



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

---

CAMPUS "IZTACALA"

***CARACTERIZACION FISICOQUIMICA Y  
EVALUACION TOXICOLOGICA UTILIZANDO  
BIOENSAYOS EN AGUA, SUELO Y SEDIMENTO  
DEL DISTRITO DE DESARROLLO RURAL  
063, HIDALGO.***

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

LICENCIADO EN BIOLOGIA

P R E S E N T A N :

**ANIA MENDOZA CANTU**

**GERARDO CORTES MATA**



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.

Dedico este trabajo a mi familia  
y a ti Gerardo porque logramos  
juntos una meta importante.

A mis padres Flora y Porfirio  
y a ti Ania por tu paciencia  
y comprensión.

## AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento al Biol. Daniel Muñoz Iniestra por aceptar la dirección y asesoramiento del presente trabajo.

Al Dr. Julio Flores por brindarnos tan desinteresadamente sus conocimientos y tiempo, sin los cuales este trabajo no habría llegado a un fin exitoso.

Al Dr. Bernard J. Dukta y Alfred Kwan del National Water Research Institute por su asesoría, recomendaciones y comentarios en la interpretación de las pruebas de toxicidad.

A Sara, Isabel, Horacio y Guillermo del Laboratorio de Biología y Bioensayos por su valiosa colaboración y facilidades brindadas para llevar a cabo las pruebas de toxicidad.

Al personal del Laboratorio Central de Calidad Ambiental de la Secretaría de Desarrollo Social y muy especialmente al Ing. Hugo Alcántara, que con su apoyo hizo posible la realización de esta investigación.

Al Biol. Francisco López; Biol. Mario Chávez; Q.F.B. Esperanza Robles y Biol. Guadalupe Oliva por aceptar ser parte de la comisión revisora y jurado del examen profesional.

A la Dirección General de Asuntos del Personal Académico y al Subcomité de Becas del Campus Iztacala por el financiamiento otorgado a la presente.

A todas aquellas personas que de alguna manera contribuyeron a la realización de este trabajo.

# CONTENIDO

	página
INDICE DE CUADROS Y FIGURAS.....	I
RESUMEN.....	1
INTRODUCCION.....	2
JUSTIFICACION.....	4
OBJETIVOS.....	5
MARCO TEORICO.....	6
ANTECEDENTES.....	13
DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.....	18
METODOLOGIA.....	26
SITIOS DE MUESTREO.....	26
MUESTREO.....	27
ANALISIS FISICOQUIMICO.....	28
PRUEBAS DE TOXICIDAD.....	29
ANALISIS ESTADISTICO.....	30
RESULTADOS Y DISCUSION.....	32
PARAMETROS FISICOQUIMICOS.....	33
MUESTRAS DE AGUA.....	33
MUESTRAS DE SUELO.....	48
MUESTRAS DE SEDIMENTO.....	59
BIOENSAYOS.....	67
MUESTRAS DE AGUA.....	67
MUESTRAS DE SUELO.....	73
MUESTRAS DE SEDIMENTO.....	78
ANALISIS ESTADISTICO.....	82
COMPONENTES PRINCIPALES.....	82
CORRELACIONES MULTIPLES.....	83
SITUACION POR GRUPO.....	87
CONCLUSIONES.....	91
RECOMENDACIONES.....	92
BIBLIOGRAFIA.....	93
ANEXOS.....	100
I.- PRUEBAS DE TOXICIDAD.....	100
<i>Daphnia magna</i> .....	101
<i>Panagrellus redivivus</i> .....	111
<i>Spirillum volutans</i> .....	117
II.- TABLAS DE RESULTADOS.....	123
III.- COMPONENTES PRINCIPALES.....	142
IV.- ANALISIS DE CORRELACION MULTIPLE.....	152

# INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

	página
Figura 1. Localización del DDR-063.....	19
Figura 2. Climatogramas.....	21
Figura 3. Ubicación de las estaciones de muestreo.....	26
Cuadro 1. Agrupación de las estaciones de muestreo.....	32
Figura 4. DBO <sub>5</sub> del agua.....	33
Figura 5. S.A.A.M. en el agua.....	35
Figura 6. Imagen de la problemática por el uso de detergentes.....	36
Figura 7. Oxígeno disuelto.....	37
Figura 8. Alcalinidad y Dureza del agua.....	38
Figura 9. Conductividad eléctrica del agua.....	40
Figura 10. Imagen de los manchones de sales en el suelo...	41
Figura 11. pH del agua.....	42
Figura 12. Plomo disuelto.....	43
Figura 13. Cadmio disuelto.....	44
Figura 14. Cromo disuelto.....	45
Figura 15. Cobalto disuelto.....	46
Cuadro 2. Criterios de calidad del agua de riego..... propuestos por Jones & Wolf (1984).....	48
Figura 16. pH del suelo.....	48
Figura 17. Contenido de materia orgánica del suelo.....	50
Figura 18. C.I.C.T. del suelo.....	51
Figura 19. Sodio intercambiable en el suelo.....	52
Figura 20. Plomo extractable del suelo.....	54
Figura 21. Cadmio extractable del suelo.....	56
Figura 22. Cobalto extractable del suelo.....	57
Figura 23. Cromo extractable del suelo.....	58
Figura 24. pH del sedimento.....	59
Figura 25. Contenido de materia orgánica del sedimento....	60
Figura 26. C.I.C.T. del sedimento.....	61
Figura 27. Sodio intercambiable en el sedimento.....	62
Figura 28. Plomo extractable del sedimento.....	63
Figura 29. Cadmio extractable del sedimento.....	64
Figura 30. Cobalto extractable del sedimento.....	65
Figura 31. Cromo extractable del sedimento.....	66
Figura 32. Unidades de toxicidad del agua.....	67
Figura 33. Sobrevivencia y maduración de <i>P. redivivus</i> en.. el agua.....	69
Figura 34. Concentración efectiva máxima del agua.....	70
Cuadro 3. Ponderación tentativa de la respuesta de..... <i>D. magna</i> a extractos y agua natural.....	72
Cuadro 4. Ponderación tentativa de la respuesta de..... <i>P. redivivus</i> a extractos y agua natural.....	72
Cuadro 5. Ponderación tentativa de la respuesta de..... <i>S. volutans</i> a extractos y agua natural.....	72
Figura 35. Toxicidad ponderada del agua.....	73

Figura 36.	Unidades de toxicidad del suelo.....	74
Figura 37.	Sobrevivencia y maduración de <i>P. redivivus</i> en.. el suelo.....	75
Figura 38.	Concentración efectiva máxima del suelo.....	76
Figura 39.	Toxicidad ponderada del suelo.....	77
Figura 40.	Unidades de toxicidad del sedimento.....	78
Figura 41.	Sobrevivencia y maduración de <i>P. redivivus</i> en.. el sedimento.....	79
Figura 42.	Concentración efectiva máxima del sedimento....	80
Figura 43.	Toxicidad ponderada del sedimento.....	81



## RESUMEN

En los últimos años se ha puesto énfasis en la detección de sustancias potencialmente tóxicas para el ambiente y se han desarrollado métodos sofisticados de análisis fisicoquímico, con objeto de detectar y cuantificar dichas sustancias. Estas técnicas generan información valiosa sobre los contaminantes ambientales, pero su alto costo limita su aplicación. Además las muestras a evaluar generalmente contienen mezclas complejas que hacen prácticamente imposible la detección e identificación de los millones de compuestos químicos que pueden estar presentes en el medio y no siempre es posible prever los efectos adversos sobre la biota en los ecosistemas solo con base en datos fisicoquímicos. Una alternativa para determinar dichos efectos es la utilización de pruebas de toxicidad o bioensayos.

El Distrito de Desarrollo Rural 063, enclavado en la región conocida como Valle del Mezquital, es el distrito de riego más grande y antiguo que utiliza aguas negras provenientes de las descargas residuales de la Ciudad de México, las cuales no reciben un tratamiento previo. Su producción de granos, hortalizas y algunos frutales abastecen en buena medida el mercado de la Ciudad de México, siendo un factor de riesgo potencial para la población consumidora. Por consiguiente y bajo esta problemática, es de gran importancia estimar el deterioro que las sustancias tóxicas han ocasionado en dicho distrito.

Se seleccionaron 14 puntos en los que se colectaron muestras de agua, suelo y sedimento que fueron evaluadas fisicoquímicamente y toxicológicamente mediante bioensayos con *Daphnia magna*, *Panagrellus redivivus* y *Spirillum volutans*. El muestreo se efectuó en los meses de marzo, julio y octubre de 1993.

Los resultados fisicoquímicos mostraron que el agua transporta cantidades considerables de sales disueltas, materia orgánica y detergentes. Asimismo, el suelo y sedimento manifestaron una elevada acumulación de sodio intercambiable y metales pesados extractables. Por su parte, los efectos tóxicos cuantificados fueron tanto agudos como crónicos, presentándose los más altos índices de toxicidad en la Presa Endhó, el Río Salado y el Canal Juandhó.

Estos resultados demuestran que el DDR-063 es una zona con un desequilibrio ecológico alarmante, que representa un alto riesgo a la salud humana, si se consideran los fenómenos de bioacumulación y persistencia de los compuestos tóxicos a lo largo de la cadena alimenticia, el uso del agua para consumo humano y el riego de los cultivos.

# INTRODUCCION

El presente siglo se ha caracterizado por un avance extraordinario en la investigación científica, con el consecuente desarrollo de una tecnología cada vez más moderna y eficiente. Sin embargo, este vertiginoso ritmo de crecimiento no ha traído en todos los casos beneficios a la humanidad. Un ejemplo de ello, y quizá el más evidente y desolador, es el caso de la destrucción de los ecosistemas y la contaminación del ambiente, incluyendo el agua, el aire y el suelo.

Este panorama se puede comprender más claramente si consideramos que cada año se fabrica una gran cantidad de nuevos productos químicos que son liberados al ambiente sin saber claramente que efectos causarán sobre los seres vivos y el medio en que habitan.

Ante esta perspectiva, existe una preocupación cada vez mayor entre los científicos y los organismos gubernamentales para tratar de establecer cuales son los efectos deteriorantes que producen estos compuestos, así como sus productos de desecho, sobre los ecosistemas y el ambiente en general. Por tal motivo, toda aquella información relacionada con la persistencia, concentración y toxicidad de estos compuestos es indispensable para establecer los mecanismos necesarios para su regulación y control. (Goatcher *et al.*, 1984)

Tradicionalmente la caracterización de un nuevo producto químico, de un residuo contaminante o de los efluentes industriales y domésticos se ha llevado a cabo a través de análisis fisicoquímicos, ya que este tipo de pruebas nos permiten cuantificar las concentraciones de elementos peligrosos que pueden ser liberados al ambiente; determinar las posibilidades de alterar las condiciones físicas y químicas del agua, el suelo o el aire; establecer patrones de monitoreo permanente y formular leyes y normas para proteger el equilibrio ecológico.

Existe actualmente la tendencia de combinar y complementar dichos análisis con pruebas biológicas o bioensayos de toxicidad. Un bioensayo, en términos generales, es una prueba para establecer la respuesta que producirá un agente dado cuando los organismos son expuestos a él. Así, para el caso específico de la contaminación, los organismos son expuestos a agentes tóxicos que pueden ser sustancias aisladas, mezclas de compuestos o los mismos efluentes, y al cabo de un tiempo se evalúa el efecto que dichos agentes provocan en los seres vivos. (Bitton & Dutka, 1986)

Los bioensayos son importantes porque pueden cubrir y complementar algunos aspectos desventajosos de los análisis fisicoquímicos. Nos permiten obtener respuestas del daño a la biota y a los ecosistemas de manera rápida, aun cuando las miles

de sustancias químicas potencialmente tóxicas contenidas en los efluentes puedan o no ser detectadas por los análisis rutinarios, ya que la gran diversidad, extensión y complejidad de los mismos hacen casi imposible su caracterización completa. Asimismo, nos ayudan a monitorear el ambiente, incluso cuando es difícil predecir el efecto conjunto que se produce con la interacción de las sustancias o de los factores como el pH, la dureza, el carbón orgánico disuelto, etc., sobre la toxicidad de los compuestos químicos de las descargas. Por ejemplo, aun cuando las concentraciones medibles de las sustancias pueden ser altas, su biodisponibilidad puede ser baja. (Amato, 1992; Gherardi, 1983)

En general, estos bioensayos para evaluar la toxicidad se han dividido en dos grupos: pruebas de "efectos sobre la salud", que se realizan *in vitro*, y pruebas de "efectos ecológicos". Las primeras se basan en el uso de componentes subcelulares (enzimas, DNA o RNA), células aisladas, secciones de tejido u organismos completos aislados; y consisten en la determinación de la viabilidad celular, la reproducción celular o la biosíntesis de macromoléculas. Las segundas son conducidas para medir principalmente la toxicidad aguda de las sustancias químicas sobre los organismos que representan varios niveles tróficos de la cadena alimenticia y ayudan a la estimación de la toxicidad en los ecosistemas naturales y en los modificados por el hombre. (Bitton & Dutka, 1986)

Se pueden utilizar distintos tipos de organismos para los bioensayos, como: bacterias, algas, zooplancton, invertebrados bentónicos o peces. Sin embargo, los más pequeños como la *Daphnia* o los microorganismos presentan un mayor número de ventajas en relación a organismos mayores. Entre las principales ventajas se pueden citar las siguientes: están involucrados principalmente en la mineralización de las sustancias orgánicas y en el reciclaje de los nutrientes minerales; su actividad es esencial para los procesos de purificación de los ambientes; poseen muchas de las rutas bioquímicas superiores y muestran un alto grado de organización en su membrana celular; tienen ciclos de vida cortos y responden rápidamente a los cambios en el ambiente; son estables y su mantenimiento no es muy costoso; se puede exponer un gran número de ellos a los compuestos tóxicos en estudio y su tipo de reproducción garantiza una mayor homogeneidad en los individuos utilizados. (Bitton & Dutka, 1986; Liu & Dutka, 1984)

## JUSTIFICACION

El Distrito de Desarrollo Rural 063 se encuentra enclavado en la región conocida como Valle del Mezquital y se caracteriza por ser uno de los distritos de riego más grande y más antiguo que utiliza aguas negras. Las principales fuentes de abastecimiento de este distrito son las aguas residuales de la Ciudad de México y su área metropolitana, además de las aguas de precipitación pluvial captadas de manera natural por la Cuenca Hidrológica del Río Tula. Del total del aporte de aguas al DDR-063, el 70 % corresponde a aguas residuales sin previo tratamiento (Bahamonde, 1990). Por lo tanto, dichas aguas contienen numerosas sustancias potencialmente tóxicas.

La producción de granos, hortalizas y algunos frutales de este distrito abastecen en buena medida el mercado de la Ciudad de México; por lo que la población potencialmente afectable por el consumo de estos productos es de alrededor de 20 millones de personas (Hernández et al., 1990). Por consiguiente y bajo esta problemática, es de gran importancia estimar el deterioro que las sustancias tóxicas han ocasionado en el agua, suelo y sedimento de los canales de riego.

Además de los métodos de análisis fisicoquímicos establecidos en la normatividad ambiental, existe una estrategia rápida y sencilla para evaluar los efectos de sustancias contaminantes sobre la biota, la cual consiste en el empleo de los bioensayos. Actualmente existe un gran número de pruebas de toxicidad, sin embargo en nuestro país sólo se han estandarizado tres de ellas en el Instituto Nacional de Ecología de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), en las cuales se emplea al crustáceo *Daphnia magna*, al nematodo *Panagrellus redivivus* y a la bacteria *Spirillum volutans*.

Por lo anterior, el presente trabajo pretende fomentar el uso y promover la valoración de los bioensayos de toxicidad como una herramienta complementaria a las técnicas tradicionales de evaluación de contaminantes.

## OBJETIVOS

- 1) Determinar la toxicidad aguda y la genotoxicidad de muestras de agua, suelo y sedimento del Distrito de Desarrollo Rural 063, mediante la utilización de bioensayos con *Daphnia magna*, *Spirillum volutans* y *Panagrellus redivivus*.
- 2) Evaluar por medio de análisis fisicoquímicos la muestras de agua, suelo y sedimento de dicho distrito.
- 3) Correlacionar los resultados fisicoquímicos con los datos de toxicidad obtenidos a través de los bioensayos.
- 4) Establecer los sitios en donde se detecte la mayor problemática de contaminación por sustancias tóxicas dentro del DDR-063.

# MARCO TEORICO

Un bioensayo es un procedimiento en el cual son usadas las respuestas de los organismos para evaluar la presencia de sustancias tóxicas en ríos, lagos, sedimentos, suelos, descargas residuales, alimentos, etc., ya sea de manera individual o en combinación. Los efectos tóxicos observados pueden ser crónicos o agudos. El efecto crónico es un efecto a largo plazo y se manifiesta por cambios en el apetito, crecimiento, metabolismo, reproducción, comportamiento, e incluso con la muerte o el daño genético (mutación). El efecto agudo es un efecto a corto plazo y comúnmente lleva hasta la muerte.

Los bioensayos son aplicables a monitoreos de rutina o puntuales dependiendo de las necesidades de las investigaciones. Sin embargo, también son útiles para otros fines como son:

- El establecimiento de niveles permisibles de contaminantes que serán liberados al ambiente.
- La evaluación y aprovechamiento de nuevos productos químicos.
- La evaluación de la efectividad de los tratamientos de agua.
- El establecimiento de las condiciones óptimas de operación para las plantas tratadoras de efluentes urbano-industriales.
- En estudios de bioacumulación.
- La determinación de impactos ambientales.
- La determinación de la sensibilidad de los organismos a una sustancia o efluente específicos, etc.

Los bioensayos son importantes para evaluar la contaminación de las aguas, suelos, etc., porque las pruebas fisicoquímicas solas no son suficientes para conocer los efectos potencialmente tóxicos para la biota. Sin embargo, es importante considerar cuando se vayan a realizar que los distintos tipos de organismos no tienen la misma sensibilidad a una sustancia tóxica determinada y tampoco un mismo organismo es igualmente susceptible durante todo su ciclo de vida.

Entre los compuestos con características tóxicas destacan los metales pesados por la dificultad que presentan para ser eliminados tanto de los medios naturales como de los organismos. En el presente estudio se determinó la concentración de cuatro metales pesados (cadmio, cobalto, cromo y plomo) pero sólo de la fracción que tiene mayor susceptibilidad de ser absorbida por los organismos, por lo cual es importante hacer un pequeño resumen de las características de cada uno de ellos.

**PLOMO.**- El plomo es un metal gris, pesado, blando, maleable y dúctil. Se encuentra en el grupo IV A de la Tabla Periódica junto con el carbono, silicio, germanio y estaño. Sus estados de oxidación son 0, +2, +4. Su número de valencia generalmente es 2, pero también reacciona con valencia 4, sobre todo en

compuestos orgánicos. El principal efecto del plomo en el medio ambiente abiótico es su acumulación de los diversos sustratos, lo cual a su vez provoca desequilibrios en su ciclo biogeoquímico. En el medio biótico este elemento retarda la ruptura heterolítica de la materia orgánica. Las plantas que crecen en suelos contaminados por este elemento tienden a concentrarlo sobre todo en sus raíces. Algunos animales, como las lombrices de tierra, acumulan el plomo y pueden ser una de las rutas por las que este elemento entre a la cadena alimenticia. En este último caso, los demás eslabones serán los principalmente afectados.

Para fines prácticos, existen dos clases de compuestos de plomo: los inorgánicos, que incluyen a las sales y óxidos, y los orgánicos, principalmente el tetraetilo y tetrametilo de plomo. Todos los compuestos inorgánicos actúan en el organismo de la misma forma una vez que han sido absorbidos, mientras que los compuestos orgánicos difieren de los primeros en cuanto a su absorción y distribución en el organismo. (Albert, 1988)

El plomo es absorbido por inhalación, por ingestión y a través de la piel. La vía de ingreso, el tamaño de la partícula y el tipo de compuesto de plomo determinan la concentración y la posibilidad de difusión hacia el organismo. Además, la absorción de plomo depende de factores propios del organismo, tales como la edad, estado fisiológico y la integridad de los tejidos. En la inhalación de plomo ambiental un 35 % del total inhalado se deposita en las vías aéreas. Después de la depositación del plomo en la nasofaringe, la tráquea, los bronquios y los alvéolos, parte de las partículas inhaladas ascienden por acción de cilios, pasan al esófago y se absorben parcialmente en el tracto gastrointestinal. Las partículas restantes que llegan a los alvéolos son absorbidas y pasan a la sangre. El tránsito a través de las vías broncopulmonares depende del tamaño de las partículas y de la solubilidad del compuesto inhalado. En cambio, la absorción del plomo depositado en las vías respiratorias terminales es rápida, extensiva, prácticamente total y es un proceso independiente de la forma química del compuesto de este metal. Las partículas que no son absorbidas, ni digeridas, ni eliminadas en las secreciones, van a constituir depósitos de plomo en el árbol respiratorio, que es eliminado posteriormente por acción de cilios y macrófagos. Sólo entre un 35 a 50 % del plomo que alcanza el tracto respiratorio inferior es absorbido y pasa a torrente sanguíneo.

La absorción gastrointestinal en adultos representa menos del 10 % del plomo ingerido. La tasa de absorción a nivel intestinal es igualmente independiente de la forma química del compuesto de plomo; sin embargo, los compuestos orgánicos son los que se absorben más extensivamente. La absorción cutánea sólo tiene importancia ante el contacto con compuestos orgánicos de plomo.

El mecanismo tóxico del plomo está dado por tres modalidades: una es compitiendo con los metales esenciales, especialmente el calcio y el zinc, en sus sitios de inserción. Otra es mediante su afinidad por los grupos sulfhidrilos (-SH) de las proteínas, lo que significa alteraciones de la forma y de la función de las mismas y dado que numerosas proteínas (entre ellas diversas enzimas) poseen grupos -SH, las alteraciones fisiológicas pueden ser muy generalizadas en el organismo. Finalmente, actúa alterando el transporte de iones esenciales.

Bajo estos mecanismos, inhibe la síntesis del grupo hemo y la utilización del hierro en el cuerpo. La exposición severa y crónica al plomo puede provocar daño renal, interferir con la fertilidad y causar disturbios menstruales en las mujeres. El síntoma más severo del envenenamiento con plomo es el daño cerebral, que ocasiona torpeza, cambios sutiles en la actitud mental, retraso, falta de concentración, intranquilidad e hipersensibilidad. Los compuestos de plomo causan efectos teratogénicos y carcinogénicos en animales, además de ocasionar aberraciones cromosómicas y una morfología anormal del espermatozoide en los seres humanos. (Galvão & Corey, 1989c)

**CADMIO.**- Este elemento pertenece al grupo II B de la Tabla Periódica y se encuentra en el subgrupo que incluye también al zinc y al mercurio. Su número de valencia es 2.

La mayor parte del cadmio que se emite a la atmósfera se deposita en la tierra y en las aguas de la región cercana a la fuente de emisión. A partir de éstas, el cadmio es ingerido por los organismos y transportado a todos los eslabones de las cadenas alimenticias. En las aguas superficiales, el cadmio se presenta como ión libre y en su solubilidad influyen la dureza, el pH, los complejos solubles y los sulfuros coloidales. En este medio se une a la materia particulada. Cuando las aguas dulces llegan al mar, el ión cadmio  $2^{+}$ , al igual que los iones de otros metales pesados, tiende a depositarse en los sedimentos y así queda limitado a las aguas de las costas y los estuarios. La contaminación del agua potable puede ocurrir por la filtración de cadmio a los mantos freáticos a partir de los lodos que contienen óxidos de cadmio. Generalmente, las concentraciones de este elemento son inferiores a 1 mg/kg en suelos y se mantiene entre 0.01 a 0.5 mg/kg. Las principales variaciones en el contenido de cadmio en el suelo se deben al suministro de metales que provienen de fertilizantes, abonos, agroquímicos y la contaminación atmosférica. Los lodos de las aguas negras que se utilizan en la agricultura pueden también contaminar el suelo con cadmio.

Se ha comprobado que el cadmio es persistentemente tóxico aun en concentraciones muy pequeñas y que se concentra fuertemente en las cadenas alimenticias. Su vida media en los organismos es indefinida y puede durar varios años. Las plantas no tienen



mecanismos para excretar el cadmio y, una vez que lo absorben, lo retienen en sus tejidos. La acumulación es mayor en las raíces, lo que restringe su movimiento en las cadenas alimenticias. Los efectos perceptibles de la fitotoxicidad del cadmio dependen de la especie; algunos de los más comunes son la clorosis, la marchitez y en ocasiones la necrosis. Este tipo de efecto se debe principalmente a que las altas concentraciones de cadmio inhiben la fotosíntesis y la fijación del  $\text{CO}_2$ . En los organismos marinos, zooplancton, moluscos y otros organismos filtradores principalmente, las concentraciones de cadmio son mucho más elevadas que en el agua de mar; los factores de concentración están en el intervalo de  $10^3$  a  $10^4$ . (Albert, 1988)

El cadmio ingresa al organismo por inhalación o ingestión. El ingreso por la piel no está comprobado y además no hay descripciones de casos en los que éste tenga importancia. El tamaño y la solubilidad de las partículas inhaladas determinan la concentración y la posibilidad de difusión del cadmio de los pulmones hacia la sangre. Después del depósito del cadmio en la nasofaringe, la tráquea, los bronquios y los alvéolos, parte de las partículas inhaladas ascienden por acción de cilios, pasan al esófago y se absorben parcialmente en el tracto gastrointestinal. Las partículas restantes que llegan hasta los alvéolos, son absorbidas y pasan a la sangre. La absorción tiene que ver con la solubilidad del compuesto inhalado y las variaciones fisiológicas y anatómicas de los individuos. Las partículas que no son absorbidas, ni digeridas, ni eliminadas en las secreciones, van a constituir los depósitos de cadmio en el árbol respiratorio. El cadmio absorbido es transportado por la sangre a diversos tejidos y órganos, principalmente a riñones e hígado. Otros órganos que acumulan cadmio son los músculos, el páncreas, las glándulas salivales y el sistema nervioso central, aunque en este último se presenta en muy bajas concentraciones. La eliminación del cadmio acumulado en el organismo se hace principalmente a través de la orina y por las heces. La vida media del cadmio en el organismo es muy larga y se estima entre 10 y 30 años.

La estructura atómica del cadmio se parece a la del zinc, lo que permite que lo sustituya en algunas enzimas, como la carboxipeptidasa la cual cataliza la degradación de proteínas. Gran parte del cadmio que se acumula en el hígado y los riñones de los mamíferos se une a las metalotioneínas, que son las proteínas encargadas de regular el metabolismo del cobre y del zinc. (Galvão & Corey, 1987a)

La intoxicación crónica se caracteriza por enfisema pulmonar y daño renal con proteinuria. Otro trastorno ocasionado por la intoxicación crónica por cadmio es la enfermedad de "Itai-itai", que es un padecimiento de naturaleza reumática que lleva finalmente al ablandamiento de los huesos, fracturas y deformidades del esqueleto, asociadas a la pérdida de

biocompuestos esenciales a través de la orina. El exceso de cadmio daña además las funciones de la médula ósea y el corazón, ocasiona aberraciones cromosómicas e hipoploidía, y es un agente cancerígeno comprobado. (Albert, 1988)

**CROMO.**- El cromo es un elemento blanco azulado, muy duro. Pertenece al grupo VI de los metales de transición y sus valencias son +2, +3 y +6. El cromo hexavalente,  $\text{Cr}^{+6}$ , es más tóxico que el trivalente,  $\text{Cr}^{+3}$ . Este último se encuentra en el mineral llamado cromita ( $\text{FeCr}_2\text{O}_3$ ), pero al entrar en contacto con el oxígeno del aire se oxida en  $\text{Cr}^{+6}$ .

Los desechos de las industrias que trabajan con compuestos de cromo, producen corrosión de las casas, automóviles, etc.

Los compuestos de cromo desempeñan funciones conocidas en los procesos vitales de algunos organismos e incluso se les ha encontrado en cenizas de animales y vegetales. La presencia de compuestos orgánicos de cromo en el organismo humano parece tener un papel importante en numerosas reacciones enzimáticas relacionadas con la actividad tromboplástica y con la actividad de la beta-glucoronidasa. (*op cit*)

La vía más expedita y facilitada de ingreso del cromo al organismo es la vía respiratoria. Aproximadamente el 50 % del cromo inhalado se absorbe, dependiendo del tamaño de la partícula, de su solubilidad y de su forma química. Los compuestos hexavalentes son más rápidamente absorbidos en el pulmón que los trivalentes, aunque luego en la sangre se biotransforman a trivalentes. Se ha demostrado que la absorción por vía digestiva es ineficaz, ya que no alcanza más del 6 % de lo ingerido. No se ha demostrado absorción significativa a través de la piel. El cromo absorbido pasa a la corriente sanguínea, en donde adquiere la forma trivalente y se distribuye por varios órganos, principalmente el sistema retículo-endotelial, el hígado, el bazo y los huesos. Las concentraciones detectadas en los tejidos y el tiempo de permanencia en ellos depende del tipo de compuesto que fue absorbido. Independientemente de todo ello, en el organismo solamente se depositará cromo en forma trivalente. La excreción se hace con rapidez y la vida media varía entre medio día y 83 días. Las vías de eliminación son principalmente la orina y las heces, aunque el mecanismo de eliminación por las heces no es conocido. Gran parte del cromo inhalado queda depositado en el pulmón, en donde puede ser encontrado después de mucho tiempo que la exposición ha cesado. La concentración de cromo en el pulmón aumenta progresivamente desde la niñez, reflejando así este fenómeno (Galvão & Corey, 1987a). La intoxicación aguda ocasiona daño gastrointestinal, insuficiencia hepato-renal, lesiones nasales, cutáneas, hepáticas y renales. Por otro lado, la intoxicación crónica provoca úlcera gastrointestinal, hepatitis, nefritis, daños y ulceraciones severas en la piel y las mucosas.

No se conoce el mecanismo preciso por el cual el cromo resulta tóxico para el organismo. Sin embargo, se sabe que se une a las proteínas y células del riñón, alterando la filtración de proteínas. (Albert, 1988)

**COBALTO.**- El cobalto es un metal gris oscuro, brillante y duro. No se disuelve en agua en forma pura, pero algunos de sus compuestos si lo hacen.

El cobalto es adsorbido extensivamente por los sedimentos oxidados. La disponibilidad del cobalto en el suelo está principalmente regulada por el pH y es usualmente encontrado como ión divalente. A pH bajo es oxidado a cobalto trivalente y con frecuencia se encuentra asociado con el hierro. La adsorción de cobalto divalente por los coloides del suelo es alta a pH entre 6 y 7, mientras que la lixiviación y la absorción por las plantas se incrementa por la disminución del pH. (H.S.D.B., 1992)

Pequeñas cantidades de cobalto pueden solubilizarse gracias a la actividad bacteriana, poniéndolo a disponibilidad de otros organismos. Sólo pocas especies de vegetales acumulan cobalto por encima de las 100 ppm, valor que causa fitotoxicidad severa. (Nolan *et al.*, 1992)

El cobalto es necesario para el hombre porque forma parte de la molécula de la vitamina B<sub>12</sub> y se utiliza en el tratamiento de anemia porque promueve la reproducción de glóbulos rojos. El cobalto es también esencial para la salud de algunos animales como las vacas y los borregos.

El cobalto puede entrar al cuerpo por inhalación o por ingestión. Si uno respira aire que contenga polvo de cobalto, la cantidad de metal inhalado que alcance los pulmones y sea absorbido depende del tamaño de las partículas. Si las partículas son pequeñas, es fácil que el cobalto llegue a la sangre a través de los alvéolos. Sin embargo, si las partículas son grandes serán atrapadas en la nariz y la boca. Algunas de ellas serán eliminadas al toser o estornudar, pero otras llegarán al estómago al ser tragadas con la saliva. No obstante, la forma de exposición más probable al cobalto es a través del consumo de agua y alimentos contaminados. La cantidad de este elemento que llegue al organismo por esta vía, depende del estado de salud del individuo, de la cantidad ingerida y de la duración de la exposición. Si la cantidad de hierro en el cuerpo es insuficiente, la absorción de cobalto será mayor. Una vez que el cobalto entra a la sangre, se distribuye en todos los tejidos, pero se localiza principalmente en el hígado, riñones y huesos. El cobalto que no es absorbido se elimina por las heces y el que llega hasta la sangre se excreta lentamente principalmente a través de la orina. Algunas pruebas han mostrado que el cobalto no entra al cuerpo a través de la piel normal, pero si a través de las heridas.

Cuando una cantidad excesiva de cobalto entra al cuerpo, ocasiona daños al organismo como: daños a los pulmones, asma, neumonía, tos, alergias y salpullido en la piel, daños la corazón, vómito, nauseas y daños a la tiroides. Estudios en animales sugieren que la exposición a altas concentraciones de cobalto durante el embarazo pueden afectar la salud y el desarrollo del feto. No se ha demostrado que el cobalto cause cáncer en humanos, pero se ha encontrado que en animales si produce cáncer al ser colocado directamente en el músculo o bajo la piel. Basándose en estos datos, la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer lo considera como posible cancerígeno para el hombre. (U.S.D.H.H.S., 1991)

## ANTECEDENTES

### 1) ESTUDIOS REALIZADOS EMPLEANDO PRUEBAS DE TOXICIDAD CON ORGANISMOS.

Los bioensayos han tenido una gran aceptación dentro de la toxicología ambiental y se ha desarrollado un amplio número de investigaciones en diversos países, entre ellas citaremos las siguientes:

Pearson, (1979) logró la aprobación para realizar una evaluación toxicológica con bioensayos de las aguas de un complejo industrial que fabrica 2,4,6-Trinitrotolueno (TNT) para la Armada de los Estados Unidos. Para ello utilizó 30 compuestos y evaluó su efecto tanto en forma individual como al mezclarlos. Así, encontró que algunos compuestos aislados no causaron ninguna respuesta en los organismos, mientras que al mezclarlos sus efectos resultaron positivos.

Gherardi, (1983) realizó una evaluación de la toxicidad de las principales descargas industriales de la región de ERQ-Suzano (Brasil) mediante ensayos biológicos.

Hao Xu *et al.*, (1987) determinaron la genotoxicidad en muestras de sedimento procedentes de Prince Edward Island (Canadá) utilizando el SOS-Chromotest<sup>MR</sup>. Con modificaciones en su metodología, encontraron que 5 de ellas presentaban efectos genotóxicos.

Zagatto *et al.*, (1988) evaluaron el impacto de las descargas industriales en el Río Piracicaba (Brasil) por medio de pruebas de toxicidad aguda con *Daphnia similis*. De las 8 industrias evaluadas, 7 presentaron toxicidad para este organismo, siendo la industria textil y petroquímica las de mayor impacto.

Dutka *et al.*, (1989) desarrolló un manual de métodos de análisis microbiológicos y toxicológicos en los que se emplean organismos para evaluar agua, efluentes y sedimentos.

Dutka *et al.*, (1990) utilizaron 10 bioensayos (batería de pruebas) para establecer la presencia de tóxicos y su fuente de origen en muestras de agua y sedimento del norte de Alberta, Canadá. Ellos sólo encontraron 2 fuentes de origen de contaminantes tóxicos y genotóxicos y concluyeron que, en base a las técnicas utilizadas, no existió una relación directa entre la granulometría del sedimento y la concentración de tóxicos.

Amato, (1992) observó que las descargas de aguas municipales del sureste de los Estados Unidos presentaban altos índices de toxicidad al ser evaluados por medio de *Ceriodaphnia dubia*. Al

querer conocer cuáles eran los tóxicos en estas aguas encontró altas concentraciones de un compuesto orgánico no polar (Diazinon), que es un componente de un pesticida de uso generalizado en la región.

En el Plan de Acción de San Lawrence, Canadá (1992), se desarrolló un modelo matemático para la predicción de concentraciones de contaminantes en efluentes. Se muestrearon las descargas de 50 industrias de distinto giro, concluyendo que el CHEMIOTOX, cuando es usado con sus limitaciones, sirve como una base para compilar y comparar una gran cantidad de información incluyendo pruebas de toxicidad con organismos.

Kwan & Dutka, (1990) determinaron la sensibilidad del **SEDIMENT CHROMOTEST<sup>MR</sup>** para evaluar toxicidad aguda y genotoxicidad directamente en sedimentos, sin utilizar algún método de extracción de contaminantes.

En México los ensayos con organismos son poco conocidos y las publicaciones son escasas. A continuación se citan algunos trabajos recientemente publicados:

Pruebas de toxicidad aguda empleando como organismo prueba al Cladóceros *Daphnia magna* dentro del estudio de "Evaluación y Control de las Sustancias Tóxicas en Aguas Superficiales de los Ríos Balsas, San Juan y Lerma-Chapala-Santiago". (SEDUE, 1990a; 1990b; 1990c)

Pruebas de toxicidad aguda empleando al Cladóceros *Daphnia magna* y al Anostraco *Artemia salina* dentro del estudio de "Evaluación y Control de las Sustancias Tóxicas en Aguas Superficiales de la Cuenca del Río Pánuco". (SEDUE, 1991; SEDESOL, 1992, 1993)

Seguimiento del Convenio SEDUE-FERTIMEX (Unidad Industrial Salamanca) (1988) utilizando *Daphnia magna* para determinar los niveles de toxicidad en las descargas de esta paraestatal. (SEDUE, 1988)

Método de Evaluación de Toxicidad Utilizando *Daphnia magna* y su Inclusión dentro de la Normatividad Ambiental. (Ramírez *et al.*, 1993)

Evaluación Preliminar de la Toxicidad de las Aguas Superficiales en la Cuenca del Río Pánuco con Tres Diferentes Bioensayos. (Cortes *et al.*, 1993)

Pruebas de Toxicidad Aguda en la Cuenca Lerma-Chapala, durante el período 1988-93 con *D. magna*. (Muñoz *et al.*, 1993)

## 2) INVESTIGACIONES EFECTUADAS EN LA ZONA DE ESTUDIO

En la zona estudiada se han realizado gran variedad de investigaciones para establecer el estado actual y la concentración de compuestos tóxicos en el ambiente. Sin embargo, es importante señalar que ninguno de ellos ha considerado el uso de bioensayos y todos sus resultados los han obtenido a través de análisis fisicoquímicos.

El Departamento de Parasitología del Instituto Nacional de Investigaciones Pecuarias (1976) hizo un estudio de contaminación parasitaria en forrajes, suelos y aguas negras en el DDR-063, encontrando quistes de amibas, huevecillos de nematodos gastroentéricos, huevos de *Taenia saginata* y larvas infectantes de *Haemonchus* sp, *Coperia* sp y *Ostertagia* sp, y concluyendo que este problema es más importante para la salud humana que para la salud animal. (U.A.M., 1983)

En el estudio Evaluación del Impacto Ambiental del Desarrollo Urbano del Valle de México realizado en la Universidad Autónoma Metropolitana (1983), se indican los riesgos a los que está expuesta la población del DDR-063, los cuales incluyen: la proliferación de parásitos y bacterias, con sus correspondientes vectores (moscas, mosquitos y ratas); la presencia de sustancias tóxicas con poder bioacumulativo; la contaminación de los mantos freáticos; consumo de productos pecuarios (leche, carne y sus derivados) obtenidos a partir de ganado enfermo.

De la Cruz, (1988) en el estudio "Proceso Salud, Enfermedad" menciona que las condiciones ambientales en las zonas aledañas a la Ciudad de Tula tienen una relación directa con la prevalencia de padecimientos infecto-contagiosos, ya que se observa una incidencia elevada de estas enfermedades en prácticamente todos los meses del año.

Rico, (1988) realizaron un estudio de la variación microbiológica en verduras regadas con agua de reuso y un proyecto para su normalización. En este último proponen el tratamiento de las aguas negras por medio de lagunas de estabilización, lo que garantizaría un control de la calidad biológica y fisicoquímica de los efluentes.

Vargas, (1988) dentro de la ponencia titulada "Problema Ambiental en la Planificación del Desarrollo Regional en Tula, Hidalgo", menciona que no existen programas y proyectos de planificación en Tula en los que se retome de manera integral el problema del deterioro del medio ambiente y propone el impulso del ecodesarrollo, que consiste en revalorar los recursos regionales adaptados a las condiciones ecológicas, culturales y tecnológicas de las comunidades.

García, (1988a) realizó un estudio sobre los plaguicidas en el Valle del Mezquital, de cuyos resultados surge una marcada sospecha de muertes humanas por intoxicación debidas a estas sustancias tóxicas; además de que se ha detectado la desaparición de especies de la fauna silvestre debido a la misma causa.

García, (1988b) en otra investigación sobre la contaminación en el Valle del Mezquital, concluyó que los rendimientos de las cosechas han disminuido debido a la tendencia acumulativa en las concentraciones de sales, detergentes, elementos pesados y deterioro del drenaje que han sufrido los suelos.

En un estudio elaborado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (I.M.T.A., 1988) se detectaron evidencias de contaminación en manantiales y pozos de agua potable del Valle del Mezquital; sobre todo en la población de Tezontepec, donde los parámetros de conductividad eléctrica, sólidos totales, demanda química de oxígeno, nitrógeno orgánico, mercurio y coliformes totales rebasaron los límites permitidos en las normas oficiales mexicanas.

García *et al.*, (1988) realizaron un estudio del grado de contaminación por plomo, cadmio y cromo en tejidos vegetales por el uso de aguas residuales en los municipios de Tlaxcoapan, Tlahuelilpan y Atitalaquia, encontrando que las concentraciones de estos elementos estaban dentro de los niveles permisibles según el Código Sanitario de los Estados Unidos Mexicanos.

Bahamonde, (1990) evaluó el impacto del Distrito de Desarrollo Rural 063 en la calidad del agua de la Cuenca del Río Tula, considerando varios parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos; de los cuales destacan los contenidos de grasas y aceites y de coliformes totales como parámetros que afectan a los cultivos.

Hernández *et al.*, (1990) en el Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México llevaron a cabo una evaluación de la presencia de metales pesados en un área del DDR-063, reportando que las concentraciones de microelementos en el suelo, al momento del estudio, no eran lo suficientemente elevadas para causar un efecto tóxico agudo desfavorable a los cultivos. Sin embargo, considerando la tendencia acumulativa que mostraron dichos elementos, proponen que es conveniente establecer un monitoreo sistemático para conocer su evolución y definir medidas de control.

Cortinas, (1990) reporta una serie de estudios realizados por la Secretaría de Salud y por la Escuela de Salud Pública acerca de la presencia de bacterias patógenas y organismos parásitos en el agua, suelo y alimentos del DDR-063 y su relación con la incidencia de enfermedades gastrointestinales en la población.

Velázquez y Hernández, (1988) evaluaron el contenido de metales



pesados en el suelo del DDR-063 para establecer el efecto que causan sobre el rendimiento y la calidad de los cultivos de maíz y alfalfa. Encontraron que las concentraciones totales de cobre, zinc, cobalto, cadmio y plomo en suelo fueron altas; mientras que en las plantas los contenidos de fierro, níquel, cadmio y cobalto rebasaron los niveles normales. Asimismo, detectaron que los rendimientos de ambos cultivos fueron bajos en su mayoría. Sin embargo, estos resultados no proporcionaron evidencias claras de que el bajo rendimiento sea causado directamente por los metales pesados, ya que no se aplica al suelo un buen manejo y una tecnología adecuada.

La Comisión Nacional del Agua, (1991b) realizó un estudio del impacto ambiental que ocasionan las aguas residuales en el Valle del Mezquital, concluyendo que su aprovechamiento ha significado un fuerte impulso a la economía regional y con ello el incremento del nivel de vida de la población y su capacidad organizativa. Sin embargo, al mismo tiempo ha provocado una creciente degradación de los suelos por sales y elementos traza; contaminación de los mantos de agua subterránea y riesgos a la salud de los consumidores de los productos agrícolas, por la presencia de organismos patógenos en el agua de riego utilizada.

# DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.

## 1) Localización.

El Distrito de Desarrollo Rural 063-Mixquiahuala se localiza en la porción suroeste del Estado de Hidalgo, abarcando a los Municipios de Actopan, Atitalaquia, Atotonilco de Tula, Chilcuautla, El Arenal, Ixmiquilpan, Mixquiahuala, Progreso, Santiago de Anaya, San Salvador, Tepatepec, Tepeji del Río, Tepetitlán, Tetepango, Tezontepec de Aldama, Tlahuelilpan de Ocampo, Tlaxcoapan y Tula de Allende (Figura 1). (Colli-Miset, 1990 y Rodríguez, 1990)

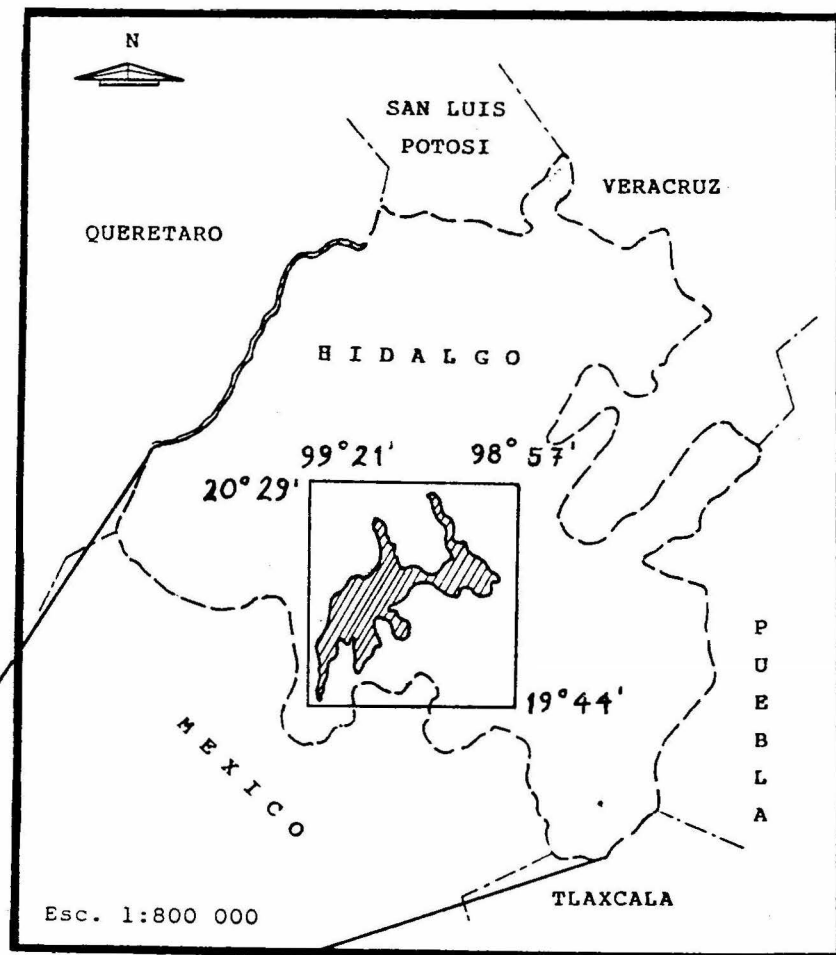
Geográficamente se encuentra delimitada por los paralelos 19° 44' y 20° 29' de latitud norte y entre los meridianos 98° 57' y 99° 21' de longitud oeste; con altitudes extremas ubicadas, por un lado, en la Presa Taxhimay con 2208 msnm y, por otro, en el poblado del Tepenene con 1745 msnm. Comprende una superficie de siembra de 53,495 hectáreas y una regable de 48,052 hectáreas. (Colli-Miset, 1990)

## 2) Fisiografía.

Fisiográficamente, la zona de estudio pertenece a la provincia del Eje Neovolcánico, a la subprovincia de los Valles de Querétaro e Hidalgo y, más específicamente, a la región conocida como Valle del Mezquital. Este último es un sistema de valles interconectados que se caracteriza por cuatro unidades positivas y dos unidades negativas. Las unidades positivas o elevaciones corresponden a la Serranía de Pachuca, por el noreste y sur; la Sierra de Xinthe por el oeste; los Cerros de La Joya-Tula-Copal por el suroeste y la Sierrita de San Miguel de la Cal, aislada en el centro de la región. Las unidades negativas o depresiones corresponden a los Valles de Tula y Actopan, localizados al suroeste y este respectivamente. Particularizando más, se puede mencionar que el propio DDR-063 presenta un relieve prácticamente plano, de pequeños valles y llanuras intercaladas con serranías secundarias de poca elevación que lo atraviesan en varias direcciones. Las pendientes oscilan en promedio entre 3 y 15 %, aunque en la zona cerril pueden sobrepasar el 20 %. (C.N.A., 1991b)

FIGURA 1.

