, 1992]. Estas uniones son importantes en la transferencia de estos elementos a los sistemas biológicos, ya que los sustratos orgánicos están involucrados en los procesos metabólicos y por tanto podrían constituir los principales acarreadores para que los metales sean transferidos dentro de la cadena trófica [Förstner, 1995].

El Cu y el Pb están muy relacionados con la materia orgánica, por lo que su solubilidad está fuertemente conectada [Miller y McFee, 1983; Bourg, 1995]. El Co forma complejos orgánicos, principalmente con ácidos fúlvicos; de esta manera es móvil durante un corto periodo. Estas asociaciones son inestables y no pueden migrar grandes distancias.

Textura: Las variaciones en textura, composición y mineralogía del sedimento pueden ser usadas para diagnosticar propiedades en la identificación de la fuente del material y la historia de su transporte. Así, el sedimento con alto contenido de arcilla tipo montmorillonita es químicamente activo y actúa como depósito de nutrientes y metales pesados [Vaithyanatha *et al.*, 1992].

Las fracciones granulométricas más finas derivan de minerales de fácil descomposición, que son las principales fuentes de microelementos: por ejemplo, los basaltos que son ricos en Fe, Mn, Pb, Cu, y Zn; mientras que las fracciones más gruesas proceden de minerales más resistentes y pobres en microelementos [Loué, 1988].

Los sedimentos arcillosos contienen mayores cantidades de metales pesados que los arenosos. Esto se relaciona con un incremento general en la concentración de metales pesados de las fracciones gruesas a las finas. Los elementos Fe, Mn, Pb, Cu, Zn, Ni, Cr, Co y As se presentan principalmente en partículas menores a 20 μ m, con una concentración aproximadamente 50% más alta que en las fracciones de sedimentos gruesos y arena [Saeki *et al.*, 1993]. El aumento en la concentración de metales en el sedimento fino se debe al incremento del área superficial específica y las propiedades superficiales de los minerales de arcilla. La concentración y relación entre elementos, refleja la composición mineralógica de fracciones con diferente tamaño de partícula [Vaithyanatha *et al.*, 1992].

Interacciones químicas de los metales pesados con el suelo

Intercambio catiónico: La mayoría de los metales se encuentran en forma de cationes en la solución del suelo, por lo tanto su adsorción depende de la densidad de cargas

negativas en la superficie de los coloides. Los metales se unen a las cargas negativas de dichos coloides con lo que se mantiene la electroneutralidad. Tales uniones tienen ciertas características como que: son irreversibles, la difusión es controlada estequiométricamente y en muchos casos los coloides son selectivos en su unión con uno u otro metal.

Adsorción específica: Esta interacción involucra la capacidad de intercambio de los cationes metálicos y muchos aniones con capacidades de hacer enlaces covalentes con ellos. Esto da como resultado que los metales sean absorbidos en mayores cantidades que lo que se esperaría de la CIC del suelo en que se encuentran. Esta interacción entre los componentes de suelo depende del pH en el que se encuentren, así la asociación con el Co, Cd y Pb pueden ser favorecidas con diferentes pH's.

Co-precipitación: Este mecanismo se refiere a la precipitación simultánea de cierto agente químico, con otro elemento. Se da por varios mecanismos y cantidades.

Interacciones con la materia orgánica: Los ácidos húmicos, aparte de estar envueltos en el intercambio catiónico, también son capaces de adsorber metales para formar quelatos. Los compuestos orgánicos pueden formar complejos con los metales pesados, impidiendo que sean adsorbidos por otras moléculas o precipitados. Los compuestos húmicos con radicales reactivos tales como los grupos hidroxilos, carboxilos o fenólicos, forman complejos coordinados con los iones metálicos. La estabilidad de los enlaces con los metales tienden a ser en el siguiente orden decreciente: Cu>Fe=Al>Co>Zn. Los grupos carboxilo son los que juegan el mayor rol en las uniones con metales en sus dos presentaciones, los ácidos fúlvicos y los húmicos.

Principales metales que afectan al suelo

Fierro: El fierro es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre. Su principal uso consiste en el hierro estructural y el acero, pero también se usa para fabricar tintes y abrasivos. Es un micronutriente esencial en cantidades traza para la mayoría de los organismos, pero la ingestión de cantidades excesivas puede originar la inhibición de la actividad de muchas enzimas. [Alberci *et al.*, 1989]

Cobre: El cobre es el elemento traza más abundante en las rocas ultrabásicas. Es ampliamente usado en su estado metálico, ya sea en forma pura o en aleaciones. Para la mayoría de los organismos es un micronutriente esencial. Puede encontrarse en concentraciones muy altas en el agua, los sedimentos y los organismos en algunas áreas locali-

zadas de resultados de las actividades mineras, del uso intensivo de las pellas de cobre en la cría de cerdos, o de la aplicación de fungicidas de cobre. Sin embargo no existen pruebas de la ampliación de las cadenas tróficas, por consiguiente la mayoría de los efectos tóxicos son debido a la exposición inmediata al elemento. Todos los organismos experimentan daños debido a concentraciones excesivas, que pueden ser tan bajas como 0.5 mgKg^{-1} . En animales superiores los daños cerebrales son un rasgo característico del envenenamiento con cobre. [Calcutt y Moss 1984]

Zinc: El cinc constituye sólo el 0,004% de la corteza terrestre. Su uso más importante consiste en recubrir otros metales particularmente en el hierro y el acero galvanizados. Es un micronutriente esencial y por lo general se considera como uno de los elementos menos peligrosos, aunque su toxicidad puede aumentar debido a la presencia de arsénico, plomo, cadmio y antimonio como impurezas. Se ha reportado toxicidad de Zn para los organismos de suelo, aunque en concentraciones más altas a 40 mgKg^{-1} [Tena 1991].

Manganeso: El manganeso está ampliamente extendido y tiene una considerable importancia en la fabricación del acero. Los compuestos de Mn son muy importantes ya que son esenciales en la nutrición de los organismos y controla el comportamiento de otros micro nutrientes, además, reduce las concentraciones de otros metales tóxicos como el Pb, en suelos alcalinos (pH mayor a 8) puede llegar a combinarse de tal manera que produce compuestos tóxicos, sobre todo en suelos mal aireados [Kabata-Pendias y Pendias, 1992].

Cromo: El cromo para la mayoría de los microorganismos, es esencial como micronutriente, en cantidades traza para el metabolismo de las grasas y de los hidratos de carbono. En la industria se usa para fabricar aceros, en los recubrimientos de cromo y para curtir el cuero, los cromatos son solubles en agua y pueden envenenar los procesos de aguas cloacales. El ion puede existir en cuatro estados de valencia: Cr^{2+} , Cr^{3+} , Cr^{5+} , Cr^{6+} . De éstos, el ion hexavalente es el más tóxico y debe reducirse al estado trivalente para formar productos insolubles antes que los residuos de cromo pasen al ambiente. A escala celular el cromo hexavalente puede causar anomalías cromosómicas. El cromo es particularmente peligroso porque se acumula en muchos organismos. Se ha demostrado que algunas algas acuáticas concentran cromo 4,000 veces sobre el nivel de su ambiente inmediato. [Duffus, 1988]

Cadmio: El cadmio se presenta en forma de mineral en la corteza terrestre en una concentración de 0.18 mgKg^{-1} . Usualmente se extrae a partir de minerales de zinc. In-

dustrialmente se usa como agente antifricción, como agente antioxidación y en aleaciones. También se usa en los semiconductores, las varillas de control para los reactores nucleares, las bases de electro deposición, la manufactura del PVC y las baterías. [Korthals *et al.*, 1996]

El metal es fácilmente absorbido a través de las raíces de las plantas y se mueve rápidamente hacia la parte aérea de las mismas. También los animales lo absorben eficientemente y lo concentran dentro de sus tejidos. Una vez absorbido se asocia a las proteínas de bajo peso molecular y se acumula en los riñones, el hígado y los órganos reproductores.

El ion Cd^{++} , es el que se acumula más fácil en el suelo, sin embargo al aumentar el pH del suelo disminuye su disponibilidad. El máximo contenido de Cd permisible para un suelo, es de 3 mgKg^{-1} .

Níquel: El níquel se usa en varias formas para recubrimientos, como catalizador, como mordiente y en cerámica. De nuevo es un micronutriente para la mayoría de los organismos, pero cantidades excesivas ejercen efectos tóxicos. En los animales estos efectos causan dermatitis y desórdenes respiratorios, incluido cáncer de pulmón después de la inhalación. Entre los enzimas inhibidos están la citocromo oxidasa, la isocitrato deshidrogenasa y la maleico deshidrogenasa. Un derivado particularmente venenoso del níquel es el níquel-tetracarbonilo

Plomo: El plomo está ampliamente distribuido en la naturaleza, pero normalmente el riesgo máximo surge de las emisiones en el ambiente asociadas al uso humano del metal y de sus derivados. Los humos y el polvo proceden de la fundición del plomo, de la fabricación de insecticidas, pinturas, vidrios y baterías de almacenamiento, y de las gasolinas que contiene aditivos de plomo. Los lodos cloacales pueden contener niveles muy altos de plomo y su uso como fertilizante puede contaminar los suelos.

El plomo afecta a los microorganismos retardando la degradación heterótrofa de la materia orgánica. Poco se sabe sobre la toxicidad del plomo respecto a las plantas, en las cuales tiende a ubicarse en el sistema radicular. Los animales pueden absorber plomo por inhalación o ingestión. Sólo el tetraetilo de plomo puede ser absorbido a través de la piel intacta, la absorción es muy lenta pero la excreción lo es aún más, de manera que el plomo tiende a acumularse. [Calcutt y Moss 1984]

Estaño: El estaño está ampliamente distribuido y se le dan varios usos, principalmente para fabricar hojalata y diversas aleaciones y compuestos. Es un micronutriente esencial y la causa que ha provocado preocupación por su toxicidad es el desarrollo del

trialquil-estaño y triaril-estaño, compuestos poseedores de propiedades biocidas poderosas. Estos se usan en las cosechas en crecimiento como fungicidas e insecticidas. También se usan como agentes antimicrobianos y en pinturas anticorrosivas marinas. Debe tenerse mucho cuidado al usarlos, puesto que pueden causar daños a las cosechas, y en los animales pueden acumularse en el sistema nervioso central con efectos dañinos. [Alberci *et al.*, 1989]

Vanadio: El vanadio está ampliamente distribuido. Se usa para fabricar aceros y hierros, catalizadores para la oxidación y agentes colorantes usados en la industria de la cerámica. Grandes cantidades pasan a la atmósfera, procedentes de la combustión de algunos petróleos. Es un micronutriente esencial, pero los niveles excesivos en los animales inhiben la oxidación de los tejidos y la síntesis del colesterol, los fosfolípidos y otros lípidos, y de los aminoácidos. [Korthals *et al.*, 1996]

En la corteza terrestre se encuentra en una concentración entre 100 a 250 mgKg⁻¹ dependiendo la roca de la que se trate, el V tiende a asociarse con la materia orgánica, en el complejo intercambiable los iones VO⁺ desplazan a los Mg⁺⁺, los aniones de V son tóxicos para los organismos edáficos.

Arsénico: El arsénico es un metaloide, que en el suelo forma enlaces covalentes a manera de un no-metal, un solo ion actúa sobre una amplia zona, llamada de influencia. Los compuestos que forma son fitotóxicos, además de ser dañino para la fauna. El arsénico es un compuesto acumulativo. A escala celular desacopla la fosforilación oxidativa y compite con el fósforo en muchas reacciones. Se concentra en los organismos que están expuestos y se acumula a través de las cadenas tróficas [Alloway, 1996; Duffus, 1988].

Este elemento está presente en pigmentos, pinturas, en la industria textil y en la del latonado. Los detergentes caseros pueden contener cantidades apreciables de As (10 a 70 mgKg⁻¹). Su principal fuente está constituida por los diferentes tipos de plaguicidas [Tena, 1991].

Bromo: La abundancia del Br en la corteza terrestre está en el rango de 0.2 a 10 mgKg⁻¹. Es un elemento muy volátil y como sales es muy soluble, es por eso que se le reporta ampliamente en los depósitos de evaporitas. La materia orgánica acumula Br y esta fuertemente asociado al carbono orgánico [Lag y Steinnes, 1971]. El Br se acumula principalmente en el horizonte más superficial del suelo, Yuita [1983] reporta que retención del Br en el suelo es más efectiva en tiempo de lluvias. Los valores estándar en los suelos de Br total están entre 5 y 40 mgKg⁻¹.

El Br es utilizado en la industria automotriz, en algunos fertilizantes y para fumigar en forma de metil-bromuro.

Estroncio: El estroncio es un metal muy común en la corteza terrestre, frecuentemente se la asocia a la concentración de Ca^{++} y en algunos casos al Mg^{++} , en presencia de carbonatos es precipitado rápidamente pero el que no es precipitado se liga fuertemente a los coloides del suelo. Su concentración normal del horizonte superficial oscila entre 18 a 250 mgKg^{-1} [Kabata-Pendias y Pendias, 1992]. No se produce comercialmente ni se utiliza en la industria común.

Cobalto: En la corteza terrestre el cobalto se encuentra en concentraciones muy altas en las rocas ultramáficas (100 a 200 mgKg^{-1}), su abundancia en rocas sedimentarias oscila entre 0.1 y 20 mgKg^{-1} , se encuentra asociado a las arcillas y materia orgánica. No es muy común que los minerales contengan Co en su composición, aunque a veces se asocia con el Fe. Su ciclo biogeoquímico se parece mucho al del Fe y Mn. La absorción del Co en el suelo aumenta con el pH alcanzando el óptimo en valores arriba de 6.7. Se reportan concentraciones medias de Co entre 7.9 y 8.2. Las fuentes más importantes de contaminación de Co hacia el suelo son las provenientes de los derivados del petróleo [Kabata-Pendias y Pendias, 1992].

Itrio: Este elemento es muy común en la corteza terrestre, las rocas ultramáficas lo contienen en proporciones que van de lo 28 a 50 mgKg^{-1} . El contenido de Y ha sido poco estudiado en el suelo, sin embargo reportes de Erdman *et al.* [1976] lo sitúa con valores entre 10 y 150 mgKg^{-1} , con una media de 25 mgKg^{-1} , Kabata-Pendias y Pendias, [1992], efectúa una revisión bibliográfica en la que menciona algunos autores que han establecido límites similares. En la industria es utilizado para fabricación de vidrios ópticos y cerámicas especiales.

Bario: El bario es un metal que se encuentra comúnmente en la corteza terrestre, en las rocas magmáticas alcanza concentraciones en el rango de 400 a 1200 mgKg^{-1} . En los procesos biogeoquímicos al bario se la asocia con los iones K^+ por su similar radio iónico, también es común observarlo asociado con feldespatos y biotita.

El Ba es poco móvil, ya que es fuertemente precipitado en la presencia de sulfatos y carbonatos y es firmemente retenido por las arcillas. Dentro del perfil del suelo se concentra en la parte más alta y en los diferentes suelos del mundo se le puede observar en rangos entre 19 a 2,368 mgKg^{-1} .

2. Por sales

Las sales más solubles son las más perjudiciales debido a que forman soluciones - muy concentradas, mientras que las poco solubles precipitan antes de alcanzar umbrales tóxicos. Los cloruros y sulfatos, tanto de sodio como de magnesio, y el carbonato de sodio, son las sales que generan mayores problemas por su gran solubilidad [Fuentes, 1994]. En suelos se presentan electrolitos en solución como los cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos de sodio, potasio, magnesio y calcio, los cuales son los causantes de la salinización en los suelos

Los suelos salinos se encuentran principalmente en zonas de clima árido o semiárido; donde la falta de precipitación pluvial impide que las sales solubles se transporten. Esto se presenta por la baja precipitación y por la elevada evaporación característica de clima árido. El drenaje restringido también contribuye a la salinización de los suelos, lo que puede originar la presencia de capas freáticas poco profundas o bajas permeabilidades del suelo [Allison, 1993].

Estos suelos, tienen conductividades del extracto de saturación mayores de 4 dSm^{-1} , porcentajes de sodio intercambiables menores a 15 y valores de pH menores a 8.5. Sus características químicas quedan determinadas principalmente por el tipo y cantidad de sales solubles presentes, puesto que controlan la presión osmótica de la solución del suelo. El sodio pocas veces ocupa más de la mitad de la concentración total de los cationes solubles y por lo tanto no es adsorbido en forma importante.

Las cantidades relativas de calcio y magnesio presentes en la solución del suelo y en el complejo de intercambio varían considerablemente. En general, tanto el potasio soluble como el intercambiable son constituyentes de menor importancia, aunque ocasionalmente se pueden incrementar. Los aniones principales son cloruro, sulfato y nitrato. Pueden presentarse también pequeñas cantidades de bicarbonato, pero invariablemente los carbonatos solubles casi no se encuentran. Además de las sales rápidamente solubles, los suelos salinos pueden contener sales de baja solubilidad, como el sulfato de calcio (yeso) y carbonatos de calcio y magnesio (caliza) [Allison, 1993].

D). La mesofauna edáfica en relación con la contaminación del suelo

1. La mesofauna edáfica como bioindicadores.

La calidad del suelo, su fertilidad y estructura son esenciales para la producción agrícola; la protección y el cuidado de la biodiversidad, así como para la integridad de los ecosistemas terrestres. Para ello se hace necesario conocer los efectos potenciales de los contaminantes químicos así como su estructura y función en el ecosistema donde se encuentren. Los contaminantes pueden influir directamente sobre la meso y micro fauna edáfica, o indirectamente por medio de las cadenas alimenticias. Los efectos sobre los organismos pueden interferir en los procesos del suelo, importantes en la regulación, y en los flujos internos del carbono y nutrientes. Los efectos de los compuestos químicos en especies o grupos de microorganismos edáficos han sido utilizados para evaluar el potencial degradador de los químicos en la dinámica del suelo, dichos experimentos pueden ser de campo o laboratorio [Odum, 1985; Bongers y Shouten, 1991].

En la práctica, la mesofauna edáfica y los ciclos de carbono y otros nutrientes están tan íntimamente ligados que los efectos de los contaminantes en alguno de esos aspectos necesariamente van a impactar a los otros. Más aún, la intensidad del efecto, la bioacumulación y persistencia de los contaminantes en el suelo, puede depender de las interacciones de éstos con los organismos y raíces de las plantas y su actividad como degradadores. A causa de la complejidad de los procesos edáficos y la relación de éstos con los organismos, se hace imposible explicar la influencia de los contaminantes sin considerar sus efectos en las interacciones potenciales suelo-mesofauna [Popovici y Korthals, 1995; Regier y Cowell, 1972; Pianka, 1978].

De esta manera los efectos de los contaminantes en comunidades o especies particulares de fauna edáfica, la dinámica de los procesos en el suelo y los sistemas que interactúan como un todo en los diferentes microambientes del mismo, han sido utilizados para evaluar el potencial de los contaminantes en el impacto ambiental sobre toda la dinámica del suelo, tanto en experimentos de campo como de laboratorio; sin embargo para estudiar la relación entre las poblaciones y la contaminación es importante tomar en cuenta los puntos que se dan en los párrafos que preceden [Van Straalen y Krivolustsky, 1996].

Si se pretende utilizar algunas especies de la mesofauna edáfica como indicadores de contaminación éstas deben cumplir con los siguientes puntos:

- Ser parte activa de los procesos ecológicos que se dan en el suelo, por ejemplo la mineralización de la materia orgánica.
- Estar presentes en un intervalo amplio de tipos de suelo.
- Como grupo, tener poblaciones con gran cantidad de especies.
- Se les debe poder examinar tanto en condiciones naturales como de laboratorio.
- La extracción y selección entre organismos de otros grupos de la misma población, deben ser sencillas.

Para seleccionar los procesos dinámicos que ocurren en el suelo y que pudieran influir en la distribución de los contaminantes se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- Observar de forma detallada la dinámica del suelo.
- Tener establecidos métodos para evaluar los cambios en el sistema.
- Obtener datos que puedan ser realmente interpretables en función de impacto ambiental. Los cuales deben incluir estudios de las tasas de mineralización de la materia orgánica, porosidad, aumento en las poblaciones de fauna edáfica; actividad enzimática en el suelo y tasas de cambio en el nivel de nutrientes.

Finalmente, para estudiar la relación de los organismos con la contaminación *in situ* es necesario tomar en cuenta lo siguiente:

- Tomar repeticiones de cada muestra.
- Tener condiciones físicas, químicas y biológicas similares en los lugares que se van a comparar entre sí.
- Tener repeticiones en los análisis que se practiquen a las muestras.
- Escoger un lugar que sea representativo y explique la dinámica del ecosistema en que se encuentra.
- Que provea datos fácilmente interpretables en términos de la contaminación de los suelos en campo.

2.- Los colémbolos en pruebas de ecotoxicología.

Los estudios que se han realizado de la respuesta de los colémbolos a diversos contaminantes y la bioacumulación en sus tejidos se debe a que son una parte importante de la dieta de diferentes animales, por lo cual se puede introducir el contaminante a la cadena alimenticia. Sin embargo, se han hecho pocas investigaciones sobre los colémbolos como indicadores de contaminación [Hopkin, 1997].

V. MÉTODO

Se eligieron dos zonas para muestreo con la misma clasificación de suelo pero con diferente tipo de riego (una zona es regada con agua de pozo y la otra con agua residual), mediante el uso de fotografías aéreas e información geográfica del INEGI y en correspondencia con cartografía elaborada por el Distrito de Desarrollo Rural 063.

Los sitios para el estudio se localizan en el municipio de San Salvador, dentro del Valle del Mezquital en el estado de Hidalgo. Son dos terrenos de 7,000 m², a un kilómetro de distancia uno del otro. Presentan un perfil de suelo profundo de origen aluvial, fértil y de buena estructura, ambos se aprovechan para sembrar maíz y alfalfa alternativamente. Su única diferencia consiste en que uno se riega con agua de pozo desde hace 100 años y el otro con agua residual provenientes de la Ciudad de México desde hace 50 años.

A) Trabajo de campo

Se efectuó un muestreo bimestral del suelo en seis etapas, de diciembre de 1998 a octubre de 1999.

Para su recolección se hicieron cuadros, 10 m x 10 m, y de manera aleatoria se escogieron 10 puntos donde se efectuaría cada muestreo. Una vez elegido el lugar, en cada punto se tomó una muestra de la capa arable (0-20 cm), que se dividió en tres, la primera de 95 cm² se utilizó para la extracción de colémbolos, la segunda de dos kilogramos para las pruebas edafológicas y la tercera de medio kilogramo para medir metales pesados intercambiables y totales.

En cada salida a campo se obtuvieron 10 muestras de cada terreno, a fin de obtener 60 muestras por lote, totalizando 120 muestras en el año de estudio.

B) Trabajo de laboratorio

A las muestras se les practicaron las mismas pruebas, que se describen a continuación:

Suelo

El suelo utilizado para las pruebas edafológicas y para la determinación de metales pesados, se secó a temperatura ambiente y se tamizó en una malla del número 10 con orificios de 2 mm de diámetro y se procedió a efectuar las siguientes determinaciones:

- Textura por el método del hidrómetro de Bouyoucos, [Bouyoucos, 1951].
- Conductividad eléctrica por medio de la celda de conductividad eléctrica Marca Orion Modelo 160 con constante de 1.
- pH en agua destilada hervida y KCl en relación 1:5 y 1:10 respectivamente [Jackson, 1982], utilizando un potenciómetro Corning 340 Modelo 7.
- Contenido de metales pesados: V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Br, Sr, Y, Zr y Pb totales por medio del acelerador de partículas Van de Graaff 5.5 MeV del Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México (IFUNAM), usando la técnica de Emisión Rayos X Inducida por el bombardeo de Protones (PIXE). La técnica PIXE consiste en la cuantificación de los rayos X característicos, producidos por átomos contenidos en las muestras, cuando son excitados o ionizados los electrones del átomo a niveles de transición superiores. Para mayor detalle puede consultarse en Johanson Sven y Campbell [1988].
- Contenido de metales pesados, Cu, Fe, Mn, Zn, Co, Cr, Ni, Cd y Pb intercambiables, por el método de flamometría. El flamómetro utilizado es de la marca Corning Modelo 400 [Cook, 1998].
- Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} y K^+ intercambiables, por centrifugación, extracción con acetato de amonio 1 N, titulación por el método de versenato EDTA 0.02 N, usando como indicador murexida y negro ericromo T [Cheng y Bray, 1951].
- Materia orgánica por vía húmeda con dicromato de potasio, método Walkley y Black modificado por Walkley [1947].
- Densidad real, por el método del picnómetro.
- Densidad aparente, por el método de la probeta.
- Porosidad, por medio de la diferencia entre la densidad aparente y real.

Colémbolos

Se extrajeron los colémbolos de las muestras por medio de los embudos de Berlese-Tullgren; sometíendolas 3 días sin fuente calorífica a temperatura ambiente y 3 días con un foco de 25 watts por embudo. La fauna se colectó en frascos con alcohol etílico al 70%.

Los colémbolos extraídos se cuantificaron e identificaron primero a nivel de familia con ayuda de un microscopio estereoscópico y posteriormente a nivel de género, con ayuda de preparaciones para ser observadas en el microscopio de contraste de fases. Para esto se utilizaron las claves editadas por Christiansen y Bellinger [1980-1981] así como las publicadas por Palacios y Gómez [1993].

Para la realización de preparaciones se siguió la técnica de Christiansen y Bellinger [1990], que consiste en aclarar el ejemplar en potasa (KOH) al 5% y después en lactofenol. Finalmente se coloca al colémbolo en una gota de líquido Hoyer entre porta y cubreobjetos, dejándolo secar primero a temperatura ambiente y posteriormente en un horno a 45°C, para evitar la formación de burbujas.

C) Análisis matemático

El análisis de resultados se realizó en dos etapas, para determinar las relaciones entre los factores ambientales y la distribución de colémbolos. A continuación se describen los dos tipos de análisis, que se dividieron en etapa 1 y 2, respectivamente.

ETAPA I

En la etapa 1 se efectuó un Análisis Multivariado de Varianza (MANOVA) para determinar si existía un efecto significativo del tipo de riego, los meses del año y de la interacción entre esos dos factores sobre los valores promedio de las variables edafológicas, metales intercambiables, metales totales y colémbolos. En algunos casos las variables medidas en escala porcentual fueron primero sujetas a una transformación logarítmica para hacer que su distribución se acercara lo más posible a una distribución normal de probabilidades.

Después fue necesario hacer análisis Univariados de Varianza (ANOVA) de los diferentes factores para determinar si existía un efecto significativo del tipo de agua, los

meses del año y de la interacción entre esos dos factores sobre el nivel promedio de cada una de las variables consideradas.

ETAPA II

En esta etapa se utilizó, para examinar las correlaciones entre los parámetros medidos en el suelo y las variaciones en la abundancia de los diferentes géneros de colémbolos, un Análisis de Ordenación de Correspondencia Canónica (CANOCO) [Jongman *et al.*, 1995]. El término de ordenación es utilizado colectivamente para definir aquellas técnicas de arreglo de sitios sobre los ejes de coordenadas, basándose en una serie de datos de la composición de especies. Se utilizó el método de la ordenación para organizar los puntos de tal forma que aquellos que se encuentren cercanos corresponden a sitios que son similares en su composición de géneros y los puntos lejanos corresponden a los sitios que son disímiles. El diagrama es un resumen gráfico de los datos, que muestra tres grupos de sitios similares. La ordenación incluye lo que la estadística refiere como escala multidimensional y análisis compuesto.

Esta técnica es ampliamente utilizada en ecología, ya que los ecosistemas son muy complejos, en ellos suceden diferentes interrelaciones con componente bióticos y abióticos; por lo que el método escogido permite visualizar la manera en que los factores abióticos influyen sobre la composición biótica. Se pudo entender por tanto la composición de géneros durante el año y diferenciar dicha composición entre la que se presentaron en los suelos con cada tipo de riego. Una vez establecido, la distribución de los géneros se comparó con los resultados MANOVA y ANOVA practicados en la ETAPA 1 del análisis de resultados, para establecer la manera en que se correlaciona la abundancia de cada género, con la variación de los contaminantes o factores edáficos en el tiempo y en el espacio. La meta de la ordenación canónica es determinar el patrón principal de las relaciones entre especies y las variables observadas en el medio.

Dentro de las diferentes técnicas de ordenación que existen se escogió CANOCO. Este método permite visualizar cual es el valor preferido por los diferentes géneros dentro de un hábitat específico y se calcula por el promedio de los factores analizados en el ecosistema en que las especies cohabitan (un ejemplo, en el caso de este trabajo, podría ser Pb total, % de materia orgánica y/o Zn intercambiable del suelo analizado). En particular el CANOCO trabaja seleccionando la combinación lineal de variables ambientales que maximiza la dispersión de los valores de abundancia de las especies. Esta primera selección constituye el primer eje canónico que aparecerá como eje "X" en el diagrama de or-

denación. El segundo eje canónico aparecerá como eje "Y" en el mismo diagrama de ordenación y es también una combinación lineal de las variables ambientales que se registraron (% de materia orgánica, porosidad, etc.) que maximiza la dispersión de las especies, pero sujeto a la restricción de no estar correlacionado con el primer eje canónico. Pueden existir tantos ejes como variables ambientales se hayan registrado. Matemáticamente lo anterior se expresa como:

$$X_i = C_0 + C_1 Z_{1i} + C_2 Z_{2i} + C_3 Z_{3i} + \dots + C_n Z_{ni}$$

Donde

Z_j es el valor de la variable ambiental j en el sitio i

C_j es el valor (no necesariamente positivo) que tiene tal variable

X_i es el valor de la combinación resultante de las variables ambientales en el sitio i (eje canónico)

Para realizar el CANOCO se utilizó la versión del programa CANOCO [Ter Braak, 1990] realizándose el análisis para examinar la variación en composición por géneros de colémbolos del total de 120 muestras en relación con los parámetros analizados (Ver anexo 2).

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

ETAPA I

Las tablas de resultados que se obtuvieron en laboratorio por muestra, mes y factor de los diferentes parámetros analizados, se encuentran en el APÉNDICE I. En este apartado se mostrarán los resultados obtenidos de los análisis estadísticos que se practicaron.

A) Análisis edafológicos

En cuanto a los resultados obtenidos de los análisis edafológicos solo se consideraron pH en agua, pH en KCl, conductividad eléctrica, materia orgánica, calcio, magnesio, potasio y sodio intercambiables, así como la porosidad (calculada a partir de los valores de densidad aparente y densidad real).

Los porcentajes de arcilla, limo y arena no se sometieron a análisis estadístico, ya que sólo se utilizaron para determinar la clase de textural del suelo. Como puede verse en las tablas 1 a la 12, en ambos terrenos el suelo tiene el mismo tipo textural (Migajón arcilloso), por lo que esta característica no se considera como determinante en la distribución de los colémbolos.

1.- Análisis Multivariado de Varianza (MANOVA)

Este análisis se realizó para determinar si existía un efecto significativo del tipo de riego, los meses del año y de la interacción entre esos dos factores, sobre los valores promedio de las nueve variables edafológicas consideradas (pH en agua, pH en KCl, conductividad eléctrica, materia orgánica, calcio, magnesio, potasio, sodio y porosidad). Las variables medidas en escala porcentual (materia orgánica y porosidad) fueron primero sujetas a una transformación angular para hacer que su distribución se acercara lo más posible a una distribución normal de probabilidades. Los resultados obtenidos son:

Tabla 2. MANOVA de los análisis edafológicos

| <i>Factor</i> | <i>Wilks' Lambda</i> | <i>df 1</i> | <i>df 2</i> | <i>probabilidad</i> |
|---------------------------------------|----------------------|-------------|-------------|---------------------|
| Diferencias por tipo de riego | 057670 | 9 | 100 | 0.00 |
| Diferencias entre meses | 0.001258 | 45 | 450 | 0.00 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 059579 | 45 | 450 | 0.00 |

El MANOVA demostró una diferencia significativa en las características edafológicas examinadas, tanto entre el tipo de riego como en los diferentes meses del año en que se efectuó cada muestreo (Ver tabla 2).

