



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ZARAGOZA"

EVALUACION DE LOS GRADOS DE CONTAMINACION DEL RIO ATOYAC POR (Pb, Cr, Co, Cd, Ni, Fe, Cu, Mn, Y Zn), SURFACTANTES, BORO, GRASAS Y ACEITES EN EL TRANSECTO CHIAUTLA-ATLIXCO, EDO. DE PUEBLA.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
B I O L O G O
P R E S E N T A :
LUCIA RODRIGUEZ DOMINGUEZ



México, D. F.

1992



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está 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.

I N D I C E

	Pag.
INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	3
HIPOTESIS	4
ANTECEDENTES	
Boro	5
Detergentes	16
Metales Pesados	
Hierro	30
Cobre	34
Manganeso	38
Zinc	43
Plomo	46
Cromo	48
Cobalto y Niquel	50
Cadmio	52
CARACTERISTICAS DE LA ZONA	
Descripción de la zona de estudio	55
Geología	57
Fisiografía	59
Hidrografía	60
Clima	61
Suelos	62

Agricultura	65
Marco económico	65
Vegetación	67
METODOLOGIA	
Trabajo de Campo	71
Trabajo de Laboratorio	72
RESULTADOS Y DISCUSION	75
CONCLUSIONES	111
BIBLIOGRAFIA	114
APENDICE	122

RESUMEN

La zona de estudio se localiza en el Estado de Puebla y comprende parte del recorrido del Río Atoyac, desde el poblado de la Soledad hasta la presa Independencia y Atlixco.

El agua del Río Atoyac desde su nacimiento hasta la Soledad se utiliza con fines agrícolas y de potabilidad, ésta última opción, sobre todo en los poblados que carecen de agua potable; pero a medida que avanza el río en su recorrido, la calidad del agua disminuye con la incorporación de las aguas residuales, tanto de origen doméstico como industrial, sobre todo en la zona de San Martín Texmelucan, Moyotzingo, el Corredor Industrial de Tlaxcala y la Ciudad de Puebla.

Las aguas del Río Atoyac presentan valores de pH que tienden a la alcalinidad, sobre todo en los sitios 5, 6, 1 y 2; donde en los meses de estiaje rebasan la NTE-CCA-031/91. Según los valores de la conductividad eléctrica y la relación de adsorción de sodio, las aguas después del sitio 2 corresponden a la C_2S_1 , lo que las clasifica como de clase condicionada; sobre todo las muestras de los sitios 5, 9 y 6 que no se recomiendan para la agricultura y menos para los cultivos sensibles a la salinidad.

Respecto a la salinidad efectiva, el agua de la mayoría de los sitios estudiados durante casi todo el año es de clase condicionada; mientras de acuerdo con los valores de la salinidad potencial, carbonato de sodio residual y porcentaje de sodio posible, en casi todos los sitios y durante la mayor parte del año es de buena

clase; a excepción del periodo de secas, donde los valores de los parámetros antes mencionados aumentan notablemente.

Las aguas del Río Atoyac de acuerdo con las concentraciones de boro y cloruros, utilizando el criterio de Palacios y Aceves (1970), son de buena clase durante la mayor parte del año, a excepción de los sitios 5 y 9, las cuales corresponden a la clase condicionada sobre todo para boro. Por otro lado, los cloruros están dentro de los niveles recomendados por la SEDUE, a excepción del sitio 9 en el mes de febrero que rebasa los límites permisibles establecidos por el CE-CCA-001/89 para aguas con fines agrícolas.

Los cationes calcio, magnesio, sodio y potasio, a excepción de sodio se detectaron dentro de los niveles recomendados por la NTE-CCA-031/91, las altas concentraciones de sodio, principalmente en las muestras que corresponden a los sitios 5, 9, 8 y 6 se encuentran formando sales con los aniones de sulfatos y bicarbonatos.

Los detergentes se encontraron en concentraciones inferiores a las recomendadas por la SEDUE; mientras las grasas y los aceites rebasaron enormemente los valores recomendados por la NTE-CCA-031/91 y el CE-CCA-001/89.

Las concentraciones encontradas de hierro, cobre, manganeso y zinc, a excepción del manganeso son inferiores a los niveles máximos permisibles recomendados por la NTE-CCA-031/91 y el CE-CCA-001/89, para aguas residuales de uso agrícola. Respecto al manganeso, este elemento rebasó los límites en varios sitios durante la mayor parte del año.

El plomo, cromo, cobalto, níquel y cadmio se detectaron en concentraciones inferiores a las recomendadas por la SEDUE, con ex

meses mostraron concentraciones de cromo y níquel superiores a los niveles máximos recomendados por la NTE-CCA-031/91 y el CE-CCA-001/89, para aguas residuales con fines de uso agrícola.

1. INTRODUCCION

El agua es un compuesto elemental en los organismos, el 75 % de la superficie terrestre se encuentra cubierta por este compuesto, del cual solamente el 2 % es agua dulce, de este porcentaje la mayor parte corresponde a aguas subterráneas. El agua representa uno de los recursos más importantes para el hombre, ya que es fundamental para la vida; en este contexto, los florecimientos de las civilizaciones desde la antigüedad han dependido del abastecimiento adecuado de éste líquido. Las civilizaciones modernas han desarrollado técnicas adecuadas para transportar el agua a grandes distancias y lograr administrarla, de tal manera que se pueda utilizar en forma adecuada. Por los variados usos a que se prestan los recursos hídricos de un país representan un importante factor de desarrollo. Lo mismo son útiles para usos domésticos y recreativos, que para, actividades industriales, energéticas, piscícolas, ecológicas y de navegación entre otros. Sin embargo, puesto que el agua abunda en ciertas regiones y a pesar de ciertas recomendaciones sobre su uso, ésta se ha descuidado y utilizado mal, lo cual ha conducido a su contaminación (Méndez y col., 1991).

En realidad, la contaminación del agua ha constituido un problema desde que el hombre se ha concentrado en ciudades, en la actualidad éste problema se ha acentuado como resultado del crecimiento exponencial de la población.

Las sociedades industriales utilizan enormes cantidades de agua, la mayor cantidad de ésta se emplea en la agricultura y en la industria y aproximadamente el 10 % con fines domésticos. Mientras la industria recicla el agua, la utilizada en la agricultura se emplea una sola vez, sea ésta residual o no, independiente del costo de cada una. Contemplando que el costo de agua blanca es cada vez mayor, se ha visto la necesidad de incrementar el uso de las aguas residuales con fines agrícolas, aunque paralelo al beneficio que éstas aportan, están los efectos negativos que originan en el suelo al acumularse concentraciones apreciables de metales pesados, boro y detergentes, los cuales afectan la cadena natural agua-suelo-planta (Méndez, 1982 y Méndez y Guajardo, 1988).

En México la superficie actual bajo riego con agua residual, es de 156,000 hectáreas, mediante 51 m³/s generado por las descargas de más de 30 localidades con más de 100,000 habitantes cada una, de los cuales cabe destacar por su importancia el D.D.R. 063, en el Valle del Mezquital, Hidalgo, donde actualmente se riegan unas 85,000 hectáreas con un caudal de 31 m³/s y para el año 2000 se calcula una superficie de 146,000 hectáreas (García, 1990).

La zona de estudio de acuerdo con García (1990), comprende gran parte del recorrido del Río Atoyac, pero la parte más importante donde se utilizan éstas aguas con fines de uso agrícola es el D.D.R., 030 en el estado de Puebla que irriga unas 2620 ha, en las cuales se ubica el área estudiada.

2. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Caracterizar las aguas del Río Atoyac desde el punto de vista químico y su uso en la agricultura, en el transecto Chiautla-Atlixco, Estado de Puebla.

OBJETIVOS PARTICULARES

- 1. Establecer las fuentes de contaminación del Río Atoyac.**
- 2. Cuantificar el estado actual de la contaminación por (Pb, Cr, Co, Cd, Ni, Fe, Cu, Mn y Zn), surfactantes, boro, grasas y aceites en las aguas del Río Atoyac.**
- 3. Con base en las características químicas y los niveles de contaminación del agua y de acuerdo con las Normas Técnicas Ecológicas establecidas por Sedue, recomendar el uso adecuado de las aguas del Río Atoyac.**

3. HIPOTESIS

El Río Atoyac se origina en las faldas de la Sierra Nevada, donde aproximadamente en el poblado de Guadalupe Zaragoza, sus aguas se utilizan con fines domésticos, pero al paso de Moyotzingo, San Martín Texmelucan y la Ciudad de Puebla, la calidad del agua se deteriora al integrarse las aguas residuales de las industrias, las cuales aportan diversos contaminantes, como son metales pesados, grasas-aceites, boro y detergentes, además de la contaminación aportada por las aguas de origen doméstico, siendo las primeras las más perjudiciales para la relación suelo-planta ya que las aguas domésticas incrementan la productividad con la materia orgánica y los nutrimentos que aportan al suelo.

4. ANTECEDENTES

4.1 BORO

El B se encuentra en mayor cantidad en rocas volcánicas que en rocas plutónicas de composición similar, pero existe una gran variación especialmente en las variedades más silíceas.

El desgaste de rocas que contienen boro origina boratos en solución, principalmente en forma de H_2BO_3 , y los compuestos que pueden ser formados con los iones comúnmente presentes en aguas superficiales son suficientemente solubles para permitir que gran parte de boro quede libre y pueda migrar.

Muchos otros minerales de B, se encuentran localmente en depósitos de contacto. El B también puede detectarse en algunos gases volcánicos, probablemente como H_2BO_3 , y en manantiales de agua caliente de algunas áreas volcánicas.

La mayor parte del boro presente en el suelo proviene de la turmalina, sin embargo, este mineral tiene poca importancia como fuente de abastecimiento de boro, debido a su insolubilidad en el agua y a su lenta descomposición.

El boro es el único elemento no metal entre los micronutrientes, tiene una valencia constante de 3^+ , es un elemento litófilo, se presenta siempre en la naturaleza en combinación con el oxígeno. Sus minerales de alta temperatura como la turmalina, son principalmente borosilicatos y boroanhidros y los minerales de baja temperatura, borohidruros.

La distribución del boro en la naturaleza es muy incierta, pero es mayor en rocas graníticas intrusivas y rocas metamórficas que en basaltos (Mortvedt, 1983). Hens (1985), reporta para las rocas ígneas un promedio de 7.5 ppm, pero entre los minerales más comunes de este tipo de rocas son las micas que contienen hasta 10 ppm.

Krauskopf (1983), reporta 10; 7-80; 15; 5; 20; 35 y 100 ppm, que corresponden a la corteza terrestre, suelo, granito, basalto, calizas, areniscas y esquistos, respectivamente. Encontrándose el boro en los minerales de arcilla, siendo más ricas en este elemento las arcillas de origen marino.

En el agua potable se encuentra en cantidades de décimas de mg/l, pero en el agua de riego frecuentemente se le detecta en concentraciones cercanas o mayores a 1 mg/l. Mientras en el agua de mar su abundancia es de 4.6 ppm. Pero los depósitos con fines comerciales son las evaporaciones de lagos salinos o de agua de mar. Estos depósitos generalmente se relacionan con zonas volcánicas activas o que estuvieron activas durante el Cenozoico, geoquímicamente en algunos minerales se encuentran hasta más de 2g/kg (Mortvedt, 1983).

La retención del boro por los minerales arcillosos y sesquióxidos, depende del pH, siendo mayor la adsorción en arcillas en el rango de 7.9 y la retención es mucho mayor en sesquióxidos que en los minerales arcillosos, siendo más efectivos los $Al(OH)_3$ que los $Fe(OH)_2$ (Mortvedt, 1983).

El contenido total de boro en los suelos fluctúa de 4.0 a 88.0 ppm, de las cuales son disponibles de 0.4 a 68.0 ppm.

La mayor parte del boro aprovechable para las plantas proviene de los sedimentos marinos o bien de la descomposición de materia orgánica.

El boro puede ser tomado por la planta en cualquiera de las siguientes formas aniónicas: $B_4O_7^{=}$, $H_2BO_3^-$, $HBO_3^{=}$ y $BO_3^{=}$. Sin embargo, la forma predominante en la solución del suelo es el $H_2BO_3^-$ (Mortvedt, 1983).

A pesar de que no son bien conocidas las funciones que desempeña el boro y aunque por los efectos que su deficiencia causa en las plantas, se infieren las siguientes funciones de manera general.

FUNCIONES DEL BORO EN LAS PLANTAS

1. Interviene en el metabolismo de los carbohidratos y en la síntesis de proteínas.
2. Activa la formación de nódulos en las leguminosas.
3. Regula la absorción de agua en las plantas.
4. Interviene en la respiración.
5. Mantiene al calcio soluble dentro de la planta.

Entre los factores que determinan la aprovechabilidad del B están:

- El contenido de materia orgánica y su velocidad de descomposición.
- El pH del suelo: a $> \text{pH} <$ aprovechabilidad del boro.
- El nivel de nitratos y potasio; las plantas muestran mayores exigencias de B, cuando las cantidades de estos elementos se encuentran en concentraciones normales y al presentarse deficien

cias de fosfatos.

-La textura, debido a que el boro es un elemento fácilmente lixiviable, se conserva mejor en suelos pesados de baja permeabilidad.

-Condición de humedad del suelo, bajo condiciones de sequía las deficiencias de B, se acentúan debido a:

- (a) reducción en la velocidad de descomposición de la M.O.
- (b) penetración de las raíces a capas profundas pobres en M.O.
- (c) aumento en la fijación de P y por tanto la exigencia de B se acentúa.

Cuando se agrega boro al suelo se debe tener cuidado de no emplear grandes dosis que causen altas toxicidades a los cultivos. Las toxicidades más frecuentes de boro se dan cuando se utilizan aguas de riego que contienen más de 2 ppm de B (Ortiz, 1963 y Núñez, 1988).

Las aguas de drenaje de las ciudades en general suelen contener dosis tóxicas de boro procedente principalmente de los detergentes. Pero con frecuencia las aguas utilizadas con fines de irrigación contienen ciertos elementos, algunos de ellos presentes en grandes cantidades, mientras otros en cantidades traza (en concentraciones menores a 100 mg/l).

Se ha investigado que la tolerancia del sistema suelo-planta a los elementos, tales como el Mn, Co, Zn, Ni, Cu y B, se incrementa conforme aumenta el pH del suelo, debido principalmente a la correlación que existe entre la capacidad del suelo para inactivar éstos iones y el valor del pH.

El contenido de metales tóxicos en suelos con valores mayores a pH 7 no ocasionan daños a los cultivos; mientras que, cuando el valor de pH es de 5.5 o menor, estos elementos son letales para la mayoría de las plantas (Fassbender, 1987).

El boro aunque es un elemento esencial para las plantas, estas lo requieren en pequeñas concentraciones, inclusive a nivel de trazas; ya que dependiendo de la especie que se trate, éste elemento puede ser tóxico en cantidades por arriba de 0.5 ppm, mientras las plantas tolerantes según la especie, soportan hasta 4.0 ppm de B (Water Quality Criteria, 1972).

LIMITES PERMISIBLES DE BORO PARA VARIOS TIPOS DE AGUAS

DE RIEGO.

CLASE DE AGUA	Sensible		Semitolerante		Tolerante	
	p.p.m.		p.p.m.		p.p.m.	
Excelente	menor de 0.33		menor de 0.67		menor de 1.00	
Buena	0.33	0.67	0.67	1.33	1.00	2.00
Permisible	.67	1.00	1.33	2.00	2.00	3.00
Dudosa	1.00	1.25	2.00	2.50	3.00	3.75
Inadecuada	mayor de 1.25		mayor de 2.50		mayor de 3.75	

Tabla 1. Límites permisibles de boro en varios tipos de aguas con fines de riego, según Richards, (1987).

Muchos elementos a bajas concentraciones son esenciales para el desarrollo de la vida, pero cuando sobrepasan los límites de tolerancia específicos son tóxicos para los individuos que los ingieren .

Varios de estos elementos en el ambiente se presentan en diferentes estados químicos, ya sea como elementos puros o como compuestos orgánicos e inorgánicos reaccionando cada uno de ellos en forma diferente dentro del cuerpo humano. Por otro lado, el peligro de retención dentro del organismo y en los diferentes órganos del cuerpo en los que tienden a acumularse los elementos traza influyen en el grado de toxicidad (Water Quality Criteria, 1971).

IMPORTANCIA DEL BORO EN LA NUTRICION

Aunque el boro es esencial en la nutrición humana, cuando este elemento se encuentra presente en los alimentos o en el agua, es rápida y completamente absorbido por el cuerpo humano y es excretado en la orina.

Los síntomas que ocasiona la excesiva ingestión de boratos son: náuseas, calambres, convulsiones y coma, entre otros.

El boro presente en el agua para consumo humano en concentraciones hasta de 30 mg/l no ha causado efectos adversos en la salud del hombre, sin embargo se ha encontrado que concentraciones superiores a ésta pueden interferir en la digestión por la acción conservadora que tiene sobre los alimentos (Water Quality Criteria, 1971).

Los metales traza pueden llegar a las fuentes de abastecimiento de agua doméstica, a causa de procesos naturales o de las dife-

rentes actividades humanas.

Los dos procesos naturales que más contribuyen a incrementar el contenido de metales traza en los cuerpos acuáticos, son el desgaste químico de las rocas por la acción atmosférica y la lixiviación de los suelos; entre los factores que implican la liberación de éstos está la solubilidad, el pH, la hidratación, la dispersión coloidal y la formación de complejos.

Por otro lado la vegetación marchita puede afectar la concentración de los metales en el agua, debido a que en estado de putrefacción de las plantas los metales contenidos en éstas pueden estar disponibles; los metales pueden alcanzar los cuerpos de aguas subterráneas a través de la infiltración de agua de lluvia, también por medio de los escurrimientos se transportan las partículas del suelo hacia los cuerpos de aguas superficiales, conteniendo los metales traza.

Las contribuciones por parte del hombre, se dan principalmente por medio de las actividades como la minería y las descargas de aguas residuales industriales incrementando el contenido de los metales en los cuerpos de agua.