LOCALIZACION DEL DISTRITO  
DE DESARROLLO RURAL 063



### 3) Geología.

Se pueden encontrar los tres tipos de roca dentro del área, sin embargo predominan las rocas sedimentarias e ígneas. Las primeras están representadas por calizas, margas y conglomerados, que constituyen formaciones del Cretácico y del Terciario Superior; y las segundas por andesitas, dacitas y basaltos del Terciario Superior y del Cuaternario. Asimismo, existen en el valle pequeñas formaciones de rocas volcano-sedimentarias, constituidas por brechas, pumita y piedra pómez; y de rocas metamórficas como mármol, filita y esquistos. Finalmente, también se pueden localizar algunos depósitos recientes formados por aluviones y material clástico a lo largo de los cauces de las principales corrientes superficiales. (García, 1988b)

### 4) Edafología.

En esta zona se han identificado cinco tipos de suelo como son: Regosoles, Litosoles, Fluvisoles, Vertisoles y Phaeozems. Dentro de ellos los últimos tres tipos han sido los más impactados por el hombre debido a prácticas culturales como: el deshierbe, la nivelación, el terracedo y el riego con aguas de mala calidad. (I.N.E.G.I., 1983)

### 5) Clima.

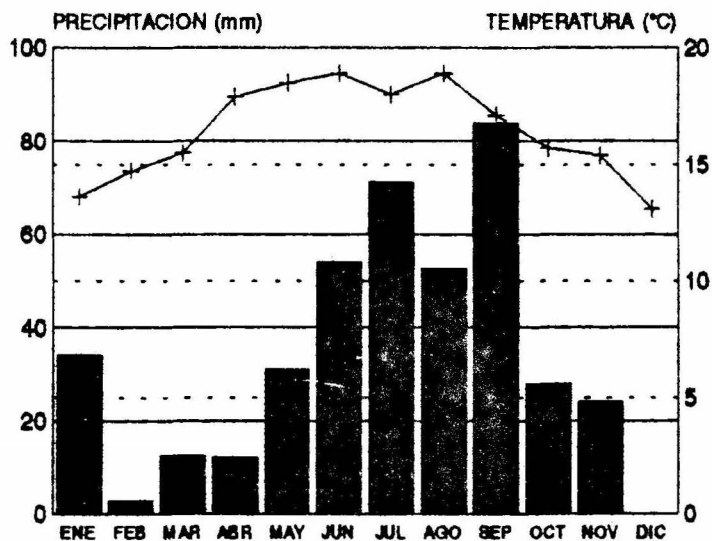
De acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen, modificado por García (1973), el área de estudio presenta un clima  $BS_{1kw}(i')g$ , que corresponde a un clima seco templado, el menos seco de los BS, con verano cálido y lluvioso y un coeficiente P/T de 77.9. La temperatura media anual varía entre  $12^{\circ}$  y  $18^{\circ}C$ ; siendo de  $-3^{\circ}C$  en el mes más frío y de  $20^{\circ}C$  en el mes más cálido. De 1981 a 1990 la precipitación registró un valor medio anual de 441.2 mm, siendo los meses de mayo a septiembre en los que se observó la mayor precipitación. Cuenta con un 5 % de lluvias invernales, además de una incidencia escasa a moderada de heladas durante los meses de noviembre a febrero (Figura 2). Durante la mayor parte del año, los vientos dominantes proceden del noroeste con velocidades medias que van de 3 a 6 km/hr. La evaporación media anual es de 1890 mm. (U.A.M., 1983; C.N.A., 1991a)

### 6) Hidrología superficial.

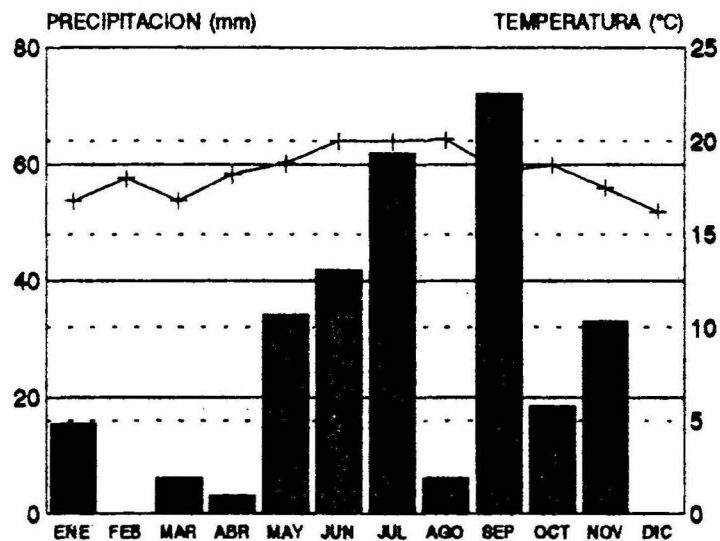
Desde el punto de vista hidrológico, el Distrito de Desarrollo Rural-063 pertenece a la Cuenca Alta del Río Pánuco y, más específicamente, a la Subcuenca del Río Tula. El Río Tula nace en el Cerro de la Bufo en el Estado de México, llevando el nombre de Río San Jerónimo; cuyos escurrimientos son controlados por la Presa Taxhimay. Posteriormente, toma el nombre de Río Tepeji a la altura del poblado de Tepeji del Río, y es nuevamente controlado por la Presa Requena. Esta última recibió hasta

# FIGURA 2. CLIMOGRAMAS (C.N.A., 1993)

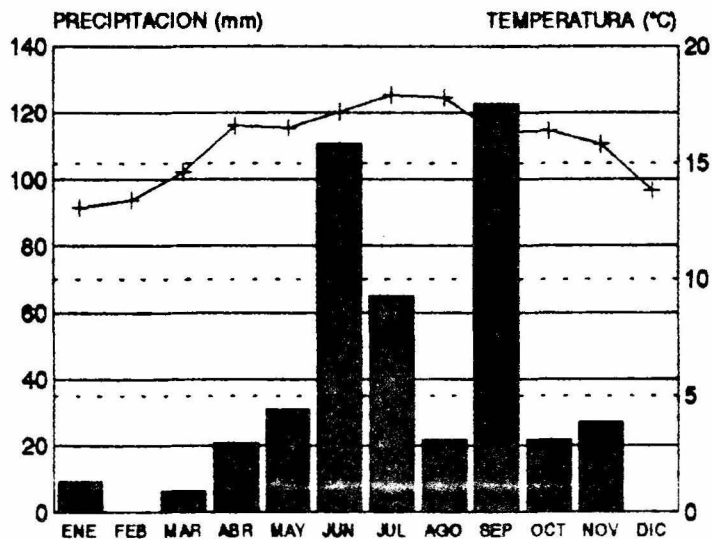
ESTACION TEZONTEPEC



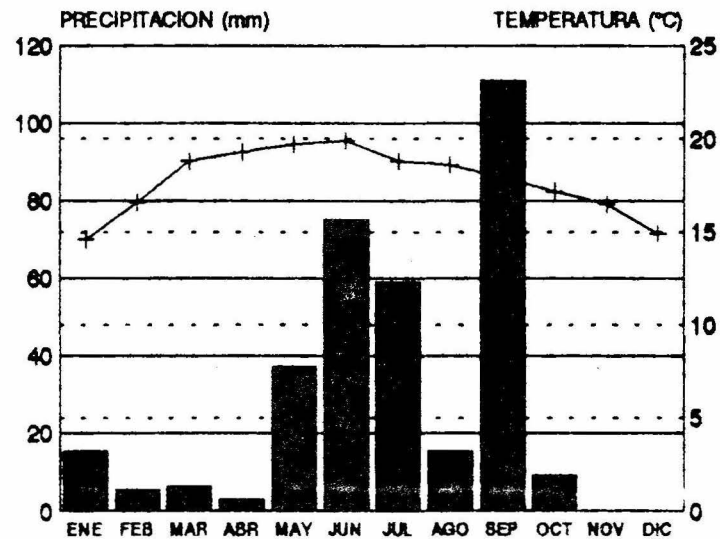
ESTACION PRESA ENDHO



ESTACION PRESA REQUENA



ESTACION ACTOPAN



septiembre de 1985, mediante el Canal El Salto, aguas negras del Emisor Poniente, el cual drena la parte occidental de la Cuenca del Valle de México. Asimismo, esta presa alimenta directamente al Canal Principal Requena que domina gran parte del distrito de riego. Después de la Presa Requena, se unen al Río Tula tres afluentes principales, el Río Tlautla y el Río Rosas por su margen izquierda y el Río El Salto por su margen derecha; este último es importante pues recibe directamente aportaciones de aguas negras de la Ciudad de México mediante los Emisores Poniente y Central. Todas estas corrientes son almacenadas en la Presa Endhó y la Presa derivadora Jasso. De la primera parten los Canales Endhó, Tepetitlán y Central, mientras que de la segunda el Canal Viejo Requena; irrigando todos ellos las tierras del distrito. Partiendo de la Presa Endhó, el Río Tula pasa por las inmediaciones de Tezontepec y Mixquiahuala hasta llegar a Progreso de Obregón, uniéndose en este tramo al Río Salado que, además de sus recursos propios aumenta su caudal considerablemente por los volúmenes de agua provenientes del desagüe del Valle de México, descargados en él mediante los Túneles de Tequixquiac. Las aguas del Río Salado antes de este punto son derivadas por la Presa Tlamaco y la Presa el Tablón, que forman los Canales Tlamaco-Juandhó y Dendhó respectivamente. A partir de Progreso, el Río Tula pasa por Chilcuautla y Tlacotlapilco para penetrar dentro del Valle de Ixmiquilpan antes de recibir las aportaciones del Arroyo Chicavasco, conocido aguas arriba como Río Actopan. Finalmente, estas corrientes desembocan en el Río San Juan en las cercanías de Zimapán y, con el aporte del Río Hondo, constituyen el Río Moctezuma, uno de los afluentes más importantes del Río Pánuco que desemboca en el Golfo de México. (Colli-Miset, 1990; García, 1988b)

#### **7) Hidrología subterránea.**

En una estimación con base en la naturaleza del terreno y a la comparación con otras regiones conocidas, se juzga que la formación de agua subterránea en la región es bastante escasa. En realidad el Río Tula que recoge agua de otras áreas, modifica favorablemente en sus inundaciones los recursos de agua del subsuelo. La existencia de numerosos manantiales revela una cuenca alimentadora no comprendida en el valle y permite intuir la presencia de aguas subterráneas independientes de la infiltración local. Se estima un volumen de aguas subterráneas de 1,100 m<sup>3</sup> y un promedio del nivel freático de 40 cm de profundidad, con fluctuaciones entre 1 y 1.5 m. (U.A.M., 1983)

#### **8) Vegetación.**

La vegetación del Valle del Mezquital está dominada por matorrales xerófilos de distinto tipo, de los cuales los más abundantes son el matorral crasicaule y el matorral inerme. Sin embargo, también se hallan otros tipos de vegetación como bosques de encino o bosques de pino-encino en las zonas montañosas.

pastizales en las regiones de pendientes ligeras y vegetación de galería a lo largo del cañón del Río Tula. Es muy importante mencionar que los tipos de vegetación no sólo se presentan individualmente, sino que se pueden encontrar varios tipos de asociaciones. (González, 1968)

Aun cuando existen amplias zonas de vegetación natural dentro del valle, el área del distrito de riego se encuentra muy perturbada debido a la construcción de las obras hidráulicas y la apertura de tierras para el cultivo, restringiendo las comunidades originales a pequeños manchones de escasa extensión. La mayor parte de la superficie plana se encuentra ocupada por parcelas de riego; sin embargo, existen también zonas de agricultura de temporal en las que se proyecta ampliar el riego en un futuro. Los principales cultivos que se cosechan incluyen especies de clima templado, tolerantes o resistentes a la salinidad, como: alfalfa, maíz, cebada, trigo, avena forrajera, frijol, chile, calabaza y jitomate, además de algunas especies menores de verduras, legumbres y frutas. La proporción de superficie sembrada para cada cultivo ha ido cambiando con el tiempo, existiendo a partir de 1970 un abandono sucesivo de ciertas especies principalmente aquellas sensibles a los cambios en la calidad del agua y del suelo. (U.A.M., 1983; C.N.A., 1991a)

#### 9) Fauna.

Debido a la utilización de aguas negras para la agricultura en el distrito, se ha alterado fuertemente el habitat de la fauna silvestre del lugar que aunado al desarrollo actual de los asentamientos humanos y de las actividades agropecuarias, han ido reduciendo las áreas ocupadas por los organismos, provocando con ello que varias especies se encuentren en peligro de extinción. (C.N.A., 1991b)

Las especies que, aunque escasas, se presentan en la zona de estudio se enlistan a continuación (Leopold, 1982):

NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO
Cacomixtle	<i>Basariscus astutus</i>
Armadillo	<i>Dasyus novemcinctus</i>
Tlacuache	<i>Didelphis marsupialis</i>
Codorniz escamosa	<i>Callipepla squamata</i>
Coyote	<i>Canis latrans</i>
Paloma de collar	<i>Columba fasciata</i>
Cuervo grande	<i>Corvus corax</i>
Liebre de cola negra	<i>Lepus californicus</i>
Liebre torda	<i>Lepus callotis</i>
Zorrillo listado	<i>Mephitis macroura</i>
Comadreja	<i>Mustela frenata</i>
Tejón	<i>Nasua narica</i>
Ardilla	<i>Sciurus sp.</i>

Conejo audubun  
Conejo mexicano  
Zorrillo manchado  
Zorra gris  
Huilota  
Codorniz común  
Codorniz pinta  
Paloma de alas blancas

*Silvilagus audobonii*  
*Silvilagus cunicularius*  
*Spilogale gracilis*  
*Urocyon cinereoargenteus*  
*Zenaidura macroura*  
*Colinus virginianus*  
*Cytronyx montezumae*  
*Zenaida asiatica*

#### 10) Historia del DDR-063.

Durante la época de la Colonia el crecimiento de la capital de la Nueva España y las alteraciones de las condiciones ambientales de la cuenca endorreica del Valle de México, provocaron graves inundaciones que obligaron a la construcción del Tajo de Nochistongo (1608-1789), que representó la primera obra de desagüe de las aguas generadas en la Ciudad de México hacia la cuenca del Río Tula, a través del Río Cuautitlán. Posteriormente, se construyó el Gran Canal del Desagüe y los Túneles de Tequixquiac (1856-1900 y 1940-1946) que se conectan con el Río Salado mediante el Río Tequixquiac. En el presente siglo, se inauguraron además otras dos obras hidráulicas: el Interceptor Poniente (1962) que, mediante la ayuda del Vaso Regulador de Cristo, permite la salida de las aguas del poniente de la Ciudad hacia el Lago de Zumpango y el Tajo de Nochistongo; y el Emisor Profundo o Central (1967-1976) que capta las agua de los Interceptores Oriente y Central desalojándolas al Río Tula a la altura de la Presa Requena.

A partir de la construcción del Gran Canal del Desagüe se inició en el Valle del Mezquital el espontáneo aprovechamiento de las aguas residuales para riego, transformando esta región semiárida en una zona productiva. Este aprovechamiento tuvo su origen cuando en 1904 la Compañía de Luz y Fuerza de Pachuca obtuvo la concesión para instalar tres plantas hidroeléctricas: Juandhó, Cañadas y Elba. Para ello esta compañía construyó la Presa Tlamaco para derivar las aguas negras conducidas por el Río Salado.

En 1912 entró en operación la Presa Taxhimay con 50 millones de metros cúbicos de capacidad y, en 1922, se terminó la construcción de la Presa Requena con una capacidad de 35 millones de metros cúbicos. En 1926 todos estos aprovechamientos pasaron a ser controlados por la Comisión Nacional de Irrigación y en ese mismo año se termina la sobreelevación de la Presa Requena, que incrementó su capacidad hasta 71 millones de metros cúbicos. En 1951 entra en operación la Presa Endhó con 182 millones de metros cúbicos de almacenamiento.

En 1955 la Secretaría de Recursos Hidráulicos organiza en forma definitiva estos aprovechamientos al integrar el Distrito de



Riego 03-Tula y, posteriormente, el Distrito de Riego 100-Alfajayucan. Finalmente, en 1986, ambos distritos junto con las unidades de riego y los distritos de temporal conforman el Distrito de Desarrollo Rural 063-Mixquiahuala. (Colli-Miset, 1990; C.N.A., 1991a)

### 11) Estructura y Operación.

La topografía del distrito es el principal factor que influye en el drenado de las tierras de cultivo y es aprovechada al máximo por las obras hidráulicas, las cuales están construidas siguiendo los desniveles y las pendientes para que el agua llegue a todas las parcelas.

El agua se distribuye por canales principales cuya longitud total es 185.5 km, de la cual sólo están revestidos 37.9 km; y por canales laterales que tienen una longitud total de 355.7 km, estando revestidos 102.3 km. El manejo hidráulico se lleva a cabo mediante cuatro canales principales (U.A.M., 1983):

- i) Canal Principal Requena; su longitud es aproximadamente de 90 km y su capacidad de conducción de 10 m<sup>3</sup>/s.
- ii) Canal Principal Endhó; este canal tiene una longitud de 65 km y una capacidad de conducción de 10 m<sup>3</sup>/s.
- iii) Canal Principal Dendhó; este canal tiene una longitud aproximada de 20 km y una capacidad de conducción de 17 m<sup>3</sup>/s.
- iv) Canal Principal Tlamaco-Juanhó; este canal tiene una longitud de 10 km y una capacidad de conducción de 13 m<sup>3</sup>/s.

La operación del distrito de riego con fines específicos para el manejo del agua y entrega del servicio de riego es la siguiente: consta de 4 Unidades de Riego, 9 Zonas de Aforador y 49 Secciones. Como responsable de cada unidad se encuentra un ingeniero agrónomo que coordina las actividades de todo el personal de distribución de aguas. Es responsabilidad de los Jefes de Zona de Aforador regular los gastos de agua en las distintas secciones y vigilar que se cumpla oportunamente con el servicio de riego. Finalmente, los Jefes de Sección están encargados de proporcionar directamente dicho servicio. Las Jefaturas de Unidad de Riego operan directamente bajo la responsabilidad de la Jefatura de Operación, la cual depende de la Jefatura del Distrito de Riego. (Autoridades del DDR-063, com. per.)

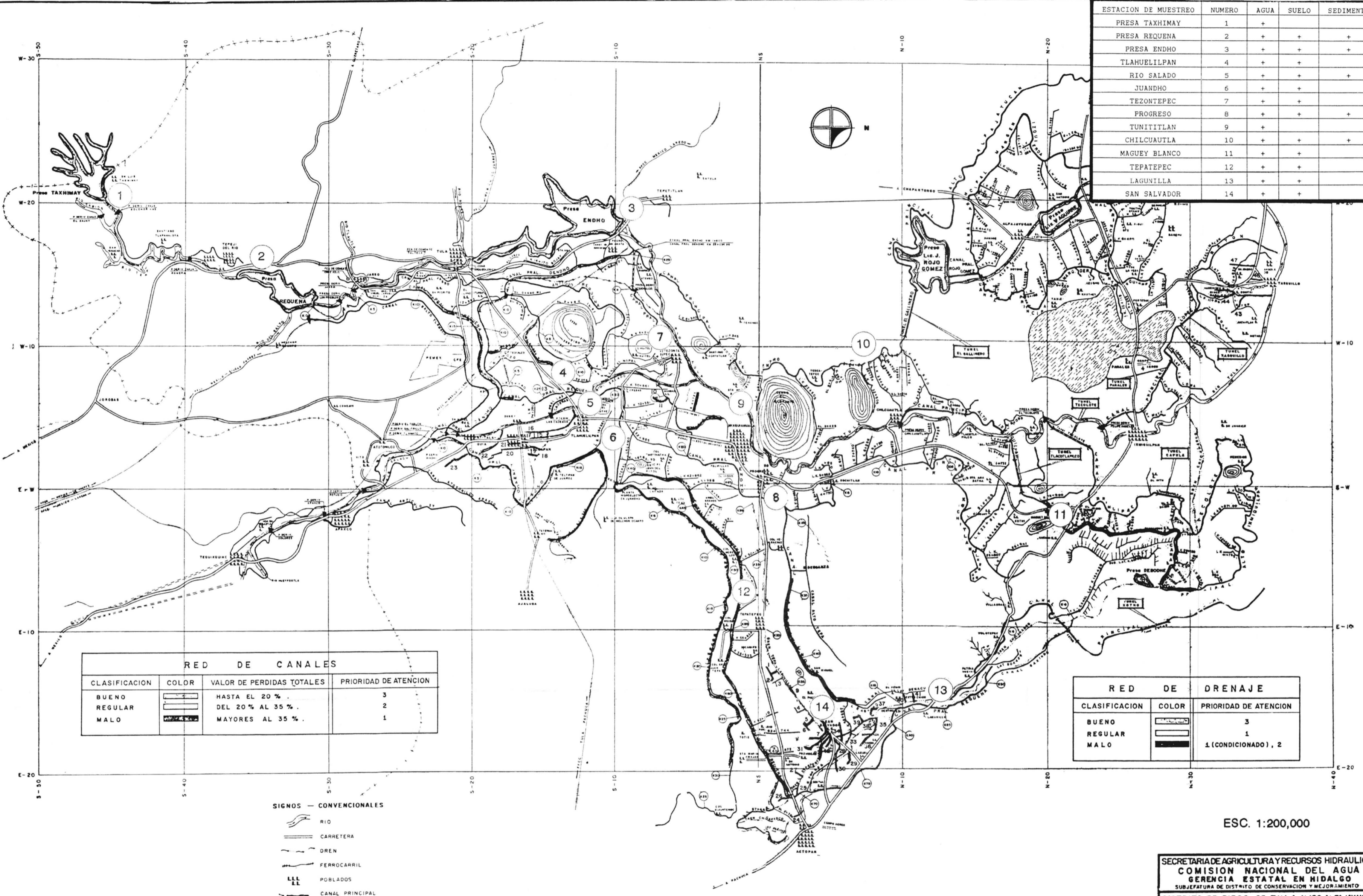
# METODOLOGIA

La presente investigación se llevó a cabo mediante las siguientes fases:

## 1) Selección de los sitios de muestreo.

La selección de los sitios de muestreo se hizo considerando tanto criterios espaciales como temporales. Para los primeros se tomó en cuenta el gradiente de dilución que presentan las aguas negras durante su recorrido por el distrito de riego; mientras que para los segundos, se consideró la estacionalidad climática. Sobre planos topográficos de escala 1:50,000, se seleccionaron 14 puntos de muestreo (Figura 3) que van desde la zona en que se unen los emisores directos de la Ciudad de México hasta los canales más lejanos del DDR-063. Denominados de acuerdo al nombre del cuerpo de agua o del poblado más cercano.

ESTACION DE MUESTREO	NUMERO	AGUA	SUELO	SEDIMENTO
PRESA TAXHIMAY	1	+		
PRESA REQUENA	2	+	+	+
PRESA ENDHO	3	+	+	+
TLAHUELILPAN	4	+	+	
RIO SALADO	5	+	+	+
JUANDHO	6	+	+	
TEZONTEPEC	7	+	+	
PROGRESO	8	+	+	+
TUNITITLAN	9	+		
CHILCUAUTLA	10	+	+	+
MAGUEY BLANCO	11	+	+	
TEPATEPEC	12	+	+	
LAGUNILLA	13	+	+	
SAN SALVADOR	14	+	+	



CLASIFICACION	COLOR	VALOR DE PERDIDAS TOTALES	PRIORIDAD DE ATENCION
BUENO	[Color swatch]	HASTA EL 20 %	3
REGULAR	[Color swatch]	DEL 20 % AL 35 %	2
MALO	[Color swatch]	MAYORES AL 35 %	1

CLASIFICACION	COLOR	PRIORIDAD DE ATENCION
BUENO	[Color swatch]	3
REGULAR	[Color swatch]	1
MALO	[Color swatch]	1 (CONDICIONADO), 2

- SIGNOS — CONVENCIONALES
- RIO
  - CARRETERA
  - DREN
  - FERROCARRIL
  - POBLADOS
  - CANAL PRINCIPAL
  - CANAL LAT Y SUB-LAT
  - TUNEL
  - SIFON
  - SUP. NO REGABLE

ESC. 1:200,000

FIGURA 3. UBICACION DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO.

OFICINA FORANEA  
 OFICINAS CENTRALES

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS  
 COMISION NACIONAL DEL AGUA  
 GERENCIA ESTATAL EN HIDALGO  
 SUBJEFATURA DE DISTRITO DE CONSERVACION Y MEJORAMIENTO  
 DISTRITO DE RIEGO 03 TULA Y 100 ALFAJAYUCAN  
**PLANO GENERAL**

Conforme \_\_\_\_\_ JEFE DEL DEPARTAMENTO \_\_\_\_\_ DIRECTOR DE PROYECTOS  
 CONSULTIVO TECNICO \_\_\_\_\_ ING. EN JEFE \_\_\_\_\_ SECRETARIO  
 MEXQUAHUALA, HGO 1982

## 2) Muestreo.

De acuerdo al punto 1 se determinó el siguiente calendario de actividades:

### CALENDARIO DE ACTIVIDADES

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MUESTREO												
Agua			X				X				X	
Sedimento			X				X				X	
Suelo			X				X				X	
ANALISIS												
FISICOQUIMICOS			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
BIOENSAYOS			X	X			X	X			X	X

#### 2.1) Muestreo de agua superficial.

Las muestras de agua se colectaron a 10 cm bajo la superficie en garrafones de un litro previamente lavados por el método de Peltier modificado (Norma oficial mexicana NOM-074-ECOL/1994) y perfectamente etiquetados.

Al momento de la colecta se determinaron los siguientes parámetros:

- Oxígeno disuelto, por medio de un oxímetro portátil modelo YSI 50.
- pH, mediante un potenciómetro de campo modelo Hach 43800-00.
- Conductividad eléctrica, mediante un puente de conductividad modelo Cole-Parmer 1481-60.
- Temperatura del agua, con un termómetro de mercurio.

Las muestras fueron transportadas al laboratorio de análisis a una temperatura menor a 4 °C.

#### 2.2) Muestreo de sedimento.

Las muestras de sedimento (aproximadamente 1 kg) se colectaron con una draga, solamente en los sitios donde la profundidad y corriente del agua lo permitieron. Se depositaron en bolsas de plástico resistentes y perfectamente etiquetadas. Posteriormente fueron transportadas al laboratorio de análisis a una temperatura menor a 4 °C.

#### 2.3) Muestreo de suelo.

El muestreo de suelo se hizo zonalmente y sólo a una profundidad de 0 - 30 cm (capa arable). La determinación de las zonas se efectuó considerando que presentaban las mismas características ecológicas. Las muestras (aproximadamente 2 kg) fueron colectadas mediante un barreno y se colocaron en bolsas de plástico

resistentes y perfectamente etiquetadas.

### 3) Análisis fisicoquímico de las muestras.

#### 3.1) Agua.

A las muestras de agua se les determinaron los siguientes parámetros fisicoquímicos de acuerdo al manual "Determinación de Parámetros Químicos y Bacteriológicos en la Evaluación de Agua Potable, Agua "Dulce" y Aguas de Desecho Doméstico". (Robles *et al.*, 1991)

- a) DBO<sub>5</sub> (demanda bioquímica de oxígeno), por el método de dilución.
- b) Alcalinidad Total, por titulación con indicador.
- c) SAAM (sustancias activas al azul de metileno), por la técnica del Azul de metileno.
- d) Dureza total, mediante titulación con E.D.T.A.
- e) Oxígeno disuelto, utilizando un oxímetro portátil modelo YSI 50.
- f) Conductividad eléctrica, a través de un puente de conductividad modelo Cole-Parmer 1481-60.
- g) pH, con un potenciómetro modelo Hach 43800-00.
- h) Metales pesados disueltos. La determinación de los metales, que incluyó cadmio, cobalto, cromo y plomo, se realizó de la siguiente manera: cada muestra fue filtrada a través de papel Watman, con una abertura de poro de 0.042  $\mu\text{m}$ , hasta completar un volumen de 100 ml y esta alícuota se aciduló con ácido nítrico suprapuro. La medición de los metales se llevó a cabo en un espectrofotómetro de absorción atómica modelo Perkin-Elmer 2380, utilizando como blanco agua destilada, deionizada y acidulada a un pH de 1. (Norma oficial mexicana NMX AA-51, 1993)

#### 3.2) Sedimento.

Para el análisis de sedimento se practicaron las siguientes pruebas:

- a) Color, por comparación con Tablas de Munsell (1975 en Domínguez y Aguilera, 1980)
- b) Análisis granulométrico. (Pettijhon, 1970)
- c) Contenido de materia orgánica, por la técnica de Walkley y Black, modificada por Walkley (1947 en Domínguez y Aguilera, 1980)
- d) C.I.C.T. (capacidad de intercambio catiónico total), por el método del versenato. (Jackson, 1976)
- e) pH, mediante el uso de un potenciómetro modelo Conductronic pH 20 con una relación 1:2.5 sedimento-agua.
- f) Contenido de sodio intercambiable, utilizando acetato de amonio a pH 7.0 y un flamofotómetro modelo Corning 400.
- g) Metales pesados extractables a pH ácido, de acuerdo a la

metodología de Southern Cooperative Series (modificada). La determinación del contenido de los metales de interés (cadmio, cobalto, cromo y plomo) se realizó por espectrofotometría de absorción atómica utilizando un equipo Perkin-Elmer modelo 2380. (Southern Cooperative Series, 1965)

### 3.3) Suelo.

Para el análisis de suelo se practicaron la mismas pruebas que en el sedimento, con excepción de la textura que se efectuó por el método de Bouyoucos (1962 en Domínguez y Aguilera, 1980)

## 4) Pruebas de toxicidad con *Daphnia magna*, *Spirillum volutans* y *Panagrellus redivivus*.

### 4.1) En Agua.

Las muestras de agua utilizadas en los bioensayos no tuvieron ningún tratamiento previo y se hicieron diluciones con agua reconstituida en el caso de *D. magna*; medio M9-Y en el caso de *P. redivivus* y agua bidestilada a través del proceso Milli-Q para *S. volutans*.

El bioensayo con *D. magna* consistió en introducir a organismos neonatos (con una edad menor de 24 horas) dentro de las muestras problema y realizar observaciones de su comportamiento, después de 24 y 48 horas. Transcurrido ese tiempo, el número de animales muertos se registró y a partir de él se calculó la Concentración Letal Media ( $CL_{50}$ ). Finalmente, se calcularon las Unidades de Toxicidad (U. de T.), empleando los valores de  $CL_{50}$ , y las cuales están definidas como el inverso de la  $CL_{50}$  multiplicada por 100. (Norma oficial mexicana NOM-074-ECOL/1994)

La prueba con *P. redivivus* es una técnica cuantitativa para evaluar toxicidad aguda y genotoxicidad. Consistió en monitorear una población de 100 organismos en estadio J2 (neonatos), colocando 10 organismos dentro de cada uno de los 10 viales de prueba, por un período de 96 horas para determinar los efectos letales o subletales de las muestras en estudio. Los efectos letales fueron determinados por la reducción del número total de individuos en la población, y los efectos subletales por el número de organismos que no superaron los estadios J2 y J3 (primer estadio juvenil). El crecimiento del estadio J2 al estadio J3, o del J3 al J4 (segundo estadio juvenil), requiere de muy pocos genes activos; pero el crecimiento del estadio J4 al adulto requiere de una extensiva actividad genética. Algunos sustancias tóxicas inhiben selectivamente el desarrollo del estadio J4 al adulto y esta inhibición específica fue usada como un indicador de la potencial mutagenotoxicidad de las muestras evaluadas. (Samoiloff, 1990)

La prueba con *Spirillum volutans* utiliza una bacteria libre nadadora de gran tamaño (16 a 28  $\mu\text{m}$ ), la cual es fácilmente visible a bajo aumento (10X). Esta gran bacteria espirilada tiene un fascículo de flagelos rotatorios en cada uno de sus extremos. Bajo condiciones normales, los fascículos polares forman conos giratorios, permitiendo a la bacteria un desplazamiento en cualquier dirección. Durante el proceso de desplazamiento, los fascículos polares se reorientan simultáneamente; sin embargo, si algunas sustancias tóxicas se encuentran presentes, esta coordinación se pierde y ambos fascículos tratan de asumir la orientación de "cabeza" o "cola", impidiendo de este modo el desplazamiento de la bacteria. Dado que algunos agentes químicos han mostrado la capacidad de producir esta respuesta de descoordinación, la ausencia de movilidad o el desplazamiento atípico de la bacteria puede ser usado para monitorear contaminantes tóxicos. El método consiste en colocar 0.1 ml de bacterias en 0.1 ml de una solución reconstituyente (10X) y 0.8 ml de la muestra a analizar, realizando observaciones al microscopio a los 0, 15, 30, 60, 90 y 120 minutos. Al finalizar el bioensayo se calcula la Concentración Efectiva Máxima, capaz de inhibir el movimiento de 90 % o más de las bacterias en 120 minutos (CEM<sub>90-120 min</sub>). (Dutka, 1986)

#### 4.2) En Sedimento.

En las muestras de sedimento se llevó a cabo una extracción del líquido intersticial de la siguiente manera: el sedimento aún húmedo fue centrifugado a 10,000 rpm durante 20 minutos a una temperatura de 4 °C, y el líquido extraído fue utilizado para la realización de las pruebas de toxicidad mencionadas anteriormente.

#### 4.3) En Suelo.

En las muestras de suelo se efectuó una extracción de las sustancias tóxicas de la siguiente forma: se pesaron 100 gramos de suelo que fueron mezclados con 100 ml de agua Milli-Q y agitados vigorosamente durante 2 minutos. Dicha mezcla fue centrifugada a 10,000 rpm durante 20 minutos a una temperatura de 4 °C. El líquido extraído fue utilizado para la realización de los bioensayos previamente citados.

Todas las muestras de agua, suelo y sedimento fueron analizadas por triplicado en cada uno de los parámetros y se aceptó una variación del 10 % entre las repeticiones.

#### 5) Análisis Estadístico.

Los resultados obtenidos fueron analizados a través de dos pruebas estadísticas:

### **5.1) Análisis de Componentes Principales.**

Se llevaron a cabo 9 pruebas estadísticas independientes para obtener los componentes principales de cada uno de los medios evaluados (agua, suelo y sedimento) en los tres diferentes muestreos. El análisis de componentes principales se realizó con la finalidad de establecer las correlaciones entre los parámetros fisicoquímicos evaluados y para descartar todas aquellas variables que carecieran de importancia. Para ello se construyó una matriz Q a partir de los datos originales y se calcularon los vectores propios por la técnica de varianza-covarianza.

### **5.2) Correlaciones Múltiples.**

Los resultados de los bioensayos con los tres organismos fueron ponderados de acuerdo a sus valores de toxicidad, considerando los rangos propuestos por Dutka *et al.*, (1990). Así, estos nuevos datos ponderados se sumaron para obtener un puntaje total (total point) para cada una de las estaciones de muestreo. Finalmente, los valores de los puntajes fueron correlacionados estadísticamente con los resultados de los parámetros fisicoquímicos, con un nivel de significancia del 95 % debido a la variabilidad de los datos.



## RESULTADOS Y DISCUSION

Para fines del análisis y discusión de los resultados, las estaciones de muestreo fueron divididas en 5 grupos de acuerdo a su fuente principal de aporte de agua y a la relación espacial que guardan. Así, el grupo 1, siguiendo un orden de sur a norte, incluye a la Presa Taxhimay, Presa Requena, Presa Endho, Tunititlán y Maguey Blanco, todos ellos pertenecientes al cauce del Río Tula. El segundo grupo está integrado por las estaciones que reciben aportes del Río Salado, las cuales son la del propio Río Salado y la del Canal Juandho. Al tercer grupo pertenecen los puntos de Chilcuautla y Progreso, ubicados respectivamente sobre el Canal Central y el Canal Principal Endho, derivados ambos de la Presa Endho. El grupo 4 comprende a Tlahuelilpan y Tepatepec, localizados sobre el Canal Principal Requena, el cual nace en la presa con el mismo nombre y recibe agua negra del Río El Salto 500 metros adelante de dicha presa. Finalmente, los manantiales de Tezontepec, San Salvador y Lagunilla forman el grupo 5. Por ausencia de muestra o por dificultad en el acceso no fue posible coleccionar el mismo número de muestras para los tres medios evaluados. Por lo tanto, para el agua se coleccionaron 14 muestras, para el suelo 12 y para el sedimento 5; es decir un total de 31 para cada uno de los muestreos, a excepción del mes de octubre en el cual no se pudo extraer el sedimento de la Presa Requena debido a un aumento considerable del nivel del agua. Los datos anteriores se resumen en el cuadro 1:

ESTACION DE MUESTREO	CLAVE	RELACION ESPACIAL	MUESTRAS		
			AGUA	SUELO	SEDIMENTO
PRESA TAXHIMAY	PT	GRUPO 1 CAUCE DEL RIO TULA	+		
PRESA REQUENA	PR		+	+	+
PRESA ENDHO	PE		+	+	+
TUNITITLAN	TU		+		
MAGUEY BLANCO	MB		+	+	
RIO SALADO	RS	GRUPO 2 CANAL Y CAUCE DEL RIO SALADO	+	+	+
JUANDHO	J		+	+	
PROGRESO	P	GRUPO 3 CANALES DE LA PRESA ENDHO	+	+	+
CHILCUAUTLA	C		+	+	+
TLAHUELILPAN	TL	GRUPO 4 CANAL PRINCIPAL REQUENA	+	+	
TEPATEPEC	T		+	+	
TEZONTEPEC	TE	GRUPO 5 MANANTIALES	+	+	
SAN SALVADOR	SS		+	+	
LAGUNILLA	L		+	+	

Cuadro 1. Agrupación de las estaciones y tipo de muestras coleccionadas en cada una.

## EVALUACION DE PARAMETROS FISICOQUIMICOS

### 1) AGUA

La calidad que debe tener un agua depende del uso que se pretenda darle. Los usos más comunes incluyen: consumo humano y animal, acuacultura, actividades recreativas y valor estético, uso doméstico, agrícola e industrial. En el caso particular de nuestra área de estudio, el agua que se utiliza para el riego proviene tanto de las descargas residuales de la Ciudad de México como de los aportes naturales de las Cuencas de Río Tula y del Valle de México. Debido a esta mezcla, la calidad del agua no corresponde ni a la de un agua negra bruta ni a la de un cauce natural. Por tal motivo, se emplearon por separado los criterios que definen a ambos tipos de agua para analizar nuestros resultados.

#### 1.1) Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ).

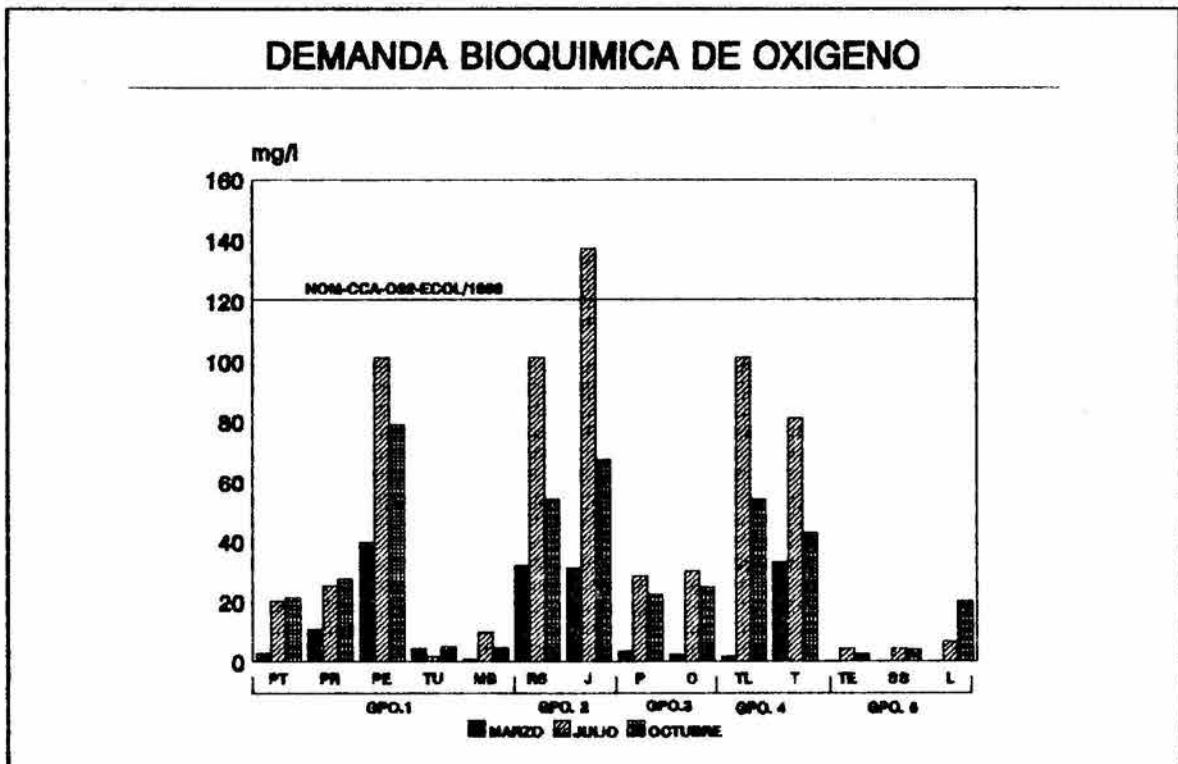


Fig. 4. Gráfica que muestra los valores de  $DBO_5$  y su relación con el límite máximo permisible para el agua de riego.

Como se observa en la figura 4. en el primer grupo de estaciones de muestreo se presentó una situación muy particular, ya que a lo largo del Río Tula se ubicaron tanto el punto con la mayor  $DBO_5$ , correspondiente a la Presa Endhó, como uno de los sitios con menor demanda bioquímica de oxígeno, localizado en Tunititlán, ambos separados apenas por una distancia de 17 Km. La Presa Endhó es el sitio donde se recibe y almacena un gran volumen de agua residual proveniente de la Ciudad de México. Esta agua se caracteriza por acarrear cantidades considerables de materia orgánica y es razonable que este punto tenga una  $DBO_5$  elevada, si consideramos que el aspecto fundamental de la contaminación por compuestos orgánicos es la disminución de oxígeno como resultado de su utilización en el proceso de degradación biológica. En Tunititlán, por el contrario, los valores de  $DBO_5$  sufrieron una disminución drástica, apreciándose de manera muy clara el proceso de autodepuración de los cuerpos de agua gracias a los aportes de los manantiales que aumentan el volumen de agua del cauce, disminuyendo la carga orgánica y favoreciendo la aireación del río.

A partir de la Presa Endhó se derivan los canales de Progreso y Chilcuautla, correspondientes al grupo 3, en los cuales la  $DBO_5$  se redujo más del 50 % con respecto a la Presa Endhó debido a que dicha presa funciona como una gran laguna de estabilización en el tratamiento primario de agua residual y, por consiguiente, la carga orgánica que llegó a los canales fue menor.

El distrito de riego recibe un aporte de 1.401.534 kg/ $DBO_5$ -día (SEDESOL, 1992), el cual se reparte entre el Río El Salto y el Río Salado. Por esta razón, es lógico que las estaciones localizadas sobre dichos ríos o derivados de los mismos (grupos 2 y 4) manifestaran elevados valores de  $DBO_5$ .

En la gráfica es posible observar que durante el segundo muestreo se presentó un incremento en los valores de  $DBO_5$  que fue ocasionado por el mayor uso del agua almacenada en las presas, pues fue en este período cuando se presentó el nivel más bajo en cada una de ellas, trayendo como consecuencia que se removilizara y concentrara la materia orgánica que fue transportada hasta los canales de riego. En los climatogramas (ver página 21) se puede apreciar que es en los meses de junio y septiembre cuando la precipitación alcanza sus más altos valores, sin embargo es también cuando la temperatura es más elevada y cuando las plantas requieren mayor cantidad de agua para su desarrollo. Es por esta razón que, aunque julio es uno de los meses con mayor precipitación, también es cuando hay una mayor utilización del agua residual.

De acuerdo a Stoker y Spencer (1981) en un cuerpo de agua templada con biota diversificada la  $DBO_5$  debe ser de 5 mg/l. Asimismo, la normatividad mexicana asienta como límite máximo permisible una  $DBO_5$  de 120 mg/l (Norma oficial mexicana NOM-CCA-

032-ECOL/1993) para las aguas cuyo destino final es el riego agrícola. Considerando estos valores, solamente Tunititlán, Maguey Blanco y los manantiales tuvieron valores inferiores o cercanos a 5 mg/l, mientras que en el resto de las estaciones los valores fueron mayores pero sin sobrepasar el límite máximo permisible. En el caso de los manantiales, el agua se depura porque el material geológico a través del que pasa, actúa como un filtro natural que elimina la materia orgánica suspendida. Por otra parte, en las demás estaciones no se alcanzó el valor de 250 mg/l característico de un agua negra bruta (Metcalf & Eddy, 1979) porque las descargas residuales se mezclan con los aportes del Río Tula y sus afluentes, además del agua de lluvia captada en la Cuenca del Valle de México.

### 1.2) Sustancias Activas al Azul de Metileno (Detergentes).

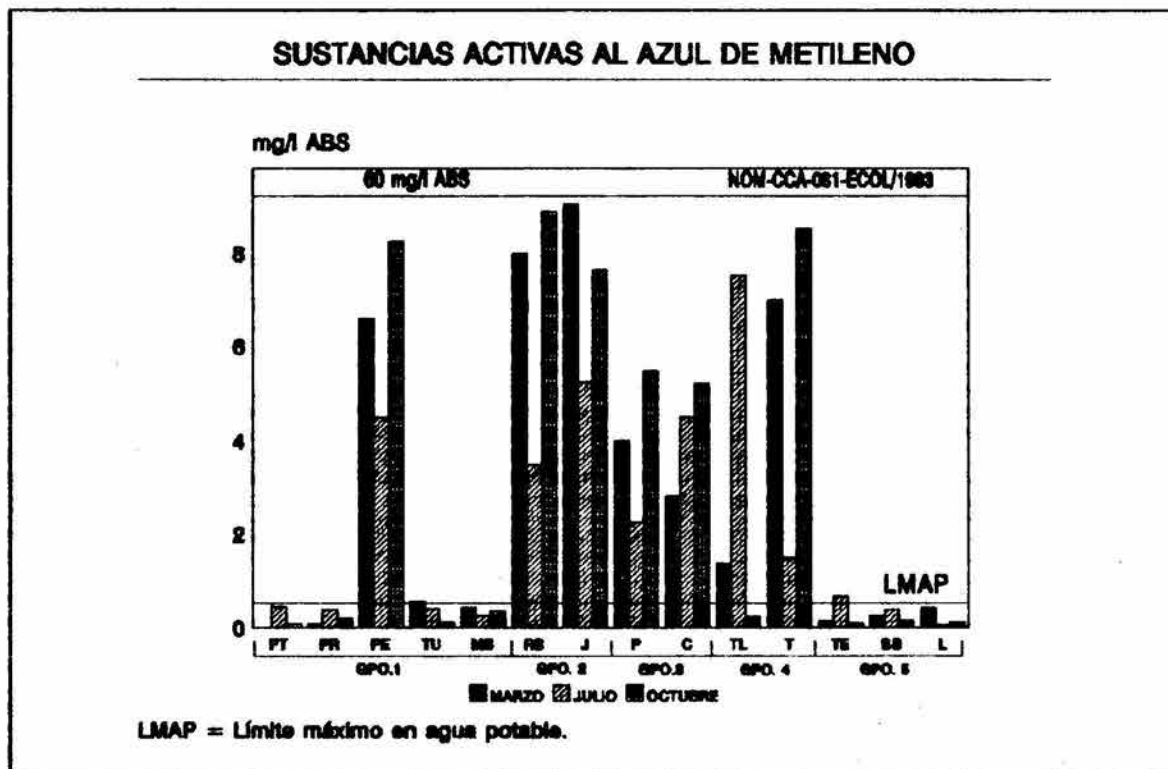


Fig. 5. Expresión gráfica de las concentraciones de detergentes y su relación con los límites permisibles para el agua potable y el agua negra.

Uno de los contaminantes más evidentes en el área de estudio son los detergentes, pues aun el observador más casual puede notar las densas nubes de espuma que se forman en los canales de riego. A pesar de que la espuma aparenta ser el daño más grave que causan los detergentes, esto no es así puesto que su formulación representa en realidad el mayor riesgo ambiental. La mayoría de

los detergentes utilizan polifosfatos que al llegar a los cuerpos de agua e hidrolizarse generan fosfatos, que en cantidades excesivas son responsables de la eutroficación de estos cuerpos, como pudo haber ocurrido en Endhó, el Río Salado y el Canal Principal Requena que, como se observa en la figura 5, fueron los puntos con la mayor concentración de detergentes durante los tres períodos de muestreo.

La normatividad ambiental delimita el valor máximo permisible de detergentes para aguas negras en 60 mg/l para un muestreo instantáneo y 30 mg/l en un promedio diario (Norma oficial mexicana NOM-CCA-031-ECOL/1993); mientras que el límite máximo para el agua potable es de 0.5 mg/l según los criterios ecológicos de calidad del agua (C.E.C.C.A., 1989 en SEDUE, 1990d). Los valores determinados en el presente estudio corresponden a un muestreo instantáneo, por lo cual al comparar el valor más alto obtenido de 9.0 mg/l con la norma para agua de riego, observamos que corresponde aproximadamente al 15 % del límite máximo permisible; mientras que el límite para agua potable es ampliamente superado. Este hecho pone de manifiesto que nuestra normatividad ambiental marca un rango muy amplio en cuanto a contaminación por S.A.A.M. en aguas de riego. Si a concentraciones de 9 mg/l se observa un fuerte impacto negativo tanto en el agua como en el suelo (ver fig. 6), no es difícil predecir el impacto a concentraciones de 60 o más mg/l.



Fig. 6. En la imagen se pone de manifiesto la problemática ocasionada por los detergentes en la zona de estudio.