2.- Análisis Univariado de Varianza (ANOVA)

Después del MANOVA se practicaron análisis de varianza ANOVA de dos factores, para determinar cuáles de las variables edafológicas consideradas mostraban un efecto significativo del tipo de riego, los meses del año y de la interacción entre dichos factores. Los resultados obtenidos, se encuentran en la tabla 49 del apéndice I y las figuras correspondientes se muestran a continuación. En las figuras 2 y 3 se pueden observar las concentraciones promedio de cada variable para diferentes combinaciones de tipo de riego y mes, junto con sus correspondientes intervalos de diferencia mínima significativa (al 95% de confianza), de acuerdo a la prueba de comparaciones múltiples de medias de Tukey. Aquellos promedios cuyos intervalos no se solapan son significativamente diferentes (al 95% de confianza), en tanto que aquellos promedios cuyos intervalos se solapan no difieren significativamente.

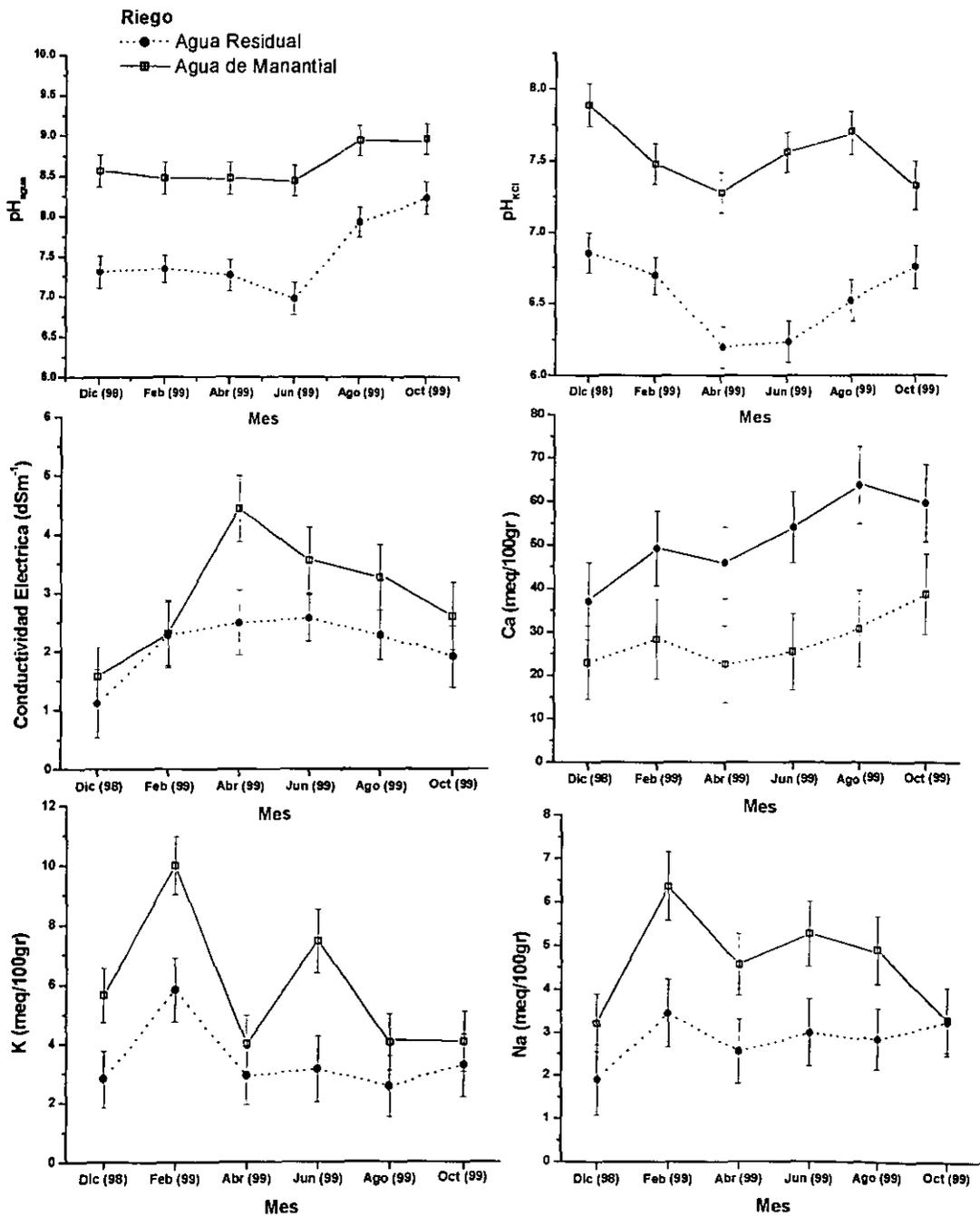


Figura 2: ANOVA de los análisis edafológicos

Como se puede observar en la figura 2, el pH mostró diferencias entre los terrenos, con valores más básicos en el terreno regado con agua de manantial; si se compara con los datos obtenidos de conductividad eléctrica (C.E.), se puede deducir que esta diferencia se debe a la acumulación de sales que existe en el terreno regado con agua de manantial, que en algunos casos rebasó el valor de 4dSm^{-1} (Ver tablas 6 y 8, apéndice I), alcanzando por tanto niveles tóxicos [Allison, 1993], que fue especialmente notorio en los meses de diciembre abril y agosto. En cuanto a la época de muestreo, ambos terrenos se comportan de manera similar (cuando sube el pH y la C.E. de uno, sube también el del otro y viceversa), pero siempre la medición realizada con el suelo regado con agua de manantial es más alcalina, por lo menos en una unidad. La medida de pH que se hizo en agua, difiere de la que se hizo en KCl, sobre todo en los meses de diciembre y abril.

La concentración de los cationes intercambiables, siguen la misma tendencia que el pH; hay diferencias estadísticas entre los dos terrenos. Los valores mayores se presentan en el suelo regado con agua de manantial, también existen diferencias entre los meses de muestreo, con excepción del magnesio, que mantuvo valores similares durante todo el año. La relación entre los cationes es $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^{+} > \text{Na}^{+}$, que son las proporciones normales para un suelo con aporte constante de material calcáreo [Bonneau, 1987]. Ninguno de los dos terrenos presentó valores tóxicos de sodio, ya que en todos los casos son menores a $6\text{ cmol}^{(+)}\text{Kg}^{-1}$ (Ver tablas de la 1 a la 12 y 49, apéndice I).

En la Fig. 3 que se expone a continuación, se muestra que el Mg intercambiable no presenta diferencias estadísticas entre el mes de muestreo, lo que indica que sus concentraciones fueron constantes a lo largo del año. La porosidad, por el contrario, no muestra diferencias entre los terrenos regados con diferente calidad de agua (residual y de manantial respectivamente), sino que es similar en ambos terrenos durante todo el año con porcentajes cercanos al 50%.

En cuanto al porcentaje de materia orgánica (M.O.), el ANOVA indica que solo en el mes de diciembre se presentó una diferencia significativa entre los dos terrenos (mayor abundancia en el suelo regado con agua de manantial), el resto de los meses la concentración es muy similar (tabla 49, apéndice I).

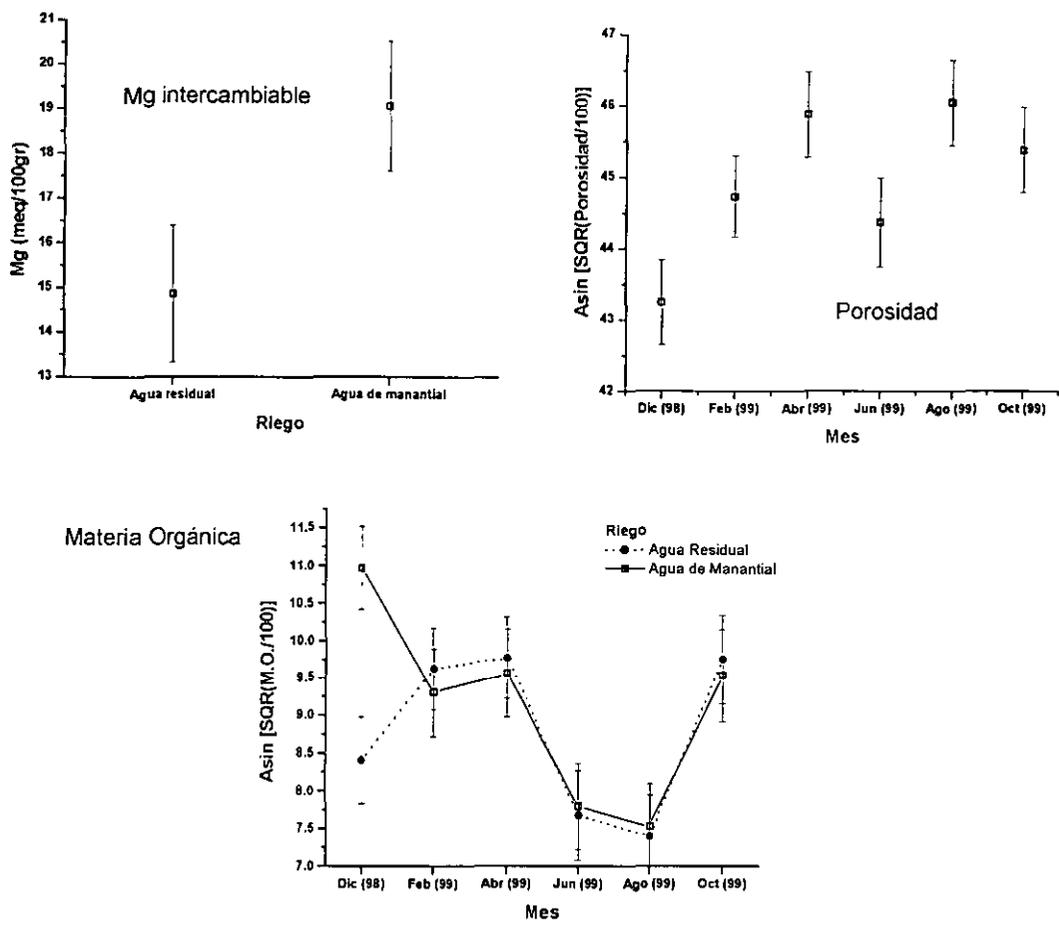


Figura 3: ANOVA de los datos de Materia orgánica, magnesio intercambiable y porosidad

B) Análisis de metales pesados intercambiables

El análisis de los metales pesados intercambiables, se realizó para conocer su disponibilidad para los colémbolos. Se sabe que los cationes intercambiables pasan a la solución del suelo, debido a la electrodinámica del medio, de esta manera, si se tiene mayor concentración total de metales pesados, se presupone que se tendrá también en la fracción intercambiable.

El suelo regado con agua de manantial tiene una abundancia mayor de coloides (arcillas y humus) que el regado con agua residual, por lo que al observar mayor concentración de metales pesados Intercambiables en las muestras obtenidas del segundo, se concluye que se debe al tipo de riego, lo cual es muy conveniente para los objetivos de esta investigación.

1.- Análisis Multivariado de Varianza (MANOVA)

Este análisis se realizó para determinar si existía un efecto significativo del tipo de riego, los meses del año y de la interacción entre esos dos factores, sobre las concentraciones promedio de los ocho metales pesados intercambiables considerados (Fe, Cu, Zn, Mn, Cr, Cd, Ni y Pb). Cuyos resultados se dan a continuación:

Tabla 3: MANOVA de los metales pesados intercambiables

| <i>Factor</i> | <i>Wilks' Lambda</i> | <i>df 1</i> | <i>df 2</i> | <i>probabilidad</i> |
|---------------------------------------|----------------------|-------------|-------------|---------------------|
| Diferencias por tipo de riego | 0.778619 | 8 | 101 | 0.001049 |
| Diferencias entre meses | 0.001792 | 40 | 443 | 0.000000 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 0.489291 | 40 | 443 | 0.000554 |

El MANOVA (tabla 3) demostró un efecto significativo de ambos factores (tipo de riego y meses del año), así como una interacción significativa entre ellos. Esto se puede constatar en las tablas 13 a la 24 del apéndice I, donde se observa que en todos los casos hubo una concentración mayor de metales pesados intercambiables en el suelo regado con agua residual que en el regado con agua de manantial; que es contrario a la concentración de cationes intercambiables no pesados, que lleva a sugerir que el aporte de estos elementos tóxicos se debe al tipo de riego que se le aplica a cada terreno.

2.- Análisis univariado de Varianza (ANOVA)

Después del MANOVA se hicieron análisis de Varianza (ANOVA) de dos vías para determinar cuáles de los metales considerados mostraban un efecto significativo al tipo de riego, los meses del año y la interacción entre esos dos factores (ver tabla 50, apéndice I). Los resultados obtenidos se presentan en las Figuras 4 y 5, donde se muestran las con-

centraciones promedio de cada metal pesado intercambiable para diferentes combinaciones de tipo de riego y mes, junto con sus correspondientes intervalos de diferencia mínima significativa (al 95% de confianza), de acuerdo a la prueba de comparaciones múltiples de medias de Tukey. Igual que en el caso de los edafológicos, aquellos promedios cuyos intervalos no se solapan son significativamente diferentes (al 95% de confianza), en tanto que aquellos promedios cuyos intervalos se solapan no difieren significativamente.

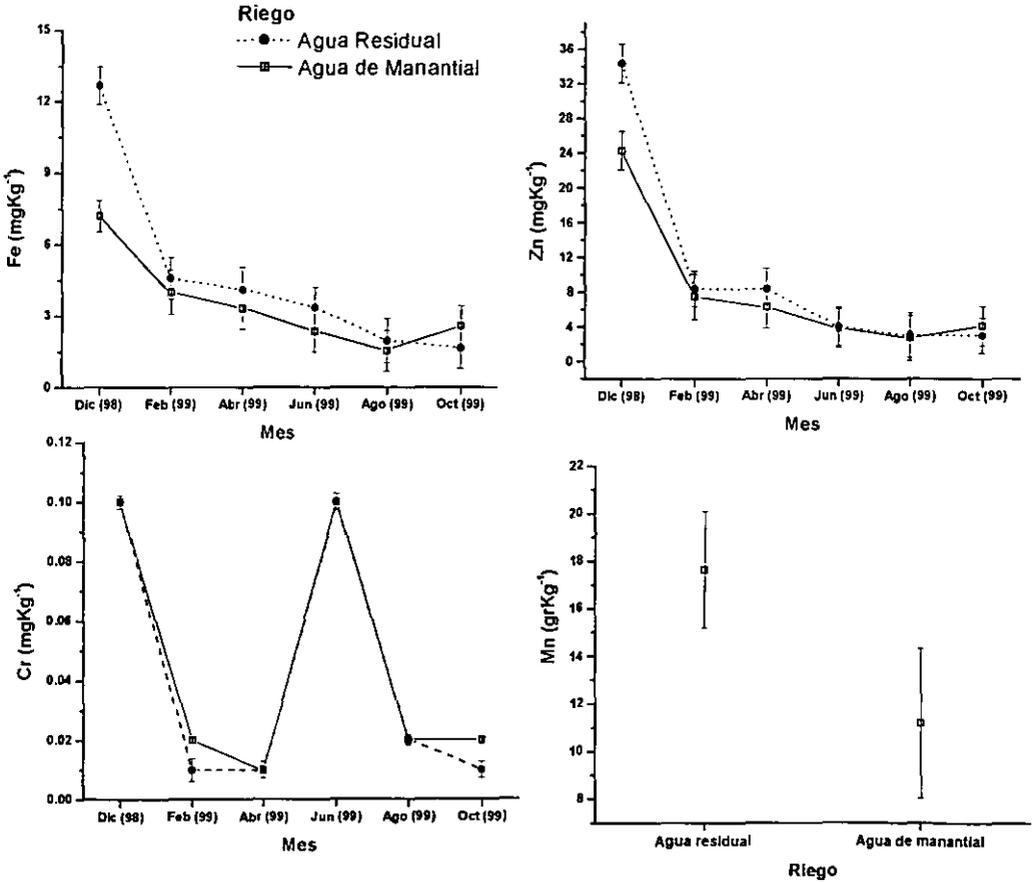


Figura 4: ANOVA de los metales pesados biodisponibles que presentaron diferencias estadísticas por mes de muestreo

Los resultados del ANOVA del Fe y Zn, fueron muy similares (Fig. 4), aunque el Zn es ligeramente más abundante que el Fe. Estadísticamente se muestran diferencias tanto por el tipo de riego, como por la época de muestreo. La concentración del Zn en el terreno regado con agua residual presenta contenidos mucho más altos que el regado con agua de manantial, alcanza relaciones superiores al resto de los metales (1:10). Las concentraciones mayores en ambos terrenos se presentan en los meses de diciembre, febrero y abril.

Dentro de los metales intercambiables el Fe fue el más abundante ya que es un elemento muy copioso en la composición del suelo, que llega a ser el cuarto metal en abundancia con concentraciones alrededor del 6% en la corteza terrestre. Como se observa en la figura 4, el ANOVA mostró una discrepancia entre la época de muestreo y sólo en el mes de diciembre una diferencia estadística entre los dos terrenos, con concentraciones mayores en el terreno regado con agua residual. En el mes de diciembre se presentan los valores más altos de este metal (no se rebasan los límites de las normas). En el resto de los meses su concentración baja y estadísticamente la abundancia en los dos terrenos es similar, aunque las tablas 13 a la 24 (apéndice I) se muestra que es más abundante en el terreno regado con agua residual.

En la Fig. 4 se observa que el Cr intercambiable presentó diferencias estadísticas tanto por el tipo de riego como por los meses de muestreo; los meses de diciembre y febrero se presentan las concentraciones más altas (0.1 mgKg^{-1}).

A diferencia del Zn, Fe y Cr, el Mn intercambiable sólo presentó diferencias estadísticas por el tipo de riego, con concentraciones mayores en el suelo regado con agua residual sobre el regado con agua de manantial aunque en ambos terrenos su concentración rebasa 5 mgKg^{-1} y en el terreno regado con agua residual alcanza valores hasta de 87 mgKg^{-1} .

El Cu, Cd, Ni y Pb solo presentaron diferencias estadísticas estacionales (Fig. 5). En todos los casos en el mes de diciembre se exponen las concentraciones más altas. A pesar de no presentar diferencias estadísticas entre el tipo de riego, si se observan las tablas de la 13 a la 24 (Apéndice I) se puede señalar que en promedio se presenta una concentración mayor en el suelo regado con negra que en el regado con agua de manantial en una razón 1:5.

El Niquel intercambiable en el mes de diciembre se llega a concentraciones de hasta 3.2 mgKg^{-1} , en la fracción intercambiable del suelo, Kabata-Pendias y Pendias

[1992] sugieren valores normales de Ni en la solución de suelos alrededor de 3 mgKg^{-1} , lo que indica que durante todo el año se encuentra en los valores normales.

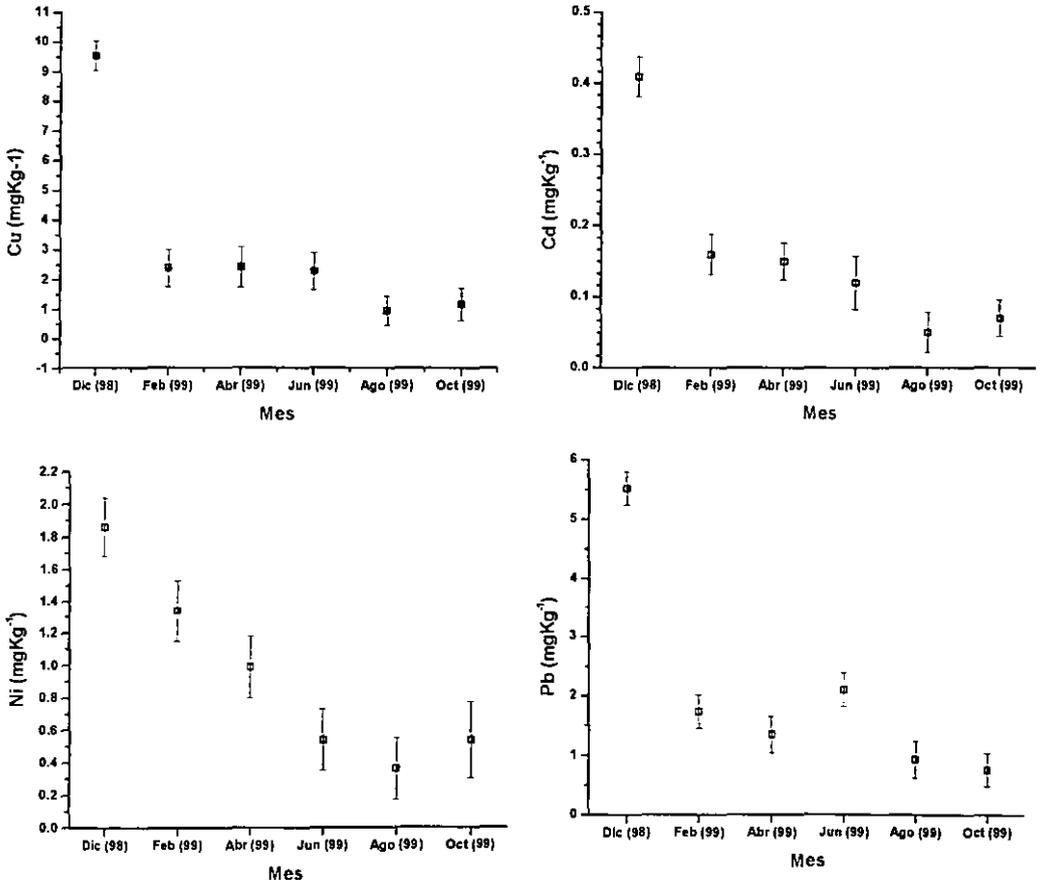


Figura 5: ANOVA de los metales pesados biodisponibles que presentaron diferencias estadísticas estacionales

C) Análisis de metales totales

El análisis de los metales totales permitió estudiar una gama más amplia de elementos, que los que se trabajaron entre los intercambiables, esto se hizo para verificar si existían otros factores que alteraran la distribución de los colémbolos, que no hubieran podido ser medidos en el análisis previo.

1.- Análisis Multivariado de Varianza (MANOVA)

En primer lugar se trató de hacer un Análisis Multivariado de Varianza (MANOVA) para determinar si existía un efecto significativo del tipo de riego, los meses del año y de la interacción entre esos dos factores sobre las concentraciones promedio de los 15 metales totales considerados. Desgraciadamente este análisis no pudo completarse debido a que el determinante de la matriz de datos (17 variables X 120 casos) es muy cercano a cero (matriz mal condicionada).

2.- Análisis Univariado de Varianza (ANOVA)

Alternativamente, se hicieron análisis univariados de varianza (ANOVA) de dos factores para determinar si existía un efecto significativo del tipo de riego, los meses del año y de la interacción entre esos dos factores sobre la concentración promedio de cada uno de los quince metales considerados. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 51 del apéndice I. En la figura 6, se exponen las concentraciones promedio de cada metal para diferentes combinaciones de tipo de riego y mes, junto con sus correspondientes intervalos de diferencia mínima significativa (al 95% de confianza) de acuerdo a la prueba de comparaciones múltiples de medias de Tukey, aquellos promedios cuyos intervalos no se solapan, son significativamente diferentes (al 95% de confianza), en tanto que, aquellos promedios cuyos intervalos se solapan no difieren significativamente.

La mayoría de los elementos totales (Fe, Cu, Zn, Cr, Cd, Ni, Pb, V y Br), presentan concentraciones muy altas en el mes de diciembre, en algunos casos más altas que en el resto del año, esto pudo deberse a las bajas temperaturas y poca precipitación que se dan en ese mes (Ver Fig 1: diagrama ombrotérmico, pag. 4). La mayoría de las reacciones químicas y de la actividad biológica, se favorecen con temperaturas alrededor de 25°C, por lo que al presentarse temperaturas entre 0 y 10 °C, se espera que los fenómenos de precipitación de elementos y remediación del suelo por parte de los organismos, se haga más lenta y exista, por tanto, acumulación de elementos.

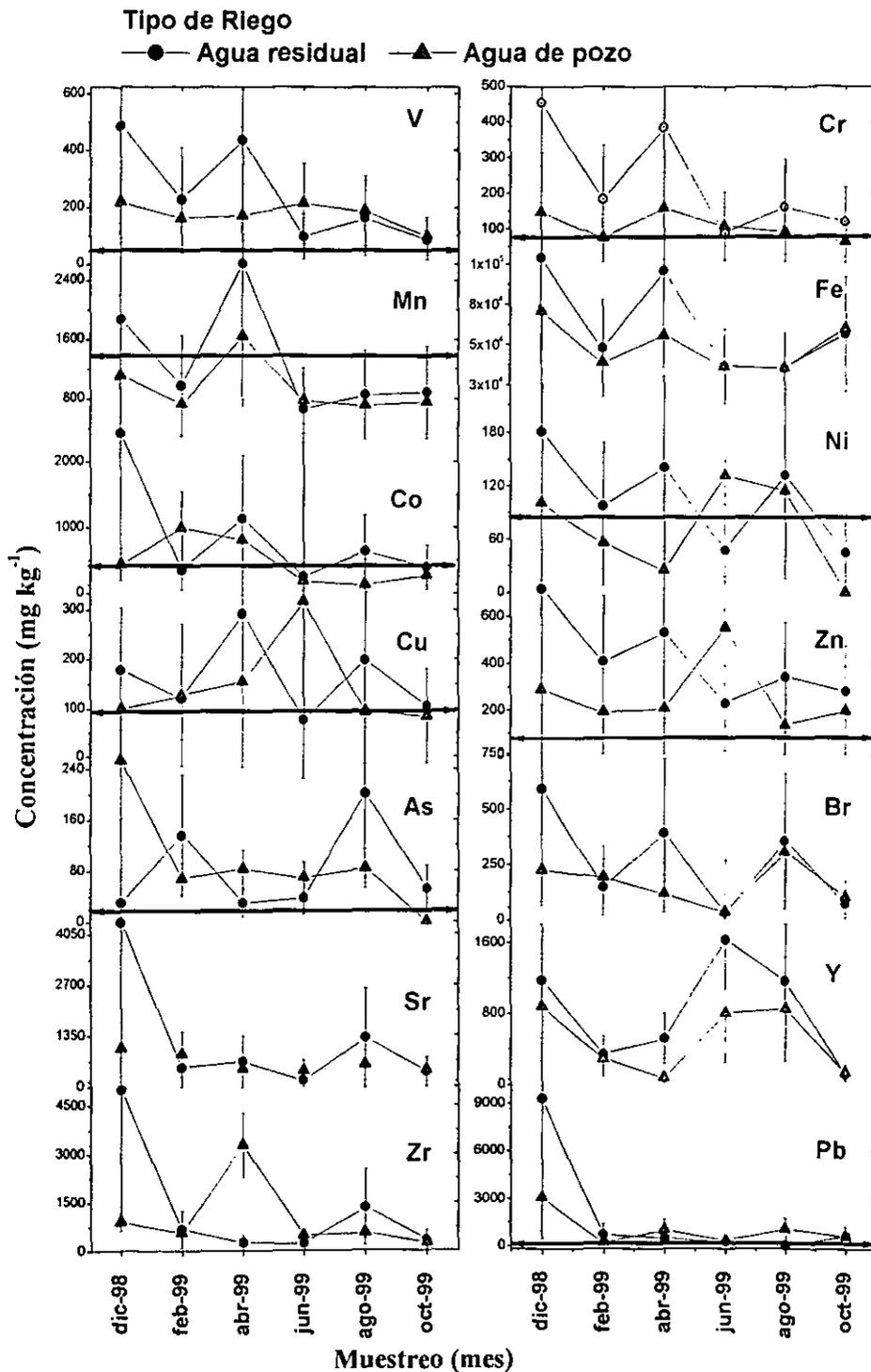


Figura 6: ANOVA de los elementos totales

El manganeso, zinc, bromo y cobalto, presentan diferencias estadísticas tanto por el tipo de riego como por los diferentes meses de muestreo, en todos los meses su concentración es mayor en el suelo regado con agua residual, aunque sólo es estadísticamente diferente en los meses de abril y agosto de 1999. Debido a que el mes de abril, para el clima del área, es el mayor tiempo transcurrido desde la última precipitación pluvial; se espera que se hayan incrementado las sustancias que transporta el agua, incluyendo metales pesados; entonces, se podría considerar en primer lugar, que el agua residual está más concentrada de contaminantes; en segundo lugar que las lluvias diluyen la solución del suelo. El muestreo de agosto se hizo un mes después de una gran inundación que se dio en la zona donde el agua llegó a 1 m de profundidad en algunas parcelas, en este mes los canales de agua residual se desbordaron y por consiguiente no hubo riego de ningún tipo. Lo que puede explicar que en ese mes (después de la evaporación y absorción del agua) quedaran los metales pesados en sus concentraciones más altas, para ambos terrenos.

En el ANOVA el Mn y Br total presentaron diferencias estadísticas tanto por el tipo de riego como por la época de muestreo, en todos los casos se obtuvieron concentraciones mayores de las muestras recolectadas en el terreno regado con agua residual. Aunque el Br sólo es estadísticamente diferente entre los terrenos en el mes de diciembre.

El Zn mostró diferencias significativas, tanto por el tipo de riego, como por el mes de muestreo. En todos los meses a excepción de agosto se presentaron concentraciones mayores en el suelo regado con agua residual.

El ANOVA practicado a los datos obtenidos de Co total, muestra diferencias tanto por el tipo de riego, como por el mes de muestreo, los meses con mayor concentración de Co son abril y agosto.

A pesar de que el ANOVA realizado a partir de los datos de Cr total, muestra sólo diferencias estadísticas en el tipo de riego, se puede observar que al igual que los otros metales, las concentraciones más altas se presentaron en el mes de abril y diciembre en una relación hasta de 1:5.

El ANOVA, realizado con los datos obtenidos del Cu total (Fig.6), demuestra sólo diferencias estadísticas por el mes de muestreo, situación que se presentó también en el Cu intercambiable (Fig. 5), la diferencia con aquel, consiste en que las concentraciones más altas se tienen en los meses de abril y de agosto.

El ANOVA no presentó diferencias estadísticas por tipo de riego ni por época de muestreo, lo que indica que el As encontrado tiene una fuente de abasto diferente al riego.

El ANOVA practicado con los datos obtenidos de la concentración del Sr y Zr sólo muestra diferencias por el tipo de riego.

El Itrio muestra diferencias estadísticas tanto por el tipo de riego como por la época de muestreo, no se nota, sin embargo algún patrón en su distribución, a veces es más abundante en el terreno regado con agua residual y a veces en el otro terreno, sus concentraciones aparecen más o menos constantes en todo el año con excepción de febrero que aumenta drásticamente en el terreno regado con agua de manantial.

El Ni y V tienen comportamientos similares, presentan diferencias tanto estacionales como por el tipo de riego. En general, se observan concentraciones mayores de los dos metales en el terreno regado con agua residual, aunque en algunas muestras de junio, agosto y octubre, se invierte la proporción.

D) Análisis por géneros de colémbolos

Se estudió también la abundancia de colémbolos en su comportamiento estacional y por tipo de riego.

1.- Análisis Multivariado de Varianza (MANOVA)

En primer lugar, se trató de hacer un análisis multivariado de varianza (MANOVA) para determinar si existía un efecto significativo del tipo de riego, los meses del año y de la interacción entre esos dos factores sobre la abundancia promedio de los diferentes géneros de colémbolos encontrados. Desgraciadamente, este análisis no pudo completarse debido a que el determinante de la matriz de datos es muy cercano a cero (matriz mal condicionada).

2.- Análisis Univariado de Varianza (ANOVA)

Alternativamente, se hicieron análisis univariados de varianza (ANOVA) de dos factores para determinar si existía un efecto significativo del tipo de riego, los meses del año y de la interacción entre esos dos factores. Los resultados obtenidos se describen en

la tabla 52 del apéndice I. En las figuras 7, 8 y 9 se observa el logaritmo de la presencia de individuos por género de colémbolos promedio para diferentes combinaciones de tipo de riego y mes, junto con sus correspondientes intervalos de diferencia mínima significativa (al 95% de confianza) de acuerdo a la prueba de comparaciones múltiples de medias de Tukey, aquellos promedios cuyos intervalos no se solapan, son significativamente diferentes (al 95% de confianza), en tanto que, aquellos promedios cuyos intervalos se solapan no difieren significativamente.