En el agua que se utiliza con fines pecuarios, existen sustancias que se encuentran disueltas o suspendidas, que pueden resultar tóxicas para el ganado. Su toxicidad depende de varios factores como la edad, el sexo, la especie y las condiciones fisiológicas de los animales; el consumo diario de agua; el tipo de dieta y su composición, entre otros.

Se menciona, que no existen evidencias de que el boro sea necesario para el ganado. Sin embargo, se ha reportado que la dosis

letal del ácido bórico varia de 1.2 a 3.45 g por cada Kg de peso en pie, dependiendo de la especie que lo ingiere (SARH, DGPOE, 1980).

FUNCIONES DEL BORO EN EL METABOLISMO VEGETAL

Debido a que el boro es relativamente inmóvil en las plantas, la división celular y/o el desarrollo son una posibilidad temprana de deficiencia de B. Por ejemplo, la elongación de las puntas de la raíz de tomate, es detenida dentro de las seis horas después de transferir las plantas intactas a una solución nutritiva libre de boro.

Debido a que la reducción característica de la elongación observada en raíces deficientes en B puede ser simulada por niveles supraóptimos de AIA (Acido indolacético); Mortvedt (1983), cita que algunos autores han considerado que probablemente el B está involucrado en el metabolismo de las auxinas.

Otros investigadores han intentado implicar al B en la síntesis de ácidos nucleicos, y han concluido que las diferencias encontradas por análisis de secciones sucesivas a distancias incrementadas de las puntas de la raíz, son mejor interpretadas como resultado de la maduración cercana a la punta de la raíz de raíces deficientes en B.

Varios investigadores rusos han continuado la exploración de las posibles relaciones del boro con la síntesis de ácidos nucleicos, proteínas y utilización de fosfato. Ellos utilizaron aminoácidos marcados y han encontrado una incorporación disminuida del marcador dentro de la proteína en raíces deficientes en B, pero más

evidente en el ARN_o de las raíces con deficiencia de este elemento. Con los resultados obtenidos observaron en ribosomas aislados, que existe una incorporación disminuida de aminoácidos en las proteínas, así como diferencias en los patrones de sedimentación.

Con mitocondrias de tejidos deficientes en boro, otro autor reportó una actividad incrementada de ATP_{asa} y una disminución en la relación Fósforo-Oxígeno.

Aunque el B tiene un papel único en el metabolismo, también se puede definir a través de estudios comparativos de nutrición de organismos. Algunos investigadores han contribuido a esta área mediante el examen de los requerimientos de boro en plantas inferiores.

Se ha demostrado que un requerimiento de B es esencial para cierto número de algas diatómeas marinas. Sin embargo, se ha encontrado que el B no es esencial para cierto tipo de algas como *Scenedesmus*, dentro de los límites analíticos utilizados para la detección de B en las células y en el medio.

Con relación a las plantas superiores, se ha demostrado que el boro se transloca fácilmente en el xilema, pero al llegar a las hojas pierde movilidad. Una hoja en particular puede contener suficiente boro o exceso del mismo, sin embargo, una hoja en el mismo tallo puede presentar deficiencias. Se ha descrito la inmovilidad del boro en las hojas en términos de movimientos cíclicos localizados que provienen del escape y transporte de este metal a grandes distancias.

Por otro lado, la movilidad del boro en concentraciones bajas aplicadas en un genotipo mutante (adecuado para plantas normales)

se observo que estas tomaron fácilmente el B dentro de la raíz, pero eran incapaces de translocarlo hacia las hojas.

CONTENIDO DE BORO EN LAS PLANTAS

El contenido de boro presente en la planta, está en función de la cantidad disponible en el suelo y de la capacidad de la planta para absorber tal elemento en cualquier tiempo determinado. Así las plantas monocotiledóneas contienen menos B que las dicotiledóneas.

Por otro lado la deficiencia ocurre en una amplia variedad de plantas cuando el nivel de B es menor de 15 ppm en la materia seca. Niveles adecuados pero no excesivos ocurren de 20 a 100 ppm de B. La toxicidad se presenta normalmente cuando el nivel de la planta excede 200 ppm de B, aunque las toxicidades pueden presentarse a niveles mas bajos en aquellas plantas que son muy sensibles a este elemento (Jones, 1964).

BORO EXTRACTABLE

Se han sido utilizado muchos métodos para determinar el nivel de B disponible en el suelo, sin embargo, el más ampliamente aceptado es el de Berger y Truog (1939), que consiste en una extracción con agua caliente. Aunque actualmente se han incluido algunos cambios, pero el procedimiento básico sigue siendo el mismo. En el que el B es extraído manteniendo una suspensión 1:2 suelo/agua a ebullición por 5 minutos y filtrado después.

Uno de los cambios a esta técnica, fue la adición de ácidos diluidos, con los cuales se proporciona una recuperación completa

de B. Sin embargo, en suelos calcáreos no daba una buena correlación con las indicaciones del estado del B en la planta.

Utilizando esta técnica, se determinaron niveles críticos de boro en suelos para cultivo de betabel, los cuales fueron de 0.75 ppm. Por otro lado utilizando leguminosas, se observó que si los suelos contenían menos de 0.15 ppm de B la planta podría responder al borax.

En relación a suelos podzólicos rojos y amarillos de textura gruesa, el nivel crítico fué de 0.15 ppm de B.

Utilizando el cultivo de alfalfa creciendo sobre un suelo de textura gruesa se observó, que la planta tenía una mayor captación de B por unidad de B soluble en agua caliente en el suelo, en comparación con un suelo de textura fina, utilizando las mismas plantas (Rogers, 1947).

Por otro lado, en relación con el pH, se ha reportado que a medida que el pH se incrementa de 5 a 7, menos B está disponible a un cierto nivel de B soluble en agua caliente. Sin embargo, se observó que una mayor captación de B ocurría a medida que el pH del suelo se incrementaba. Y se consideró el pH como más indicativo de la captación que el B soluble en agua caliente.

Uno de los factores que puede influir en el aprovechamiento de los micronutrientes por las plantas es la movilidad de éstos en el suelo. Es importante que los micronutrientes sean localizados en el suelo para una óptima disponibilidad para las plantas, debido a que éstos son normalmente aplicados a tasas muy bajas.

4.2. DETERGENTES

La palabra detergente deriva del latín "detergere" que significa limpieza, por lo que en general en este sentido, cualquier sustancia capaz de limpiar podría definirse como tal y confundirse con un jabón.

Los jabones son sales que se obtienen como resultado de la reacción de grasas de origen animal y vegetal con soluciones concentradas de hidróxido de sodio formando glicerol y iones orgánicos denominados carboxilatos; o sea que los jabones se obtienen de la saponificación de los ácidos grasos. Mientras los detergentes son compuestos sintéticos ramificados derivados de las moléculas del polipropileno, estructuralmente los detergentes presentan una cadena polar alifática hidrofílica que se orienta hacia el agua y un anillo aromático caracterizado por ser hidrofóbico que se orienta fuera del agua. A ésta característica de las moléculas de los detergentes se deben sus propiedades (Méndez, 1982).

Otra propiedad de los agentes surfactantes es que abaten la tensión superficial conocida como acción humectante; presentan también una acción dispersante, ya que separa y desintegra las partículas de grasa; por último presentan una acción emulsificante incorporando las partículas de grasa en el agua (Méndez, 1990).

Una de las principales diferencias entre los jabones y los detergentes, es que los jabones forman precipitados insolubles con los metales alcalino-térreos, calcio y magnesio de las aguas duras; mientras los detergentes no presentan éste problema, por lo cual se ha incrementado su uso, aunque los jabones se degradan con

facilidad y su uso se remonta a la época de los Egipcios; pero industrialmente su fabricación data del descubrimiento del hidróxido de Sodio (1787) compuesto básico en la formulación de los jabones.

EVOLUCION DE LOS DETERGENTES

Un poco antes de la Segunda Guerra Mundial salió al mercado un producto nuevo llamado "DREFT" considerado como el primer detergente en polvo introducido en los E.U.; posteriormente la escasez de alimentos durante la Guerra, las grasas y los aceites se utilizaron principalmente en la alimentación, por lo que la escasez de grasas y aceites en la industria del jabón los llevó a la investigación de los detergentes sintéticos del tipo Alquil-Aril-Sulfato (Méndez, 1982; Carbajal, 1970 y Díaz, 1981).

El primer detergente de ese tipo fué el Sulfonato de Alquil-Tolueno, el cual desapareció rápidamente por ser muy higroscópico. Fué sustituido por los Sulfatos de Alquil-Benceno (A.B.S.) sintetizado a partir del tetrapropileno. Paralelamente se usaron los polifosfatos como formadores, los cuales mejoraron las características de los detergentes en polvo fino. Esto permitió que en la década de los cincuentas fueran reemplazados en gran medida, los jabones por los detergentes no jabonosos o sintéticos (Carbajal, 1970 y Layman, 1984).

En pocos años el cambio fué completo a excepción de los jabones de barra. Y el A.B.S. se transformó rápidamente en el detergente de mayor demanda en Europa, E.U., Japón y todo el mundo.

El hecho de que los jabones hayan sido desplazados en una sola época se debe a los siguientes factores:

1. La inestabilidad de los jabones hacia las aguas duras, donde éstas forman sales insolubles con el Ca^{2+} , Mg^{2+} y en menor cantidad con el Fe^{3+} .
2. Su inestabilidad en presencia de ácidos y metales pesados.
3. Los detergentes se conseguían a menor precio.
4. Mayor eficiencia.

En los primeros años de la década de los sesentas empezaron a hacerse visibles los primeros problemas de los detergentes, con la presencia de espumas desagradables en las aguas de desechos residuales tratadas y en los cuerpos receptores.

Este problema procedía fundamentalmente del surfactante A.B.S. derivado del tetrapropileno que contiene componentes resistentes al ataque microbiano, por lo que se buscó un sustituto. Así en 1956 se empezó a producir un detergente a partir de una molécula biodegradable, cuyos residuos eran inofensivos en el medio y no formaban espumas, el Alquil Lineal Bencen Sulfonato (L.A.S.). Este producto como cualquier producto nuevo que sale al mercado, era más barato, y sin problemas de degradación, prácticamente. Por lo que los fabricantes de los E.U., Europa y Japón voluntariamente suspendieron la producción de A.B.S. por la formulación del nuevo producto. Contribuyendo para este cambio algunas legislaciones y para 1965 el cambio fué casi completo.

En la actualidad a más de 40 años del uso de los detergentes, continúa su evolución y nuevos productos han salido al mercado, pero fundamentalmente lo único que se les ha venido agregando a los surfactantes son nuevos aditivos, enzimas, y abrillantadores, etc.

Recientemente, algunos países han tenido fuertes problemas de

contaminación por lo que, han producido un nuevo detergente con menores problemas de degradación que el L.A.S. llamado detergente técnico Alquil Olefin Sulfonato (A.O.S.), su se ha restringido casi al Japón (Méndez, 1970).

USOS DE LOS DETERGENTES

- a) Limpieza (domésticos)
- b) Manufactura de productos

Los detergentes domésticos son del tipo aniónico, los catiónicos se emplean principalmente como limpiadores, desinfectantes y suavizantes, en la industria éstos han superado la producción de los detergentes domésticos.

IMPORTANCIA

La industria de los detergentes es una de las más importantes a nivel mundial. Pues tan sólo en los E.U. en 1970, las ventas fueron de 2.5 millones de toneladas, colocándose como uno de los productos químicos de mayor demanda, como se observa la tendencia de su producción en este país.

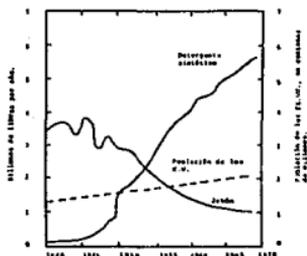


Figura 1. Historial de las ventas de Japón y detergentes de "Compañía de Investigación y Desarrollo más Polimeros", de S. J. Dirección de Investigación y Desarrollo, Agencia, maili volúme 1979-11-19, Número de 1971, pág. 16.

Los datos sobre la producción mundial de detergentes en los países desarrollados de 1975-1984 son alarmantes, pues la suma que se espera alcanzar para 1994 es del orden de las 40 millones de toneladas, siendo los detergentes aniónicos los más importantes.

Para una industria tan compleja como es la de los detergentes sintéticos y jabones, se espera que exista una gran cantidad de compañías fabricantes, sin embargo, las más importantes son:

1. Procter and Gamble de Cincinnati
2. London Based Unilever New York
3. City Based Colgate Palmolive
4. Henkel of Dusseldorf de Alemania Occidental

Los que abastecen de materias primas a estos fabricantes son pocos, ya sea de origen local o regional, pero principalmente de origen nacional. En el caso de México el único abastecedor es Pemex (Méndez, 1990).

PANDRAMA NACIONAL

A casi tres décadas de que se suprimieron los detergentes del tipo A.B.S. por el de tipo L.A.S. en los países desarrollados, en nuestro país se siguen utilizando los del tipo A.B.S. Siendo el principal productor de la materia prima (base para la producción de ABS) de los detergentes, Pemex, con dos plantas productoras de dodecíl-benceno (D.D.B.) con una producción de 56,000 toneladas anuales.

Esta cifra se sostuvo desde 1963-1970 incrementándose en los últimos 20 años.

El dodecíl-benceno (D.D.B) es un derivado del cloruro de poli

propileno y se vende a compañías privadas, el cual se transforma de D.D.B a Sulfonato de Alquil Benceno (A.B.S.), utilizándose este producto en más del 90 % como base para la elaboración de productos de limpieza en México.

COMPOSICION

La formulación de los detergentes, contienen entre un 25-30 % de surfactante (producto activo; A.B.S. y Agente tensoactivo), que disminuye la tensión superficial y la fuerza adhesiva de las partículas de grasa. Presentan compuestos complementarios entre un 75 % como son:

Compuestos alcalinos, que actúan como saponificadores con propiedades bactericidas; y son sales alcalinas de ácidos débiles, hidróxido de sodio o de potasio.

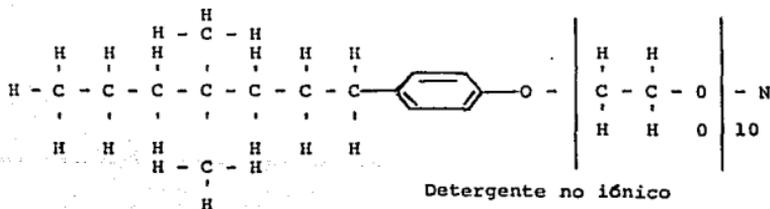
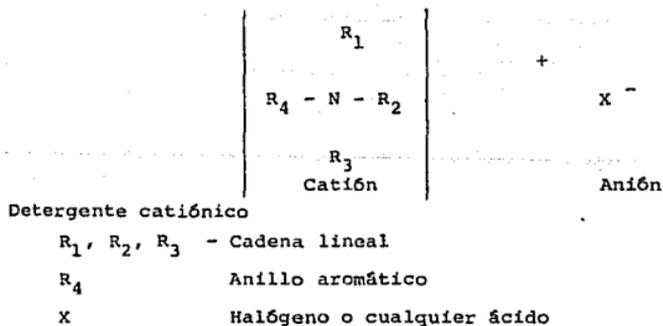
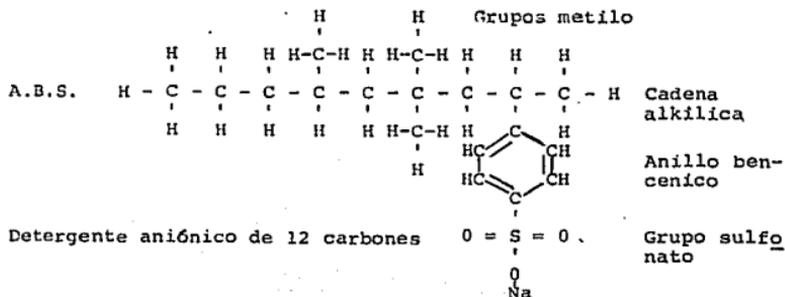
Aditivos, principalmente fosfatos como el fosfato trisódico, tripolifosfato de sodio, carbonato de sodio y bicarbonato de sodio, entre otros. Estos compuestos tienen efectos sinérgicos con los demás elementos, además actúan como suavizadores del agua, presentan la propiedad de flocular y emulsionar la grasa, eliminan los iones de calcio y magnesio formando complejos solubles fáciles de eliminar.

Presentan además en menor proporción productos o componentes auxiliares; como blanqueadores ópticos, colorantes fluorescentes y abrasivos.

Los surfactantes son constituyentes importantes de los detergentes que se definen como solutos que alteran las propiedades superficiales o de interface de las soluciones por sus propiedades

de humedecimiento, dispersión y emulsificación sobre la dureza de las aguas duras.

Los detergentes de acuerdo con su disolución electrolítica y dependiendo de la naturaleza del grupo polar se clasifican en: Aniónicos, Catiónicos y No iónicos.



Los surfactantes más importantes por su uso son los aniónicos; por su bajo costo, fácil formulación y producción. Son derivados de una mezcla de polímeros del polipropileno, debido a su configuración molecular altamente ramificada, presenta varios isómeros (30,000). Y dependiendo de la posición del anillo aromático en la cadena alquílica de átomos de carbono los surfactantes pueden ser primarios, secundarios, terciarios, cuaternarios, etc. A este tipo de detergentes pertenecen el A.B.S., L.A.S. Y A.O.S..

La diferencia entre los dos primeros es el tipo de cadena, el A.B.S. es ramificado y el L.A.S. es lineal razón, por la cual es más fácilmente biodegradable y el A.O.S se diferencia de los demás por su configuración molecular.

Los surfactantes catiónicos son compuestos cuaternarios de amonio con propiedades principalmente antimicrobianas. Su uso no es muy común.

Los detergentes no-iónicos, resultan de la polimerización de un gran número de moléculas de óxido de etileno con una sustancia con un hidrógeno activo. El producto resultante reacciona con ácidos grasos, alcoholes grasos, alquilfenoles y aminas grasas. La desventaja de este tipo de detergentes es la poca formación de espuma (Mendez, 1982).