### 1.3) Oxígeno Disuelto.

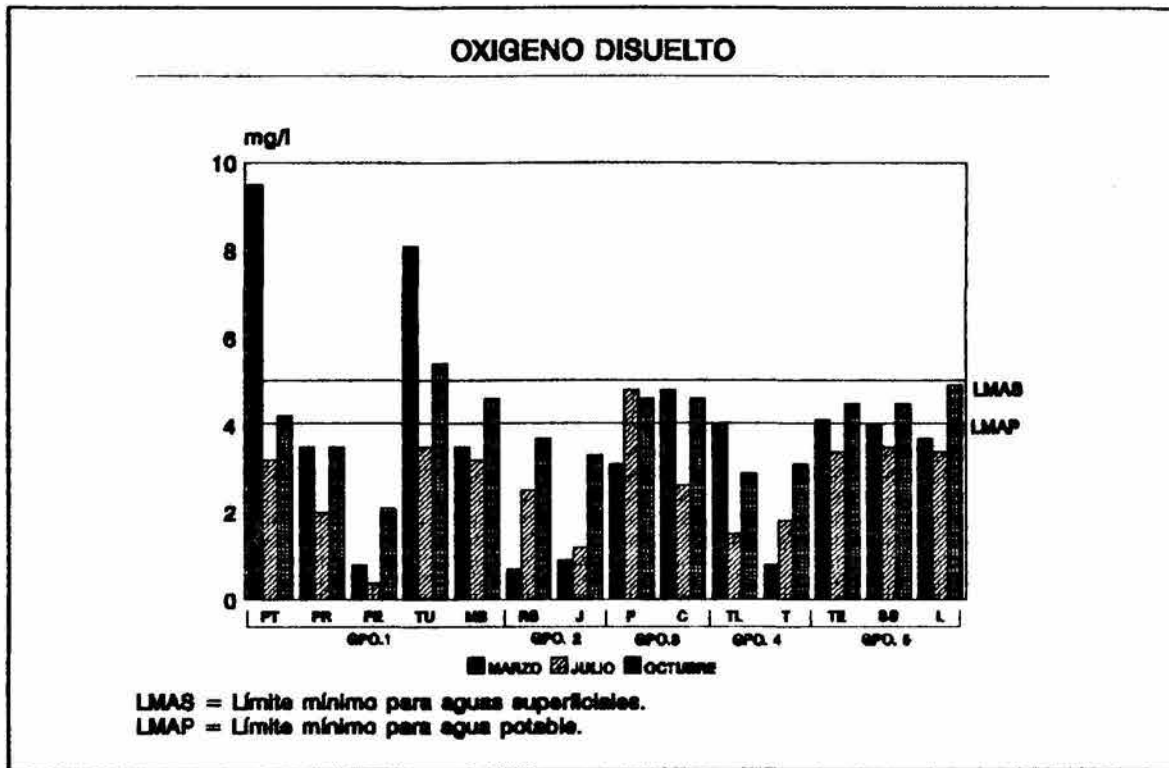


Fig. 7. Valores de oxígeno disuelto obtenidos en las muestras de agua. Los límites especificados en la presente figura están dados a 20 °C.

Como se aprecia en la figura 7, la concentración de oxígeno disuelto en el agua fue muy variable, siendo en algunos casos incluso de 0.0 mg/l. Los puntos con las menores concentraciones de oxígeno disuelto fueron Endhó, el Río Salado y el Canal Principal Requena, precisamente donde se presentó la mayor demanda bioquímica de oxígeno. En los demás puntos se da un aumento en los niveles de oxígeno debido al movimiento del agua y a la aireación que recibe durante el recorrido. Por otra parte, no se encontró un efecto estacional ni un efecto en relación a la temperatura, pues se observa que durante las tres fechas de muestreo el proceso de oxidación de la materia orgánica se mantuvo constante en la mayoría de los puntos, además de que la temperatura tampoco mostró variaciones notables durante los tres períodos de muestreo.

De acuerdo con Wheaton (1982) el agua superficial sin alteraciones debe presentar un valor mínimo promedio de oxígeno disuelto de 5 mg/l a 20 °C. Aunque dicho valor no fue alcanzado por la mayoría de las estaciones, éste no fue un factor determinante a excepción de aquellas estaciones en donde las

condiciones son totalmente anaerobias (Presa Endhó y Río Salado). Una situación similar se presenta al comparar los valores obtenidos con el límite establecido por los criterios ecológicos de calidad del agua potable que es de 4 mg/l a 20 °C. (SEDUE, 1990d)

#### 1.4) Alcalinidad y Dureza Totales.

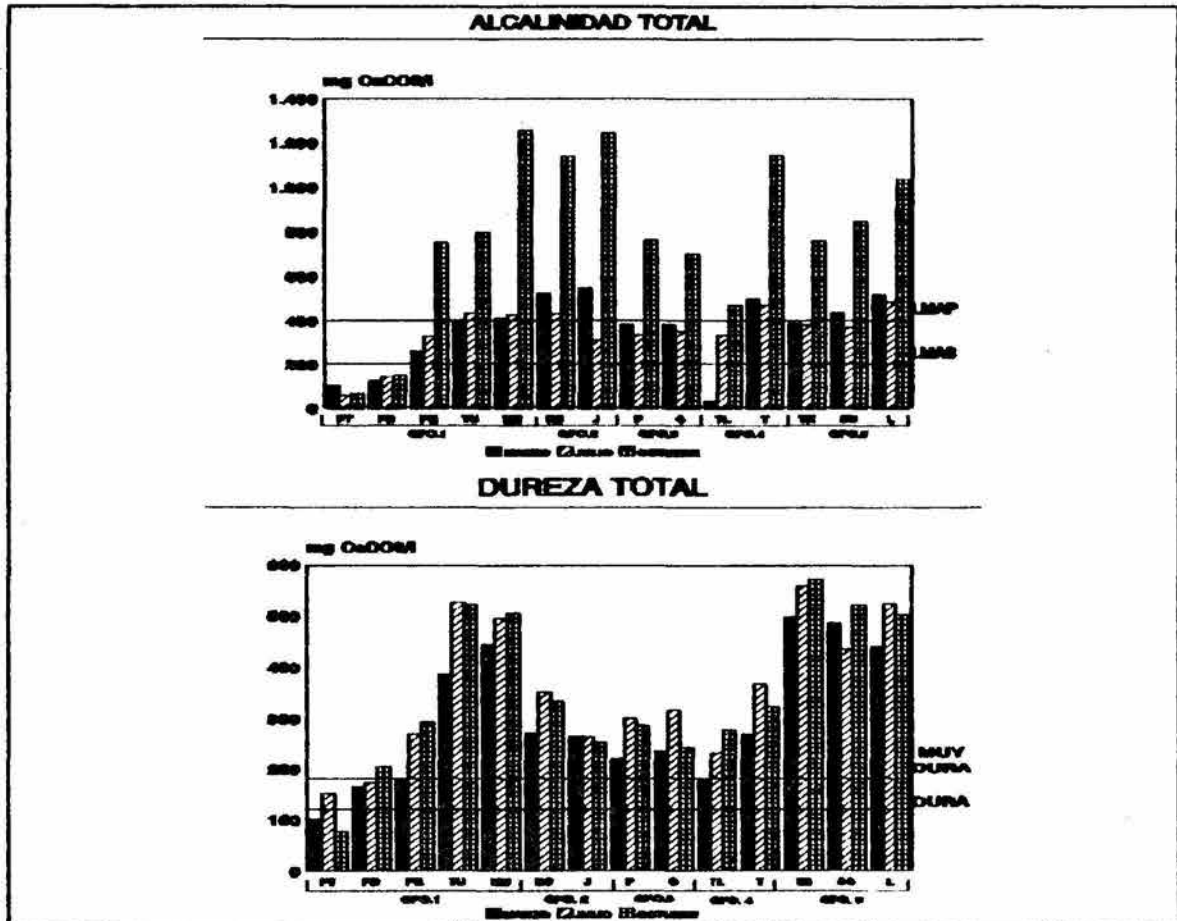


Fig. 8. Gráficas de los valores de alcalinidad y dureza de las aguas del DDR-063. En la Gráfica de alcalinidad están representados el límite máximo en agua superficial y el límite máximo en agua potable.

Como se aprecia en la figura 8, la alcalinidad y dureza evaluadas en las muestras de agua tuvieron un comportamiento diferente al observado en los parámetros anteriores pues ahora las estaciones correspondientes a los manantiales (grupo 5) presentaron los valores más altos para ambas pruebas, rebasando en algunos casos los 1000 mg CaCO<sub>3</sub>/l de alcalinidad y los 500 mg CaCO<sub>3</sub>/l de dureza. Sin embargo, si se analizan por separado cada una de

ellas, encontramos además que el grupo 2, que recibe aportes del Río Salado, mostró elevadas alcalinidades; mientras que en los puntos de Tunititlán y Maguey Blanco los valores de dureza también sobrepasaron los 500 mg CaCO<sub>3</sub>/l.

Los altos resultados de alcalinidad en el Río Salado pueden explicarse por el hecho de que el cauce de este río recibe las descargas de la zona de Texcoco, conocida por su elevada salinidad; mientras que la presencia de las sales en el agua de los manantiales puede comprenderse si consideramos dos procesos que ocurren en el suelo. En primer lugar, el agua de los canales que transporta las sales disueltas, al ser irrigadas sobre las parcelas, puede infiltrarse a través de los poros del suelo y de las fracturas del material rocoso hasta llegar a los mantos freáticos. En segundo lugar, la lixiviación y el lavado del suelo puede ocasionar que las sales lleguen a las aguas subterráneas. Una vez en el subsuelo, estos solutos son transportados nuevamente a la superficie por los manantiales. Ambos procesos elevan los valores de dureza y alcalinidad en la zona de Tezontepec, San Salvador y Lagunilla, pero también en Tunititlán y Maguey Blanco que reciben agua del subsuelo.

El incremento tanto de la dureza como de la alcalinidad fue más evidente en el tercer muestreo. En este periodo las lluvias favorecieron la infiltración y el lavado del suelo, aumentando con ello las concentraciones de sales en toda las estaciones de muestreo.

En relación a la normatividad ambiental no existe una norma que establezca los límites máximos permisibles de dureza y alcalinidad para agua de riego. Sin embargo, los criterios ecológicos de calidad del agua (SEDUE, 1990d) establecen un valor de 400 mg/l como límite máximo para el agua potable, el cual fue superado ampliamente durante el tercer muestreo. Por otro lado, si consideramos que para el agua natural sin perturbaciones los valores de alcalinidad son del orden de 20 a 200 mg CaCO<sub>3</sub>/l (Owen, 1985), sólo las Presas Taxhimay y Requena se encuentran dentro de dicho rango. Por su parte, la dureza del agua del DDR-063, de acuerdo a la clasificación de Brown *et al.*, (1970) corresponde a la de un agua muy dura, con excepción de la Presa Taxhimay.

### 1.5) Conductividad Eléctrica.

La conductividad eléctrica al igual que la alcalinidad, alcanzó los mayores niveles en los grupos 2 y 5 durante los tres periodos de muestreo, como se representa en la figura 9.



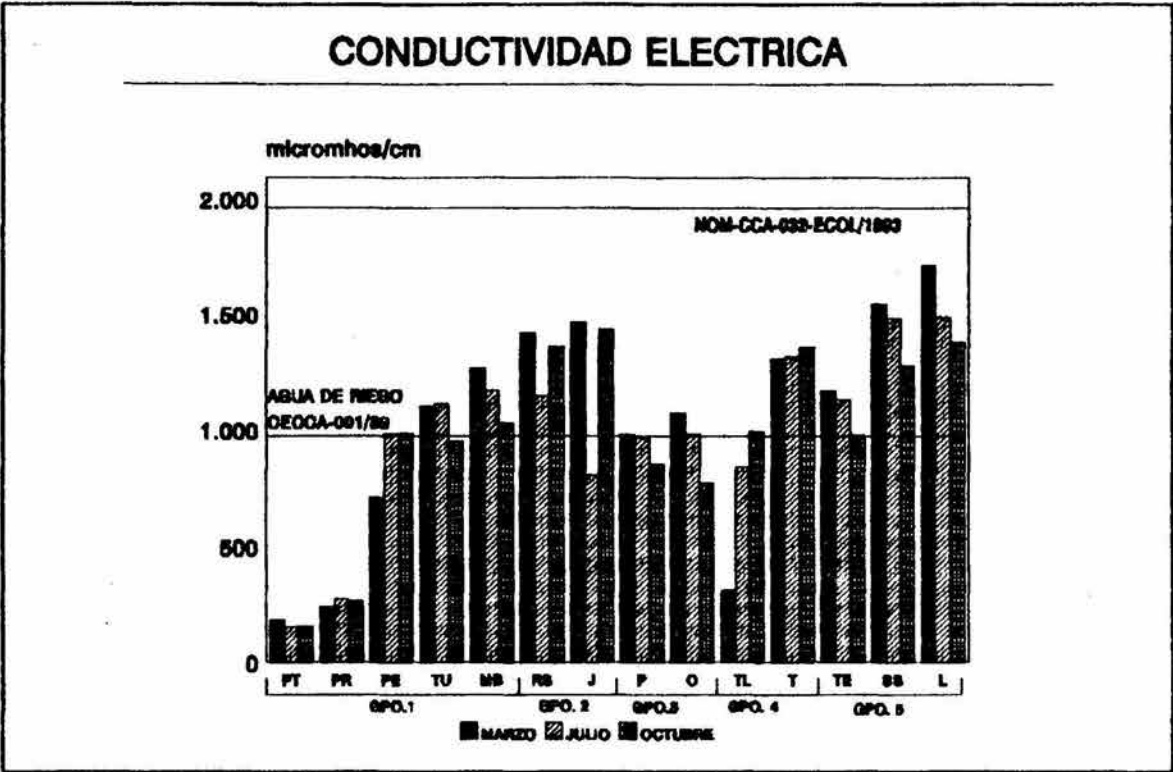


Fig. 9. Valores de conductividad eléctrica en las aguas del DDR-063 y su relación con los criterios ecológicos de calidad del agua (SEDUE, 1990d) y la norma oficial mexicana NOM-CCA-ECOL-032/1993

A excepción nuevamente de las Presas Taxhimay y Requena, todas las estaciones rebasaron los 700  $\mu\text{mhos/cm}$  que es el límite en el cual el agua comienza a presentar evidencias de salinidad (Collimiset, 1990). El problema de mayor relevancia que acarrearán las altas concentraciones de sales en esta agua es el uso que de ella se hace, pues al ser utilizada para el riego las sales son depositadas y, las que no son lixiviadas, se acumulan en el suelo lo que puede ocasionar que a largo plazo se presenten efectos fitotóxicos en los cultivos.

La norma oficial mexicana NOM-CCA-ECOL-032/1993 marca un valor de 2000  $\mu\text{mhos/cm}$  como límite máximo permisible para el agua de riego; valor que no fue rebasado en ninguna estación en ningún período del muestreo. Sin embargo, si consideramos el valor de 1000  $\mu\text{mhos/cm}$ , que es el límite máximo permisible para agua de riego según los criterios ecológicos de calidad del agua (SEDUE, 1990d), observamos que la mayoría de las estaciones lo superan. Esto pone de manifiesto la flexibilidad de la norma NOM-CCA-ECOL-032/1993 en cuanto a los valores de conductividad eléctrica, ya que el límite marcado en 1989 ha sido duplicado a pesar de los

problemas de salinidad que se presentan actualmente en el suelo, como se muestra en la figura 10.



Fig. 10. Cúmulos o manchones de sales que comienzan a formarse en los suelos del DDR-063. (Fotografía de una parcela de cultivo de Tepatepec).

1.6) Potencial de Hidrógeno.

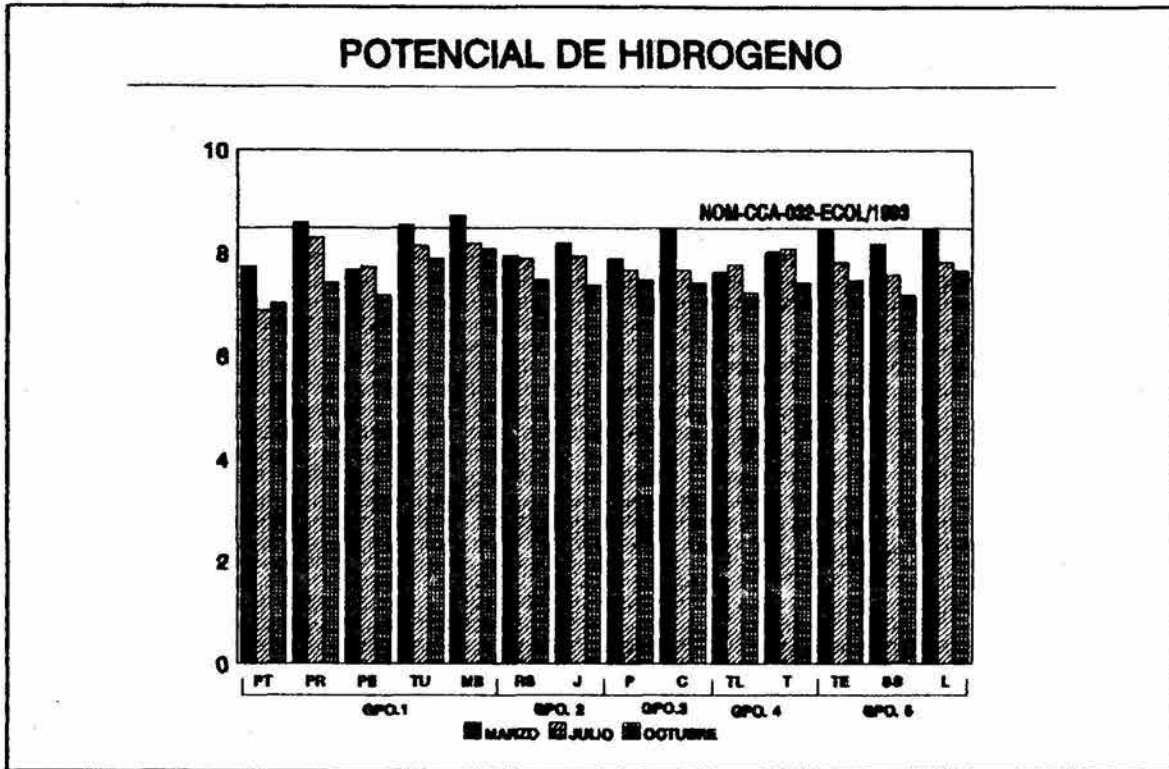


Fig. 11. Potencial de hidrógeno en muestras de agua del DDR-063 y su relación con el límite máximo para aguas de riego.

El potencial de hidrógeno fue un parámetro que se salió del patrón de comportamiento del resto de las pruebas, pues se mantuvo casi constante, con ligeras fluctuaciones, durante los tres periodos de muestreo a lo largo de todas las estaciones.

El pH de las muestras evaluadas es determinado en gran medida por la interacción de los iones  $H^+$ , procedentes de la disociación del  $H_2CO_3$ , y de los iones  $OH^-$ , resultantes de la hidrólisis del bicarbonato (Wetzel, 1981). Si se consideran los niveles de alcalinidad y dureza totales se puede inferir que los solutos más abundantes en el agua son los bicarbonatos y carbonatos, además de las sales de sodio.

La normatividad ambiental determina un rango entre 6.9 y 8.5 unidades de pH como el límite máximo permisible en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola (Norma oficial mexicana NOM-CCA-ECOL-032/1993). Este rango sólo fue superado en el primer muestreo por las estaciones de Requena y Maguey Blanco, pero en el resto de los puntos muestreados el pH se mantuvo dentro de dichos límites a lo largo de todo el año.

1.7) Metales Pesados Disueltos.

Ninguno de los datos obtenidos en las determinaciones de metales pesados rebasó las concentraciones máximas para agua de riego establecidas en las normas oficiales mexicanas. Sin embargo, estos resultados representan únicamente una fracción del valor total considerado por dichas normas. La mayoría de los compuestos metálicos de los elementos analizados en esta investigación se caracterizan por presentar una baja solubilidad en agua y por asociarse fácilmente a los sólidos suspendidos; por esta razón no es sorprendente que los valores de cadmio, cobalto, cromo y plomo se mantengan dentro de los límites permisibles.

1.7.1) Plomo.

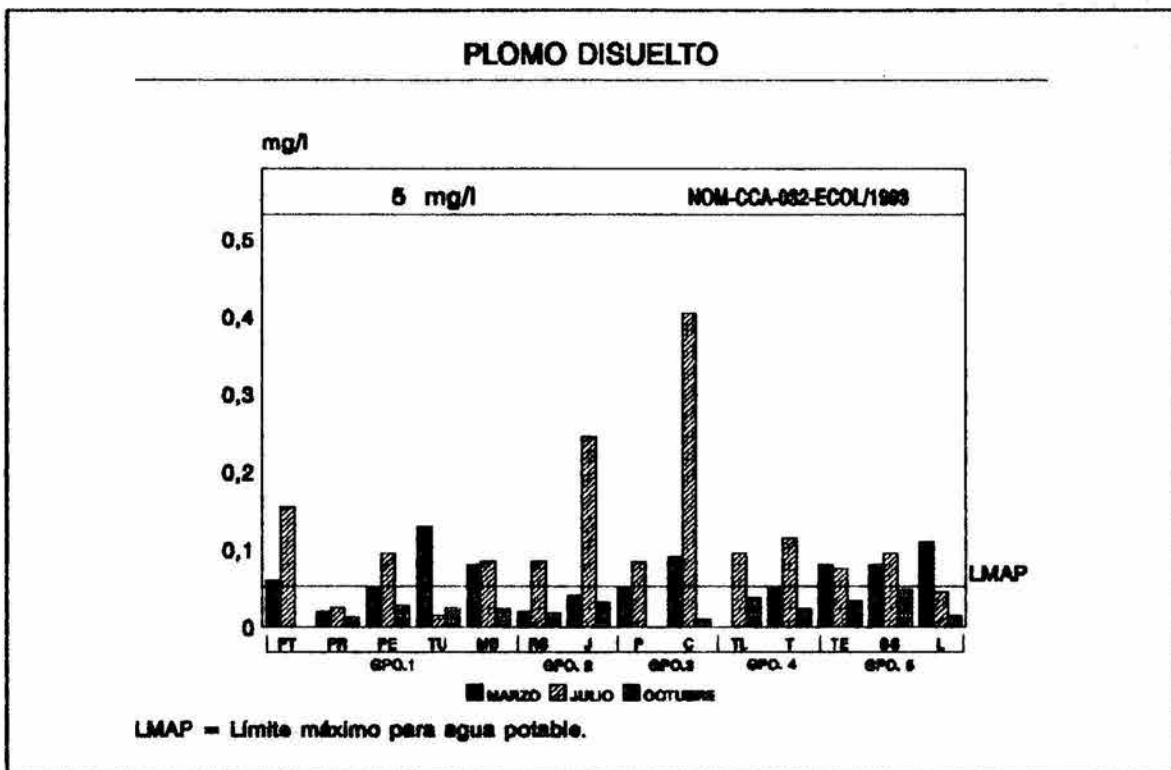


Fig. 12. Concentración de plomo disuelto y su relación con los límites máximos para agua potable y agua de riego.

El plomo es un metal con una solubilidad muy baja en agua, por lo que la probabilidad de detectarlo disuelto en el agua del distrito de riego sería muy baja. Sin embargo, fue posible detectarlo en los tres periodos de muestreo, hecho que habla de las altas concentraciones de plomo total que probablemente contiene dicho medio.

En el segundo muestreo se observó un incremento del plomo

disuelto debido a que en esta época se presentó el nivel más bajo del agua en las presas, lo cual pudo ocasionar la removilización de los metales del material sedimentado y aumentar con ello el riesgo ambiental, pues es en este periodo cuando se incrementa el uso del agua para el crecimiento de los cultivos.

Es importante hacer notar que incluso la Presa Taxhimay se incluyó dentro de las estaciones que presentaron valores elevados de este metal, como en el caso de las estaciones de Juandhó y Chilcuautla.

1.7.2) Cadmio.

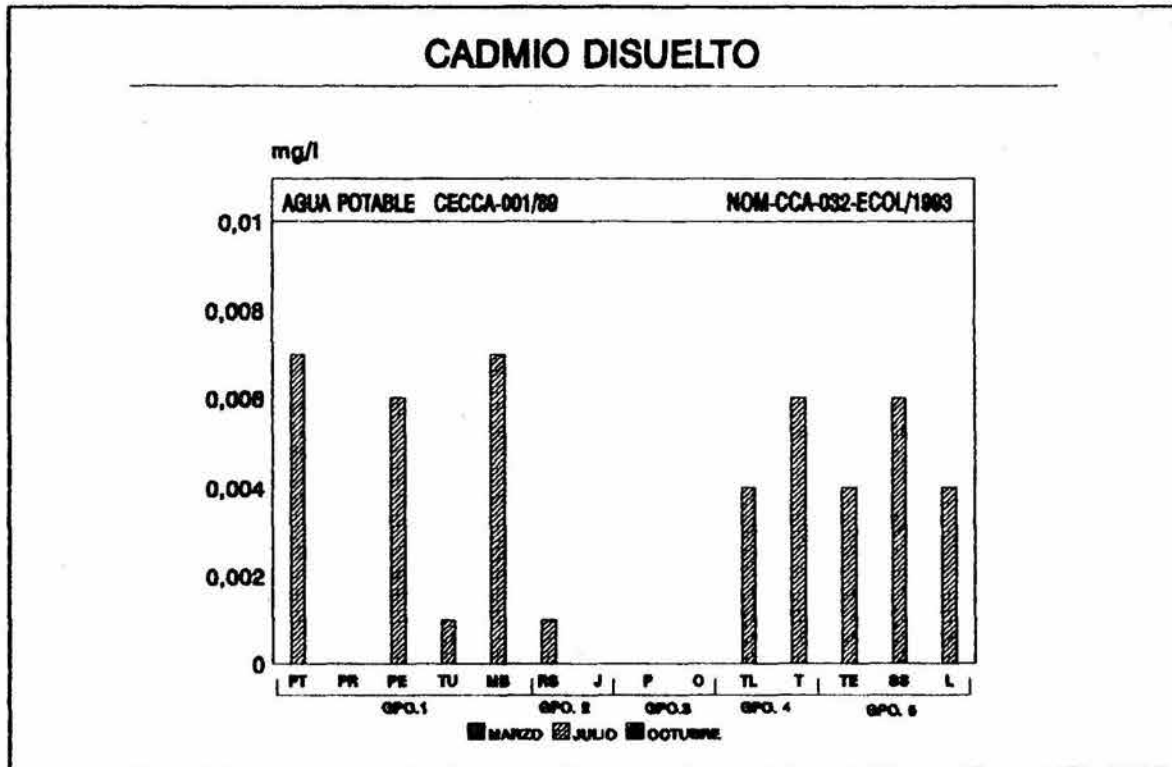


Fig. 13. Concentración de cadmio disuelto. El límite máximo para agua potable y agua de riego es de 0.01 mg/l.

El cadmio disuelto sólo fue detectado en el segundo muestreo, en el primero y tercero estuvo por abajo del límite de detección del equipo de análisis, como se muestra en la figura 13. La presencia del cadmio disuelto en el segundo muestreo confirma la hipótesis de que en ese periodo existió una gran removilización de material en las presas. Al ser el cadmio un metal con muy alta movilidad, probablemente se disolvió en el agua para asociarse nuevamente a las partículas sólidas. Esta alta capacidad de movimiento del cadmio explica porque en estaciones tan dependientes espacialmente no se observa un patrón de concentraciones similar,

como por ejemplo en la Presa Endhó con respecto a Progreso y Chilcuautla.

El agua de riego y el agua potable deben presentar concentraciones menores a 0.01 mg/l de cadmio total (Norma oficial mexicana NOM-CCA-032/ECOL/1993; SEDUE, 1990D), límite que no fue alcanzado pero al cual se acercaron significativamente los resultados obtenidos.

### 1.7.3) Cromo.

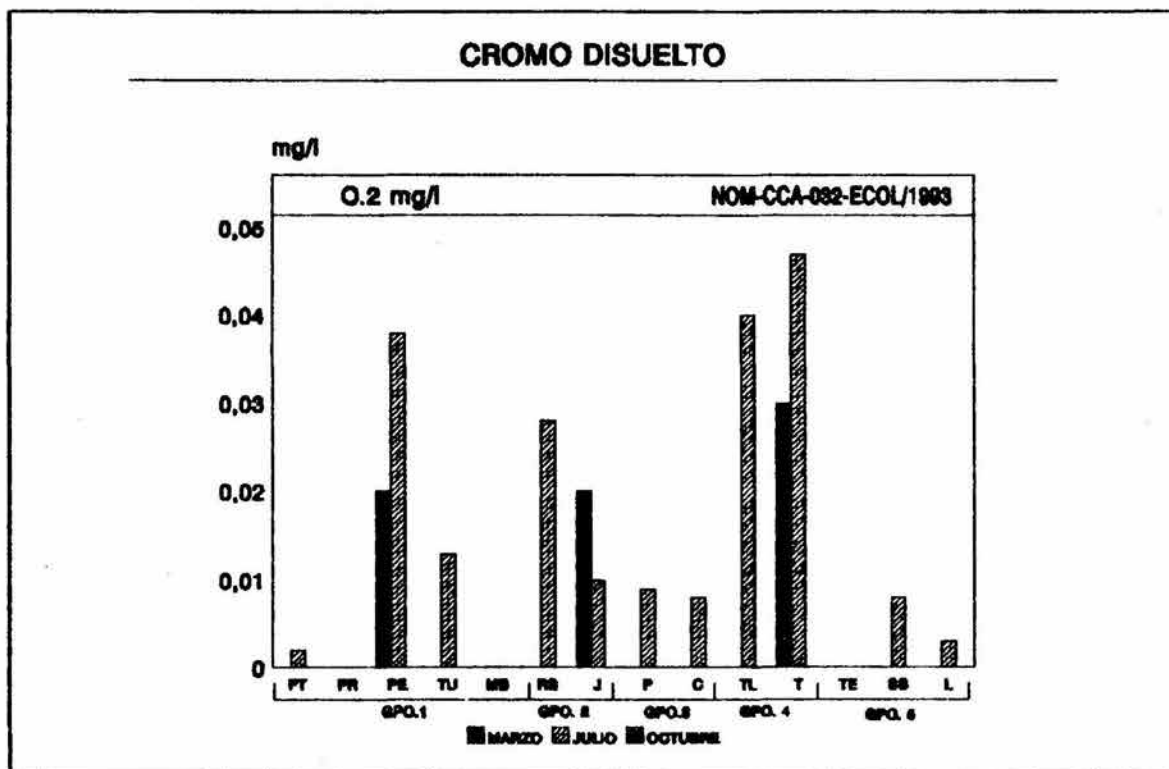


Fig. 14. Gráfica que muestra la concentración de cromo disuelto, observándose que el límite máximo para agua de riego no fue alcanzado.

De acuerdo a la figura 14 es evidente que el cromo disuelto tuvo un comportamiento muy similar al del plomo, es decir un incremento en el segundo muestreo; siendo ahora las estaciones de Endhó, Río Salado, Tlahuelilpan y Tepatepec las de los mayores niveles, aunque ninguna alcanzó el valor de 0.2 mg/l que es límite máximo permisible de cromo como metal total (Norma oficial mexicana NOM-CCA-ECOL-032/1993).

En el tercer muestreo la concentración de cromo soluble fue inferior al límite de detección del equipo utilizado por lo que en la gráfica se representó como cero.

1.7.4) Cobalto.

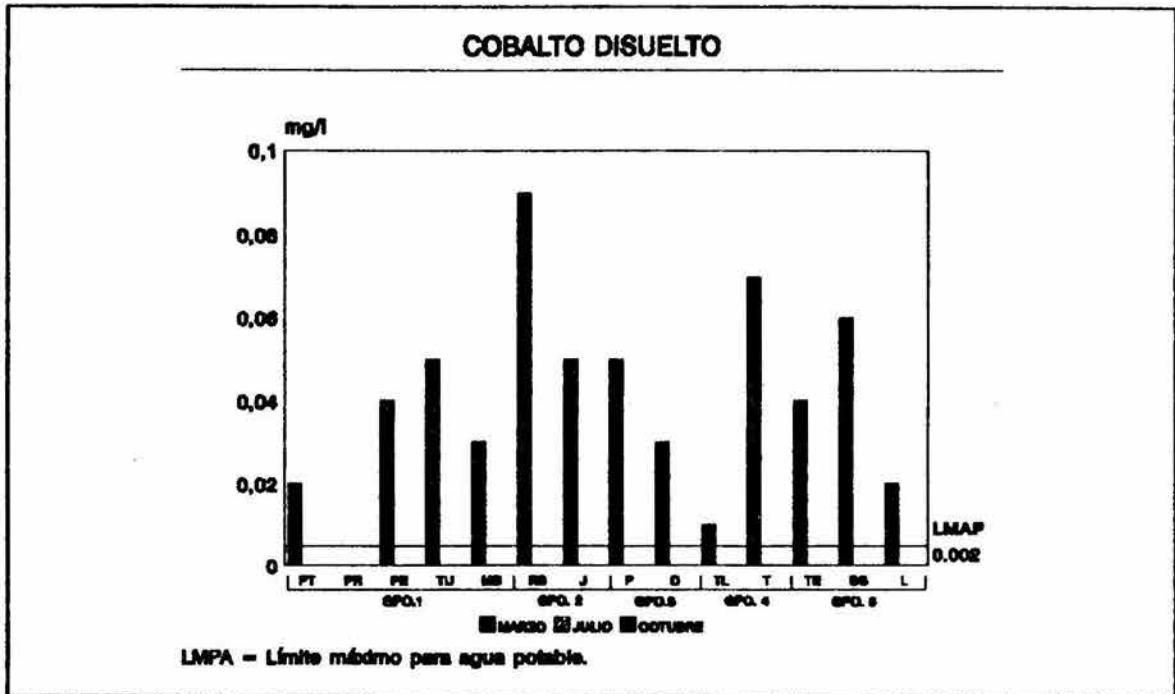


Fig. 15. Concentraciones de cobalto disuelto en el agua del DDR-063. En la gráfica se observa que todos los valores sobrepasan el límite máximo para agua potable.

La contaminación por cobalto en el distrito de riego se presentó como una situación especial. En la figura 15 se puede apreciar que únicamente fue detectado en el primer muestreo; mientras que en el segundo y tercero las concentraciones fueron inferiores al límite de detección del equipo utilizado y se representaron con el valor de cero.

Este comportamiento de las concentraciones de cobalto disuelto demuestran que en este período existió un derrame "accidental" de algún compuesto del que forma parte este metal. Para tratar de aclarar la posible fuente de emisión de este derrame cabe recordar que las industrias que utilizan cobalto durante sus procesos son las de: maquinas y herramientas, utensilios de cocina, pigmentos, desecantes y aleaciones (U.S.D.H.H.S., 1991). Estos tipos de industrias se encuentran ubicados en los parques y fraccionamientos industriales que tienen influencia en la zona de estudio como son: Cartagena, Cuamatla, El Trebol, La Luz, La Perla, Netzahualcoyotl, Tlalnepantla, Tultitlán, Tula, Tepeji del Río, además de la C.F.E. y la Refinería de Tula (C.N.A., 1991c). Por lo tanto saber cual fábrica fue la causante de este "accidente" es muy difícil.

El o los compuestos que contenían cobalto pudieron tener dos vías de distribución en la zona de estudio, por agua o por aire. Se descarta la idea de que el cobalto fue vertido y transportado en el agua, pues es un metal que tiene muy poca solubilidad en el agua y a valores de pH superiores a las 6 unidades presenta una gran capacidad de adsorción a los sólidos, situación que pudo ocurrir con facilidad ya que todas las muestras de agua presentaron valores de pH superiores a 6 unidades. Además si el cobalto hubiera sido arrojado en el agua, al seguir el cauce del río o de los canales sería posible observar su disminución en relación a la distancia y ver representada dicha disminución en la figura 15. Este incremento alarmante en el mes de marzo fue también evidente para las concentraciones de cobalto extractable en suelo y sedimento. Sin embargo, no existe una relación entre los sitios de muestreo; es decir que los niveles de dicho metal para una estación dada no se incrementaron en los tres medios de manera proporcional, por lo tanto nos inclinamos por la idea de que el metal pudo haber sido transportado a través de las corrientes de aire.

#### 1.8) Calidad del Agua del DDR-063.

En México se manejan diferentes criterios para clasificar el agua que varían dependiendo de la finalidad por la cual se haya hecho su clasificación. Sin embargo, el criterio básico que debe ser considerado en primera instancia es el uso que se hará de ella. De acuerdo a esto, la SEDUE (hoy SEDESOL) estableció los parámetros que debe satisfacer el agua según su uso principal, publicados como los criterios ecológicos de calidad del agua (SEDUE, 1990d).

Para el caso específico del agua que es utilizada para riego los criterios ecológicos han fijado una serie de parámetros para evaluar su calidad, los cuales incluyen a la conductividad eléctrica y al pH. Para la primera han establecido un valor de 1000 umhos/cm como límite máximo; mientras que para el segundo consideran un rango de 4.5 a 9.0 unidades. Si comparamos ambos límites con los resultados obtenidos, encontramos que el agua del DDR-063 si satisface el rango de pH, presentando un valor promedio cercano a las 8.0 unidades. Sin embargo, con respecto a la conductividad eléctrica observamos que en los tres muestreos realizados sobrepasó el valor límite, sin cumplir con los requerimientos necesarios para el uso que actualmente tiene.

Desde un punto de vista menos general el agua de riego es también clasificada en varias clases considerando diferentes parámetros. Jones & Wolf (1984) han propuesto tres categorías para evaluar su calidad de acuerdo a 9 parámetros fisicoquímicos. Siguiendo su criterio el agua del DDR-063 presenta una calidad media en cuanto a sus valores de pH y conductividad eléctrica (ver cuadro 2).



PARAMETRO	BUENA	MEDIA	MALA
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (mmhos/cm)	< 0.75	0.75 - 3.0	> 3.0
pH	6.5 - 8.4	6.5 - 8.4	6.5 - 8.4

Cuadro 2. Criterios de calidad del agua de riego propuestos por Jones & Wolf (1984).

Por otro lado, la norma oficial mexicana NOM-CCA-ECOL-033/1993 divide al agua de riego en cuatro tipos diferentes dependiendo de su contenido de coliformes totales. En el presente estudio no se evaluó dicho parámetro; sin embargo, en un trabajo realizado por la C.N.A. (1991b) se reportan valores de  $2.4 \times 10^7$  a  $9.3 \times 10^4$  NPM/100 ml, los cuales colocarían al agua del DDR-063 dentro del tipo III, lo cual significa que en esta zona está prohibido el cultivo de hortalizas de consumo crudo (a excepción de Tezontepec) porque representan un riesgo a la salud de la población consumidora de dichos productos.

## 2) SUELO.

### 2.1) Potencial de Hidrógeno.

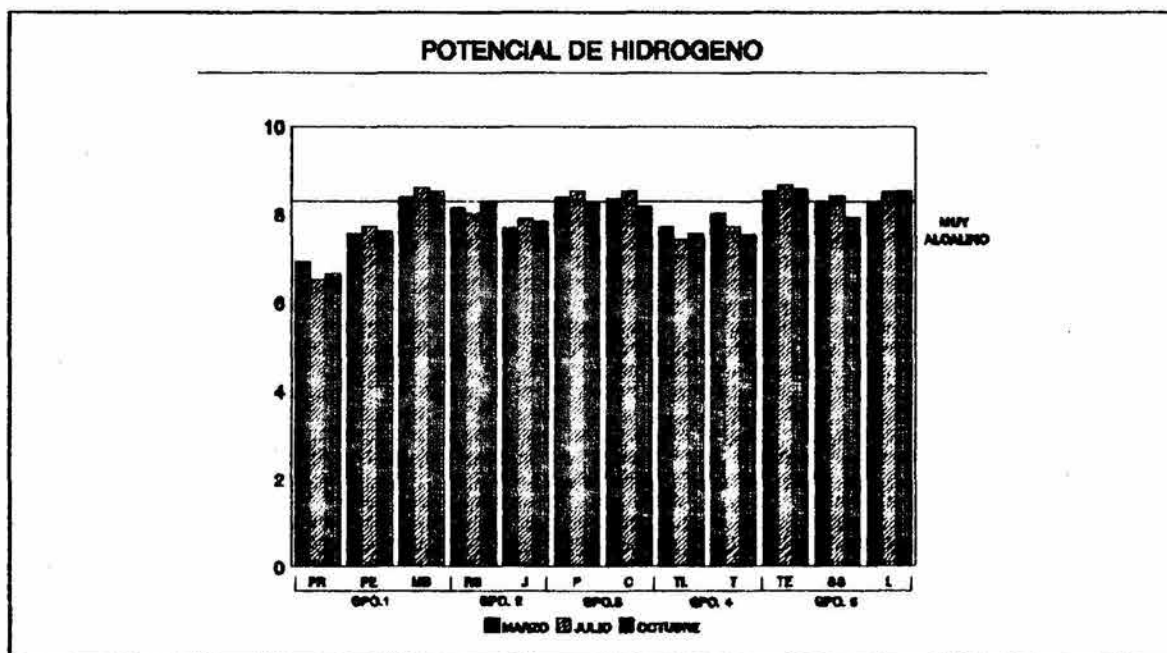


Fig. 16. Valores de pH del suelo del DDR-063. El límite señalado fue establecido de acuerdo a Jones & Wolf, 1984.

En general, los suelos muestreados en todo el distrito de riego poseen un pH básico, a excepción de las parcelas cercanas a la Presa Requena que mostraron un pH ligeramente ácido. Estos resultados son comprensibles si consideramos que los suelos son de naturaleza calcárea y corresponden a Phaeozem calcáricos, Leptosoles rendzínicos o Fluvisoles calcáreos, a excepción de los casos de la Presa Requena y Tepatepec donde se presentan Phaeozem háplicos. En este último punto debería presentarse un pH cercano a 6.5 como en Requena; sin embargo, el valor se ha incrementado hasta aproximadamente 7.7. Esto significa que en Tepatepec existen problemas de salinidad que se hacen evidentes por las costras blancas en la superficie del suelo. Dicho problema es también importante en las zonas de Tezontepec, Maguey Blanco, San Salvador y Lagunilla, en las cuales el pH sobrepasa el valor de 8.3 que se asocia a un pH fuertemente alcalino (Jones & Wolf, 1984). Estos resultados nos indican que existe un aporte artificial de sales que se encuentran disueltas en el agua de riego, sobre todo si se trata de agua de reuso agrícola, es decir que previamente ha sido empleada para riego y cuyo contenido de sales se ha incrementado por el lavado del suelo y el ocasional uso de fertilizantes.

El efecto de las sales puede quedar mucho más claro si se compara la figura 16 con las de dureza y alcalinidad del agua (figura 8). En ellas se puede ver que los sitios en los cuales el pH del suelo sobrepasa las 8.3 unidades, son precisamente las zonas donde se registraron valores de dureza superiores a 500 mg de  $\text{CaCO}_3/\text{l}$  y más de 1000 mg de  $\text{CaCO}_3/\text{l}$  de alcalinidad. Este problema además se manifiesta en el hecho de que algunas de las especies más cultivadas en el distrito, como la alfalfa, cebada y avena, son plantas tolerantes al exceso de sales. (Autoridades del DDR-063, com. per.)

## 2.2) Contenido de Materia Orgánica.

Aunque pueda suponerse que los suelos del distrito de riego contienen bajos niveles de materia orgánica por localizarse en una zona semiárida, los resultados obtenidos indican lo contrario, como se observa en la figura 17. Esto se debe a que el agua de riego constituye un agente muy importante en el aporte de sustancias orgánicas al suelo, y ha provocado que se encuentren porcentajes medios (2 a 3 %), altos (3 a 5 %) e incluso muy altos (> 5 %) en todos los suelos del área (Ortíz y Ortíz, 1980). Esta situación se refleja en la coloración de los suelos que en todos los casos resultaron ser pardos o pardo grisáceos, indicadores de suelos ricos en materia orgánica. Es importante señalar que los agricultores de la zona pocas veces recurren al uso de otros abonos adicionales para sus parcelas, a excepción del estiércol que se emplea en algunas localidades como Tezontepec y Maguey Blanco; sin embargo, en estos dos sitios se presentan condiciones especiales. En el primero no se emplea agua negra para riego, y en el segundo se han efectuado prácticas

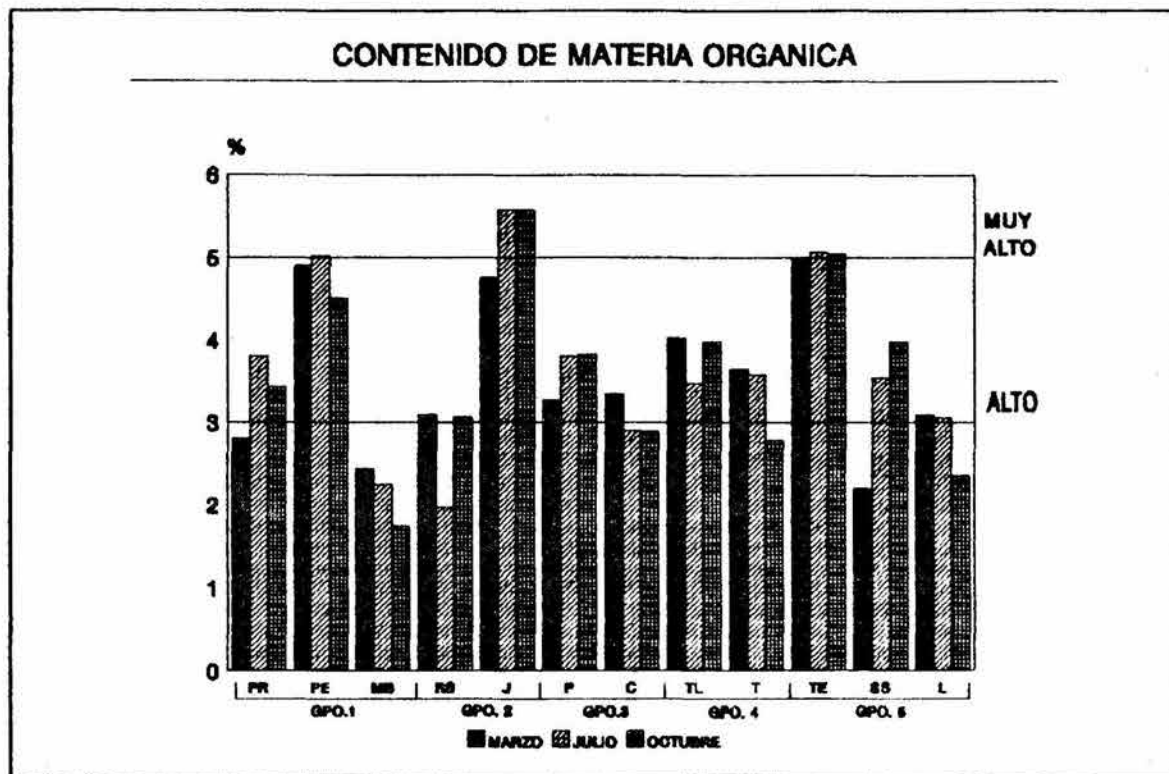


Fig. 17. Gráfica que muestra el contenido de materia orgánica en los suelos del DDR-063 y las categorías a las que pertenecen según la clasificación de Ortiz y Ortiz, 1980.

de nivelación del terreno, que han ocasionado la pérdida de los horizontes superficiales y fértiles.

Al observar la figura 17 se aprecia que existe un comportamiento heterogéneo en los datos. Por consiguiente, no se puede decir que en una zona en particular el aporte de sustancias orgánicas sea mayor, ni que en algunos meses el contenido se incremente con respecto al resto del año, como sucedió en el caso de las muestras de agua, cuya  $DBO_5$  aumento durante el segundo muestreo. Esto se debe a que las prácticas de cultivo y las especies que se siembran no son las mismas en todo el distrito, además de que los suelos de las diferentes estaciones de muestreo no han estado expuestos al agua negra por el mismo período de tiempo.