Los géneros *Schoettella*, *Xenyllodes*, *Branchystomella*, *Friesea*, *Sinella*, *Isotomella*, *Ceratophysella* y *Pseudachorutes*, no presentaron diferencias en ninguno de los parámetros analizados, por lo que se puede decir que estadísticamente son iguales entre meses de muestreo, tipo de riego e interacción entre los factores (apéndice I).

En la mayoría de los casos, la probabilidad en los diferentes tipos de riego, meses de muestreo y en la interacción entre los factores, fue mayor a 0.05, por lo que a pesar de que el cociente F haya sido mayor a la unidad, se considera que esas diferencias se deben a factores aleatorios considerados en el residuo.

Megalotorax, a pesar de tampoco mostrar diferencias estadísticas por el tipo de riego ni por la época de muestreo, no se comporta como los géneros mencionados en el párrafo anterior. Este género no está presente en el mes de diciembre y se distribuye tanto en agua de manantial como en agua residual de manera aleatoria.

En la figura 7, se presentan los géneros que sólo diferencias estadísticas por el tipo de riego.

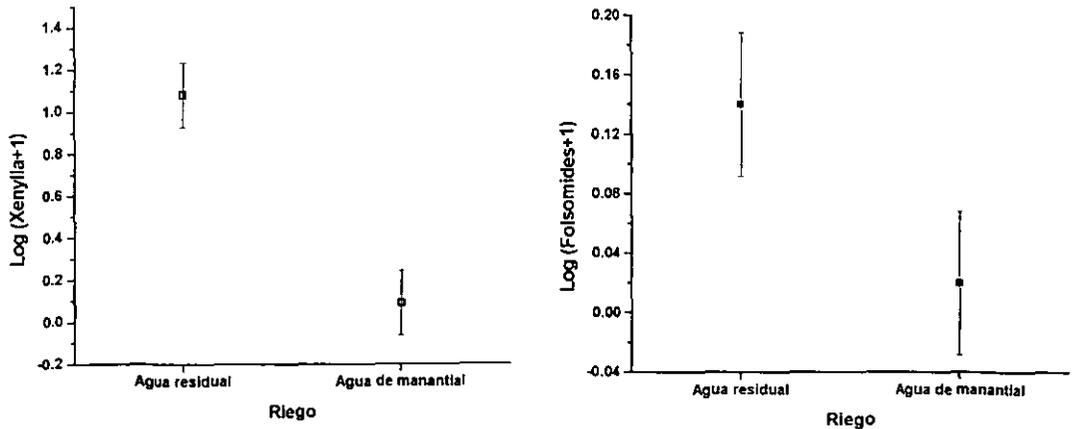


Figura 7: ANOVA de los géneros que mostraron diferencias estadísticas únicamente por tipo de riego

Folsomides al igual que *Xenylla*, sólo muestran diferencias estadísticas por el tipo de riego. *Xenylla* solamente se encuentra en el terreno regado con agua residual, en relaciones hasta de 138 a 0 individuos. En ambos terrenos *Folsomides*, nunca se encontró más de 6 individuos por muestra.

En la figura 8 se presentan los géneros que sólo mostraron diferencias estadísticas estacionales, pero que las diferencias en su distribución en ambos terrenos pueden deberse a situaciones aleatorias.

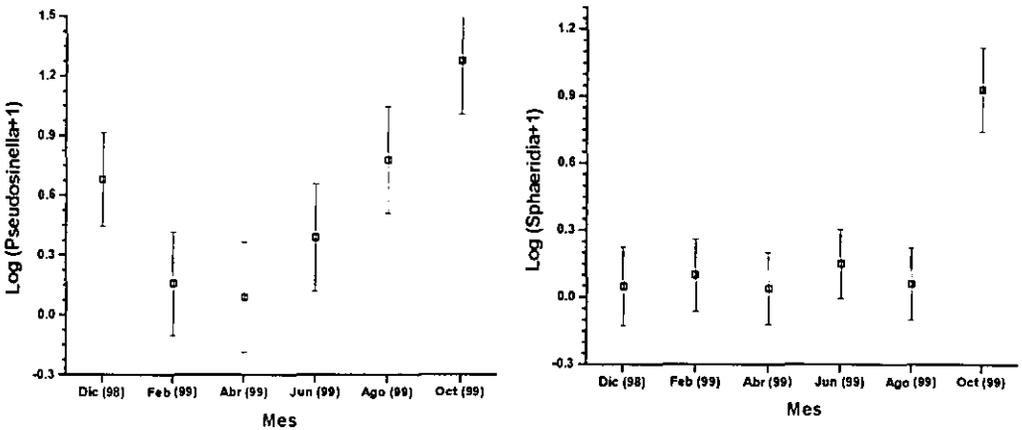


Figura 8: ANOVA de los géneros que únicamente mostraron diferencias estadísticas estacionales

Pseudosinella y *Sphaeridia* son los únicos géneros encontrados que sólo muestran diferencias estadísticas por la época de muestreo y no por el tipo de riego. *Pseudosinella* es mucho más abundante que *Sphaeridia*.

En la figura 9 se muestra el comportamiento de los géneros que mostraron diferencias estadísticas tanto estacionales como por el tipo de riego.

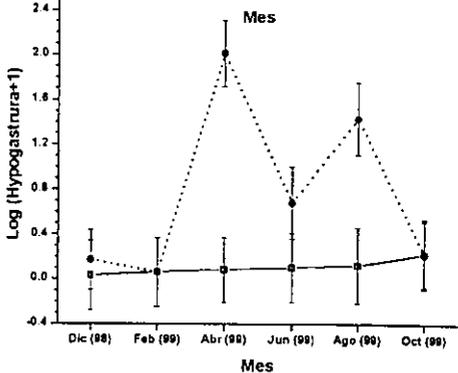
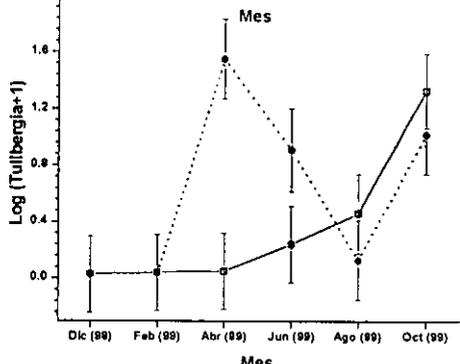
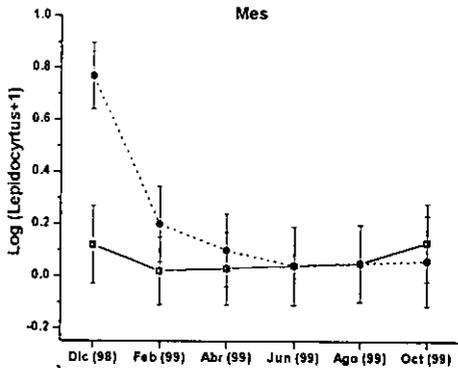
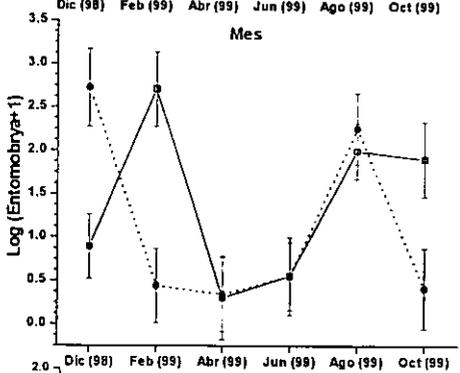
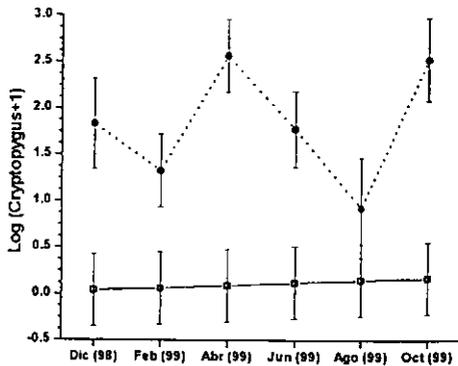
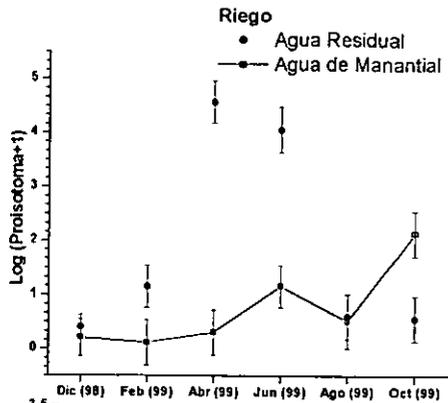
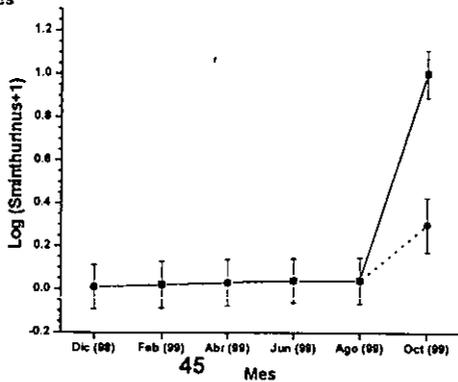


Figura 9: ANOVA de los géneros que mostraron diferencias tanto estacionales como por tipo de riego



Proisotoma es el género con mayor número de individuos (2,290 ejemplares), contando todos los meses de muestreo en ambos terrenos. El ANOVA mostró una diferencia estadística tanto por el tipo de riego como por la época del muestreo; al igual que la mayoría de los géneros se encontraron más organismos en el terreno regado con agua residual en los meses de abril y junio.

El ANOVA realizado con los datos obtenidos de *Cryptopygus*, mostró diferencias estadísticas tanto por el tipo de riego como por la época de muestreo. Se recolectaron gran número de individuos en el terreno regado con agua residual (802 organismos), mientras que en el terreno regado con agua de manantial no se contabilizó ninguno.

El ANOVA realizado con el número de individuos del género *Lepidocyrtus*, muestra una diferencia estacional y entre los terrenos. En el mes de diciembre, se encontró la mayor abundancia de individuos en el terreno regado con agua residual.

Hypogastura, mostró diferencias estadísticas, tanto por el tipo de riego como por el mes de muestreo, todos los individuos colectados, fueron encontrados en el terreno regado con agua residual y las poblaciones más altas se registraron en los meses de abril y agosto.

El género *Entomobrya* mostró diferencias estadísticas, tanto por el tipo de riego, como estacionales, es uno de los pocos géneros que se distribuyen en ambos terrenos; en el mes de diciembre se recolectaron más individuos en el terreno regado con agua residual y en los meses de febrero y octubre se recolectaron más en el terreno regado con agua de manantial, abril, junio y agosto, no mostraron diferencias entre ambos tipos de riego.

Tullbergia, comparte ciertas características con *Entomobrya*, al igual que él, presenta diferencias estadísticas tanto por el tipo de riego, como por el época de muestreo, su disparidad consiste en que no se presentaron organismos en los meses de diciembre y febrero en ninguno de los dos terrenos, la población en el suelo regado con agua residual aumenta notablemente en el mes de abril, junio y octubre, mientras que en el terreno regado con agua de manantial aumenta en agosto y octubre, de tal manera que se contabilizaron más organismos en las muestras con este tipo de riego.

Sminthurinus sólo está presente en el mes de octubre en ambos terrenos aunque fue más abundante en el regado con agua residual.

ETAPA II

Conforme a lo que se explicó en la metodología, en esta etapa se hizo un análisis canónico de correspondencia (CANOCO), que es una técnica de análisis multivariado que permite tratar al mismo tiempo con todos los géneros y los parámetros que se elijan del medio.

Primero se hizo un análisis de distribución de especies considerando todos los factores ambientales analizados (Ver el anexo II). La información que ofrece este análisis tiene el objeto de entender, en general, la distribución de los géneros en los dos terrenos analizados en relación con su medio ambiente, sin exponer todavía a cual de los factores se debe dicha dispersión.

Con el fin de establecer una relación puntual, se dividieron los parámetros ambientales en edafológicos, metales pesados intercambiables y metales totales. En cada división se obtuvieron 6 gráficas de dispersión de géneros, una para cada bimestre; estos gráficos comparan la abundancia de géneros encontrados en el terreno regado con aguas residuales con los encontrados en el terreno regado con aguas blancas. Después se hizo un gráfico de dispersión por género, para diferenciar uno de otro independientemente del terreno en que haya sido recolectado. Finalmente se hizo otro gráfico de distribución de parámetros, lo que permite relacionar la dispersión de ciertos géneros a uno o más parámetros estudiados y establece si la distribución difiere con respecto al tipo de riego.

A) Relación entre la distribución de géneros y análisis edafológicos

En la Fig. 1 del Anexo II, se observan las siguientes relaciones entre las propiedades edafológicas y la dispersión de los géneros.

- La primera relación se da entre el K^+ intercambiable y el género *Hypogastrura*. En la figura 10, se puede observar que todos los individuos encontrados de este género se ubican cercanos al 0, lo que indica que sólo se encuentran distribuido en un rango de valores de K intercambiable entre 1 y 3.5 cmol/kg.

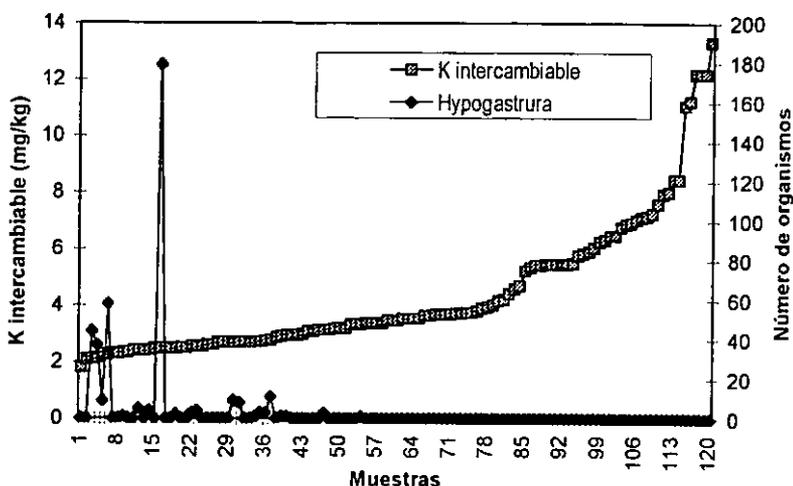


Figura 10: Relación de la concentración de K intercambiable con abundancia de Hypogastrura

- El número de individuos del género *Folsomides* aumenta con valores bajos de pH y conductividad eléctrica (C.E.). En la figura 11 se puede observar que los individuos de este género sólo se encuentran presentes en pH menor a 8; la figura 12 presenta la misma tendencia que la 11 e indica que los individuos de este género sólo se distribuyeron en valores de C.E. menores a 2.5 dS/m. Esto es concordante, ya que los terrenos estudiados deben su pH básico a cationes en solución tales como el Na⁺, Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺, que en forma de sales favorecen valores altos de C.E., de ahí que se observen 2 gráficos casi idénticos.

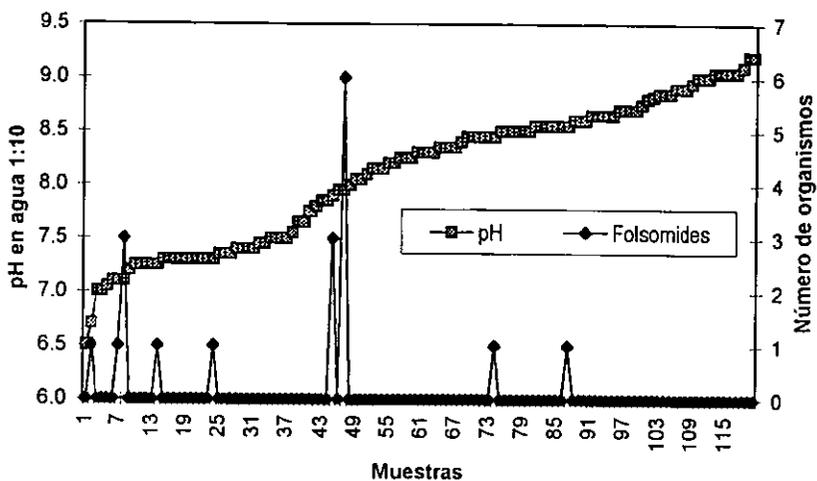


Figura 11: Relación de pH con la abundancia de Folsomides

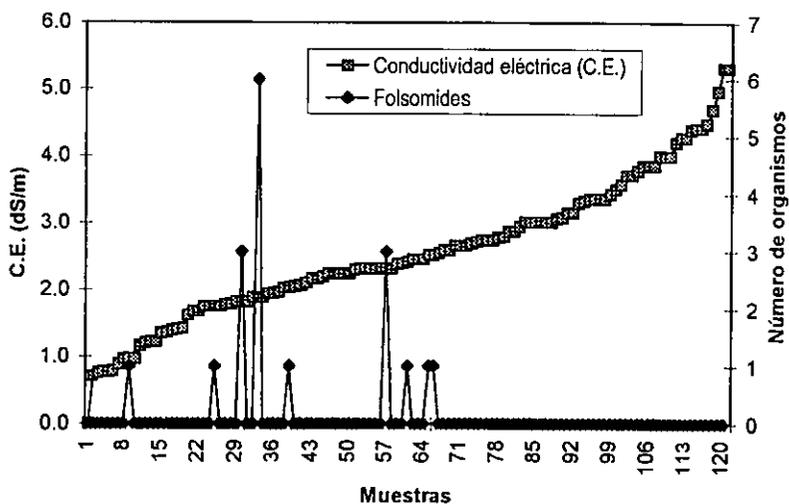


Figura 12: Relación de C.E. con la abundancia de Folsomides

B) Relación entre la distribución de géneros y metales pesados biodisponibles

No se comprueba una correlación entre la concentración de metales pesados biodisponibles con la distribución de los géneros de colémbolos a excepción de *Cryptopygus* que se relaciona con las concentraciones mayores de Ni intercambiable, aunque el número de individuos no aumenta exponencialmente ni linealmente con las concentraciones del metal, según se puede observar en la figura 13 (ver Fig. 2, del anexo II).

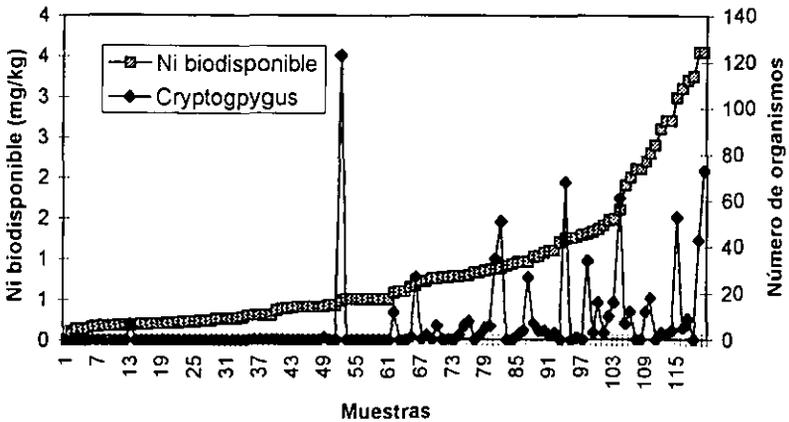


Figura 13: Relación de la concentración de Ni biodisponible con la abundancia de *Cryptopygus*

C) Relación de la distribución de géneros con los elementos totales

Conforme se presenta en la Fig. 3 del anexo II, no se presenta una correlación entre la concentración de elementos totales con la distribución de los géneros de colémbolos a excepción de *Cryptopygus* que se relaciona con las concentraciones mayores de Ni y V total, aunque el número de individuos no aumenta en proporción con mayores concentraciones de los metales, según se puede observar en las figuras 14 y 15.

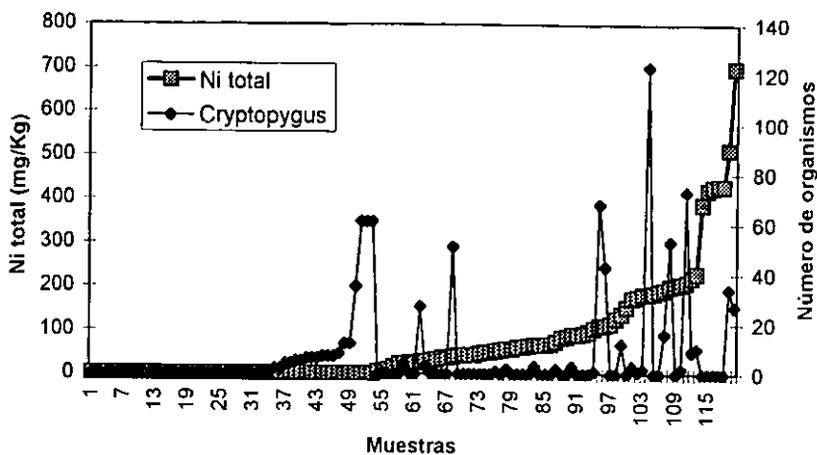


Figura 14: Relación de la concentración de Ni total con la abundancia de *Cryptopygus*

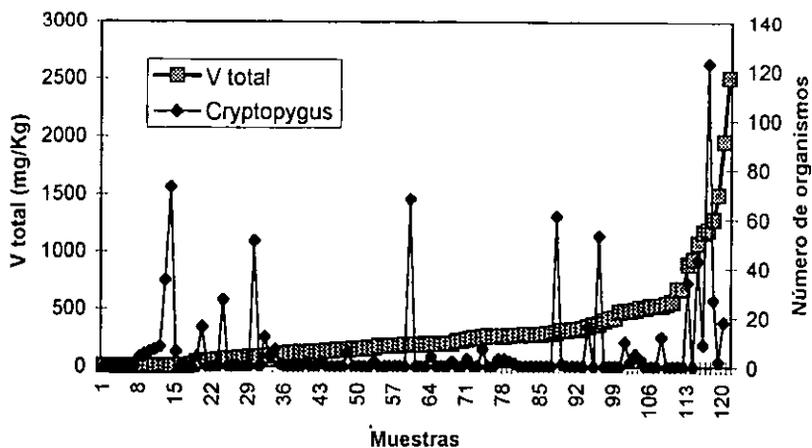


Figura 15: Relación de la concentración de V total con la abundancia de *Cryptopygus*

VII. DISCUSIÓN

Del primero y segundo objetivos particulares de esta investigación, "*Determinar el grado de contaminación por sales, sodio y metales pesados, en dos terrenos; el primero regado con agua residual y el segundo con agua de manantial*" y "*Comparar la variabilidad en la concentración de los contaminantes por época del año*" respectivamente, se contrastaron los parámetros edafológicos, elementos totales y metales intercambiables en ambos terrenos, y se demostró con el análisis MANOVA, que contrario a lo que se esperaba en la hipótesis, ambos terrenos tienen diferencias estadísticas, tanto por su tipo de riego, como por la época en la que se hizo cada muestreo. A continuación se discute cada una de las similitudes y diferencias que se obtuvieron por factor analizado y sus posibles causas y consecuencias:

Comparado con los datos de pH con la C.E., se puede sugerir que en el mes de diciembre y octubre la alcalinidad del suelo se debe a los grupos OH^- , mientras que en los meses de febrero, abril, junio y agosto, se debe a las sales básicas en la solución del suelo [Aguirre, 1993].

El porcentaje mayor de materia orgánica (M.O.) en el suelo regado con agua de manantial en el mes de diciembre, es contrario a lo que se esperaba, debido a que un suelo regado con agua residual tiene valores altos de M.O. por el aporte continuo; el abono periódico con estiércol del terreno regado con agua de manantial, provoca concentraciones similares a las presentadas en el terreno regado con agua residual. Los porcentajes más elevados se presentan en los meses de estiaje (diciembre, febrero, abril y octubre) y los más bajos en la época de lluvias (junio y agosto); lo que es normal, ya que en junio y agosto los cultivos obtienen el agua de la lluvia, y en el caso del terreno regado con agua de manantial, no se abona, ya que es el tiempo de mayor crecimiento de las cosechas.

La concentración de los cationes intercambiables siguen la misma tendencia que el pH y la C.E., lo que sugiere que el pH más básico en el suelo regado con agua de manantial se debe a la acumulación de sales básicas. La relación entre los cationes es $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$, que son las proporciones normales para un suelo con aporte constante de material calcáreo [Bonneau, 1987]. Ninguno de los dos terrenos presentó valores tóxicos de sodio, ya que siempre son menores a $6 \text{ cmol}^{(+)}\text{Kg}^{-1}$ (Ver tablas de la 1 a la 12, apéndice I). El CANOCO relacionó el género *Hypogastrura* con las concentraciones más bajas de K^+ intercambiable (alrededor de $2.5 \text{ cmol}^{(+)}\text{Kg}^{-1}$).

La porosidad fue similar en ambos terrenos y durante todo el año, sus valores se encuentran cercanos al 50%, considerado por Vreeken-Buijs [1998], como óptimo para el desarrollo de los microartrópodos.

Los metales intercambiables analizados fueron: Hierro, Cobre, Zinc, Manganeso, Cromo, Cadmio, Níquel y Plomo. El análisis estadístico MANOVA demostró un efecto significativo de ambos factores (tipo de riego y época de muestreo), así como una interrelación entre los factores, lo que quiere decir que la variación entre los terrenos, dependió del mes en que se tomó cada muestra. En todos los casos se obtuvieron concentraciones mayores de metales pesados intercambiables en el terreno regado con agua residual, lo que indica que están en un proceso de acumulación durante todo el año, de tal manera que la biota edáfica los procesa dejándolos disponibles [Köller *et al.*, 1999].

Dentro de los metales intercambiables el Fe fue el más abundante ya que es un elemento muy copioso en la composición del suelo, que llega a ser el cuarto metal en abundancia con concentraciones alrededor del 6% en la corteza terrestre. El ANOVA mostró una discrepancia entre la época de muestreo y sólo en el mes de diciembre una diferencia estadística entre los dos terrenos, se presentan concentraciones mayores en el terreno regado con agua residual. El Fe es un elemento esencial para la biota en cantidades traza, pero en concentraciones elevadas (que varían dependiendo la especie de la que se trate) llega a ser tóxico debido a que consigue inhibir la actividad de algunas enzimas [Bengtsson y Travik, 1989], sin embargo, en ningún caso rebasó los niveles de toxicidad. En el mes de diciembre, los terrenos llevan 3 meses (octubre, noviembre y diciembre) con riego; el agua residual aporta mayores cantidades, por lo que es de esperarse, que la actividad de la biota edáfica mineralice el material orgánico y deje disponibles concentraciones mayores de Fe. En el resto de los meses su concentración baja y estadísticamente la abundancia en los dos terrenos es similar, aunque cualitativamente se puede observar valores mayores en el terreno regado con agua residual. Los análisis realizados con el método PIXE indican en todos los casos hay concentraciones mayores de Fe total en el suelo regado con agua residual, que si se comparan con la abundancia del Fe intercambiable, se demuestra que la mayor cantidad del Fe disponible lo aporta la desintegración de la roca y sólo una parte de él es tomado del que se aporta en el agua residual. Según Kabata-Pendias y Pendias [1992], el Fe es precipitado en pH básico, en forma de hidróxidos, por lo que en suelos con las características que se presentaron, se esperaría

que el Fe aportado por el riego con agua residual sea rápidamente precipitado, permitiendo una corta interrelación con la biota edáfica para su mineralización.

El cobre, cadmio y níquel intercambiables, no presentaron diferencias estadísticas entre ambos terrenos, sin embargo los muestreos hechos a lo largo del año si difieren, al igual que el resto de los metales, los meses de diciembre y de febrero son los que exponen las concentraciones más altas. A pesar de no presentar diferencias estadísticas entre el tipo de riego, si se observan las tablas de la 13 a la 24 (Apéndice I) se puede señalar que en promedio se presenta una concentración mayor en el suelo regado con negra que en el regado con agua de manantial en una razón 1:5.

El Cu es uno de los elementos esenciales más importantes para la mesobiota en cantidades traza, pero una concentración de hasta de 5 mgkg^{-1} de Cu disponible en el suelo llega a ser mortal para parte de la mesofauna edáfica (ya que las especies presentan diferentes umbrales de tolerancia) [Brookers, 1995], en el suelo regado con agua residual se llegan a tener valores de hasta 10 mgkg^{-1} en el mes de diciembre, concentraciones que son tóxicas para la mayoría de los organismos; en general no se observa una disminución de la abundancia de individuos en el mes de diciembre y febrero, sino por el contrario presenta una de las poblaciones más altas; sólo *Proisotoma*, *Sminthurides* y *Tullbergia* se ven disminuidas en el número de individuos, aunque el CANOCO, no determina ninguna correlación entre la concentración tan alta de cobre y la abundancia de individuos de esos géneros. Bengtsson y Travik, [1989] demostraron que el orden Collembola es muy resistente a valores muy elevados de Cu, ya que soporta concentraciones hasta de 500 mgkg^{-1} (valores de Cu total), Tranvik y Bengtsson [1993] extrajeron algunas especies de colémbolos en suelos hasta con $1,494 \text{ mgkg}^{-1}$ de Cu total, por lo que se puede sugerir que el cobre no determina la distribución de colémbolos, a pesar de alcanzar niveles tóxicos en algunas de las muestras.

El cadmio es un elemento no esencial, sumamente tóxico para la mayoría de la fauna edáfica y letal en concentraciones de 3 mgkg^{-1} , no obstante, en las muestras analizadas, nunca se presentaron valores de Cd intercambiable mayores a 0.15 mgkg^{-1} , aunque en los elementos totales se alcanzan valores hasta de 600 mgkg^{-1} . El Cd es precipitado rápidamente en suelos con pH mayor a 6 [Bergkvist, 1987], entonces, a pesar de ser aportado constantemente al suelo por el riego con agua residual, no queda disponible a los organismos, es por ello que no se encuentra en la fracción intercambiable y los colémbolos no ven disminuida su población a causa de este metal.

El níquel también es un metal esencial para los organismos en cantidades traza, Williams [1988] hace una revisión de los límites máximos permisibles de Ni total en los diferentes países de la Comunidad Europea, los que lo establecen entre 30 y 75 mgkg⁻¹. En el mes de diciembre se llega a concentraciones de hasta 3.2 mgkg⁻¹, en la fracción intercambiable del suelo, Kabata-Pendias y Pendias [1992] sugieren valores normales de Ni en la solución de suelos entre 3 a 25 cmol⁽⁺⁾l⁻¹, por ello se sugiere, que los valores encontrados en este trabajo están dentro de los límites. El CANOCO señala una correlación directa de *Cryptopygus* con las concentraciones más altas de Ni intercambiable, aunque esto se discutirá a detalle más adelante. El ANOVA no muestra diferencias estadísticas entre los dos terrenos, sin embargo si se consultan las tablas de la 13 a la 24 (Apéndice I), se puede constatar una relación promedio 1:5, donde el terreno regado con agua residual, siempre presenta concentraciones mayores. Según Sims [1986] así como Anderson y Christensen [1988], el Ni se retiene más en el suelo entre un pH de 7.0 a 7.5, el suelo regado con agua residual osciló entre esos valores en los meses de diciembre, febrero, abril y junio, muestreos que presentan las concentraciones más altas de Ni intercambiable, mientras que en los meses de agosto y octubre el pH se vuelve más básico (por encima de 7.6) y el Ni intercambiable disminuye, debido a que precipita en esos valores de pH [Bergkvist, 1987]. En el terreno regado con agua de manantial en todos los casos presenta un pH superior a 8.5, alcalinidad a la cual el Ni precipita rápidamente, por ello las concentraciones de Ni intercambiable nunca superan los 0.6 mgkg⁻¹.