EFFECTIVIDAD DE LOS SURFACTANTES

La efectividad de los detergentes se debe al balance entre los grupos activos de los detergentes, que son el hidrofóbico y el hidrofílico. Donde la posición del grupo hidrofílico se orienta hacia adentro del agua y el grupo hidrofóbico se orienta fuera del

agua. Posteriormente para eliminar las partículas de grasa; donde el grupo hidrofóbico del surfactante bloquea las partículas de grasa, separándolas de la superficie del agua; el grupo hidrofílico actúa por último como emulsificante haciendo que las partículas permanezcan en suspensión y luego ser eliminada (Méndez, 1982).

DETERGENTES "Categorías"

Existen fundamentalmente 2 categorías

1. Detergentes jabonosos.

- a) Jabones de uso casero "baño".
- b) Jabón en polvo.
- c) Jabón en escamas
- d) Jabones duros especiales y en polvo para uso industrial.

Estos se elaboran básicamente a partir de lípidos animales, grasas o aceites vegetales más un álcali (sosa caústica).

2. Detergentes no jabonosos o sintéticos.

Esta categoría es más importante y comprende:

- a) Líquidos para ropa y trastos de uso doméstico, su función es semejante a la de los detergentes jabonosos, pero sus ingredientes son distintos.
- b) Detergentes en polvo.

3. Detergentes biológicos: se forman de una mezcla de detergentes sintéticos comunes más una enzima proteolítica producto de la bacteria *Bacillus subtilis*, que en condiciones favorables de temperatura y humedad desintegra las grasas y las proteínas a la cual se debe su eficacia.

CARACTERISTICAS DE UN BUEN DETERGENTE

Un buen detergente debe poseer cuatro características:

- a. Solubilidad en el agua.
- b. Acción humectante; que permita que la solución acuosa penetre capilarmente por el abatimiento de la tensión superficial.
- c. Acción dispersante; que rompa o separe las partículas aglomeradas.
- d. Acción emulsificante; que permita que las partículas de grasa o aceite queden suspendidas en el agua sin aglomerarse (Méndez, 1982; Méndez y Guajardo, 1988; Méndez y col. 1990 y Méndez y Col., 1991).

BIODEGRADACION DE LOS DETERGENTES (A.B.S., L.A.S., A.O.S.)

La biodegradación se interpreta como los mecanismos por medio de los cuales los detergentes son degradados por medio de procesos biológicos donde participan las bacterias. Swisher (1963), demostró que la biodegradación de los detergentes depende, de la longitud de la cadena del surfactante, número y posición de las ramificaciones así como la posición del grupo aromático y grupo sulfonato.

Degradación, es el proceso por medio del cual la estructura molecular de los detergentes es degradada. Esta depende fundamentalmente de la longitud del grupo hidrofóbico, de la naturaleza del grupo hidrofílico y de su posición en la cadena.

La mayoría de los investigadores que se han dedicado a la investigación de la biodegradación de los detergentes; entre los que se encuentran Bogán y Col. (1954) y Pitter (1966), afirman que la

molécula de A.B.S. no es biodegradable, mientras que el L.A.S. sí lo es. Estos autores, coinciden que la resistencia del A.B.S. a la biodegradación está dada por las propiedades de la molécula del polipropileno del cual se deriva.

La biodegradación de los detergentes comprende varios procesos; entre los primeros está la Beta Oxidación, que es el mecanismo mediante el cual los microorganismos degradan los ácidos grasos. En esta reacción ocurre una serie de oxidaciones de los carbonos, de las cuales se obtienen la energía necesaria para el proceso biológico; durante estos procesos los microorganismos producen las enzimas necesarias para acelerar las distintas reacciones eliminando los átomos de carbono e hidrógeno terminales de la cadena. Este proceso se repite varias veces hasta terminar con la cadena, cuando se trata de una molécula surfactante lineal; mientras que cuando se trata de un detergente ramificado de tipo A.B.S. primero se degradan las ramificaciones empezando por los extremos de la cadena, luego el grupo sulfonato, seguido por el aromático y por último la cadena lineal.

Otro mecanismo de biodegradación de los detergentes es la Omega Oxidación, mediante la cual las bacterias inician oxidando los grupos metilos terminales mediante la adición de oxígeno molecular a los hidrocarburos, los cuales son catalizados por oxigenasas.

Otro proceso importante dentro de la biodegradación de los surfactantes, es la Metil Oxigenación; donde el grupo terminal de un detergente es oxidado, obteniéndose un grupo carboxilo y posteriormente se efectúa la Beta Oxidación.

Otro tipo de degradación es la Oxidación Diterminal, ésta ocurre

re cuando la Beta Oxidación es muy lenta o cuando la Omega Oxidación es muy rápida y el ataque es simultáneo en ambos extremos de la cadena, cuando se trata de cadenas lineales (L.A.S.), pero cuando se trata de cadenas ramificadas de tipo A.B.S., primero se degradan los grupos metilo, los grupos benceno, los grupos sulfonato y por último el ataque simultáneo de los extremos de la cadena.

La biodegradación tanto de los jabones como del A.O.S. comprende una Beta Oxidación simple (Méndez, 1982).

EFFECTOS DE LOS DETERGENTES EN LOS ORGANISMOS.

Lenke and Mount (1963), demostraron en bioensayos de distinta duración que los detergentes del tipo A.B.S. en concentraciones superiores a 3.0 ppm afectan principalmente a la fauna acuática, sobre todo a los peces. Pickering and Thacher (1970), sometieron en varios experimentos al pez *Pimephales promelas* a varias dosis de L.A.S. a nivel de acuario, encontrando que las concentraciones de surfactante por arriba de 4.2 ppm afectaban en un 15 % la sobrevivencia y en un 100 % al aplicar 10 ppm.

Por otro lado, Swisher y Col. (1964), han experimentado ampliamente varias concentraciones de L.A.S. en truchas de río y concluyeron que niveles por encima de 3.0 ppm afectan relativamente a éstos organismos.

Otras de las especies acuáticas que son afectadas por los detergentes son las Daphnias, camarones y acociles, entre otras especies de menor importancia económica (Méndez, 1982).

Klein (1962), demostró en cultivos hidropónicos que los surfactantes de tipo A.B.S. en concentraciones de 10 ppm inhiben el

crecimiento de los vegetales en un 70 % a nivel hidropónico y en un 100 ppm al aplicarles 40 ppm del surfactante, acumulándose éste fundamentalmente en tallos, hojas y raíz. Sin embargo, este autor comenta, que al realizar los experimentos en el suelo no ocurre lo mismo, ya que el suelo retiene significativamente los detergentes, por lo que los efectos de éstos en las plantas depende también del tipo de planta de que se trate. Ya que las plantas de girasol en concentraciones de 10 ppm se ven afectadas, observándose una marcada clorosis y un retardo en el crecimiento; sin embargo al experimentar con cebada a la misma concentración, ésta no se ve afectada y si se aumenta la dosis de detergente hasta 20 ppm el crecimiento aumenta notablemente.

En México se han realizado varias investigaciones sobre el efecto de los detergentes en la agricultura, pero los resultados no han sido claros, ya que Rivera (1970), trabajó en invernadero con alfalfa, avena, cebada, frijol, jitomate, lechuga y zanahoria, aplicando dosis de 10, 30, 50 y 70 ppm de A.B.S. y no encontró efectos negativos en ningún cultivo, sino al contrario estimuló el crecimiento y el rendimiento en la lechuga a 30 ppm y en el suelo disminuyó la tensión superficial en la mayoría de los tratamientos, disminuyó también la nitrificación.

Juárez (1971), en experimentos a nivel de invernadero comprobó que el A.B.S. es tóxico para el frijol a una concentración de 40 ppm. A diferencia de lo anterior cuando se agregan 20 ppm de A.B.S. la lechuga se vió estimulada en su crecimiento.

Méndez y Col. (1991), probaron experimentalmente a nivel de invernadero dosificaciones de A.B.S. de 0, 10, 20, 30, 40 y 50 ppm

en alfalfa, lechuga y cebada en tres suelos distintos (arenoso, franco y arcilloso) y los efectos del surfactante en las distintas especies utilizadas, estadísticamente no fueron significativos en ninguna de las dosis empleadas, por lo que concluyeron que deben probarse dosis superiores a 50 ppm y con plantas sensibles.

Se han realizado experimentos tendientes a demostrar los efectos de los detergentes en los suelos y en este aspecto, se tienen resultados contundentes que demuestran los efectos negativos de los surfactantes en las propiedades físicas, químicas y biológicas.

Robeck (1963), demostró que los suelos con altos porcentajes de materia orgánica retienen mayores cantidades de surfactantes, originando con ello una reducción en la permeabilidad, disminuye además la Capacidad de Intercambio Catiónico Total, la Demanda Química de Oxígeno y reduce el número de bacterias tanto coliformes como nitrificantes. Por otro lado, Krishna (1966), menciona que la materia orgánica y los compuestos de Fe y Al son los principales factores que determinan la adsorción del L.A.S. Este autor menciona que los detergentes a bajas concentraciones estimulan el crecimiento del maíz, frijol, chicharo, cebada y alfalfa.

4.3 METALES PESADOS

4.3.1 HIERRO

Es uno de los elementos metálicos más abundantes de la corteza terrestre (5.6 %). Según Krauskopf (1983), es el elemento más abundante en el planeta como tal y el cuarto en las rocas de la corteza terrestre.

El contenido de Fe en las diferentes rocas depende del grado de acidez (rocas ígneas), de su origen y procesos de transformación (rocas sedimentarias). Se presenta en mayor proporción en las rocas ígneas.

Por otro lado, el Fe que se encuentra en aguas utilizadas para la irrigación no ocasiona efectos tóxicos a las plantas, ya que en suelos aerados a valores de pH neutro, es un elemento muy soluble.

Los problemas que se presentan en las aguas con altos contenidos de sales solubles de Fe, es contribuir a la acidez del suelo, y con ello el hierro precipitado contribuye a la fijación de otros elementos presentes en el suelo esenciales para las plantas, tales como el P y Mo (Water Quality Criteria, 1972).

El contenido de Fe en los suelos oscila de 10,000 a 100,000 ppm. Presentándose en el suelo de las siguientes formas:

-estructural o relacionado a los minerales primarios y secundarios.

- precipitado en forma de óxidos e hidróxidos de Fe.
- incorporado a la M.O. formando quelatos.
- absorbido a los coloides del suelo y en forma soluble presente en la solución del suelo.

El Fe es absorbido por las raíces de las plantas en forma iónica o como sales orgánicas complejas. Aunque el ión férrico puede ser absorbido por la planta, la forma activa metabólicamente parece ser el ión ferroso (Fe^{++}).

De acuerdo con Leeper (1978), uno de los principales problemas del Fe contenido en el suelo está relacionado con su agotamiento por medio de las plantas, pues éstas requieren cuando mucho 100 g por día para su desarrollo y el suelo, alrededor de la planta, contiene 10 toneladas de este metal.

FUNCIONES EN LA PLANTA

La importancia del Fe se relaciona con 2 hechos relevantes: el Fe es parte del sitio activo de muchas enzimas oxido-reductoras importantes y es esencial para la formación de la clorofila, aunque no forma parte de la molécula. Su participación en proteínas Hemo (citocromo y citocromo oxidasa) de la cadena respiratoria de electrones. Además puede estar involucrado en lípidos lamelares del núcleo, cloroplastos y mitocondrias y parece requerirse en la síntesis de proteína de membrana.

FACTORES QUE AFECTAN LA RESPUESTA DE LA PLANTA

Efecto del pH del suelo.

Brown (1961), establece que posiblemente 1/3 de la tierra cul

tivable en el mundo es de tipo calcáreo, lo que implica alteraciones causadas por el Fe. Gran parte de este tipo de suelo se encuentra en zonas áridas y aunque se hacen esfuerzos para que este tipo de suelo sea productivo mediante irrigación, una de las consecuencias es la clorosis por Fe.

Normalmente se asocia la deficiencia de Fe con la alcalinidad del suelo.

Aireación del suelo.

Bajo condiciones de aireación deficiente, como son los suelos compactados o inundados, el Fe se encuentra principalmente en forma ferrosa soluble, aunque algo puede precipitarse en forma de sulfuros.

Materia Orgánica

La descomposición de la M.O. o bien una cubierta vegetal densa en el suelo reduce las deficiencias de Fe debido probablemente a la reducción de CO_2 que abate el pH en la vecindad de las raíces.

INTERACCION CON OTROS NUTRIENTES

Según Lucas y Knezek (1983), se ha reportado que los excesos de P, Zn, Mn, Cu y Mo incrementan la deficiencia de Fe. Mientras, las deficiencias de K o de Zn pueden causar una acumulación de Fe en los nudos del tallo de maíz.

CORRECCION DE DEFICIENCIAS

Las condiciones de deficiencias de Fe se encuentran frecuentemente en suelos calcáreos, aunque esta condición existe también en

suelos ácidos. Diversas fuentes han reportado que frijol, maíz, sorgo, frutales, pastos entre ellos Berauda, azul y sudán, leguminosas, arroz, tomate y diversos vegetales han sufrido síntomas de deficiencia de Fe en el campo y han respondido satisfactoriamente a las aplicaciones de Fe.

EFFECTOS TOXICOS

La rápida conversión de Fe aplicado, especialmente el adicionado al suelo, a compuestos insolubles no disponible sugiere que existe poca posibilidad de problemas de toxicidad de Fe. Algunos suelos contienen Fe con un exceso del 5 % sin que ocurran problemas de toxicidad aparente (Mortvedt, 1983).

HIERRO EN EL METABOLISMO HUMANO

La prioridad dentro del cuerpo para el suplemento de Fe en la dieta aparentemente está dada por los citocromos y otras enzimas esenciales para el metabolismo celular y para la mioglobina que es necesaria para el funcionamiento de los músculos, incluyendo el cardíaco. Así el primer signo de deficiencia de Fe es la anemia microcítica hipocrónica causada por insuficiencia de Fe para la formación normal de hemoglobina (Moore y Dubach, 1962).

Absorción y excreción de hierro en el hombre, este elemento se encuentra del orden de 4 a 5 g, donde la excreción es casi nula. Se han reportado excreciones urinarias de únicamente 0.1 a 0.3 mg de Fe/día. La cantidad de Fe eliminada diariamente en las heces de adultos humanos normales es variable y depende fundamentalmente de la cantidad ingerida.

Debido a la insignificante pérdida de Fe bajo condiciones normales, el cuerpo tiene mecanismos reguladores ingeniosos para la prevención de absorción de Fe (Barer y Fowler, 1937).

HIERRO EN LA NUTRICION ANIMAL

Además de que el Fe es un elemento esencial para el desarrollo de la vida animal, tiene un nivel bajo de toxicidad. Por ejemplo, se ha reportado que consumos de 3000 mg de Fe por Kg de alimento, no ocasiona efectos adversos a los animales que lo ingieren. Sin embargo, se encontró que 600 mg de Fe por Kg de peso del animal (en forma de sales solubles) suministrado por medio de tubos estomacales a puercos muy jóvenes, les ocasionó la muerte en un intervalo de seis horas.

Por otro lado, se encontró que 9000 mg de sales de Fe/Kg de alimento consumido por pollos les ocasionaba la deficiencia de fósforo, lo cual se eliminaba cuando se añadían fosfatos a los alimentos de estos animales (Water Quality Criteria, 1972).

4.3.2 COBRE

El Cu está presente en forma mineral en la corteza terrestre, en una concentración de 55 ppm.

Los compuestos gaseosos de Cu son conocidos únicamente en emanaciones volcánicas de alta temperatura, en las que algunas veces se han reportado trazas de CuCl y Cu_2Cl_2 que son ligeramente volátiles (Naboko y Murata, 1960).

Las concentraciones máximas de Cu encontradas en cuerpos de agua (ríos, lagos y lagunas), en E.U. fueron de 0.28 mg/l y 0.015

mg/l en promedio. Cuando el Cu contenido en cuerpos de agua sobrepasa estos niveles, se puede sospechar que existen fuentes de descargas de aguas utilizadas en procesos industriales o en minas (Water Quality Criteria, 1972).

Las sales de Cu son muy solubles en aguas con valores de pH bajos, pero, en aguas alcalinas, el Cu se hidroliza y posiblemente se precipita. En aguas naturales con valores comunes de pH conteniendo CO_2 , el Cu se puede precipitar como carbonato (Drinking Water and Health, 1977).

Por otro lado, el contenido de Cu en los suelos fluctúa de 10 a 80 ppm, en el cual probablemente está presente como Cu^{2+} adsorbido y en solución en el suelo como ión y formas complejas.

El Cu es absorbido en forma Cu^{2+} ; es requerido en muy bajas dosis y si hay cantidades altas de Cu aprovechable causa fuertes toxicidades a las plantas.

FUNCIONES EN LA PLANTA

El Cu es constituyente de varias enzimas de oxidación como la polifenol-oxidasa y ácido ascórbico-oxidasa. Junto con el hierro, el Cu es activador de las enzimas nitrito-reductasa e hiponitrito reductasa. Parece que el Cu también tiene participación en la síntesis de clorofila y de proteínas.

La deficiencia de Cu en las plantas se manifiesta en formas variables según la especie; por ejemplo, en jitomate las hojas del extremo apical toman un color verde azulado; en cítricos, el resto de la planta permanece de un color verde a veces más intenso del normal, mientras que en girasol y tabaco hay un amarillamiento de

las partes más jóvenes de la planta (Núñez y Laird, 1966).

FACTORES QUE AFECTAN LA RESPUESTA DE LA PLANTA

Reservas del Suelo.

Las suficiencias de Cu son fáciles de predecirse, basándose en las cantidades totales en el suelo. Para plantas que responden, el Cu total debería exceder de 4 a 6 ppm para suelos minerales y de 20 a 30 ppm para suelos orgánicos (Reuther y Labanauskas, 1966).

La materia orgánica juega un papel importante en la remoción del Cu soluble en la solución del suelo, pero esto aparentemente no cambia en forma considerable el nivel crítico. Ya que la lixiviación de Cu es insignificante, una sola aplicación al suelo podrá proporcionar todos los requerimientos de Cu para la planta por muchos años (Gilbert, 1952).