### 2.3) Capacidad de Intercambio Catiónico Total.

La capacidad de intercambio catiónico de un suelo se encuentra directamente relacionada con la cantidad de coloides del mismo; es decir, con los porcentajes de arcilla y materia orgánica humificada que contenga (Tamhane *et al.*, 1978). Considerando este principio, podemos inferir que el humus juega un papel muy

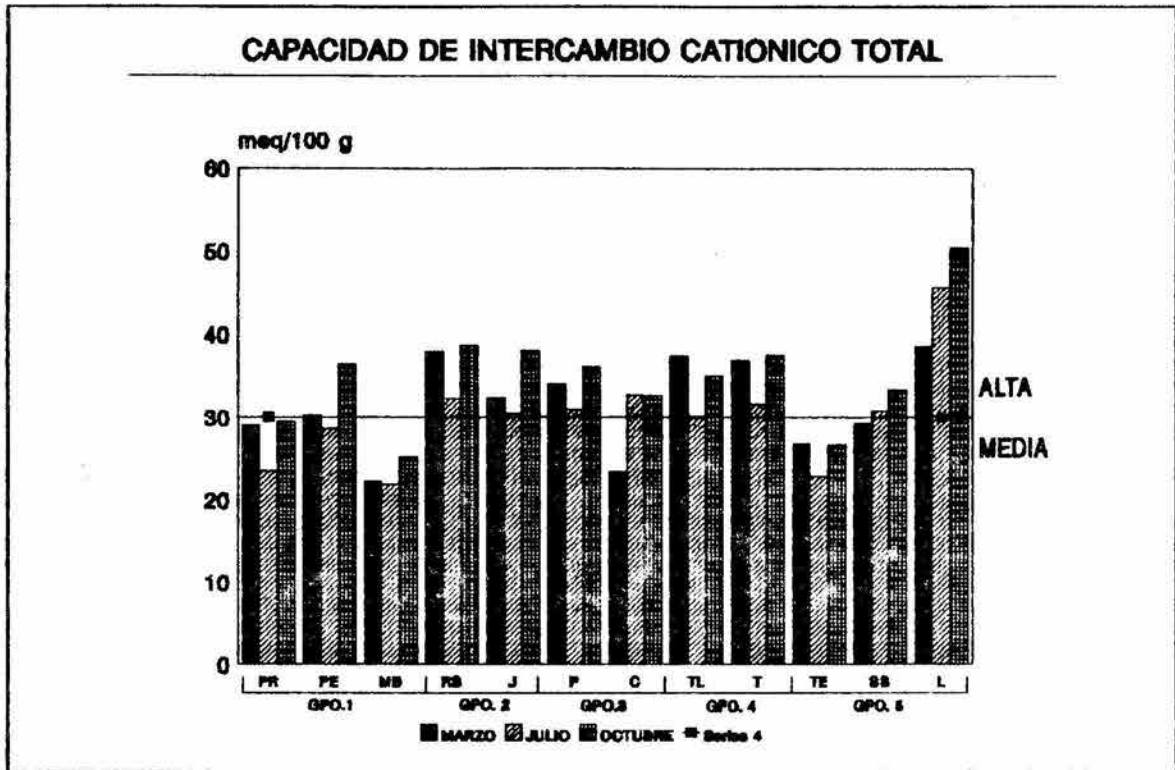


Fig. 18. Capacidad de intercambio catiónico total de los suelos del área de estudio y categorías a las que pertenecen de acuerdo a la clasificación de Cottenie, 1980.

importante en los suelos del distrito de riego, puesto que sus valores de C.I.C.T. varían de altos a muy altos (Cottenie, 1980), aun cuando su textura es arenosa en la mayoría de los casos. Como ya se mencionó en el inciso anterior, la materia orgánica llega a las parcelas gracias al agua de riego, además de la que se produce *in situ* por las prácticas agrícolas, la cual constituye en este aspecto, un factor que beneficia a las propiedades físicas y químicas de los suelos.

En las estaciones de muestreo de la Presa Requena, Progreso y Lagunilla los suelos mostraron una textura arcillosa; por lo que en estos sitios la C.I.C.T. se incrementó no sólo por el efecto de la materia orgánica, sino también por la presencia de las partículas finas. Esto es evidente sobre todo en el caso de la Lagunilla cuyos valores de intercambio alcanzaron 50.94 meq/100 g de suelo.

En el inciso anterior se mencionó que en las localidades de Tezontepec y Maguey Blanco los agricultores acostumbran utilizar estiercol como abono para sus cultivos. Esta práctica incrementa los porcentajes de materia orgánica en los suelos y, por consiguiente, se esperaría que su capacidad de intercambio

cationico alcanzara valores altos. Sin embargo, los suelos de ambos sitios mostraron una capacidad media. En el caso de Tezontepec, aunque el contenido de materia organica resultó alto, el suelo posee una textura de arena migajosa con apenas un 4 % de arcilla, lo cual impidió que se alcancen valores mayores de 30 meq/100 g asociados a una alta C.I.C.T. Por otra parte, en Maquey Blanco la textura es también arenosa, con un 12 % de arcilla, y el empleo de estiercol no ha logrado todavía que el porcentaje de materia organica llegue a ser alto (3 %), por estas razones tampoco se obtuvo en esta estación una C.I.C.T. elevada.

#### 2.4) Sodio Intercambiable.

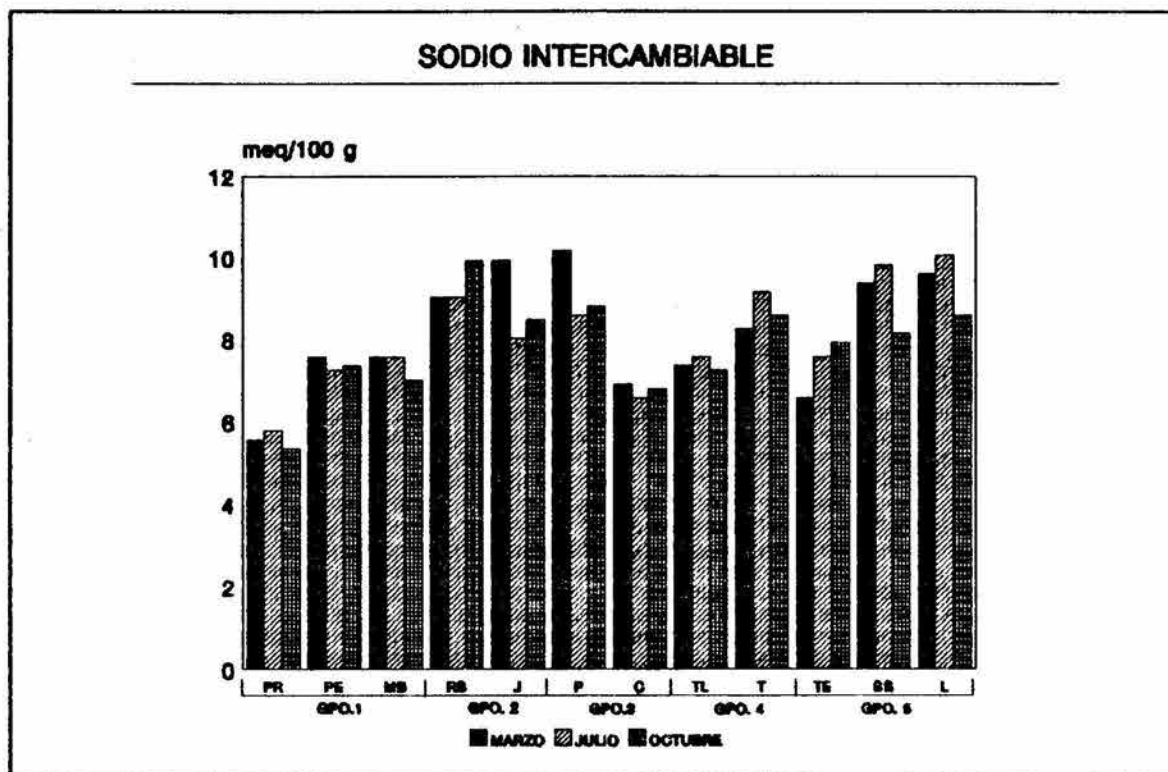


Fig. 19. Contenido de sodio intercambiable del suelo del DDR-63.

De acuerdo a los reportes del Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos (L.S.E.U.A., 1982), un suelo sódico se caracteriza por tres parámetros: 1) posee un porcentaje de sodio intercambiable (PSI) mayor de 15; 2) la conductividad eléctrica de su extracto de saturación es menor de 4.0 mmhos/cm; y 3) su pH fluctúa generalmente entre 8.5 y 10.0. Aplicando esta definición a las muestras obtenidas se encontró que en todo el distrito se presentan suelos sódicos incipientes. No se puede hablar de suelos sódicos como tales porque todavía no se cumplen las tres condiciones anteriormente descritas. A partir de los valores de C.I.C.T. y del contenido de sodio, se calculó el PSI

para todas las muestras y en todos los casos se rebasó el 15 %. La conductividad eléctrica del suelo no fue considerada dentro de los parámetros a evaluar en esta investigación; sin embargo, se calculó en tres muestras para corroborar la confiabilidad de las determinaciones de sodio. En estas tres muestras los datos obtenidos variaron entre 1.1 y 2.9 mmhos, sin sobrepasar el límite máximo característico. Como estos datos correspondían a las muestras con los contenidos de sodio más altos, es de suponerse que el resto de las muestras tampoco excedan los 4.0 mmhos/cm. Finalmente, los valores de pH, con algunas excepciones, resultaron menores de 8.5.

Los resultados de sodio no manifestaron un comportamiento estacional homogéneo; sin embargo, si mostraron cuales son los sitios con mayores problemas de sodicidad: Río Salado, Juandhó, Tepatepec, Lagunilla y San Salvador. Los niveles altos de dicho elemento en el Río Salado y en Juandhó se pueden explicar si consideramos que parte de las aguas salinas del lago de Texcoco son drenadas hacia ellos. Asimismo, podemos deducir que la presencia de mantos freáticos muy superficiales en la parte baja del distrito, correspondiente a San Salvador y Lagunilla provocan la acumulación de sodio en la superficie del suelo. En el caso de Tepatepec, el uso de agua de retorno agrícola es la causa principal del incremento de dicho elemento.

## **2.5) Metales Pesados Extractables a pH ácido.**

Es importante aclarar que la legislación mexicana carece de normas que dicten los niveles permisibles de sustancias contaminantes en suelos y, por lo tanto, no se conocen los valores máximos de metales pesados que deben considerarse en los suelos de nuestro país. Por tal motivo para la presente discusión se consultaron los valores que se han establecido internacionalmente por la O.M.S. y la O.P.S (1988).

Todos estos valores consideran la presencia de metales pesados totales. No obstante, en esta investigación se determinaron los niveles de metales pesados extractables, por representar las fracciones directamente disponibles para los organismos. Por lo tanto, los valores internacionales no resultan ser completamente adecuados. Este problema se hizo aun más grave en el caso de los sedimentos, ya que ni siquiera las organizaciones internacionales han fijado límites para este tipo de materiales. Por consiguiente, se utilizaron los valores máximos delimitados en suelos para analizar los datos de los sedimentos, ya que ambos medios actúan fisicoquímicamente de la misma manera aunque su uso es distinto.

La O.P.S. (1988) ha clasificado a los elementos metálicos contaminantes de acuerdo a su movilidad en los suelos. El aluminio, cadmio, manganeso y hierro son metales con una gran

movilidad; por el contrario, el cobre y el níquel tienen una movilidad media, mientras que el cobalto y el plomo tienen una movilidad baja. Considerando esta clasificación y los límites internacionales para cada uno de los metales evaluados (especificados en las gráficas), se pueden llevar a cabo algunas inferencias sobre la magnitud del problema de contaminación por metales pesados en el distrito de riego.

### 2.5.1) Plomo.

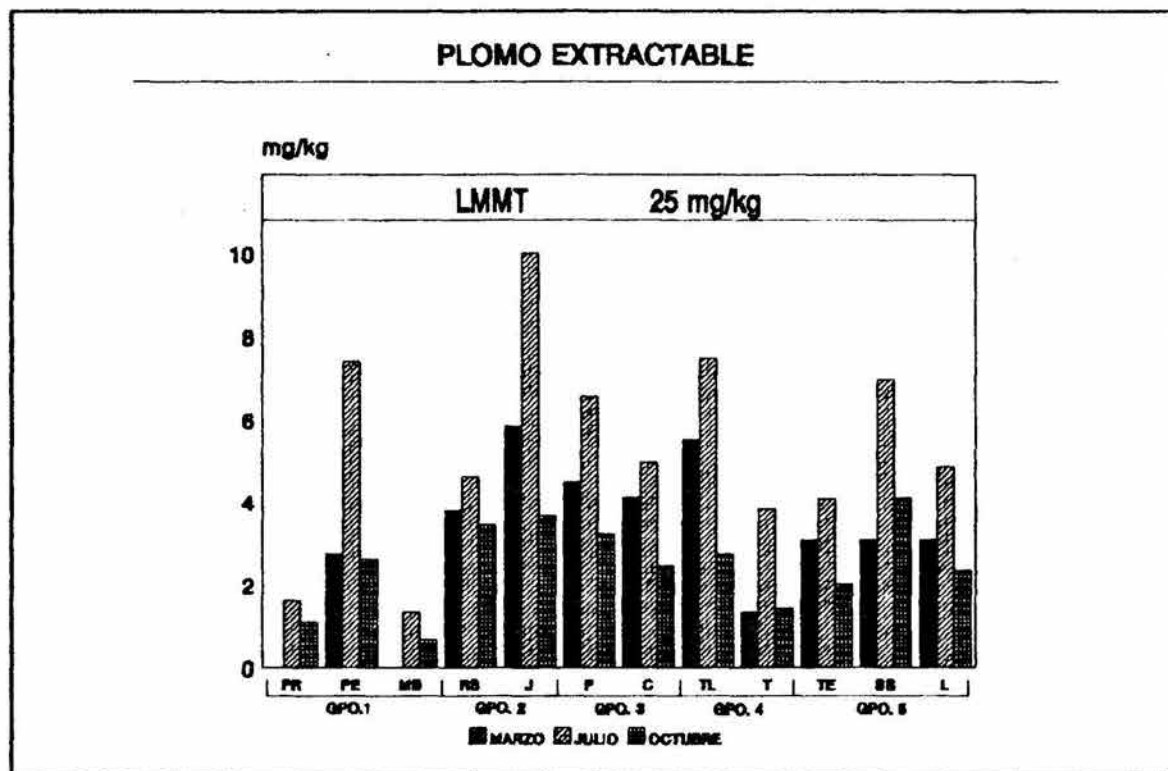


Fig. 20. Concentración de plomo extractable a pH ácido y su relación con el límite máximo de metal total (LMMT). (Galvão & Corey, 1989c).

En todas las estaciones de muestreo las concentraciones de plomo extractable se elevaron en el segundo muestreo. Aunque en este mismo periodo ya habían comenzado las lluvias, el nivel del agua de las presas disminuyó notablemente debido a la gran demanda de riego requerida para el crecimiento de los cultivos. Este hecho trajo como consecuencia que los metales asociados a los materiales que se encontraban sedimentados en el fondo de las presas fueran removidos y viajaran hasta el suelo de las parcelas mediante el sistema de canales. Asimismo, la temperatura ambiente se incrementó (ver figura 2; página 21), favoreciendo la evaporación de la humedad de los suelos y aumentando la demanda de agua por parte de los cultivos. Así, una cantidad mayor de

agua cargada de metales fue utilizada, depositando dichos elementos en las parcelas. Los suelos que se vieron más afectados fueron los de la Presa Endhó, Juandhó, Tlahuelilpan, Progreso y San Salvador. Este comportamiento es lógico para los primeros cuatro puntos, pues son las zonas en las que el aporte de agua negra es más inmediato y directo; sin embargo, en el caso de San Salvador el plomo llega al suelo a través de procesos fisicoquímicos complejos. En la superficie de las parcelas donde la disponibilidad de oxígeno es alta, el plomo se asocia fácilmente a las arcillas o a los hidróxidos de hierro y aluminio; conforme estas partículas son transportadas por el agua hacia el manto freático y los niveles de oxígeno se reducen, pierden su afinidad por dicho metal y lo liberan en las aguas subterráneas (Förstner, 1993). De esta manera el plomo viaja hasta las partes bajas del distrito de riego, como en San Salvador. En este sitio el manto freático se encuentra muy superficial e incluso aflora en los manantiales, por lo tanto la disponibilidad de oxígeno se vuelve a incrementar y el plomo se asocia nuevamente a las arcillas e hidróxidos permaneciendo en el suelo y ocasionando su acumulación.

Los resultados de plomo extractable nunca llegaron a sobrepasar el nivel máximo permisible como metal total. No obstante, debemos considerar que la movilidad de dicho elemento es muy baja y la fracción determinada sólo refleja una mínima parte de la concentración de plomo total. Por lo tanto, la concentración de plomo total en suelo se esperaría que rebasara los límites internacionales de manera significativa.

La relación entre el plomo soluble en el agua y el plomo extractable del suelo no pudo ser establecida, aunque ambas fracciones interactúan naturalmente. Esto se debe a que la especiación de los metales pesados tanto en el suelo como en el agua no es un proceso sencillo. Cuando una fracción de metal es liberada por cambios fisicoquímicos en el medio, un reajuste entre todas las fracciones debe ocurrir para alcanzar un equilibrio químico. Así, que el plomo sea removido del complejo de intercambio no significa que permanezca soluble, sino que puede asociarse nuevamente con otro sustrato o puede ser absorbido por los cultivos.

#### **2.5.2) Cadmio.**

Los niveles de cadmio extractable presentaron un comportamiento muy similar al del plomo; hecho que, por lo tanto, refuerza la idea de los procesos de concentración y removilización de metales que tuvieron lugar durante el mes de julio. Asimismo, los suelos con mayores problemas de cadmio coincidieron con los puntos en los que se observó mayor contaminación de plomo, a excepción de Progreso. En este caso tampoco fue posible hallar la relación que guardan el cadmio soluble en agua y el cadmio extractable del suelo por las razones explicadas en el inciso anterior.



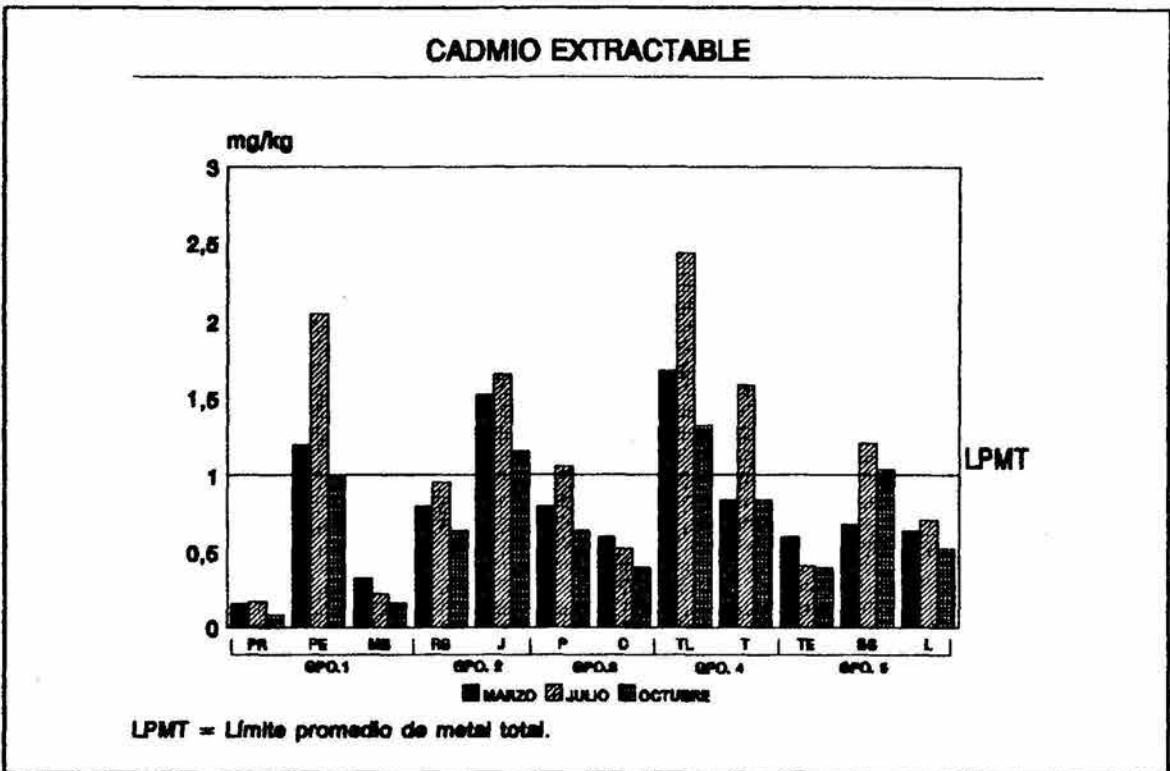


Fig. 21. Gráfica que representa la concentración de cadmio extractable a pH ácido y el límite promedio de metal total de acuerdo a Gálvao & Corey, 1987a.

Como se aprecia en la figura 21 en varias estaciones se rebasó el límite máximo establecido, aun cuando los valores representan tan sólo una fracción de la cantidad total de cadmio. Esto nos proporciona una idea de las dimensiones del deterioro que ya existe en el área. No obstante, hay que considerar que el cadmio es un elemento muy móvil por lo que se esperaría que las concentraciones de cadmio extractable fueran muy parecidas a las de cadmio total.

### 2.5.3) Cobalto.

En la figura 22 es extremadamente notable que los niveles de cobalto se incrementaron en varios ordenes de magnitud durante el primer muestreo en relación con los demás. Esta situación refleja claramente que una descarga "accidental" ocurrió en el segundo muestreo, como ya se mencionó anteriormente. Puede suponerse que el cobalto fue liberado en el aire y no en los canales de riego, puesto que no existe una relación entre sus concentraciones y la ubicación de las estaciones de muestreo. En cambio, el cobalto pudo ser transportado como partículas gracias a las corrientes de aire, causando una dispersión irregular a través de toda el área de estudio.

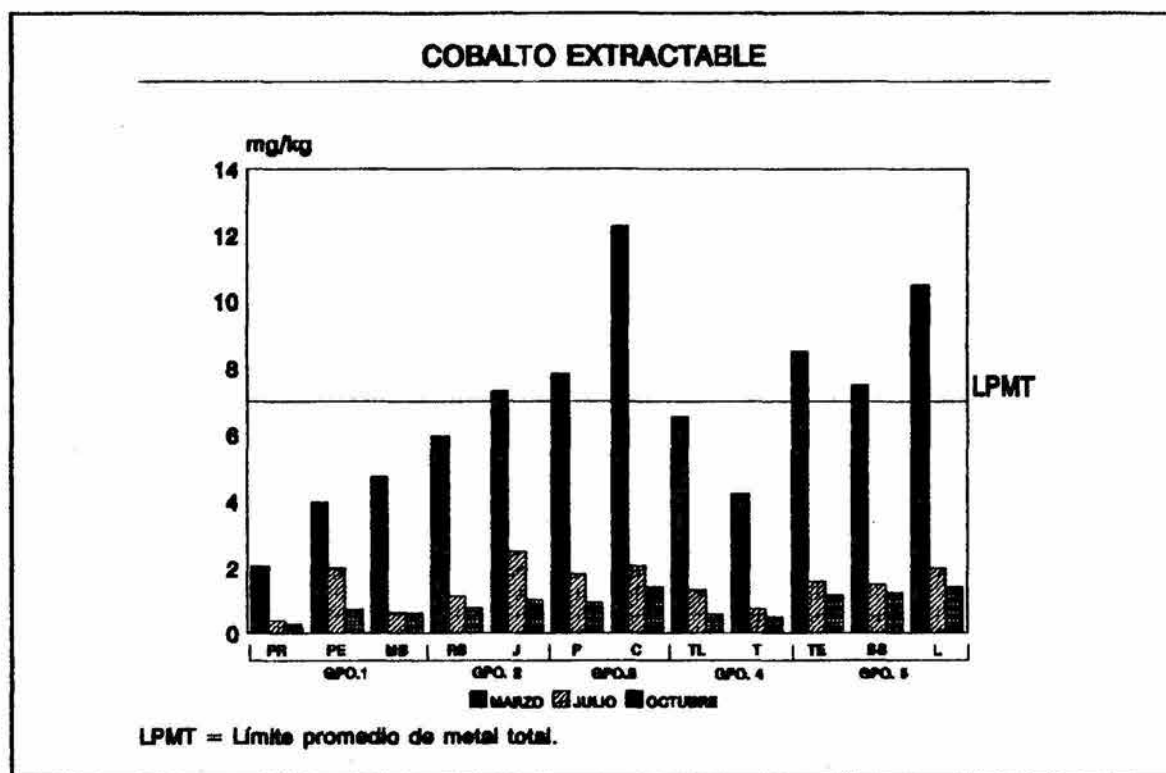


Fig. 22. Concentración de cobalto extractable a pH ácido en los suelos del DDR-063.

También es posible observar en la gráfica que en 5 estaciones se excedió el límite máximo durante el primer muestreo. Sin embargo, hay que recordar que el cobalto es un elemento de movilidad muy limitada, hecho que agrava aun más la situación ya que las proporciones de las fracciones extractable y total no deben ser muy aproximadas.

#### 2.5.4) Cromo.

El cromo es un elemento químico poco estable si lo comparamos con el resto de los elementos que analizamos en esta investigación. Presenta varias valencias que cambian de acuerdo a las condiciones del medio, como: el pH, la concentración de oxígeno y la presencia de sustancias orgánicas e inorgánicas (Förstner, 1993). Esta característica explica el patrón irregular de los niveles de cromo a través del tiempo y de las estaciones de muestreo, lo cual se observa en la figura 23.

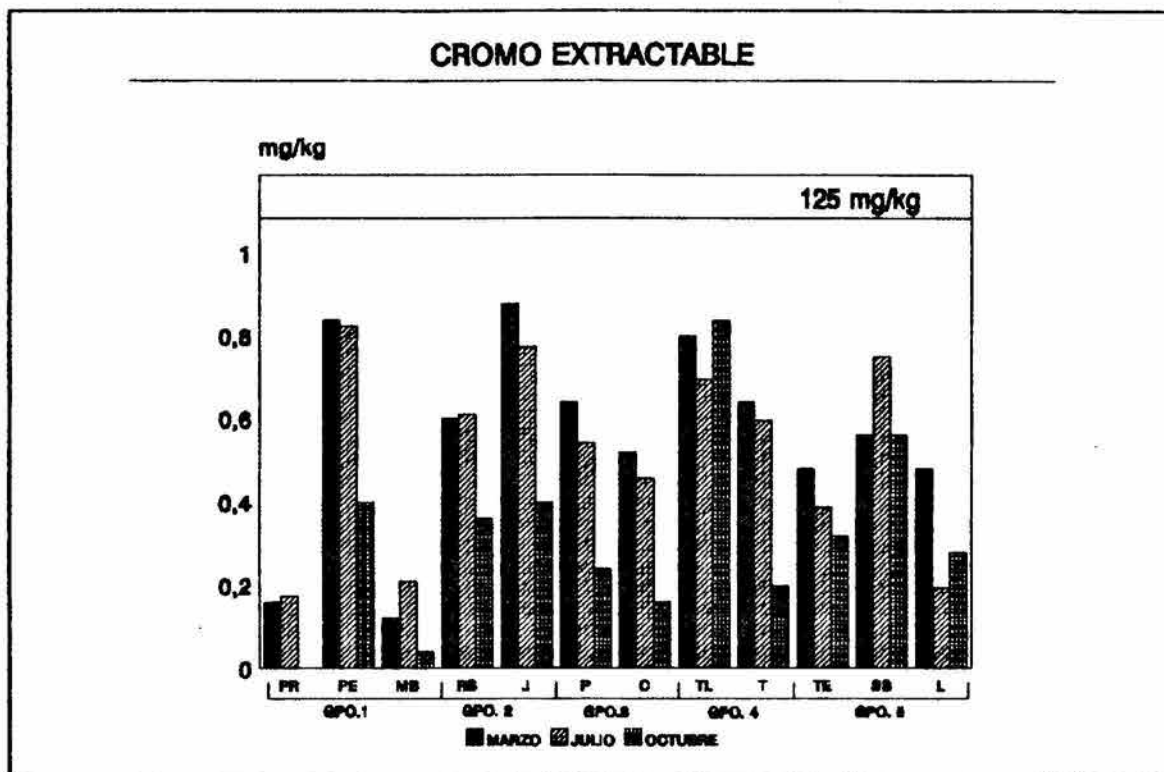


Fig. 23. Concentraciones de cromo extractable a pH ácido y su relación con el límite promedio de metal total de acuerdo a Gálvao & Corey, 1987b.

La calidad del agua de riego cambia considerablemente en cuanto a pH, oxígeno disuelto y concentración de materia orgánica, influyendo en las características eléctricas del cromo y facilitando o impidiendo su asociación a los coloides del agua y del suelo. Cuando dicha unión es favorecida el cromo se precipita junto con las arcillas y la materia orgánica (Förstner, 1993), provocando un aumento en algunos puntos o meses del año. Por el contrario, cuando la asociación es obstaculizada el cromo permanece soluble en las aguas y es transportado a través de los canales o de las aguas subterráneas.

A pesar del patrón irregular de los datos de cromo, es posible apreciar que existen estaciones de muestreo con mayores concentraciones de este metal y que coinciden con las zonas más contaminadas por plomo y cadmio.

Para este metal no existen reportes bibliográficos sobre su movilidad en el suelo. Pero este dato de movilidad no es tan importante dado que los valores de cromo no alcanzaron ni 1 mg/kg, cuando el límite permisible es de 125 mg/kg. Esto indica que no existe en realidad un exceso de cromo y la situación de este metal en las tierras de cultivo del distrito de riego puede

considerarse normal.

Los metales solubles o asociados a los sólidos suspendidos del agua, llegan finalmente al suelo y a los alimentos. Por lo tanto, la población del DDR-063 está expuesta a los metales por dos vías principales: la inhalación de partículas finas que contengan dichos elementos o la ingestión de alimentos contaminados. La ingestión puede ser directamente con las hortalizas o a través de productos pecuarios (como la carne o la leche) en los que se haya acumulada plomo, cobalto o cadmio. Los animales, a su vez, consumen los metales directamente de los forrajes y el agua o los inhalan junto con las partículas finas del suelo. Los efectos que dichos elementos causan sobre el humano y el ambiente en general se explican detalladamente en el marco teórico.

### 3) SEDIMENTO.

#### 3.1) Potencial de Hidrógeno.

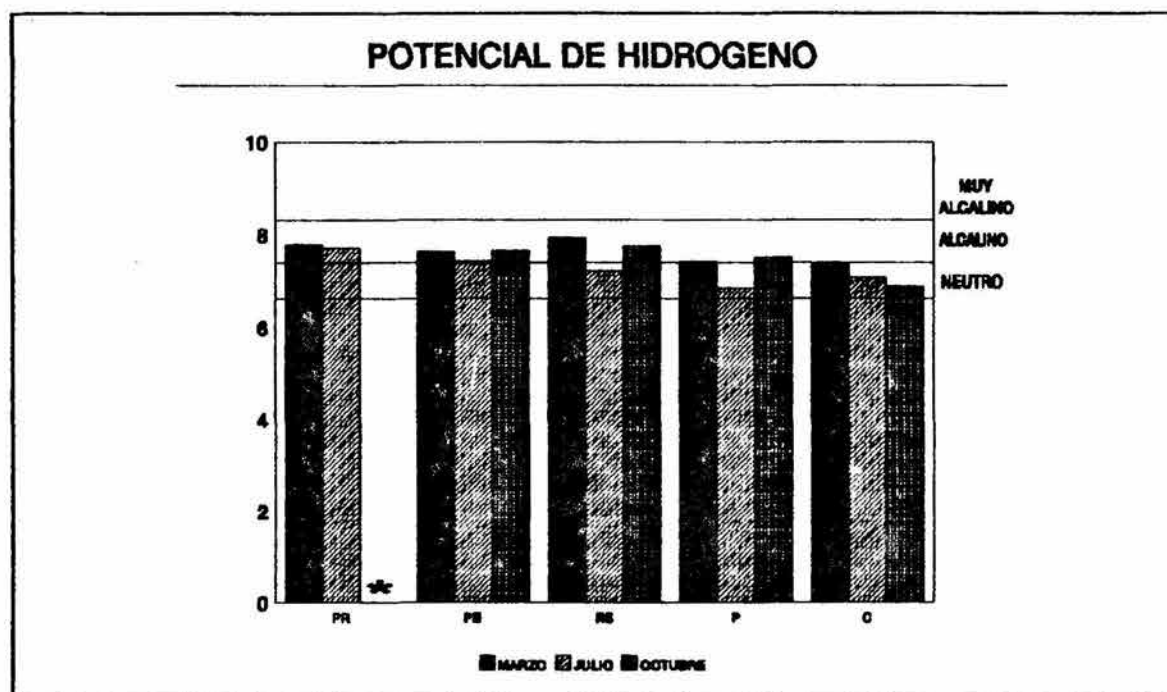


Fig. 24. Valores de pH y categorías a las que pertenecen de acuerdo a la clasificación de Jones & Wolf, 1984.

Como se aprecia en la figura 24, el pH de las muestras de sedimento varió poco respecto al tiempo aun cuando se trata de un medio heterogéneo por encontrarse directamente en contacto con las aguas negras y por recibir el aporte continuo de partículas sólidas que se depositan. Esta estabilidad se debe a que en el

sedimento se producen reacciones de compensación que evitan los cambios bruscos de pH, gracias a la acción del complejo de intercambio catiónico y a la presencia de ácidos orgánicos débiles que liberan poco a poco iones hidroxilos o cationes, proporcionando acidez o alcalinidad de reserva. (Tamhane, 1978)

En general los valores de pH de las diferentes estaciones se ubicaron en la categoría de neutros o ligeramente alcalinos de acuerdo a la clasificación de Jones & Wolf (1984). Los sitios con valores más altos se localizaron en las presas y conforme nos alejamos de ellas los valores disminuyeron ligeramente.

### 3.2) Contenido de Materia Orgánica.

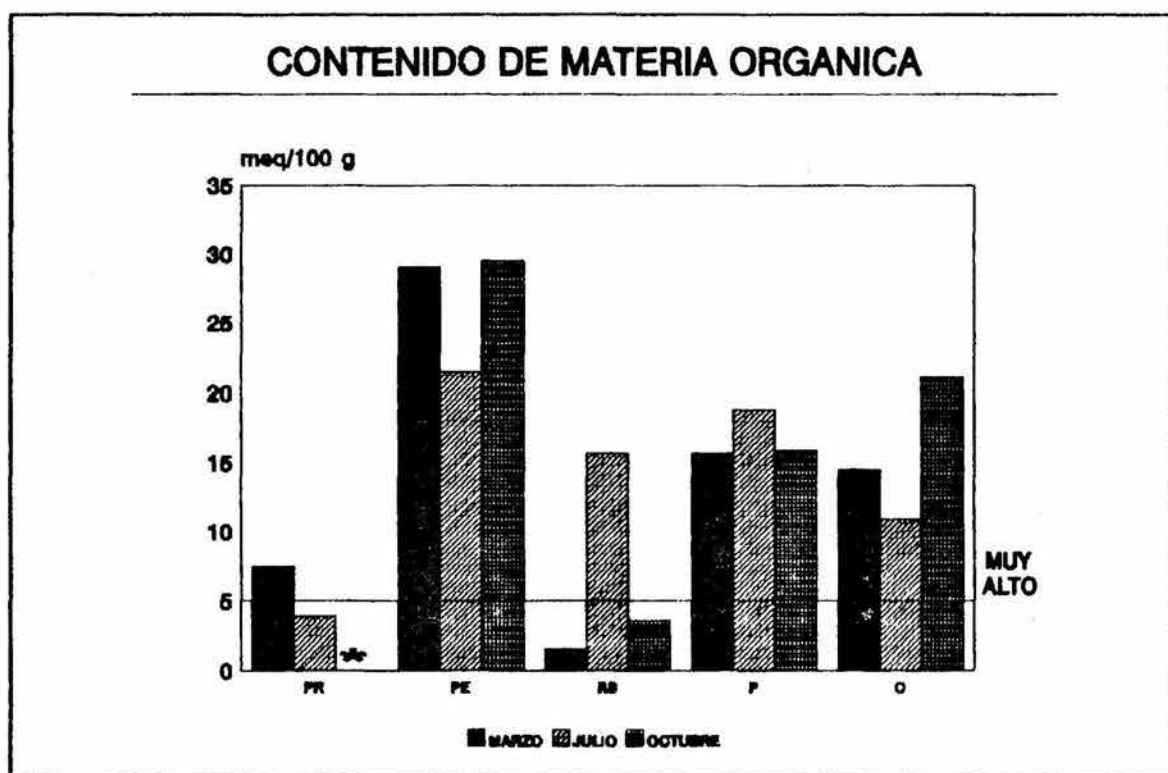


Fig. 25. Gráfica que muestra el contenido de materia orgánica de los sedimentos del DDR-063.

Los porcentajes de materia orgánica manifestaron un patrón irregular tanto espacial como temporal; siendo en general extremadamente altos, sobre todo en el sedimento de Endhó. En el caso de la Presa Requena la materia orgánica no resultó ser muy elevada y esto es comprensible si recordamos que en ella actualmente no se descargan aguas negras provenientes del Valle de México.

La máxima variación de datos se observó en el sedimento del Río Salado, lo cual se explica por la depositación diferencial de materiales que transporta el agua. Cuando el flujo de la corriente se incrementa las arenas se sedimentan en el fondo y las arcillas y materia orgánica en suspensión son arrastradas río abajo. Por el contrario, en la época en que el caudal del riego descende, debido a que sus aguas son desviadas para irrigar las parcelas de cultivo (segundo muestreo), ambos materiales se sedimentan, observándose un aumento en la materia orgánica. De manera similar se pueden explicar los resultados de los canales, pero no así los de las presas, ya que en ellas no existen corrientes importantes y todos los materiales se depositan; mientras mayor sea la carga de agua y sólidos suspendidos en ella, mayor será el porcentaje de materia orgánica.

### 3.3) Capacidad de Intercambio Catiónico Total.

Como en las muestras de suelo, el valor de la capacidad de intercambio cationico en los sedimentos depende de los porcentajes de materia orgánica y de arcillas. Aunque los contenidos de partículas finas no se mantuvieron constantes, la materia orgánica en general fue alta, provocando que los valores de intercambio fluctuaran entre medios y altos (Cottenie, 1980), tal como se observa en la figura 26.

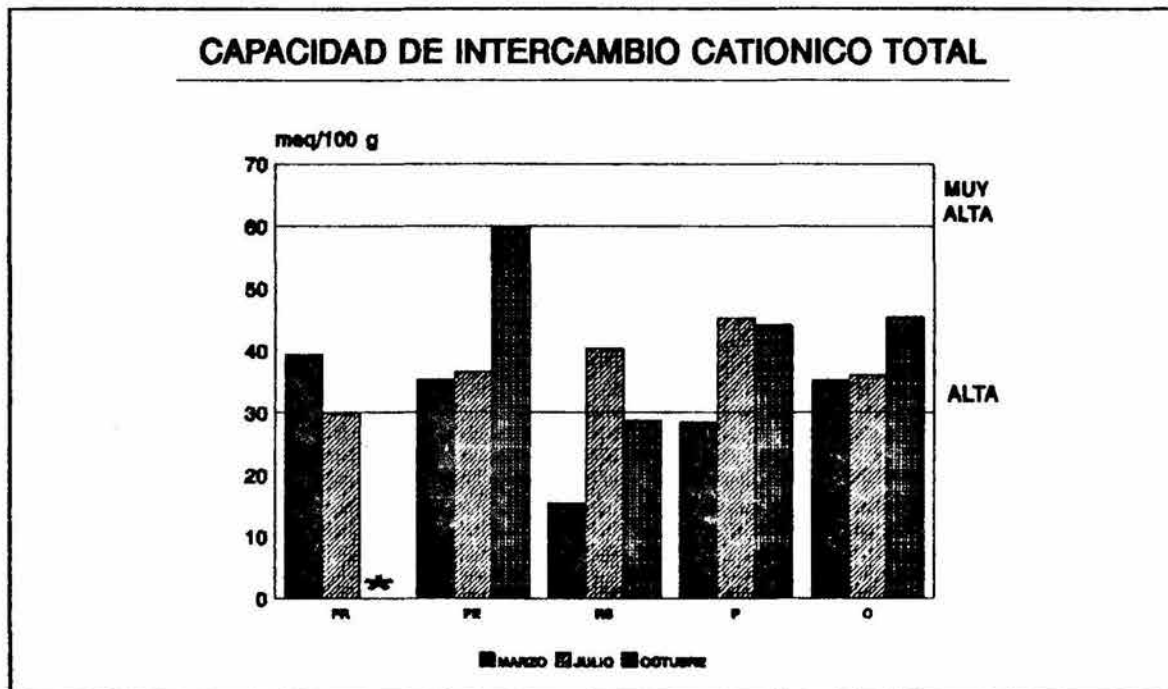


Fig. 26. Gráfica que muestra la capacidad de intercambio cationico de los sedimentos del DDR-063.

En los sedimentos es también muy importante esta capacidad, ya que puede utilizarse como indicador indirecto de la elevada presencia de iones tóxicos, como los metales pesados, que se encuentran asociados a las partículas.

### 3.4) Sodio Intercambiable.

Como se mencionó anteriormente, las partículas de sedimento presentaron una elevada capacidad de intercambio catiónico, por lo que representan un medio muy propicio para el almacenamiento de cationes. Debido a que las aguas de riego contienen grandes cantidades de sales disueltas, los iones de sodio se adsorben muy fácilmente a dichas partículas, ocasionado un aumento notable en sus valores de PSI, los cuales rebasaron en todos los casos el 15 %.

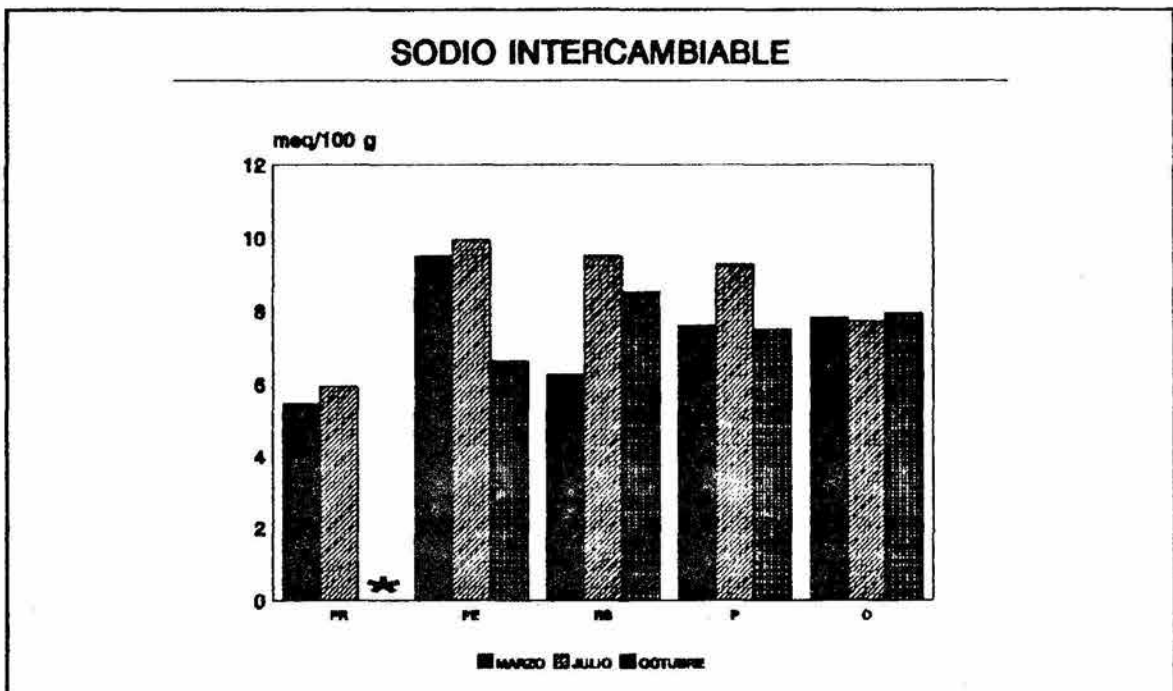


Fig. 27. Concentración de sodio intercambiable en sedimento del DDR-063.

Las concentraciones de sodio en los sedimentos no sólo representan un problema actual, sino también un problema a futuro. Aun suponiendo que el aporte de este elemento se redujera al mínimo, los iones de sodio almacenados seguirían presentes al ser sustituidos y liberados del complejo de intercambio por otros cationes, provocando que su tiempo de residencia en el medio se prolongue por un periodo de tiempo más largo o que llegue hasta las parcelas de cultivo donde puede actuar como elemento fitotóxico.

### 3.5) Metales Pesados Extractables a pH ácido.

#### 3.5.1) Plomo.

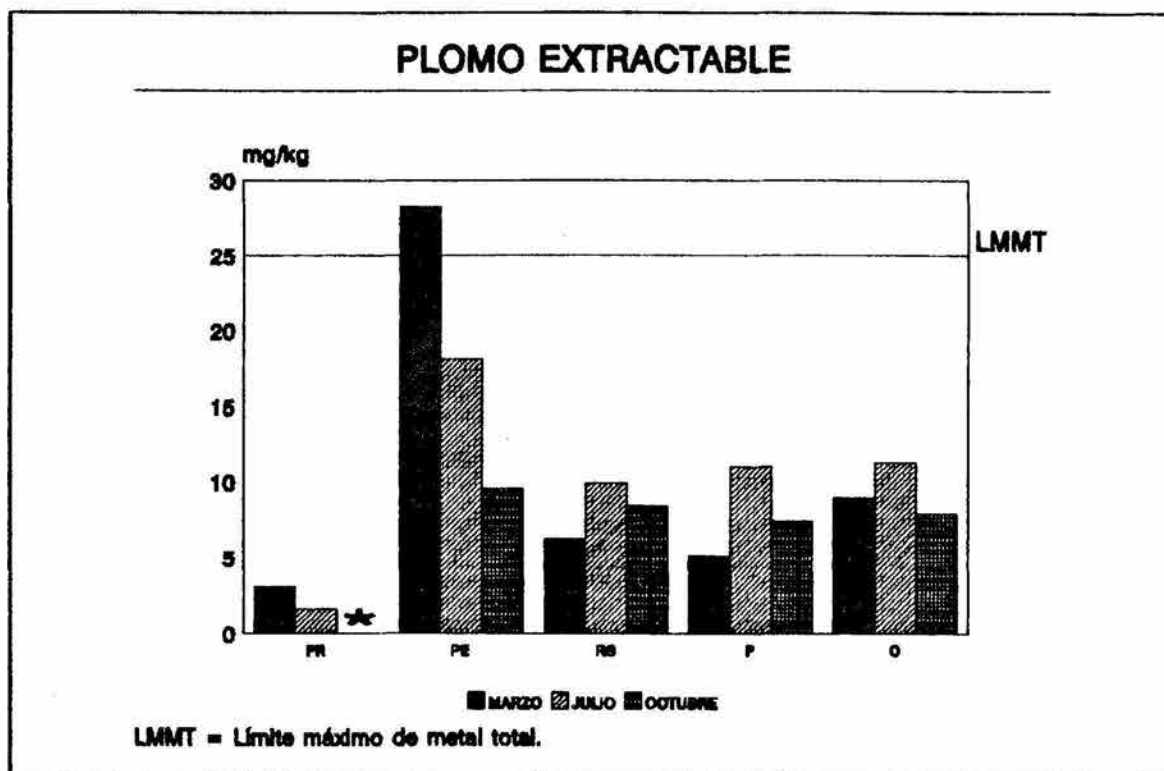


Fig. 28. Plomo extractable contenido en los sedimentos del DDR-063 y su relación con el límite máximo de metal total de acuerdo a los criterios de Gálvao & Corey, 1989c.

Como se aprecia en la figura 28, con excepción de la Presa Endhó, las demás estaciones presentaron los niveles más altos de plomo durante el segundo muestreo o en la época de concentración de elementos debido a la disminución del nivel de las presas.

El caso de Endhó es muy particular, pues mostró los niveles más alarmantes de plomo extractable. Esto se debe a que ella actúa como una enorme laguna de sedimentación en la cual todas las partículas sólidas cargadas de metales pesados se depositan en el fondo, elevando enormemente sus concentraciones en el sedimento. De manera diferente, en los canales las partículas son removidas más fácilmente debido a la corriente, además de que la carga de sólidos que lleva el agua se reduce después de pasar por dicha presa.



### 3.5.2) Cadmio.

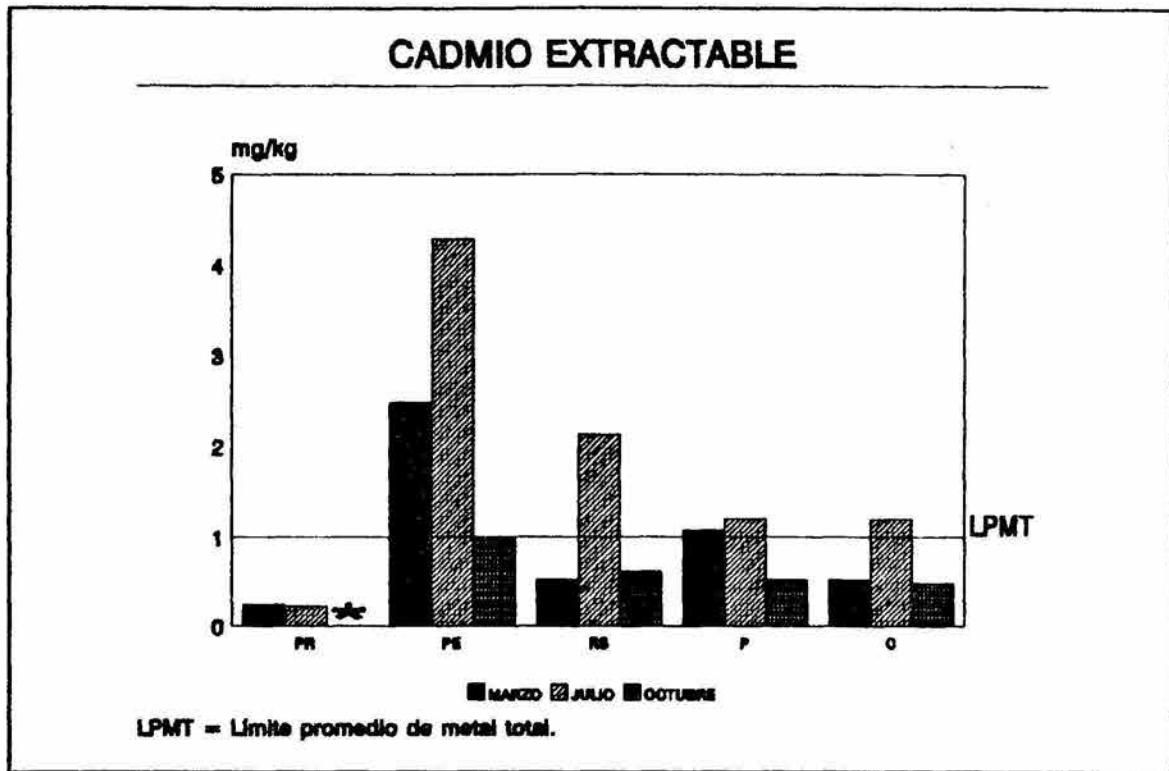


Fig. 29. Cadmio extractable contenido en los sedimentos del DDR-063 y su relación con el límite máximo de metal total de acuerdo a los criterios de Gálvao & Corey, 1987a.