Los resultados del ANOVA del Fe y Zn, fueron muy similares, aunque el Zn es ligeramente más abundante que el Fe. Estadísticamente se muestran diferencias tanto por el tipo de riego, como por la época de muestreo, en la concentración del Zn el terreno regado con agua residual presenta contenidos mucho más altos que el regado con agua de manantial, llega incluso a alcanzar relaciones aún mayores que el resto de los metales (1:10). Las concentraciones mayores en ambos terrenos se presentan en los meses de diciembre, febrero y abril. El Zn es un elemento esencial poco tóxico, aunque se han reportado daños a organismos del suelo en concentraciones mayores a 40 mgkg⁻¹ [Tena, 1991], sólo en el mes de diciembre en las muestras tomadas con riego de agua residual, se obtuvieron valores mayores a este límite, sin embargo el CANOCO no determinó ninguna correlación entre la abundancia de los diferentes géneros de colémbolos y este metal. Murray *et al.* [2000], reporta poblaciones de colémbolos sin alterar hasta concentraciones de 243 mgkg⁻¹, Bengtsson y Travik [1989] reportan una disminución importante en las poblaciones de colémbolos en concentraciones de 3,600 mgkg⁻¹ de Zn total, en las

muestras analizadas en este estudio no se rebasaron esas concentraciones, de esta manera se justifica que no se encontró correlación en el CANOCO con los géneros, ya que este metal no está influyendo su hábitat.

El Mn es uno de los oligoelementos más abundante en la corteza terrestre en concentraciones entre 350 y 2,000 mgkg⁻¹ [Kabata-Pendias y Pendias, 1992], por esto podría explicarse sus concentraciones tan altas en las muestras analizadas, sin embargo las diferencias entre los dos terrenos advierte el aporte de este elemento en el agua residual; el pH también es determinante en la disposición del Mn, ya que según Goldberg *et al.* [1983], la disponibilidad del Mn disminuye considerablemente con valores de pH cercanos a 7, en los suelos analizados el pH en el terreno regado con agua de manantial es superior a 8.5 en casi todas las muestras y en el suelo regado con agua residual mayores a 7, de esta manera se puede explicar también su concentración mayor en el terreno con riego de agua residual. El CANOCO no relaciona el Mn con la abundancia de organismos a pesar de ser un elemento esencial en su nutrición y que controla el comportamiento de otros micronutrientes, además que reduce las concentraciones de otros metales tóxicos como el Pb, en suelos alcalinos [Kabata-Pendias y Pendias, 1992]; no obstante, en las tablas 37 a la 48 (Apéndice I) se puede notar que casi todos los géneros se encuentran en mayor abundancia en el terreno regado con agua residual que en el regado con agua de manantial, por lo que se sugiere que las concentraciones de Mn disponible son las adecuadas para el desarrollo de los colémbolos encontrados.

El ANOVA realizado con los datos obtenidos de Cr intercambiable presentó diferencias estadísticas tanto por el tipo de riego como por los meses de muestreo. Los meses de diciembre y febrero se presentan las concentraciones más altas (0.1 mgkg⁻¹). No se tienen datos en bibliografía sobre el límite máximo que soportan los colémbolos de Cr intercambiable, sin embargo se tienen los límites de Cr total en el suelo, reportados por la Comunidad Europea entre 100 y 150 mgkg⁻¹ y por EUA 1,500 mgkg⁻¹ [idem]. En promedio los valores que presentó el Cr intercambiable fueron menores a 0.05 mgkg⁻¹, lo que se corrobora con el CANOCO, que no relacionó ningún género con este metal, ya que en ningún caso existieron variaciones importantes, ni se presentaron valores tóxicos que pudieran afectar las poblaciones.

El Pb intercambiable sólo presentó diferencias estadísticas estacionales; en las tablas 13 a la 24, se puede advertir que en todos los casos se dieron concentraciones mayores de este metal en el suelo con riego con agua residual, en una relación promedio 1:3. El límite máximo permisible de exposición de este metal para la fauna edáfica es de

30 mgkg⁻¹ y las concentraciones normales están entre 5 y 10 mgkg⁻¹ [Muray *et al.*, 2000]. Los valores obtenidos de Pb intercambiable oscilan entre 0.5 y 9 mgkg⁻¹, concentraciones consideradas como dentro del rango normal, por otro lado, el CANOCO no mostró ninguna correlación entre los valores encontrados de plomo y los géneros de colémbolos. Josse y Buker [1979] encontraron que los colémbolos soportaban concentraciones de Pb, que para la mayoría de los organismos son sumamente tóxicas, sin ver disminuidas sus poblaciones; demostraron que almacenan el Pb consumido en el epitelio de su tubo digestivo a manera de glóbulos insolubles, que permanecen suspendidos en el citoplasma, posteriormente el Pb almacenado es desechado al medio a través de las mudas que presentan periódicamente estos organismos. Entonces, tanto por encontrarse dentro de los límites y por ser los colémbolos muy resistentes a concentraciones "tóxicas" de este metal, es que no ven alteradas sus poblaciones al ser expuestos a él.

Los elementos totales analizados por el método PIXE fueron: V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Br, Sr, Y, Zr, Ba, Cd y Pb; el análisis ANOVA indica que existe una concentración mayor de elementos totales en el suelo regado con agua residual, a excepción de algunos meses con ciertos metales.

La mayoría de los elementos totales (Fe, Cu, Zn, Cr, Cd, Ni, Pb, V y Br), presentaron concentraciones muy altas en el mes de diciembre, en algunos casos más altas que en el resto del año, esto pudo deberse a las bajas temperaturas y poca precipitación que se dan en ese mes (Ver diagrama ombrotérmico, pag. 3). La mayoría de las reacciones químicas y de la actividad biológica, se favorecen con temperaturas alrededor de 25°C, por lo que al presentarse temperaturas entre 0 y 10 °C, se espera que los fenómenos de precipitación de elementos y remediación del suelo por parte de los organismos, se haga más lenta y exista, por tanto, acumulación de elementos.

El manganeso, zinc, bromo y cobalto, presentan diferencias estadísticas tanto por el tipo de riego como por los diferentes meses de muestreo, en todos los meses su concentración es mayor en el suelo regado con agua residual, aunque sólo es estadísticamente diferente en los meses de abril y agosto de 1999. Debido a que el mes de abril, para el clima del área, es el mayor tiempo transcurrido desde la última precipitación (Ver diagrama ombrotérmico pag. 3), se espera que se hayan incrementado las sustancias que transporta el agua, incluyendo metales pesados; entonces, se podría considerar en primer lugar, que el agua residual está más concentrada de contaminantes; en segundo lugar que las lluvias diluyen la solución del suelo. El muestreo de agosto se hizo un mes después de una gran inundación que se dio en la zona donde el agua llegó a 1 m de profun-

didad en algunas parcelas, en este mes los canales de agua residual se desbordaron y por consiguiente no hubo riego de ningún tipo. Lo que puede explicar que en ese mes (después de la evaporación y absorción del agua) quedaran los metales pesados en sus concentraciones más altas, para ambos terrenos.

En todos los casos el Mn total presentó concentraciones mayores de las muestras recolectadas en el terreno regado con agua residual. Bowen, [1979], establece concentraciones normales de Mn total entre 20 y 1,500 mgkg⁻¹, en algunos casos menciona síntomas de toxicidad en valores por encima de 1,500 mgkg⁻¹. Varias muestras retiradas del terreno regado con agua residual rebasan esa cantidad, sobre todo en los meses de diciembre, abril y agosto (tablas de la 25 a la 36, apéndice I). El CANOCO no relaciona ningún género con los valores obtenidos de Mn total, el ANOVA de cada género, tampoco reporta ningún comportamiento similar, por lo que se sugiere que los colémbolos analizados soportan concentraciones más altas, inclusive de 2,000 mgkg⁻¹, sin sufrir alteraciones en su distribución.

El Zn mostró diferencias, tanto por el tipo de riego, como por el mes de muestreo. En todos los meses, a excepción de agosto, se presentaron concentraciones mayores en el suelo regado con agua residual, dicha excepción se debió a que en el mes de Julio de 1999 hubo una gran inundación que provocó que se desbordaran los canales de agua residual, por eso muchos de los valores obtenidos en las muestras de suelo con riego de agua de manantial se vieron alterados. Bengesson y Travink [1989], marcan el límite de Zn antes de causar la disminución de las poblaciones de colémbolos en 25,750 mgkg⁻¹, Alloway [1996], menciona que el Zn total en concentraciones entre 70 y 400 mgkg⁻¹, es tóxico para la mayoría de los organismos edáficos. Las muestras analizadas exhiben concentraciones entre 136 y 841 mgkg⁻¹, que están por debajo de los límites que soportan las poblaciones de colémbolos y por encima en muchos casos de lo que soporta la mayoría de la mesofauna edáfica. El CANOCO, tampoco relacionó ningún género del orden Collembola con los datos de Zn total, por lo que se puede confirmar que los organismos identificados en este trabajo, soportan concentraciones de Zn total hasta de 1,350 mgkg⁻¹ sin observar cambios en sus poblaciones (muestra 7, tabla 25, apéndice I).

En todos los casos el Br total presentó concentraciones mayores en el suelo regado con aguas residuales, aunque estadísticamente sólo es mayor en el mes de diciembre. La abundancia del Br total en la corteza terrestre está en el rango de 0.2 a 10 mgkg⁻¹ aunque los valores estándar en los suelos están entre 5 y 40 mgkg⁻¹ [Kabata-Pendias y Pendias, 1992]. De las muestras analizadas se obtuvieron datos entre 36 y 500 mgkg⁻¹, casi

todos por encima de los valores estándar, lo que indica una fuente de contaminación externa. Según Lag y Steinnes [1971], el Br se tiende a acumularse en la parte superior del suelo y se hace más abundante en época de lluvias, de esa manera se justifica que rebasa los valores estándar y además su fuerte acumulación en el mes de agosto (después de una gran inundación). El CANOCO no relaciona directamente ningún género con los valores obtenidos con el Br, tampoco existe una correlación con los datos ANOVA obtenidos de cada género, por lo que se puede afirmar que los colémbolos encontrados en este trabajo soportan concentraciones totales de Br hasta de $1,938 \text{ mgkg}^{-1}$, sin ser modificadas sus comunidades (muestra 7, tabla 25, apéndice 1).

El ANOVA practicado a los datos obtenidos de Co total, muestra diferencias tanto por el tipo de riego, como por el mes de muestreo, según se menciona y discute anteriormente, los meses con mayor concentración de Co son abril y agosto. Se reportan concentraciones medias de Co entre 7.9 y 8.2 mgkg^{-1} para suelos de EUA y Europa [Kubota, 1968; Shacklette y Boerngn, 1984]. Los valores en las muestras están entre 70 y 900 mgkg^{-1} , valores muy por encima de los reportados en bibliografía, a pesar de eso, el CANOCO no mostró que las población de colémbolos variara a esas concentraciones de Co, inclusive se encontraron en muestras con 900 mgkg^{-1} , sin sufrir alteración en sus poblaciones.

A pesar de que el ANOVA realizado a partir de los datos de Cr total, muestra sólo diferencias estadísticas en el tipo de riego, se puede observar que al igual que los otros metales, las concentraciones más altas se presentaron en el mes de abril y diciembre en una relación hasta de 1:5 (Tablas 25 a la 37, Apéndice I). Los límites máximos permitidos de Cr total reportados por Williams [1988], varían de 80 para Italia hasta 600 en Inglaterra. En las muestras analizadas se presentan concentraciones en el orden de 100 a 600 mgkg^{-1} , por lo que se rebasa la norma para la mayoría de los países europeos. El CANOCO no lo relacionó con ningún género de colémbolos, tampoco el ANOVA realizado para cada uno de ellos. Alloway [1996], menciona que el Cr se hace más tóxico en concentraciones elevadas de Ni y es justamente en diciembre y abril cuando el Ni se torna también más abundante, sin embargo la mayor abundancia de individuos en el terreno regado con agua residual se presenta en el mes de diciembre, cuando se encuentran géneros que no se les vuelve a observar en el resto del año, se puede decir que esos géneros son resistentes a esas concentraciones tan altas de Cr total, que incluso se encuentra formando complejos tóxicos.

El ANOVA, realizado con los datos obtenidos del Cu total, demuestra sólo diferencias estacionales, situación que se presentó también en el Cu intercambiable, la diferencia con aquel, consiste en que las concentraciones más altas se tienen en los meses de abril y de agosto. El Cobre, como ya se había mencionado, es un elemento esencial muy abundante en la corteza terrestre; Alloway [1996], reporta una concentración del Cu entre 20 y 30 mgkg⁻¹ en los suelos, aunque Bowen [1979] establece concentraciones hasta de 50 mgkg⁻¹ como rangos normales. En las muestras analizadas se tienen concentraciones totales alrededor de 100 mgkg⁻¹ en los meses de diciembre, febrero, junio y octubre, y alrededor de 200 mgkg⁻¹ en los meses de abril y agosto; aunque existen muestras en abril que rebasan los 400 mgkg⁻¹. Para justificar esas concentraciones se tiene que tomar en cuenta que el Cu se acumula en la parte superior del suelo (las muestras fueron tomadas de los primeros 10 cm) y que los factores antropogénicos están afectando su acumulación. Si se observan las tablas 25 a la 36 se puede constatar que la concentración de Cu en ambos terrenos se encuentra en una relación 1:1.5, generalmente es más abundante en el terreno regado con agua residual (a excepción de junio); en agua de manantial en algunos casos rebasa concentraciones de 80 mgkg⁻¹, valor reportado por Davies, [1980] como la máxima concentración que presenta un suelo de manera natural, por lo que se propone que no únicamente el riego con agua residual está aportando este elemento, sino que fertilizantes y pesticidas que son ricos en ese material podrían estar elevando las concentraciones en ambos terrenos [Tiller y Merry, 1981]. El CANOCO no mostró ninguna correlación directa entre la abundancia de algún género de Collembola y la concentración de Cu total o intercambiable. Autores como Bengtsson y Travik [1989], así como Fisher y Verlag [1997], relacionan un crecimiento de las poblaciones de colémbolos con concentraciones altas de Cu, el primer autor establece concentraciones mayores de 500 mgkg⁻¹, como las óptimas para el desarrollo de los colémbolos, aunque a 2,500 mgkg⁻¹ puede ser tóxico. El ANOVA practicado a los conteos de *Proisotoma* y *Cryptopygus*, muestra que justo en el mes de abril en el suelo regado con agua residual aumenta considerablemente el número de organismos encontrados, única fecha en la que se alcanzaron concentraciones mayores a 500 mgkg⁻¹, sin embargo no se puede afirmar que el aumento de esas especies se deba al Cu, ya que no se observa una correlación puntual, lo que sí se puede advertir es que son resistentes a concentraciones que para otros organismos son tóxicas, además de que *Proisotoma* muestra poblaciones disminuidas con valores de Cu intercambiable altos.

El As es notorio por formar compuestos altamente tóxicos, afortunadamente los compuestos encontrados en los suelos no se cuentan entre los peores (los enlaces con compuestos orgánicos son más tóxicos que los que se forman con los inorgánicos). Las concentraciones normales de As total para los suelos oscilan entre 1 y 40 mgkg⁻¹ [Alloway, 1996]. En muchas de las muestras analizadas no se registró As total y en las que se reportó este metal, tuvieron concentraciones entre 14 y 200 mgkg⁻¹. El ANOVA no presentó diferencias estadísticas por tipo de riego ni por época de muestreo, lo que indica que el As encontrado tiene una fuente de abasto diferente al riego; Tena, [1991] señala que es ampliamente utilizado combinado con otros compuestos como pesticida, así que una fuente probable podría ser las fumigaciones que se hacen periódicamente. El CANOCO no relacionó ningún género con las variaciones de colémbolos y se observa que cuando el As está presente, no afecta el comportamiento que cada uno de los géneros estaba mostrando. El mes de octubre fue el único en que el As estuvo ausente en todas las muestras analizadas a excepción de la 110 (cuadro 35, apéndice I), también fue el único mes en que los géneros *Sminthurinus* e *Isotomurus* estuvieron presentes y además con mayor abundancia en el suelo regado con agua de manantial, no se puede afirmar con certeza que la mayor distribución de esos géneros se debió a ausencia del As, sin embargo es el único elemento que se comportó de esa manera.

El ANOVA practicado con los datos obtenidos del Sr sólo muestra diferencias por el tipo de riego, las concentraciones encontradas no se le atribuye al aporte por parte del agua residual, ya que estudios hechos por la CNA [1995], no lo reportan en su composición. La bibliografía no muestra límites de toxicidad del Sr en el suelo y no se le incluye en las normas, sin embargo varios estudios consultados por Kabata-Pendias y Pendias, [1992] muestran valores de Sr en diferentes suelos del mundo entre 7 y 1,000 mgkg⁻¹ y se reporta un valor de 0.04% en la corteza terrestre [www.britanica.com, 2001]. En las muestras analizadas en este estudio, se obtuvieron concentraciones entre 30 y 350 mgkg⁻¹ valores que están entre el rango mencionado. La mayor cantidad de Sr en el terreno regado con agua residual pudo deberse a su pH, ya que el pH básico precipita rápidamente, al tener el terreno regado con agua residual un pH alrededor de 7.5 y el regado con agua de manantial, alrededor de 8.5, se presupone una precipitación mayor del Sr en el segundo terreno. El CANOCO, no relacionó este parámetro con la abundancia de colémbolos y no se tienen reportes de toxicidad de este metal sobre los organismos.

El Itrio muestra diferencias estadísticas tanto por el tipo de riego como por la época de muestreo, no se nota, sin embargo algún patrón en su distribución. a veces es más

abundante en el terreno regado con agua residual y a veces en el otro terreno, sus concentraciones aparecen más o menos constantes en todo el año con excepción de febrero que aumenta drásticamente en el terreno regado con agua de manantial. El contenido de Y ha sido poco estudiado en el suelo, sin embargo reportes de Erdman *et al.*, [1976] lo sitúa con valores entre 10 y 150 mgkg⁻¹, con una media de 25 mgkg⁻¹. Los valores de Y total encontrados en las muestras analizadas, están entre 34 y 1,300 mgkg⁻¹, la mayoría de ellos fuera del rango mencionado. El CANOCO no relacionó al Y con ningún género, tampoco se puede relacionar con el ANOVA de cada género por su comportamiento poco predecible.

El Zr sólo mostró diferencias estadísticas por el tipo de riego, sus valores oscilan entre 62 y 1,400 mgkg⁻¹, al igual que el Itrio, el Zr ha sido poco estudiado en los suelos, pero varios estudios reportados por Kabata-Pendias [1992] lo ubican en un rango entre 70 y 850 mgkg⁻¹, en algunos casos las muestras analizadas, se salen de ese rango, sin embargo la mayoría está dentro de él. Al igual que en el caso del Sr, la diferencia estadística del Zr no se debe al tipo de riego sino a la intemperización de la roca (a pesar de los datos obtenidos del ANOVA), ya que la CNA [1995] no reporta este elemento en la composición del agua de riego y los autores mencionados relacionan las concentraciones de Zr a la roca que le dio origen.

El CANOCO relacionó directamente las variaciones de la concentración de V con la de Ni (Ver Fig. 2, apéndice II), de tal manera que ambos comportamientos se superponen en el gráfico. En ambos elementos el ANOVA mostró diferencias tanto por el tipo de riego como por la época del muestreo. En general, se observan concentraciones mayores de los dos metales en el terreno regado con agua residual, aunque en algunas muestras de junio, agosto y octubre, se invierte la proporción. Clarke [1968] encontró que el V se asociaba con los sulfuros de Ni, de forma que se fija en el suelo más fácil ante su presencia, por lo que se puede relacionar las variaciones en la concentración del V, con las del Ni. Alloway [1996], hace una revisión de artículos y establece una variación de la concentración de V entre 20 y 250 mgkg⁻¹ y concentraciones tóxicas mayores a 100 mgkg⁻¹, para alguna de la micro y mesofauna edáfica. En las muestras analizadas, la concentración de V oscila entre 33 y 700 mgkg⁻¹, por lo que en la mayoría de los casos se encuentra rebasando en límite propuesto, sin embargo, no se observa disminución de las poblaciones de colémbolos ante las altas concentraciones de V, sino por el contrario, el CANOCO dio una correlación puntual entre las mayores concentraciones de V y Ni, con el aumento en el número de individuos del género *Cryptopygus*.

La forma de asociación más común del Ni en el suelo es a manera de sulfuros, y menos común con carbonatos, fosfatos y silicatos [Kabata-Pendias y Pendias, 1996], esto refuerza más la teoría planteada en el párrafo anterior, que la concentración del V depende de la del Ni. Alloway [1996], establece un rango de concentración de Ni total entre 2 y 750 mgkg⁻¹ y un límite de toxicidad de 100 mgkg⁻¹; en las muestras analizadas en este estudio su concentración se encontró en el rango de 37 y 150 mgkg⁻¹, en pocas muestras rebasa los límites de toxicidad. El CANOCO relacionó directamente el Ni con el género *Cryptopygus*, el resto de los géneros no muestran modificación en sus poblaciones con las variaciones en la concentración del Ni, lo que sugiere que de alguna manera el medio se hace más favorable para *Cryptopygus* en concentraciones más altas de Ni total.

El Pb total no manifestó diferencias estadísticas entre los tipos de riego o meses de muestreo. El Pb se encuentra en el suelo en rangos normales entre 2 y 300 mgkg⁻¹, Bengtsson y Tranvik [1989], mencionan que concentraciones de Pb de 2,333 mgkg⁻¹, disminuyen las poblaciones de colémbolos, dentro de la mesofauna edáfica, los colémbolos, son de los organismos más resistentes a este metal. En las muestras analizadas se encontraron concentraciones desde 85 hasta 700 mgkg⁻¹, lo que indica que efectivamente se están contaminando los suelos con este metal, pero que aún no llegan a niveles tóxicos para los colémbolos, lo cual se corrobora con los datos del CANOCO, que no relaciona a ningún género con las diferentes concentraciones de Pb, tampoco el ANOVA aplicado a cada género mostró cambios en sus poblaciones ante la presencia "tóxica" de este metal.

El Cd no se incluyó en la lista, porque a pesar de estar presente en el suelo, existieron errores en la técnica de lectura por medio del método PIXE, por lo que los valores obtenidos no son confiables, por eso no se trabajó con él en el ANOVA, ni en el CANOCO. No obstante en las tablas 25 a la 36, se pudo observar que era más abundante en el terreno regado con agua residual y mostró los mismos cambios por época de muestreo que los manifestados por el manganeso, zinc, bromo y cobalto.

Con respecto al tercer objetivo "*Detectar el efecto de la variabilidad en la concentración de los contaminantes sobre los géneros identificados del orden Collembola*", se obtuvo que la densidad de población de colémbolos en todos los casos fue mayor en el terreno regado con agua residual que en el regado con agua de manantial, lo que resultó contrario a lo que se esperaba, ya que según Walker *et al.* [1996] y Yim y Tam [1997] el número de organismos que habitan el suelo disminuye si se les expone a una fuente constante de contaminación por metales pesados; contrario a eso, estudios realizados por

Fisher y Verlag [1997]; Bengtsson y Travik [1989], así como, Joosse y Buker [1979], demuestran que en algunos casos se pueden contabilizar un número mayor de colémbolos en suelos fuertemente contaminados con metales pesados que en otros sin contaminar. Sin embargo cada uno de los géneros se comportó de manera diferente, por lo que la discusión se va a realizar por grupos, dependiendo los resultados obtenidos.

Según la etapa I del análisis de resultados los géneros *Schoettella*, *Xenyllodes*, *Branchyotomella*, *Friesea*, *Sinella*, *Isotomiella*, *Ceratophysella* y *Pseudachorutes*, no mostraron diferencias estadísticas en su distribución, por el tipo de riego ni por los meses en los que se hizo cada muestreo, según el CANOCO tampoco se encontró ninguna correlación con ninguno de los parámetros analizados. En las tablas 37 a la 48, se puede notar que estos géneros sólo se encuentran en el terreno regado con agua residual y que todos estuvieron presentes en el mes de diciembre, época con la mayor concentración de metales pesados tanto intercambiables como totales; de estos géneros *Ceratophysella* fue el único que también se le observó en otro mes (febrero). Los metales que presentaron concentraciones mucho mayores en el mes de diciembre en el terreno regado con agua residual fueron: Fe, Cu, Zn, Cr, Cd, Ni, Pb, V y Br, algunos autores relacionan la abundancia de ciertas especies de colémbolos con concentraciones altas de Cu, Zn, Cd, Ni y Pb [Joosse y Buker, 1979; Bengtsson y Travik, 1989 Fisher y Verlag 1997], también en el ANOVA realizado para *Proisotoma*, *Tullbergia* e *Hypogastrura*, muestra una disminución importante en sus poblaciones en el mes de diciembre, por lo que se podría sugerir que estos géneros compiten con los primeros por los recursos de su hábitat, al no tener competencia se multiplican, sin ser afectados por las concentraciones tan altas de los metales mencionados.

Megalotorax, a pesar de tampoco mostrar diferencias estadísticas por el tipo de riego ni por la época de muestreo, no se comporta como los géneros mencionados en el párrafo anterior. Este género no está presente en el mes de diciembre y se distribuye tanto en agua de manantial como en agua residual de manera aleatoria, el CANOCO no lo relacionó con ninguno de los factores analizados y no se tiene ningún grupo de elementos o condiciones que se comporten así, por lo que se sugiere que su comportamiento se debe a cuestiones aleatorias o a un factor o grupo de factores no analizados.

Xenylla mostró diferencias estadísticas únicamente por el tipo de riego, se encontró solamente en el terreno regado con agua residual, en relaciones hasta de 138 a 0 individuos. El CANOCO no relaciona directamente su distribución a ninguno de los parámetros analizados. Se puede inducir sin embargo con el ANOVA practicado a cada uno de

los factores, que este género no se ve afectado por las variaciones en la concentración de los metales pesados, inclusive en los casos en que la bibliografía los reporta como tóxicos. Lo único a lo que se le puede atribuir que no se encuentre ninguno de estos organismos en el terreno regado con agua de manantial, es al pH (mayor a 8.5). Según Hopkin [1997] y Crommentuijn *et al.*, [1997], existen especies que tienen rangos restringidos de hábitat debido al pH, esto quiere decir que es probable que los organismos del género *Xenylla* estén habituados a vivir en rangos de pH menores a 7.5 y si se cambian las condiciones migran a otro parche que tenga los rangos óptimos para ellos.

Folsomides al igual que *Xenylla*, sólo muestran diferencias estadísticas por el tipo de riego, pero a diferencia del segundo, el CANOCO lo relaciona directamente con las concentraciones más bajas de pH y C.E. El rango de pH en que los individuos del género *Folsomides* se encontraron fue de 7.1 a 8.0 y de C.E. entre 1.8 y 2.5 dSm⁻¹. En ambos terrenos, nunca se encontró más de 6 individuos por muestra, lo que se puede justificar especulando que este género tiene mayor afinidad por suelos de neutros a ácidos con pocas sales disponibles. En el muestreo realizado en el mes de diciembre de 1998, la C.E. no mostró diferencias estadísticas entre los dos terrenos y presentó los valores más bajos de todas las épocas de muestreo, este es el único mes en que el género se observa en los dos terrenos.

Proisotoma es el género con mayor número de individuos (2,290 ejemplares), contando todos los meses de muestreo en ambos terrenos. El ANOVA mostró una diferencia estadística tanto por el tipo de riego como por la época del muestreo; al igual que la mayoría de los géneros se encontraron más organismos en el terreno regado con agua residual en los meses de abril y junio. El CANOCO no lo correlaciona con ningún parámetro analizado. Podría pensarse que su distribución se debe al pH y/o C.E., cuestión que se cumple en todos los meses de muestreo, menos en octubre en que se contabilizan más individuos en el terreno regado con agua de manantial (con valores de pH mayores a 8.5 y C.E. a 4 dSm⁻¹); también se podría pensar que se debe a las concentraciones tóxicas de metales pesados (el número de individuos se ve reducido en diciembre mes en que se dieron las concentraciones más altas), sin embargo esto se desecha, porque de ser así se debería tener mayor cantidad de individuos en el terreno regado con agua de manantial, situación que no se da. Es por eso que se concluye que su distribución se debe a una cuestión aleatoria o a un factor no analizado.

El ANOVA realizado con los datos obtenidos de *Cryptopygus*, mostró diferencias estadísticas tanto por el tipo de riego como por la época de muestreo. Se recolectaron

gran número de individuos en el terreno regado con agua residual (802 organismos), mientras que en el terreno regado con agua de manantial no se contabilizó ninguno. El CANOCO relacionó directamente al Ni intercambiable así como al V y Ni totales con la abundancia de organismos de este género, a mayor V y Ni tanto total como intercambiable aumenta la población de *Cryptopygus* y a menores concentraciones disminuye. Las especies edáficas del género *Cryptopygus* son panfitófagos [Vreeken-Buijs, *et-al.* 1998 y Hopkin, 1997], esto es que consumen materia orgánica en descomposición como desechos de hojas, hongos, bacterias, etc., Klaus y Filser [1998] demuestran el papel activo de los colémbolos en la mineralización de la materia orgánica. El V se relaciona con la abundancia de Ni [observaciones Personales] y el Ni se une a ácidos húmicos y fúlvicos. Por lo que se sugiere una relación que cumple los puntos siguiente:

- El Ni no está afectando al resto de los géneros de colémbolos ya que no existe ninguna correlación por el ANOVA ni por el CANOCO.
- Al no disminuir la población de colémbolos, se sugiere que el aumento de *Cryptopygus* relacionado con el Ni, no se debe a una cuestión de competencia de hábitat.
- La relación que marca el CANOCO entre *Cryptopygus* y el V total, puede deberse más bien a un aumento en la concentración de Ni total a manera de sulfuros que favorecen la fijación del V en el suelo, y no a una interrelación con el género mencionado [Alloway, 1996].
- Parámetros de Ni total entre 150 y 700 mgkg⁻¹, están favoreciendo el desarrollo de este género, aunque no se puede establecer con certeza, que parte del hábitat o fisiología de los organismos está beneficiando.
- *Cryptopygus* está presente en las concentraciones más altas presentadas de Ni disponible, de lo cual pueden derivarse dos hipótesis, la primera es que este género es un activo desintegrador de materia orgánica, lo que ayuda a su mineralización, por tanto, al haber mayor cantidad de ácidos húmicos y fúlvicos, aumenta el Ni intercambiable (porque hay mayor cantidad de coloides con los que puede interactuar el Ni); la segunda es que *Cryptopygus* necesite fisiológicamente al Ni y que se vea favorecido ante una fuente constante de este metal.

El ANOVA realizado con el número de individuos del género *Lepidocyrtus*, muestra una diferencia entre la época de muestreo, con una mayor abundancia de individuos en el mes de diciembre en el terreno regado con agua residual. El mes de diciembre, es cuando se presentan las concentraciones más altas de metales pesados tanto intercambiables

como totales y disminuyen las poblaciones de *Proisotoma*, *Tullbergia* e *Hypogastrura*, por lo que podría inferirse que las concentraciones altas de varios microelementos pueden afectar el hábitat de esas tres especies y al disminuir su número, se desarrollan otros géneros por la falta de competencia por hábitat. No se encontró otra correlación posible al comportamiento de este género, ya que el CANOCO no lo relaciona directamente con ningún factor.

Hypogastrura, mostró diferencias estadísticas, tanto por el tipo de riego como por el mes de muestreo, todos los individuos colectados, fueron encontrados en el terreno regado con agua residual y las poblaciones más altas se registraron en los meses de abril y agosto. El ANOVA de Co y Mn total, registra un comportamiento muy similar al de este género, de tal manera que al aumentar las concentraciones de Co y Mn aumenta el número de individuos y viceversa, sin embargo el CANOCO no relacionó directamente al género con estos metales, por lo que las variaciones podrían deberse a una cuestión aleatoria, pero si lo relacionó con concentraciones bajas de potasio intercambiable ($2.5 \text{ cmol}^{(+)}\text{l}^{-1}$), consideradas por Bonneau [1987], como en los rangos normales, el K no es tóxico, sino por el contrario, es un nutriente esencial para la vida de los organismos.