Efectos del pH del Suelo.

La disponibilidad de nutrimentos por las plantas está altamente relacionada con el pH del suelo. Así la disponibilidad de Cu depende de éste, pero normalmente no se incrementa en forma apreciable hasta que el pH disminuye por debajo de un valor de 5.0.

INTERACCIONES CON OTROS NUTRIMENTOS

Los niveles elevados de nitrógeno y fósforo pueden incrementar las deficiencias de Cu. En forma similar, las altas cantidades de zinc pueden acentuar las deficiencias de Cu (Mortvedt, 1983).

CORRECCION DE DEFICIENCIAS

Las deficiencias de Cu en varias plantas de cosecha producen coloración y desarrollo anormal, además disminuyen la calidad del fruto y el rendimiento.

De acuerdo a la literatura, se reporta que tanto el Zn como el Cu, son más frecuentemente aplicados al suelo que en aspersiones foliares.

COBRE EN EL METABOLISMO HUMANO

El Cu es un elemento benéfico y esencial en el metabolismo del hombre; actualmente se conoce que una deficiencia de este elemento ocasiona anemia, pérdida del pigmento del pelo, reducción en el crecimiento y pérdida de elasticidad arterial.

Se ha estimado que el requerimiento diario para adultos es de 2 mg, mientras que para niños en edad preescolar, el consumo es de 0.1 mg.

La excreción promedio diaria a través de la orina es de 1 mg eliminándose el resto a través de las heces. La distribución del Cu en el cuerpo es uniforme, excepto en el hígado donde se acumula (Drinking Water Standards, 1962).

El Cu ingerido irrita el tracto gastrointestinal y puede resultar muy tóxico.

De acuerdo con Drinking Water and Health (1977), parece ser que el consumo de 5 mg de Cu en la dieta alimenticia no resulta muy peligroso para la mayoría de la población, aunque algunas personas son afectadas por la ingestión de pequeñas cantidades de Cu contenido en sus alimentos.

Por otro lado, el Cu imparte sabor al agua, variando el rango de detección de 1 a 5 mg/l, dependiendo de la agudeza sensitiva de cada individuo.

COBRE EN LA NUTRICION ANIMAL

La importancia del Cu en la nutrición animal no fué reconocida hasta que Hart y Col. (1928), mostraron que la adición de Cu y Fe es necesaria para la formación de hemoglobina en ratas que sufren de anemia producida por alimentación con una dieta de leche. Después de la demostración del papel esencial del Cu hematopoyesis, se mostró que diversas enzimas con funciones de oxidasa contienen Cu. Entre estas están la tirosinasa, la lacasa y la oxidasa del ácido ascórbico.

El interés del Cu en la nutrición se incrementó marcadamente en la década de los 30's, cuando se observó que ciertas enfermedades de ovejas y de otros tipos de ganado en varias partes del mundo eran debidas a las deficiencias de Cu.

4.3.3 MANGANESO

Este elemento, al igual que el Fe, es abundante en la corteza terrestre; de acuerdo con Krauskopf (1983), se encuentra en una concentración de 950 ppm.

El contenido de Mn es más abundante en rocas ígneas de tipo basalto (1500 ppm) que en rocas graníticas (400 ppm). En rocas sedimentarias de tipo calizas y dolomitas es más abundante (1100 ppm) que en esquistos (850 ppm), ésto se debe en a la facilidad para reducirse a Mn^{2+} y a la similitud de solubilidad entre $MnCO_3$ y $CaCO_3$.

El Mn presente en pequeñas cantidades en aguas para riego agrícola, es necesario para el desarrollo de las plantas, pero a altas concentraciones puede ocasionarles daños, dependiendo del tipo de planta y de las condiciones ambientales de la región (Water Quality Criteria, 1972).

El Mn en el agua es variable, pero, se han reportado concentraciones que varían de 0.3 a 3230 microgramos por litro con un valor medio de 59.0 microgramos por litro, en cuerpos de aguas naturales (Drinking Water and Health, 1977).

FUENTE DE MANGANESO Y FORMAS EN EL SUELO

Las rocas ferromagnesianas al intemperizarse liberan Mn^{2+} que es soluble e intercambiable. El Mn en el suelo existe en tres formas iónicas equilibradas entre sí: (1) manganeso divalente (MnO), que se halla presente como un catión adsorbido o en la solución del suelo; (2) manganeso trivalente, que existe como un óxido altamente reactivo, (Mn_2O_3); (3) manganeso tetravalente (MnO_2), que existe como el óxido que es muy inerte (Núñez y Laird, 1966).

La concentración de Mn total en suelos muestra un rango extremo que va desde menos de 20 ppm hasta más de 6,000 ppm. El Mn intercambiable es mucho menor pero también muestra un amplio rango.

FUNCIONES EN LA PLANTA

Como el hierro el Mn funciona como: catalizador de reacciones enzimáticas (deshidrogenasas, carboxilasas y arginasas); en algunas de las cuales puede ser sustituido por magnesio. Interviene en reacciones de óxido-reducción (transporte de electrones), también

interviene en la síntesis de proteínas, por lo que en su deficiencia hay acumulación de aminoácidos.

Participa en la síntesis de clorofila; bajo deficiencias de Mn los cloroplastos son afectados y la fotosíntesis se reduce fuertemente, especialmente si no hay suficiente luz.

FACTORES QUE AFECTAN LA RESPUESTA DE LA PLANTA

Reservas del Suelo.

Las deficiencias de Mn son encontradas a menudo en suelos orgánicos o minerales con drenaje deficiente. La reducción de Mn a la forma divalente y la subsecuente lixiviación pueden ser responsables de los bajos niveles de Mn en el suelo.

Efecto del pH del Suelo.

La disponibilidad de Mn está relacionada a la reacción del suelo y se incrementa marcadamente cuando el pH disminuye por abajo de 5.5 predominando la forma MnO , que es soluble e intercambiable. En suelos neutros predomina la forma Mn_2O_3 y en los suelos alcalinos con un pH arriba de 8.0 predomina la forma MnO_2 , que es inerte.

Materia Orgánica.

La materia orgánica tiende a reducir el grado de aprovechabilidad del Mn, apareciendo síntomas de deficiencia en suelos neutros, ricos en materia orgánica, en cultivos de leguminosas y cereales. Ciertos tipos de materia orgánica forman complejos con el

Mn, que lo hacen no disponible a las plantas.

INTERACCIONES CON OTROS ELEMENTOS

La interacción antagonónica Mn-Fe suele presentarse fundamentalmente en los suelos ácidos, con grandes cantidades de Mn asimilable, interfiriéndose en sus actividades metabólicas.

El antagonismo entre el Mo y Mn para suelos ácidos influyen sobre su disponibilidad y el encalado puede corregir tanto la toxicidad del Mn, como la deficiencia del Mo.

La interacción Mn-P parece estar relacionada con el antagonismo Fe-P y/o con la solubilidad del fosfato de manganeso en los suelos. La presencia de fósforo puede agravar la deficiencia del Mn o incrementar su absorción, en función de las condiciones del suelo (pH y capacidad de absorción).

DEFICIENCIAS Y TOXICIDAD DE MANGANESO

Las deficiencias de Mn son a menudo observadas en suelos bien drenados con reacción neutra o básica. De acuerdo con Jones (1983), la deficiencia ocurre cuando la concentración en los tejidos de la planta es menor de 20 ppm en la materia seca. Concentraciones amplias pero no excesivas oscilan de 20 a 500 ppm de Mn.

Las deficiencias se presentan a menudo en plantas de grano pequeño y en leguminosas de semilla grande; sin embargo, también ha sido reportada en una gran variedad de plantas de cosecha, y algunas frutas.

MANGANESO EN EL METABOLISMO HUMANO

El Mn puede ser absorbido por el cuerpo por inhalación, ingestión y a través de la piel. Actualmente se conoce que la inalación de polvos conteniendo Mn en zonas industriales ocasiona una enfermedad en el Sistema Nervioso Central, semejante al Mal de Parkinson y una forma de Neumonía (Drinking Water and Health, 1977).

El Mn ingerido se absorbe a través del intestino y se concentra en el hígado. La mayor parte del Mn presente en el cuerpo humano es eliminado por medio de la bilis y otras rutas gastrointestinales, manteniéndose relativamente estable la concentración de éste elemento en varios tejidos. La excreción del Mn inorgánico se realiza casi exclusivamente a través de las heces, mientras que la forma orgánica es excretada a través de las heces y la orina (Drinking Water and Health, 1977).

MANGANESO EN LA NUTRICION ANIMAL

El Mn es un elemento traza esencial para el desarrollo de los animales. La deficiencia de éste elemento retarda la madurez sexual del ganado en la secreción láctea, e incluso puede producir la esterilidad en los bovinos; por otro lado, el exceso de Mn en el ganado, proveniente principalmente de forrajes, produce carencia de vitamina B, ocasiona el aborto en terneras jóvenes y disminuye la fertilidad de los toros (Reuso del agua en la agricultura, 1976).

4.3.4 ZINC

El Zn se encuentra en forma de mineral a una concentración de 1.5 ppm, en la corteza terrestre. De acuerdo con Krauskopf (1983), la presencia de Zn en rocas ígneas de tipo basalto, es mayor a 100 ppm, en comparación con las de tipo granítico (40 ppm). Entre las rocas sedimentarias comunes, las concentraciones mayores de Zn son encontradas en los esquistos (95 ppm) como es típico para la mayoría de los metales pesados.

El contenido de Zn en los suelos oscila de 10 a 300 ppm, el cual está presente en su mayor parte como iones simples adsorbidos en los constituyentes de granulación fina. El Zn es absorbido por la planta en su forma catiónica Zn^{2+} y tal vez en forma de radicales aniónicos sencillos.

FUNCIONES EN LA PLANTA

Al igual que otros elementos menores, las funciones del Zn son principalmente de activación de enzimas como son las relacionadas con la síntesis de carbohidratos y también las responsables de reacciones de deshidrogenación. El Zn es esencial en la síntesis del triptofano, precursor del ácido indolacético que es una importante hormona de crecimiento. La actividad del Zn también está relacionada a la síntesis de clorofila (Núñez y Laird, 1966).

FACTORES QUE AFECTAN LA RESPUESTA DE LA PLANTA

Reservas del Suelo.

La deficiencia de Zn en plantas no es común en suelos ácidos. Si aparecen alteraciones es una indicación de la presencia de nive

les muy bajos. El contenido de Zn es a menudo más elevado en el suelo superficial, esto es causado probablemente por la deposición de residuos vegetales (Wright, 1955) o por emisiones industriales a la atmósfera y deposición subsecuente en la superficie del suelo.

Efectos del pH del Suelo.

De acuerdo con Lucas y Knezek (1983), la mayoría de las alteraciones por Zn en las plantas ocurren en suelos calcáreos. Las deficiencias de este elemento han sido acentuadas en suelos orgánicos alcalinizados, aunque el pH del suelo fuese menor de 6.0.

Materia Orgánica.

La materia orgánica del suelo tiende a reducir la cantidad de Zn aprovechable, aunque no en forma tan intensa como en el caso del cobre, pues se han reportado casos de toxicidad de Zn aún en suelos turbosos (Núñez y Laird, 1966).

Microorganismos.

Estos pueden causar deficiencias de Zn por utilizar fuertes dosis de este elemento, que lo fijan en forma orgánica en su protoplasma. Se considera que una de las funciones del Zn es la neutralización de toxinas liberadas por microorganismos a temperaturas elevadas.

DEFICIENCIAS Y TOXICIDAD

Las deficiencias de Zn están asociadas a las condiciones del suelo, por ejemplo, suelos calcáreos, orgánicos y muy a menudo sue

los nivelados con máquinas o irrigaciones por inundación, propician con frecuencia la deficiencia de Zn. De acuerdo con Jones (1983), la deficiencia ocurre en muchas plantas cuando la concentración en las hojas es menor a 20 ppm en la materia seca. El rango de concentración normal es de 25 a 150 ppm de Zn; observándose niveles de toxicidad cuando el contenido de este elemento en la hoja excede las 400 ppm.

ZINC EN EL METABOLISMO HUMANO

La concentración de Zn en los cuerpos de agua se relaciona con las actividades del hombre y con los escurrimientos urbanos e industriales. Este elemento es relativamente no tóxico y resulta ser esencial en el hombre adulto, éste lo ingiere en concentraciones de 15 mg/día y en niños es 10 mg/día.

Se ha encontrado que dietas deficientes en Zn pueden afectar el crecimiento, la pérdida de sabor y en la etapa de postpubertad causa hipogonadismo y decremento en la fertilidad. De acuerdo con Drinking Water and Health (1977), existen algunos reportes de envenenamiento con Zn asociados con el consumo prolongado de aguas contenidas en tanques galvanizados.

ZINC EN LA NUTRICION ANIMAL

El alimento para cerdos puede llegar a contener hasta 1,000 ppm de Zn sin que por ello se presenten síntomas de intoxicación. De acuerdo con Water Quality Criteria (1972), cuando el agua consumida por gallinas conteniendo 2,320 mg/l, se observó que éstas redujeron su consumo de agua y la producción de huevos y presentaban

una pérdida de peso considerable.

Por otro lado, en ruminantes se encontró que el Zn en forma de óxido, añadido a sus alimentos resultaba tóxico en concentraciones superiores a 500 mg/kg de alimento.

4.3.5 PLOMO

El Pb, fisiológicamente no es un elemento esencial en los seres vivos, pero la concentración de este elemento en la actualidad es alarmante; entre las principales fuentes aéreas naturales de plomo están los suelos y los polvos de las rocas, los aerosoles volcánicos, meteóricos y marinos, el humo de la madera y el tabaco. Entre las muchas fuentes urbanas e industriales, están las fundidoras de metales, las plantas que producen baterías y pigmentos, los incineradores de las grandes ciudades y los quemadores de carbón y aceite entre otros. Para los 70's, de acuerdo con Goldberg (1971), la descarga anual mundial de Pb por estos dos tipos de combustión era del orden de 3,500 y 50 toneladas métricas, respectivamente.

Más del 80 % del Pb en la atmósfera proviene de combustión de la gasolina que contiene tetraetilo de plomo (TEP), afortunadamente se espera que los altos niveles de este elemento disminuyan a nivel mundial con el consumo de gasolina sin plomo, ya que en la actualidad los niveles de Pb en la cadena natural aire-agua-suelo-organismos en varios lugares son alarmantes.

Las concentraciones de Pb en el aire son muy variables y la duración en la atmósfera varía de 1 a 4 semanas, ya que depende del diámetro y el tipo de partícula al cual se adhiera este metal,

el comportamiento del Pb en la atmósfera depende de las condiciones climáticas, pero se sabe que se desplaza hacia latitudes árticas, donde se concentra y posteriormente regresa a la atmósfera.

Los niveles de Pb en la superficie de los océanos varían de 0.20 a 0.35 microgramos por litro, mientras en el agua de río, en los E.U. se han registrado concentraciones de 10 a 20 microgramos por litro, los cuales están por debajo de los rangos federales, que son de 50 microgramos por litro, sin embargo, existen evidencias de que el Pb dentro de la fuente de distribución de agua potable que proviene de soldaduras, ha causado mortalidad, sobre todo en personas de edad avanzada (Mortvedt, 1983).

El promedio de Pb en la corteza terrestre es de 16 ppm, y el Pb nativo total en suelos no contaminados derivados de rocas arenosas y de sedimentos silúricos varía de 40 a 70 ppm; mientras las concentraciones de Pb en suelos contaminados son muy variables ya que al Pb nativo se adicionan cantidades considerables de este elemento, que provienen de pesticidas en forma de fosfato de plomo y arsenato de plomo, además de depositaciones aéreas y durante la lluvia, irrigación, drenaje de minas y desecho de hojas y polvos que elevan significativamente las concentraciones del Pb tanto en el suelo, como en las hojas de los vegetales (Davis, 1968).

Generalmente la concentración de Pb en el suelo disminuye con la distancia de la fuente contaminante; pero, recientemente se ha evidenciado que las altas concentraciones de Pb depende de la distancia de las carreteras, tránsito de ellas, dirección de los vientos, así como la profundidad del perfil del suelo. El comportamiento del Pb en el suelo es estable a pH alto; sin embargo, en pH áci

do se libera fácilmente, aunque existan evidencias de que los quelatos de la materia orgánica son los más ricos en Pb. Además existe una tendencia general de las plantas de remover los metales pesados de los horizontes inferiores y depositarlos en las capas superficiales (Lagerwerff, 1971).

4.3.6 CROMO

El cromo se encuentra en la litósfera a una concentración promedio de 200 ppm y en los suelos en un rango de 5 a 1,000 ppm. De acuerdo con Ortega (1981), en suelos bajo condiciones normales, es raro encontrar concentraciones altas de elementos tóxicos. Por lo general la contaminación de los suelos con estos elementos es consecuencia de las actividades humanas. Las contaminaciones en los suelos más frecuentes son causadas por: Cr, Ni, Zn, As, Cd, Hg y Pb a través de la disposición de residuos industriales, desechos municipales (basura, aguas negras, etc.) y pesticidas.

Por otro lado, el Cr puede presentarse en el agua en diferentes estados de oxidación; bajo condiciones fuertemente oxidantes, puede pasar al estado hexavalente y presentarse como anión de cromato. Las funciones específicas del Cr en plantas no han sido determinadas (Tiffin, 1983).

CROMO EN EL METABOLISMO HUMANO

Se ha encontrado que el Cr trivalente afecta el metabolismo de la glucosa, que une fuertemente a la albúmina del plasma e interactúa con el manganeso en el metabolismo de la glucosa (Drinking Water and Health, 1977).

Por otro lado, se ha reportado que sólo entre el 0.5 y el 3 % de la dosis de Cr ingerido queda disponible en el organismo. El grado de absorción de la forma química del Cr varía de 0.1 a 1.2 % de las sales de Cr trivalente, éste se considera como una sustancia y en concentraciones de microgramos, se ha llegado a considerar esencial para la salud humana.