En la figura 29 se puede observar que, en forma similar al plomo, los valores de cadmio extractable aumentaron en el segundo muestreo correspondiente a la temporada en la cual los metales se concentraron y sobre todo en la Presa Endhó.

### 3.5.3) Cobalto.

En el análisis del suelo se mencionó la presencia de un derrame accidental como la causa más probable de la contaminación por cobalto en el distrito de riego. Esta deducción es reforzada aún más por los resultados de cobalto extractable en sedimento, los cuales se elevaron considerablemente en el primer muestreo y en todas las estaciones, sin guardar ninguna relación con el resto de los datos. Esta situación se puede apreciar claramente en la figura 30.

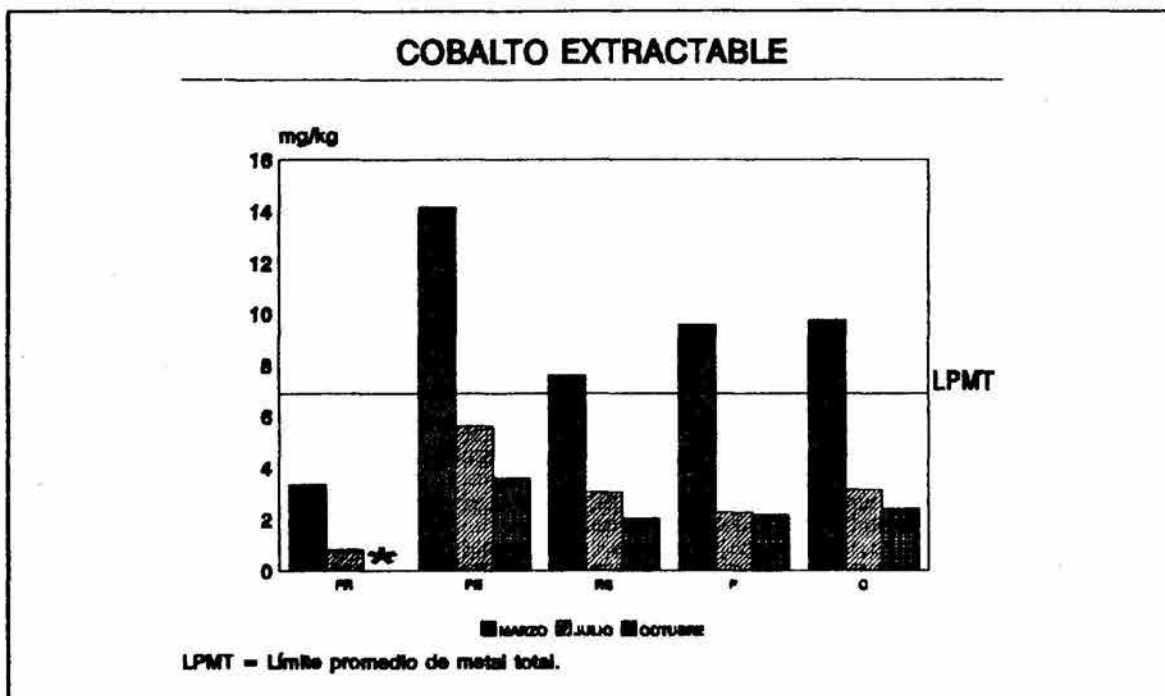


Fig. 30. Concentración de cobalto extractable en sedimentos del DDR-063 y su relación con el límite máximo de metal total para suelo de acuerdo a la H.S.D.B., 1992.

#### 3.5.4) Cromo.

Dada la naturaleza variable de cromo, sus concentraciones en sedimento manifestaron un comportamiento heterogéneo durante toda la investigación y a lo largo de las estaciones muestreadas, coincidiendo con los resultados observados en el suelo. Dicho comportamiento se halla representado en la figura 30.

En el caso del cromo, como en todos los demás parámetros, en la Presa Endhó se ubicó la problemática más aguda de contaminación por dicho metal, seguido en orden decreciente por los puntos de Chilcuautla, Progreso y el Río Salado.

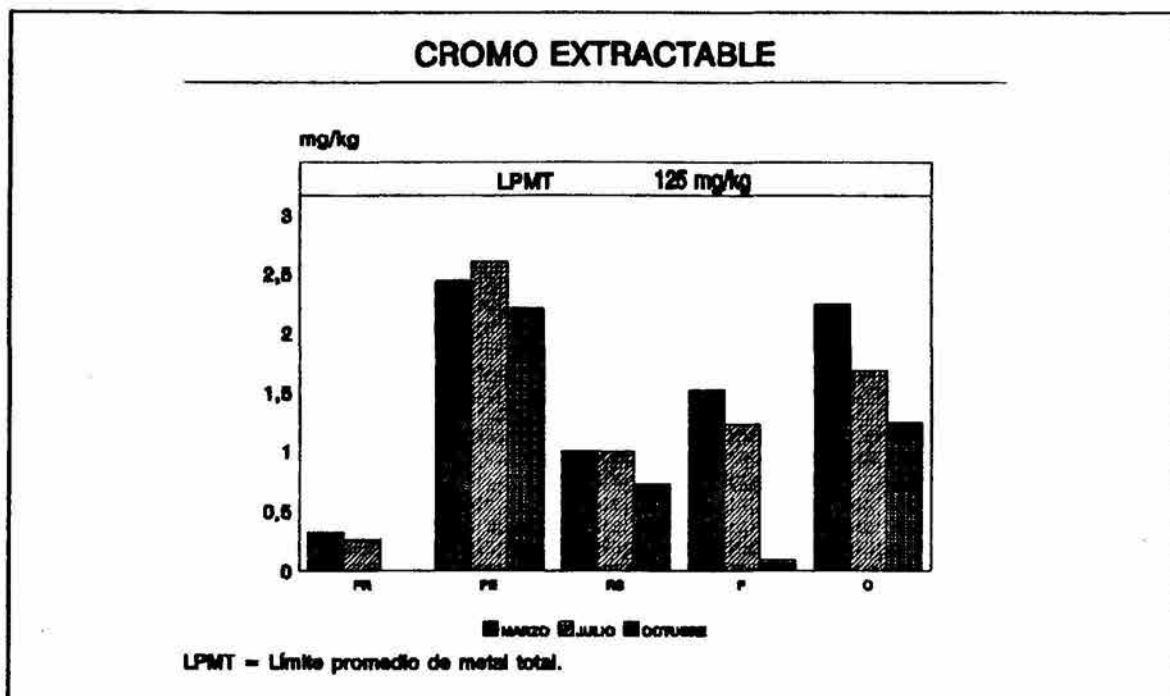


Fig. 31. Contenido de cromo extractable en sedimentos del DDR-063 y su relación con el límite promedio de metal total para suelo de acuerdo a los criterios de Gálvao & Corey, 1987b.

Como en las muestras de suelo, las concentraciones de metales extractables en sedimento no guardaron relación con las concentraciones de metales solubles en agua o de metales extractables en el suelo. Como ya se mencionó, esto se debe a que la especiación de dichos elementos es compleja e involucra reacciones de "transferencia" entre varias fracciones. Sólo en el caso del cobalto se pudo ver dicha relación en el mes de marzo, lo cual se asocia al posible derrame accidental de este metal que ocurrió en esa fecha.

Los sedimentos de los canales han actuado como un reservorio de metales; de los cuales, al igual que en el suelo, los que representan los mayores riesgos para la población son el cadmio y el cobalto por rebasar los límites internacionales; seguidos por el plomo que no alcanza dichos límites y por el cromo que en realidad no constituye un contaminante en exceso. Los sedimentos difieren de los suelos en que la población no está expuesta a ellos de la misma manera. Para que los primeros representen un riesgo verdadero de exposición deben ser dragados de los canales y presas y puestos en contacto directo con la población o los animales.

## BIOENSAYOS

### 1) AGUA.

Después de revisar los parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua por separado, es importante conocer el grado de afectación ecológica que generan de manera conjunta. Para ello se utilizaron las pruebas de toxicidad o bioensayos.

#### 1.1) Pruebas con *Daphnia magna*.

Cada especie biológica posee una fisiología particular que la hace más o menos vulnerable a los cambios que se producen en el medio en el que vive. Por esta razón, no todos los organismos reaccionan de la misma manera ante un agente tóxico o un conjunto de ellos. En el caso particular de nuestro estudio *D. magna* resultó ser la especie menos sensible, mostrando una respuesta determinante durante los tres períodos de muestreo sólo en tres estaciones: Juandhó, Endhó y Río Salado cuyas unidades de toxicidad fueron superiores a 1.0 como se observa en la figura 32. Este hecho significa que en dichos puntos el agua resulta letal para más del 50 % de las daphnias.

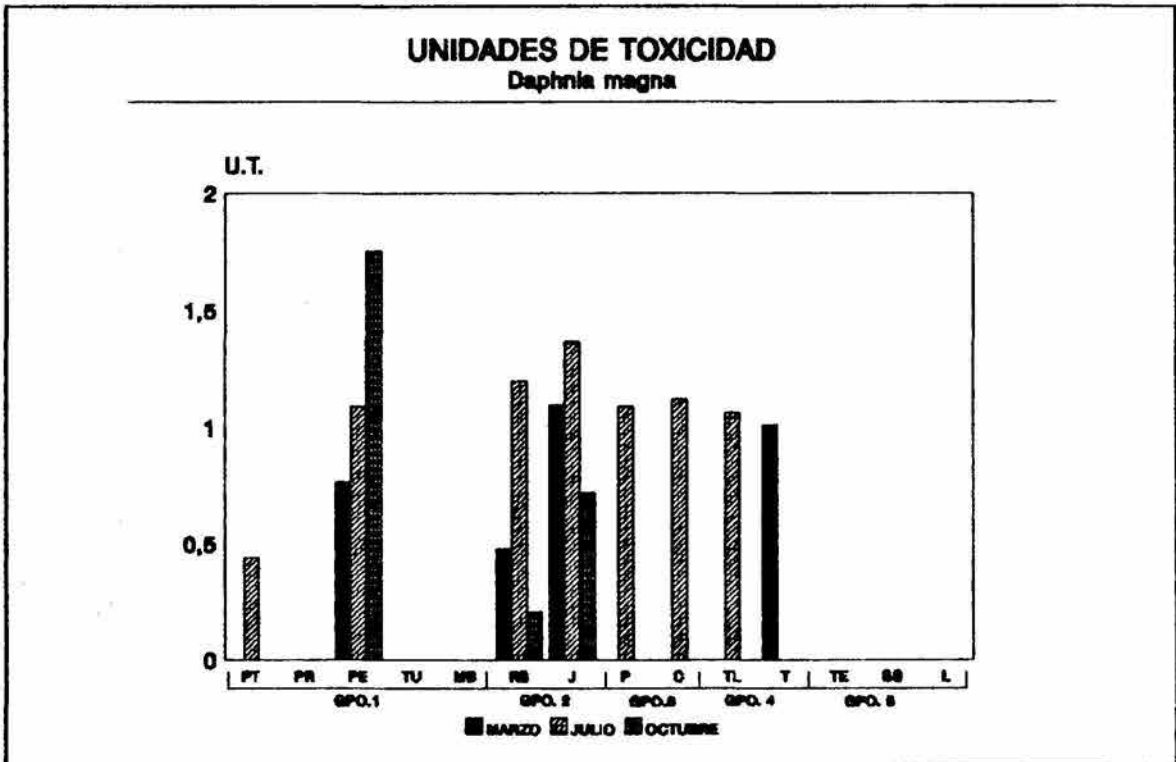


Fig. 32. Unidades de toxicidad del agua del DDR-063 obtenidas mediante el bioensayo con *Daphnia magna*.

En la bibliografía *Daphnia magna* figura como una especie de muy alta sensibilidad a tóxicos ambientales (Pearson, 1979; Gherardi, 1983; Zagatto *et al.*, 1988), pero en este tipo de muestras el rango de detección de *D. magna* fue insuficiente para demostrar la presencia de sustancias tóxicas. Esta respuesta negativa ya había sido observada anteriormente en esta zona dentro de los estudios de Evaluación y Control de las Sustancias Tóxicas en Aguas Superficiales de la Cuenca del Río Pánuco en las faces I, II y III (SEDESOL, 1991, 1992, 1993), lo que indica que *D. magna* no es el organismo más indicado para evaluar este tipo de muestras.

Por otra parte, la mortalidad o efecto tóxico agudo que pudo detectarse estuvo determinado más que nada por la falta de oxígeno en el agua, lo cual redujo las posibilidades de supervivencia de los organismos. Este efecto letal se hizo más patente durante el segundo muestreo, período en el cual se incrementaron los valores de DBO<sub>5</sub> y disminuyeron las concentraciones de oxígeno disuelto.

#### 1.2) Pruebas con *Panagrellus redivivus*.

Los estudios con *P. redivivus* son muy poco conocidos en nuestro país, a la fecha sólo se ha utilizado en el Laboratorio de Biología del Instituto Nacional de Ecología de la SEDESOL, en donde se han obtenido resultados que indican que es un organismo con muy alta sensibilidad. Es reportado también por Dutka *et al.*, (1990) como un organismo con mayor sensibilidad incluso que el Microtox<sup>MR</sup>. En el presente estudio *P. redivivus* demostró que tiene un rango de detección más amplio que *D. magna* y *S. volutans*.

Como se aprecia en la figura 33 los resultados de los bioensayos realizados con *P. redivivus* revelaron que la sensibilidad de esta especie a la toxicidad del agua del distrito es muy elevada. Esta respuesta fue totalmente opuesta a la de *Daphnia*, sobre todo en el primer muestreo en el cual únicamente las muestras de la Presa Taxhimay no presentaron efectos tóxicos. Sin embargo, en las restantes estaciones la mortalidad fue evidente, ocasionando una disminución drástica del número de individuos o incluso, en algunos casos, la aniquilación completa de la población. En el segundo muestreo, de manera diferente, la toxicidad aguda no fue decisiva, pero los efectos subletales o genotóxicos causaron daños significativos en la maduración de los organismos.

Desde el punto de vista ecológico estos resultados representan una problemática grave a largo plazo y difícil de resolver. Así por ejemplo, si las sustancias contaminantes ocasionaran la muerte a un gran número de individuos de una población, en un momento dado los organismos sobrevivientes podrían reproducirse y restablecer el tamaño original de dicha población cuando los contaminantes hayan sido controlados. Sin embargo, si los

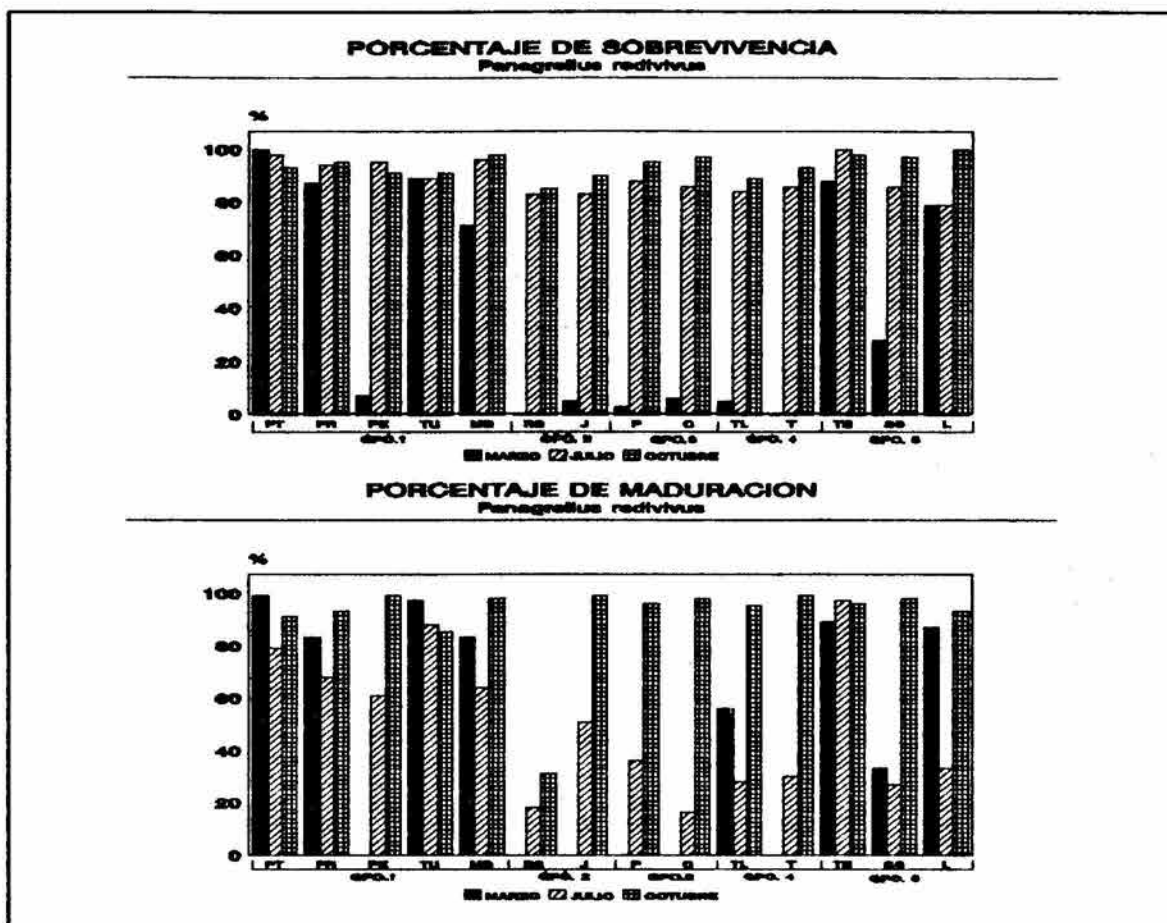


Fig. 33. Gráfica que muestra el porcentaje de sobrevivencia y maduración del nematodo *P. redivivus* al ser expuesto a las muestras de agua del DDR-063.

organismos no llegan a morir y sobreviven heredando el daño genético a sus descendientes, el deterioro ecológico persistiría por un gran número de generaciones aun cuando los agentes tóxicos hayan sido erradicados.

Por otro lado, después de observar graves efectos tóxicos, tanto letales como subletales, en el primer y segundo períodos de muestreo, durante el tercero no se observaron reacciones negativas en la supervivencia o maduración de los nematodos. Hacemos mención del comportamiento de los organismos muestreo por muestreo porque se encontró una concordancia grande entre los resultados de los bioensayos con *P. redivivus* y los datos de los metales pesados. En el primer muestreo las concentraciones de cobalto soluble se incrementaron notablemente y fue precisamente en este período cuando se presentó toxicidad aguda para los nematodos. De manera similar, en el segundo muestreo aumentaron los niveles de cromo, cadmio y plomo, y los nematodos no tuvieron

un desarrollo óptimo, es decir no alcanzaron el estadio adulto después de las 96 horas que dura los bioensayos, mostrando un daño genético. Finalmente, en el tercer muestreo, de los cuatro metales evaluados, sólo se detectaron niveles muy bajos de plomo y los nematodos no sufrieron daños significativos en su desarrollo.

A simple vista este comportamiento de los datos podría considerarse como una relación causa-efecto; sin embargo, esta apreciación puede no ser correcta ya que para conocer que agente tóxico es el causante de un efecto nocivo sobre una especie, es necesario hacer una evaluación completa del agua y considerar todas las interacciones que puedan ocurrir dentro de ella en condiciones naturales (sinergismos y antagonismos). Para conocer si existe una relación significativa entre la toxicidad y los metales pesados disueltos es necesario realizar un análisis estadístico, mismo que se discutirá más adelante.

### 1.3) Pruebas con *Spirillum volutans*.

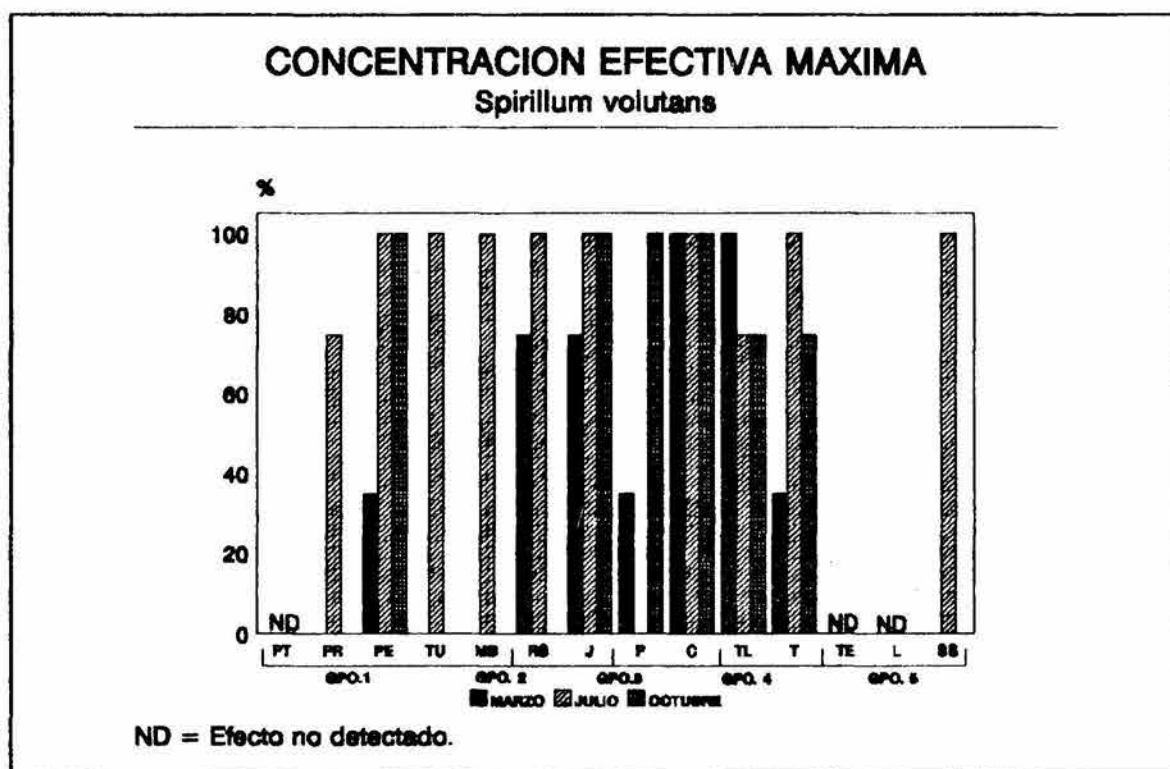


Fig. 34. Gráfica que muestra la concentración efectiva máxima del agua del DDR-063 capaz de inhibir la movilidad del 90 % de la población bacteriana.

*Spirillum volutans* es una especie que detecta toxicidad aguda en

un periodo de tiempo más corto que *Daphnia* o *Panagrellus* (120 minutos) y su respuesta es también medida tanto por efectos letales como subletales, siendo manifestados por movimientos giratorios, vibración de los organismos en un mismo sitio (subletales) o por la pérdida total de movimiento (muerte).

Como se observa en la figura 34 los resultados obtenidos con esta bacteria presentaron el mismo comportamiento que *D. magna*, es decir mostraron la mayor sensibilidad en el segundo muestreo. Es importante señalar que *S. volutans* está reportada por Dutka *et al.*, (1990) como el organismo de menor sensibilidad de los tres utilizados en este estudio; no obstante, en esta investigación ocupó el segundo lugar en cuanto a sensibilidad se refiere. Cabe aclarar que la cepa de bacterias que se empleo en estos bioensayos es muy poco tolerante a la salinidad; sin embargo, ninguna de las muestras evaluadas rebasó el límite de tolerancia de este organismo.

#### 1.4) Toxicidad ponderada.

Actualmente la legislación nacional ha publicado un método de prueba en relación a ensayos biológicos con *D. magna* (Norma oficial mexicana NOM-074-ECOL/1994) sin embargo, no ha establecido un límite máximo permisible o un estándar de calidad en base a esa prueba, lo que dificulta en cierta medida determinar el grado de afectación de un cuerpo de agua, del sedimento del mismo o de un suelo evaluado. No obstante existe una publicación reciente del Consejo de la Cuenca Lerma-Chapala (1994) en donde se reporta una clasificación del grado de toxicidad para *D. magna*, sin embargo a nuestro juicio esta clasificación carece de un sustento firme, pues se basa tan sólo en un reducido número de análisis y no considera otros factores como: el tipo de descargas, las características del cuerpo de agua receptor de dichas descargas, las condiciones particulares de descarga para cada industria, la sensibilidad del organismo prueba, etc.

Existen también clasificaciones de otros países como la de Sladashek que fueron elaboradas para las condiciones particulares de su país, resultando inadecuadas para el presente estudio. Por lo tanto, se optó por utilizar el sistema de ponderación desarrollado por Dutka *et al.*, (1990) en donde no se determina un grado de afectación, sino que se pondera la respuesta de los bioensayos al proporcionarle un valor numérico a cada uno de ellos, dando el valor más grande a las muestras en las cuales se obtuvo la mayor respuesta y dejando sin valor numérico a los muestras en donde no la hubo. Cada prueba tiene por lo tanto un valor numérico que al sumarse nos indican un total de puntos (puntaje total) para cada estación (ver cuadro 3, 4 y 5). La ventaja de esta ponderación es que el grado de afectación puede ser determinado utilizando un criterio propio, basandose en las características y condiciones particulares de la zona de estudio.



CL <sub>50</sub> %	PUNTOS	
	EXTRACTOS	AGUA NATURAL
100	4	5
75	5	7
50	6	8
25	8	10
10	10	-

Cuadro 3. Ponderación tentativa de la respuesta de *Daphnia magna* a extractos y agua natural. Tomado de Dutka *et al.*, (1990).

SOBREVIVENCIA		MADURACION	
PORCENTAJE	PUNTOS	PORCENTAJE	PUNTOS
89.9 - 80	1	89.9 - 75	1
79.9 - 60	3	74.9 - 60	3
59.9 - 30	7	59.9 - 40	5
29.9 - 0	10	39.9 - 25	7
		24.9 - 0	10

Cuadro 4. Ponderación tentativa de la respuesta de *Panagrellus redivivus* a extractos y agua natural. Tomado de Dutka *et al.*, (1990).

CEM <sub>90</sub> 120 MINUTOS %	PUNTOS	
	EXTRACTOS	AGUA NATURAL
POSITIVO	5	10
NEGATIVO	0	0

Cuadro 5. Ponderación tentativa de la respuesta de *Spirillum volutans* a extractos y agua natural. Tomado de Dutka *et al.*, (1990).

De acuerdo a los tablas 3, 4 y 5 la respuesta de los organismos al agua natural al 100 % suman un total de 15 puntos, el cual indica que existe un efecto adverso en la muestra evaluada. Si observamos con detenimiento la figura 35 notamos que la mayoría de las estaciones superaron los 15 puntos en al menos un periodo de muestreo. También se observa que durante el primer muestreo los niveles tóxicos son los más elevados, siguiendo posteriormente una tendencia hacia la disminución durante el resto de los muestreos. En el segundo muestreo se observa una disminución del puntaje total, esto es debido a que durante este periodo se presentó un efecto crónico, por lo cual la respuesta

de los dos organismos que detectan únicamente toxicidad aguda no aportó puntos. De la figura 35 también se puede inferir que durante el tercer muestreo se detectó el nivel más bajo de toxicidad debido en gran medida a la dilución que se presenta por parte del agua de lluvia.

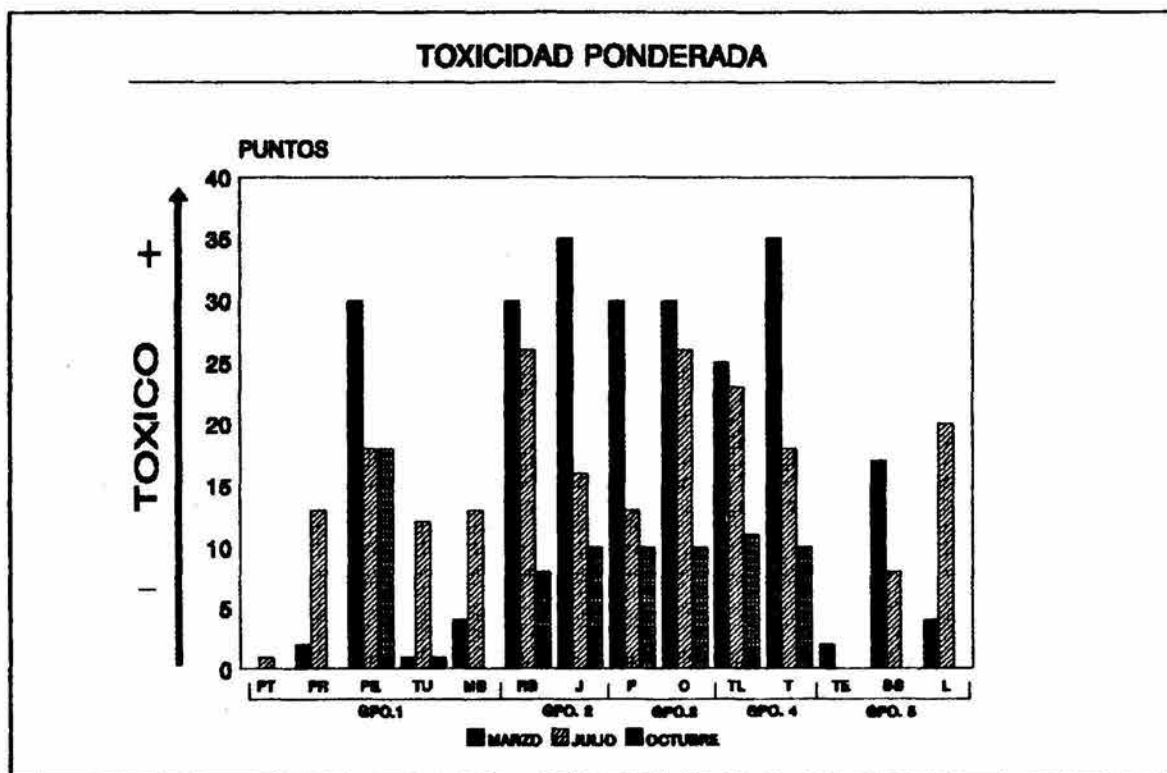


Fig. 35. Toxicidad ponderada del agua del DDR-063. Clasificación tomada de Dutka et al. 1990.

## 2) SUELO.

Los extractos de las muestras de suelo únicamente contenían sustancias solubles en agua y que, por consiguiente, pueden ser liberadas con mucha facilidad en el ambiente. Por este motivo, el hecho de que se obtuvieran resultados positivos en los bioensayos de dichas muestras refleja claramente que la contaminación de el DDR-063 a llegado a niveles preocupantes.

### 2.1) Pruebas con *Daphnia magna*.

*D. magna* nuevamente resultó ser el organismo de menor sensibilidad a este tipo de extractos, pues sólo en la estación de Progreso, durante el primer muestreo, se encontró más de una

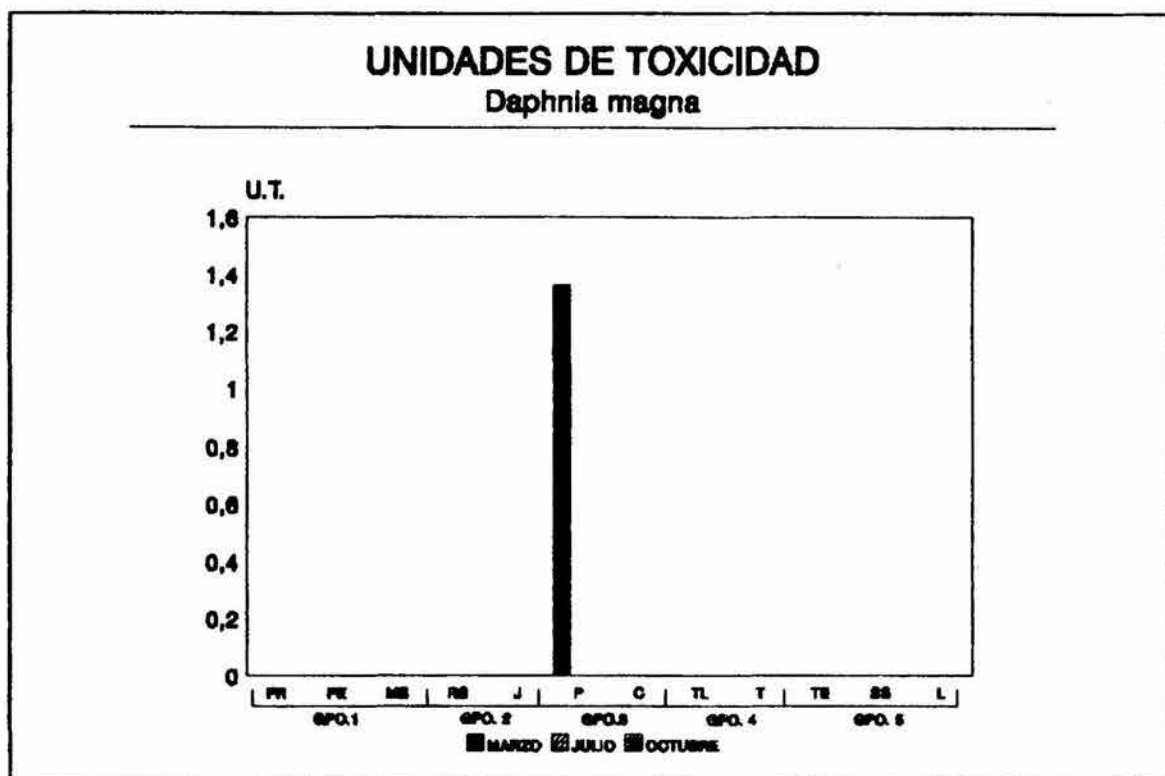


Fig. 36. Unidades de toxicidad obtenidas mediante el bioensayo con *Daphnia magna* en extractos de suelo del DDR-063.

unidad de toxicidad, como se puede observar en la figura 36. Este hecho es sorprendente ya que *D. magna* es una especie muy vulnerable a los herbicidas, como el 2,4-D; insecticidas, como el Metasystox 50 E, Malation 1000 E, Paration M, Servin 80 PM, Ambush 35 E y Folimat 1000; o a los fungicidas, como Manzate D, Cupravit y Captan (Somasundaram et al., 1991), todos ellos plaguicidas frecuentemente usados en el área de estudio, pero cuyos residuos presentes en el suelo no afectaron de manera significativa a *D. magna*.

Estudios similares en donde se evalúe el suelo por medio de esta técnica son muy escasos, en la bibliografía consultada sólo Dutka et al., (1991) lo han realizado y sus resultados son muy similares a los aquí, presentados pues obtuvieron un respuesta negativa en la mayoría de las muestras evaluadas. La tendencia actual es la utilización de técnicas de evaluación mediante el empleo de kits comerciales como son el SOS CHROMOTEST<sup>MR</sup>, MICROTOX<sup>MR</sup>, TOXI-CHROMOTEST<sup>MR</sup>, etc. La desventaja de estos sistemas es su alto costo ya que es necesario el uso de lectores de placas y una computadora personal; no obstante en algunas ocasiones los resultados con algún otro bioensayo son de mayor significancia.

2.2) Pruebas con *Panagrellus redivivus*.

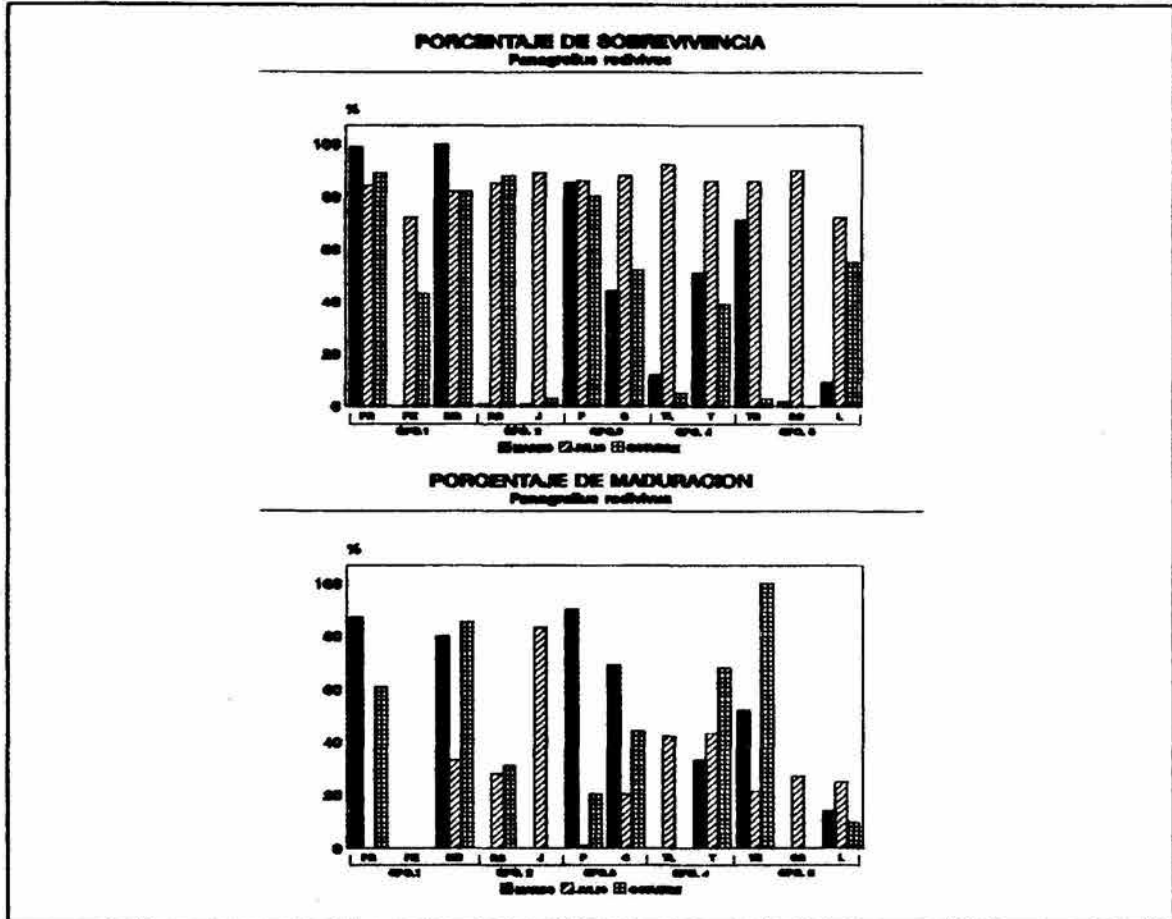


Fig. 37. Porcentaje de sobrevivencia y maduración de *P. redivivus* en extractos de suelo del DDR-063.

Como se aprecia en la figura 37 los nematodos, al contrario de las daphnias, se vieron afectados en todas las estaciones de muestreo durante los tres periodos del año. El efecto detectado en ellos fue tanto agudo como crónico, siendo este último el de mayor relevancia pues en todas las muestras evaluadas los organismos no lograron completar su desarrollo. Ambos efectos, tanto la mortalidad como el daño genético, pueden estar relacionados con las elevadas concentraciones de metales pesados en el suelo y con la presencia de los plaguicidas anteriormente mencionados, pero desafortunadamente estos últimos no pudieron ser determinados en el presente estudio. Es importante aclarar que incluso en el grupo 5, perteneciente a las zonas regadas con agua de manantial, se presentaron altos valores de toxicidad.

Durante el desarrollo de las pruebas con este organismo se observó que se formaba una sustancia con forma micelar (parecida

a un hongo) que al precipitarse impedía el movimiento de los nematodos, pero no así su desarrollo por lo tanto no se consideró un factor determinante en el resultado de las pruebas.

Con respecto a la salinidad del suelo tampoco tuvo una participación importante en el desarrollo del bioensayo, pues este organismo tiene un límite de tolerancia a la salinidad más amplio que la daphnia y la bacteria (12 a 14 partes por mil, pruebas realizadas en el Laboratorio de Biología del I.N.E. SEDESOL).

### 2.3) Pruebas con *Spirillum volutans*.

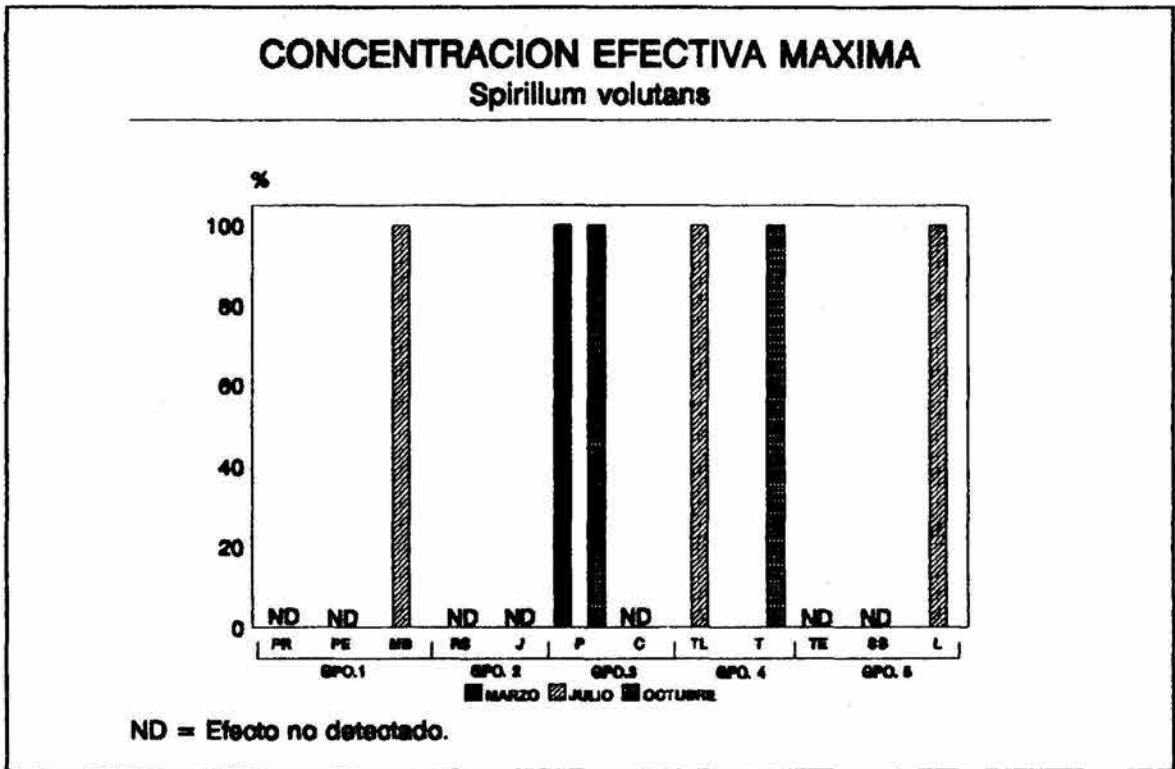


Fig. 38. Concentración efectiva máxima (CEM<sub>90</sub>) de los extractos de suelo del DDR-063.

Como se mencionó en la discusión de los resultados de los parámetros fisicoquímicos del suelo, en las estaciones de Progreso, Tlahuelilpan, Tepatepec, Maguey Blanco y Lagunilla existen graves problemas de salinidad que se hacen evidentes por las costras blancas en la superficie de las parcelas, pero al parecer no alcanzaron a superar el rango de tolerancia de *S. volutans*. Cabe aclarar que no se determinó la salinidad de los extractos de suelo ni de sedimento debido al reducido volumen de líquido obtenido de los mismas.

Dutka *et al.* (1990) consideran el bioensayo con esta bacteria como el menos sensible de la batería de pruebas que realizaron puesto que no obtuvo respuesta positiva en agua, agua intersticial de sedimento, ni en la extracción de compuestos tóxicos mediante solventes orgánicos e inorgánicos. Sin embargo, en el presente estudio esta bacteria ocupó el segundo lugar en cuanto a sensibilidad se refiere, confirmando la aseveración hecha anteriormente de que el utilizar una clasificación elaborada en otro país algunas veces resulta inadecuada para determinar el grado de afectación de un cuerpo de agua.

2.4) Toxicidad ponderada.

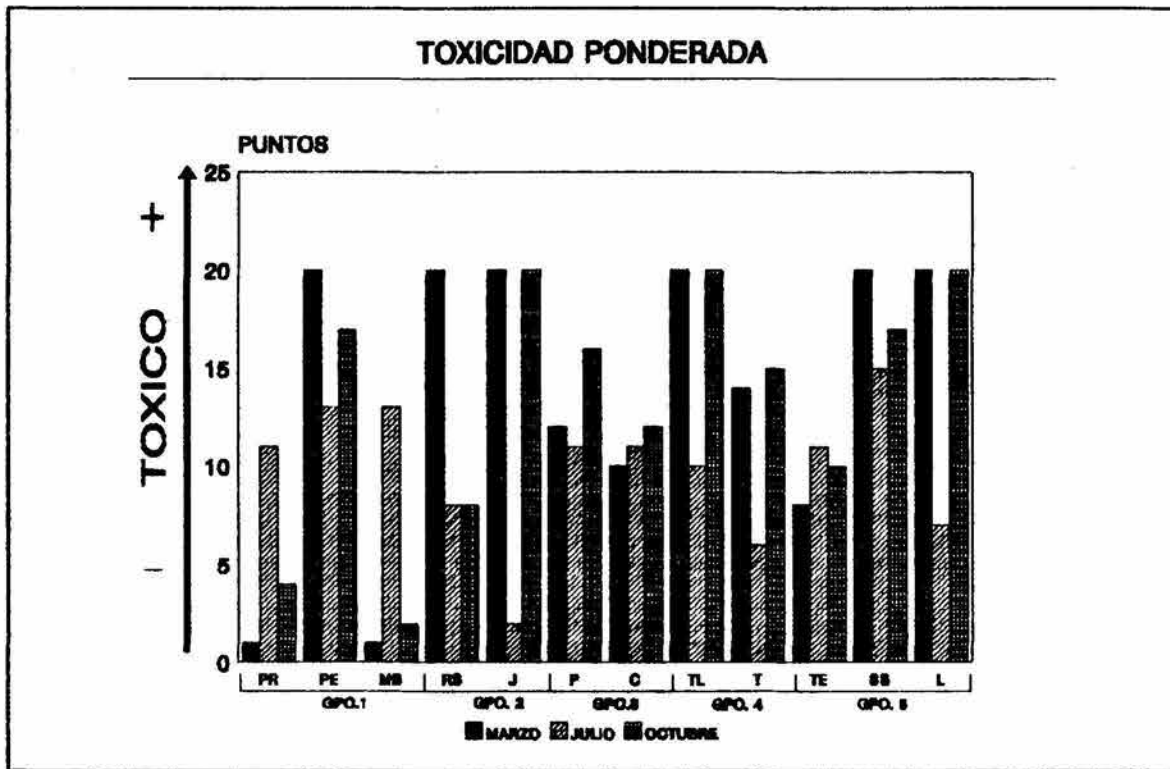


Fig. 39. Toxicidad ponderada del suelo del DDR-063. Clasificación tomada de Dutka *et al.*, (1990).

En términos generales la toxicidad registrada en todas las estaciones de muestreo fue cercana o superior a los 9 puntos, criterio determinado al sumar los puntos de una respuesta positiva de los organismos en los extractos al 100 %. En la figura 39 se observa que en el segundo muestreo ocurre lo mismo que en el agua, aunque en este caso existieron otros factores que influyeron de manera directa sobre los resultados. En este período los cultivos se encuentran en proceso de desarrollo y su demanda de nutrientes aumenta, pudiendo absorber junto con ellos compuestos que generaban toxicidad aguda. Al finalizar este

período su participación en la absorción de tóxicos ya no se presenta y la toxicidad aguda tiene un incremento nuevamente.

### 3) SEDIMENTO.

Las pruebas de toxicidad de las muestras de sedimento se llevaron a cabo únicamente con el agua contenida en los intersticios o poros del mismo, sin utilizar ningún tipo de solvente para extraer compuestos no solubles en agua. Aun considerando este hecho, los resultados de los bioensayos mostraron que los tres organismos detectaron niveles preocupantes de sustancias tóxicas.