El género *Entomobrya* mostró diferencias estadísticas, tanto por el tipo de riego, como por la época del muestreo, es uno de los pocos géneros que se distribuyen en ambos terrenos; en el mes de diciembre se recolectaron más individuos en el terreno regado con agua residual y en los meses de febrero y octubre se recolectaron más en el terreno regado con agua de manantial, abril, junio y agosto, no mostraron diferencias entre ambos tipos de riego. Los meses con más organismos fueron diciembre y agosto. El CANOCO no relacionó puntualmente ningún factor analizado con esta distribución, sin embargo, si se observan los resultados de metales totales, existe una correlación de mayor cantidad de organismos con la suma de V, Zn y Br totales; algunos autores [Bengtsson y Travik, 1989; Fisher y Verlag, 1997] han conectado la abundancia de Zn con aumento en las poblaciones de colémbolos, pero ninguno habla del V y Br.

Pseudosinella y *Sphaeridia* son los únicos géneros encontrados que sólo muestran diferencias estadísticas por la época de muestreo y no por el tipo de riego. El comportamiento de *Pseudosinella* sugiere que los valores altos de pH y C.E, en el terreno regado con agua de manantial y que las altas concentraciones de metales pesados en el terreno regado con agua residual, no está afectando su distribución; *Pseudosinella* es mucho más abundante que *Sphaeridia*. Ninguno de ellos mostró una correlación directa con los parámetros analizados y no se puede decir que *Pseudosinella* aumenta su población cuando

disminuyen los metales pesados en octubre, ya que en el mes de diciembre (mes con las concentraciones mayores de metales pesados) el género también presenta una población numerosa. En el CANOCO que relaciona la distribución de los géneros con la concentración de los elementos totales, se muestran agrupados los géneros en 3 grandes bloques de comportamiento con respecto a los metales, el único género que es antagónico a los tres tipos de comportamiento es *Pseudosinella* y su comportamiento no se atañe a ninguno de los parámetros analizados.

Sphaeridia, *Isotomurus* y *Sminthurinus* aumentan sustancialmente sus poblaciones en el mes de octubre, *Isotomurus* y *Sminthurinus* sólo están presentes en ese mes, cuando todos los metales pesados bajan su concentración y cuando el As presenta valores de 0 en el suelo regado con agua de manantial y a 10.24 mgkg⁻¹ en el terreno regado con agua residual. El CANOCO no muestra correlación directa con ninguno de estos géneros, ya que sólo son abundantes en el mes de octubre, sin embargo en las tablas del apéndice II se puede observar que *Isotomurus* y *Sminthurinus* sólo estuvieron presentes cuando no se detectó As total y *Sphaeridia* sólo se encuentra en muestras donde la cantidad de As total es menor a 50 mgkg⁻¹, Alloway [1996], hace una revisión de impresos que establecen los límites de toxicidad del As entre 20 (para los organismos más susceptibles) hasta 50 mgkg⁻¹ (para los más resistentes), no obstante, en este trabajo, se nota que sólo 3 de los 19 géneros detectados, muestran sensibilidad a este elemento.

Tullbergia, comparte ciertas características con *Entomobrya*, al igual que él, presenta diferencias estadísticas tanto por el tipo de riego, como por el época de muestreo, su disparidad consiste en que no se presentaron organismos en los meses de diciembre y febrero en ninguno de los dos terrenos, la población en el suelo regado con agua residual aumenta notablemente en el mes de abril, junio y octubre, mientras que en el terreno regado con agua de manantial aumenta en agosto y octubre, de tal manera que se contabilizan más organismos en las muestras con este tipo de riego. El CANOCO no relaciona este comportamiento con ninguno de los factores analizados por lo que se sugiere que su comportamiento se debe a una cuestión aleatoria o a un factor no analizado.

VIII. CONCLUSIONES

1. Contrario a lo que se expresó en la hipótesis, los análisis edafológicos no resultaron iguales en los dos terrenos y sus diferencias consistieron en que el terreno regado con agua de manantial, presentó valores de pH, C.E. y cationes intercambiables, mayores que los encontrados en el terreno regado con agua residual. El terreno regado con agua de manantial, empieza a tener problemas de salinidad y en un futuro, podría agravarse, de seguir recibiendo los escurrimientos de los terrenos vecinos.
2. Conforme se expresa en la hipótesis, el terreno regado con agua residual está en un proceso de contaminación por Fe, Cu, Cd, Ni, Zn, Mn, Br, Co y Cr, el resto de los elementos analizados no se están acumulando.
3. La distribución de los colémbolos se vio más afectada por el pH alcalino del terreno regado con agua de manantial (en general prefieren valores de pH menores a 8) que por la variación en la concentración de metales pesados.
4. En las concentraciones mayores de Cu total se encontró la mayor abundancia y biodiversidad de la población de colémbolos.
5. La respuesta de los géneros analizados es diferente para los factores determinados y el comportamiento se puede englobar de la siguiente manera:
 - *Schoettella*, *Xenyllodes*, *Branchystomella*, *Friesea*, *Sinella*, *Isotomiella*, *Ceratophysella*, *Lepidocyrtus* y *Pseudachorutes*, sólo están presentes en el mes de diciembre (mes en que la mayoría de los elementos presentaron las concentraciones más altas) en ausencia de los géneros *Proisotoma*, *Tullbergia* e *Hypogastrura*.
 - Los géneros *Megalotora*, *Proisotoma*, *Pseudosinella* y *Tullbergia*, no presentaron alteración de sus poblaciones por ninguno de los parámetros analizados.
 - *Xenylla* y *Folsomides*, prefieren habitar suelos con pH menor a 7.5 y C.E. menor a 2.5 dSm⁻¹.
 - *Cryptopygus* aumenta su población ante valores de Ni total en el orden de 150 y 700 mgKg⁻¹.
 - *Hypogastrura* aumenta su población ante valores de K intercambiable de 2.5 cmol⁽⁺⁾l⁻¹.
 - *Entomobrya* se encontró en mayor abundancia en las muestras en que la suma V + Br + Zn totales, presentó las concentraciones más altas.

- *Sphaeridia*, *Isotomurus* y *Sminthurinus*, no se distribuyen en las muestras contaminadas con As.
6. Las concentraciones de elementos totales en que los diferentes géneros no alteraron su distribución fueron los siguientes:
- Concentraciones totales de Cr de 669 mgKg^{-1} , Cu, 194 mgKg^{-1} y Zn 841 mgKg^{-1} son tolerados por los géneros *Schoettella*, *Xenyllodes*, *Branchyostomella*, *Friesea*, *Sinella*, *Isotomiella*, *Ceratophysella*, *Lepidocyrtus*, *Xenylla*, *Entomobrya*, *Cryptopygus* y *Pseudachorutes*, a pesar de ser valores tóxicos para buena parte de la mesofauna edáfica.
 - Además los géneros *Schoettella*, *Xenyllodes*, *Friesea*, *Isotomiella*, *Lepidocyrtus*, *Xenylla*, *Entomobrya* y *Cryptopygus* toleran concentraciones totales de Ni (142 mgKg^{-1}) y de Br de (510 mgKg^{-1}).
 - *Proisotoma*, *Cryptopygus*, *Tullbergia* e *Hypogastrura*, toleran concentraciones totales de Co de $1,721 \text{ mgKg}^{-1}$, y Mn de $4,302 \text{ mgKg}^{-1}$.
 - *Sphaeridia* no tolera concentraciones de As total mayores a 50 mgKg^{-1} .
 - *Isotomurus* y *Sminthurinus* no toleran la presencia del As en el suelo.
 - *Cryptopygus*, *Sphaeridia*, *Proisotoma*, y *Pseudosinella*, toleran concentraciones de Pb de 231 mgKg^{-1} , mientras que *Entomobrya* y *Tullbergia*, soportan concentraciones de 536.
7. En general se puede señalar que los colémbolos son organismos muy resistentes a la contaminación por metales pesados, toleran concentraciones que otros organismos edáficos no soportan y muchos de ellos aparentemente se ven favorecidos por éstos.

IX. RECOMENDACIONES

Para trabajos futuros

1. Primero se recomienda realizar un trabajo donde se recopile toda la información generada alrededor del mundo, sobre la tolerancia de las diferentes especies y géneros del orden Collembola.
2. De las especies o géneros que se reporten en bibliografía, escoger aquellos que cumplan las siguientes características: Ser parte activa de los procesos ecológicos que se dan en el suelo, por ejemplo la mineralización de la materia orgánica; estar presentes en un rango amplio de tipos de suelo; como grupo, tener comunidades con diversas especies; se les debe poder examinar tanto en condiciones naturales como de laboratorio; la extracción y selección entre organismos de otros grupos de la misma población, deben ser sencillas.
3. Una vez extraídos los organismos deben trabajarse en laboratorio, alterando los factores para los que son tolerantes, para observar sus límites de tolerancia. Estudiar su fisiología para conocer los mecanismos que provocan que esos organismos sean tan resistentes a un tipo de contaminación. Posteriormente se les podría catalogar como biorremediadores o indicadores.
4. Una vez con los datos de laboratorio, volver a estudiar estos organismos en campo, en el caso de establecer alguna especie como indicadora de cierto contaminante, buscarla en diferentes tipos de suelo con alto grado de esa contaminación y establecer límites de tolerancia a otros factores como podrían ser el tamaño de los poros, cantidad de materia orgánica y/o pH. En caso de reconocer que una especie puede ser en potencia un biorremediador, inocular el organismo en un suelo que se desee remediar, y observar si efectivamente bajan los niveles de contaminación, en que grado y en que tiempo.
5. De los géneros investigados en este estudio que se propone se sigan investigando, según los puntos planteados anteriormente son los siguientes
 - *Cryptopygus*, con Ni y V
 - *Entomobrya* con V, Br y Zn
6. Del resto de los géneros que se establecieron como tolerantes, trabajar con ellos solo si en el punto 1 se encontrara que otros autores los relacionan directamente con uno o varios de los contaminantes mencionados.

Para realizar en campo

7. Los metales pesados, a pesar de no estar afectando a la mayoría de los géneros de colémbolos, es evidente que se están acumulando en el suelo regado con agua residual y peor aún, una concentración mayor de los metales aportados por el riego se están lixiviando al manto freático; por lo que se recomienda que se separe previamente el agua negra que provenga de las industrias y talleres, de la netamente doméstica.
8. Hacer un monitoreo efectivo para obligar a las industrias que traten previamente su agua de desecho, según lo exigen las normas mexicanas.
9. Para evitar que el suelo regado con agua de manantial llegue a presentar síntomas de salinidad, se propone agregar mayor cantidad de materia orgánica en estiaje, mezclar el suelo con ella y aplicarle riegos constantes con el agua de pozo. Hacer una zanja alrededor del terreno, para reducir la acumulación de agua (rica en sales) que proviene de los escurrimientos de terrenos vecinos.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Alberci, T.M., W.E. Sopper, G.L. Storm y R.H. Yahner. (1989). Trace Metals in Soil, Vegetation, and Voles from Mine Land Treated with Sewage Sludge. *Journal Environmental Quality*, **18**:115-120.
- Allison, L. E. (1993). Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. Limusa, México. 172 pp.
- Alloway, J. (1990). Heavy metals in soils. John Wiley & sons, New York. 339 pp.
- Alloway, J. (1996). Heavy metals in soils. Blackie Academic & Profesional, New York. 353 pp.
- Aguirre, G.A. (1993). Química de los suelos salinos y sódicos. UNAM, México, 130 pp.
- Anderson, R.P. and H.T. Christensen. (1988). Distribution coefficients of Cd, Co, Ni y Zn in soils. *Journal of Soil Science*, **39**: 15-22.
- Anónimo. (1946). Cronología de los principales acontecimientos en el Valle de México-Irrigación en México. (27), **3**: 15-24 pp.
- Aoyama, M. and Nagumo, T. (1996). Factors affecting microbial biomass and dehydrogenase activity in apple orchard soils with heavy metal accumulation. *Soil Science Plant Nutrition*, **42**: 821-831 pp
- Bengtsson, G. and Rundgren (1988). Thue Gussum case: abrass mill and the distribution of soil Collembola. *Can. J. Zool*, **66**: 1518-1526.
- Bengtsson, G. and L. Travik. (1989). Critical metal concentrations for forest soil invertebrates-a review of the limitation. *Water, Air and Soil Pollution*, **47**: 381-417 pp.
- Benítez, F. (1982). La Ciudad de México. Salvat, España. Tomo I, 339 pp.
- Bergkvist, B.O. (1987). Soil solution chemistry and metal budgest of spruce forest ecosystem in S. Sweden. *Water, Air and Soil Pollution*, **33**: 131-154
- Boekhold, A.E. and S.E. Van der Zee. (1992). Significance of Soil Chemical Heterogeneity for Spacial Behavior of Cadmium in Field Soils. *Soil Science Society American Journal*, **56**: 747-754.
- Bonneau, M. (1987). Edafología. Masson, Barcelona. 461 pp.
- Bongers, T. & T. Shouten. (1991). Nematodengemeenschappen als potineel diagnostisch instrument voor chemische verontreinigingen, in G.P. Hekstra and F.J. Van Linden (eds.), *Flora en fauna chemisch onder drunk*, Pudoc. Wageningen, 175-186 pp.

- Bourg, A.C. (1995) Speciation of heavy metals in soils and groundwater and implications for their natural and provoked movility. In: Salomons, W., Förstner, U. and Mader, P. *Heavy metals problems and solutions*, Springer, Germany, 19-31 pp.
- Bouyoucos, G.J. (1951). A Recalibration of the hydrometer method of mechanical analysis of soil. *Agron. J.*, **56**: 453-456 pp.
- Bowen, H.J. (1979). *Environmental Chemistry of the Soils*. Academic Press, New York. 246 pp.
- Bresler, B., L. McNeal and D. Carter. (1982). *Saline and sodic soils*. Springer-Verlag. New York. 236 pp.
- Brookers, P.C. (1995). The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metal. *Biol. Fert. Soils*, **19**: 269-279 pp.
- Butovsky, R.O. (1996). Insects in bioindication of soil pollution. In. N.M. Van Straalen and D.A. Krivolutsky (eds.), *Bioindicator System for Soil Pollution*. Kluwer Academic Publisher, Netherlands. 155 – 247 pp.
- Calcutt, T. and J. Moss. (1984). Sewage sludge, treatment and disposal the way ahead. *Water Pollution Control*, **83**: 201 pp.
- Cheng, K. and Bray, R.H. (1951). Two specific methods of determining Calcium and Magnesium in soil. *Anal. Chem.*, **25**: 655-659 pp.
- Christiansen, K. and P. Bellinger. (1980 - 1981). The Collembola of North America of the Rio Grande. *A taxonomic analysis*. Grinnell College, Iowa, USA, 1322 pp.
- Christiansen, K. and P. Bellinger. (1990). The Collembola of North America of the Rio Grande. *A taxonomic analysis*. Grinnell College, Iowa, USA, 1 - 4:1-16.
- Clarke, R.J. (1968). *The Chemistry of Titanium and Vanadium*. Elsevier, New York.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). (1995). *Impacto del Riego con Aguas Residuales en las aguas subterráneas del Valle del Mezquital Hidalgo. Reporte Fase 1*. 86 pp.
- Contreras, V.R. (1998). *Clasificación e impacto por el riego con aguas residuales de algunos suelos del DDR 063, Estado de Hidalgo. Tesis de Licenciatura. Fac. de Ciencias, UNAM. México*, 104 pp.
- Cook, N. (1998). *Bioavailability of Trace Metals in Urban Contaminated Soil*. PhD thesis, McGill University, Quebec, Canada. 264 pp.
- Corona, F. (1967). *Memorando Técnico 252. SARH, México, D.F.* 78 pp.

- Crommentuijn, T., A. Doornekamp and C.A.M. Van Gestel. (1997). Bioavailability and ecological effects of cadmium on *Folsomia candida* in an artificial soil substrate as influenced by pH and organic matter. *Applied Soil Ecology*, 5: 261-271 pp.
- Davies, B.E. (1980). *Applied Soil Trace Elements*. Wiley, New York. 156 pp.
- Distrito de Desarrollo Rural (DDR) 063. 1997. Características Generales de los Distritos de Riego 003-Tula y 100-Alfayucan. Editado por el DR 03 en Mixquiahuala. 25 pp.
- Duffus, H. (1988). *Toxicología ambiental*. Omega, Barcelona 24-94 pp.
- Erdman, J.A., H.T. Shacklette and J.R. Keith. (1976). Elemental composition of selected native plants and associated soils from major vegetatin-type area in Missouri. *U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.*, 23: 30 pp.
- Fisher, G. and J. Verlag. (1997). Dispersal rates of Collembola in metal polluted soil. *Pedobiologia*, 41: 506-513
- FitzPatrick, E.A. (1985). Suelos y su formación, clasificación y distribución. Continental, México. 430 pp.
- Förstner, U. (1995). Contaminated aquatic sediment and waste sites: geochemical engineering solution. In: Salomons, W., Förstner, U. and Mader, P. *Heavy metals problems and solutions*. Springer, Germany, 237-256.
- Frampton G. (1994). Sampling to detect effects of pesticides on epigeal Collembola. *Aspects of applied Biology*, 37: 121-130.
- Frampton, G., S. Langton, P. Greig-Smith and A. Hardy, (1992). Changes in the soil fauna at Boxworth. In. *Pesticides, cereal farming and the environment: the Boxworth project*. HMSO. London. 132-43 pp.
- Fuentes, Y. (1992). *Técnicas de Riego*. I.R.Y.D.A., Madrid. 352 pp.
- Fuentes, Y. (1994). *El suelo y los fertilizantes*. Mundi-Prensa, Madrid. 328 pp.
- Goldenberg, S.P., K.A. Smith, and J.C. Holmes. (1983) Manganese and pH. *J. Sci. Fd. Agric.*, 34: 657 pp.
- González, Q. (1968). Tipo de Vegetación del Valle del Mezquital, Hidalgo. Depto. Prehist. INAH. Méx. Publ. 115 pp.
- Harter, D.R. (1983). Effect of soil pH on the retention of lead, copper, zinc and nickel. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47: 47-51.
- Hatton, D. and F.W. Pickering. (1980). The effect of pH on the retention of Cu, Pb, Zn y Cd by clay-humic acid mixtures. *Water, Air and Soil Pollut.* 14: 13-21.

- Hernández, G. *et al.* (1990). Evaluación de Suelos Degradados en un área del Distrito de Riego 063, Estado de Hidalgo. Estudio realizado para CONACYT, en el Instituto de Geología, UNAM. 113 pp.
- Hopkin, S. (1997). *Biology of the Springtails*. Oxford University Press, Great Britain. 330 pp.
- Humbert, W. (1981). Excretion et detoxication de quelques metaux lourds chez les collemboles (insectes). *Bulletin de l' Association Philomathique d' Alsace et de Lorraine*, **18**: 97-101 pp.
- INEGI, (1992). Síntesis Geográfica del Estado de Hidalgo. 36pp.
- Jackson, L.M. (1982). *Análisis Químico de Suelos*. Omega. Barcelona. 247 pp.
- Johansson A. E. Sven and Campbell Jhon L., (1988). PIXE: A Novel Technique for Elemental Analysis, Jhon Wiley & Sons, Toronto.
- Jongman, R.H., C.J. Ter Braak and O.F. Van Tongen. (1987). *Data Analysis in community and landscape ecology*. Pudon, Netherlands. 35 pp.
- Joesse, N.G. & B.J. Buker. (1979). Uptake and excretion of lead by litterdwelling Collembola. *Environ. Pollut.*, **18**: 235-241 pp
- Kabata-Pendias, A and H. Pendias. (1992). Agricultural problems related to excessive trace metals contains of soils. In: Salomons, W., Förstner, U. and Mader, P. *Heavy metals problems and solutions*. Springer, Germany. 3-18 pp.
- Killham, K. (1994). *Soil Ecology*. Cambridge University, U.S.A., 242 pp.
- King, L. and L. Hajjar. (1990). The residual effect of sewage sludge on heavy metal content of tobacco and peanut. *J. Environment. Qual.*, **19**: 738-748 pp.
- Köller, H., H. Eckwert, R. Triebkorn and G. Begtsson. (1999). Interaction between tolerance and 70 Kda stress protein (hsp 70) induction in collembolan populations exposed to long-term metal pollution. *Aplied Soil Ecology*, **11**: 43-52 pp.
- Korthals, G.W., R.G. Goede, J.E. Kammenga, y T. Bongers. (1996). The maturity index as an instrument for risk assesment of soil pollution In: N.M. Van Straalen and D.A. Krivolutsky, *Bioindicator System for Soil Pollution*, Netherlands, 85-93.
- Kubota, J. (1968). Distribution of cobalt deficiency in grazing animals n relation to soils and forage plants in the USA. *Soil Science*. **106**: 122
- Lag, J. & E. Streinnes. (1976). Regional distribution of halogens in Norwegian forest soils. *Geoderma*. **16**: 317 pp.

- Loué, A. (1988). Los microelementos en la agricultura. Mundi-Prensa, Madrid. 354 pp.
- McBride, B. & J. Blasiak. (1979). Zinc and Koper solubility as a function of pH in acid soil. *Soil Science Society American Journal*, **43**: 866-870 pp.
- McLaren, R., D. Lawson and R. Swift. (1986). Sorption and desorption of cobalt by soils and soil components. *Journal of Soil Science*, **37**:413-426.
- Miller, P.W. & W.W. McFee. (1983). Distribution of Cadmium, Zinc, Copper and Lead in soils of Industrial Northwestern Indiana. *Journal of Environmental Quality*, **12**(1):29-33.
- Millón, R. (1959). La agricultura como inicio de la civilización en esplendor del México antiguo. Centro de Investigaciones Antropológicas, México. 997-1018 pp.
- Monografía Geológica-Minera. (1982). Capitulo 1; Geografía. Primera edición. 89 pp.
- Murray, P., Y. Ge and W.H. Hendershot. (2000). Evaluating three trace metal contaminated sites: a field and laboratory investigation. *Environmental pollution*, **17**: 127-135.
- Novotny, V. (1995). Diffuse sources of pollution by toxic metals and impact in receiving waters. In: Salomons, W., Förstner, U. and Mader, P. *Heavy metals problems and solutions*. Springer, Germany. 33-51 pp.
- Odum, E.P. (1985). Trends expected in stressed ecosystems. *BioScience*, **35**: 419-422 pp.
- Palacios, V., y Gómez, A. (1993). Los colémbolos (Hexapoda: Apterygota) de Chamela, Jal., Mex. (distribución ecológica y claves). *Soil Entomologica Mexicana*. **89**:1-34.
- Petruzzelli, G., G. Guidi and L. Lumbrano. (1978). Organic mater as influencing factor on copper and cadmium adsorption by soils. *Water Air & Soil Pollution*, **9**: 263-269.
- Pianka, E. (1978). Evolutionary ecology. Harper & Roy, New York. 492 pp
- Popovici, I. and G.W. Korthals. (1995). Soil nematodes used in detectio of habitat disturbance due to industrial pollution. *Stud. Univ. Babeş-Bolyai, Biol.*, XXXVIII, 1-2.
- Reddy, R. and F.H. Perkins. (1974). Fixation of zinc by clay minerals. *Soil Science Society American Journal*, **39**: 454-458 pp.
- Regier, H.A. and E.B. Cowell. (1972). Application of ecosystem theory, sucesion, diversity, stability, stress and conservation. *Biology Conservation*, **4**: 83-88 pp.
- Reisenauer, H.M. 1982. Chromium. In page. Miller, R.H. Keeney, D.R. Methods of soil analisis. Agronomy No. 9. Part. 2. American Society of agronomy Inc. 337-346 pp.
- Saeed, M. and L.R. Fox. (1977). Relations between suspension pH and Zn solubility in acid and calcareous soils. *Soil Science*, **124**:199-204.

- Saeki, K., M. Okazaki and Kubota, M. (1993). Heavy metal in a semi-enclosed hypereutrophic system: Lake Teganuma, Japan. *Water, Air and Soil Pollution*, 79:79-91.
- Sauter, K.D. y H.R. Dos Santos. (1994). Avaliação da estrutura da população da mesofauna edáfica, em diferentes regimes de reabilitação de um solo degradado pela mineração do xisto. Em: *Revista do setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná*, 13: 1, 2. 31 a 34 pp.
- SARH, (1993). Actualización del Estudio Geohidrológico del Valle del Mezquital, Geocalli, S.A. 161-165 pp.
- Shacklette, H.T. & J.G. Boerngen. (1984). Element concentration in soils and other surficial materials of the conterminous United States. *U.S. Geology Surv. Circ.*, 673: 7
- Siebe Ch, M. Gutiérrez-Ruiz, and I. Sommer. (1995). Effects of Land Application of Waste Water From Mexico City on Soil Fertility and Heavy Metals accumulation: a Biograpy review. *Environmental Review*, 3:318-330. Canada.
- Siebe Ch., Palacios, P., y Cortés, A. (1997). Variabilidad y Distribución Espaciales de Algunos Parámetros Físicos y Químicos del Suelo en el Distrito de Riego 03, Estado de Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 11:62-67 pp.
- Sims, J. (1986). Soil pH effects on the distribution and plan availability of manganese, copper and zinc. *Soil Science Society American Journal*, 50: 367-373 pp.
- Singh, S. (1979). Sorption and release of cadmium in some Canadian soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 59:119-130 pp.
- Tamayo, J. (1962). Geografía General de México. Tomo II. Instituto de Investigaciones Económicas, México. 274-296 pp.
- Tena, T. (1991). Contaminación de suelos por metales pesados. Tesis para obtener el título de Ing. Químico. Fac. de Química, UNAM. 213 pp.
- Ter Braak, C.J. (1990) CANOCO versión 3.1. Update Notes. Wageningen, Netherlands. 35 pp.
- Tiller, K.G. and R.H. Merry. (1981). Copper pollution of agricultural soils. In: *Copper in soils and plants*, Lonergan, J.F., Robson, A.D. and Graham, R.D. (eds). Academic Press, New York. 119 pp.
- Travink, L., Bengtsson and S. Rundgren, (1993). Relative abundance and resistance traits of two Collembola species under metal stress. *Journal of Applied Ecology*, 30: 43-52 pp.

- Vaithyanatha, P., A. Ramanathan, and V. Subramanian, (1992). Sediment transport in the Cauvery River basin: sediment characteristics and controlling factors. *Journal of Hydrology*, **139**: 197-210 pp.
- Van Straalen, N.M. & D.A. Krivolutsky, (1996). Bioindicator System for Soil Pollution. Kluwer Academic Publishers, London. 548 pp.
- Von Wobester, G. (1983). La formación de la hacienda en la época colonial, México. UNAM. 217 pp.
- M. Vreeken-Buijs, J. Hassink and L. Brussaard. (1998). Relationships of soil microarthropod biomass with organic matter and pore size distribution in soils under different land use. In: *Soil Biology and Biochemistry*. **30**: (1) 97-106 pp.
- Walker, C.H., Hopkin, S.P., Sibly, R.M. and Peakall, D.B. (1996). Principles of ecotoxicology. Taylor and Francis, London.
- Walkey, A. (1947). A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils: Effect of Variations in Digestion Conditions and of Inorganic soil constituents. *Soil Science*, **63**: 251-263 pp.
- Williams, J.H. (1988). Recommendations, rules and regulations for spreading Manures Slurries and Sludge on Arable and Grassland. Comision of European Communities, Brussels. 67 pp.
- Yim, M. and N. Tam. (1999). Effects of Wastewater-borne Heavy Metals on Mangrove Plants and Soil Microbial Activities. *Marine Pollution Bulletin*, **39**:(1-12) 179-186 pp.
- Yuita, K. (1983). Iodine, bromine and chlorine contents in soils and plants of Japan. *Soil Science and Plant Nutrition*, **29**: 403 pp.