El Cr es eliminado a través de la orina y las heces, representando la vía urinaria el 80 % de la excreción.

Los efectos adversos crónicos más comúnmente asociados con el Cr se presentan en el sistema respiratorio y en la piel (Drinking Water and Health, 1977).

CROMO EN LA NUTRICION ANIMAL

Aún en sus formas más solubles, el Cr no es rápidamente absorbido por los animales, siendo excretado casi en su totalidad en las heces; por otro lado, se estima que no se acumula en ningún tejido mamario o que su concentración aumenta en estos tejidos con la edad. Generalmente se considera que el Cr hexavalente es más tóxico que el Cr trivalente, sin embargo se ha encontrado que las ratas pueden ingerir hasta 500 mg/l de Cr hexavalente sin que presenten efectos de intoxicación (Water Quality Criteria, 1972).

Por otro lado, de acuerdo con Reeder (1979), en perros y ratas se ha demostrado que el agua conteniendo entre 5 y 6 mg/l de Cr hexavalente no les ocasionaba daños a sus tejidos y no se acumulaba; pero cuando la concentración se incrementaba a 10 mg/l, el Cr sí se acumulaba.

La deficiencia de Cr resulta en un decremento en la toleran-

cia a la glucosa; una reducción en el crecimiento y en la longevidad; niveles elevados de colesterol en el suero y una reducción en la sensibilidad de los tejidos periféricos a la insulina. El Cr ha sido identificado como un ingrediente activo de un agente dietético, denominado factor a la tolerancia de la glucosa (FTG), el cual es requerido para el mantenimiento normal del metabolismo de glucosa (Mc Dowell y Col., 1976).

4.3.7 COBALTO Y NIQUEL

El Co y el Ni son elementos cuyo comportamiento en la naturaleza es semejante, el primero se encuentra en menor proporción, ya que mientras el níquel se encuentra en la litosfera y en el suelo del orden de 100 mg/kg^{-1} y de $10\text{--}1000 \text{ mg/kg}^{-1}$ respectivamente, el cobalto se encuentra en la litosfera y en el suelo en concentraciones de 40 mg/kg^{-1} y de $1\text{--}50 \text{ mg/kg}^{-1}$ respectivamente (Bohn and Connor, 1985).

En rocas ígneas el cobalto y el níquel se han encontrado del orden de 23 y 74 ppm respectivamente; mientras en el agua se han reportado 0.0004 y 0.0070 ppm respectivamente (Ham, 1985). Méndez (1982), ha reportado concentraciones superiores a estas cifras sobre todo en suelos regados con aguas residuales, tanto de origen industrial como doméstica.

Con respecto al Co y al Ni, estos elementos pertenecen a la familia del hierro, ya que muestran mayores semejanzas ést que con los demás elementos de la familia.

La mayor diferencia del Co y el Ni con respecto al Fe, es que la valencia más estable de este último es 3^+ , mientras en el Co y

el Ni es de 2^+ , aunque el Co puede existir en estado de oxidación de 3^+ ; sin embargo, en estas condiciones el Co^{3+} es un agente tan oxidante que reacciona con el agua.

Por sus propiedades electroquímicas el Ni tiene un importante uso práctico desde sus primeras aplicaciones en la fabricación de la pila galvánica reversible que consta de Ni, Fe e KOH como electrolito. Recientemente se ha comprobado que los acumuladores de níquel-cadmio es más ligero y durable que el de plomo. Además se ha utilizado ampliamente en la industria de galvanizado, pues tan sólo en los E.U., se utilizan unas 200,000 toneladas de Ni anualmente, siendo estas dos fuentes las que desechan las mayores concentraciones de Ni y Cd al medio ambiente como contaminante.

Por otro lado la utilidad del cobalto es muy variada, va desde la medicina nuclear hasta la joyería, donde se utiliza en aleaciones con el oro dándole tanto dureza como brillo. Pero el aspecto más importante del Co en la naturaleza es a nivel fisiológico, ya que estructuralmente forma parte de la vitamina B₁₂ del cual toma su nombre (cobalamina), el hombre toma esta vitamina principalmente del hígado de bovino, aunque existe también en algunos cerdos. El cobalto en los organismos se utiliza únicamente en la formación de la vitamina B₁₂ y si esta se añade a la dieta el cobalto ya no es necesario, pero la carencia de ésta origina la anemia perniciosa, la cual produce cansancio general del organismo. La cobalamina es necesaria además en organismos acuáticos a excepción de los hongos.

4.3.8 CADMIO

El Cd está presente en forma mineral en la corteza terrestre a una concentración promedio de 0.18 ppm. Su presencia en el aire es debida a las actividades industriales, que pueden o no estar directamente asociadas con el Cd.

Las emisiones de las actividades industriales no directamente asociadas con el Cd también son de importancia. Entre éstas están los procesos de combustión que utilizan carbón, aceite, madera, papel y basura orgánica urbana, como responsables de la presencia general de Cd en los materiales biológicos.

De acuerdo con Bertrine y Goldberg (1971), se han reportado para aceites fósiles, un promedio mundial de 0.01 ppm de Cd. Se encontró que las concentraciones, en muestras de aceite de motor tenían un promedio de 0.48 ppm y la descarga aérea total en E.U., de Cd., se estimó en 850 Kg (Nat. Air Poll. Contr. Act., 1970).

El Cd, puede llegar al aire como polvo resultante del uso continuo de llantas de los carros. La presencia de Cd en las llantas es debida al uso de compuestos de Zn en el proceso de vulcanización.

En E.U., la concentración promedio de Cd en las principales corrientes (Tennessee, Missouri y bajos del río Mississippi) y en el Lago Erie fué de 9.5 microgramos por litro, con rango de medias desde 0 hasta 50 microgramos por litro, respectivamente.

En 1971 la investigación geológica de E.U. estableció que el contenido de Cd del agua para abastecer a 12 áreas urbanas excedió los estándares federales para agua potable.

Se piensa que la presencia de ¹⁰⁹Cd en agua de lluvia se debe

a detonaciones nucleares (McCallum y Woodward, 1965).

De acuerdo con la Nat. Air Poll. Contr. Act. (1969), las concentraciones de Cd en agua de mar varían entre 0.075 y 0.32 microgramos por litro.

CADMIO EN LOS SUELOS Y PLANTAS

El Cd como un constituyente del aerosol al igual que otros metales, alcanzan el suelo y las plantas durante la precipitación y por deposición directa; esto último ocurre, principalmente, a los lados de fábricas y de minas que manejan zinc.

Como el Cd es un constituyente normal de los depósitos marinos, éste alcanza las zonas de enraizamiento de las plantas en forma de impureza en los fertilizantes de fósforo, provenientes principalmente de la roca de fosfato y del superfosfato.

El Cd también se encuentra en la mayoría de los suelos cercanos a los caminos, donde las concentraciones aumentan con la cercanía a las carreteras, encontrándose mayores cantidades de Cd en los suelos influenciados por las carreteras de mayor tránsito, como resultado de su presencia en las llantas de los automóviles y en los aceites de motores. El metal es fácilmente absorbido a través de las raíces de plantas con importancia alimenticia, usualmente en los principales granos: trigo, maíz, arroz, y avena (Schroeder y Balassa, 1961). Aunque también puede estar presente en otro tipo de plantas como chícharo, remolacha y lechuga.

Se ha encontrado que el Cd se mueve rápida y fácilmente de la raíz hacia las hojas del rábano. Como ocurre con otros metales pesados, un incremento en el pH del suelo por alcalinización suprime

en cierta forma la captación de Cd (Langerwerff,1971).

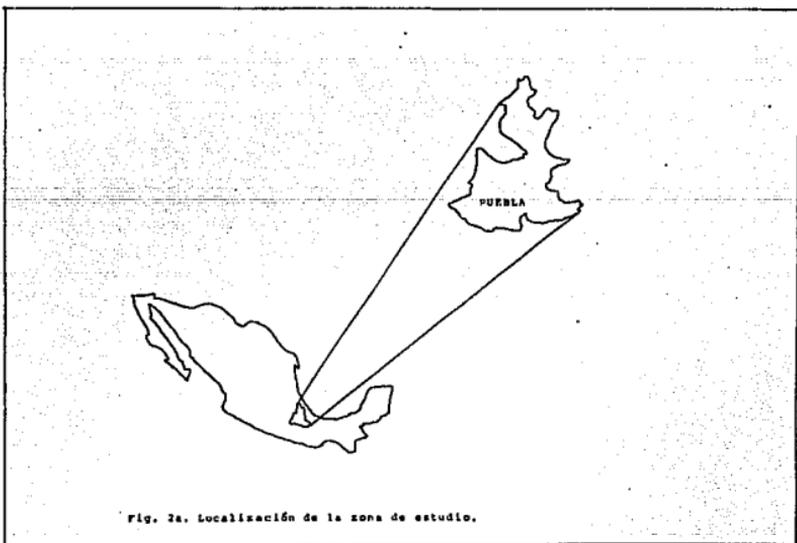
CADMIO EN EL METABOLISMO DEL HOMBRE

Investigaciones recientes indican que el Cd en la maternidad puede cruzar las membranas placentarias y en ausencia de un mecanismo homeostático, el Cd es rápidamente acumulado a una tasa de aproximadamente 50 μg por década hasta la edad de 60 años, especialmente en los riñones. La vida media biológica del Cd en el hombre es estimada entre 10 y 25 años (Mortvedt, 1985).

5. CARACTERISTICAS DE LA ZONA

5.1 DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

El Estado de Puebla se encuentra ubicado en la porción centro del país, comprende una superficie de 34,017.04 Km². Se localiza entre los 17°52'30" y 20°50'39" de latitud norte y los 96°43'00" y 99°04'10" de longitud oeste (Fig. 2a).



La zona de estudio, geográficamente se encuentra situada de 98.00° a $98^{\circ}45'$ longitud oeste y de 19.00° a $19^{\circ}30'$ latitud norte (Fig. 2b).

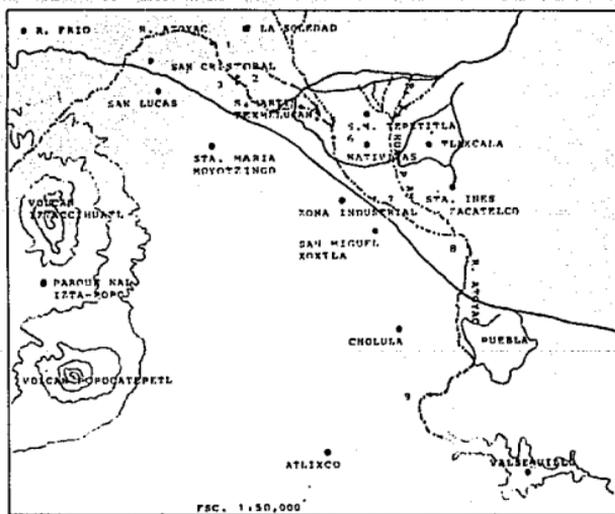


Fig. 2b. Sitios de muestreo

5.2 GEOLOGIA

En Puebla existen diversos afloramientos de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, así como depósitos de suelos aluviales y lacustres. Estas unidades están distribuidas en provincias geológicas cada una de las cuales posee características litológicas y estructurales distintivas, relacionadas con los fenómenos que actuán en ellas durante el tiempo geológico.

La región que ocupa el eje Neovolcánico se caracteriza por el predominio de magnas estructuras volcánicas, típicas de la provincia, que la entidad comparte en los Estados vecinos. Dichas estructuras son relativamente jóvenes, (del Terciario Superior y Cuaternario) y en general no han sufrido perturbaciones desde su formación originada por fenómenos corticales profundos. Esta cadena montañosa representa la imagen más conocida del vulcanismo en México.

La composición petrológica de las rocas volcánicas de esta región es muy heterogénea. Las rocas que constituyen al Iztaccíhuatl y al Popocatepetl están clasificadas como riodacitas y dacitas, estas últimas son también las que integran al volcán la Malinche. En los límites con la Sierra Madre Oriental se manifiesta un zonedamiento diferencial entre el vulcanismo andesítico y el ignimbritico (INEGI, 1987). Los pies de las elevaciones del Terciario medio y superior quedaron cubiertos durante el Plioceno superior por abanicos aluviales, testigos de una época de relativa aridez y falta de vegetación. Un poco después al ocurrir en la Cuenca de México los últimos hundimientos se extravasaron grandes volúmenes de tobas y brechas volcánicas, provenientes de fracturas no visibles en la actualidad a los pies de la Sierra de Río Frío; cuyos depósitos

constituyen la formación Tarango Inferior.

A fines del Terciario y principios del Cuaternario ocurrieron nuevos impulsos tectónicos originando cambios climáticos de seco a húmedo, desapareciendo los glaciares y las aguas socavaron arroyos y cañones en los complejos volcánicos y abanicos aluviales del Terciario (Mooser, 1963). En la cuenca de Puebla las rocas son extrusivas de diversos tipos: dacitas, riolitas y andesitas. Esta diferenciación petrológica en las regiones que integran la provincia, hace suponer que el magma se formó a diversas profundidades de la corteza o del manto superior, y que fue evolucionando en su ascenso hacia la superficie. Los grandes aparatos volcánicos se formaron sucesivamente en varias épocas del Cenozoico Superior. La Malincha, cuyo cráter presenta un estado muy avanzado de erosión, indica el período más antiguo del vulcanismo en Puebla. El Iztaccihuatl representa un período posterior; el Pico de Orizaba y el Popocatepetl corresponden al Plioceno Medio (INEGI, 1987).

Los derrames basálticos del Cuaternario (Q (igeb)), forman parte del vulcanismo básico que dió origen a la configuración típica del Eje Neovolcánico, el cual tiene una extensión amplia y constituye numerosos aparatos volcánicos y derrames lávicos. En la categoría Geológica, esta unidad incluye rocas basálticas de textura variada, que contienen materiales piroclásticos del tamaño de "Lapilli", gran cantidad de pómez y escorias; así como bloques y "bombas" de diferente tamaño, que se encuentran escasamente consolidados y localmente estratificados. Estos materiales son los principales constituyentes de los conos cineríticos, y se utilizan como agregados y rellenos en los diversos tipos de construcción. Tam-

bién durante el Cuaternario, en las últimas etapas del vulcanismo, se generaron rocas de composición ácida y de textura variada, entre otras, vitrófiros riolíticos, brechas volcánicas, arenas y cenizas volcánicas; provenientes de magmas silícicos que tuvieron un enfriamiento rápido, dando lugar a la formación de estructuras dómicas como las del cerro Las Derrumbadas y del Cerro Pinto (INEGI, 1987).

5.3 FISIOGRAFIA

Esta región se caracteriza por presentar una gran variedad de rocas volcánicas, acumuladas en innumerables y sucesivos episodios volcánicos, desde el Terciario hasta el Cuaternario. Originando grandes sierras volcánicas, coladas lávicas conos dispersos o en enjambres, amplios escudo-volcanes de basalto, depósitos de arenas y cenizas volcánicas dispersos entre llanuras. Constituyendo el "Eje Neovolcánico", la cadena de grandes estrato-volcanes, entre ellos el Volcán de Colima, Popocatepetl, Iztaccíhuatl, Malinche y el Pico de Orizaba, que casi en línea recta atraviesan el país o más o menos sobre el paralelo 19°.

La Cuenca de Puebla está situada al oeste y suroeste de la Malinche, a una altitud de 2200 m.s.n.m. Es una llanura de origen aluvial con lomeríos bajos, cuyo piso en la porción oeste está constituido por rocas basálticas. Hay también lomeríos de calizas especialmente en el occidente del volcán.

Al norte la cuenca está limitada por una gran meseta con cañadas y al oeste por la Sierra Nevada; en esta sierra, el volcán Iz-

taccíhuatl (5230 m.s.n.m.), lo comparten los estados de Puebla y México y el Popocatepetl (5465 m.s.n.m.) Estos dos estados y el de Morelos.

5.4 HIDROGRAFIA

Región Hidrológica "Río Balsas". Esta región comprende la mayor parte de la entidad (20,318.17 Km²), abarca las zonas centro, oeste y suroeste. Tiene como cuenca principal la del Río Atoyac, que es la corriente formadora más importante del Balsas, la cual es considerada como su origen.

El río Atoyac se forma a partir de los deshielos que descienden, desde altitudes superiores a los 4000 m.s.n.m., del flanco oriental del volcán Iztaccíhuatl, en los límites de los estados de México y Puebla. En su recorrido recibe varias aportaciones relevantes por una y otra margen, como son las de los ríos Nexapa, Mixteco, Acatlán, Zahuapan, Alseseca y otros. En la Ciudad de San Martín Texmelucan, Pue., las aguas de dicha corriente y sus afluentes se aprovechan principalmente en las actividades agrícolas, domésticas e industriales.

Esta porción se caracteriza por lo accidentado de su topografía y el grado de pendiente de los cauces de sus corrientes, mismas que, sin control pueden ocasionar pérdidas en la agricultura.

El rango de escurrimiento en esta cuenca es menor de 10 mm y el gasto medio de sus corrientes de 9.152 m³/seg.

Dentro de esta cuenca se encuentran importantes obras hidráulicas, entre las que destacan las presas: Atexaco, con capacidad de 150 millones de m³, y cuya agua se utiliza para la genera-

ción de energía eléctrica. La Soledad, con 62 millones de m³, empleados en la generación de energía eléctrica y la presa Manuel Avila Camacho (Valsequillo), que es la más importante con 405 millones de m³ de capacidad. Las aguas de esta última presa se aprovechan en la agricultura (INEGI, 1987), con lo cual se riegan mediante canales unas 2620 ha. aproximadamente, correspondiendo al Distrito Rural No. 030 "Valsequillo" (García, 1990).

5.5 CLIMA

De acuerdo con INEGI (1987), la zona de estudio fisiográficamente se localiza en la provincia del Eje Neovolcánico, en la cual existen una gran variedad de climas, predominando el templado o mesotérmico; sin embargo, en las faldas de la Sierra Nevada el clima predominante pertenece al grupo de los climas fríos y a medida que desciende la altitud se encuentran otros grupos de climas entre los cuales se presenta el semifrío y la mayor parte de la zona recorrida por el río Atoyac, presenta un clima templado o mesotérmico, hasta llegar al Valle de Atlixco donde el clima es del grupo de los cálidos.