#### 3.1) Pruebas con *Daphnia magna*.

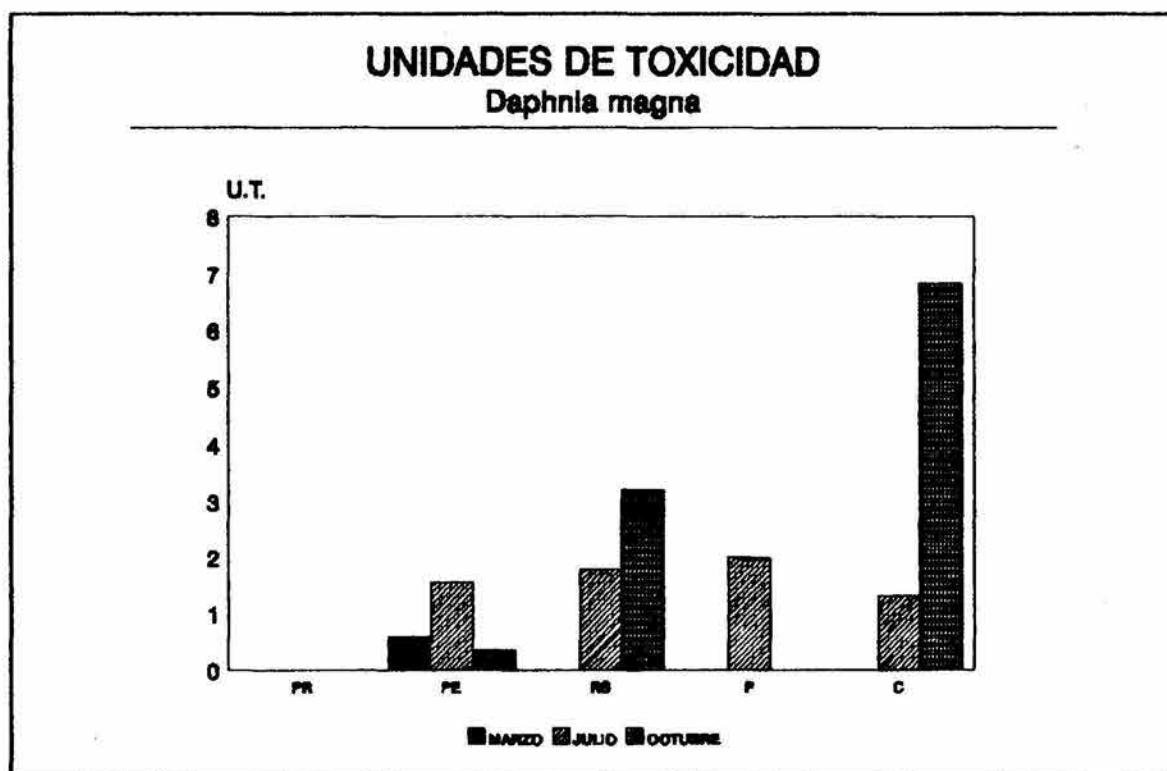


Fig. 40. Unidades de toxicidad de los extractos de sedimento del DDR-063.

En el primer muestreo las respuesta de *D. magna* no fue significativa, ya que no detectó la presencia de sustancias tóxicas. Sin embargo, en el segundo y tercer muestreo esta situación se invirtió completamente, obteniéndose una elevada mortalidad de organismos que se reflejó en la magnitud de las unidades de toxicidad que llegaron a medir hasta 2.0 y 6.8 para las estaciones de Progreso (en el mes de julio) y Chilcuautla (en el mes de octubre) respectivamente. Estos datos son alarmantes si consideramos que *D. magna* fue la especie de menor sensibilidad

en este estudio.

Es importante recordar que dentro de la normatividad ambiental mexicana no existen límites máximos permisibles en cuanto a toxicidad, por lo cual no está debidamente establecido a partir de cuantas unidades de toxicidad una sustancia puede representar un riesgo ambiental considerable. No obstante, si una muestra al 100 % es capaz de causar un efecto letal al 50 % de los organismos y esto representa 1 unidad de toxicidad, no es difícil predecir las alteraciones ambientales que se producen con un líquido cuyas unidades de toxicidad son cercanas a 7.0.

### 3.2) Pruebas con *Panagrellus redivivus*.

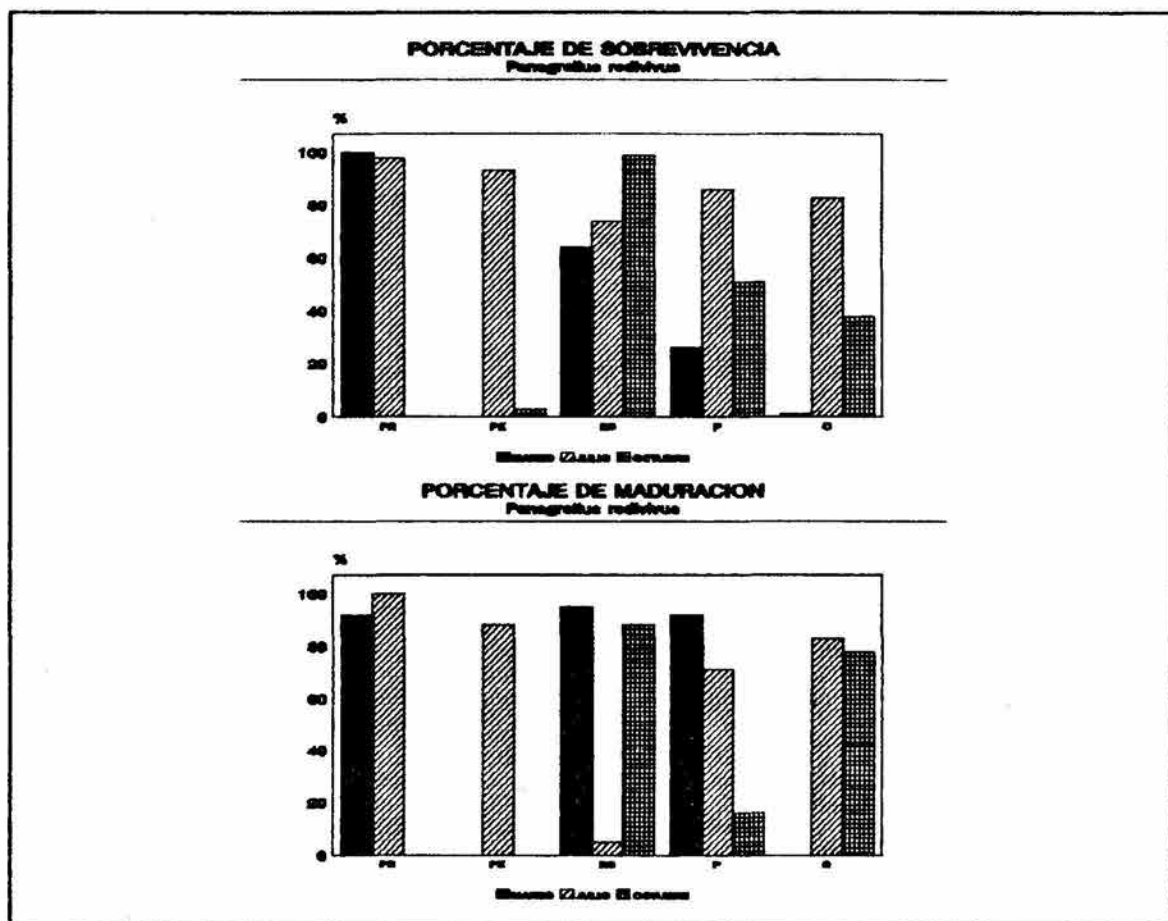


Fig. 41. Porcentaje de sobrevivencia y maduración de *P. redivivus* al ser expuesto a los extractos de sedimento del DDR-063.

Como en el caso de los bioensayos en agua, *P. redivivus* manifestó una elevada sensibilidad a compuestos tóxicos de efecto agudo en todas las estaciones muestreadas en el mes de marzo, con



excepción de la Presa Requena. Asimismo, en el segundo muestreo se pudo apreciar un efecto crónico en casi todos los puntos del distrito de riego. Finalmente, durante el tercer muestreo se observaron tanto efectos agudos como crónicos.

Durante el desarrollo de estos bioensayos se observaron otros efectos que, aunque no fueron cuantificados, no dejan de ser importantes. Estos incluyeron la formación de una capa densa con apariencia aceitosa en el fondo de los viales, además de que el cuerpo de los nematodos adultos, aunque con la talla normal, se observó mucho más delgado, indicando la presencia de algunas sustancias que provocaron este desarrollo inusual.

### 3.3) Pruebas con *Spirillum volutans*.

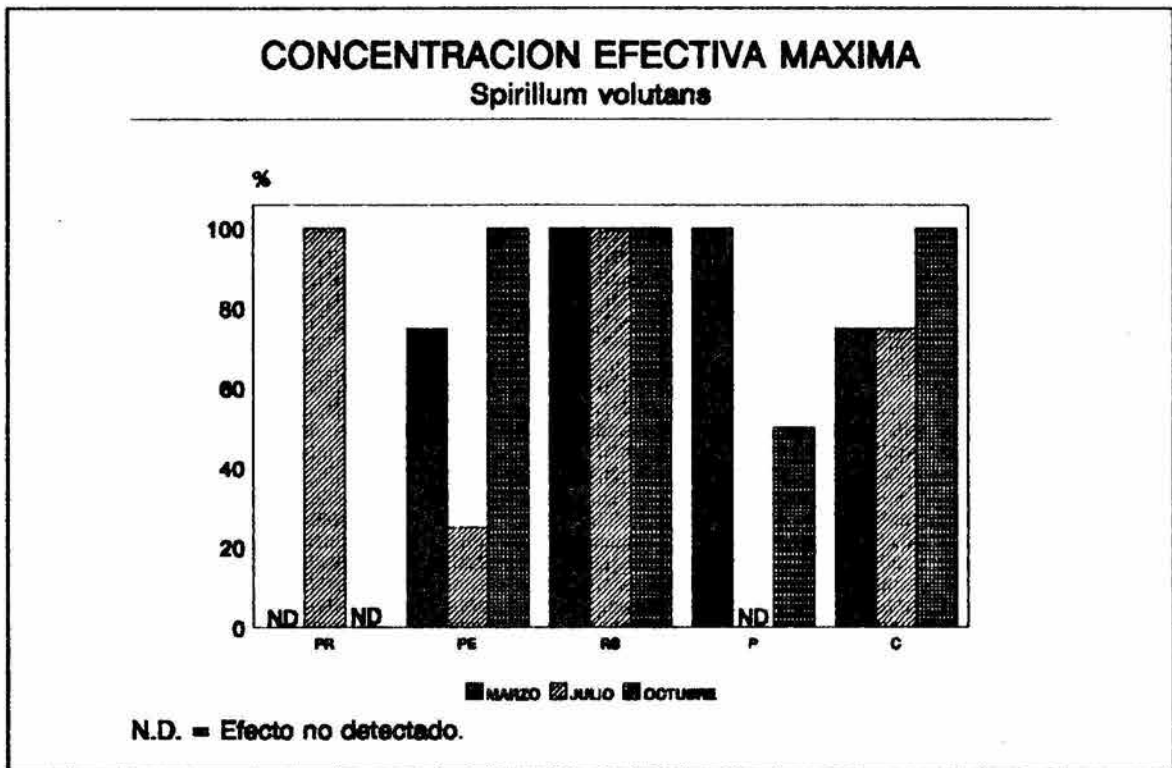


Fig. 42. Gráfica que muestra la Concentración efectiva máxima (CEM<sub>90</sub>) obtenida a partir de los bioensayos con *S. volutans* en extractos de sedimento del DDR-063.

Observando la figura 42 se puede decir que *S. volutans* resultó ser el organismo con mayor sensibilidad a los extractos de sedimento, aunque esta alta sensibilidad pudo deberse a la presencia de sodio, pues debemos recordar que esta bacteria es muy poco tolerante a dicho elemento y los análisis fisicoquímicos de este sustrato mostraron que presenta una alta capacidad de intercambio catiónico y concentraciones mayores de 15 % de PSI.

El efecto observado en las bacterias en estas muestras fue la pérdida total de su movilidad.

La extracción del agua intersticial a partir de los sedimentos del distrito demostró que constituyen un riesgo ambiental inquietante, pues al existir fluctuaciones en los aportes de agua, el sedimento puede ser removido y las sustancias potencialmente tóxicas pueden ser liberadas nuevamente al agua y ser vertidas directamente sobre el suelo y los cultivos.

### 3.4) Toxicidad ponderada.

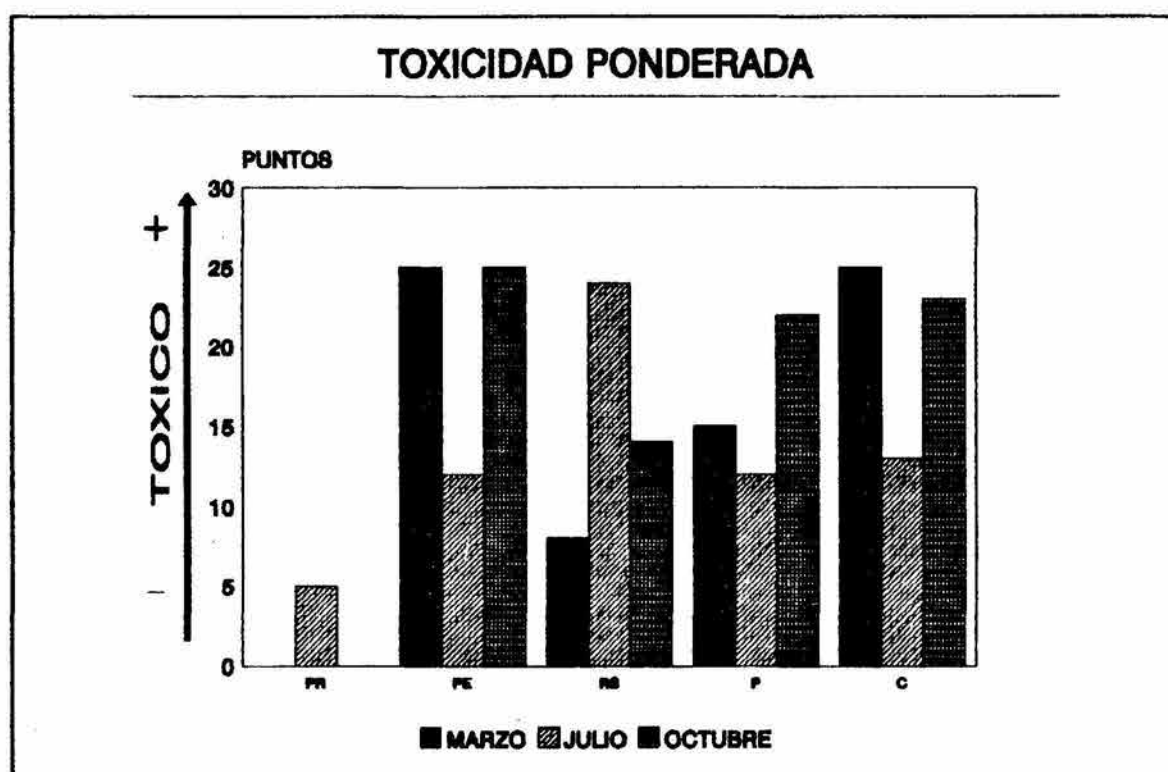


Fig. 43. Niveles de toxicidad ponderados de los extractos del sedimento del DDR-063.

Debido a que solamente fue posible coleccionar sedimento de cinco estaciones es un poco difícil dar un panorama general de toda la zona de estudio, aunado esto a que durante el tercer muestreo fue imposible coleccionar el sedimento de la estación Presa Requena. No obstante, se puede observar en la figura 43 que en el segundo muestreo los niveles de toxicidad tuvieron el valor más bajo, confirmando la hipótesis de que en este período hay una gran removilización de material sedimentado lo que propicia el intercambio de compuestos y liberación de los mismos. Se debe

recordar que el hecho de que baje el puntaje total no significa que el problema sea menos grave, puesto que la toxicidad evaluada es crónica más que aguda. los efectos genotóxicos existen todo el tiempo pero son enmascarados muchas veces por un efecto agudo, pues no deja sobrevivir a los organismos para observar un daño genético.

## ANALISIS ESTADISTICO

### 1) COMPONENTES PRINCIPALES.

#### 1.1) Agua.

El análisis de componentes principales pone de manifiesto muy claramente que existe un proceso que involucra a la alcalinidad, conductividad eléctrica y dureza del agua, además de ser un proceso que se mantiene a través del tiempo pues, como se aprecia en el cuadro del anexo III, tuvieron la mayor correlación positiva y sumaron en el primer componente una varianza de alrededor del 90 %.

El proceso que involucra a estos tres parámetros es la salinización, por lo cual las aguas de este distrito llevan consigo una concentración de sales muy elevada. Estos resultados son característicos de las aguas municipales (Ingersoll, 1992), pero recordemos que el agua de esta zona también incluye la de retorno agrícola y la de las descargas industriales.

Aunque en primera instancia la salinización parece ser un problema para el agua, no es necesariamente cierto puesto que tanto el cauce del Río Tula así como los canales de riego tienen un flujo continuo, siendo el receptor de estas aguas el Río Panuco en el caso del Río Tula y las parcelas de cultivo en el caso de los canales de riego. Con respecto al río, el problema no es tan grave pues a través de su recorrido se diluyen las concentraciones de sales. Sin embargo, en el caso de los canales el agua es utilizada para riego, siendo el suelo el receptor principal de estas sales, las cuales ya comienzan a notarse a simple vista pues hay presencia de pequeños manchones o cúmulos de sales.

#### 1.2) Suelo.

Los resultados del análisis de componentes principales nos permitieron apreciar la existencia de una serie de correlaciones entre las variables o parámetros fisicoquímicos que a simple vista no son muy claras. De acuerdo a ellas, fue posible observar que los metales pesados se encuentran en el suelo interactuando mediante procesos diferentes. El primer componente, de las tres pruebas realizadas independientemente para cada uno de los muestreos, mostró que las concentraciones de sodio y plomo están relacionadas con la capacidad de intercambio catiónico, es decir

que una fracción de dichos elementos se encuentra adsorbida a los coloides del suelo mediante sus cargas eléctricas. Esto es muy importante ya que debemos recordar que los metales extractables son la fracción más disponible para los organismos; pudiendo ser absorbidas por las raíces de los cultivos y por los microorganismos del suelo.

Por otro lado, el segundo componente puso de manifiesto que, además del intercambio catiónico, existe otro proceso gracias al cual los metales se acumulan en el distrito de riego. Podemos suponer que dicho proceso se halla relacionado con los carbonatos, debido a la naturaleza calcárea de los suelos del área de estudio y debido a que estas sales son fácilmente destruidas por la extracción ácida que se efectuó para liberar los metales (Morrison, 1983). Este último hecho indica que la asociación de metales con los carbonatos depende del pH, como lo demostró la correlación entre los parámetros obtenidas a partir del componente II. Los metales aquí implicados fueron el cobalto, plomo, sodio y cadmio.

### 1.3) Sedimento.

De acuerdo a los resultados del análisis de componentes principales, en los sedimentos también se presentan al menos dos procesos independientes de acumulación de metales. El primer proceso, inferido del componente I de las tres pruebas estadísticas realizadas, resultó ser el intercambio catiónico. Gracias a las cargas eléctricas de los coloides del sedimento, y principalmente de la materia orgánica, el plomo, el sodio y el cobalto se acumulan en el fondo de los canales y las presas.

El segundo proceso, obtenido del componente II, está relacionado con las concentraciones de plomo y cobalto que no dependen de la capacidad de intercambio catiónico del sedimento, es posible suponer que en dicho proceso esté involucrada la precipitación de los metales pesados formando carbonatos, que son fácilmente destruidos por una extracción ácida como la realizada en el presente estudio.

## 2) CORRELACIONES MULTIPLES.

### 2.1) Agua.

Es importante aclarar que las correlaciones entre los parámetros fisicoquímicos y los bioensayos se realizó utilizando el puntaje total obtenido para cada estación en cada uno de los periodos de muestreo.

De acuerdo a los resultados del análisis de componentes principales, en donde se determinó que existe un proceso de salinización muy marcado, se esperaría una alta correlación entre este proceso con la toxicidad evaluada, misma que no se presentó.

Cabe aclarar que durante el transcurso de la investigación se determinó la salinidad a algunas muestras obteniéndose valores oscilantes entre 3 y 4 partes por mil que son inferiores al límite de tolerancia de *D. magna*, que es de 8 a 10 partes por mil (Ingersoll, 1992) y al de *S. volutans* que es de 7 a 8 partes por mil (pruebas realizadas en el Lab. de Biol., I.N.E., SEDESOL). Los parámetros con mayor asociación fueron la DBO<sub>5</sub> (que implica a la materia orgánica), los detergentes (SAAM) y el cromo soluble. La correlación obtenida al 95 % de confiabilidad nos indica que estos parámetros son en gran medida los responsables de los efectos tóxicos evaluados, pero hay que ser muy cuidadosos al hacer este tipo de aseveraciones pues esta relación matemática no es necesariamente cierta, ya que en los bioensayos de tipo ecológico es sumamente complicado conocer que compuesto es el responsable de dicho efecto por las relaciones e interacciones que ocurren entre ellos y en donde su toxicidad está determinada por su composición más que por su abundancia.

Al observar por separado lo que ocurrió en cada período de muestreo se observa que durante el primer período se presentó un efecto tóxico agudo determinado por la muerte de las daphnias, nematodos y bacterias, el cual tuvo una alta correlación positiva con la DBO<sub>5</sub>, los detergentes y cromo disuelto y una correlación negativa con la concentración de oxígeno disuelto y el pH. En el segundo muestreo se observó un efecto crónico dado por los bajos porcentajes de maduración de los nematodos y nuevamente las pruebas de correlación manifestaron la participación de los detergentes, DBO<sub>5</sub> y cromo disuelto. Considerando estos resultados es posible inferir que existió un sinergismo entre los componentes de estos tres parámetros. La relación del cromo soluble y los detergentes es razonable ya que el primero es un componente de la formulación de los segundos.

La relación entre estos tres parámetros y la toxicidad nos indica que el agua tiene como compuestos contaminantes principales a la materia orgánica y a los detergentes, dejando en segundo término a las sales y los metales pesados.

## 2.2) Suelo.

La prueba estadística de correlación entre el puntaje total, obtenido de la suma y ponderación de los resultados de los bioensayos, y los parámetros fisicoquímicos evaluados en las muestras de suelo, indican que se presentó una variación estacional en cuanto al tipo de agentes tóxicos que influyeron en la mortalidad, daño genético y pérdida de movilidad de los organismos estudiados.

Durante el primer muestreo se obtuvo una correlación positiva entre la toxicidad del suelo y las concentraciones de sodio intercambiable, plomo y cadmio extractables, además de la C.I.C.T. En forma similar, en el segundo muestreo los efectos

tóxicos se correlacionaron positivamente con los niveles de cadmio, plomo y cromo extractables. Sin embargo, de manera contraria, durante el mes de julio no pudo establecerse correlación alguna. Tal comportamiento resulta extraño pues precisamente en el mismo mes de julio se observó un aumento en los niveles de metales, elementos conocidos por su alta toxicidad.

Como se discutió en el inciso de los bioensayos, en el mes de julio la toxicidad se manifestó más que nada como un efecto crónico. Este hecho nos hace suponer que los metales extractables no actuaron a nivel de genes, sino que básicamente provocaron efectos agudos o inmediatos, como lo demuestran los resultados de mortalidad observados en los demás periodos de muestreo.

Ya que los metales, y el resto de los parámetros edáficos evaluados fueron descartados como responsables del daño a los organismos en el segundo muestreo, es necesario atribuir los efectos tóxicos observados a otros compuestos. En esa época del año los cultivos se encuentran en pleno crecimiento y la aplicación de plaguicidas es común. Por esta razón, podríamos sospechar que dichos compuestos están implicados en la genotoxicidad del suelo.

Es importante recordar que los resultados de las correlaciones múltiples no necesariamente implican la existencia de una relación causa-efecto entre los parámetros considerados. Tal es el caso de la toxicidad, ya que un amplio número de agentes, muchas veces imposible de determinar, puede ser responsable del daño a los organismos. Asimismo, la acción de varios agentes mezclados en un mismo medio puede diferir mucho de su acción individual. Por este motivo, sólo se puede decir que los metales extractables están implicados en la toxicidad de los suelos pero que no son necesariamente la causa directa de dicho perjuicio a la biota.

### 2.3) Sedimento.

El análisis estadístico arrojó una serie de correlaciones entre los parámetros fisicoquímicos en los sedimentos y su toxicidad (considerada como puntaje total), las cuales variaron a lo largo de los tres periodos de muestreo. Durante el mes de marzo las concentraciones de cromo y cobalto extractables y los niveles de sodio intercambiables se correlacionaron con los efectos tóxicos sobre los organismos. Para el segundo muestreo no fue posible obtener ninguna asociación entre las variables y en el tercero el contenido de materia orgánica y la toxicidad de los sedimentos mostraron correlación.

Al igual que en el caso de los suelos, durante el primer y tercer muestreos los efectos tóxicos encontrados en los sedimentos se manifestaron con una acción aguda. De aquí, es posible deducir

que la materia orgánica y los metales mencionados actúan a nivel fisiológico, ocasionando la muerte de los organismos, más que un daño genético. Dicho daño, por el contrario, fue evidente en el segundo muestreo, cuando no se hallaron correlaciones entre bioensayos y pruebas fisicoquímicas. Este último hecho es difícil de comprender sobretodo porque en ese momento hubo un aumento de los metales extractables, debido a la removilización de las partículas sedimentadas por la disminución del nivel de las presas. Durante este proceso de removilización ocurren una serie de interacciones complejas entre los compuestos y las partículas que precisamente pudieron ser la causa de la falta de correlación entre las variables.

## SITUACION POR GRUPO

### **GRUPO 1. Cauce del Río Tula.**

#### **1a. Presa Taxhimay.**

- a) Es el primer cuerpo de agua regulador de las aguas de la Cuenca del Río Tula y, por lo tanto, es muy importante para favorecer la dilución de la carga contaminante de DDR-063.
- b) Al no encontrarse en contacto directo con las descargas residuales de la Ciudad de México la calidad de su agua no está deteriorada. Por esta razón, este cuerpo de agua fue utilizado como testigo en la presente investigación. La evaluación de sus aguas nos permitió establecer claramente que el deterioro en el DDR-063 es causado por las descargas de la Ciudad de México y no por las aguas del Río Tula.
- d) Debido al uso que de ella se hace (riego de parcelas que se encuentran en sus orillas, abrevadero para ganado, abastecimiento de agua para actividades domésticas) es importante preservar su calidad.
- e) Es una estación con muy pocas evidencias de sustancias tóxicas ya que tuvo el menor número de puntos en toxicidad.

#### **1b. Presa Requena.**

- a) Actualmente no recibe aguas negras, lo que ha permitido una recuperación de sus aguas en las cuales incluso se han introducido carpas para la pesca local. Sin embargo, aún presenta problemas ya que es receptora de residuos de fertilizantes y plaguicidas utilizadas en las parcelas de sus alrededores, los cuales participan en la reducción de la concentración de oxígeno y provocan efectos tóxicos para los organismos.
- b) Tanto el agua, suelo y sedimento de esta estación se pueden considerar con niveles de toxicidad bajos.
- c) Es un claro ejemplo de la recuperación que pueden tener las presas y canales de este distrito si la calidad del agua de aporte mejorara. Según cálculos realizados por el Dr. Felipe Vargas del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (1994) serían necesarios alrededor de 15 años para tener una recuperación significativa de un cuerpo de agua como éste.

#### **1c. Presa Endhó.**

- a) Definitivamente es uno de los sitios más contaminado de todo el distrito, representando tanto su agua, suelo y sedimento riesgos considerables para la salud de los pobladores cercanos y de los animales que toman agua de la presa.
- b) Es un cuerpo de agua altamente eutrofizado, lo que ha ocasionado la proliferación de lirio acuático y a su vez de fauna nociva como moscas, mosquitos y ratas que son vectores de enfermedades infecciosas.
- c) Se tiene la costumbre de dragar los sedimentos de la presa



para abonar los cultivos, de esta manera todos los organismos patógenos y las sustancias tóxicas pueden liberarse y ser puestas en contacto directo con los agricultores y productos agrícolas.

d) Resultó ser la estación con los valores más altos de los parámetros fisicoquímicos en agua, suelo y sedimento.

e) La toxicidad evaluada fue tanto aguda como crónica, por lo que se considera como un cuerpo de agua de alto riesgo ambiental.

#### **1d. Tunititlán y Maguey Blanco.**

a) Ambos sitios están bajo la influencia tanto de agua negra proveniente de Endhó como de las aguas de manantial de las zonas de Tezontepec y Tunititlán. Estas últimas favorecen la dilución de los contaminantes y la depuración de las aguas.

b) La concentración de sales disueltas en sus aguas, reflejada en los valores de alcalinidad, conductividad eléctrica y dureza, es muy elevada propiciando su acumulación en la superficie de los suelos y a largo plazo fitotoxicidad a los cultivos.

c) La calidad de su agua aún no se encuentra muy deteriorada, incluso en Tunititlán se observan pequeños peces en las orillas del río, además de que el agua se utiliza para recreación y actividades domésticas.

d) Los niveles de sustancias tóxicas en el agua como en el suelo son bajas, observándose el pico característico del mes de julio.

#### **GRUPO 2. Canal y cauce del Río Salado.**

a) Es el grupo con los más altos índices de contaminación compitiendo incluso con la Presa Endhó.

b) No posee un cuerpo de agua receptor importante en donde se pueda llevar a cabo una depositación de contaminantes, además de que las aguas negras recorren un trayecto menor para llegar al DDR-063, favoreciendo en menor medida la degradación de la materia orgánica y la reducción de la viabilidad de los organismos patógenos.

c) Reciben las descargas de la zona de Texcoco, aumentando la cantidad de sales disueltas en sus aguas.

d) Un problema de gran evidencia en Juandhó es la espuma formada a partir de los detergentes contenidos en el agua. La espuma actúa como un agente transportador de patógenos y se deposita sobre las hojas de los cultivos formando una película que impide su respiración y las "quemama".

e) La estación Juandhó está más contaminada que el propio Río Salado, encontrándose toxicidad aguda y crónica. Esto es sobretodo importante en el suelo, ya que su toxicidad está afectando a la biota edáfica impidiendo una buena degradación de la materia orgánica. Esto se deduce del hecho de que en el sitio se obtuvieron contenidos de materia orgánica extremadamente altos (mayores del 5 %), pero una capacidad de intercambio catiónico media, infiriéndose que dicha materia no está siendo humificada. Por lo tanto, es considerado junto con el Río Salado como un sitio con altos niveles de toxicidad y de alto riesgo ambiental.

### **GRUPO 3. Canales de la Presa Endhó.**

- a) El agua que llega a ellos, aunque proviene de la Presa Endhó, tiene que hacer un gran recorrido lo que favorece la degradación de la materia orgánica y disminuye la viabilidad de los organismos patógenos.
- b) El sedimento colectado en ellos fue sumamente tóxico y representa un gran riesgo ambiental, debido a que en ocasiones son cerradas las compuertas y al quedar completamente vacíos los canales, los sedimentos se secan y por medio del aire se dispersan a los alrededores. Esto es todavía más grave en la estación Progreso ya que el poblado se encuentra muy próximo a los canales de riego.
- c) Se presenta también el mismo problema de la espuma de los detergentes, siendo más evidente en la estación Chilcuautla.
- d) Son de las estaciones en las que fue posible colectar muestras de agua, suelo y sedimento que resultaron con toxicidades extremas, por lo cual ambos son considerados como sitios de muy alto riesgo ambiental.

### **GRUPO 4. Canal Principal Requena.**

- a) Estos canales son potencialmente más riesgosos puesto que no tienen un revestimiento de concreto como los otros, significando que las aguas están en contacto directo con el suelo.
- b) El suelo sobre todo de Tepatepec tiene actualmente graves problemas de salinidad.
- c) Un grave problema es que estos canales colindan con casas habitación de las cuales reciben aporte de agua residual así como de basura. Además de que el ganado utiliza estos canales como abrevaderos.
- d) La toxicidad detectada fue aguda y crónica tanto en el agua como en suelo, lo que sitúa este grupo como una zona sumamente alterada.

### **GRUPO 5. Manantiales.**

- a) Los manantiales pueden dividirse en dos subgrupos. Uno que considera únicamente a Tezontepec, ya que es una fuente de agua que ya existía cuando fue puesto en operación el distrito de riego; por ello en él se mezclan las aguas "blancas" de infiltración natural y las aguas infiltradas a partir de las parcelas regadas con agua residual. Esto hace que los parámetros fisicoquímicos evaluados sean ligeramente inferiores a los de San Salvador y Lagunilla. El segundo subgrupo incluye a San Salvador y Lagunilla que se formaron a partir de que fue puesto en operación el distrito de riego y sólo reciben agua de infiltración proveniente riego.
- b) Al encontrarse San Salvador en la zona más baja del distrito, los afloramientos de los mantos freáticos se han ido acentuando cada vez más, al grado de que en estos momentos ya se ha establecido una vegetación de tular, típica de zonas inundadas

y difícil de encontrar en un clima semiárido.

c) El agua de ambos tipos de manantiales lleva altas concentraciones de sales disueltas, pero es más significativo en el caso de San Salvador debido en parte a que este sitio se encuentra muy próximo a depósitos de roca caliza.

d) El uso que se le da a esta agua es para consumo humano, actividades domésticas y recreación. La concentración de metales pesados disueltos sobrepasa o está muy cercana a los límites máximos permitidos de metales totales para agua potable, lo que nos da una idea de la problemática existente en esta zona pues la población está ingiriendo sustancias tóxicas.

e) La estación Tezontepec se ubica dentro de un centro piscícola dedicado al cultivo de carpas. Estos organismos pueden consumir los metales pesados contenidos en el agua, creándose un efecto de bioacumulación que representa un riesgo para sus consumidores.

f) Es importante mencionar que en esta zona sí está permitido el cultivo de hortalizas de consumo fresco por ser regadas con agua de manantial, aunque sería interesante evaluar su contenido de metales pesados.

g) El agua de estos manantiales presentó una respuesta moderada en cuanto a toxicidad. No así el suelo el cual presentó altos niveles de toxicidad por lo que también son considerados como sitios con un deterioro considerable.

## CONCLUSIONES

El agua que circula a través del Distrito de Desarrollo Rural 063 acarrea una gran cantidad de sales disueltas. además de la materia orgánica y los detergentes.

En los suelos y sedimentos el problema de mayor relevancia es la acumulación de sodio y metales pesados extractables, asociados a las partículas principalmente por procesos de intercambio catiónico.

La toxicidad detectada en el agua, suelo y sedimento fue aguda en el primer y tercer período de muestreo mientras que en el segundo predominó la toxicidad crónica.

Se encontró una alta correlación positiva entre la DBO<sub>5</sub>, SAAM y cromo disuelto con los efectos tóxicos en el agua del DDR-063; mientras que en el suelo y sedimento se manifestó una correlación entre los metales pesados extractables y el sodio con la toxicidad.

Considerando el puntaje total, los sitios con el mayor deterioro son la Presa Endhó, el Río Salado y Juandhó y el menos afectado es la Presa Taxhimay.

El presente estudio pone de manifiesto la flexibilidad de la normatividad ambiental vigente, pues aunque no se rebasan los límites máximos permisibles la afectación de la zona es evidente, además de que las pruebas de toxicidad así lo demuestran.

De los tres organismos utilizados el de un rango de detección más amplio fue el nematodo *Panagrellus redivivus*.

El Distrito de Desarrollo Rural 063 es una zona con un deterioro ambiental alarmante y no se prevé una solución a corto o mediano plazo, pues mientras se sigan vertiendo aguas residuales sin un previo tratamiento el problema se agudizara a tal grado que se convertirá en una zona improductiva.

## RECOMENDACIONES

Hacer una revisión de la normatividad ambiental vigente con respecto al agua de riego, para incluir parámetros como la dureza y alcalinidad, y reducir los límites máximos permisibles de conductividad eléctrica y Sustancia activas al azul de metileno (detergentes).

Incluir dentro de la legislación mexicana normas para suelo y sedimento.

Llevar a cabo una vigilancia muy estricta de las descargas municipales e industriales del Valle de México.

Realizar estudios de la factibilidad de darle un tratamiento a el agua antes de que sea vertida al DDR-063.

En la zona ya existe un programa de monitoreo permanente que está a cargo de C.N.A., en este programa no se tiene contemplado el uso de bioensayos por lo que sería necesario incluirlos para que se puedan determinar patrones estacionales y alternativas de solución.

Llevar a cabo una vigilancia estricta de la calidad sanitaria de los productos, tanto agrícolas como pecuarios, del DDR-063 con el fin de eliminar todos aquellos que representen un riesgo para los consumidores.

Restringir el uso de manantiales para abastecer de agua potable a los pobladores, mientras sus aguas no cumplan con las normas establecidas para dicho fin.

Desarrollar políticas basadas en el aprovechamiento integral de los recursos con que cuenta la zona.

Efectuar un estudio del comportamiento de las sustancias tóxicas asociadas a los suelos y sedimentos mediante bioensayos y empleando diferentes medios de extracción.

Evaluar las concentraciones de hidrocarburos y plaguicidas en el agua, suelo y sedimento del DDR-063.

Evaluar los impactos ambientales sobre la productividad agrícola actual de los suelos y la que se espera en el futuro si no se toman acciones de regulación y control.

A partir de la cuantificación de los volúmenes de contaminantes que llegan a la zona, así como de su distribución temporal y geográfica, llevar a cabo una evaluación costo-beneficio de las acciones encaminadas a mejorar la calidad ambiental.

## BIBLIOGRAFIA

Albert, L.A. (1988). Curso Básico de Toxicología Ambiental. 2a. edición. Limusa. México.

Amato, J.R. (1992). "An Example of the Identification of Diazinon as a Primary Toxicant in an Effluent". Environmental Toxicology and Chemistry. Vol. 2. pp. 209-216. U.S.A.

Bahamonde, F. (1990). "Impacto del Distrito de Desarrollo Rural-063 en la Calidad del Agua de la Cuenca". Taller Internacional de Reuso de Agua en la Agricultura: Experiencia México-Israel. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Comisión Nacional del Agua. México.

Bitton, D.W. & B.J. Dutka. (1986). Toxicity Testing Using Microorganisms. Vol. I. CRC Press. U.S.A.

Brown, E., M.W. Skougstad & M.J. Fishman. (1970). Methods for Collection and Analysis of Water Samples for Dissolved Minerals and Gases. Geological Survey. Department of the Interior. U.S.A.

Colli-Miset, J. (1990). "Balance Hidráulico y de Sales en el Distrito de Riego 03. DDR063, Mixquiahuala, Hgo". Taller Internacional de Reuso de Agua en la Agricultura: Experiencia México-Israel. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Comisión Nacional del Agua. México.

Comisión Nacional del Agua. (1991a). Diagnóstico Ambiental del Proyecto de Infraestructura Hidráulica Toma Complementaria Endhó. Hgo. Subdirección General de Administración del Agua. México.

Comisión Nacional del Agua. (1991b). El Aprovechamiento de Aguas Residuales en el Valle del Mezquital y su Imapacto Ambiental. Subdirección General de Administración del Agua. México.

Comisión Nacional del Agua. (1991c). Subdirección de Infraestructura Hidráulica.

Consejo de la Cuenca Lerma-Chapala. (1994). Memoria del curso de Limnología Aplicada. Gaceta del Lerma. No. Especial.

Cortés M.G., S. Ramírez, I. Romero, H. Beltran y G. Muñoz. (1993). "Evaluación Preliminar de la Toxicidad de las Aguas Superficiales de la Cuenca del Río Pánuco con Tres Diferentes Bioensayos". Resúmenes del IX Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. México.

Cortinas de Nava, C. (1990). "Parasitosis y Enfermedades Gastrointestinales en el Distrito de Desarrollo Rural 063 Tula.

Hidalgo". Taller Internacional de Reuso de Agua en la Agricultura: Experiencia México-Israel. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Comisión Nacional del Agua. México.

Cottenie, A. (1980). Los Análisis de Suelos y Plantas como Base para Formular Recomendaciones sobre Fertilizantes. Boletín de Suelos. FAO 38/2 Italia. En Vázquez, A. y N. Bautista. (1993). Guía para Interpretar el Análisis Químico de Suelo y Agua. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. México.

De la Cruz, A.J. (1988). "Proceso Salud-Enfermedad". Problemática Ambiental del Valle del Mezquital. Foro I. Documentos y Materiales de Estudio de la Fundación Friedrich Ebert Stiftung. México.

Dominguez, R.I. y H.N. Aguilera. (1980). Metodología de Análisis Fisico-químicos de Suelos. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.

Dutka, B.J. (1986). Method for Determining Acute Toxicant Activity in Water, Effluents and Leachates Using *Spirillum volutans*. Toxicity Assessment an International Quarterly. Vol. 1 No. 1. 139 - 145

Dutka, B.J. (1989). Methods for Microbiological and Toxicological Analysis of Waters, Wastewaters and Sediments. Dept. of Environmental Rivers Research Institute. Center of Inland Waters. Canada.

Dutka, B.J., K.K. Kwan, R. McInnis, R. Bourbonniere & A. Jurkovic. (1990). Bioassay Assessment of Waters and Sediments Collected sept 1990 as part of the Tar Sands Ecological Impact Study. Dept. of Environmental Rivers Research Institute. Center of Inland Waters. Canada.

Förstner, U. (1993). Riverine and Estuarine Sedimentation of Pollutans and Leaks from Sludges and Wastes: Analytical, Prognostic. Experimental and Remedial Approaches. Land Degradation and Rehabilitation. Vol.4; No.4. England.

Galvão L.A.C. & German Corey (1987a). Cadmio. Series Vigilancia 4. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, O.P.S., O.M.S., México.

Galvão L.A.C. & German Corey (1987b). Cromo. Series Vigilancia 5. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, O.P.S., O.M.S., México.

Galvão L.A.C. & German Corey (1989c). Plomo. Series Vigilancia 6. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, O.P.S., O.M.S., México.

García, E. (1973). Modificaciones al Sistema de Clasificación

Climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.

García, O.E. (1988a). "Los plaguicidas en el Valle del Mezquital". Resúmenes del I Congreso Intermunicipal "La Contaminación Ambiental en el Valle del Mezquital". Documentos y Materiales de Estudio de la Fundación Friedrich Ebert Stiftung. México.

García, O.E. (1988b). Trabajo de Investigación sobre la Contaminación en el Valle del Mezquital, Hgo., Causada por el Riego con Agua Negras Provenientes de la Ciudad de México". Problemática Ambiental del Valle del Mezquital. Foro I. Documentos y Materiales de Estudio de la Fundación Friedrich Ebert Stiftung. México.

García, A.M., J. Cajuste y J. Cruz. (1988). "Grado de Contaminación por Plomo, Cadmio y Cromo en Suelos y Tejidos Vegetales por el Uso de Agua Residuales en los Municipios de Tlaxcoapan, Tlahuelilpan y Atitalaquia". Resúmenes del I Congreso Intermunicipal "La Contaminación Ambiental en el Valle del Mezquital". Documentos y Materiales de Estudio de la Fundación Friedrich Ebert Stiftung. México.

Gherardi, G.E. (1983). "Avaliação da Toxicidade dos Principais Despejos Industriais da Região de ERQ-Suzano a través de Ensaio Biológicos". DAE. No. 132. pp. 42-47. Brasil.

Goatcher, L.J., A. Qureshi & I.D. Gaudet. (1984). "Evaluation and Refinement of the *Spirillum volutans* Test for Use in Toxicity Screening". In Liu, D. y B. J. Dutka Editores. (1984). Toxicity Screening Procedures Using Bacterial Systems. Marcel Dekker Inc. U.S.A.

González, L. (1968). Tipos de vegetación del Valle del Mezquital. Hgo. Serie Paleoecología 12. Departamento de Prehistoria. Instituto nacional de Antropología e Historia. México.

Hao Xu, B.J. Dutka & K.K. Kwan. (1987). "Genotoxicity Studies on Sediments Using a Modified SOS Chromotest". Toxicity Assessment: An International Quarterly. Vol. 2. pp. 81-91. U.S.A.

Hernández, G., L. Flores, S. Sánchez, M. Maples, R. Alcalá y C. Villareal. (1990). "Presencia de Metales Pesados en un Área del Distrito de Riego 03 Tula, Hidalgo". Taller Internacional de Reuso de Agua en la Agricultura: Experiencia México-Israel. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Comisión Nacional del Agua. México.

Hazardous Substances Data Bank (H.S.D.B.). (1992). National Library of Medicine. Bethesda, MD (CD-ROM Version). Micromedex, Inc. Denver, Co.



Ingersoll, C.G., F.J. Dwyer, S.A. Burch, M.K. Nelson, D.R. Buckler & J.B. Itunn. (1992). The Use of Freshwater and Saltwater Animals to Distinguish between the Toxic Effects of Salinity and Contaminants in Irrigation Drain Water. Environmental Toxicology and Chemistry. Vol. II 503-511. USA.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (1988). Evaluación de la Calidad del Agua Potable del Acueducto Sistema Valle del Mezquital y Poblaciones Abastecidas en el Estado de Hidalgo". Comisión Nacional del Agua. México.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. (1983). Carta Edafológica Pachuca. E14-2. Esc. 1:250,000. México.

Jackson, M.L. (1976). Análisis Químico de Suelos. Tercera edición. Ed. Omega. España.

Jones, B.J. & B. Wolf. (1984). Manual Soil Testing Procedure Using Modified Extracting Reagent. Benton Laboratories INC. U.S.A. Tomado de: Vazquez Alarcon, A. y Bautista Aroche, N. (1993). Guía para interpretar el análisis químico de suelo y agua. Dpto. de Suelos. U.A.CH. México.

Kwan, K.K. & B.J. Dutka. (1990). Simple Two Step Sediment Extraction Procedure for Use in Genotoxicity and Toxicity Bioassays. Toxicity Assessment. An International Journal. Vol. 5 395-404. Canada.

Laboratorio de Salinidad de los E.U.A. (1982). Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos Y Sódicos. 6a. edición. Ed. Limusa. Mexico.

Leopold, A.S. (1982). Fauna Silvestre de México. Insituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables. México.

Liu, D. & B.J. Dutka. (1984). Toxicity Screening Procedures Using Bacterial Systems. Marcel Dekker Inc. U.S.A.

Metcalf & Eddy, Inc. (1979) Wastewater Engineering: Treatment, Diposal, Reuse. Mc.Graw-Hill Co. U.S.A.

Muñoz, M.G., G. Cortés, S. Ramírez, I. Romero y H. Beltran (1993). Pruebas de Toxicidad Aguda en la Cuenca Lerma-Chapala, durante el período 1988-1993 con *Daphnia magna* (CLADOCERA:CRUSTRACEA). Resúmenes del IX Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. México.

Nolan C.V., S.W. Fowler & J.L. Teyssie. (1992). Cobalt Speciation and Bioavailability in Marine Organisms. Mar. Ecol-Prog Ser: 88(2-3): 105-116

Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-ECOL-031/93. Diario Oficial de la

Federación. 18 de Octubre de 1993.

Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-ECOL-032/93. Diario Oficial de la Federación. 18 de Octubre de 1993.

Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-ECOL-033/93. Diario Oficial de la Federación. 18 de Octubre de 1993.

Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-ECOL-074/94. Diario Oficial de la Federación. 10 de Junio de 1994.

Organización Panamericana para la Salud (OPS) y Organización Mundial para la Salud (OMS) (1988). Evaluación Epidemiológica de Riesgos Cuasados por Agentes Químicos Ambientales. Centro Panamericano de Ecología Humano y Salud. México.

Ortiz, B. y C.A. Ortiz. (1980). Edafología. 3a. edición. U.A.CH. México.

Owen, T.L. (1985). Handbook of Common Methods in Limnology. Segunda edición. Kendall/Hunt Publishing Company. U.S.A.

Pearson, J.G. (1979). "An Approach to the Toxicological Evaluation of a Complex Industrial Wastewater". Aquatic Toxicology. ASTM STP 667. In Marking, L. L. y R. A. Kimerle Editores. American Society of Testing and Materials. pp. 81-91. U.S.A.

Pettijhon, F.J. (1970). Rocas Sedimentarias. Ed. EUDEBA. Argentina.

Ramirez, V.S., G. Muñoz, G. Cortés, I. Romero y H. Beltran. *et al.* (1993). "Método de Evaluación de Toxicidad Utilizando *Daphnia magna* y su Inclusión dentro de la Normatividad Ambiental". Resúmenes del IX Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. México.

Rico, M. (1988). "Variación Microbiológica de Verduras Regadas con Agua de Reuso y un Ensayo para su Normalización". Resúmenes del I Congreso Intermunicipal "La Contaminación Ambiental en el Valle del Mezquital". Documentos y Materiales de Estudio de la Fundación Friedrich Ebert Stiftung. México.

Robles, V.E., V. Rivera, y B.N. Martínez. (1991). Determinación de Parámetros Químicos y Bacteriológicos en la Evaluación de Agua Potable, Agua "Dulce" y Aguas de Desecho Doméstico. Universidad Nacional Autónoma de México. Campus Iztacala.

Rodríguez, B.R. (1990). Estudio de la Dinámica Microbiana en Suelos Regados con Aguas Residuales. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México.

Saint Lawrence Action Team. (1992). "Chemitox: A Toxic Waste Indicator". Canada.

Samoiloff, M. (1990). "The Nematode Toxicity Assay Using *Panagrellus redivivus*". Toxicity Assessment: An International Journal. Vol. 5 309-318

Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. (1988). Seguimiento del Convenio SEDUE-FERTIMEX Unidad Industrial Salamanca. Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental. México.

Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. (1990). Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. Gaceta Ecológica. Vol. II No. 6.

Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. (1990a). Evaluación y Control de Sustancias Tóxicas en Aguas Superficiales de la Cuenca del Río Balsas (1a. Etapa). Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental. México.

Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. (1990b). Evaluación y Control de Sustancias Tóxicas en Aguas Superficiales de la Cuenca del Río San Juan (1a. Etapa). Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental. México.

Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. (1990c). Evaluación y Control de Sustancias Tóxicas en Aguas Superficiales de la Cuenca del Río Lerma-Santiago-Chapala (1a. Etapa). Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental. México.

Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. (1991). Evaluación y Control de Sustancias Tóxicas en Aguas Superficiales de la Cuenca del Río Pánuco (1a. Etapa). Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental. México.

Secretaría de Desarrollo Social. (1992). Evaluación y Control de Sustancias Tóxicas en Aguas Superficiales de la Cuenca del Río Pánuco (2a. Etapa). Dirección General de Normatividad Ambiental. México.

Secretaría de Desarrollo Social. (1993). Evaluación y Control de Sustancias Tóxicas en Aguas Superficiales de la Cuenca del Río Pánuco (3a. Etapa). Dirección General de Normatividad Ambiental. México.

Somasundaram, L., J.R. Coats & K.D. Racke. (1990). Mobility of Pesticides and their Hydrolysis Metabolites in Soil. Environmental Toxicology and Chemistry. Vol. 10 185-194. USA.

Southern Cooperative Series. (1965). Procedures Used by State Soil Testing Laboratories in the Southern Region of the United

States. Bull. No. 102 U.S.A.

Stoker, H.S. & L.S. Spencer. (1981). Química Ambiental. Contaminación del Aire y del Agua. Ed. Blume. España

Tamhane, R.V. (1979). Suelos: Su Química y Fertilidad en Zonas Tropicales. Ed. Diana. México.

Universidad Autónoma Metropolitana. (1983). Evaluación del Impacto Ambiental del Desarrollo Urbano del Valle de México. Distrito de Riego 03. México.

U.S. Department of Health & Human Services (U.S.D.H.H.S.). (1991). Agency for Toxic Substances and Disease Registry. TP-91/10.

Vargas, P.E. (1988). "Problemática Ambiental del Desarrollo Regional de Tula. Hgo. Problemática Ambiental del Valle del Mezquital. Foro I. Documentos y Materiales de Estudio de la Fundación Friedrich Ebert Stiftung. México.

Velázquez, H.A. y G. Hernández. (1988). "Evaluación del Contenido de Metales Pesados en el Suelo y Planta por el Uso de Aguas Residuales sobre el Rendimiento y Calidad de los Productos Agrícolas en el Distrito de Desarrollo Rural de Mixquiahuala. Hgo". Laboratorio de Edafología. Instituto de Geología. Universidad Nacional Autónoma de México.

Wetzel, R.G. (1981). Limnología. Ed. Omega. España.

Wheaton, F.W. (1982). Acuicultura. Diseño y Construcción de Sistemas. AGT Editor.

Zagatto, P.A., E. Bartaletti & E. Gherardi. (1988). "Toxicidade de Efluentes Industriais da Bacia do Rio Piracicaba". Ambiente. Vol. 2. No. 1. Brasil.

ANEXO I  
PRUEBAS DE TOXICIDAD

SECRETARIA DE DESARROLLO SOCIAL  
NORMA OFICIAL MEXICANA

PRUEBA DE TOXICIDAD AGUDA CON *Daphnia magna* Straus.  
(Crustacea-Cladocera).- METODO DE PRUEBA.

1.- OBJETO.

Esta norma oficial mexicana establece la metodología de análisis biológico para la determinación de la calidad de los cuerpos de agua, tanto superficiales, subterráneos, así como aguas residuales, provenientes de los diversos giros industriales y efluentes agrícolas y municipales mediante pruebas de toxicidad utilizando al organismo dulceacuicola *Daphnia magna*, Straus (Crustacea-Cladocera).

2.- CAMPO DE APLICACION.

La presente norma oficial mexicana es de observancia para los diversos giros industriales que descarguen aguas residuales con o sin tratamiento a rios, cuencas, vasos y demás depósitos o corrientes de agua dulce.

3.- REFERENCIAS.

Esta norma se complementa con las siguientes normas oficiales mexicanas vigentes:

NMX-AA-3-1980 Aguas residuales-Muestreo

NMX-AA-14-1980 Cuerpos receptores-Muestreo

NMX-AA-8-1980 Aguas.- Determinación del pH

NMX-AA-7-1980 Aguas.- Determinación de la Temperatura

NMX-AA-93-1984 Protección al Ambiente-Contaminación del agua.- Determinación de la conductividad eléctrica.

NMX-AA-72-1981 Analisis de agua.- Determinación de la dureza.- Método del E.D.T.A (Acido etilen diamino tetraacético)

NMX Z-1 "Sistema general de unidades de medida".- Sistema Internacional de Unidades (SI).

#### 4.- DEFINICIONES.

Para fines de esta norma oficial mexicana, se entiende por:

**4.1 ACLIMATACION.**- Adaptación fisiológica a un nivel particular de una o más variables ambientales. El término es generalmente referido al control en condiciones de laboratorio. (Apéndice A).

**4.2 AGUA DESIONIZADA.**- Es el agua que ha sido pasada por columnas de resina para remover los iones de la solución.

**4.3 AGUA DE DILUCION.**- Agua natural o reconstituida, que por las características óptimas que presenta para la sobrevivencia y reproducción de los organismos usados en pruebas de toxicidad, es utilizada para preparar las diferentes diluciones o concentraciones efectuadas durante una prueba, sea ésta exploratoria o formal.

**4.4 AGUA RECONSTITUIDA.**- Es el agua desionizada o destilada con reactivos químicos adicionales. El resultado es agua dulce sintética libre de contaminantes y con características deseables de pH y dureza. Se prepara con agua destilada y sales inorgánicas que se adicionan en la cantidad requerida por el organismo prueba.

**4.5 AGUAS RESIDUALES.**- Líquido de composición variada proveniente de los usos doméstico, de fraccionamiento, agropecuario, industrial, comercial, de servicios o de cualquier otro uso que por este motivo haya sufrido degradación de su calidad original.

**4.6 AGUDO, EFECTO.**- Es aquel que se manifiesta en una respuesta inmediata (en invertebrados acuáticos se habla comúnmente de 24 a 48 hr) del organismo al tóxico o tóxicos a los que ha sido expuesto. Usualmente produce inmovilidad o muerte.

**4.7 CLADOCERA.**- Orden taxonómico (Arthropoda - Crustacea) al que pertenecen las comúnmente llamadas "pulgas de agua". Las valvas del caparazón de los organismos cubren solamente el tronco y los apéndices.

**4.8 CONCENTRACION LETAL (CL).**- Concentración de una sustancia (pura o combinada) o efluente que producen la muerte del organismo.

**4.9 CONCENTRACION LETAL MEDIA (CL<sub>50</sub>).**- Es la concentración de una sustancia (pura o combinada) o efluente que origina un efecto letal en el 50% de los organismos expuestos.

**4.10 CONTAMINANTE.**- Toda materia o energía en cualesquiera de sus estados físicos y formas que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y/o condición natural.

**4.11 CRONICO, EFECTO.-** Es la respuesta a un estímulo que se produce durante una gran parte del ciclo de vida del organismo expuesto. generalmente se manifiesta en su crecimiento y reproducción.

**4.12 CUERPOS DE AGUA.-** Lagos, lagunas costeras, estuarios, acuíferos, redes colectoras, con excepción de los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano y municipal, ríos y sus afluentes directos o indirectos, permanentes o intermitentes, presas, cuencas, cauces, canales, embalses, cenotes, manantiales, y demás depositos o corrientes de agua, así como mantos acuíferos que reciban directa o indirectamente descargas de aguas residuales.

**4.13 DAFNIDO.-** Nombre castellanizado que reciben los organismos del Género *Daphnia* conocidos como "pulga de agua".

**4.14 *Daphnia magna*.-** Microcrustáceo del Orden Cladocera de 1 a 1.5 mm de longitud los neonatos, y de 4 a 6 mm los adultos. Es un representante importante de las comunidades dulceacuícolas con gran sensibilidad a una amplia gama de compuestos tóxicos, siendo esta una de las características principales para que sea usado internacionalmente en pruebas de toxicidad. Asimismo, su ciclo de vida corto y fácil cultivo en laboratorio, permite realizar pruebas rápidas y económicas (Figura 1).

**4.15 DESCARGA.-** Aguas residuales que se vierten directa o indirectamente en algún cuerpo de agua o sistema de drenaje y alcantarillado urbano y municipal, incluyéndose los procesos de infiltración e inyección.

**4.16 ECOSISTEMA ACUATICO.-** Es la unidad funcional básica de interacción de los organismos vivos entre sí y con el ambiente acuático.

**4.17 EFLUENTE.-** Agua residual u otro líquido que procede de un embalse, cuenca, proceso o planta de tratamiento.

**4.18 FOTOPERIODO.-** Es la duración de iluminación y obscuridad en un lapso de 24 horas.

**4.19 INMOVILIDAD.-** Criterio de evaluación a simple vista en pruebas de toxicidad aguda. Es la incapacidad de los dáfnidos para mover sus antenas natatorias (Figura 1), después de 10 segundos de haberlos separado con una pipeta Pasteur de punta recortada y expuesto a la luz blanca de una lámpara de 60 vatios (watts) a una distancia de 10 cm.

Este criterio se empleará en esta norma oficial mexicana en caso de que se tenga duda de la muerte de los organismos.

**4.20 MUESTRA COMPUESTA.-** Es aquella que proviene de la mezcla de muestras simples o instantáneas tomadas en un efluente industrial. El numero de muestras simples dependerá de las horas



por día que opere el proceso generador de la descarga.

**4.21 MUESTRA SIMPLE.**- La que se toma ininterrumpidamente durante el período necesario para completar un volumen proporcional al caudal, de manera que este resulte representativo de la descarga de aguas residuales, medido en el sitio y en el momento del muestreo.

**4.22 NEONATOS.**- Dáfnidos de 1 a 1.5 mm de longitud y edad menor a 24 hrs utilizados en pruebas de toxicidad.

**4.23 PRUEBA DE TOXICIDAD (BIOENSAYOS DE TOXICIDAD).**- Es la exposición controlada de organismos a sustancias (puras o combinadas) o efluentes durante un tiempo determinado para evaluar el efecto de éstas sobre los organismos expuestos.

**4.24 TIEMPO DE EXPOSICION.**- Período al que se someten los organismos a las soluciones de prueba, en un bioensayo de toxicidad.

**4.25 TOXICIDAD.**- Es el efecto que produce un tóxico.

**4.26 TOXICIDAD AGUDA.**- Es el efecto letal que se produce después de exponer a los organismos prueba a sustancias (puras o combinadas) o efluentes una sola vez, durante un período corto. Para *Daphnia magna* es de 48 horas.

**4.27 TOXICO.**- Cualquier sustancia (pura o combinada) o efluente que al entrar en contacto con el organismo produzca daños estructurales, alteraciones bioquímicas o fisiológicas o incluso la muerte, dependiendo de la concentración y del tiempo de exposición.

**4.28 TOXICO DE REFERENCIA.**- Es una sustancia química utilizada en bioensayos de toxicidad, en concentraciones previamente determinadas y que de acuerdo a sus resultados, permite establecer el estado de respuesta de los organismos de prueba empleados, así como comparar los resultados intra e inter laboratorios. El uso de estos tóxicos, proporciona también una evaluación general de la precisión (estabilidad y repetibilidad) del método a través del tiempo.

**4.29 TOXICOLOGIA ACUATICA.**- Es el estudio cualitativo y cuantitativo de los efectos adversos producidos por productos químicos y materiales antropogénicos sobre los organismos acuáticos.

## **5.- MUESTREO, ALMACENAMIENTO Y PRESERVACION.**

El muestreo tanto de aguas receptoras como de efluentes industriales, agrícolas y municipales, constituye una parte integral y fundamental de cualquier programa de monitoreo de la

calidad del agua, pues proporciona bases para la evaluación de propiedades y efectos potenciales del agua, sobre los organismos del ecosistema.

### 5.3 ALMACENAMIENTO Y PRESERVACION DE LAS MUESTRAS:

Las muestras, tanto instantáneas como compuestas deben ser almacenadas en recipientes limpios de polietileno, polipropileno o de vidrio borosilicato; estos serán llenados completamente y sellados. Nunca podrán ser reutilizados.

Las muestras deberán mantenerse a una temperatura de 4°C hasta su llegada al laboratorio.

A menos que las pruebas de toxicidad sean efectuadas 6 hr posteriores a la colecta, y hasta 36 horas, serán mantenidas a 4°C. Después de 36 horas y hasta 60 días posteriores a la fecha de colecta, se deberán congelar a -28°C para evitar cambios debidos a la actividad microbiana, transformación química y/o pérdida de sustancias volátiles. Las muestras no deberán ser preservadas con ningún producto químico.

El tiempo que se considerará válido para el inicio del bioensayo dependerá de la forma en la que se preserve la muestra, es decir:

- Hasta 6 horas, las muestras mantenidas a temperatura ambiente.
- Hasta 36 horas, las muestras mantenidas a 4°C.
- Hasta 60 días, las muestras que sean congeladas a -28°C.

Las muestras preservadas por más de 60 días no serán válidas para realizar pruebas de toxicidad.

El tiempo cero, será en el caso de una muestra compuesta, cuando se haya realizado la última colecta simple.

#### 7.1.1 Lavado de material y cristalería:

Todos los recipientes que entren en contacto con las muestras, que serán usadas en el muestreo, deberán ser lavados perfectamente para evitar que contengan residuos potencialmente tóxicos a los organismos de prueba, utilizando el método que se describe a continuación:

7.1.1.1 Lavar el material con detergente y enjuagar dos veces con agua de la llave.

7.1.1.2 Enjuagar el material con ácido nítrico al 30% para eliminar residuos metálicos. Enjuagar con agua desionizada, escurrir.

7.1.1.3 Enjuagar con acetona (R.A.) para eliminar residuos orgánicos. Enjuagar con agua desionizada. Dejar secar completamente.

7.1.1.4 Enjuagar perfectamente con agua reconstituida. (Apéndice

B).

Esta serie de lavados tienen que llevarse a cabo de 24 a 48 hr antes del bioensayo, protegiendo el material del polvo y otros factores.

Minutos antes de iniciar el bioensayo, enjuagar los recipientes que contendrán a los organismos con agua reconstituida.

#### 7.1.2 Preparación de organismos:

24 horas antes de iniciar la prueba, deben ser seleccionadas las hembras grávidas cultivadas como se indica en el Apéndice C de esta norma oficial mexicana, las cuales se espera tendrán sus neonatos en el transcurso de las siguientes 24 hr. éstas deberán ser colocadas en agua reconstituida sin alimento, a una densidad de 20 hembras/l; esta agua reconstituida se elabora de acuerdo a la técnica descrita en el Apéndice B; y los organismos se mantienen de acuerdo a la técnica descrita en el Apéndice C.

Aproximadamente 1 hr antes de iniciar la prueba, se separarán los neonatos utilizando una pipeta Pasteur con la punta recortada. Los organismos capturados serán colocados en pequeñas cajas de Petri antes de ser finalmente transferidos a las diluciones correspondientes.

Para detectar la calidad óptima del agua reconstituida se deberán colocar, durante un periodo de 24 hr a 10 dáfidos juveniles en el agua reconstituida que será utilizada durante el bioensayo; si al término de éste plazo, no se registra mortalidad, el agua puede ser usada en la prueba.

#### 7.1.3 Calibración de aparatos, preparación y valoración de reactivos utilizados en análisis químicos:

Se deberá efectuar una calibración de aparatos (potenciómetro, oxímetro y conductímetro), y valoración del E.D.T.A (Ácido etilén diamino tetra-acético).

#### 7.1.4 Condiciones ambientales:

Los parámetros ambientales temperatura e iluminación, deberán cumplir las especificaciones establecidas en el Apéndice A.

#### 7.1.5 Preparación del agua reconstituida:

La calidad del agua utilizada en las pruebas de toxicidad y el cultivo de los organismos es extremadamente importante, ya que de ello depende en gran parte la culminación exitosa de la misma. El agua reconstituida deberá prepararse con al menos 72 horas de anticipación como se indica en el Apéndice B.

### 7.2 PERIODO DE PRUEBA.

Cuando la muestra llegue al laboratorio, se deberá medir y anotar la temperatura, el pH y conductividad. Si el análisis no va a

ser efectuado inmediatamente, mantener la muestra de acuerdo al Apartado 5.3 hasta que sea procesada. En caso de que la muestra llegue congelada al laboratorio, estos parámetros se determinarán al inicio del bioensayo. La muestra deberá descongelarse a temperatura ambiente.

En caso de efluentes industriales, municipales y agrícolas, serán evaluadas sus aguas a partir de una prueba exploratoria y una definitiva. Para cuerpos de agua únicamente se realizará una prueba definitiva.

#### 7.2.1 Prueba exploratoria en efluentes:

Esta prueba sirve para determinar si un efluente es tóxico o no, y en su caso, permite definir el intervalo de concentraciones que se deberán aplicar en una prueba definitiva. En este bioensayo se prueban 5 concentraciones del efluente: 100%, 50%, 25%, 12% y 6%, mas un testigo, siguiéndose los lineamientos de la Tabla 4.

#### 7.2.2 Prueba definitiva en efluentes industriales:

Una vez registradas las observaciones obtenidas en la prueba exploratoria, se determina el intervalo de concentraciones que será usado en la prueba definitiva.

El tiempo de exposición en la prueba definitiva es mayor que en la exploratoria; por lo tanto, la mortalidad podría incrementarse al final de la prueba y entonces la  $CL_{50}$  no caería dentro del intervalo seleccionado.

Al finalizar la prueba exploratoria, se deberán efectuar observaciones a los organismos que continúan vivos para determinar de acuerdo al estado de afectación si es adecuado o no modificar el intervalo seleccionado en la prueba definitiva.

#### Ejemplo 1:

Supóngase que al final de la prueba exploratoria, se obtuvieron las siguientes mortalidades:

CONCENTRACION (%)	MORTALIDAD (%)
6.25	0.00
12.5	5.00
25.0	10.00
50.0	30.00
100.0	70.00

En este caso, la  $CL_{50}$  teorica a 24 hr (tiempo de exposición que dura la prueba exploratoria) estaría entre la concentración al 50 y 100% por lo cual, sería factible seleccionar, para la prueba formal, 5 concentraciones entre 50 y 100% sin embargo, aquí es

importante considerar lo siguiente:

- Estado que presentan los organismos al final de la prueba exploratoria en la concentración al 50%. - esto es, si los organismos, a diferencia de los testigos (los cuales, en condiciones normales tienden a moverse activamente por toda la columna de agua), mueven muy lentamente su segundo par de antenas y además permanecen en el fondo o en la superficie, seguramente a las 48 hr, estarán completamente inmóviles. En este caso, sería erróneo seleccionar para la prueba definitiva, al 50% como la concentración mínima, ya que sería más adecuado utilizar valores todavía menores, por ejemplo 40 y 30%.

Por otro lado, en caso de que los organismos a la concentración 6.25% de este ejemplo, presenten una movilidad similar a la del testigo, será adecuado utilizar ésta, como concentración mínima.

Ejemplo 2:

Supóngase ahora, que al final de la prueba exploratoria, se obtuvieron los siguientes valores de mortalidad:

CONCENTRACION (%)	MORTALIDAD (%)
6.25	0.00
12.5	80.00
25.0	100.00
50.0	100.00
100.0	100.00

En este caso, como se puede apreciar, se tiene un efluente extremadamente tóxico ya que 12.5% del mismo ocasiona una mortalidad del 80% en los organismos expuestos.

En este sentido, y al igual que en el ejemplo 1 de este apartado, teóricamente se tendría que seleccionar para la prueba definitiva, a 6.25% y 12.5% como las concentraciones mínima y máxima respectivamente (ya que la finalidad de la prueba es obtener la  $CL_{50}$  la cual está definida como la concentración, en este caso de un efluente, que origina un efecto letal en el 50% de los organismos expuestos) sin embargo, y para el caso de este ejemplo, si los organismos en la concentración al 6.25% presentan un movimiento similar al de los testigos, sería adecuado considerar a éste como el valor mínimo durante la prueba definitiva; en caso contrario dos concentraciones menores a esta (tal vez 1.0 y 0.5) podrían ser utilizadas en la prueba formal. Del mismo modo, se tendría que observar detenidamente a los organismos que quedaron vivos en la concentración al 12.5%, ya que si se encuentran muy afectados esto es, en el fondo y con movimientos apenas perceptibles, sería adecuado que en la prueba definitiva se consideraran concentraciones todavía menores a ésta (por ejemplo 5 y 10%)

### Ejemplo 3:

Supóngase que al final de la prueba exploratoria no se observó mortalidad en ninguna de las concentraciones:

CONCENTRACION (%)	MORTALIDAD (%)
6.25	0.00
12.5	0.00
25.0	0.00
50.0	0.00
100.0	0.00

En este ejemplo, el efluente presentó un efecto agudo no detectado después de 24 hr de exposición de los organismos de prueba.

En este caso, siempre y cuando el estado de los organismos sea similar al del testigo, deberá extenderse la prueba a 48 hr.

En caso de que los organismos a pesar de no estar inmóviles, si presenten cierto grado de afectación (el cual, para fácil identificación deberá ser comparado con los testigos) en cualquier concentración, excepto en la muestra al 100%, deberá observarse en cual de ellas se evidencia la afectación y a partir de esa, considerar el valor máximo que será preparado para la prueba definitiva.

#### 7.2.3 Prueba definitiva en cuerpos de agua:

El número mínimo de diluciones que deberán realizarse en esta prueba será de 4 y la muestra al 100%. Estas se efectuarán considerando un factor de dilución de 0.5, de tal forma que se obtengan las siguientes concentraciones: 100%, 50%, 25%, 12.5% y 6.25%; además, por supuesto, el testigo.

7.2.4 En las pruebas definitivas para efluentes y cuerpos de agua, se deben preparar al menos 3 réplicas.

El conteo de inmovilidad debe efectuarse cada 24 hr para calcular la  $CL_{50}$  (Apéndice D) a 24 y 48 horas.

#### 7.2.5 Parámetros a evaluar durante la prueba:

Los parámetros fisicoquímicos que comunmente se evalúan en un bioensayo, están contenidos en las normas indicadas en el punto 3 de esta norma oficial mexicana. Durante la prueba, los parámetros fisicoquímicos se determinarán al inicio y al término de la prueba en una de las réplicas, en el testigo, en las diluciones, y en la muestra al 100%.

Para fines de esta norma oficial mexicana, el oxígeno disuelto se determinará mediante el empleo de un oxímetro.

## 8.- PRUEBA DE SENSIBILIDAD.

8.1 Es de suma importancia un programa de aseguramiento de calidad en un laboratorio que realice pruebas de toxicidad, pues esto garantiza que se puedan realizar comparaciones de resultados intra e inter laboratorios. Una parte medular del programa de control de calidad, es la realización de bioensayos para evaluar la sensibilidad del organismo de prueba (*Daphnia magna*) utilizando los denominados "tóxicos de referencia" descritos en el número 4.28 de esta norma oficial mexicana.

8.2 Un tóxico de referencia tiene como principales características, las siguientes:

- Amplio espectro tóxico
- Facilidad de obtención en forma pura
- Alta solubilidad en agua
- Persistencia y estabilidad en solución
- Estabilidad en almacenamiento
- Facilidad de cuantificación

8.3 La sensibilidad de *Daphnia magna* se evalúa mediante la determinación de la CL<sub>50</sub> en un bioensayo de 48 hr, aplicando concentraciones establecidas del tóxico de referencia. El método y las condiciones de prueba, deberán ser los descritos en la presente norma oficial mexicana.

8.4 El tóxico de referencia que se empleará es el dodecil sulfato de sodio, en las siguientes concentraciones: 2, 4, 8, 16 y 32 mg/l. La CL<sub>50</sub> de referencia para este tóxico es de  $14.5 \pm 4.5$  mg/l. La CL<sub>50</sub> determinada experimentalmente, deberá quedar dentro de este intervalo de confianza ya que de otra forma, se tendrían elementos fundamentados para suponer que los organismos empleados son hipo o hipersensibles, según sea el caso de que la CL<sub>50</sub> sea mayor o menor que dicho intervalo. Siendo necesario revisar las posibles fuentes de variabilidad, la cual puede atribuirse a factores tales como:

8.4.1 Método de cultivo y mantenimiento de los organismos de prueba

8.4.2 Edad y estado de salud de los organismos

8.4.3 Manejo de los neonatos

8.4.4 Pericia y consistencia en la realización de las pruebas por parte de los analistas

8.5 Una vez que se han revisado minuciosamente los factores mencionados y que se han descartado a los dos últimos como los responsables de la modificación de la sensibilidad del lote de *Daphnia magna* empleado, se tendrá que revisar el método de cultivo. En caso extremo, se recomienda no realizar más bioensayos con dicho lote y sustituirlo con uno nuevo para la prueba, el cual también deberá ser evaluado.

## 9.- CALCULOS.

9.1 Al término de la prueba, debe ser obtenida la CL<sub>50</sub> mediante el empleo de un procedimiento estadístico conocido.

En esta norma oficial mexicana, se recomienda utilizar el Método de Unidades Probabilísticas "Probit" (Finney, 1971), el cual evalúa la relación concentración-respuesta de un contaminante sobre un organismo, medido en términos de su CL<sub>50</sub> y su precisión o intervalos de confianza (Apéndice D).

## 10.- VIGILANCIA.

10.1 La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos por conducto de la Comisión Nacional del Agua es la autoridad competente para vigilar el cumplimiento de la presente norma oficial mexicana, coordinándose con la Secretaría de Marina, cuando las descargas sean al mar, y con la Secretaría de Salud, cuando se trate de saneamiento ambiental.

## 11.- SANCIONES.

11.1 El incumplimiento de la presente norma oficial mexicana será sancionado conforme a lo dispuesto en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, La Ley de Aguas Nacionales y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

### PRUEBA DE TOXICIDAD UTILIZANDO EL NEMATODO

*Panagrellus redivivus*  
(Samoiloff, M. 1990)

#### CARACTERISTICAS GENERALES

El nematodo *Panagrellus redivivus* durante su ciclo de vida atraviesa por cuatro estadios antes de llegar a adulto: J1, cuando los organismos se encuentran aun dentro de la madre; J2, que representa a los organismos recién eclosionados con un tamaño de 250 a 350  $\mu\text{m}$ ; J3 o primer estadio juvenil, que se caracteriza por que los animales miden entre 351 y 550  $\mu\text{m}$ ; y J4 o segundo estadio juvenil, en el que los nematodos alcanzan una talla de 551 a 750  $\mu\text{m}$ . Bajo condiciones normales los nematodos pasan por estos cuatro estadios en un período no mayor a 96 horas y van aumentando de tamaño conforme pasa el tiempo; sin embargo, cuando las condiciones son adversas pueden reducir su crecimiento.

El bioensayo de toxicidad con *P. redivivus* es una prueba cuantitativa que consiste en monitorear una población de 100 organismos J2, por un período de 96 horas, para determinar los efectos letales o subletales de las muestras en estudio. Los efectos letales están determinados por la reducción del número



total de individuos en la población y los efectos subletales por el número de organismos que se quedan entre los estadios J2 y J3.

El crecimiento del estadio J2 al estadio J3 o del J3 al J4 requiere de muy pocos genes activos, pero el crecimiento del estadio J4 al estado adulto requiere de una extensiva actividad genética. Algunos mutágenos conocidos inhiben selectivamente el desarrollo del estadio J4 al estado adulto y esta inhibición específica puede ser usada como un indicador de la potencial mutagenotoxicidad de la muestra evaluada. Esta no es una prueba directa de mutagenotoxicidad, pero puede ser usada como una prueba preliminar.

## REACTIVOS

Durante toda la prueba deben usarse reactivos de grado químico y agua destilada y deionizada (o equivalente).

### 1) Buffer M9.

Fosfato de sodio (dibásico) $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	6.00 gr.
Fosfato de potasio (monobásico) $\text{KH}_2\text{PO}_4$	3.00 gr.
Cloruro de sodio $\text{NaCl}$	5.00 gr.
Sulfato de magnesio $\text{MgSO}_4$	0.25 gr.
Agua destilada	1.00 lt.

Mezclar todos los compuestos y esterilizar por 15 min. a  $121^\circ\text{C}$ . Este medio no es nutritivo y solo es usado para observar a los organismos, limitar su crecimiento y proveer un ambiente estándar.

### 2) Solución de colesterol.

Colesterol	500 mg.
Etanol	100 ml.

Mezclar los compuestos y calentar la solución hasta disolver el colesterol. Este medio provee los esteroides requeridos para el crecimiento de los nematodos.

### 3) Suspensión de levadura.

Levadura seca (Baker)	50 mg.
Agua destilada	100 ml.

Aproximadamente 4 ml de esta suspensión son colocados en frascos viales de 7 ml y después esterilizados por 15 min. a  $121^\circ\text{C}$ . Esta suspensión es usada como una fuente de alimento para el crecimiento del cultivo.

### 4) Medio de crecimiento M9-Y.

Buffer M9	99.0 ml.
Suspensión de levadura	1.0 ml.
Solución de colesterol	0.1 ml.

La mezcla del Buffer M9 y la Suspensión de levadura es esterilizada por 15 min a 121 °C, y después se adiciona la solución de colesterol a la mezcla aún caliente. El medio M9-Y es un medio nutritivo limitado, usado para transferir los cultivos stock a cajas con medio nuevo. Limita el crecimiento de la población de nematodos y es el medio base para los bioensayos.

#### 5) Placas de agar-agua

Agar	17 gr.
Agua destilada	1 lt.
Solución de colesterol	1 ml.

Se esteriliza la mezcla de agar y agua por 15 min a 121 °C y luego se adiciona el ml de la solución de colesterol al agar aun caliente. Aproximadamente 20 ml de esta mezcla son colocados dentro de cada placa. Después de que se han enfriado y solidificado, las placas son almacenadas en el refrigerador. Estas placas son usadas para mantener una pequeña población de cultivo stock y para coleccionar los organismos J2.

#### 6) Medio de cultivo en masa.

Harina de centeno o arroz	100 ml.
Agua destilada	85 ml.

La harina y el agua son mezclados en un frasco de un cuarto de litro que es tapado con una caja petri. Esta mezcla es esterilizada por 15 min a 121 °C.

### MATERIAL

- Cajas petri de 100 mm. de diámetro.
- Viales para muestra de autoanálisis (2.5 ml) con tapa.
- Placa para colocar los viales.
- Pipetas Pasteur.
- Placas de vidrio secas para el microscopio, preparadas al sumergirlas en una solución caliente de gelatina al 1% y que contenga 0.1% de sulfato de potasio o cromo.
- Colorante de azul de lactofenol.

### APARATOS

- Microscopio de diseccion (hasta 30X).
- Microscopio con plancha de calentamiento a 60 °C.

## MANTENIMIENTO DEL CULTIVO

Los stocks de *Panagrellus redivivus* (strain bq-1) pueden ser obtenidos de Bioquest International.

### CULTIVO STOCK

Los cultivos en masa de *Panagrellus redivivus* son mantenidos en frascos con medio de cultivo. Una pequeña población (varios cientos de individuos) de nematodos en Buffer M9 son adicionados a la mezcla de agua y harina. Después de varias semanas un enjambre de nematodos puede ser observado en las paredes del frasco. Poblaciones en exceso de 50,000,000 individuos pueden ser mantenidos por varias semanas en ese cultivo. Rutinariamente, nuevos cultivos son preparados dos veces al mes.

Los cultivos stock de baja densidad poblacional son mantenidos en placas de agar-agua. Estos cultivos son alimentados cada 4-5 días con tres gotas de suspensión de levadura por placa. Los subcultivos son obtenidos por inundamiento de las placas de mayor tiempo con aproximadamente 10 ml de solución M9-Y, y transfiriendo 3-4 ml del líquido conteniendo los nematodos a placas de agar-agua frescas.

### CULTIVOS PARA LA PRUEBA DE TOXICIDAD

Las pruebas de toxicidad se realizan utilizando organismos J2. Antes de cada prueba se lleva a cabo un adecuado abastecimiento de organismos J2 con un estado fisiológico similar.

Un día antes del bioensayo es preparada una placa de nacimiento. Hembras grávidas son transferidas del cultivo stock a una placa de agar-agua fresca. Las hembras grávidas son grandes y robustas con la región media del cuerpo muy granular, debido a los huevos, embriones y organismos J1. Hay dos formas para la transferencia de la hembras grávidas:

- a) La placa stock puede ser inundadas con buffer M9 y cada hembra es recogida y transferida por medio de una micropipeta.
- b) Las hembras pueden ser pasadas desde la superficie de la caja de agar seco utilizando una aguja de disección.

En ambos casos la placa fresca que contiene únicamente a las hembras grávidas debe estar inundada hasta lograr una profundidad de 2 a 4 milímetros de buffer M9. Esas hembras producirán organismos J2. En ausencia de alimento esas crías no crecerán. Cada hembra producirá de 10 a 20 descendientes J2 en un período de 12 horas. Esos descendientes serán los usados en el bioensayo.

### PROCEDIMIENTO

- 1) Para los bioensayos, son preparadas alícuotas de 10 ml de la

muestra a probar diluida en medio M9-Y. Para los bioensayos estándar en los que se utilizan muestras de extractos de dimetilsulfóxido (DMSO) y metanol, son utilizadas rutinariamente las siguientes diluciones:

- a.- Muestra acuosa (10%):  
1.0 ml de muestra + 9 ml de M9-Y.
- b.- Extracto con metanol (3%):  
0.3 ml de muestra + 9.7 ml de M9-Y.
- c.- Extracto con DMSO (1%):  
0.1 ml de muestra + 9.9 ml de M9-Y.

2) Para cada prueba, un control de alimento es preparado conteniendo solamente medio M9-Y.

3) Las muestras diluidas son colocadas en viales de 2.5 ml. Se preparan 10 viales por muestra o control, colocando 0.5 ml de la muestra problema o control.

4) 10 larvas de la placa de nacimiento son transferidas a los viales con la muestra problema y control. Esta transferencia requiere la manipulación de los organismos utilizando una micropipeta.

5) Se permite el crecimiento de los organismos por un período de 96 horas a una temperatura entre 19 y 25 °C.

6) Después de las 96 horas, se abren los viales y se registra el número de sobrevivientes por cada muestra. También se determina la longitud de cada organismo utilizando un microscopio con un objetivo graduado. El número de organismos en cada estadio por cada muestra y control es registrado. El rango de tamaño para cada estadio es:

J2	250 a 350 um.
J3	351 a 550 um.
J4	551 a 750 um.
Adultos	751 a 2000 um.

## EXPRESION DE RESULTADOS

El efecto del material probado en la sobrevivencia, crecimiento y maduración de la población es expresado en porcentaje comparado con el control.

### SOBREVIVENCIA

$$\text{Sobrevivencia} = 100 \times \frac{S_T}{S_C}$$

donde  $S_T$  = Número de sobrevivientes en la población de la muestra.

SC = Número de sobrevivientes en la población control.

Para determinar si la sobrevivencia es inhibida significativamente por la muestra es calculado un valor de Chi cuadrada:

$$\text{chi-cuadrada} = \frac{(S_T - S_C)^2}{S_C}$$

Un valor de chi-cuadrada mayor de 5 indica letalidad significativa.

### CRECIMIENTO

El segundo efecto tóxico detectado es la inhibición del crecimiento, cuando un número significativo de organismos no alcanza el estadio de desarrollo J4 o Adulto. El crecimiento de la población de la muestra a evaluar en relación a los controles, puede ser expresado de la siguiente manera:

$$\text{Crecimiento} = 100 \times \frac{(J4_T + A_T) / S_T}{(J4_C + A_C) / S_C}$$

donde: J4T y AT son el número de organismos J4 y adultos en la población prueba, respectivamente.

J4C y AC son el número de organismos J4 y adultos de la población control, respectivamente.

Para determinar si hay inhibición (o estimulación) del crecimiento estadísticamente significativa un valor de chi-cuadrada es calculada:

$$\text{chi-cuadrada} = \frac{((J4_T + A_T) / S_T - (J4_C + A_C) / S_C)^2}{(J4_C + A_C)}$$

Un valor de chi-cuadrada mayor de cinco indica un efecto significativo sobre el crecimiento. Si el número de organismos J4 y adultos (J4T + AT) de la muestra es mayor que el número de organismos J4 y adultos del (J4C + AC) control, entonces el crecimiento es estimulado; en el caso contrario el crecimiento es inhibido.

### MADURACION

El tercer efecto tóxico detectado es la inhibición de la maduración, donde un número significativo de organismos en la muestra problema alcanzan el estadio J4 pero no alcanzan el estado adulto. La transformación del estadio J4 a adulto requiere de esteroides y de la utilización extensiva de la información genética. Una inhibición específica de esta transformación

sugiere efectos tóxicos a nivel genético. La inhibición final de la transformación en la población de la muestra en relación a los controles puede ser expresada como:

$$\text{Maduración} = 100 \times \frac{(A_T)/(J4_T+A_T)}{(A_C)/(J4_C+A_C)}$$

Para determinar si existe inhibición de la maduración estadísticamente significativa, un valor de chi-cuadrada es calculado:

$$\text{chi-cuadrada} = \frac{(A_T-A_C)^2}{A_C}$$

Un valor de chi-cuadrada mayor de cinco significa un efecto sobre la maduración.

Un valor resumido, aptitud, es calculado como la media ponderada de la prueba de supervivencia, crecimiento y maduración en relación a la población control. En este cálculo, la supervivencia tiene un valor de 4, el crecimiento tiene un valor de 2 y la maduración un valor de 1.

$$\text{Aptitud} = 100 \times \frac{(4XS_T) + (2XG_T) + M_T}{7}$$

donde: ST, GT y MT son la supervivencia, el crecimiento y la maduración respectivamente, calculadas anteriormente.

#### CONDICIONES DE PRUEBA

Los resultados de la prueba deben ser ignorados y ser repetida, si cualquiera de las siguientes condiciones es observada:

- i) Menos del 40 % de la población control alcanza el estado adulto.
- ii) Mas del 20 % de la población control muere.
- iii) Se presenta un crecimiento microbiano extensivo en los cultivos prueba, pero no en los controles.

#### EVALUACION DE TOXICIDAD AGUDA EN AGUA Y EFLUENTES UTILIZANDO EL MICROORGANISMO *Spirillum volutans*.

(Dutka, B.J. 1986)

#### CARATERISTICAS GENERALES

La prueba original fue desarrollada por Bowdrie y Krieg en el Instituto Politecnico y la Universidad Estatal de Virginia,

demostrando ser una prueba rápida y relativamente fácil para el monitoreo de tóxicos en agua y efluentes. El método que a continuación se describe es una modificación del Método de Bowdrie y Krieg, pero produce los mismos resultados. Ambos procedimientos utilizan una bacteria de gran tamaño y libre nadadora llamada *Spirillum volutans*, la cual es fácilmente visible a bajo aumento (10X). Esta gran bacteria espirilada tiene un fascículo de flagelos rotatorios en cada uno de sus extremos, los cuales son visibles a bajo aumento con iluminación de campo oscuro o contraste de fases.

Bajo condiciones normales, los fascículos polares forman conos giratorios, permitiendo a la bacteria un desplazamiento en reversa hacia donde sea. Durante el proceso de desplazamiento en reversa, los fascículos polares se reorientan simultáneamente. Sin embargo, si ciertos tóxicos están presentes, esta coordinación se pierde y ambos fascículos tratarán de asumir la orientación de cabeza o cola, y de este modo se impedirá el desplazamiento de la bacteria, es decir no podrá nadar. Algunos agentes químicos han mostrado la capacidad de producir esta respuesta de descoordinación. Por lo tanto, la presencia o ausencia de coordinación (movilidad) puede ser usada para monitorear contaminantes tóxicos en agua y efluentes.

## REACTIVOS.

Se deben utilizar reactivos de alta calidad en toda la prueba. El agua utilizada debe ser destilada o preparada por el proceso Milli-Q.

### 1) Medio definido de prueba (DTM).

Sulfato de magnesio MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	0.500 gr.
Sulfato de amonio (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	10.000 gr.
Acido Etilendiaminotetracético EDTA	0.073 gr.
Acido sulfónico (BES Buffer)	
N,N-Bis-2-Hidroxietyl-2-Aminoetano	2.133 gr.
Agua destilada	1.000 lt.

Esta es la solución 10X. Después de disolver todos los ingredientes, ajustar el pH a 6.8 con KOH (56.1 g/l). Colocar 10 ml dentro de tubos de tapa de rosca de 16 X 150 mm. Esterilizar a 116 °C por 20 minutos. Almacenar los tubos en oscuridad a 4 °C.

### 2) Medio según la formulación de Krieg.

Hidrosilato de caseína (libre de sales y vitaminas)	2.500 gr.
Acido succínico	1.000 gr.
Sulfato de magnesio MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	1.000 gr.
Sulfato de amonio (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1.000 gr.
Cloruro férrico FeCl <sub>3</sub> 6H <sub>2</sub> O	0.002 gr.

Sulfato manganoso $MnSO_4 \cdot 2H_2O$	0.002 gr.
Agua destilada	1.000 lt.

Adicionar todos los ingredientes en seco al agua y mezclar hasta disolver. Ajustar el pH a 6.8 con solución de KOH. No usar NaOH, porque la bacteria es muy sensible al Na. Colocar aproximadamente 80 ml dentro de matraces con tapa de 250 ml. Esterilizar a 116 °C por 20 minutos. Almacenar el medio estéril en obscuridad a 4 °C para prevenir la formación de peróxido, el cual inhibe el crecimiento bacteriano. Este medio puede ser almacenado por más de un mes.

### 3) Medio semisólido.

Preparar el medio anterior y adicionarle 1.2 gr de agar, hervir hasta disolver totalmente. Colocar alícuotas de 7 ml en tubos de 16 X 150 mm con tapa. Esterilizar y almacenar de la misma manera que los anteriores. Este medio puede almacenarse por menos de un mes.

### CULTIVO TIPO.

American Type Culture Collection No. 19554 Stock Culture. 12301 Parklawn Drive, Rockville, Maryland 20852 USA.

**CONTROL POSITIVO:** Solución de cloruro de mercurio.

Preparar una solución de cloruro de mercurio ( $HgCl_2$ ) que contenga al menos 1.2 ppm de Hg en 0.8 ml de agua y con un pH de 6.8 -0.1.

### MATERIAL

- Tubos estériles con tapa de rosca de 16 X 150 mm.
- Matraces de 250 ml.
- Tubos estériles con tapa de 12 X 75 mm.
- Pipetas estériles de 1 ml o pipetas automáticas con puntas estériles de 100 y 800 ml.
- Pipetas Pasteur estériles.
- Portaobjetos químicamente limpios.

### APARATOS

- Microscopio con campo obscuro.
- Reloj con segundero manual.
- Incubadora a 25 y/o 30 °C.
- Refrigerador.

### MANTENIMIENTO DEL CULTIVO

Para iniciar un cultivo es necesario obtenerlo del cultivo tipo de ATCC. Después de recibirlo, debe transferirlo al medio de cultivo



propio. Estos cultivos son muy frágiles y tienen un muy corto período de vida (tres o cuatro días).

## **MANTENIMIENTO DEL CULTIVO STOCK**

### **1) Técnica líquida.**

a) Preparar una serie de matraces de 250 ml con 80 ml de medio Krieg, previamente esterilizado. Transferir aproximadamente 2 ml de cultivo altamente activo tan frecuentemente como sea necesario para mantener un cultivo activo y viable. Si al transferir el cultivo hay un mal crecimiento, usar un inóculo más grande.

b) Trasferir los cultivos cada 24 horas, cuando éstos se encuentren a la temperatura óptima de 30 °C. Sin embargo, si la temperatura es menor (de 25-27 °C) transferir los cultivos cada 3 ó 4 días dependiendo del estado de los mismos.

c) Si bien estas bacterias son microaerofílicas, en los matraces de crecimiento no se logra una reducción de oxígeno. No incubar los matraces en una agitadora porque los organismos son muy frágiles y el balance de oxígeno puede ser destructivo.

### **2) Técnica semisólida.**

a) Los tubos con agar proveen un gradiente natural de oxígeno y las bacterias aparecen como una delgada banda bien definida usualmente 6 mm debajo de la superficie. En los cultivos viejos, los cuales contienen un alto porcentaje de bacterias muertas y moribundas, la banda de crecimiento se presenta más ancha y difusa.

b) Utilizando una pipeta Pasteur sacar aproximadamente 1.0 ml de inóculo bacteriano de la delgada capa de crecimiento de algún tubo. Trasferir aproximadamente 0.3 ml del inóculo al fondo de cada uno de los tubos que contienen 7 ml de medio. Incubar los tubos a 30 °C, si se necesitan para el otro día, o incubar a 25 °C para el mantenimiento del cultivo.

## **OBSERVACION DEL CULTIVO.**

Utilizando una pipeta Pasteur, colocar una gota de cultivo en un portaobjetos limpio. Examinar el cultivo al microscopio con el objetivo de 10X. Un cultivo saludable contiene pocas bacterias muertas (usualmente menos de 3 bacterias por campo y no excediendo el 5 % del total). Todo el tiempo las bacterias deben estar nadando rápidamente.

## **PROCEDIMIENTO**

1) Sacar los tubos de medio definido de prueba (DTM) 10X del refrigerador y dejar que alcancen la temperatura ambiente (se

puede utilizar un baño maría).

2) Pipetear 0.1 ml de la solución DTM 10X dentro de un máximo de cinco tubos problema y dos tubos control (positivo y negativo). Etiquetar cada tubo.

3) Adicionar 0.8 ml de las soluciones o diluciones (para una muestra de un efluente desconocido se sugieren las siguientes diluciones: 1/2, 1/5, 1/10 y 1/25) a los tubos de la prueba y mezclar. Adicionar también 0.8 ml de agua al tubo que será el control negativo y 0.8 ml de la solución de HgCl al tubo que será el control positivo, mezclar.

4) Rápidamente adicionar 0.1 ml del cultivo de *S. volutans* del día anterior a cada tubo, asegurándose de coleccionar organismos del anillo de crecimiento de los tubos de cultivo.

5) Encienda el reloj y haga una preparación sobre un portaobjetos para cada una de las muestras (diluciones) y para los controles negativo y positivo. Las cinco muestras cabrán fácilmente en un solo portaobjetos. Rápidamente examine las preparaciones bajo el microscopio. Esta será la lectura del tiempo 0.

6) Si durante cualquiera de las observaciones la movilidad típica de las bacterias es inhibida en más del 90% de las células, se debe registrar un resultado positivo de toxicidad.

7) Para juzgar adecuadamente el número de bacterias que han perdido la movilidad típica reversible, observe toda la preparación de la muestra, cuidando de revisar diferentes profundidades de la misma. Si este procedimiento no se sigue pueden registrarse resultados positivos falsos. El procedimiento completo, desde la preparación de la gota de muestra hasta su total examinación, debe durar entre 40 y 60 segundos.

8) Registre los resultados positivos o negativos en una hoja previamente preparada.

9) Después de esta observación, repita los mismos pasos en los siguientes intervalos de tiempo: 5, 10, 20, 30, 45, 90, 110, 120, 130, 140 y 150 minutos después de la inoculación.

10) El control negativo mostrará poca o ninguna pérdida de la movilidad típica durante las dos horas de la prueba. Por el contrario, el tubo del control positivo, que contiene 1.2 ppm de Hg, debe dar una lectura positiva dentro de los primeros 120 minutos; por ejemplo, el 90% de las células no mostrarán la movilidad típica y el patrón de nado reversible.

#### EXPRESION DE LOS RESULTADOS

1) Una gráfica de concentración (eje Y) contra tiempo (eje X)

para el 90% de inhibición de la movilidad reversiva de *Spirillum volutans* es preparada y una recta es dibujada uniendolos puntos. Después una línea perpendicular es trazada desde el punto final de tiempo (120 minutos) hasta la recta. Se lee el valor de concentración de dicho punto sobre el eje X; este valor es la CEM90 para los 120 minutos.

2) Los resultados deben ser reportados como CEM90-120 min para productos químicos  $Y = X$  ppm; o CEM90-120 min para efluentes  $A = 0.08$  ml. Si la muestra de efluentes no es tóxica después de un contacto de 120 minutos, los resultados deben ser reportados de esa manera.

3) Los resultados de las lecturas de los intervalos de 5 a 110 minutos son usados como una guía de la concentración apropiada para obtener el valor de la CEM90-120 min.

4) Los resultados de efluentes, muestras de agua o productos químicos pueden ser extrapolados sobre una curva patrón previamente preparada, indicando que una dilución específica es equivalente en toxicidad a la CEM90-120 min de las X ppm del químico Y.

5) Si más sensibilidad es requerida, el operador puede elegir un porcentaje diferente de pérdida de movilidad (por ejemplo 50%), o el tiempo de incubación puede ser extendido y el efecto del contacto puede ser leído después de 2, 4, 6, 18 o 24 horas, con apropiados controles negativos. Sin embargo, estos procedimientos sólo se recomiendan en estudios de investigación.