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

APÉNDICE I

Análisis edafológicos

Tabla 1 Recolección en Diciembre de 1998 Riego: Agua negra

| Muestra | pH Agua | pH KCl | C.E. dS/m | M.O. % | Intercambiables | | | | Textura | | | D.R. | D.A | P |
|---------|---------|--------|-----------|--------|-----------------|------|-----|-----|---------|------|-------|------|-----|------|
| | | | | | Mg | Ca | K | Na | Arcilla | Limo | Arena | | | |
| | | | | | meq/100gr | | | | % | | | | | |
| 1 | 7,5 | 7,0 | 1,37 | 2,20 | 22,0 | 11,0 | 2,7 | 1,5 | 38 | 34 | 28 | 2,1 | 1,2 | 44,9 |
| 2 | 7,4 | 6,9 | 0,96 | 3,20 | 32,0 | 13,5 | 3,0 | 2,1 | 42 | 38 | 20 | 2,1 | 1,1 | 46,8 |
| 3 | 7,3 | 6,8 | 0,77 | 2,20 | 22,0 | 13,0 | 3,2 | 1,8 | 46 | 32 | 22 | 2,1 | 1,2 | 43,8 |
| 4 | 7,4 | 6,9 | 3,29 | 1,60 | 16,0 | 20,0 | 2,6 | 2,2 | 40 | 38 | 22 | 2,1 | 1,2 | 46,0 |
| 5 | 7,4 | 6,9 | 0,77 | 2,40 | 24,0 | 13,0 | 2,6 | 2,3 | 42 | 38 | 20 | 2,2 | 1,2 | 46,1 |
| 6 | 7,4 | 6,9 | 0,89 | 2,10 | 21,0 | 16,0 | 2,4 | 1,9 | 34 | 38 | 28 | 2,1 | 1,1 | 47,0 |
| 7 | 7,3 | 6,8 | 1,22 | 2,50 | 25,0 | 15,5 | 2,3 | 1,4 | 34 | 40 | 26 | 2,1 | 1,1 | 45,4 |
| 8 | 7,3 | 6,8 | 0,97 | 2,00 | 20,0 | 18,0 | 2,5 | 1,8 | 30 | 40 | 30 | 2,3 | 1,1 | 52,0 |
| 9 | 7,3 | 6,8 | 0,76 | 2,20 | 22,0 | 14,5 | 2,7 | 1,7 | 26 | 40 | 34 | 2,2 | 1,1 | 50,0 |
| 10 | 7,6 | 7,1 | 0,71 | 1,30 | 13,0 | 30,0 | 2,5 | 2,3 | 32 | 36 | 32 | 2,1 | 1,1 | 47,2 |
| Prom. | 7,4 | 6,9 | 1,2 | 2,2 | 21,7 | 16,5 | 2,6 | 1,9 | 36,4 | 37,4 | 26,2 | 2,2 | 1,1 | 46,9 |
| G.I. | 0,1 | 0,1 | 0,8 | 0,5 | 6,1 | 6,4 | 0,3 | 0,3 | 6,2 | 2,7 | 5,0 | 0,1 | 0,0 | 2,4 |

Tabla 2 Recolección en diciembre de 1998 Riego: Agua blanca

| Muestra | pH Agua | pH KCl | C.E. dS/m | M.O. % | Intercambiables | | | | Textura | | | D.R. | D.A | P |
|---------|---------|--------|-----------|--------|-----------------|------|-----|-----|---------|------|-------|------|-----|------|
| | | | | | Mg | Ca | K | Na | Arcilla | Limo | Arena | | | |
| | | | | | meq/100gr | | | | % | | | | | |
| 11 | 8,65 | 8,0 | 0,97 | 3,60 | 36,0 | 27,0 | 7,2 | 3,5 | 48 | 24 | 28 | 2,1 | 1,1 | 46,9 |
| 12 | 8,55 | 7,9 | 2,05 | 3,80 | 38,0 | 17,0 | 4,4 | 2,9 | 52 | 34 | 14 | 2,1 | 1,1 | 45,8 |
| 13 | 8,55 | 7,9 | 3,06 | 3,40 | 34,0 | 19,0 | 5,8 | 3,9 | 44 | 36 | 20 | 2,2 | 1,1 | 47,4 |
| 14 | 8,6 | 7,8 | 1,35 | 2,80 | 28,0 | 11,0 | 4,0 | 2,3 | 42 | 38 | 20 | 2,3 | 1,2 | 49,6 |
| 15 | 8,6 | 7,9 | 1,41 | 4,00 | 40,0 | 26,0 | 6,1 | 3,1 | 44 | 30 | 26 | 2,0 | 1,1 | 45,5 |
| 16 | 8,75 | 8,1 | 1,22 | 5,40 | 54,0 | 14,0 | 6,9 | 3,4 | 50 | 34 | 16 | 2,2 | 1,1 | 47,7 |
| 17 | 8,65 | 8,0 | 2,06 | 3,60 | 36,0 | 20,0 | 6,3 | 3,5 | 44 | 36 | 20 | 2,1 | 1,1 | 45,8 |
| 18 | 8,6 | 7,9 | 1,42 | 3,10 | 31,0 | 14,0 | 5,5 | 2,9 | 44 | 36 | 20 | 2,2 | 1,1 | 48,1 |
| 19 | 8,45 | 7,8 | 1,21 | 3,20 | 32,0 | 27,0 | 4,2 | 2,8 | 44 | 30 | 26 | 2,2 | 1,1 | 48,6 |
| 20 | 8,55 | 7,9 | 0,79 | 3,30 | 33,0 | 19,5 | 4,2 | 3,0 | 46 | 36 | 18 | 2,0 | 1,1 | 43,9 |
| Prom. | 8,6 | 7,9 | 1,6 | 3,6 | 36,2 | 19,6 | 5,4 | 3,1 | 46,8 | 33,4 | 20,8 | 2,1 | 1,1 | 46,9 |
| G.I. | 0,1 | 0,1 | 0,7 | 0,7 | 7,2 | 6,7 | 1,2 | 0,5 | 3,2 | 4,2 | 4,6 | 0,1 | 0,0 | 1,7 |

Tabla 3 Recolección en Febrero de 1999 Riego con Agua negra

| Muestra | pH Agua | pH KCl | C.E. dS/m | M.O. % | Intercambiables | | | | Textura | | | D.R. | D.A | P |
|---------|---------|--------|-----------|--------|-----------------|------|-----|-----|---------|------|-------|------|-----|------|
| | | | | | Mg | Ca | K | Na | Arcilla | Limo | Arena | | | |
| | | | | | meq/100gr | | | | % | | | | | |
| 21 | 7,7 | 6,9 | 1,16 | 2,43 | 24,2 | 25,3 | 5,2 | 2,6 | 32 | 46 | 22 | 2,3 | 1,1 | 49,8 |
| 22 | 7,5 | 6,9 | 1,62 | 2,88 | 11,5 | 9,5 | 6,5 | 3,2 | 30 | 46 | 24 | 2,3 | 1,1 | 51,3 |
| 23 | 7,5 | 6,8 | 1,78 | 2,17 | 11,5 | 23,0 | 5,3 | 3,4 | 27 | 49 | 25 | 2,1 | 1,1 | 46,8 |
| 24 | 7,2 | 6,6 | 1,94 | 3,01 | 16,1 | 11,5 | 6,5 | 3,2 | 30 | 47 | 24 | 2,3 | 1,2 | 49,0 |
| 25 | 7,3 | 6,6 | 2,30 | 3,01 | 20,7 | 16,1 | 5,5 | 3,8 | 32 | 45 | 23 | 2,0 | 1,2 | 41,2 |
| 26 | 7,8 | 6,9 | 1,40 | 2,43 | 20,7 | 25,3 | 5,5 | 3,4 | 34 | 45 | 21 | 2,2 | 1,2 | 44,8 |
| 27 | 7,3 | 6,8 | 2,39 | 3,14 | 8,1 | 56,3 | 5,5 | 3,4 | 27 | 49 | 25 | 2,1 | 1,1 | 44,2 |
| 28 | 7,3 | 6,6 | 3,32 | 2,88 | 3,5 | 38,0 | 5,9 | 3,8 | 28 | 47 | 25 | 2,2 | 1,1 | 49,0 |
| 29 | 7,3 | 6,6 | 4,39 | 2,69 | 12,7 | 29,9 | 5,5 | 3,8 | 30 | 45 | 25 | 2,2 | 1,1 | 50,2 |
| 30 | 7,1 | 6,7 | 2,55 | 3,08 | 11,5 | 31,1 | 5,5 | 3,4 | 28 | 45 | 27 | 2,3 | 1,1 | 51,3 |
| Prom. | 7,4 | 6,7 | 2,3 | 2,8 | 14,1 | 26,6 | 5,7 | 3,4 | 29,8 | 46,3 | 23,9 | 2,2 | 1,1 | 47,8 |
| G.I. | 0,2 | 0,1 | 1,0 | 0,3 | 6,4 | 13,7 | 0,6 | 0,4 | 2,4 | 1,5 | 1,6 | 0,1 | 0,0 | 3,4 |

Tabla 4. Recolección en Febrero de 1999 Riego con Agua blanca

| Muestra | pH Agua | pH KCl | C.E. dS/m | M.O. % | Intercambiables | | | | Textura | | | D.R. | D.A | P |
|---------|---------|--------|-----------|--------|-----------------|------|------|-----|---------|------|-------|------|-----|------|
| | | | | | Mg | Ca | K | Na | Arcilla | Limo | Arena | | | |
| | | | | | meq/100gr | | | | % | | | | | |
| 31 | 8,6 | 7,5 | 2,4 | 2,2 | 4,6 | 62,1 | 12,2 | 6,1 | 43 | 32 | 25 | 2,3 | 1,1 | 50,4 |
| 32 | 8,4 | 7,4 | 2,2 | 2,9 | 6,9 | 69 | 12,2 | 6,1 | 45 | 38 | 17 | 2,2 | 1,1 | 49,3 |
| 33 | 8,3 | 7,5 | 2,8 | 3,0 | 11,5 | 46 | 12,2 | 7,1 | 43 | 34 | 23 | 2,4 | 1,1 | 53,8 |
| 34 | 8,7 | 7,8 | 2,7 | 2,6 | 9,5 | 55,2 | 13,3 | 8,6 | 45 | 34 | 21 | 2,3 | 1,1 | 51,5 |
| 35 | 8,7 | 7,6 | 2,0 | 2,5 | 65,6 | 3,5 | 11,1 | 6,7 | 39 | 36 | 25 | 2,2 | 1,1 | 49,7 |
| 36 | 8,7 | 7,5 | 1,9 | 2,3 | 5,8 | 54,1 | 7,9 | 7,1 | 41 | 37 | 21 | 2,3 | 1,1 | 51,9 |
| 37 | 8,4 | 7,5 | 2,7 | 2,4 | 8,3 | 49,7 | 7,0 | 5,5 | 36 | 36 | 28 | 2,3 | 1,1 | 50,4 |
| 38 | 8,4 | 7,5 | 2,8 | 2,6 | 11 | 52,4 | 7,6 | 4,7 | 37 | 38 | 25 | 2,3 | 1,1 | 52,9 |
| 39 | 8,6 | 7,6 | 2,0 | 2,6 | 38,6 | 27,6 | 6,9 | 5,7 | 41 | 38 | 21 | 2,3 | 1,1 | 49,4 |
| 40 | 8,5 | 7,4 | 1,8 | 2,8 | 56,6 | 56,6 | 7,3 | 5,3 | 39 | 36 | 25 | 2,3 | 1,1 | 51,6 |
| Prom. | 8,5 | 7,5 | 2,3 | 2,6 | 21,8 | 47,6 | 8,8 | 6,3 | 40,9 | 38,0 | 23,1 | 2,3 | 1,1 | 51,1 |
| G.I. | 0,1 | 0,1 | 0,4 | 0,3 | 23,0 | 18,9 | 2,6 | 1,1 | 3,0 | 1,9 | 3,0 | 0,1 | 0,0 | 1,6 |

Análisis edafológicos

Tabla 5. Recolección en Abril de 1999. Riego con Agua negra

| Muestra | pH Agua | pH KCl | C.E. dS/m | M.O. % | Intercambiables | | | | Textura | | | D.R. | D.A | P |
|---------|---------|--------|-----------|--------|-----------------|------|-----|-----|---------|------|-------|------|-----|------|
| | | | | | Mg | Ca | K | Na | Arcilla | Limo | Arena | | | |
| | | | | | meq/100gr | | | | % | | | | | |
| 41 | 7,4 | 6,4 | 2,9 | 2,5 | 20,2 | 14,8 | 2,9 | 2,5 | 29 | 44 | 27 | 2,1 | 1,0 | 49,8 |
| 42 | 7,5 | 6,3 | 2,2 | 2,7 | 21,5 | 15,6 | 3,1 | 2,5 | 31 | 49 | 20 | 2,2 | 1,1 | 48,5 |
| 43 | 7,3 | 6,3 | 2,9 | 2,8 | 19,4 | 16,4 | 2,7 | 2,7 | 25 | 55 | 20 | 2,3 | 1,0 | 54,0 |
| 44 | 7,5 | 6,3 | 2,3 | 2,7 | 19,8 | 20,1 | 2,5 | 2,2 | 29 | 47 | 24 | 2,1 | 1,0 | 50,9 |
| 45 | 7,3 | 6,2 | 2,7 | 2,6 | 24,6 | 9,9 | 2,5 | 2,4 | 27 | 47 | 25 | 2,2 | 1,1 | 48,9 |
| 46 | 7,3 | 6,2 | 2,0 | 3,2 | 18,1 | 16,3 | 2,8 | 2,2 | 27 | 44 | 29 | 2,3 | 1,1 | 53,1 |
| 47 | 7,4 | 6,2 | 2,2 | 2,4 | 22 | 20,2 | 2,5 | 2,7 | 25 | 47 | 27 | 2,3 | 1,0 | 56,4 |
| 48 | 7,3 | 6,2 | 3,0 | 3,5 | 18,7 | 11,7 | 2,5 | 2,7 | 25 | 49 | 25 | 2,4 | 1,1 | 54,8 |
| 49 | 7,3 | 6,2 | 2,5 | 2,8 | 14,9 | 23,5 | 2,4 | 2,2 | 22 | 51 | 27 | 2,3 | 1,1 | 53,8 |
| 50 | 7,4 | 6,3 | 2,4 | 3,0 | 21,2 | 33 | 2,3 | 2,2 | 22 | 51 | 27 | 2,3 | 1,1 | 50,9 |
| Prom. | 7,3 | 6,2 | 2,5 | 2,8 | 20,0 | 18,2 | 2,6 | 2,4 | 26,3 | 48,4 | 25,3 | 2,2 | 1,1 | 52,1 |
| G.I. | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,3 | 2,6 | 6,6 | 0,3 | 0,2 | 3,0 | 3,5 | 3,1 | 0,1 | 0,0 | 2,7 |

Tabla 6. Recolección en Abril de 1999. Riego con Agua blanca

| Muestra | pH Agua | pH KCl | C.E. dS/m | M.O. % | Intercambiables | | | | Textura | | | D.R. | D.A | P |
|---------|---------|--------|-----------|--------|-----------------|------|-----|-----|---------|------|-------|------|-----|------|
| | | | | | Mg | Ca | K | Na | Arcilla | Limo | Arena | | | |
| | | | | | meq/100gr | | | | % | | | | | |
| 51 | 8,5 | 7,4 | 5,3 | 2,5 | 39,2 | 12,4 | 4,0 | 4,6 | 36 | 42 | 22 | 2,3 | 1,1 | 51,3 |
| 52 | 8,6 | 7,2 | 4,2 | 2,7 | 39,1 | 26,7 | 3,1 | 4,6 | 40 | 42 | 18 | 2,3 | 1,1 | 52,3 |
| 53 | 8,7 | 7,4 | 4,5 | 3,0 | 52,3 | 12,8 | 4,7 | 5,2 | 48 | 32 | 20 | 2,3 | 1,1 | 53,9 |
| 54 | 8,5 | 7,5 | 4,7 | 2,7 | 37,4 | 26,1 | 3,4 | 5,0 | 46 | 34 | 20 | 2,3 | 1,1 | 52,2 |
| 55 | 8,5 | 7,2 | 4,4 | 3,0 | 43,1 | 18,5 | 3,4 | 4,3 | 37 | 41 | 22 | 2,0 | 1,1 | 42,7 |
| 56 | 8,5 | 7,4 | 5,0 | 3,0 | 47,6 | 16,2 | 5,4 | 4,0 | 37 | 41 | 22 | 2,2 | 1,1 | 50,0 |
| 57 | 8,5 | 7,3 | 4,4 | 2,8 | 34,7 | 28,4 | 3,4 | 3,9 | 37 | 37 | 25 | 2,2 | 1,1 | 50,1 |
| 58 | 8,5 | 7,3 | 4,3 | 2,8 | 50 | 6,9 | 3,7 | 4,1 | 33 | 42 | 25 | 2,3 | 1,1 | 50,6 |
| 59 | 8,4 | 7,4 | 4,0 | 2,5 | 45,4 | 13,8 | 3,1 | 4,0 | 37 | 39 | 24 | 2,3 | 1,1 | 53,5 |
| 60 | 8,6 | 7,2 | 3,8 | 2,4 | 43,1 | 11,6 | 3,4 | 4,4 | 37 | 37 | 25 | 2,2 | 1,1 | 50,0 |
| Prom. | 8,5 | 7,3 | 4,5 | 2,7 | 43,2 | 17,3 | 3,8 | 4,4 | 38,8 | 38,8 | 22,4 | 2,2 | 1,1 | 50,7 |
| G.I. | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 0,2 | 5,7 | 7,4 | 0,8 | 0,4 | 4,6 | 3,5 | 2,8 | 0,1 | 0,0 | 3,1 |

Tabla 7. Recolección en Junio de 1999. Riego con Agua negra

| Muestra | pH Agua | pH KCl | C.E. dS/m | M.O. % | Intercambiables | | | | Textura | | | D.R. | D.A | P |
|---------|---------|--------|-----------|--------|-----------------|------|-----|-----|---------|------|-------|------|-----|------|
| | | | | | Mg | Ca | K | Na | Arcilla | Limo | Arena | | | |
| | | | | | meq/100gr | | | | % | | | | | |
| 61 | 6,5 | 5,9 | 4,3 | 1,6 | 19,0 | 17,9 | 3,1 | 3,1 | 40 | 40 | 20 | 2,2 | 1,1 | 50,0 |
| 62 | 7,5 | 6,5 | 2,2 | 1,7 | 21,6 | 15,9 | 3,2 | 3,1 | 38 | 42 | 20 | 2,1 | 1,1 | 47,4 |
| 63 | 7,1 | 6,1 | 2,3 | 1,7 | 21,8 | 11,5 | 3,1 | 2,7 | 33 | 45 | 22 | 2,2 | 1,1 | 49,6 |
| 64 | 7,0 | 6,1 | 2,3 | 1,6 | 21,1 | 13,1 | 3,0 | 2,9 | 33 | 40 | 27 | 2,2 | 1,1 | 47,8 |
| 65 | 7,3 | 6,4 | 2,6 | 1,5 | 21,8 | 11,5 | 2,7 | 2,7 | 29 | 44 | 27 | 2,2 | 1,1 | 47,4 |
| 66 | 7,0 | 6,4 | 1,8 | 1,5 | 21,7 | 11,1 | 2,7 | 2,7 | 29 | 44 | 27 | 2,2 | 1,2 | 45,8 |
| 67 | 6,7 | 6,1 | 2,5 | 2,1 | 25,1 | 8,0 | 2,9 | 2,9 | 27 | 44 | 29 | 2,2 | 1,1 | 49,5 |
| 68 | 7,1 | 6,4 | 2,9 | 1,9 | 22,9 | 10,3 | 2,7 | 3,0 | 29 | 44 | 27 | 2,3 | 1,1 | 50,2 |
| 69 | 7,1 | 6,3 | 2,7 | 2,0 | 22,8 | 11,6 | 2,7 | 2,9 | 25 | 47 | 27 | 2,2 | 1,1 | 49,1 |
| 70 | 7,3 | 6,6 | 2,5 | 2,1 | 22,9 | 14,9 | 2,7 | 2,5 | 25 | 55 | 20 | 2,1 | 1,1 | 47,2 |
| Prom. | 7,1 | 6,3 | 2,6 | 1,8 | 22,1 | 12,6 | 2,9 | 2,9 | 30,9 | 44,4 | 24,7 | 2,2 | 1,1 | 48,4 |
| G.I. | 0,3 | 0,2 | 0,7 | 0,2 | 1,5 | 2,9 | 0,2 | 0,2 | 5,0 | 4,2 | 3,8 | 0,1 | 0,0 | 1,5 |

Tabla 8. Recolección en Junio de 1999. Riego con Agua blanca

| Muestra | pH Agua | pH KCl | C.E. dS/m | M.O. % | Intercambiables | | | | Textura | | | D.R. | D.A | P |
|---------|---------|--------|-----------|--------|-----------------|------|------|-----|---------|------|-------|------|-----|------|
| | | | | | Mg | Ca | K | Na | Arcilla | Limo | Arena | | | |
| | | | | | meq/100gr | | | | % | | | | | |
| 71 | 8,3 | 7,6 | 3,9 | 1,9 | 52,28 | 14,3 | 7,1 | 5,1 | 39 | 42 | 19 | 2,1 | 1,1 | 49,3 |
| 72 | 8,3 | 7,5 | 3,4 | 1,6 | 52,88 | 16,1 | 6,8 | 6,2 | 36 | 44 | 20 | 2,2 | 1,1 | 50,3 |
| 73 | 8,5 | 7,8 | 3,7 | 1,9 | 53,15 | 13,2 | 11,2 | 5,3 | 40 | 40 | 20 | 1,6 | 1,1 | 31,2 |
| 74 | 8,5 | 7,7 | 4,0 | 2,0 | 50,4 | 16 | 8,5 | 5,5 | 38 | 44 | 18 | 2,3 | 1,1 | 53,5 |
| 75 | 8,4 | 7,5 | 3,4 | 1,9 | 51,69 | 12,6 | 8,5 | 5,0 | 42 | 38 | 20 | 2,3 | 1,1 | 51,7 |
| 76 | 8,7 | 7,6 | 3,7 | 1,6 | 45,75 | 16,6 | 8,0 | 4,4 | 29 | 45 | 25 | 2,2 | 1,1 | 51,5 |
| 77 | 8,3 | 7,5 | 3,9 | 1,8 | 51,2 | 28,5 | 6,3 | 4,8 | 35 | 40 | 25 | 2,3 | 1,1 | 51,7 |
| 78 | 8,7 | 7,5 | 3,4 | 1,7 | 49,37 | 18,4 | 5,8 | 4,8 | 40 | 36 | 24 | 2,3 | 1,1 | 53,5 |
| 79 | 8,7 | 7,6 | 3,4 | 1,7 | 50,56 | 12,6 | 4,6 | 4,9 | 38 | 40 | 22 | 2,1 | 1,1 | 48,8 |
| 80 | 8,5 | 7,6 | 3,2 | 1,9 | 47,09 | 20,1 | 5,4 | 4,8 | 40 | 38 | 22 | 2,2 | 1,1 | 49,8 |
| Prom. | 8,5 | 7,6 | 3,6 | 1,8 | 50,4 | 16,8 | 7,2 | 6,1 | 37,7 | 40,7 | 21,6 | 2,2 | 1,1 | 49,1 |
| G.I. | 0,2 | 0,1 | 0,3 | 0,1 | 2,4 | 4,8 | 1,9 | 0,5 | 3,7 | 2,9 | 2,6 | 0,2 | 0,0 | 6,6 |

Análisis edafológicos

Tabla 9: Recolección en Agosto de 1999 Riego con Agua negra

| Muestra | pH Agua | pH KCl | C.E. dS/m | M.O. % | Intercambiables | | | | Textura | | | D.R. | D.A | P |
|---------|---------|--------|-----------|--------|-----------------|------|-----|-----|---------|------|-------|------|-----|------|
| | | | | | Mg | Ca | K | Na | Arcilla | Limo | Arena | | | |
| | | | | | meq/100gr | | | | % | | | | | |
| 81 | 7,8 | 6,2 | 2,7 | 1,6 | 30,7 | 12,5 | 2,5 | 2,8 | 42 | 40 | 18 | 2,1 | 1,1 | 50,0 |
| 82 | 8,1 | 6,4 | 2,3 | 1,7 | 28,4 | 17 | 2,3 | 2,7 | 36 | 44 | 20 | 2,2 | 1,1 | 50,5 |
| 83 | 7,9 | 6,5 | 2,2 | 1,6 | 26,7 | 17 | 1,8 | 2,6 | 33 | 45 | 21 | 2,3 | 1,1 | 51,6 |
| 84 | 8,0 | 6,6 | 2,1 | 1,5 | 17 | 17 | 2,3 | 2,5 | 33 | 44 | 24 | 2,3 | 1,1 | 51,2 |
| 85 | 8,2 | 6,6 | 2,3 | 1,6 | 25 | 13,6 | 2,3 | 2,5 | 29 | 45 | 25 | 2,3 | 1,2 | 49,8 |
| 86 | 8,0 | 6,4 | 1,8 | 1,6 | 25 | 11,4 | 2,2 | 2,6 | 27 | 44 | 29 | 2,3 | 1,1 | 50,6 |
| 87 | 7,7 | 6,3 | 2,2 | 1,8 | 27,9 | 9,1 | 2,1 | 2,4 | 29 | 45 | 25 | 1,8 | 1,1 | 39,6 |
| 88 | 7,9 | 6,6 | 2,5 | 1,6 | 29,5 | 12,5 | 2,1 | 2,4 | 28 | 45 | 27 | 2,3 | 1,2 | 48,2 |
| 89 | 8,2 | 6,9 | 2,4 | 1,6 | 28,4 | 15,9 | 2,4 | 2,5 | 26 | 45 | 29 | 2,8 | 1,2 | 58,9 |
| 90 | 8,2 | 6,9 | 2,2 | 1,6 | 27,8 | 14,8 | 2,1 | 2,8 | 24 | 56 | 20 | 2,8 | 1,1 | 58,8 |
| Prom. | 8,0 | 6,6 | 2,3 | 1,6 | 26,6 | 14,1 | 2,2 | 2,6 | 30,7 | 45,6 | 23,8 | 2,3 | 1,1 | 60,9 |
| G.I. | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 3,8 | 2,7 | 0,2 | 0,1 | 5,4 | 4,2 | 3,9 | 0,3 | 0,0 | 6,4 |

Tabla 10: Recolección en Agosto de 1999 Riego con Agua blanca

| Muestra | pH Agua | pH KCl | C.E. dS/m | M.O. % | Intercambiables | | | | Textura | | | D.R. | D.A | P |
|---------|---------|--------|-----------|--------|-----------------|------|-----|-----|---------|------|-------|------|-----|------|
| | | | | | Mg | Ca | K | Na | Arcilla | Limo | Arena | | | |
| | | | | | meq/100gr | | | | % | | | | | |
| 91 | 9,1 | 7,8 | 3,5 | 1,6 | 59,0 | 19,3 | 3,5 | 5,4 | 42 | 36 | 22 | 2,3 | 1,1 | 51 |
| 92 | 8,8 | 7,7 | 3,1 | 1,7 | 62,4 | 19,3 | 3,7 | 5,2 | 45 | 36 | 18 | 2,2 | 1,1 | 49 |
| 93 | 9,1 | 7,6 | 4,0 | 1,6 | 59,0 | 21,6 | 3,3 | 4,2 | 37 | 44 | 19 | 2,3 | 1,1 | 50 |
| 94 | 8,9 | 7,8 | 3,4 | 1,6 | 58,5 | 19,3 | 3,5 | 4,9 | 37 | 44 | 19 | 2,3 | 1,1 | 52 |
| 95 | 9,1 | 7,8 | 3,2 | 1,6 | 64,7 | 17,0 | 3,8 | 4,4 | 39 | 40 | 21 | 2,3 | 1,1 | 53 |
| 96 | 9,0 | 7,8 | 3,0 | 1,9 | 61,9 | 20,4 | 3,8 | 5,4 | 39 | 44 | 17 | 2,4 | 1,1 | 53 |
| 97 | 8,9 | 7,7 | 3,6 | 1,8 | 59,0 | 15,9 | 3,5 | 5,3 | 37 | 40 | 23 | 2,4 | 1,1 | 54 |
| 98 | 9,0 | 7,7 | 3,0 | 1,6 | 57,9 | 19,3 | 3,6 | 3,6 | 35 | 38 | 27 | 2,4 | 1,1 | 54 |
| 99 | 8,8 | 7,7 | 3,0 | 1,6 | 56,8 | 14,8 | 3,9 | 3,7 | 38 | 36 | 25 | 2,3 | 1,1 | 51 |
| 100 | 8,9 | 7,7 | 3,0 | 1,6 | 59,6 | 14,8 | 3,7 | 4,6 | 40 | 40 | 20 | 2,4 | 1,1 | 55 |
| Prom. | 8,9 | 7,7 | 3,3 | 1,7 | 59,9 | 18,2 | 3,6 | 4,7 | 39,0 | 39,8 | 21,2 | 2,3 | 1,1 | 52,3 |
| G.I. | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,1 | 2,4 | 2,4 | 0,2 | 0,7 | 2,9 | 3,0 | 3,0 | 0,1 | 0,0 | 1,9 |

Tabla 11: Recolección en Octubre de 1999 Riego con Agua negra

| Muestra | pH Agua | pH KCl | C.E. dS/m | M.O. % | Intercambiables | | | | Textura | | | D.R. | D.A | P |
|---------|---------|--------|-----------|--------|-----------------|------|-----|-----|---------|------|-------|------|-----|------|
| | | | | | Mg | Ca | K | Na | Arcilla | Limo | Arena | | | |
| | | | | | meq/100gr | | | | % | | | | | |
| 101 | 8,1 | 6,6 | 2,0 | 2,5 | 32,92 | 7,95 | 2,9 | 2,6 | 42 | 38 | 20 | 2,3 | 1,1 | 52 |
| 102 | 9,0 | 7,5 | 2,6 | 2,8 | 63,56 | 17 | 3,7 | 8,4 | 37 | 43 | 20 | 2,3 | 1,1 | 51 |
| 103 | 8,3 | 6,9 | 1,9 | 2,5 | 31,78 | 12,5 | 2,9 | 2,7 | 33 | 45 | 22 | 2,1 | 1,1 | 49 |
| 104 | 8,3 | 6,8 | 1,8 | 2,7 | 29,28 | 9,08 | 2,7 | 2,5 | 33 | 42 | 25 | 2,3 | 1,1 | 52 |
| 105 | 8,1 | 6,7 | 1,7 | 2,8 | 28,94 | 11,4 | 2,6 | 2,4 | 29 | 44 | 27 | 2,3 | 1,1 | 49 |
| 106 | 8,2 | 6,7 | 1,8 | 2,8 | 30,7 | 11,4 | 3,2 | 2,5 | 29 | 42 | 29 | 2,1 | 1,1 | 45 |
| 107 | 8,0 | 6,6 | 1,9 | 2,8 | 28,38 | 14,5 | 2,7 | 2,3 | 29 | 44 | 27 | 2,2 | 1,1 | 51 |
| 108 | 7,9 | 6,6 | 1,8 | 3,2 | 24,97 | 19,9 | 2,5 | 2,5 | 27 | 45 | 27 | 2,3 | 1,1 | 50 |
| 109 | 8,5 | 6,8 | 1,8 | 2,8 | 34,05 | 14,8 | 2,5 | 2,1 | 27 | 44 | 29 | 2,2 | 1,1 | 50 |
| 110 | 8,3 | 6,8 | 1,8 | 3,0 | 32,82 | 13,6 | 2,4 | 2,2 | 24 | 56 | 20 | 2,2 | 1,1 | 50 |
| Prom. | 8,2 | 6,9 | 1,9 | 2,8 | 33,8 | 13,2 | 2,8 | 3,0 | 31,0 | 44,3 | 24,7 | 2,2 | 1,1 | 49,8 |
| G.I. | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 10,8 | 3,6 | 0,4 | 1,9 | 5,3 | 4,8 | 3,8 | 0,1 | 0,0 | 2,0 |

Tabla 12: Recolección en Octubre de 1999 Riego con Agua blanca

| Muestra | pH Agua | pH KCl | C.E. dS/m | M.O. % | Intercambiables | | | | Textura | | | D.R. | D.A | P |
|---------|---------|--------|-----------|--------|-----------------|------|-----|-----|---------|------|-------|------|-----|------|
| | | | | | Mg | Ca | K | Na | Arcilla | Limo | Arena | | | |
| | | | | | meq/100gr | | | | % | | | | | |
| 111 | 9,1 | 7,3 | 2,7 | 2,3 | 63,6 | 16,5 | 3,3 | 3,6 | 42 | 37 | 21 | 2,2 | 1,1 | 49 |
| 112 | 9,1 | 7,3 | 2,5 | 2,7 | 59,0 | 18,2 | 3,5 | 3,2 | 42 | 38 | 20 | 2,2 | 1,1 | 50 |
| 113 | 9,0 | 7,5 | 3,9 | 3,0 | 57,3 | 25,0 | 3,7 | 4,5 | 38 | 42 | 20 | 2,3 | 1,1 | 53 |
| 114 | 8,9 | 7,4 | 2,3 | 2,7 | 55,0 | 22,1 | 3,5 | 1,9 | 36 | 44 | 20 | 2,0 | 1,1 | 43 |
| 115 | 9,2 | 7,5 | 2,7 | 2,8 | 58,5 | 14,2 | 3,7 | 3,6 | 40 | 38 | 22 | 2,3 | 1,1 | 52 |
| 116 | 8,2 | 7,1 | 1,7 | 2,5 | 30,7 | 18,2 | 3,5 | 2,0 | 35 | 43 | 22 | 2,3 | 1,1 | 51 |
| 117 | 9,2 | 7,5 | 3,0 | 2,7 | 53,4 | 21,6 | 3,5 | 3,3 | 35 | 40 | 25 | 2,3 | 1,1 | 51 |
| 118 | 8,9 | 7,3 | 2,3 | 2,7 | 55,1 | 17,0 | 3,3 | 2,1 | 36 | 38 | 25 | 2,4 | 1,1 | 55 |
| 119 | 8,9 | 7,3 | 2,2 | 2,5 | 55,1 | 16,5 | 3,8 | 2,0 | 38 | 38 | 24 | 2,3 | 1,1 | 52 |
| 120 | 9,1 | 7,4 | 2,7 | 2,6 | 56,8 | 18,7 | 3,6 | 3,8 | 40 | 40 | 20 | 2,3 | 1,1 | 52 |
| Prom. | 8,9 | 7,3 | 2,6 | 2,7 | 64,4 | 18,8 | 3,6 | 3,0 | 38,3 | 39,8 | 22,0 | 2,3 | 1,1 | 60,9 |
| G.I. | 0,3 | 0,1 | 0,6 | 0,2 | 6,8 | 3,2 | 0,1 | 0,9 | 2,7 | 2,4 | 2,2 | 0,1 | 0,0 | 3,0 |

Metales pesados biodisponibles

Tabla 13: Riego con agua negra, recolección Diciembre de 1998

| Muestra | Fe | Cu | Zn | Mn | Cr | Cd | Ni | Pb |
|---------|--------------------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| | mgkg ⁻¹ | | | | | | | |
| 1 | 7,1 | 6,2 | 17,3 | 12,1 | 0,1 | 0,3 | 1,6 | 4,5 |
| 2 | 6,7 | 6,2 | 30,0 | 8,5 | 0,1 | 0,3 | 1,2 | 4,3 |
| 3 | 6,6 | 5,8 | 14,8 | 7,9 | 0,1 | 0,3 | 1,3 | 4,0 |
| 4 | 7,6 | 7,8 | 20,8 | 35,1 | 0,1 | 0,4 | 2,6 | 6,2 |
| 5 | 12,8 | 8,6 | 27,0 | 25,1 | 0,1 | 0,4 | 2,7 | 6,6 |
| 6 | 11,7 | 11,5 | 40,8 | 26,8 | 0,1 | 0,1 | 0,4 | 0,8 |
| 7 | 14,9 | 9,4 | 42,4 | 16,2 | 0,1 | 0,5 | 2,3 | 7,2 |
| 8 | 19,5 | 13,9 | 48,2 | 17,7 | 0,1 | 0,5 | 3,2 | 7,6 |
| 9 | 20,4 | 16,6 | 44,8 | 13,2 | 0,1 | 0,7 | 2,4 | 8,9 |
| 10 | 17,4 | 16,9 | 53,6 | 11,5 | 0,1 | 0,8 | 3,1 | 9,2 |
| Prom. | 12,6 | 10,5 | 34,0 | 17,4 | 0,1 | 0,4 | 2,1 | 6,9 |
| G.I. | 6,1 | 4,4 | 13,1 | 8,4 | 0,0 | 0,2 | 0,9 | 2,4 |