Las temperaturas medias anuales en el sureste de esta provincia son alrededor de 20°C mientras en el centro y norte están por debajo de los 13°C y la precipitación media anual oscila entre los 600 y 1800 mm. Sin embargo, en el estado de Puebla las temperaturas medias anuales varían de 13 a 18°C y la precipitación llega a alcanzar 2000 mm durante el verano.

De acuerdo con García (1988), los climas dominantes en las faldas de la Sierra Nevada son de tipo Cb(w₂)(w)(i')qw"; Cb'(w₂)

(w)igw"; Cb(w₂)(w)igw"; Cb(w1)(w)(i'); Cb(w)(w)(i')gw" y Cb(w1)(w)igw" que corresponde a Amecameca, Río Frio, Tlahuapan, San Martín Texmelucan, Puebla y Atlixco, respectivamente, entre los cuales dominan los climas templados con verano fresco y largo y la temperatura media anual oscila entre 12 y 18°C, mientras en el mes más frío la temperatura media oscila entre -3 y 18°C, mientras en el mes más cálido la temperatura media oscila entre 6.5 y 22°C. Mientras en las partes más elevadas se presentan los climas más fríos del estado.

5.6 SUELOS

De acuerdo con INEGI (1987), en el Eje Neovolcánico se encuentra un gran número de unidades edáficas debido a su complejidad litológica. En la provincia a la que pertenece la Cuenca de Puebla, se presentan, principalmente, suelos de los órdenes Inceptisoles, Entisoles y Mollisoles. Pero, cerca del 90% de los terrenos que conforman el estado de Puebla están cubiertos por suelos jóvenes, como los Regosoles y Rendzinas. En ellos han sido poco los cambios y la diferenciación con respecto al material de origen. Los suelos maduros, como los Luvisoles y Acrisoles, abarcan el 10% restante del área estatal; en éstos se han dado grandes cambios internos.

La configuración topográfica y los factores climáticos han propiciado que alrededor del 55 % de los suelos de la entidad tengan una profundidad menor de 50 cm., pues están limitados por una capa rocosa, una capa de caliche o una de tepetate. Estos se concentran principalmente en el sur de la entidad, mientras que los suelos profundos, en ocasiones se encuentran limitados por piedras,

gravas o sales de sodio, su distribución es del centro hacia el norte.

De acuerdo a la carta de Suelos de Puebla, elaborada por INEGI (1987), los suelos denominados Feozem, se distribuyen en las mesetas y las llanuras de la porción centro y noroeste de la entidad, en la provincia del Eje Neovolcánico, donde son profundos; mientras que en el suroeste, sobre las sierras, son más someros, pues están limitados por una fase lítica.

Algunas de las características que presentan éstos suelos son: colores pardo oscuro o gris en la parte superficial y cambian a pardo amarillento o pardo rojizo a medida que aumenta la profundidad. La textura dominante es migajón arcillo-arenoso, pero también se presentan texturas de tipo migajón arcilloso en los horizontes subsuperficiales, los cuales propician un drenaje interno de moderado a lento. Dentro de los Feozem, los háplicos son los más representativos en la entidad. Estos son muy ligeramente alcalinos por su contenido de materia orgánica relativamente bajo. Su capacidad para intercambiar cationes de calcio, magnesio y potasio, elementos esenciales para el desarrollo de las plantas, es de moderada a alta, encontrándose las partículas (o complejo de intercambio) de suelo casi completamente saturadas con cantidades altas de los dos primeros elementos y moderadas del último.

Los Litosoles, son suelos que se localizan principalmente en las sierras del centro-sureste de la entidad y se encuentran asociados con otros suelos de mayor profundidad, como Rendzinas, Reggsoles y Feozem.

Estos suelos se caracterizan por ser extremadamente delgados,

con menos de 10 cm de profundidad, éstas características se deben en gran parte a las condiciones topográficas de las zonas donde se desarrollan, pues las pendientes abruptas no permiten la acumulación de las partículas del suelo a medida que éstas se forman; además, las condiciones climáticas y la vegetación no han tenido gran influencia en el intemperismo de las rocas de las cuales se originan.

La mayoría de los Cambisoles que se encuentran en la entidad pertenecen a la subunidad de los ócricos, y se localizan en las laderas de las sierras ubicadas en el norte del estado y en algunas llanuras y lomeríos del centro. Tienen características distintivas, como es la presencia de un horizonte B cámbico, el cual se diferencia del material de origen por la formación de terrones, y de la capa superficial, denominada horizonte A ócrico, que no ha alcanzado un oscurecimiento en un espesor considerable (25 cm). Esta última capa es de color pardo a pardo amarillento, y cuando llega a ser gris o pardo grisácea es de unos 15 cm, en tanto que las capas más profundas son de color pardo rojizo o pardo amarillento. La textura de estos suelos es de migajón arenoso en la superficie y de migajón arcillo-arenoso a medida que aumenta la profundidad. Son ligeramente ácidos o ligeramente alcalinos. Su capacidad de intercambio catiónico es moderada, pero cuando las capas son arenosas es baja. Las partículas en las que se realiza este intercambio se encuentran saturadas con cantidades de moderadas a altas de calcio y magnesio y moderadas de potasio.

5.7 AGRICULTURA

La agricultura en el estado de Puebla, aunque no es la actividad económica más importante en cuanto a generación de ingreso, proporciona empleo a cerca del 40 % de la población económicamente activa.

Dicha actividad tiene relevancia a nivel nacional tanto por la superficie cosechada, que fluctuó de 700,000 ha. en 1977 a 900,000 ha. en 1980; como por el valor de la producción.

5.8 MARCO ECONOMICO

El sector agropecuario sólo contribuye con el 11.4 % (SPP, 1980), sin embargo, la agricultura del estado expresa su importancia a nivel nacional con su participación en la superficie cosechada y el valor de la producción agrícola, con el 4.5 % y el 4 % respectivamente (SARH, DGEA, 1980). Esta actividad en Puebla se caracteriza entre otros aspectos, por la dominancia de la agricultura de temporal sobre la de riego. La primera abarca cerca del 90 % de la superficie estatal cosechada y aporta alrededor del 75 % del valor total de las cosechas; en tanto que la segunda sólo comprende el 10 % restante de la superficie cosechada (SARH, DGEA, 1980).

Los granos son básicamente el principal producto de la entidad, cubren alrededor del 75 % de la superficie cosechada y generan un 50 % del valor de las cosechas. Entre ellos destaca el maíz y le sigue en importancia el café.

Los cultivos de temporal más importantes son: *Zea mays L.* (con el 65 % y el 45 % de la superficie cosechada y del valor de las cosechas), *Phaseolus vulgaris L.*, *Lordeum vulgare L.*, *Vicia*

faba L, *Lens culinaris*, *Pisum sativa* L, *Cicer arietinum* L, *Arachis hypogaea* L, *Coffea arabica*, *Prunus malus* L, *Persea gratissima Gaertn*, *Prunus persica* Batsch, *Prunus comunis* L, *Solanum tuberosum* L. y *Physalis aequata* Jacq.

Los cultivos principales en la zona de riego son: maíz (con el 40 % y el 25 % de la superficie cosechada y del valor de las cosechas), frijol, alfalfa, caña de azúcar, aguacate, papa y tomate. De esta manera el estado de Puebla es uno de los principales productores de maíz, cebada, haba, manzana, aguacate, pera y papa.

Con respecto a la agricultura de riego la cual ocupa algunas áreas de los valles y los llanos localizados en las provincias del Eje Neovolcánico y Sierra Madre del Sur; es bastante más reducida en superficie que la de temporal, pues se cosecharon sólo 98,357 ha. (SARH, DGEA, 1980), lo que corresponde al 10.9 % del área total cosechada.

Aquí se agrupan los distritos de riego "Valsequillo", "Tetela de Ocampo" y "Río Salado" (éste último compartido con el estado de Oaxaca), así como las unidades de riego dispersas por toda la entidad. Estos terrenos presentan una configuración plana y están cubiertos por suelos profundos en los que se laborea tanto con tracción animal como con instrumentos mecanizados.

El tipo de riego es principalmente por gravedad aprovechando el agua extraída de pozos profundos, presas y ríos.

La mayoría de las áreas cultivadas con pastizales se localizan en el norte del estado, sobre terrenos correspondientes a sierras y lomeríos de la Sierra Madre Oriental.

Los pastos que comúnmente se cultivan son estrella africana,

pangola, alemán, privilegio y guinea, los cuales se utilizan para alimentar al ganado, principalmente las razas, cebú y suizo. En estas praderas se lleva a cabo la rotación de potreros con descanso de uno a tres meses, además del chapoleo cada seis meses y la aplicación de herbicidas para el control de malezas.

5.9 VEGETACION

Los principales tipos de vegetación que se desarrollan en el estado de Puebla son: selva baja caducifolia, en el suroeste; selva alta perenifolia, en el norte y noroeste; selva mediana subperenifolia, en el sureste; bosques de pino, encino, mixtos, de oyamel y mesófilo de montaña, en el noroeste, oeste y este; matorral crasicaule, chaparral y mezquital, en el sur; y pastizales cultivados e inducidos, que se encuentran intercalados con las comunidades antes citadas. El 60 % del estado de Puebla se encuentra cubierto por vegetación y 39 % se dedica a las actividades agrícolas.

La vegetación se distribuye de acuerdo a un patrón altitudinal, lo cual incide también en el tipo de clima. Gran parte de la vegetación ha sido intensamente explotada, por lo que se encuentra en diferentes etapas de sucesión, formándose así comunidades secundarias.

Selva baja caducifolia, es el tipo de vegetación más abundante en el estado de Puebla cubriendo un 19 % de la superficie estatal, localizada sobre las laderas abruptas de la Sierra Madre del Sur, principalmente en las cercanías con los límites de los estados de Morelos y Guerrero. Este tipo de vegetación se encuentra representado principalmente por: *Bursera spp.*, *Xylopia spp.*,

Sprengia spp., *Pseudobombax palmeri*, *Brillhryna* spp., *Calba* sp. y *Bordia* spp. que son algunas de las especies características de la selva baja caducifolia, cuya altura no sobrepasa los 10 m.

Este tipo de vegetación se encuentra en estado secundario formando estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo que se explotan para leña, obtención de postes y se queaman para acelerar los brotes de renuevos y crecimiento de pastos e inclusive para la agricultura, la cual es poco productiva por la escasez de agua y a los suelos con fases líticas, además de las pendientes pronunciadas.

La selva alta perenifolia cubre un 7% del área total del estado y se localiza en las llanuras y en las laderas de barlovento de la Sierra Madre Oriental, en la región prevalecen los climas cálidos húmedos y subhúmedos cuya precipitación varía de 1500-4000 mm, estas condiciones aunadas a la temperatura que va de 22 a 26 °C favorecen el desarrollo de comunidades vegetales constituidas por: *Diospyros ebenaster*, *Pouteria zapota*, *Annona cherimola*, *Pimenta dioica*, *Cedrela odorata*, *Purillonia humillo*, *Croton draco*, *Bursera amaruba*.

La selva alta perenifolia ha sido intensamente explotada e inclusive talada en algunas áreas, las cuales han sido incorporadas a la agricultura con poco éxito, por lo que este tipo de selva en algunas regiones se clasifica dentro del estado secundario, en las que se encuentran distribuidas varias especies de pastizales cultivados e inducidos con fines de pastoreo. En este mismo estrato arbóreo se localiza el acahual que crece en los terrenos que dejan descansar de las actividades agrícolas durante unos 10 años.

La selva mediana subperenifolia cubre el 1 % de la superficie

del estado, la cual se encuentra bien conservada y las especies más abundantes son: *Brodium alicastrum*, *Bursera sinaruba* y *Achras zapota*.

Otras comunidades vegetales importantes en el estado de Puebla son los bosques con un 15 % del territorio estatal, que se distribuyen principalmente al norte, sobre las laderas de la Sierra Madre Oriental y el Eje Neovolcánico y en menor cantidad en la Sierra Madre del Sur. Estos bosques prosperan en regímenes climáticos templado subhúmedo y húmedo con una precipitación de 800 a 2000 mm. El bosque de mayor distribución es el de pino-encino con un 6 %, le siguen los de encino-pino, pino, encino, oyamel y mesófilo de montaña.

Entre los pinares los más comunes están: *Pinus ayacahuite*, *Pinus cembroides*, *Pinus lelophylla*, *Pinus michoacana cornuta*, *Pinus montezumae*, *Pinus patula*, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus rudio*, *Pinus strobus chapenolo* y *Pinus teocote*.

Entre las especies de encinos están: *Quercus sonora*, *Quercus turkestanica*, *Quercus excelsa*, *Quercus calophylla*, *Quercus candolleana* y *Quercus polymorpha*.

También se localiza en el estado el bosque de oyamel (*Abies sp.*) en las partes elevadas de los volcanes Iztaccíhuatl, Popocatepétl y Citlaltépetl. El bosque mesófilo de montaña se localiza en las áreas protegidas de las sierras, donde la humedad es alta y niebla casi todo el año.

En las zonas de clima seco (tehuacán) se encuentran principalmente tres tipos de vegetación que son: matorral crasicaula con un 3 %, chaparral 2.5 % y mezquital 1 %, los dos primeros se localizan

zan sobre las sierras, el mezquital se distribuye en menor cantidad sobre todo en las partes bajas fundamentalmente en el Valle de Tehuacán donde los índices de erosión son muy altos (Rzedowsky; Sánchez, 1987) y (S.P.P., 1987).

6. METODOLOGIA

6.1 TRABAJO DE CAMPO

Este trabajo se realizó en el río Atoyac, el cual nace en las faldas de la Sierra Nevada y realiza su recorrido por los estados de México, Puebla, Oaxaca y Guerrero para desembocar finalmente en el Pacífico. Antes de llevar a cabo el muestreo se realizaron varios recorridos de reconocimiento desde su nacimiento del río en el estado de México, donde las aguas se utilizan con fines de potabilidad, hasta llegar a la altura del poblado de San Cristóbal Municipio de San Martín Texmelucan, Pue., donde con auxilio de las cartas topográficas escalas 1:50,000 y 1:250,000 (S.P.P., 1987) se estableció un transecto de San Cristóbal a la Presa Independencia, ubicada al sur de la Ciudad de Puebla, antes de llegar al Municipio de Atlixco (Fig. 2b), en este transecto se ubicaron nueve sitios de muestreo.

6.2 MUESTREO

Los sitios de muestreo corresponden a: La Soledad, San Cristóbal, San Cristóbal (Amellales uso potable), Moyotzingo, Moyotzingo (cien metros adelante), Zacatelco, Puente Xoxtla, unión de los ríos Atoyac y Zahuapan antes de llegar a la Ciudad de Puebla y en la Presa Independencia, que corresponden a los números 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 respectivamente (Fig. 2b).

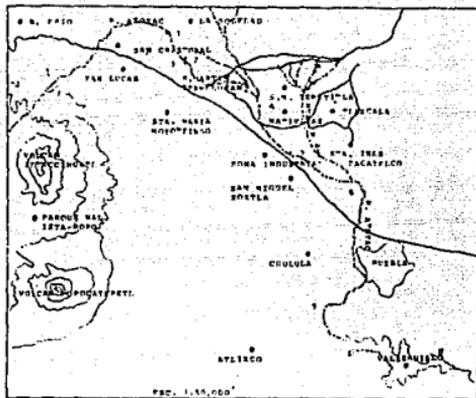


FIG. 20. ZONA DE ESTUDIO

Los muestreos se realizaron mensualmente durante un año, obteniéndose nueve muestras por período y un total de 108 muestras de agua, a las cuales se les agregó H_2SO_4 como conservador para la determinación de grasas y aceites y HNO_3 para metales pesados, a las muestras antes mencionadas se les realizaron los siguientes análisis.

6.3 TRABAJO DE LABORATORIO

Actividad de los iones hidrógeno (pH); Conductividad Eléctrica (C.E.); Cationes: (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+); Aniones (CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- y SO_4^{2-}); Grasas y Aceites; Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAM); Boro y Metales Pesados solubles (Fe, Cu, Mn, Zn, Pb, Cr, Co, Cd y Ni).

El potencial de los iones hidrógeno se analizó potenciométricamente, utilizando un pHmetro Corning modelo 10; la conductividad eléctrica se midió en un puente standar de Wheatstone como lo recomienda (Richards, L.A., 1987).

Cationes; el calcio y el magnesio se cuantificaron por el método del versenato (EDTA) y el sodio y potasio por flameometría, utilizando un flameómetro Corning modelo 400 según la metodología recomendada por APHA-AWWA-WPCF, (1980) y EPA, (1974).

Aniones; los carbonatos, bicarbonatos y los cloruros se cuantificaron por titulación, los dos primeros con H_2BO_4 0.01 N y los Cl^- por titulación con $AgNO_3$ 0.005 N y los sulfatos por precipitación con $BaCl_2$ de acuerdo a la metodología de (EPA, 1974).

Grasas y Aceites; se analizaron por el método de extracción Soxhlet, según (APHA-AWWA-WPCF, 1980 y EPA, 1974).

Surfactantes (Detergentes); estas sustancias tensoactivas se analizaron por la metodología establecida por APHA-AWWA-WPCF, (1980) que permite cuantificar las sustancias activas al azul de metileno (SAM), mediante la extracción con cloroformo del complejo que se forma entre el surfactante y el azul de metileno y el análisis se realiza por colorimetría; para tal fin se utilizó un espectrofotómetro (Spectronic 20) Bausch & Lomb.

Boro; este ión se analizó por colorimetría, utilizando un espectrofotómetro Bausch & Lomb (Spectronic 20), por el método de la curcumina según EPA, (1974).