## ANEXO II

### TABLAS DE RESULTADOS

PARAMETROS FISICOQUIMICOS DEL AGUA OBTENIDOS EN LABORATORIO  
PRIMER MUESTREO (MARZO, 1993)

PUNTO DE MUESTREO	DBO5 mg/l	SARM mg/l ABS	ALCALINIDAD TOTAL mg CaCO3/l	DUREZA TOTAL mg CaCO3/l	OXIGENO DISUELTO mg/l	pH	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA µhos/cm	PLOMO SOLUBLE ppm	CROMO SOLUBLE ppm	COBALTO SOLUBLE ppm	CADMIUM SOLUBLE ppm
-------------------	--------------	------------------	------------------------------------	-------------------------------	-----------------------------	----	---------------------------------------	-------------------------	-------------------------	---------------------------	---------------------------

GRUPO 1. CAUCE DEL RIO TULA

TAXHIMAY	3.01	0.011	100	102.48	9.5	7.75	183	0.06	>0.01	0.02	>0.01
REQUENA	11.0	0.064	126	164.64	3.5	8.60	241	0.02	>0.01	>0.01	>0.01
ENDHO	39.8	6.565	262	178.08	0.8	7.70	714	0.05	0.02	0.04	>0.01
TUNITITLAN	4.33	0.560	400	386.40	8.1	8.55	1109	0.13	>0.01	0.05	>0.01
WAGUEY BLANCO	0.90	0.430	412	443.52	3.5	8.75	1271	0.08	>0.01	0.03	>0.01

GRUPO 2. CANAL Y CAUCE DEL RIO SALADO

RIO SALADO	32.2	7.981	526	272.16	0.7	7.95	1423	0.02	>0.01	0.09	>0.01
JUANDHO	31.2	9.044	548	265.40	0.9	8.20	1470	0.04	0.02	0.05	>0.01

GRUPO 3. CANALES DE LA PRESA ENDHO

PROGRESO	3.65	3.997	382	220.08	3.1	7.90	981	0.05	>0.01	0.05	>0.01
CHILCVAUTLA	2.20	2.802	380	235.10	4.8	8.50	1076	0.09	>0.01	0.03	>0.01

GRUPO 4. CANAL PRINCIPAL REQUENA

TLAHUELILPAN	1.80	1.368	36	178.08	4.0	7.65	315	>0.01	>0.01	0.01	>0.01
TEPATEPEC	33.4	6.963	502	268.80	0.8	8.05	1312	0.05	0.03	0.07	>0.01

PARAMETROS FISICOQUIMICOS DEL AGUA OBTENIDOS EN LABORATORIO  
SEGUNDO MUESTREO (JULIO, 1993)

PUNTO DE MUESTREO	DBDS mg/l	SARAW mg/l ABS	ALCALINIDAD TOTAL mg CaCO3/l	DUREZA TOTAL mg CaCO3/l	OXIGENO DISUELTU mg/l	pH	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA µmhos/cm	FLOJO SOLUBLE ppm	CRUDO SOLUBLE ppm	CABALTO SOLUBLE ppm	CAQUIL SOLUBLE ppm
-------------------	--------------	-------------------	------------------------------------	-------------------------------	-----------------------------	----	--	-------------------------	-------------------------	---------------------------	--------------------------

GRUPO 1. CAUCE DEL RIO TULA

TAXHIMAY	20.3	0.440	60	152.00	3.2	6.90	150	0.155	0.002	>0.01	0.007
REQUENA	25.3	0.380	146	172.00	2.0	8.30	278	0.025	>0.001	>0.01	>0.001
ENDHO	101.5	4.500	330	268.00	0.4	7.75	987	0.095	0.038	>0.01	0.006
TUNITITLAN	1.7	0.400	434	528.00	3.5	8.15	1118	0.015	0.013	>0.01	0.001
MAGUEY BLANCO	10.1	0.240	425	496.00	3.2	8.20	1173	0.085	>0.001	>0.01	0.007

GRUPO 2. CANAL Y CAUCE DEL RIO SALADO

RIO SALADO	101.5	3.500	432	352.00	2.5	7.90	1154	0.085	0.028	>0.01	0.001
JUANDHO	137.5	5.250	312	264.00	1.2	7.95	810	0.245	0.010	>0.01	>0.001

GRUPO 3. CANALES DE LA PRESA ENDHO

PROGRESO	28.4	2.250	332	300.00	4.8	7.70	970	0.085	0.009	>0.01	>0.001
CHILCUAUTLA	30.4	4.500	356	316.00	2.6	7.70	986	0.405	0.008	>0.01	>0.001

GRUPO 4. CANAL PRINCIPAL REQUENA

TLAHUELILPAN	101.5	7.500	332	232.00	1.5	7.80	846	0.095	0.040	>0.01	0.004
TEPATEPEC	81.2	1.500	474	368.00	1.8	8.10	1323	0.115	0.047	>0.01	0.006

PARAMETROS FISIQUIMICOS DEL AGUA OBTENIDOS EN LABORATORIO  
TERCER MUESTREO (OCTUBRE, 1993)

PUNTO DE MUESTREO	DBDS mg/l	SAAM mg/l ABS	ALCALINIDAD TOTAL mg CaCO <sub>3</sub> /l	DUREZA TOTAL mg CaCO <sub>3</sub> /l	OXIGENO DISUELTO mg/l	pH	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA µmhos/cm	PLOMO SOLUBLE ppm	CROMO SOLUBLE ppm	COPRO SOLUBLE ppm	CADMIO SOLUBLE ppm
-------------------	--------------	------------------	---	--	-----------------------------	----	--	-------------------------	-------------------------	-------------------------	--------------------------

GRUPO 1. CAUCE DEL RIO TULA

TAXHIWAY	21.4	0.064	68	77.00	4.2	7.05	156	>0.01	>0.001	>0.01	>0.001
REQUENA	27.6	0.196	152	204.00	3.5	7.45	269	0.013	>0.001	>0.01	>0.001
ENDHO	78.9	8.260	752	294.00	2.1	7.20	992	0.027	>0.001	>0.01	>0.001
TUNITITLAN	5.1	0.116	800	523.00	5.4	7.90	954	0.025	>0.001	>0.01	>0.001
MAGUEY BLANCO	4.6	0.338	1280	506.00	4.6	8.10	1032	0.023	>0.001	>0.01	>0.001

GRUPO 2. CANAL Y CAUCE DEL RIO SALADO

RIO SALADO	54.1	8.880	1140	334.00	3.7	7.50	1367	0.018	>0.001	>0.01	>0.001
JUANDHO	67.6	7.640	1216	253.00	3.3	7.40	1440	0.032	>0.001	>0.01	>0.001

GRUPO 3. CANALES DE LA PRESA ENDHO

PROGRESO	22.5	5.470	768	286.00	4.6	7.50	858	>0.01	>0.001	>0.01	>0.001
CHILCUAUTLA	24.8	5.230	704	242.00	4.6	7.45	779	0.010	>0.001	>0.01	>0.001

GRUPO 4. CANAL PRINCIPAL REQUENA

TLAHUELILPAN	54.1	0.222	470	277.00	2.9	7.25	999	0.038	>0.001	>0.01	>0.001
TEPATEPEC	42.8	8.520	1148	323.00	3.1	7.45	1361	0.023	>0.001	>0.01	>0.001

PARAMETROS FISICOQUIMICOS DE LAS MUESTRAS DE SUELO  
PRIMER MUESTREO (MARZO, 1993)

PUNTO DE MUESTREO	COLOR		pH	ARENAS x	LIMOS x	ARCILLAS x	CLASE TEXTURAL	MATERIA ORGANICA x	CICL mg/100g	SODIO INTERCAMBIABLE mg/100g	METALES EXTRACTABLES A			
	SECO	HUMEDO									Pb	Cr	Co	Cd

GRUPO 1. CAUCE DEL RIO TULA

REQUENA	1DYR4/1	1DYR2/1	6.93	56	20	24	WIGAJON ARCILLO ARENOSO	2.80	29.00	5.57	> 0.01	0.16	2.048	0.16
ENDHO	1DYR4/2	1DYR2/1	7.55	70	24	06	WIGAJON ARENOSO	4.90	30.28	7.59	2.76	0.84	3.968	1.20
WAGUEY BLANCO	1DYR6/2	1DYR3/2	8.38	68	20	12	WIGAJON ARENOSO	2.43	22.19	7.59	> 0.01	0.12	4.736	0.32

GRUPO 2. CANAL Y CAUCE DEL RIO SALADO

RIO SALADO	1DYR5/2	1DYR3/2	8.14	44	36	20	WIGAJON	3.09	37.96	9.05	3.80	0.60	5.952	0.80
JUANHO	1DYR4/2	1DYR2/1	7.70	56	32	12	WIGAJON ARENOSO	4.76	32.29	9.95	5.84	0.88	7.296	1.52

GRUPO 3. CANALES DE LA PRESA ENDHO

PROGRESO	1DYR4/2	1DYR2/1	8.38	50	26	24	WIGAJON ARCILLO ARENOSO	3.27	34.02	10.18	4.48	0.64	7.808	0.80
CHILCUAUTLA	1DYR5/1	1DYR3/1	8.37	74	18	08	WIGAJON ARENOSO	3.35	23.42	6.92	4.12	0.52	12.288	0.60

GRUPO 4. CANAL PRINCIPAL REQUENA

TLAHUELILPAN	1DYR4/2	1DYR2/1	7.71	58	30	12	WIGAJON ARENOSO	4.02	37.38	7.37	5.52	0.80	6.528	1.68
TEPATEPEC	1DYR4/2	1DYR2/1	8.03	40	42	18	WIGAJON	3.65	36.91	8.27	1.36	0.64	4.224	0.84



PARAMETROS FISICOQUIMICOS DE LAS MUESTRAS DE SUELO  
SEGUNDO MUESTREO (JULIO, 1993)

PUNTO DE MUESTREO	COLOR		pH	ARENAS %	LIMOS %	ARCILLAS %	CLASE TEXTURAL	MATERIA ORGANICA %	CICL mg/100g	SODIO INTERCAMBIABLE mg/100g	METALES EXTRACTABLES A			
	SECO	HUMEDO									pH ACIDO	mg/kg	Pb	Cr

GRUPO 1. CAUCE DEL RIO TULA

REQUENA	1DYR4/1	1DYR2/1	6.51	56	20	24	WICAJON ARCILLO ARENOSO	3.81	23.50	5.79	1.64	0.175	0.392	0.17
ENDHO	1DYR4/2	1DYR2/1	7.72	70	24	06	WICAJON ARENOSO	5.03	28.60	7.26	7.41	0.825	2.016	2.05
MAGUEY BLANCO	1DYR6/2	1DYR3/2	8.60	68	20	12	WICAJON ARENOSO	2.25	21.90	7.59	1.36	0.210	0.640	0.22

GRUPO 2. CANAL Y CAUCE DEL RIO SALADO

RIO SALADO	1DYR5/2	1DYR3/1	8.02	44	36	20	WICAJON	1.97	32.21	9.05	4.60	0.610	1.112	0.96
JUANHO	1DYR5/2	1DYR2/2	7.89	56	32	12	WICAJON ARENOSO	5.58	30.48	8.04	10.00	0.775	2.496	1.66

GRUPO 3. CANALES DE LA PRESA ENDHO

PROGRESO	1DYR4/2	1DYR2/1	8.53	50	26	24	WICAJON ARCILLO ARENOSO	3.81	30.85	8.60	6.56	0.540	1.824	1.06
CHILCUAUTLA	1DYR4/1	1DYR3/2	8.52	74	18	08	WICAJON ARENOSO	2.90	32.66	6.58	4.96	0.455	2.048	0.52

GRUPO 4. CANAL PRINCIPAL REQUENA

TLAHUELILPAN	1DYR4/1	1DYR2/1	7.43	58	30	12	WICAJON ARENOSO	3.48	30.12	7.59	7.48	0.695	1.328	2.44
TEPATEPEC	1DYR4/2	1DYR2/1	7.72	40	42	18	WICAJON	3.59	31.60	9.17	3.84	0.595	0.736	1.59

PARAMETROS FISICOQUIMICOS DE LAS MUESTRAS DE SUELO  
TERCER MUESTREO (OCTUBRE, 1993)

PUNTO DE MUESTREO	COLOR		pH	ARENAS x	LIMOS x	ARCILLAS x	CLASE TEXTURAL	MATERIA ORGANICA x	CICL mg/100g	SODIO INTERCAMBIABLE mg/100g	METALES EXTRACTABLES A			
	SECO	HUMEDO									pH	ACIDO	mg/kg	A
											Pb	Cr	Co	Cd

GRUPO 1. CAUCE DEL RIO TULA

REQUENA	1DYR4/1	1DYR2/1	6.65	56	20	24	WIGAJON ARCILLO ARENOSO	3.43	29.49	5.35	1.12	>0.01	0.28	0.08
ENDHO	1DYR4/2	1DYR3/1	7.61	70	24	06	WIGAJON ARENOSO	4.51	36.44	7.37	2.64	0.40	0.72	1.00
MAGUEY BLANCO	1DYR5/2	1DYR3/2	8.51	68	20	12	WIGAJON ARENOSO	1.74	25.22	7.03	0.68	0.04	0.60	0.16

GRUPO 2. CANAL Y CAUCE DEL RIO SALADO

RIO SALADO	1DYR4/2	1DYR3/2	8.29	44	36	20	WIGAJON	3.07	38.70	9.95	3.44	0.36	0.76	0.64
JUANDHO	1DYR4/1	1DYR2/1	7.84	56	32	12	WIGAJON ARENOSO	5.58	38.05	8.49	3.68	0.40	1.00	1.16

GRUPO 3. CANALES DE LA PRESA ENDHO

PROGRESO	1DYR4/1	1DYR2/1	8.27	50	26	24	WIGAJON ARCILLO ARENOSO	3.83	36.09	8.83	3.24	0.24	0.92	0.64
CHILCUAUTLA	1DYR4/1	1DYR2/1	8.18	74	18	08	WIGAJON ARENOSO	2.89	32.56	6.81	2.48	0.16	1.40	0.40

GRUPO 4. CANAL PRINCIPAL REQUENA

TLAHUELILPAN	1DYR4/1	1DYR2/1	7.58	58	30	12	WIGAJON ARENOSO	3.98	34.98	7.26	2.76	0.84	0.56	1.32
TEPATEPEC	1DYR4/1	1DYR2/1	7.54	40	42	18	WIGAJON	2.78	37.51	8.60	1.44	0.20	0.48	0.84

PARAMETROS FISICOQUIMICOS DE LAS MUESTRAS DE SEDIMENTO  
PRIMER MUESTREO (MARZO, 1993)

PUNTO DE MUESTREO	COLOR		pH	ARENA %				LIMO %	ARCILLA %	MATERIA ORGANICA %	CICL ■ eq/100g	SODIO INTERCAMBIABLE ■ eq/100g	METALES EXTRACTABLES A			
	SECO	HUMEDO		GRUESA	MEDIA	FINA	MUY FINA						Pb	pH	ACIDO Cr	■ g/kg

GRUPO 1. CAUCE DEL RIO TULA

REQUENA	10YR4/1	10YR2/1	7.79	11.3	23.3	28.4	8.5	5.6	19.8	7.46	39.32	5.46	3.08	0.32	3.328	0.24
ENDHO	10YR5/2	10YR4/1	7.64	13.9	22.9	16.1	5.5	2.3	36.9	29.04	35.31	9.50	28.28	2.44	14.144	2.48

GRUPO 2. CAUCE DEL RIO SALADO

RIO SALADO	10YR6/2	10YR3/2	7.92	1.0	1.8	31.1	19.0	6.8	35.3	1.54	15.40	6.24	6.20	1.00	7.552	0.52
------------	---------	---------	------	-----	-----	------	------	-----	------	------	-------	------	------	------	-------	------

GRUPO 3. CANALES DE LA PRESA ENDHO

PROGRESO	10YR5/2	10YR3/1	7.43	7.0	18.0	33.3	12.4	6.1	18.7	15.64	28.45	7.59	5.16	1.52	9.536	1.08
CHILCUAUTLA	10YR5/1	10YR4/1	7.34	31.8	12.1	15.1	6.0	3.8	29.3	14.47	35.14	7.82	8.96	2.24	9.728	0.52

PARAMETROS FISIQUIMICOS DE LAS MUESTRAS DE SEDIMENTO  
SEGUNDO MUESTREO (JULIO, 1993)

PUNTO DE MUESTREO	COLOR		pH	ARENA x				LIMO x	ARCILLA x	MATERIA ORGANICA x	CICL eq/100g	SODIO INTERCAMBIABLE eq/100g	METALES EXTRAIBLES A			
	SECO	HIUMEDO		GRUESA	MEDIA	FINA	MUY FINA						Pb	pH ACIDO Cr	Co	Cd

GRUPO 1. CAUCE DEL RIO TULA

REQUENA	1 DYR4/2	1 DYR3/1	7.71	18.7	23.3	26.0	6.5	4.1	21.2	3.92	29.99	5.91	1.64	0.26	0.824	0.23
ENDHO	1 DYR4/2	1 DYR2/1	7.45	18.6	24.7	25.6	6.2	6.3	18.3	21.46	36.63	9.95	18.16	2.60	5.584	4.29

GRUPO 2. CAUCE DEL RIO SALADO

RIO SALADO	1 DYR5/2	1 DYR2/1	7.22	0.2	12.3	24.2	8.0	4.2	50.8	15.64	40.39	9.50	9.92	1.00	3.024	2.13
------------	----------	----------	------	-----	------	------	-----	-----	------	-------	-------	------	------	------	-------	------

GRUPO 3. CANALES DE LA PRESA ENDHO

PROGRESO	1 DYR5/2	1 DYR2/1	6.85	2.7	8.8	26.1	11.5	8.4	41.7	18.78	45.23	9.28	11.04	1.23	2.240	1.21
CHILCUAUTLA	1 DYR4/2	1 DYR3/2	7.10	0.05	7.3	15.0	13.2	8.4	55.8	10.93	35.98	7.71	11.32	1.68	3.120	1.20

PARAMETROS FISICOQUIMICOS DE LAS MUESTRAS DE SEDIMENTO  
TERCER MUESTREO (OCTUBRE, 1993)

PUNTO DE MUESTREO	COLOR		pH	ARENA x				LIMO x	ARCILLA x	MATERIA ORGANICA x	CICL # eq/100g	SODIO INTERCAMBIABLE # eq/100g	METALES EXTRAHTABLES			
	SECO	HMEDO		GRUESA	MEDIA	FINA	MUY FINA						Pb	pH ACIDO Cr	mg/kg Co	Cd

GRUPO 1. CAUCE DEL RIO TULA

REQUENA	‡	‡	‡	‡	‡	‡	‡	‡	‡	‡	‡	‡	‡	‡	‡	‡	‡
ENDHO	1 DYR4/2	1 DYR2/1	7.65	26.0	20.7	20.3	2.2	1.9	28.7	29.49	59.94	9.62	8.0	2.20	3.56	1.00	

GRUPO 2. CAUCE DEL RIO SALADO

RIO SALADO	1 DYR5/2	1 DYR2/2	7.75	1.6	7.5	42.8	14.3	4.3	29.1	3.55	28.83	8.49	6.64	0.72	2.00	0.60	
------------	----------	----------	------	-----	-----	------	------	-----	------	------	-------	------	------	------	------	------	--

GRUPO 3. CANALES DE LA PRESA ENDHO

PROGRESO	1 DYR4/2	1 DYR2/2	7.52	3.2	3.9	25.9	9.2	7.3	50.3	15.87	44.12	7.48	6.32	0.09	2.16	0.52	
CHILCUAUTLA	1 DYR5/2	1 DYR3/2	6.90	12.5	9.3	14.3	7.8	3.8	52.3	21.10	45.46	7.93	6.64	1.24	2.40	0.48	

RESULTADOS DE LOS BIOENSAYOS APLICADOS A LAS MUESTRAS DE AGUA DEL DDA-063  
PRIMER MUESTREO (MARZO, 1993)

PUNTO DE MUESTREO	<i>Daphnia magna</i>		<i>Panagrellus redivivus</i>		<i>Spirillum volutans</i>
	CL50 %	U. T.	% SOBREVIVENCIA	% MADURACION	MEC90 - 120 min

GRUPO 1. CAUCE DEL RIO TULA

TAXHIMAY	N. D.	N. D.	102	99	N. D.
REQUENA	N. D.	N. D.	87	89	N. D.
ENDHO	127.81	0.782	7	0	+ 35
TUNITITLAN	N. D.	N. D.	89	97	N. D.
MAGUEY BLANCO	N. D.	N. D.	71	83	N. D.

GRUPO 2. CANAL Y CAUCE DEL RIO SALADO

RIO SALADO	209.96	0.477	0	0	+ 75
JUANDHO	91.53	1.092	5	0	+ 75

GRUPO 3. CANALES DE LA PRESA ENDHO

PROGRESO	N. D.	N. D.	9	0	+ 35
CHILCUAUTLA	N. D.	N. D.	6	0	+ 100

GRUPO 4. CANAL PRINCIPAL REQUENA

TLAHUELILPAN	N. D.	N. D.	5	56	+ 100
TEPATEPEC	99.99	1.010	0	0	+ 35

GRUPO 5. MANANTIALES

TEZONTEPEC	N. D.	N. D.	88	89	N. D.
LAGUNILLA	N. D.	N. D.	28	93	N. D.
SAN SALVADOR	N. D.	N. D.	79	87	N. D.

N. D. = Efecto no detectado.

RESULTADOS DE LOS BIENSAYOS APLICADOS A LAS MUESTRAS DE AGUA DEL DDA-063  
SEGUNDO MUESTREO (JULIO, 1993)

PUNTO DE MUESTREO	<i>Daphnia magna</i>		<i>Panagrellus redivivus</i>		<i>Spirillum volutans</i>
	CL50 %	U. T.	% SOBREVIVENCIA	% MADURACION	MEC90 - 120 min

GRUPO 1. CAUCE DEL RIO TULA

TAXHIMAY	227.54	0.439	98	79	N. D.
REQUENA	N. D.	N. D.	94	68	+ 75
ENDHO	91.58	1.091	95	61	+ 100
TUNITITLAN	N. D.	N. D.	89	88	+ 100
MAGUEY BLANCO	N. D.	N. D.	96	64	+ 100

GRUPO 2. CANAL Y CAUCE DEL RIO SALADO

RIO SALADO	83.45	1.198	83	18	+ 100
JUANDHO	73.16	1.366	83	51	+ 100

GRUPO 3. CANALES DE LA PRESA ENDHO

PROGRESO	91.58	1.091	88	36	N. D.
CHILCUAUTLA	89.13	1.121	86	16	+ 100

GRUPO 4. CANAL PRINCIPAL REQUENA

TLAHUELILPAN	94.13	1.062	84	28	+ 75
TEPATEPEC	N. D.	N. D.	86	30	+ 100

GRUPO 5. MANANTIALES

TEZONTEPEC	N. D.	N. D.	101	97	N. D.
LAGUNILLA	N. D.	N. D.	86	27	N. D.
SAN SALVADOR	N. D.	N. D.	79	33	+ 100

N. D. = Efecto no detectado

RESULTADOS DE LOS BIENSAYOS APLICADOS A LAS MUESTRAS DE AGUA DEL DDA-069  
TERCER MUESTREO (OCTUBRE, 1993)

PUNTO DE MUESTREO	<i>Daphnia magna</i>		<i>Panagrellus redivivus</i>		<i>Spirillum volutans</i>
	CL50 %	U. T.	% SOBREVIVENCIA	% MADURACION	MEC90 - 120 min

GRUPO 1. CAUCE DEL RIO TULA

TAXHIMAY	N. D.	N. D.	93	91	N. D.
REQUENA	N. D.	N. D.	95	93	N. D.
ENDHO	56,99	1,754	91	99	+ 100
TUNITITLAN	N. D.	N. D.	91	85	N. D.
MAGUEY BLANCO	N. D.	N. D.	98	98	N. D.

GRUPO 2. CANAL Y CAUCE DEL RIO SALADO

RIO SALADO	481,59	0,207	85	91	N. D.
JUANDHO	139,11	0,718	90	99	+ 100

GRUPO 3. CANALES DE LA PRESA ENDHO

PROGRESO	N. D.	N. D.	95	96	+ 100
CHILCUAUTLA	N. D.	N. D.	97	98	+ 100

GRUPO 4. CANAL PRINCIPAL REQUENA

TLAHUELILPAN	N. D.	N. D.	89	95	+ 75
TEPATEPEC	N. D.	N. D.	93	99	+ 75

GRUPO 5. MANANTIALES

TEZONTEPEC	N. D.	N. D.	98	96	N. D.
LAGUNILLA	N. D.	N. D.	97	98	N. D.
SAN SALVADOR	N. D.	N. D.	100	93	N. D.

N. D. = Efecto no detectado



RESULTADOS DE LOS BIENSAYOS APLICADOS A LAS EXTRACCIONES DE SUELO DEL ODR-063  
PRIMER MUESTREO (MARZO 1993)

PUNTO DE MUESTREO	<i>Daphnia magna</i>		<i>Panagrellus redivivus</i>		<i>Spirillum volutans</i>
	CL50 %	U. T.	% SOBREVIVENCIA	% MADURACION	MEC90 - 120 min

GRUPO 1. CAUCE DEL RIO TULA

REQUENA	N. D.	N. D.	99	87	N. D.
ENDHO	N. D.	N. D.	0	0	N. D.
MAGUEY BLANCO	N. D.	N. D.	100	80	N. D.

GRUPO 2. CANAL Y CAUCE DEL RIO SALADO

RIO SALADO	N. D.	N. D.	1	0	N. D.
JUANDHO	N. D.	N. D.	1	0	N. D.

GRUPO 3. CANALES DE LA PRESA ENDHO

PROGRESO	79.36	1.360	85	90	+ 100
CHILCUAUTLA	N. D.	N. D.	44	69	N. D.

GRUPO 4. CANAL PRINCIPAL REQUENA

TLAHUELILPAN	N. D.	N. D.	12	0	N. D.
TEPATEPEC	N. D.	N. D.	51	99	N. D.

GRUPO 5. MANANTIALES

TEZONTEPEC	N. D.	N. D.	71	52	N. D.
LAGUNILLA	N. D.	N. D.	9	14	N. D.
SAN SALVADOR	N. D.	N. D.	2	0	N. D.

N. D. = Efecto no detectado.

RESULTADOS DE LOS BIOENSAYOS APLICADOS A LAS EXTRACCIONES DE SUELO DEL DDR-063  
SEGUNDO MUESTREO (JULIO 1993)

PUNTO DE MUESTREO	<i>Daphnia magna</i>		<i>Panagrellus redivivus</i>		<i>Spirillum volutans</i>
	CL50 %	U. T.	% SOBREVIVENCIA	% MADURACION	MEC90 - 120 min

GRUPO 1. CAUCE DEL RIO TULA

REQUENA	N. D.	N. D.	84	0	N. D.
ENDHO	N. D.	N. D.	72	0	N. D.
MAGUEY BLANCO	N. D.	N. D.	82	33	+ 100

GRUPO 2. CANAL Y CAUCE DEL RIO SALADO

RIO SALADO	N. D.	N. D.	85	28	N. D.
JUANDHO	N. D.	N. D.	89	89	N. D.

GRUPO 3. CANALES DE LA PRESA ENDHO

PROGRESO	N. D.	N. D.	86	1	N. D.
CHILCUAUTLA	N. D.	N. D.	88	20	N. D.

GRUPO 4. CANAL PRINCIPAL REQUENA

TLAHUELILPAN	N. D.	N. D.	92	42	+ 100
TEPATEPEC	N. D.	N. D.	86	43	N. D.

GRUPO 5. MANANTIALES

TEZONTEPEC	N. D.	N. D.	86	21	N. D.
LAGUNILLA	N. D.	N. D.	72	25	+ 100
SAN SALVADOR	N. D.	N. D.	90	27	N. D.

N. D. = Efecto no detectado

RESULTADOS DE LOS BIENSAYOS APLICADOS A LAS EXTRACCIONES DE SUELO DEL DDA-063  
TERCER MUESTREO (OCTUBRE, 1993)

PUNTO DE MUESTREO	<i>Daphnia magna</i>		<i>Panagrellus redivivus</i>		<i>Spirillum volutans</i>
	CL50 %	U. T.	% SOBREVIVENCIA	% MADURACION	MEC90 = 100 n.º

GRUPO 1. CAUCE DEL RIO TULA

REQUENA	N. D.	N. D.	89	61	N. D.
ENDHO	N. D.	N. D.	43	0	N. D.
MAGUEY BLANCO	N. D.	N. D.	82	85	N. D.

GRUPO 2. CANAL Y CAUCE DEL RIO SALADO

RIO SALADO	N. D.	N. D.	88	31	N. D.
JUANDHO	N. D.	N. D.	3	0	N. D.

GRUPO 3. CANALES DE LA PRESA ENDHO

PROGRESO	N. D.	N. D.	80	20	+ 100
CHILCUAUTLA	N. D.	N. D.	52	44	N. D.

GRUPO 4. CANAL PRINCIPAL REQUENA

TLAHUELILPAN	N. D.	N. D.	5	0	N. D.
TEPATEPEC	N. D.	N. D.	39	68	+ 100

GRUPO 5. MANANTIALES

TEZONTEPEC	N. D.	N. D.	3	100	N. D.
LAGUNILLA	N. D.	N. D.	55	10	N. D.
SAN SALVADOR	N. D.	N. D.	0	0	N. D.

N. D. = Efecto no detectado

RESULTADOS DE LOS BIENSAYOS APLICADOS A LAS EXTRACCIONES DE SEDIMENTO DEL DDA-069  
PRIMER MUESTREO (MARZO, 1999)

PUNTO DE MUESTREO	<i>Daphnia magna</i>		<i>Panagrellus redivivus</i>		<i>Spirillum volutans</i>
	CL50 %	U. T.	% SOBREVIVENCIA	% MADURACION	MEC90 - 120 min

GRUPO 1. CAUCE DEL RIO TULA

REQUENA	N. D.	N. D.	100	92	N. D.
ENDHO	166.76	0.599	0	0	+ 75

GRUPO 2. CAUCE DEL RIO SALADO

RIO SALADO	N. D.	N. D.	64	95	+ 100
------------	-------	-------	----	----	-------

GRUPO 3. CANALES DE LA PRESA ENDHO

PROGRESO	N. D.	N. D.	26	92	+ 100
CHILCUAUTLA	N. D.	N. D.	1	0	+ 75

N. D. = Efecto no detectado.

RESULTADOS DE LOS BIOENSAYOS APLICADOS A LAS EXTRACCIONES DE SEDIMENTO DEL DDR-063  
SEGUNDO MUESTREO (JULIO, 1993)

PUNTO DE MUESTREO	<i>Daphnia magna</i>		<i>Panagrellus redivivus</i>		<i>Spirillum volutans</i>	
	CL50 %	U. T.	% SOBREVIVENCIA	% MADURACION	MEC90	120 min

GRUPO 1. CAUCE DEL RIO TULA

REQUENA	N. D.	N. D.	98	100	+ 100
ENDHO	64.15	1.558	93	88	+ 25

GRUPO 2. CAUCE DEL RIO SALADO

RIO SALADO	56.21	1.778	74	5	+ 100
------------	-------	-------	----	---	-------

GRUPO 3. CANALES DE LA PRESA ENDHO

PROGRESO	49.71	2.011	86	71	N. D.
CHILCUAUTLA	74.16	1.948	83	83	+ 75

N. D. = Efecto no detectado

RESULTADOS DE LOS BIENSAYOS APLICADOS A LAS EXTRACCIONES DE SEDIMENTO DEL DDA-063  
TERCER MUESTREO (OCTUBRE, 1999)

PUNTO DE MUESTREO	<i>Daphnia magna</i>		<i>Panagrellus redivivus</i>		<i>Spirillum volutans</i>
	CL50 %	U. T.	% SOBREVIVENCIA	% MADURACION	MEC90 - 120 min

GRUPO 1. CAUCE DEL RIO TULA

REQUENA	*	*	*	*	*
ENDHO	280.96	0.956	9	0	+ 100

GRUPO 2. CAUCE DEL RIO SALADO

RIO SALADO	31.09	3.216	99	88	+ 100
------------	-------	-------	----	----	-------

GRUPO 3. CANALES DE LA PRESA ENDHO

PROGRESO	N. D.	N. D.	51	16	+ 50
CHILCUAUTLA	14.64	6.830	98	78	+ 100

N. D. = Efecto no detectado

\* = Estación no monitoreada en esta etapa

ANEXO III

COMPONENTES PRINCIPALES

Componentes Principales  
 PARAMETROS FISICQUIMICOS DEL AGUA DEL DDR-063  
 MARZO, 1993  
 Datos Originales : PARAMETROS; Originales  
 por Variancia-Covariancia  
 Modo Q (Columnas)

COMPONENTE:	I	II	III	
RAICES PROPIAS:	281686.200	8652.647	1158.375	
VECTORES PROPIOS:				
DBOS	1	0.003	-0.114	0.062
SAAM	2	0.002	-0.030	0.004
ALCALINIDAD TOTAL	3	0.300	-0.389	0.865
DUREZA TOTAL	4	0.186	0.912	0.355
OXIGENO DISUELTO	5	-0.002	0.012	0.008
pH	6	0.000	0.002	0.004
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	7	0.936	-0.056	-0.348
PLOMO SOLUBLE	8	0.000	0.000	0.000
CROMO SOLUBLE	9	0.000	-0.000	0.000
COBALTO SOLUBLE	10	0.000	-0.000	0.000
CADMIO SOLUBLE	11	0.000	0.000	0.000

VARIANCIA EXPLICADA:	%	ACUMULADA
COMPONENTE I	96.60	96.60
COMPONENTE II	2.97	99.56
COMPONENTE III	0.40	99.96
TOTAL	99.96	

COORDENADAS				
ESTACION	1	-253.385	-7.357	1.349
ESTACION	2	-232.957	4.387	8.240
ESTACION	3	-98.176	-15.220	-2.954
ESTACION	4	-220.551	16.617	-19.336
ESTACION	5	112.620	-30.709	1.105
ESTACION	6	126.298	-35.500	1.167
ESTACION	7	47.674	46.310	13.257
ESTACION	8	-16.772	-20.527	3.587
ESTACION	9	72.498	28.355	4.754
ESTACION	10	8.487	-17.932	-4.606
ESTACION	11	26.514	17.631	11.954
ESTACION	12	81.645	-27.271	5.748
ESTACION	13	197.049	8.930	-12.720
ESTACION	14	149.057	32.286	-11.546



Componentes Principales  
 PARAMETROS FISICOQUIMICOS DEL AGUA DEL DDR-063  
 JULIO, 1993  
 Datos Originales : PARAMETROS; Originales  
 por Variancia-Covariancia  
 Modo Q (Columnas)

	COMPONENTE:	I	II	III
	RAICES PROPIAS:	176724.800	7419.891	2137.886
	VECTORES PROPIOS:			
DBO5	1	-0.015	-0.425	0.514
SAAM	2	-0.001	-0.019	0.019
ALCALINIDAD TOTAL	3	0.268	-0.031	0.787
DUREZA TOTAL	4	0.266	0.870	0.200
OXIGENO DISUELTO	5	0.001	0.008	-0.010
pH	6	0.000	0.000	0.004
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	7	0.926	-0.248	-0.277
PLOMO SOLUBLE	8	-0.000	-0.000	0.000
CROMO SOLUBLE	9	0.000	-0.000	0.000
COBALTO SOLUBLE	10	0.000	0.000	0.000
CADMIO SOLUBLE	11	0.000	0.000	-0.000

VARIANCIA EXPLICADA:	%	ACUMULADA
COMPONENTE I	94.62	94.62
COMPONENTE II	3.97	98.60
COMPONENTE III	1.14	99.74
TOTAL	99.74	

COORDENADAS				
ESTACION	1	-252.878	14.660	-12.992
ESTACION	2	-212.158	9.349	-2.229
ESTACION	3	-9.661	-26.808	-0.366
ESTACION	4	-49.115	-25.744	6.738
ESTACION	5	47.005	-18.887	13.708
ESTACION	6	-56.896	-19.700	14.230
ESTACION	7	53.790	44.614	2.540
ESTACION	8	-11.208	-9.310	-7.278
ESTACION	9	62.443	25.380	5.900
ESTACION	10	-4.142	-7.007	-2.080
ESTACION	11	51.312	37.805	12.451
ESTACION	12	94.790	-24.607	7.872
ESTACION	13	152.220	9.779	-3.888
ESTACION	14	134.497	-9.525	-34.605

Componentes Principales  
 PARAMETROS FISICOQUIMICOS DEL AGUA DEL DDR-063  
 OCTUBRE, 1993  
 Datos Originales : PARAMETROS; Originales  
 por Variancia-Covariancia  
 Modo 0 (Columnas)

COMPONENTE:	I	II	III	
RAICES PROPIAS:	282036.300	18621.330	15041.610	
VECTORES PROPIOS:				
DE05	1	0.007	-0.088	-0.141
SAAM	2	0.003	-0.002	-0.023
ALCALINIDAD TOTAL	3	0.673	0.689	-0.267
DUREZA TOTAL	4	0.166	0.203	0.952
OXIGENO DISUELTO	5	0.000	0.003	0.004
pH	6	0.000	0.001	0.001
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	7	0.720	-0.690	0.032
PLOMO SOLUBLE	8	0.000	-0.000	0.000
CROMO SOLUBLE	9	0.000	0.000	0.000
COBALTO SOLUBLE	10	0.000	0.000	0.000
CADMIO SOLUBLE	11	0.000	0.000	0.000

VARIANCIA EXPLICADA:	%	ACUMULADA
COMPONENTE I	89.85	89.85
COMPONENTE II	5.30	95.15
COMPONENTE III	4.79	99.94
TOTAL	99.94	

COORDENADAS				
ESTACION	1	-315.318	5.181	-25.432
ESTACION	2	-271.196	6.618	2.666
ESTACION	3	-10.432	-13.278	-13.732
ESTACION	4	-62.538	-68.862	3.742
ESTACION	5	138.749	-8.026	-27.636
ESTACION	6	163.826	-12.358	-54.544
ESTACION	7	1.902	7.486	62.079
ESTACION	8	-34.699	16.357	-15.974
ESTACION	9	105.773	93.753	6.517
ESTACION	10	-64.457	16.713	-23.638
ESTACION	11	1.328	17.867	45.825
ESTACION	12	138.516	-5.692	-30.743
ESTACION	13	131.374	-20.242	25.954
ESTACION	14	77.171	-35.516	44.917

Componentes Principales  
 PARAMETROS FISICOQUIMICOS DEL SUELO DEL DDR-063  
 MARZO, 1993  
 Datos Originales : PARAMETROS; Originales  
 por Variancia-Covariancia  
 Modo 0 (Columnas)

COMPONENTE:		I	II	III
RAICES PROPIAS:		32.972	12.295	2.019
VECTORES PROPIOS:				
pH	1	-0.010	0.093	-0.143
MATERIA ORGANICA	2	0.020	0.038	0.501
CICT	3	0.979	-0.088	-0.100
SODIO INTERCAMBIABLE	4	0.139	0.171	-0.182
PLOMO	5	0.142	0.368	0.732
CROMO	6	0.023	0.023	0.104
COBALTO	7	0.010	0.903	-0.292
CADMIO	8	0.037	0.034	0.233
VARIANCIA EXPLICADA:		%	ACUMULADA	
COMPONENTE	I	67.13	67.13	
COMPONENTE	II	25.03	92.16	
COMPONENTE	III	4.11	96.27	
TOTAL		96.27		
COORDENADAS				
ESTACION	1	-1.012	-2.247	-0.009
ESTACION	2	-0.400	-0.745	0.491
ESTACION	3	-2.929	-0.648	-0.436
ESTACION	4	1.965	-0.229	-0.101
ESTACION	5	0.442	0.577	0.683
ESTACION	6	0.884	0.523	-0.039
ESTACION	7	-2.385	1.815	-0.020
ESTACION	8	1.817	0.057	0.564
ESTACION	9	1.516	-0.981	-0.334
ESTACION	10	-1.433	0.586	0.234
ESTACION	11	2.155	0.942	-0.731
ESTACION	12	-0.619	0.350	-0.302

Componentes Principales  
PARAMETROS FISICOQUIMICOS DEL SUELO DEL DDR-063  
JULIO, 1993  
Datos Originales : PARAMETROS: Originales  
por Variancia-Covariancia  
Modo Q (Columnas)

	COMPONENTE:	I	II	III
	RAICES PROPIAS:	39.791	6.608	1.127
	VECTORES PROPIOS:			
pH	1	0.024	-0.009	0.316
MATERIA ORGANICA	2	-0.031	0.313	-0.289
CICT	3	0.977	-0.141	-0.148
SODIO INTERCAMBIABLE	4	0.135	-0.006	0.878
PLOMO	5	0.149	0.898	0.089
CROMO	6	0.004	0.075	0.054
COBALTO	7	0.052	0.166	-0.100
CADMIO	8	0.029	0.203	0.049

VARIANCIA EXPLICADA:	%	ACUMULADA
COMPONENTE I	81.68	81.68
COMPONENTE II	13.56	95.24
COMPONENTE III	2.31	97.55
TOTAL	97.55	

COORDENADAS				
ESTACION	1	-2.240	-0.810	-0.560
ESTACION	2	-0.379	0.857	-0.245
ESTACION	3	-2.617	-0.958	0.309
ESTACION	4	0.637	-0.468	0.296
ESTACION	5	0.323	1.527	-0.105
ESTACION	6	0.305	0.334	0.157
ESTACION	7	0.692	-0.283	-0.439
ESTACION	8	0.090	0.651	-0.091
ESTACION	9	0.411	-0.475	0.185
ESTACION	10	-2.204	0.064	0.075
ESTACION	11	4.642	-0.854	-0.112
ESTACION	12	0.342	0.416	0.530

Componentes Principales  
 PARAMETROS FISICOQUIMICOS DEL SUELO DEL DDR-063  
 OCTUBRE, 1993  
 Datos Originales : PARAMETROS; Originales  
 por Variancia-Covariancia  
 Modo 0 (Columnas)

	COMPONENTE:	I	II	III
	RAICES PROPIAS:	43.926	2.046	1.075
	VECTORES PROPIOS:			
pH	1	0.011	0.061	0.401
MATERIA ORGANICA	2	-0.015	0.650	-0.507
CICT	3	0.992	-0.078	-0.089
SODIO INTERCAMBIABLE	4	0.102	0.407	0.750
PLOMO	5	0.065	0.598	0.009
CROMO	6	0.008	0.096	-0.035
COBALTO	7	0.018	0.078	0.063
CADMIO	8	0.022	0.171	-0.083

VARIANCIA EXPLICADA:	%	ACUMULADA
COMPONENTE I	92.04	92.04
COMPONENTE II	4.29	96.33
COMPONENTE III	2.25	98.58
TOTAL	98.58	

COORDENADAS				
ESTACION	1	-1.753	-0.539	-0.549
ESTACION	2	0.426	0.119	-0.342
ESTACION	3	-2.971	-0.596	0.431
ESTACION	4	1.203	0.238	0.496
ESTACION	5	0.961	0.635	-0.263
ESTACION	6	0.383	0.282	0.211
ESTACION	7	-0.753	-0.241	-0.063
ESTACION	8	-0.013	0.079	-0.262
ESTACION	9	0.765	-0.332	0.161
ESTACION	10	-2.477	0.408	0.100
ESTACION	11	4.674	-0.529	0.029
ESTACION	12	-0.445	0.476	0.051

Componentes Principales

PARAMETROS FISICOQUIMICOS DEL SEDIMENTO DEL DDR-063

MARZO, 1993

Datos Originales : PARAMETROS; Originales

por Variancia-Covariancia

Modo Q (Columnas)

COMPONENTE:		I	II	III
RAICES PROPIAS:		229.375	81.103	13.344
VECTORES PROPIOS:				
pH	1	-0.005	-0.008	-0.054
MATERIA ORGANICA	2	0.664	-0.011	0.624
CICT	3	0.342	0.890	-0.206
SODIO INTERCAMBIABLE	4	0.091	-0.054	0.127
PLOMO	5	0.622	-0.392	-0.674
CROMO	6	0.043	-0.027	0.087
COBALTO	7	0.204	-0.221	0.294
CADMIO	8	0.053	-0.039	0.003
VARIANCIA EXPLICADA:		%	ACUMULADA	
COMPONENTE	I	70.56	70.56	
COMPONENTE	II	24.95	95.51	
COMPONENTE	III	4.11	99.62	
TOTAL		99.62		
COORDENADAS				
ESTACION	1	-3.343	6.075	-1.524
ESTACION	2	12.378	-2.147	-0.935
ESTACION	3	-7.934	-5.656	-1.266
ESTACION	4	-1.395	-0.883	2.759
ESTACION	5	0.294	2.611	0.966

Componentes Principales

PARAMETROS FISICOQUIMICOS DEL SEDIMENTO DEL DDR-063

JULIO, 1993

Datos Originales : PARAMETROS: Originales  
por Variancia-Covariancia

Modo 0 (Columnas)

COMPONENTE:		I	II	III
RAICES PROPIAS:		100.905	20.427	1.887
VECTORES PROPIOS:				
pH	1	-0.019	0.045	0.124
MATERIA ORGANICA	2	0.684	0.024	0.617
ClCT	3	0.429	-0.800	-0.321
SODIO INTERCAMBIABLE	4	0.160	-0.011	0.160
PLOMO	5	0.534	0.502	-0.612
CROMO	6	0.067	0.111	-0.138
COBALTO	7	0.134	0.234	-0.036
CADMIO	8	0.117	0.196	0.282
VARIANCIA EXPLICADA:		%	ACUMULADA	
COMPONENTE	I	81.72	81.72	
COMPONENTE	II	16.54	98.26	
COMPONENTE	III	1.53	99.79	
TOTAL		99.79		
COORDENADAS				
ESTACION	1	-7.966	0.298	0.473
ESTACION	2	4.833	3.050	0.397
ESTACION	3	1.063	-1.193	0.320
ESTACION	4	3.360	-2.987	-0.005
ESTACION	5	-1.289	0.832	-1.185

Componentes Principales  
 PARAMETROS FISICOQUIMICOS DEL SEDIMENTO DEL DDR-063  
 OCTUBRE, 1993  
 Datos Originales : PARAMETROS: Originales  
 por Variancia-Covariancia  
 Modo Q (Columnas)

COMPONENTE:		I	II	III
RAICES PROPIAS:		680.773	25.254	0.933
VECTORES PROPIOS:				
pH	1	0.107	0.367	0.020
MATERIA ORGANICA	2	0.444	-0.782	0.262
CICT	3	0.871	0.270	-0.299
SODIO INTERCAMBIABLE	4	0.130	0.340	0.585
PLOMO	5	0.110	0.251	0.365
CROMO	6	0.027	-0.037	0.560
COBALTO	7	0.048	0.035	0.212
CADMIO	8	0.012	0.015	0.086
VARIANCIA EXPLICADA:		%	ACUMULADA	
COMPONENTE	I	96.28	96.28	
COMPONENTE	II	3.57	99.85	
COMPONENTE	III	0.13	99.98	
TOTAL		99.98		
COORDENADAS				
ESTACION	1	-19.770	-2.294	-0.005
ESTACION	2	14.486	-1.654	0.286
ESTACION	3	-5.030	3.936	0.361
ESTACION	4	4.267	0.945	-0.829
ESTACION	5	6.047	-0.932	0.187



## ANEXO IV

### ANALISIS DE CORRELACION MULTIPLE

MUESTRAS DE AGUA.

PERIODO DE MUESTREO	BIOENSAYO	DBO5	SAAM	CROMO DISUELTO	pH	OXIGENO DISUELTO	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA
MARZO	PUNTAJE TOTAL	0.6644 (14) 0.0096	0.7578 (14) 0.0017	0.5867 (14) 0.0274	- 0.615 (14) 0.0192	-0.5788 (14) 0.0301	----
JULIO	PUNTAJE TOTAL	0.5310 (14) 0.0500	0.6121 (14) 0.0200	0.5245 (14) 0.0540	----	----	----
OCTUBRE	PUNTAJE TOTAL	0.7100 (14) 0.0040	0.8630 (14) 0.0001	----	----	-0.558 (14) 0.0380	0.5612 (14) 0.0360

MUESTRAS DE SUELO.

PERIODO DE MUESTREO	BIOENSAYO	CICT	SODIO INTERCAMBIABLE	PLOMO EXTRACTABLE	CADMIO EXTRACTABLE	CROMO EXTRACTABLE
MARZO	PUNTAJE TOTAL	0.6706 (12) 0.0170	0.6280 (12) 0.0288	0.6908 (12) 0.0129	0.7335 (12) 0.0066	----
JULIO	PUNTAJE TOTAL	----	----	----	----	----
OCTUBRE	PUNTAJE TOTAL	----	----	0.7046 (12) 0.0105	0.8704 (12) 0.0002	0.7363 (12) 0.0063

MUESTRAS DE SEDIMENTO.

PERIODO DE MUESTREO	BIOENSAYO	CROMO EXTRACTABLE	COBALTO EXTRACTABLE	MATERIA ORGANICA
MARZO	PUNTAJE TOTAL	0.9966 (5) 0.0002	0.9011 (5) 0.0368	----
JULIO	PUNTAJE TOTAL	----	----	----
OCTUBRE	PUNTAJE TOTAL	----	----	0.9064 (4) 0.0396

COEFICIENTE DE CORRELACION (TAMANO DE LA MUESTRA) NIVEL DE SIGNIFICANCIA