Tabla 14: Riego con agua blanca, recolección Diciembre de 1998

| Muestra | Fe | Cu | Zn | Mn | Cr | Cd | Ni | Pb |
|---------|--------------------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| | mgkg ⁻¹ | | | | | | | |
| 11 | 3,6 | 3,9 | 3,5 | 13,1 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 2,8 |
| 12 | 4,9 | 4,9 | 3,1 | 33,9 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 1,9 |
| 13 | 2,0 | 1,3 | 2,4 | 14,8 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 0,7 |
| 14 | 3,2 | 1,5 | 3,2 | 8,9 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 2,4 |
| 15 | 3,1 | 1,6 | 3,1 | 17,3 | 0,1 | 0,1 | 0,6 | 1,9 |
| 16 | 2,6 | 1,0 | 2,4 | 11,1 | 0,1 | 0,1 | 0,4 | 2,2 |
| 17 | 2,8 | 1,2 | 2,6 | 8,6 | 0,1 | 0,1 | 0,4 | 2,3 |
| 18 | 2,4 | 1,2 | 2,3 | 12,8 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 1,9 |
| 19 | 2,1 | 1,0 | 1,9 | 7,9 | 0,1 | 0,1 | 0,4 | 1,4 |
| 20 | 2,4 | 1,1 | 2,0 | 10,4 | 0,1 | 0,2 | 0,5 | 1,9 |
| Prom. | 2,9 | 1,9 | 2,7 | 13,9 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 1,9 |
| G.I. | 0,8 | 1,3 | 0,5 | 7,2 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,6 |

Tabla 15: Riego con agua negra, recolección Febrero de 1999

| Muestra | Fe | Cu | Zn | Mn | Cr | Cd | Ni | Pb |
|---------|--------------------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| | mgkg ⁻¹ | | | | | | | |
| 21 | 3,8 | 5,3 | 26,0 | 8,4 | 0,1 | 0,0 | 0,2 | 3,2 |
| 22 | 4,3 | 5,8 | 16,2 | 16,1 | 0,1 | 0,3 | 0,3 | 4,2 |
| 23 | 4,8 | 5,7 | 0,4 | 11,8 | 0,1 | 0,4 | 1,4 | 4,3 |
| 24 | 10,4 | 10,4 | 32,4 | 11,9 | 0,1 | 0,8 | 2,2 | 6,7 |
| 25 | 6,5 | 8,0 | 31,2 | 19,5 | 0,1 | 0,4 | 2,1 | 4,5 |
| 26 | 3,3 | 5,8 | 15,4 | 8,2 | 0,1 | 0,3 | 1,1 | 4,5 |
| 27 | 11,9 | 12,9 | 20,6 | 15,4 | 0,1 | 0,6 | 2,7 | 6,5 |
| 28 | 8,2 | 8,1 | 37,4 | 22,5 | 0,1 | 0,4 | 2,1 | 4,7 |
| 29 | 8,3 | 8,6 | 26,2 | 15,1 | 0,1 | 0,4 | 2,0 | 5,7 |
| 30 | 9,0 | 11,5 | 33,0 | 10,0 | 0,1 | 0,5 | 1,9 | 5,6 |
| Prom. | 7,1 | 8,2 | 23,9 | 13,9 | 0,1 | 0,4 | 1,6 | 5,0 |
| G.I. | 2,8 | 2,8 | 10,6 | 4,8 | 0,0 | 0,2 | 0,8 | 1,0 |

Tabla 16: Riego con agua blanca, recolección Febrero de 1999

| Muestra | Fe | Cu | Zn | Mn | Cr | Cd | Ni | Pb |
|---------|--------------------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| | mgkg ⁻¹ | | | | | | | |
| 31 | 3,6 | 3,9 | 1,8 | 14,7 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 1,4 |
| 32 | 4,9 | 4,9 | 3,6 | 27,5 | 0,1 | 0,1 | 0,6 | 2,0 |
| 33 | 2,1 | 2,4 | 3,9 | 10,7 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 2,4 |
| 34 | 1,3 | 1,1 | 1,9 | 6,1 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 1,8 |
| 35 | 1,4 | 1,2 | 2,2 | 5,4 | 0,1 | 0,1 | 0,4 | 2,0 |
| 36 | 1,2 | 1,2 | 2,3 | 4,5 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 2,6 |
| 37 | 1,6 | 0,8 | 1,6 | 20,5 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 1,6 |
| 38 | 1,0 | 0,9 | 1,9 | 2,7 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 1,5 |
| 39 | 0,8 | 1,1 | 2,1 | 5,4 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 1,5 |
| 40 | 1,0 | 1,2 | 2,2 | 6,5 | 0,1 | 0,1 | 0,4 | 1,2 |
| Prom. | 1,9 | 1,9 | 2,4 | 10,4 | 0,1 | 0,1 | 0,4 | 1,8 |
| G.I. | 1,3 | 1,2 | 0,7 | 7,7 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,4 |

Metales pesados biodisponibles

Tabla 17: Riego con agua negra, recolección abril de 1999

| Muestra | Fe | Cu | Zn | Mn | Cr | Cd | Ni | Pb |
|---------|--------------------|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|
| | mgkg ⁻¹ | | | | | | | |
| 41 | 4,8 | 2,3 | 8,7 | 87,7 | 0,0 | 0,2 | 3,0 | 2,1 |
| 42 | 3,2 | 1,5 | 4,8 | 7,9 | 0,0 | 0,1 | 0,7 | 1,3 |
| 43 | 3,7 | 1,5 | 4,3 | 7,4 | 0,0 | 0,1 | 0,7 | 1,2 |
| 44 | 4,1 | 2,1 | 8,5 | 77,5 | 0,0 | 0,3 | 3,6 | 2,1 |
| 45 | 1,9 | 1,2 | 3,8 | 4,5 | 0,0 | 0,1 | 0,5 | 1,0 |
| 46 | 4,0 | 1,6 | 6,0 | 8,1 | 0,0 | 0,1 | 0,8 | 1,4 |
| 47 | 4,7 | 2,3 | 7,3 | 7,5 | 0,0 | 0,1 | 0,8 | 1,6 |
| 48 | 8,0 | 3,4 | 10,3 | 10,1 | 0,0 | 0,2 | 1,1 | 2,1 |
| 49 | 4,3 | 2,5 | 8,2 | 7,5 | 0,0 | 0,2 | 0,8 | 1,3 |
| 50 | 4,9 | 2,9 | 13,7 | 82,9 | 0,0 | 0,3 | 3,6 | 2,1 |
| Prom. | 4,4 | 2,1 | 7,6 | 30,1 | 0,0 | 0,2 | 1,5 | 1,6 |
| G.I. | 1,5 | 0,7 | 2,9 | 34,5 | 0,0 | 0,1 | 1,2 | 0,4 |

Tabla 18: Riego con agua blanca, recolección abril de 1999

| Muestra | Fe | Cu | Zn | Mn | Cr | Cd | Ni | Pb |
|---------|--------------------|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|
| | mgkg ⁻¹ | | | | | | | |
| 51 | 1,0 | 0,4 | 0,9 | 5,9 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,6 |
| 52 | 1,7 | 0,8 | 1,6 | 113,0 | 0,0 | 0,1 | 0,4 | 1,2 |
| 53 | 1,6 | 0,7 | 2,2 | 79,6 | 0,0 | 0,1 | 0,7 | 1,4 |
| 54 | 1,3 | 0,4 | 1,0 | 5,8 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,7 |
| 55 | 1,5 | 0,4 | 0,9 | 5,8 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,6 |
| 56 | 1,4 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 57 | 1,5 | 0,3 | 0,9 | 4,4 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,5 |
| 58 | 1,7 | 0,2 | 1,4 | 17,3 | 0,0 | 0,1 | 0,4 | 0,8 |
| 59 | 1,3 | 0,4 | 0,8 | 6,1 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,5 |
| 60 | 1,5 | 0,3 | 0,8 | 9,1 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,5 |
| Prom. | 1,4 | 0,4 | 1,1 | 24,7 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,7 |
| G.I. | 0,2 | 0,2 | 0,6 | 36,8 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,4 |

Tabla 19: Riego con agua negra, recolección junio de 1999

| Muestra | Fe | Cu | Zn | Mn | Cr | Cd | Ni | Pb |
|---------|--------------------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| | mgkg ⁻¹ | | | | | | | |
| 61 | 3,7 | 1,3 | 4,1 | 14,1 | 0,0 | 0,1 | 1,0 | 1,2 |
| 62 | 2,3 | 1,5 | 4,0 | 7,8 | 0,0 | 0,1 | 0,7 | 1,2 |
| 63 | 3,4 | 1,7 | 5,2 | 10,1 | 0,0 | 0,1 | 0,9 | 1,3 |
| 64 | 3,2 | 1,9 | 5,5 | 10,0 | 0,0 | 0,1 | 1,0 | 1,3 |
| 65 | 3,6 | 2,0 | 5,3 | 7,0 | 0,0 | 0,1 | 0,7 | 1,3 |
| 66 | 4,3 | 2,6 | 7,3 | 10,2 | 0,0 | 0,1 | 1,0 | 1,8 |
| 67 | 4,7 | 2,8 | 8,5 | 16,3 | 0,0 | 0,2 | 1,4 | 1,9 |
| 68 | 4,7 | 3,1 | 9,7 | 10,7 | 0,0 | 0,2 | 1,2 | 1,7 |
| 69 | 4,7 | 3,0 | 9,3 | 12,2 | 0,0 | 0,2 | 1,3 | 1,9 |
| 70 | 4,2 | 2,6 | 8,4 | 16,3 | 0,0 | 0,2 | 1,3 | 1,9 |
| Prom. | 3,8 | 2,2 | 6,7 | 11,5 | 0,0 | 0,1 | 1,0 | 1,6 |
| G.I. | 0,7 | 0,6 | 2,1 | 3,1 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,3 |

Tabla 20: Riego con agua blanca, recolección junio de 1999

| Muestra | Fe | Cu | Zn | Mn | Cr | Cd | Ni | Pb |
|---------|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | mgkg ⁻¹ | | | | | | | |
| 71 | 1,0 | 0,4 | 0,8 | 6,6 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,5 |
| 72 | 1,1 | 0,4 | 1,0 | 6,6 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,7 |
| 73 | 0,9 | 0,4 | 1,1 | 4,9 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,8 |
| 74 | 0,8 | 0,4 | 1,0 | 8,9 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,7 |
| 75 | 1,1 | 0,4 | 0,9 | 8,6 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,6 |
| 76 | 1,1 | 0,3 | 0,6 | 4,3 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,5 |
| 77 | 1,0 | 0,3 | 0,8 | 5,7 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,5 |
| 78 | 0,9 | 0,5 | 0,8 | 5,7 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,5 |
| 79 | 1,0 | 0,3 | 0,7 | 5,0 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,4 |
| 80 | 1,0 | 0,3 | 0,8 | 6,8 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,5 |
| Prom. | 1,0 | 0,4 | 0,8 | 6,3 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,5 |
| G.I. | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 1,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 |

Metales pesados biodisponibles

Tabla 21: Riego con agua negra, recolección agosto de 1999

| Muestra | Fe | Cu | Zn | Mn | Cr | Cd | Ni | Pb |
|---------|--------------------|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|
| | mgkg ⁻¹ | | | | | | | |
| 81 | 3,4 | 1,7 | 4,5 | 17,5 | 0,0 | 0,1 | 1,3 | 1,3 |
| 82 | 2,0 | 1,4 | 4,0 | 8,1 | 0,0 | 0,1 | 0,8 | 0,8 |
| 83 | 3,0 | 1,7 | 4,6 | 10,8 | 0,0 | 0,1 | 0,9 | 0,9 |
| 84 | 3,0 | 2,0 | 5,4 | 8,3 | 0,0 | 0,1 | 0,8 | 0,8 |
| 85 | 2,3 | 1,8 | 5,0 | 7,7 | 0,0 | 0,1 | 0,8 | 0,8 |
| 86 | 5,2 | 3,0 | 8,7 | 3,1 | 0,0 | 0,1 | 1,5 | 1,5 |
| 87 | 5,3 | 3,1 | 9,2 | 15,4 | 0,0 | 0,1 | 1,5 | 1,5 |
| 88 | 5,5 | 3,8 | 11,5 | 12,9 | 0,0 | 0,2 | 1,3 | 1,3 |
| 89 | 4,0 | 3,4 | 9,9 | 10,6 | 0,0 | 0,2 | 1,0 | 1,0 |
| 90 | 4,5 | 3,5 | 10,4 | 10,4 | 0,0 | 0,2 | 1,1 | 1,1 |
| Prom. | 3,8 | 2,5 | 7,3 | 10,6 | 0,0 | 0,1 | 1,1 | 1,1 |
| G.I. | 1,2 | 0,9 | 2,7 | 3,9 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,3 |

Tabla 22: Riego con agua blanca, recolección agosto de 1999

| Muestra | Fe | Cu | Zn | Mn | Cr | Cd | Ni | Pb |
|---------|--------------------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| | mgkg ⁻¹ | | | | | | | |
| 91 | 1,0 | 0,5 | 1,0 | 9,8 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,2 |
| 92 | 0,9 | 0,5 | 1,1 | 8,3 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,2 |
| 93 | 3,5 | 0,5 | 1,0 | 11,8 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,2 |
| 94 | 0,8 | 0,4 | 0,9 | 10,7 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,3 |
| 95 | 0,5 | 0,4 | 1,0 | 12,4 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,2 |
| 96 | 0,6 | 0,3 | 0,7 | 2,4 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 |
| 97 | 0,5 | 0,2 | 0,6 | 2,1 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,2 |
| 98 | 0,6 | 0,3 | 0,6 | 1,9 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 |
| 99 | 0,6 | 0,3 | 0,7 | 2,3 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,2 |
| 100 | 0,8 | 0,3 | 0,6 | 2,1 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,2 |
| Prom. | 1,0 | 0,4 | 0,8 | 6,4 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,2 |
| G.I. | 0,9 | 0,1 | 0,2 | 4,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Tabla 23: Riego con agua negra, recolección octubre de 1999

| Muestra | Fe | Cu | Zn | Mn | Cr | Cd | Ni | Pb |
|---------|--------------------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| | mgkg ⁻¹ | | | | | | | |
| 181 | 2,8 | 1,4 | 3,9 | 2,3 | 0,0 | 0,1 | 1,0 | 1,0 |
| 182 | 1,3 | 0,5 | 1,2 | 10,3 | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 5,2 |
| 183 | 2,1 | 1,4 | 4,1 | 1,9 | 0,0 | 0,1 | 0,8 | 0,8 |
| 184 | 2,9 | 1,4 | 4,0 | 1,7 | 0,0 | 0,1 | 0,8 | 0,8 |
| 185 | 3,3 | 1,7 | 4,7 | 2,0 | 0,0 | 0,1 | 0,9 | 0,9 |
| 186 | 3,2 | 1,8 | 4,9 | 0,8 | 0,0 | 0,1 | 0,8 | 0,8 |
| 187 | 3,4 | 2,3 | 6,9 | 0,8 | 0,0 | 0,2 | 0,9 | 0,9 |
| 188 | 3,7 | 2,3 | 7,1 | 0,8 | 0,0 | 0,2 | 0,8 | 0,8 |
| 189 | 3,1 | 2,4 | 7,3 | 0,4 | 0,0 | 0,2 | 0,6 | 0,6 |
| 190 | 4,1 | 2,9 | 9,1 | 0,8 | 0,0 | 0,2 | 0,9 | 0,9 |
| Prom. | 3,0 | 1,8 | 6,3 | 2,2 | 0,0 | 0,1 | 0,7 | 1,2 |
| G.I. | 0,8 | 0,7 | 2,2 | 2,8 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 1,3 |

Tabla 24: Riego con agua blanca, recolección octubre de 1999

| Muestra | Fe | Cu | Zn | Mn | Cr | Cd | Ni | Pb |
|---------|--------------------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| | mgkg ⁻¹ | | | | | | | |
| 111 | 1,3 | 0,5 | 1,2 | 1,7 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,3 |
| 112 | 1,2 | 0,6 | 1,1 | 1,7 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,3 |
| 113 | 1,1 | 0,5 | 1,2 | 1,6 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,3 |
| 114 | 1,6 | 0,5 | 1,2 | 1,6 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,3 |
| 115 | 1,7 | 0,5 | 1,1 | 1,1 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,2 |
| 116 | 6,3 | 1,7 | 9,2 | 93,6 | 0,0 | 0,3 | 3,3 | 1,8 |
| 117 | 1,5 | 0,7 | 1,6 | 21,3 | 0,0 | 0,1 | 0,4 | 1,0 |
| 118 | 1,3 | 0,4 | 1,1 | 22,5 | 0,0 | 0,0 | 0,4 | 0,6 |
| 119 | 1,7 | 0,6 | 1,4 | 27,6 | 0,0 | 0,0 | 0,4 | 0,9 |
| 120 | 1,6 | 0,6 | 1,2 | 15,0 | 0,0 | 0,1 | 0,4 | 0,8 |
| Prom. | 1,9 | 0,7 | 2,0 | 18,8 | 0,0 | 0,1 | 0,6 | 0,6 |
| G.I. | 1,5 | 0,4 | 1,4 | 26,8 | 0,0 | 0,1 | 0,9 | 0,6 |

Tabla 37: Muestras de Diciembre de 1986, suelo regado con aguas residuales

| Muestra | Hemiptera | | | Collembola | | | Hemiptera | | | Isotoma | | | Entomobrya | | | Sminthuridae | | Oxyechinidae | | Kribia | |
|-------------------|-------------|--------------|---------|------------|---------|---------------|-----------|------------------|------------------|-----------|------------|--------------|------------|------------|---------------|------------------|------------|--------------|------------|---------|--|
| | Macroscelus | Ceratophylla | Xenylla | Sminthurus | Xenylla | Branchiostoma | Fraxea | Pseudosminthurus | Pseudosminthurus | Falsipoda | Protonotus | Cryptosiphon | Entomobrya | Sminthurus | Lepidocryptus | Pseudosminthurus | Sminthurus | Falsipoda | Sminthurus | Isotoma | |
| 1 | 3 | 44 | 23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 81 | 46 | 5 | 8 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 3 | 0 | 0 | 78 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 34 | 13 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 52 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 5 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 13 | 0 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 6 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 13 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 7 | 0 | 0 | 21 | 0 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 18 | 4 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 8 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 9 | 45 | 0 | 16 | 0 | 1 | 0 | 0 | | |
| 9 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 10 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 28 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Total per especie | 3 | 45 | 128 | 2 | 3 | 1 | 1 | 0 | 6 | 1 | 8 | 123 | 223 | 5 | 27 | 15 | 1 | 0 | 0 | 0 | |

Total de Familias 7

Total de Géneros 18

Total de organismos 613

Tabla 38: Muestras de diciembre de 1986, suelo regado con aguas blancas

| Muestra | Hemiptera | | | Collembola | | | Hemiptera | | | Isotoma | | | Entomobrya | | | Sminthuridae | | Oxyechinidae | | Kribia | |
|-------------------|-------------|--------------|---------|------------|---------|---------------|-----------|------------------|------------------|-----------|------------|--------------|------------|------------|---------------|------------------|------------|--------------|------------|---------|--|
| | Macroscelus | Ceratophylla | Xenylla | Sminthurus | Xenylla | Branchiostoma | Fraxea | Pseudosminthurus | Pseudosminthurus | Falsipoda | Protonotus | Cryptosiphon | Entomobrya | Sminthurus | Lepidocryptus | Pseudosminthurus | Sminthurus | Falsipoda | Sminthurus | Isotoma | |
| 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 0 | 13 | 0 | 2 | 75 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Total per especie | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5 | 0 | 25 | 0 | 2 | 81 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

Total de Familias 2

Total de Géneros 4

Total de organismos 111

Tabla 39: Muestras de febrero de 1986, suelo regado con aguas residuales

| Muestra | Hemiptera | | | Collembola | | | Hemiptera | | | Isotoma | | | Entomobrya | | | Sminthuridae | | Oxyechinidae | | Kribia | |
|-------------------|-------------|--------------|---------|------------|---------|---------------|-----------|------------------|------------------|-----------|------------|--------------|------------|------------|---------------|------------------|------------|--------------|------------|---------|--|
| | Macroscelus | Ceratophylla | Xenylla | Sminthurus | Xenylla | Branchiostoma | Fraxea | Pseudosminthurus | Pseudosminthurus | Falsipoda | Protonotus | Cryptosiphon | Entomobrya | Sminthurus | Lepidocryptus | Pseudosminthurus | Sminthurus | Falsipoda | Sminthurus | Isotoma | |
| 21 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 22 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 23 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 0 | 0 | | |
| 24 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 229 | 12 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 25 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 27 | 0 | 0 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 6 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | | |
| 28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 12 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 30 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Total per especie | 0 | 2 | 28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 255 | 43 | 10 | 0 | 3 | 4 | 3 | 0 | 0 | 0 | |

Total de Familias 5

Total de Géneros 19

Total de organismos 352

Tabla 40: Muestras de febrero de 1986, suelo regado con aguas blancas

| Muestra | Hemiptera | | | Collembola | | | Hemiptera | | | Isotoma | | | Entomobrya | | | Sminthuridae | | Oxyechinidae | | Kribia | |
|-------------------|-------------|--------------|---------|------------|---------|---------------|-----------|------------------|------------------|-----------|------------|--------------|------------|------------|---------------|------------------|------------|--------------|------------|---------|--|
| | Macroscelus | Ceratophylla | Xenylla | Sminthurus | Xenylla | Branchiostoma | Fraxea | Pseudosminthurus | Pseudosminthurus | Falsipoda | Protonotus | Cryptosiphon | Entomobrya | Sminthurus | Lepidocryptus | Pseudosminthurus | Sminthurus | Falsipoda | Sminthurus | Isotoma | |
| 31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 42 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 34 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 36 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 77 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 37 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 38 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 39 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 40 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 39 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Total per especie | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 228 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

Total de Familias 1

Total de Géneros 1

Total de organismos 228

Colombos

Tabla 41: Muestras de abril de 1996, suela mojada con aguas residuales

| Muestra | Haptophyta | | | Ciliata | | Branchiostoma | | Nematoda | | | Isotoma | | | Entomobryota | | Sminthuridae | | Collembola | | Nematoda | |
|---------------------|------------|-------------|------------|-----------|-----------|---------------|---------------|----------|------------|----------------|----------|-------------|--------------|--------------|------------|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Haptophyta | Ceratophyta | Leptophyta | Schmidtea | Leptothoe | Branchiostoma | Branchiostoma | Fraxea | Magdalenae | Pseudochironus | Polysoma | Praxinosoma | Cryptosporus | Entomobrya | Sminthurus | Leptochironus | Sminthurus | Collembola | Collembola | Collembola | Collembola |
| 41 | 1 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 36 | 53 | 0 | 0 | 1 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | |
| 42 | 0 | 0 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 273 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 24 | 0 | 0 | 0 | |
| 43 | 6 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 44 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 57 | 43 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 45 | 4 | 0 | 31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 123 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | |
| 46 | 11 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 188 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | |
| 47 | 3 | 0 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 254 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | |
| 48 | 179 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 155 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 49 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 95 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| 50 | 58 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 220 | 73 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | |
| Total por muestra | 269 | 0 | 87 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1325 | 128 | 3 | 0 | 1 | 1 | 0 | 58 | 0 | 0 | |
| Total de Familias | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Total de Géneros | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Total de organismos | 269 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabla 42: Muestras de abril de 1996, suela mojada con aguas blancas

| Muestra | Haptophyta | | | Ciliata | | Branchiostoma | | Nematoda | | | Isotoma | | | Entomobryota | | Sminthuridae | | Collembola | | Nematoda | |
|---------------------|------------|-------------|------------|-----------|-----------|---------------|---------------|----------|------------|----------------|----------|-------------|--------------|--------------|------------|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Haptophyta | Ceratophyta | Leptophyta | Schmidtea | Leptothoe | Branchiostoma | Branchiostoma | Fraxea | Magdalenae | Pseudochironus | Polysoma | Praxinosoma | Cryptosporus | Entomobrya | Sminthurus | Leptochironus | Sminthurus | Collembola | Collembola | Collembola | Collembola |
| 51 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 52 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 53 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 54 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 55 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 56 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 57 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 59 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total por muestra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total de Familias | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Total de Géneros | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Total de organismos | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabla 43: Muestras de junio de 1996, suela mojada con aguas residuales

| Muestra | Haptophyta | | | Ciliata | | Branchiostoma | | Nematoda | | | Isotoma | | | Entomobryota | | Sminthuridae | | Collembola | | Nematoda | |
|---------------------|------------|-------------|------------|-----------|-----------|---------------|---------------|----------|------------|----------------|----------|-------------|--------------|--------------|------------|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Haptophyta | Ceratophyta | Leptophyta | Schmidtea | Leptothoe | Branchiostoma | Branchiostoma | Fraxea | Magdalenae | Pseudochironus | Polysoma | Praxinosoma | Cryptosporus | Entomobrya | Sminthurus | Leptochironus | Sminthurus | Collembola | Collembola | Collembola | Collembola |
| 61 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 175 | 27 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 62 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 63 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 52 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 64 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 81 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | |
| 65 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | |
| 66 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 46 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | |
| 67 | 1 | 0 | 39 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 106 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| 68 | 3 | 0 | 10 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 250 | 68 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | |
| 69 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 56 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 12 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 0 | |
| Total por muestra | 48 | 0 | 57 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 5 | 783 | 128 | 6 | 0 | 4 | 3 | 21 | 0 | 0 | 0 | |
| Total de Familias | 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Total de Géneros | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Total de organismos | 1833 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabla 44: Muestras de junio de 1996, suela mojada con aguas blancas

| Muestra | Haptophyta | | | Ciliata | | Branchiostoma | | Nematoda | | | Isotoma | | | Entomobryota | | Sminthuridae | | Collembola | | Nematoda | |
|---------------------|------------|-------------|------------|-----------|-----------|---------------|---------------|----------|------------|----------------|----------|-------------|--------------|--------------|------------|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Haptophyta | Ceratophyta | Leptophyta | Schmidtea | Leptothoe | Branchiostoma | Branchiostoma | Fraxea | Magdalenae | Pseudochironus | Polysoma | Praxinosoma | Cryptosporus | Entomobrya | Sminthurus | Leptochironus | Sminthurus | Collembola | Collembola | Collembola | Collembola |
| 71 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| 72 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 73 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | |
| 74 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| 75 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 76 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 77 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 78 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 13 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 79 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 11 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Total por muestra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 31 | 0 | 6 | 0 | 0 | 8 | 1 | 3 | 0 | 0 | |
| Total de Familias | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Total de Géneros | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Total de organismos | 58 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabla 45: Muestras de agosto de 1988, suelo rojizo con aguas residuales

| Muestra | Histiogrietas | | | | | Hemigranas | | | Isotomidae | | | Entomobryidae | | | | Sminthuridae | | Oxychuridae | | Kahaneidae | |
|-------------------|---------------|---------------|-------|------------|-------------|------------------|---------|--------------|-------------------|----------|------------|---------------|------------|------------|--------------|------------------|------------|-------------|--------------|------------|--|
| | Hypogastrura | Ceratophyscia | Amita | Schoenelia | Amphipsocus | Branchiostemella | Friesia | Megalotarsus | Pseudoschelorhina | Folsomia | Prozostoma | Cryptosargus | Entomobrya | Sminthurus | Lepidocyrtus | Pseudosminthurus | Schaenelia | Tullbergia | Sminthurinus | Isotomurus | |
| 101 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 102 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 103 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 104 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 105 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 106 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 16 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 107 | 37 | 0 | 84 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 38 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 108 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 109 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 110 | 44 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 2 | 36 | 0 | 0 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| Total por muestra | 87 | 0 | 85 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 32 | 157 | 0 | 0 | 6 | 0 | 1 | 0 | 0 | |

Total de Familias 3
Total de Géneros 7
Total de organismos 384

Tabla 46: Muestras de agosto de 1988, suelo rojizo con aguas blancas

| Muestra | Histiogrietas | | | | | Hemigranas | | | Isotomidae | | | Entomobryidae | | | | Sminthuridae | | Oxychuridae | | Kahaneidae | |
|-------------------|---------------|---------------|-------|------------|------------|------------------|---------|--------------|-------------------|----------|------------|---------------|------------|------------|--------------|------------------|------------|-------------|--------------|------------|--|
| | Hypogastrura | Ceratophyscia | Amita | Schoenelia | Xenyllodes | Branchiostemella | Friesia | Megalotarsus | Pseudoschelorhina | Folsomia | Prozostoma | Cryptosargus | Entomobrya | Sminthurus | Lepidocyrtus | Pseudosminthurus | Schaenelia | Tullbergia | Sminthurinus | Isotomurus | |
| 111 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 36 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 112 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 113 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 53 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 114 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| 115 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 6 | 0 | 0 | 20 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| 116 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 12 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| 117 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27 | 0 | 0 | 26 | 0 | 6 | 0 | 0 | |
| 118 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 119 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Total por muestra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 185 | 0 | 0 | 83 | 0 | 8 | 0 | 0 | |

Total de Familias 3
Total de Géneros 4
Total de organismos 263

Tabla 47: Muestras de agosto de 1988, suelo rojizo con aguas residuales

| Muestra | Histiogrietas | | | | | Hemigranas | | | Isotomidae | | | Entomobryidae | | | | Sminthuridae | | Oxychuridae | | Kahaneidae | |
|-------------------|---------------|---------------|-------|------------|------------|------------------|---------|--------------|-------------------|----------|------------|---------------|------------|------------|--------------|------------------|------------|-------------|--------------|------------|--|
| | Hypogastrura | Ceratophyscia | Amita | Schoenelia | Xenyllodes | Branchiostemella | Friesia | Megalotarsus | Pseudoschelorhina | Folsomia | Prozostoma | Cryptosargus | Entomobrya | Sminthurus | Lepidocyrtus | Pseudosminthurus | Schaenelia | Tullbergia | Sminthurinus | Isotomurus | |
| 121 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 122 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | |
| 123 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| 124 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 8 | 2 | |
| 125 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | |
| 126 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 127 | 1 | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 6 | 0 | 35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 12 | 0 | 0 | |
| 128 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| 129 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 12 | 1 | 0 | 0 | 28 | 30 | 3 | 0 | 0 | |
| 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 51 | 1 | 0 | 0 | 5 | 3 | 11 | 0 | 0 | |
| Total por muestra | 1 | 0 | 19 | 0 | 0 | 1 | 0 | 7 | 0 | 10 | 4 | 140 | 2 | 0 | 0 | 42 | 43 | 31 | 8 | 4 | |

Total de Familias 8
Total de Géneros 13
Total de organismos 318

Tabla 48: Muestras de agosto de 1988, suelo rojizo con aguas blancas

| Muestra | Histiogrietas | | | | | Hemigranas | | | Isotomidae | | | Entomobryidae | | | | Sminthuridae | | Oxychuridae | | Kahaneidae | |
|-------------------|---------------|---------------|-------|------------|------------|------------------|---------|--------------|-------------------|----------|------------|---------------|------------|------------|--------------|------------------|------------|-------------|--------------|------------|--|
| | Hypogastrura | Ceratophyscia | Amita | Schoenelia | Xenyllodes | Branchiostemella | Friesia | Megalotarsus | Pseudoschelorhina | Folsomia | Prozostoma | Cryptosargus | Entomobrya | Sminthurus | Lepidocyrtus | Pseudosminthurus | Schaenelia | Tullbergia | Sminthurinus | Isotomurus | |
| 131 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 42 | 0 | 6 | 0 | 1 | 9 | 11 | 10 | 2 | 0 | |
| 132 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 6 | |
| 133 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 3 | 0 | 0 | 34 | 0 | 0 | 0 | 1 | |
| 134 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 135 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | |
| 136 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 0 | 5 | 0 | 0 | 4 | 0 | 2 | 0 | 1 | |
| 137 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 31 | 0 | 5 | 0 | 0 | 9 | 12 | 7 | 0 | 2 | |
| 138 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 3 | |
| 139 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 7 | |
| 140 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22 | 0 | 0 | 21 | 0 | 71 | 0 | 1 | |
| Total por muestra | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 120 | 0 | 67 | 0 | 1 | 80 | 36 | 85 | 2 | 24 | |