Metales Pesados (Fe, Cu, Mn, Zn, Pb, Cr, Co, Cd y Ni) solubles, estos elementos se analizaron, en las muestras aciduladas a pH 2 con HNO_3 , por absorción atómica con flama, utilizando un espe-

trofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer modelo 372 según las especificaciones del instructivo. Para las determinaciones, las muestras después de ser colectadas fueron acidificadas posteriormente, en el laboratorio se evaporaron a una temperatura de 60 a 70 °C, recuperándose y filtrándose con papel filtro Whatman No. 42 y por último se aforaron a un volumen conocido en el cual se analizaron los elementos antes mencionados, según las especificaciones del Manual de funcionamiento del aparato y de acuerdo a la metodología aprobada por APHA-AWWA-WPCF, (1980) y EPA, (1974).

7. RESULTADOS Y DISCUSION

Actividad de los Iones Hidrógeno, al realizar el análisis de varianza para los 12 muestreos en los nueve sitios, ésta nos indica, que existe cierta variabilidad en cuanto a pH, sin embargo, al aplicar la prueba de Tukey se observó que existen diferencias significativas entre los sitios 5 y 8, pero ambos presentaron características de los demás sitios y el 1, 2, 3, 4, 6, 7, y 9 son iguales entre sí (Tabla 2 y Fig. 3).

De acuerdo con el análisis estadístico realizado en el pH, éste indica que existen pocas diferencias significativas, sin embargo, la diferencia entre los sitios 5, 8, 1, 2, 6, 7, y 3 desde el punto de vista químico es importante, ya que de este parámetro depende en gran medida el comportamiento de los parámetros como son: conductividad eléctrica, cationes, aniones y metales pesados, ya que el aumento o la disminución del pH en una unidad o menos ayuda a liberar o a precipitar ciertos metales pesados, quedando disponibles por las plantas en el primer caso al utilizarse el agua con fines agrícolas. Mientras los valores de pH altos favorecen la precipitación de los metales pesados, como es el caso de las aguas estudiadas, donde los metales pesados se han estado precipitando quedando no disponibles por los vegetales.

Por otro lado, es importante mencionar que el pH en las aguas del Río Atoyac permanece casi constante en la mayoría de los

sitios y solamente en el sitio 5 este parámetro se eleva en casi una unidad, respecto a los sitios 4, 8, y 9, mientras las diferencias con los sitios 2, 3, 6, y 7 son de media unidad, estas diferencias desde el punto de vista químico son importantes, lo cual no se refleja en el análisis estadístico. Estas diferencias se deben quizá a la descarga del drenaje de la zona industrial de San Martín Texmelucan que al integrarse a las aguas residuales tanto de origen industrial como doméstica de Moyotzingo elevan el pH a la altura del sitio 5; ya que en los sitios 6, 7, 8, y 9 se observa una baja consecutiva en el pH a consecuencia de la incorporación del agua residual de las zonas industriales, tanto del estado de Puebla como de Tlaxcala (Tabla 2 y Fig. 3).

Al analizar los resultados de cada uno de los sitios, tanto desde el punto de vista químico, como del análisis de varianza por medio de la prueba de Tukey se observa, que en el sitio 1 el pH permanece casi constante durante todo el año, a excepción de los muestreos nueve y diez, que corresponden a los meses de abril y mayo, donde el volumen de agua que proviene de las faldas de la Sierra Nevada disminuye y al integrarse las pequeñas descargas de aguas residuales de las poblaciones del área aumentan ligeramente el pH en media unidad, el cual disminuyó durante el período de lluvias en los meses de junio y julio (Tabla 3 y Fig. 4).

Por otra parte, respecto al pH y de acuerdo con la NTE-CCA-032/91 que establece los límites máximos permisibles de los contaminantes en las aguas residuales, las cuales varían de 6.5 a 8.5; por lo que los resultados del pH, en casi todos los sitios en los meses de abril y mayo se acercaron o rebasaron el límite máximo

permisible, inclusive el sitio 5 permanece por encima de la norma, de noviembre a junio, este aumento disminuye gradualmente en los sitios 6 y 7, ya que en los sitios 8 y 9 al integrarse las aguas residuales de la Ciudad de Puebla, el pH tiende a la neutralidad a excepción de los meses de marzo, abril y mayo, principalmente en el sitio 9 (Tabla 3 y Fig. 4).

Desde su inicio del Río Atoyac en los deshielos del Popocatepetl e Iztaccíhuatl (Fig. 2b), además de los escurrimientos superficiales, las aguas de este Río son utilizadas con fines de potabilidad por pequeñas poblaciones ubicadas en su trayecto hasta San Cristóbal, las cuales no cuentan con una red de agua potable. Lo mismo ocurre en los sitios 2, 3 y 4, donde el pH es casi constante durante el año a excepción del mes de octubre donde se registró un aumento en media unidad en los sitios 2 y 3, en el cuarto muestreo, ya que para los siguientes muestreos el pH disminuyó gradualmente hasta el mes de febrero donde ocurre lo mismo que en el sitio 1, donde este parámetro se incrementa nuevamente durante la época de secas en los meses de marzo, abril y mayo y se normaliza probablemente por efecto de la lluvia ácida en los meses de junio y julio, coincidiendo con los valores de pH del año anterior (Tabla 3 y Fig. 4).

Al analizar los resultados del pH del sitio 5, estos son los únicos que presentan diferencias estadísticamente significativas, es en este sitio donde se presentan los mayores valores de pH que varían de 8.1 a 9.6, lo cual se atribuye a las posibles descargas de aguas residuales alcalinas de algunas industrias durante todo el año, sólo que en la época de lluvias, esta alcalinidad es neu-

tralizada o diluida por los niveles de precipitación, por lo que el pH es bajo (Tabla 3 y Fig. 4). El incremento en los valores se observa del mes de noviembre a junio, acentuándose en mayo y junio que corresponde a los meses de mayor sequía del año, donde los valores de pH altos son neutralizados durante el período de lluvias, por efecto de la lluvia ácida, ya que en el mes de julio el pH bajó a 7.2, coincidiendo con los valores del año anterior; en el que las lluvias iniciaron en junio (Tabla 3 y Fig. 4)

Las aguas del Río Atoyac a la altura de los sitios 6 y 7 de acuerdo con los análisis realizados fueron de 7.6, 7.3, 7.5, 7.8, 7.8, 7.8, 7.5, 8.6, 8.4, 9.7, 8.0 y 7.3; 7.6, 7.4, 7.6, 7.6, 7.9, 8.0, 7.4, 8.0, 8.3, 8.3, 7.9 y 8.4 con promedios de 7.94 y 7.86 para estos sitios, respectivamente; que corresponden a los meses de junio, agosto, septiembre, octubre, noviembre, enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio y julio respectivamente (Tabla 3 y Fig. 4), las aguas a la altura de estos sitios han sido neutralizadas por el efecto de las aguas de reacción ácida provenientes de las descargas del drenaje de las industrias de los Estados de Puebla y Tlaxcala, ya que a la altura de estos sitios se juntan los Ríos Atoyac y Zahuapan, este último recoge las aguas de desechos tanto industriales como domésticos del Estado de Tlaxcala.

Los valores de pH más altos de los sitios 6 y 7 son de 9.7 y 8.4 respectivamente, que corresponden a los meses de mayo y julio, que es cuando se acentúa la mayor sequía durante el período, de la misma manera que en los demás sitios (Tabla 3 y Fig. 4).

Para los sitios 8 y 9, según los valores registrados, éstos indican que el pH es casi constante durante el año, excepto en los

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

meses de junio y enero, en el sitio 8 donde este parámetro varía en casi dos unidades, sin embargo, los valores promedio de los sitios 8 y 9 son 7.58 y 7.64 respectivamente (Tabla 2 y Fig. 3). Las demás variaciones en el aumento del pH se deben a la época de estiaje, de la misma manera que en la mayoría de los demás sitios.

Conductividad Eléctrica y Relación de Adsorción de Sodio.

Respecto a la C.E., las aguas del Río Atoyac, de acuerdo con el análisis de varianza al 95 % y mediante la prueba de Tukey se observaron diferencias significativas entre los sitios 1 y 2 respecto a los sitios 3, 9 y 5; mientras las muestras de los sitios 4, 6, 7 y 8 son iguales entre sí y presentan semejanzas con las muestras de los sitios 1, 2 y 3 (Tabla 4 y Fig. 5). Si se observa con detalle la tabla 4 y figura 5, los sitios 1 y 2 variaron de 190 a 290 y de 200 a 370 micromhos/cm, con promedios de 232.5 y 275.8 micromhos/ca respectivamente, los valores más altos corresponden a la época de estiaje, disminuyendo durante el periodo de lluvias, pero en general existe poca variabilidad en cuanto a la C.E. del sitio 2 respecto al 1. Al relacionar la C.E. con el R.A.S. desde el punto de vista agrícola la mayoría de las aguas del sitio 1 corresponden a la clase C_1S_1 y en el sitio 2 la calidad disminuye en la mayoría de las muestras a la clase C_2S_1 , siendo el agua del sitio 1 de acuerdo con Palacios y Aceves (1970), con base a la C.E. y al R.A.S. de C_1 , mientras en el sitio 2 son según su C.E. de C_2 (Tabla 5 y Fig. 6). Lo mismo ocurre en las muestras correspondientes a los sitios 3, 4, 6, 7 y 8 donde los valores de la conductividad eléctrica fluctuaron de 510 a 580; 210 a 420; 220 a

1000; 570 a 600 y 290 a 640 micromhos/cm con valores promedio de 335.0, 410.8, 474.16, 542.5 y 953.3 micromhos/cm, respectivamente. Al relacionar este parámetro con el R.A.S. estas aguas se ubican dentro de la clase C_2S_1 (Tabla 5 y Fig. 6).

Tomando en cuenta estos mismos parámetros las aguas de los sitios 5 y 9 se clasifican dentro de la clase CaS_4 , ya que los valores de la C.E. fluctuaron de 640 a 1550 y de 370 a 1600 con valores promedio de 433.3 y 1013.3 micromhos/cm respectivamente (Tabla 5 y Fig. 6).

Los criterios de clasificación de las aguas con fines agrícolas varían dependiendo del enfoque que se les quiera dar a las investigaciones, ya sean con fines de conservación del suelo, canales y de manejo, pero tomando en cuenta el CE-CCA- 001/89, respecto a la conductividad eléctrica, que establece un mmhos/cm para aguas residuales con fines agrícolas; por lo cual las aguas del Río Atoyac en los sitios 1, 2, 3, 4, 7 y 8 durante todo el año se encuentran dentro del criterio antes mencionado; sin embargo, los sitios 5, 6 y 9 registraron conductividades eléctricas por encima del criterio, sobre todo en los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio y julio, pero el mes en el cual ambos sitios registraron el criterio fue mayo (Tabla 5 y Fig. 6). Pero, al tomar en cuenta la NTE-CCA-032/91, la cual establece un límite más amplio (2.0 mmhos/cm), las aguas del Río Atoyac durante todo el año y en todos los sitios permanecen muy por debajo de la norma (Tabla 5 y Fig. 6). Este trabajo, se realizó con fines de contaminación por grasas-aceites, detergentes y metales pesados, los cuales se discutirán al final del capítulo con base en los criterios de las Nor-

mas Técnicas Ecológicas de la Legislación Ambiental Vigente propuestos por la SEDUE.

Como uno de los objetivos del trabajo fué caracterizar las aguas desde el punto de vista químico, se detectó que las aguas del Río Atoyac en algunos sitios y durante ciertos meses del año presentan niveles altos de sales, por lo que se creyó conveniente discutir los siguientes criterios:

De acuerdo con (Palacios y Aceves, 1970) la clasificación de las aguas con fines de riego se basan en 3 criterios que son:

1. Contenido de sales solubles, el cual se fundamenta en la Conductividad Eléctrica (C.E.), Salinidad Efectiva (S.E.) y Salinidad Potencial (S.P.).
2. Efectos probables del sodio sobre las características físicas del suelo, basados en la Relación de Adsorción de Sodio (R.A.S.), Carbonato de Sodio Residual (C.S.R.) y Porcentaje de Sodio Posible (P.S.P).
3. Contenido de elementos tóxicos para las plantas, con base en el contenido de Boro (B) y Cloruros (Cl).

SALINIDAD EFECTIVA

Respecto a la S.E., los valores promedio de los sitios 1, 2 y 3 fueron de 2.7, 2.9 y 3.0 meq/l respectivamente, los cuales permiten clasificar a estas aguas como de buena clase, ya que presentan menos de 3.0 meq/l de S.E.; sin embargo, al analizar las muestras individualmente durante el año se observa que en ciertos muestreos los valores de S.E. rebasan los 3 meq/l, lo que las clasifica como condicionadas, estos incrementos coinciden en su mayoría, disminu-

yendo la calidad del agua, en ciertos periodos del año, lo cual concuerda con la época de sequía durante el año (Tabla 6 y Fig. 7).

De los sitios anteriormente discutidos, los valores más homogéneos corresponden al sitio 3, ya que estas aguas son de manantiales cercanos al río, razón por la cual comparten sus propiedades con los sitios 1 y 2 que representan las zonas menos contaminadas del Río Atoyac (Tabla 6 y Fig. 7).

A medida que avanza el recorrido del río la calidad de las aguas se deteriora, ya que en el sitio 4 la mayoría de los muestreos rebasan los 3.0 meq/l con una media de 3.76 meq/l de S.E. que las ubica como aguas de uso condicionado principalmente en los meses de junio, septiembre, noviembre, febrero, mayo, junio y julio (Tabla 6 y Fig. 7)

El deterioro gradual de la calidad del agua es evidente, ya que las muestras que corresponden a los sitios 5, 6, 7, 8 y 9 de acuerdo con los valores promedio rebasan los 3.0 meq/l de S.E. que las caracteriza como aguas de uso condicionado e inclusive en algunos casos no recomendables.

Al analizar detalladamente los distintos muestreos el 1, 9 y 11 donde los valores fueron 17.22, 16.38; 15.63 y 18.05 meq/l respectivamente, que corresponden a los sitios 5, 7 y 9, los cuales permiten clasificarlas como de uso condicionado (Tabla 6 y Fig. 7); no obstante, en los sitios 6, 7 y 8 varias muestras son de buena clase, ya que no rebasan los 3 meq/l de S.E.; sin embargo, los sitios 5 y 9 son los más problemáticos, en cuanto a este parámetro, ya que el sitio 5 corresponde a la descarga del drenaje de las zonas industriales, tanto de San Martín Texmelucan como de Moyotzin-

go. Estos problemas se ven disminuidos a la altura de los sitios 6, 7 y 8, ya que estos reciben las aguas ácidas provenientes de las zonas industriales de los estados de Puebla y Tlaxcala mediante los Ríos Atoyac y Zahuapan, que se unen antes de llegar a la Ciudad de Puebla, para formar únicamente el Río Atoyac, el cual recibe las aguas residuales de la Ciudad de Puebla, deteriorando nuevamente la calidad agrícola de éstas, pues a esta altura, la S.E. se duplica, lo cual es sumamente perjudicial, ya que el sitio 9 corresponde a la presa Independencia, la cual irriga el D.D.R. 030 que cuenta con 2620 has y gran parte del municipio de Atlixco que es una de las principales zonas agrícolas del estado, donde se cultiva principalmente, maíz, frijol, alfalfa, cebada, flores, frutas y una gran variedad de hortalizas (IMTA, 1987).

El uso de aguas residuales para la producción de hortalizas está prohibido, principalmente en aquellos cultivos cuyos frutos están en contacto directo con el suelo, sin embargo, en varios distritos de riego del país ésta práctica es común, como es el caso de los D.D.R. 063 y 030 que abastecen gran parte de las hortalizas que se consumen en la Ciudad de México, a raíz de este problema se han detectado varios brotes de cólera en los Estados de Hidalgo, México, Morelos y Puebla entre otros.

SALINIDAD POTENCIAL

La S.P. en la mayoría de las muestras, en los distintos muestreos y para casi todos los sitios indica que el agua es de buena clase, ya que los valores promedio son inferiores a 3.0 meq/l de S.P., a excepción de los sitios 5 y 9 donde los niveles promedio

rebasan los 3.0 meq/l de S.P., catalogándalas como de clase condicionada, ya que en varias muestras de estos sitios durante el año rebasaron los límites antes mencionados (Tabla 7 y Fig. 8).

CARBONATO DE SODIO RESIDUAL

De acuerdo con los valores promedio de C.S.R. para los nueve sitios, las aguas se clasifican de buena clase, ya que las concentraciones promedio durante el año fueron de 0.35, 0.53, 0.19, 0.52, 1.12, 0.74, 0.89, 0.65 y 0.01 meq/l de C.S.R. para los sitios 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 respectivamente; inclusive las medias de los sitios 5 y 9 que son los lugares más contaminados están por debajo de 1.25 meq/l de C.S.R. que clasifica a las aguas como de uso condicionado (Tabla 8 y Fig. 9). Sin embargo, analizando detalladamente los resultados de los distintos muestreos, se observa que las muestras 1, de los sitios 1, 2, 6, 7 y 8; 2, del sitio 3; 11, del sitio 4; 1, 2, 5, 8 y 11 del sitio 6; 1 y 5 del sitio 7 y 1 y 2 del sitio 8 son de uso condicionado ya que rebasan el 1.25 meq/l de C.S.R. (Tabla 8 y Fig. 9). Existen además muestras de ciertos meses, cuya calidad es no recomendada como es el caso de las muestras 10, 11 y 3 de los sitios 4, 5 y 6 respectivamente (Tabla 8 y Fig. 9).

Las principales limitantes para el uso agrícola de estas aguas respecto a C.S.R. se presentan en los meses de mayor sequía, que es en los últimos meses del período de estiaje, aunque en algunos casos como los sitios 5 y 9, estos no obedecen precisamente al período de sequía, sino que en estos sitios, el agua residual de las industrias es de mala calidad en la mayoría de los paráme-

tros que se han discutido.