Total de Familias 7
Total de Géneros 9
Total de organismos 427

Tabla 49: Análisis de varianza de las variables edafológicas

| Factor | Suma de cuadrados | df | Cuadrado medio | Cociente F | Probabilidad |
|---------------------------------------|-------------------|-----|----------------|------------|--------------|
| pH en agua | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 11.0516 | 1 | 2.21032 | 61.71 | 0.00 |
| Diferencias entre meses | 36.0529 | 5 | 36.0529 | 1006.57 | 0.00 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 1.50236 | 5 | 0.300472 | 8.39 | 0.00 |
| RESIDUO | 3.86831 | 108 | 0.0358177 | | |
| TOTAL (CORR.) | 52.4752 | 119 | | | |
| pH en KCl | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 28.9592 | 1 | 28.9592 | 1308.75 | 0.0000 |
| Diferencias entre meses | 4.42485 | 5 | 0.884971 | 39.99 | 0.0000 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 1.75119 | 5 | 0.350238 | 15.83 | 0.0000 |
| RESIDUO | 2.38975 | 108 | 0.0221273 | | |
| TOTAL (CORR.) | 37.525 | 119 | | | |
| Conductividad eléctrica | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 21.168 | 1 | 21.168 | 71.88 | 0.0000 |
| Diferencias entre meses | 55.5637 | 5 | 11.1127 | 37.74 | 0.0000 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 10.528 | 5 | 2.10561 | 7.15 | 0.0000 |
| RESIDUO | 31.8028 | 108 | 0.294471 | | |
| TOTAL (CORR.) | 119.063 | 119 | | | |
| Materia orgánica | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 3.51803 | 1 | 3.51803 | 11.17 | 0.0011 |
| Diferencias entre meses | 114.777 | 5 | 22.9554 | 72.86 | 0.0000 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 28.8433 | 5 | 5.76866 | 18.31 | 0.0000 |
| RESIDUO | 34.0262 | 108 | 0.315058 | | |
| TOTAL (CORR.) | 181.164 | 119 | | | |
| Calcio intercambiable | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 16555.8 | 1 | 16555.8 | 224.18 | 0.0000 |
| Diferencias entre meses | 3673.0 | 5 | 734.6 | 9.95 | 0.0000 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 1068.51 | 5 | 213.701 | 2.89 | 0.0172 |
| RESIDUO | 7975.69 | 108 | 73.849 | | |
| TOTAL (CORR.) | 29272.9 | 119 | | | |
| Magnesio intercambiable | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 476.885 | 1 | 476.885 | 7.20 | 0.0084 |
| Diferencias entre meses | 180.161 | 5 | 36.0322 | 0.54 | 0.7426 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 205.542 | 5 | 41.1084 | 0.62 | 0.6843 |
| RESIDUO | 7153.73 | 108 | 66.2382 | | |
| TOTAL (CORR.) | 8016.32 | 119 | | | |
| Potasio intercambiable | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 176.314 | 1 | 176.314 | 160.42 | 0.0000 |
| Diferencias entre meses | 334.16 | 5 | 66.832 | 60.81 | 0.0000 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 60.4113 | 5 | 12.0823 | 10.99 | 0.0000 |
| RESIDUO | 118.7 | 108 | 1.09907 | | |
| TOTAL (CORR.) | 689.585 | 119 | | | |

| Factor | Suma de cuadrados | df | Cuadrado medio | Cociente F | Probabilidad |
|---------------------------------------|-------------------|-----|----------------|------------|--------------|
| Sodio intercambiable | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 91.539 | 1 | 91.539 | 155.12 | 0.0000 |
| Diferencias entre meses | 64.015 | 5 | 12.803 | 21.70 | 0.0000 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 25.9494 | 5 | 5.18989 | 8.79 | 0.0000 |
| RESIDUO | 63.7339 | 108 | 0.590129 | | |
| TOTAL (CORR.) | 245.237 | 119 | | | |
| Porosidad | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 6.47872 | 1 | 6.47872 | 1.79 | 0.1841 |
| Diferencias entre meses | 103.175 | 5 | 20.635 | 5.69 | 0.0001 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 20.4193 | 5 | 4.08386 | 1.13 | 0.3509 |
| RESIDUO | 391.609 | 108 | 3.62601 | | |
| TOTAL (CORR.) | 521.682 | 119 | | | |

Tabla 50: Análisis de varianza de los metales pesados intercambiables

| Factor | Suma de cuadrados | df | Cuadrado medio | Cociente F | Probabilidad |
|---------------------------------------|-------------------|-----|----------------|------------|--------------|
| Hierro intercambiable | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 44.4996 | 1 | 44.4996 | 10.85 | 0.0013 |
| Diferencias entre meses | 998.958 | 5 | 199.792 | 48.71 | 0.0000 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 117.782 | 5 | 23.5565 | 5.74 | 0.0001 |
| RESIDUO | 442.957 | 108 | 4.10146 | | |
| TOTAL (CORR.) | 1604.2 | 119 | | | |
| Cobre intercambiable | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 5.71379 | 1 | 5.71379 | 1.98 | 0.1627 |
| Diferencias entre meses | 1110.54 | 5 | 222.108 | 76.82 | 0.0000 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 23.3809 | 5 | 4.67618 | 1.62 | 0.1616 |
| RESIDUO | 312.273 | 108 | 2.89141 | | |
| TOTAL (CORR.) | 1451.91 | 119 | | | |
| Zinc intercambiable | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 126.28 | 1 | 126.28 | 4.38 | 0.0387 |
| Diferencias entre meses | 11280.3 | 5 | 2256.07 | 78.23 | 0.0000 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 414.476 | 5 | 82.8953 | 2.87 | 0.0178 |
| RESIDUO | 3114.7 | 108 | 28.8398 | | |
| TOTAL (CORR.) | 14935.8 | 119 | | | |
| Manganeso intercambiable | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 1380.29 | 1 | 1380.29 | 4.27 | 0.0411 |
| Diferencias entre meses | 2333.45 | 5 | 466.691 | 1.45 | 0.2139 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 3428.28 | 5 | 685.657 | 2.12 | 0.0680 |
| RESIDUO | 34871.6 | 108 | 322.885 | | |
| TOTAL (CORR.) | 42013.6 | 119 | | | |
| Cromo intercambiable | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 0.000069 | 1 | 0.000069 | 2.78 | 0.0986 |
| Diferencias entre meses | 0.212963 | 5 | 0.0425926 | 1713.29 | 0.0000 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 0.000373 | 5 | 0.0000746 | 3.00 | 0.0141 |
| RESIDUO | 0.002685 | 108 | 0.0000249 | | |

| Factor | Suma de cuadrados | df | Cuadrado medio | Cociente F | Probabilidad |
|---------------------------------------|-------------------|------------|----------------|------------|--------------|
| TOTAL (CORR.) | 0.21609 | 119 | | | |
| Cadmio intercambiable | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 0.0030502 | 1 | 0.0030502 | 0.41 | 0.5246 |
| Diferencias entre meses | 1.8833 | 5 | 0.376661 | 50.31 | 0.0000 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 0.015731 | 5 | 0.0031462 | 0.42 | 0.8338 |
| RESIDUO | 0.808562 | 108 | 0.0074867 | | |
| TOTAL (CORR.) | 2.71065 | 119 | | | |
| Níquel intercambiable | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 0.910021 | 1 | 0.910021 | 2.55 | 0.1130 |
| Diferencias entre meses | 38.190 | 5 | 7.63806 | 21.43 | 0.0000 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 2.93736 | 5 | 0.587471 | 1.65 | 0.1535 |
| RESIDUO | 38.4957 | 108 | 0.356442 | | |
| TOTAL (CORR.) | 80.5334 | 119 | | | |
| Plomo intercambiable | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 0.413013 | 1 | 0.413013 | 0.45 | 0.5034 |
| Diferencias entre meses | 342.179 | 5 | 68.4357 | 74.68 | 0.0000 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 5.34776 | 5 | 1.06955 | 1.17 | 0.3301 |
| RESIDUO | 98.9646 | 108 | 0.916339 | | |
| TOTAL (CORR.) | 446.904 | 119 | | | |

Tabla 51: Análisis de varianza de los elementos totales

| Factor | Suma de cuadrados | df | Cuadrado medio | Cociente F | Probabilidad |
|---------------------------------------|--------------------------------|------------|-------------------------|------------|--------------|
| Vanadio total | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 472300.0 | 1 | 472300.0 | 4.29 | 0.0407 |
| Diferencias entre meses | 3.14724 x10 ⁶ | 5 | 629448.0 | 5.72 | 0.0001 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 1.46214 x10 ⁶ | 5 | 292428.0 | 2.66 | 0.0264 |
| RESIDUO | 1.17745 x10 ⁷ | 107 | 110042.0 | | |
| TOTAL (CORR.) | 1.68837 x10⁷ | 118 | | | |
| Cromo total | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 1.8988810 ⁵ | 1 | 1.8988810 ⁵ | 20.10 | 0.0000 |
| Diferencias entre meses | 2.1876910 ⁶ | 5 | 437539.0 | 4.63 | 0.0007 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 1.0029110 ⁶ | 5 | 200582.0 | 2.12 | 0.0682 |
| RESIDUO | 1.0110510 ⁷ | 107 | 94491.0 | | |
| TOTAL (CORR.) | 1.5210710⁷ | 118 | | | |
| Manganeso total | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 6.81278x10 ⁷ | 1 | 6.8128x10 ⁷ | 22.84 | 0.0000 |
| Diferencias entre meses | 5.52128x10 ⁷ | 5 | 1.1042x10 ⁷ | 3.70 | 0.0040 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 4.47687x10 ⁷ | 5 | 8.9537x10 ⁷ | 3.00 | 0.0142 |
| RESIDUO | 3.19159x10 ⁸ | 107 | 2.9828x10 ⁶ | | |
| TOTAL (CORR.) | 4.88304x10⁸ | 118 | | | |
| Cobalto total | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 1.2776 x10 ⁷ | 1 | 1.278 x10 ⁷ | 15.38 | 0.0002 |
| Diferencias entre meses | 1.24545 x10 ⁷ | 5 | 2.491 x10 ⁶ | 3.00 | 0.0143 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 1.26389 x10 ⁷ | 5 | 2.5278 x10 ⁶ | 3.04 | 0.0132 |

| Factor | Suma de cuadrados | df | Cuadrado medio | Cociente F | Probabilidad |
|---------------------------------------|--------------------------|-----|------------------------|------------|--------------|
| RESIDUO | 8.89004 x10 ⁷ | 107 | 830845.0 | | |
| TOTAL (CORR.) | 1.27063 x10 ⁸ | 118 | | | |
| Niquel total | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 58649.7 | 1 | 58649.7 | 4.49 | 0.0365 |
| Diferencias entre meses | 133569.0 | 5 | 26713.9 | 2.04 | 0.0782 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 157210.0 | 5 | 31441.9 | 2.41 | 0.0414 |
| RESIDUO | 1.38494 x10 ⁶ | 106 | 13065.5 | | |
| TOTAL (CORR.) | 1.73506 x10 ⁶ | 117 | | | |
| Cobre total | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 750994.0 | 5 | 150199.0 | 3.58 | 0.0049 |
| Diferencias entre meses | 293574.0 | 1 | 293574.0 | 7.00 | 0.0094 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 361788.0 | 5 | 72357.6 | 1.73 | 0.1348 |
| RESIDUO | 4.48557 x10 ⁶ | 107 | 41921.2 | | |
| TOTAL (CORR.) | 5.89874 x10 ⁶ | 118 | | | |
| Zinc total | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 3.16632 x10 ⁶ | 5 | 633263.0 | 3.98 | 0.0024 |
| Diferencias entre meses | 1.00102 x10 ⁶ | 1 | 1.0010x10 ⁶ | 6.29 | 0.0136 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 1.19555 x10 ⁶ | 5 | 239110.0 | 1.50 | 0.1950 |
| RESIDUO | 1.70224 x10 ⁷ | 107 | 159088.0 | | |
| TOTAL (CORR.) | 2.24065 x10 ⁷ | 118 | | | |
| Arsénico total | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 15886.4 | 5 | 3177.27 | 0.77 | 0.5735 |
| Diferencias entre meses | 3649.47 | 1 | 3649.47 | 0.88 | 0.3492 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 45029.2 | 5 | 9005.84 | 2.18 | 0.0615 |
| RESIDUO | 437439.0 | 106 | 4126.78 | | |
| TOTAL (CORR.) | 499957.0 | 117 | | | |
| Bromo total | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 784336.0 | 5 | 156867.0 | 2.94 | 0.0158 |
| Diferencias entre meses | 433333.0 | 1 | 433333.0 | 8.12 | 0.0052 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 670189.0 | 5 | 134038.0 | 2.51 | 0.0342 |
| RESIDUO | 5.65356 x10 ⁶ | 106 | 53335.4 | | |
| TOTAL (CORR.) | 7.54439 x10 ⁶ | 117 | | | |
| Estroncio total | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 1.09461 x10 ⁷ | 1 | 1.0946x10 ⁷ | 5.97 | 0.0162 |
| Diferencias entre meses | 1.45691 x10 ⁷ | 5 | 2.9138x10 ⁷ | 1.59 | 0.1694 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 1.23958 x10 ⁷ | 5 | 2.4792x10 ⁷ | 1.35 | 0.2484 |
| RESIDUO | 1.98114 x10 ⁸ | 108 | 1.8344x10 ⁷ | | |
| TOTAL (CORR.) | 2.36025 x10 ⁸ | 119 | | | |
| Litrio intercambiable | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 6.78125 x10 ⁶ | 5 | 1.3562x10 ⁶ | 6.89 | 0.0000 |
| Diferencias entre meses | 307547.0 | 1 | 307547.0 | 1.56 | 0.2139 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 7.41638 x10 ⁶ | 5 | 1.4833x10 ⁶ | 7.54 | 0.0000 |
| RESIDUO | 2.12492 x10 ⁷ | 108 | 196752.0 | | |
| TOTAL (CORR.) | 3.57543 x10 ⁷ | 119 | | | |

| Factor | Suma de cuadrados | df | Cuadrado medio | Cociente F | Probabilidad |
|---------------------------------------|--------------------------|-----|------------------------|------------|--------------|
| <i>Zirconio total</i> | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 5.62754 x10 ⁶ | 1 | 5.6275x10 ⁶ | 3.94 | 0.0498 |
| Diferencias entre meses | 8.44788 x10 ⁶ | 5 | 1.6896x10 ⁶ | 1.18 | 0.3228 |
| Interacción entre mcs y tipo de riego | 8.37844 x10 ⁶ | 5 | 1.6757x10 ⁶ | 1.17 | 0.3276 |
| RESIDUO | 1.5294 x10 ⁸ | 107 | 1.4293x10 ⁶ | | |
| TOTAL (CORR.) | 1.75378 x10 ⁸ | 118 | | | |
| <i>Plomo total</i> | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 963917.0 | 1 | 963917.0 | 2.11 | 0.1494 |
| Diferencias entre meses | 1.55829 x10 ⁶ | 5 | 311658.0 | 0.68 | 0.6383 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 1.65007 x10 ⁶ | 5 | 330015.0 | 0.72 | 0.6084 |
| RESIDUO | 4.93762 x10 ⁷ | 108 | 457187.0 | | |
| TOTAL (CORR.) | 5.35484 x10 ⁷ | 119 | | | |

Tabla 52: Análisis de varianza de los géneros del orden Collembola

| Factor | Suma de cuadrados | df | Cuadrado medio | Cociente F | Probabilidad |
|---------------------------------------|-------------------|-----|----------------|------------|--------------|
| <i>Schoettella</i> | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 0.0502895 | 5 | 0.0100579 | 1.00 | 0.4214 |
| Diferencias entre meses | 0.0100579 | 1 | 0.0100579 | 1.00 | 0.3195 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 0.0502895 | 5 | 0.0100579 | 1.00 | 0.4214 |
| RESIDUO | 1.08625 | 108 | 0.0100579 | | |
| TOTAL (CORR.) | 1.19689 | 119 | | | |
| <i>Xenyllodes</i> | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 0.036034 | 1 | 0.036034 | 1.80 | 0.1825 |
| Diferencias entre meses | 0.0840793 | 5 | 0.0168159 | 0.84 | 0.5242 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 0.0840793 | 5 | 0.0168159 | 0.84 | 0.5242 |
| RESIDUO | 2.16204 | 108 | 0.0200189 | | |
| TOTAL (CORR.) | 2.36623 | 119 | | | |
| <i>Branchyostomella</i> | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 0.00400378 | 1 | 0.0040038 | 0.33 | 0.5649 |
| Diferencias entre meses | 0.0840793 | 5 | 0.0168159 | 1.40 | 0.2301 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 0.0200189 | 5 | 0.0040038 | 0.33 | 0.8918 |
| RESIDUO | 1.29722 | 108 | 0.0120113 | | |
| TOTAL (CORR.) | 1.40533 | 119 | | | |
| <i>Friesea</i> | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 0.00400378 | 1 | 0.0040038 | 1.00 | 0.3195 |
| Diferencias entre meses | 0.0200189 | 5 | 0.0040038 | 1.00 | 0.4214 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 0.0200189 | 5 | 0.0040038 | 1.00 | 0.4214 |
| RESIDUO | 0.432408 | 108 | 0.0040038 | | |
| TOTAL (CORR.) | 0.476449 | 119 | | | |
| <i>Sinella</i> | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 0.0267533 | 1 | 0.0267533 | 1.00 | 0.3195 |
| Diferencias entre meses | 0.133767 | 5 | 0.0267533 | 1.00 | 0.4214 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 0.133767 | 5 | 0.0267533 | 1.00 | 0.4214 |
| RESIDUO | 2.88936 | 108 | 0.0267533 | | |

| Factor | Suma de cuadrados | df | Cuadrado medio | Cociente F | Probabilidad |
|---------------------------------------|-------------------|-----|----------------|------------|--------------|
| TOTAL (CORR.) | 3.18365 | 119 | | | |
| <i>Isotomiella</i> | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 0.00598261 | 1 | 0.00598261 | 0.14 | 0.7053 |
| Diferencias entre meses | 0.386213 | 5 | 0.0772426 | 1.86 | 0.1080 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 0.0299131 | 5 | 0.00598261 | 0.14 | 0.9815 |
| RESIDUO | 4.49416 | 108 | 0.0416126 | | |
| TOTAL (CORR.) | 4.91627 | 119 | | | |
| <i>Ceratophysella</i> | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 0.811576 | 5 | 0.162315 | 1.25 | 0.2914 |
| Diferencias entre meses | 0.261186 | 1 | 0.261186 | 2.01 | 0.1591 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 0.811576 | 5 | 0.162315 | 1.25 | 0.2914 |
| RESIDUO | 14.0326 | 108 | 0.129931 | | |
| TOTAL (CORR.) | 15.9169 | 119 | | | |
| <i>Pseudachorutes</i> | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 0.0315547 | 1 | 0.0315547 | 1.00 | 0.3195 |
| Diferencias entre meses | 0.157774 | 5 | 0.0315547 | 1.00 | 0.4214 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 0.157774 | 5 | 0.0315547 | 1.00 | 0.4214 |
| RESIDUO | 3.40791 | 108 | 0.0315547 | | |
| TOTAL (CORR.) | 3.75501 | 119 | | | |
| <i>Xenylla</i> | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 32.1552 | 1 | 32.1552 | 41.71 | 0.0000 |
| Diferencias entre meses | 7.17072 | 5 | 1.43414 | 1.86 | 0.1073 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 7.17072 | 5 | 1.43414 | 1.86 | 0.1073 |
| RESIDUO | 83.264 | 108 | 0.770963 | | |
| TOTAL (CORR.) | 129.761 | 119 | | | |
| <i>Folsomides</i> | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 0.467637 | 1 | 0.467637 | 6.33 | 0.0133 |
| Diferencias entre meses | 0.657916 | 5 | 0.131583 | 1.78 | 0.1228 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 0.750921 | 5 | 0.150184 | 2.03 | 0.0797 |
| RESIDUO | 7.9797 | 108 | 0.0738861 | | |
| TOTAL (CORR.) | 9.85618 | 119 | | | |
| <i>Proisotoma</i> | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 95.1583 | 5 | 19.0317 | 20.37 | 0.0000 |
| Diferencias entre meses | 37.24 | 1 | 37.24 | 39.87 | 0.0000 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 112.571 | 5 | 22.5141 | 24.10 | 0.0000 |
| RESIDUO | 100.884 | 108 | 0.93411 | | |
| TOTAL (CORR.) | 345.853 | 119 | | | |
| <i>Cryptopygus</i> | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 89.4913 | 1 | 89.4913 | 107.58 | 0.0000 |
| Diferencias entre meses | 10.2305 | 5 | 2.04609 | 2.46 | 0.0375 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 10.2305 | 5 | 2.04609 | 2.46 | 0.0375 |
| RESIDUO | 89.8427 | 108 | 0.831877 | | |
| TOTAL (CORR.) | 199.795 | 119 | | | |
| <i>Entomobrya</i> | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 52.7596 | 5 | 10.5519 | 11.37 | 0.0000 |

| Factor | Suma de cuadrados | df | Cuadrado medio | Cociente F | Probabilidad |
|---------------------------------------|-------------------|-----|----------------|------------|--------------|
| Diferencias entre meses | 2.22091 | 1 | 2.22091 | 2.39 | 0.1248 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 50.8702 | 5 | 10.174 | 10.97 | 0.0000 |
| RESIDUO | 99.2806 | 107 | 0.927856 | | |
| TOTAL (CORR.) | 204.283 | 118 | | | |
| <i>Lepidocyrtus</i> | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 0.582782 | 1 | 0.582782 | 5.18 | 0.0248 |
| Diferencias entre meses | 2.86329 | 5 | 0.572659 | 5.09 | 0.0003 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 1.78461 | 5 | 0.356922 | 3.17 | 0.0103 |
| RESIDUO | 12.1433 | 108 | 0.112438 | | |
| TOTAL (CORR.) | 17.374 | 119 | | | |
| <i>Pseudosinella</i> | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 1.12655 | 1 | 1.12655 | 1.54 | 0.2176 |
| Diferencias entre meses | 18.4011 | 5 | 3.68023 | 5.02 | 0.0004 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 3.89913 | 5 | 0.779826 | 1.06 | 0.3840 |
| RESIDUO | 79.099 | 108 | 0.732398 | | |
| TOTAL (CORR.) | 102.526 | 119 | | | |
| <i>Sphaeridia</i> | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 0.0457214 | 1 | 0.0457214 | 0.17 | 0.6827 |
| Diferencias entre meses | 11.3783 | 5 | 2.27566 | 8.36 | 0.0000 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 0.10767 | 5 | 0.021534 | 0.08 | 0.9953 |
| RESIDUO | 29.3859 | 108 | 0.272091 | | |
| TOTAL (CORR.) | 40.9176 | 119 | | | |
| <i>Tullbergia</i> | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 2.05629 | 1 | 2.05629 | 5.05 | 0.0266 |
| Diferencias entre meses | 19.7517 | 5 | 3.95035 | 9.71 | 0.0000 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 12.7854 | 5 | 2.55708 | 6.28 | 0.0000 |
| RESIDUO | 43.9433 | 108 | 0.406882 | | |
| TOTAL (CORR.) | 78.5367 | 119 | | | |
| <i>Sminthurinus</i> | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 0.4141 | 1 | 0.4141 | 6.71 | 0.0109 |
| Diferencias entre meses | 6.01908 | 5 | 1.20382 | 19.51 | 0.0000 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 2.0705 | 5 | 0.4141 | 6.71 | 0.0000 |
| RESIDUO | 6.6628 | 108 | 0.0616926 | | |
| TOTAL (CORR.) | 15.1665 | 119 | | | |
| <i>Hypogastrura</i> | | | | | |
| Diferencias por tipo de riego | 15.29 | 5 | 3.058 | 6.12 | 0.0000 |
| Diferencias entre meses | 13.1579 | 1 | 13.1579 | 26.34 | 0.0000 |
| Interacción entre mes y tipo de riego | 16.128 | 5 | 3.22561 | 6.46 | 0.0000 |
| RESIDUO | 53.9417 | 108 | 0.499461 | | |
| TOTAL (CORR.) | 98.5177 | 119 | | | |

APÉNDICE II

Fig.1, Apéndice II

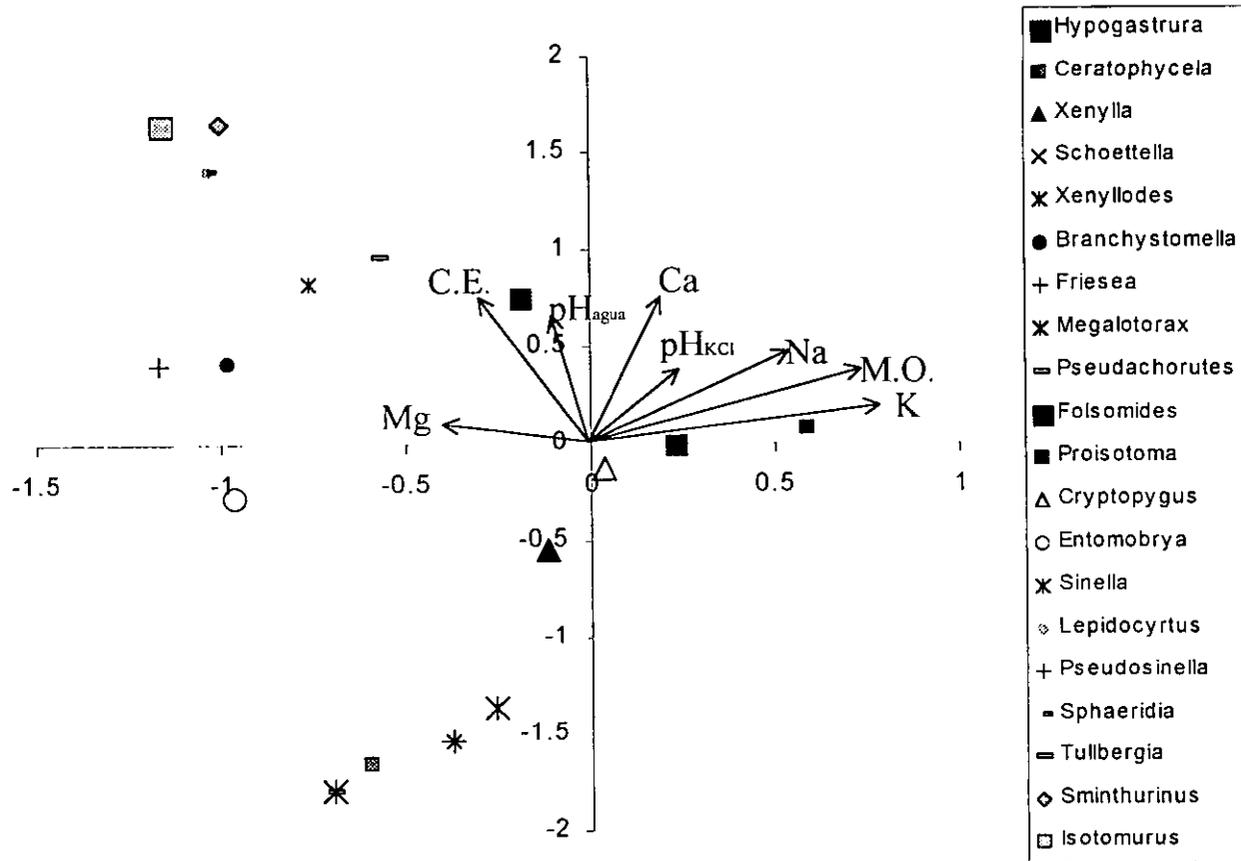


Fig.2, Apéndice II

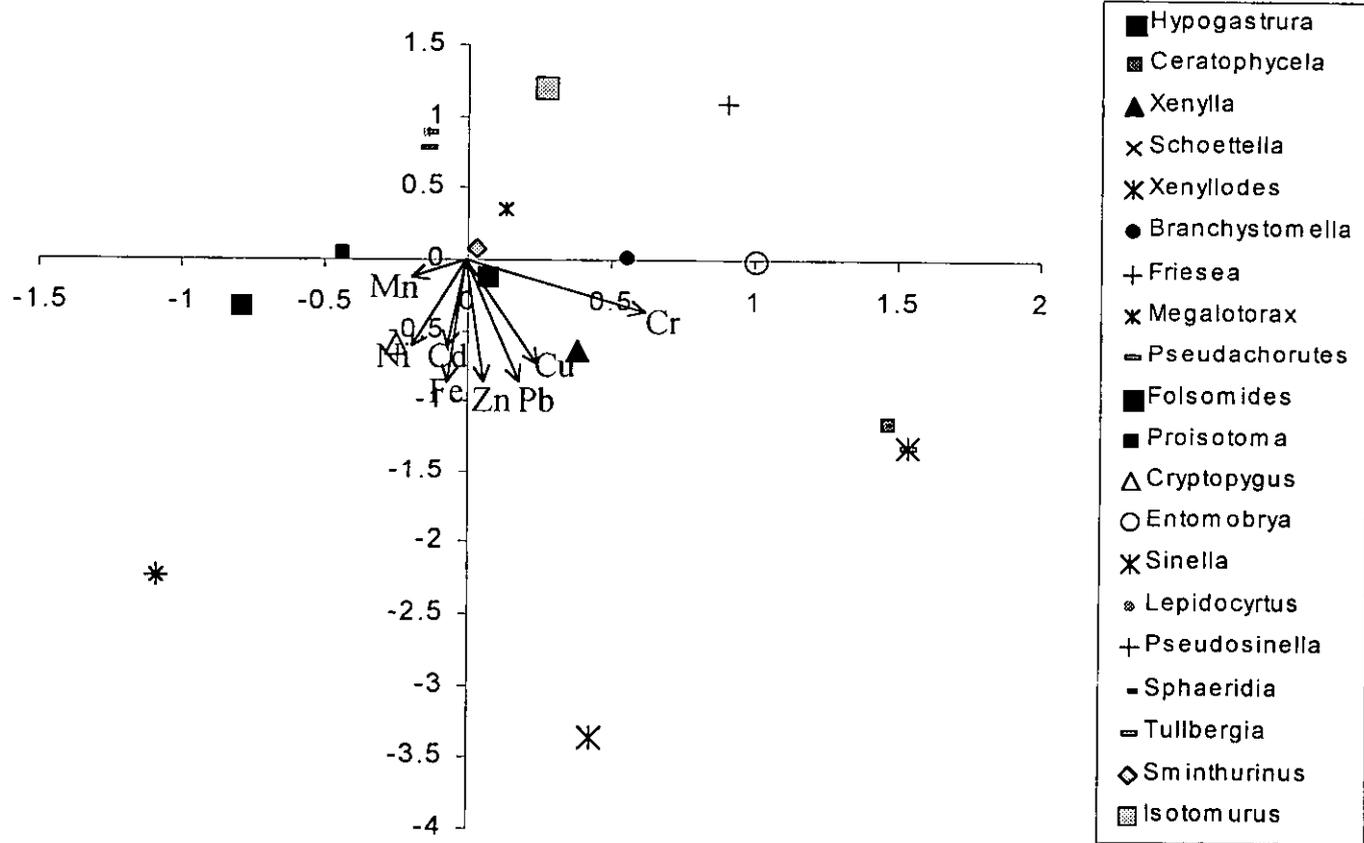


Fig.6, Apéndice II