PORCIENTO DE SODIO POSIBLE

Respecto al P.S.P. y de acuerdo con los criterios mencionados por (Palacios y Aceves, 1970), las aguas del Río Atoyac se clasifican como buenas para riego durante la mayor parte del año y pueden utilizarse en todo tipo de suelos; aunque algunas muestras de varios sitios durante ciertos meses presentan niveles de P.S.P. superiores al 50 %, pero el sodio es inferior a 10 meq/l, lo que limita su uso; ya que se recomienda utilizarse únicamente en suelos orgánicos o de textura ligera principalmente durante los meses de junio, julio, enero, marzo y mayo que es donde se presentaron el mayor número de muestras donde se rebasó el 50 % de P.S.P., aunque existen otros muestreos donde se presentaron una o dos muestras con valores de P.S.P. superiores al 50 % .

Respecto a éste parámetro el sitio 5 es el más problemático, ya que fué en éste sitio donde se presentaron los mayores problemas en cuanto al P.S.P., inclusive en el mes de julio no solamente el P.S.P. rebasó el 50 %, sino que el sodio es superior a los 10 meq/l., por lo que el agua del Río Atoyac debe limitarse en cuanto a su uso en los suelos ubicados en la periferia de este lugar, principalmente durante la etapa final de la época de estiaje (Tabla 9 y Fig. 10).

CLORUROS

La presencia de los Cl^- en el agua, en la mayoría de los sitios fueron muy heterogéneos; ya que en los sitios 1, 2, 3 y 4 es

te anión es inferior a 1.0 meq/l , por lo que el agua de estos sitios se clasifica según Palacios y Aceves, (1970) como de buena clase; a excepción de los sitios 1, 2 y 4 en el mes de mayo y el sitio 3 en los meses de junio y julio, donde la concentración establecida para el agua de buena clase se rebasó (Tabla 10 y Fig. 11).

Los valores promedio de cloruros para los sitios 5 y 9 fueron de 1.52 y 1.94 meq/l respectivamente, los cuales ubican a estas aguas dentro de la clase condicionada durante la mayor parte del año, acentuándose en los meses que corresponden a la época de secas (Tabla 10 y Fig. 11). Los sitios 6, 7 y 8 de acuerdo con los valores promedio de Cl^- la mayor parte del año éstos, se clasifican como aguas de buena clase a excepción de unos tres meses principalmente durante el estiaje las aguas son de clase condicionada (Tabla 10 y Fig. 11).

Afortunadamente los Cl^- son los aniones que originan menos problemas en la agricultura, ya que al combinarse con los cationes respectivos forman sales neutras, que no originan graves problemas en el suelo, además de que son fácilmente solubles en la solución del suelo.

Por otra parte, la concentración de este ión y según el criterio ecológico de la calidad del agua con fines agrícolas (CE-CCA-001/89), las aguas del Río Atoyac están dentro de las normas establecidas por SEDUE, a excepción del sitio 9, en el mes de febrero en el que se registraron 197 mg/l; estando las demás concentraciones por debajo de la norma establecida que es de 147.5 mg/l.

Los cloruros son los iones quizá menos perjudiciales en el agua, tanto con fines domésticos, de potabilidad, así como de uso

agrícola y pecuario, por lo cual el límite máximo permisible para estos fines es elevado en comparación con los demás aniones, como los CO_3^- y SO_4^- .

Los cloruros se incorporan por lo general a las aguas tanto de uso doméstico como de potabilidad mediante la cloración de éstas, también se incorpora a las aguas residuales como un agente bactericida durante los sistemas de tratamiento en las aguas residuales, por lo cual en ocasiones se encuentra el Cl^- como contaminante. Se ha encontrado que las sales de cloro proporcionan sabores desagradables al agua dura cuando se encuentra en concentraciones de 182 a 376 mg/l de sales tanto de Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} (DGPOE SARH, 1980).

BORO

De acuerdo con el criterio para aguas de riego de Palacios y Aceves, (1970) las concentraciones de boro en las aguas del Río Atoyac en la mayoría de los sitios y durante casi todo el año no rebasan las 0.5 ppm; por lo que se clasifican como aguas de buena clase; sin embargo, durante junio y principalmente en agosto y septiembre las concentraciones de este elemento en la mayoría de los sitios rebasaron las 0.3 ppm, por lo que estas aguas fueron clasificadas de clase condicionada en estos meses. Inclusive en el mes de octubre los sitios 5, 6 y 9 sobrepasan el límite de 0.3 ppm y en el sitio 9 las concentraciones de boro en los meses de marzo, abril y mayo rebasaron también las 0.3 ppm clasificándose de clase condicionada (Tabla 11, Fig. 12).

Según el CE-CCA-001-89 de calidad del agua, para el boro, con

finés agrícolas es de 0.7 ppm; por lo que estas aguas están dentro de la normatividad establecida por SEDUE y de acuerdo con las recomendaciones publicadas por la SARH, (1980) los criterios de las aguas con fines agrícolas respecto a este elemento varían dependiendo de la especie vegetal, ya que existen especies tanto tolerantes, como semitolerantes y sensibles al boro.

Tomando en cuenta la importancia del boro en el suelo, plantas y animales, así como en la dieta del hombre, este elemento se trató ampliamente en los antecedentes, de la misma manera que los detergentes y los metales pesados.

IONES SOLUBLES
CATIONES (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ y K⁺)

Calcio. Según el análisis de varianza para los 12 muestreos en los 9 sitios, ésta nos indica que existe cierta variabilidad en cuanto al Ca²⁺, y al analizar los resultados mediante la prueba de Tukey se observa que existen diferencias significativas entre las muestras de los sitios 1, 3, y 9 y los sitios 2, 7, 4, 6, 5 y 8 son iguales entre sí y presentan ciertas semejanzas con el sitio 1 y 3 y las muestras del sitio 9, son las que muestran las mayores diferencias con los demás sitios (Tabla 12 y Fig. 13). Donde los valores promedio para los 9 sitios son: 4.81, 2.22, 1.95, 1.60, 1.50, 1.47, 1.47, 1.22 y 0.95 meq/l para los sitios 9, 3, 8, 5, 6, 4, 7, 2 y 1 respectivamente.

Al analizar detalladamente las distintas muestras de los distintos sitios, se observa que en general, las concentraciones de Ca²⁺ permanecen más o menos estables durante los meses de lluvias, posteriormente se observa una baja gradual, para nuevamente subir y permanecer estables en el período de lluvias cuando se inició el muestreo; aunque dentro de la homogeneidad, durante el período de estiaje en los meses de marzo, abril y mayo se observa un ligero incremento en los valores de Ca²⁺ (Tabla 13 y Fig. 14), que estadísticamente en la tabla 12 y figura 13 no se observa. Sin embargo, las muestras de los sitios 9, 3, 8 y 5 son las que registraron mayores concentraciones de éste elemento (Tabla 13 y Fig. 14).

Magnesio, en cuanto a este elemento, existen diferencias sig-

nificativas entre los muestreos de los sitios 8, 9 y 5; mientras las muestras de los sitios 6, 2 y 4 son iguales entre sí, también las muestras de los sitios 1, 7 y 3 son iguales y tienen semejanzas con las muestras de los sitios 9, 4, 2, 6, 8 y 5. Los valores promedio para los sitios 5, 9, 3, 7, 1, 4, 2, 6 y 8 fueron de 3.10, 2.92, 2.87, 2.12, 1.80, 1.63, 1.59, 1.58 y 1.51 meq/l respectivamente (Tabla 14 y Fig. 15).

Si se analizan detalladamente los 9 sitios durante el año, el comportamiento respecto al Mg^{2+} , es semejante al Ca^{2+} , ya que durante los meses de estiaje en la mayoría de los sitios las concentraciones de este ión suben ligeramente, a excepción del mes de febrero en el sitio 5, donde la concentración de Mg^{2+} subió drásticamente y de marzo en adelante los valores fueron muy variables, esto se puede explicar, ya que a esta altura el Río recibe las aguas residuales de la zona industrial de San Martín Texmelucan, cuya composición química es variable durante el año, además se reciben las aguas residuales de origen doméstico de varios poblados, entre los cuales se encuentra Moyotzingo; para bajar nuevamente en junio y julio coincidiendo con los meses del año anterior (Tabla 15 y Fig. 16).

Por otro lado, los sitios 9, 3, 8 y 5 son los que presentan mayores concentraciones tanto de Ca^{2+} como de Mg^{2+} , ya que el sitio 9 además de recibir las aguas residuales de tipo industrial, tanto del Estado de Puebla como de Tlaxcala, recibe las aguas de desechos domésticos de la Ciudad de Puebla.

Sodio, respecto a este catión y con base en los valores promedio que fueron de 4.81, 2.41, 1.46, 1.11, 0.98, 0.94, 0.81, 0.74,

0.65 meq/l para los sitios 5, 9, 8, 7, 4, 6, 3, 2 y 1 respectivamente, en los cuales se observa que los sitios 1, 2 y 3 son iguales entre sí y presentan semejanzas con los sitios 6, 4, 7 y 8, pero presentan diferencias significativas con los sitios 9 y 5; y los sitios 6, 4, 7 y 8 son iguales entre sí, además presentan características de los sitios 1, 2, 3 y 9, pero presentan diferencias estadísticas significativas con respecto al sitio 5, siendo este sitio el que presenta mayores diferencias con los demás sitios durante todo el año.

Por otro lado, el sitio 9 aunque es semejante a los sitios 6, 4, 7 y 8 presenta diferencias significativas con los sitios 1, 2 y 3 (Tabla 16 y Fig. 17).

Al analizar los datos individualmente se observa que en los sitios 1, 2, 3 y 4 durante todo el año, las concentraciones del ión Na^+ son constantes, pero durante los meses de febrero, marzo y abril suben considerablemente, bajando nuevamente en los meses de junio y julio, coincidiendo con los resultados del año anterior. Por otro lado, en el sitio 5 las concentraciones del Na^+ se detectaron altas, por lo cual el pH de este sitio permanece alto durante el año, el cual baja gradualmente en los demás sitios para permanecer más o menos constante en los muestreos de los sitios 8 y 9. Mientras en las muestras de los sitios 6, 7 y 8 las concentraciones de Na^+ permanecen casi uniformes, observándose un ligero incremento en los meses de estiaje y las muestras del sitio 9 muestran una alza considerable en Na^+ respecto a las muestras de los sitios 6, 7 y 8, sobre todo en los meses de junio, noviembre, enero, febrero, abril, mayo y julio (Tabla 17 y Fig. 18).

Potasio, los valores promedio de K^+ para los 12 muestreos fueron de 0.39, 0.30, 0.27, 0.24, 0.23, 0.22, 0.22, 0.17 y 0.13 meq/l para los sitios 9, 8, 3, 5, 6, 4, 7, 2 y 1 respectivamente, por lo que de acuerdo con la tabla 18 y figura 19 se observa que entre los sitios 1 y 2 existen diferencias significativas respecto a los sitios 5 y 8, y a su vez el sitio 1 presenta diferencias significativas con el sitio 3, además los sitios 7, 4, 6 y 5 son iguales entre sí y estos a su vez presentan semejanzas con los sitios 1, 2, 3 y 8, pero son distintos al sitio 9, siendo los sitios 1 y 9 los que presentan mayor significancia, pero el sitio 9 es distinto a todos los sitios a excepción de los sitios 8 y 3, los cuales comparten semejanzas con el sitio 9.

Los datos mensuales de K^+ indican que los valores de este elemento en los sitios 1, 2, 3 y 4 permanecen constantes, observándose un ligero decremento durante el periodo de lluvia, el cual sube nuevamente en el periodo de estiaje y en los últimos meses se estabiliza, coincidiendo con los valores iniciales. Lo mismo ocurrió con los demás sitios a excepción del sitio 5 donde las concentraciones de K^+ permanecieron constantes durante todo el año (Tabla 19 y Fig. 20).

ANIONES SOLUBLES (CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- y SO_4^{2-})

Al realizar el análisis de varianza con los datos de CO_3^{2-} en los 9 sitios durante el año, éste nos dice que no existen diferencias significativas, sin embargo, el análisis de rango múltiple mediante la prueba de Tukey permite observar una gran variabilidad

en los valores promedio que van de 0.20, 0.20, 0.30, 0.30, 0.40, 0.40, 0.70, 0.90 y 2.20 meq/l para los sitios 1, 4, 2, 8, 3, 6, 9, 7 y 5 respectivamente; aunque al analizar éstos valores las mayores diferencias numéricas están entre los sitio 1 y 5 (Tabla 20 y Fig. 21).

Al analizar las concentraciones de carbonatos durante los distintos muestreos, se observa que, en la mayoría de los sitios durante el año, este anión está ausente, con algunas excepciones, pero durante los meses de abril y mayo la presencia de CO_3^{2-} fué constante en casi todos los sitios, inclusive en el sitio 5, donde se detectaron con mayor frecuencia las mayores concentraciones de carbonatos, ya que éste sitio es el que recibe la mayor influencia de aguas residuales de origen tanto industrial como doméstico, que se refleja en la mayoría de los elementos analizados (Tabla 21 y Fig. 22).

Respecto a los HCO_3^- , el análisis de varianza indica que existen diferencias significativas y el análisis de rango múltiple mediante la prueba de Tukey indica que los valores promedio de los distintos sitios durante el año fluctuaron de 2.10, 2.54, 2.80, 2.90, 3.20, 3.30, 3.40, 3.50 y 4.40 meq/l para los sitios 5, 1, 2, 6, 4, 7, 8, 3 y 9 respectivamente. Siendo el sitio 9 distinto a los sitios 5 y 1, pero semejante a los sitios 2, 6, 4, 7, 8 y 3, éstos últimos son iguales entre si y presentan semejanzas con los sitios 5 y 1 (Tabla 22 y Fig. 23).

Al analizar el comportamiento de los bicarbonatos durante el período de muestreo, se observa que en todos los sitios las conce

traciones más elevadas se detectaron en los meses de junio y agosto, posteriormente por efecto de la precipitación las cantidades de HCO_3^- bajaron gradualmente y en noviembre se registró un nuevo incremento en los sitios 1, 2, 6, 7 y 9, los cuales nuevamente en enero bajaron, pero en el mes de febrero se observa un incremento homogéneo en la concentración de bicarbonatos en todos los sitios, mientras este incremento se mantiene en algunos sitios durante el período de estiaje; en la mayoría, las fluctuaciones son muy heterogéneas, siendo las concentraciones más altas en el mes de mayo en los sitios 4 y 9 con valores de 7.2 meq/l, los cuales, junto con los demás sitios se estabilizaron en junio y julio, registrándose niveles inferiores a los meses correspondientes al año anterior.

Los sitios que permanecieron más estables durante el año, fueron el 1, 2, 3 y 8, siendo las concentraciones de HCO_3^- en los demás sitios muy irregulares durante el año (Tabla 23 y Fig. 24).

Cloruros, al someter los valores obtenidos de este ión a un análisis de varianza al 95 % de confiabilidad, éste nos indica que existen diferencias significativas entre los sitios y al realizar el análisis de rango múltiple, mediante la prueba de Tukey al 95 % ésta indica que existe una gran variabilidad que fluctúa de 0.55, 0.61, 0.71, 0.72, 0.80, 0.85, 0.86, 1.53 y 1.94 meq/l para los sitios 1, 2, 3, 4, 7, 8, 6, 5 y 9 respectivamente (Tabla 24 y Fig. 25).

Con el fin de tener una información más detallada sobre el comportamiento de los cloruros durante el año, mediante el mismo

análisis estadístico realizado con los valores promedio; dicho análisis revela que las muestras de los sitios 5 y 9 son distintas a los demás sitios, mientras los sitios 7, 8 y 6 comparten características con los sitios 1, 2, 3 y 4, mientras las muestras correspondientes a estos últimos cuatro sitios son iguales entre sí (Tabla 24 y Fig 25).

En la tabla 24 se observa que la concentración de Cl^- en los sitios 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 disminuyen gradualmente durante el período de lluvias, pero durante el estiaje suben gradualmente, encontrándose las mayores concentraciones en los meses de abril y mayo, a excepción del sitio 5 donde se notó un incremento en el mes de marzo y en el sitio 9 en el mes de febrero este incremento presentó una baja gradual en ambos sitios en los meses de junio y julio, encontrándose las mayores concentraciones de cloruros en los sitios 9 y 5, ya que fueron las muestras de menor calidad agronómica durante el año (Tabla 25 y Fig. 26).

El análisis de varianza realizado en la concentración de SO_4^{2-} en los distintos sitios, muestra que existen diferencias significativas entre estos y al efectuar el análisis de rango múltiple mediante la prueba de Tukey indica que existe una gran variabilidad que fluctúa de 1.48, 1.51, 1.55, 1.56, 1.64, 2.52, 3.03, 5.06 y 6.70 meq/l para los sitios 8, 6, 2, 3, 1, 4, 7, 9 y 5 respectivamente; lo cual muestra que los sitios 5 y 9 son distintos a los demás sitios ya que estos sitios son los que presentan las mayores diferencias con los demás sitios, y que las muestras de los sitios 8, 6, 2 y 3 son iguales, además tienen semejanzas con las muestras

de los sitios 1, 4 y 7 y éstas últimas son semejantes entre sí y presentan semejanzas con el sitio 9 (Tabla 26 y Fig. 27).

Al analizar el comportamiento de los sulfatos durante el año en los distintos sitios, estos fueron muy variables, ya que las mayores concentraciones de SO_4^{--} se encuentran dispersos, pero las muestras que presentan los mayores valores corresponden a los sitios 9 y 5 con valores hasta de 15.42 y 13.53 meq/l (Tabla 27 y Fig. 28).

Después de realizar la interpretación estadística sobre el comportamiento de los cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+) y de los aniones (CO_3^{--} , HCO_3^- , Cl^- y SO_4^{--}) durante el período de muestreo en los 9 sitios donde, por orden decreciente fueron: bicarbonatos, sulfatos, magnesio, calcio, sodio, cloruros, carbonatos y potasio.

Las concentraciones de los iones antes mencionados, en el agua son importantes para determinar la calidad de ésta desde el punto de vista agrícola, ya que frecuentemente se utiliza para indicar las conveniencias o limitaciones del empleo del agua con fines de riego. Con frecuencia se utiliza también la tolerancia de los cultivos a las sales, propiedades de los suelos, condiciones de manejo tanto de suelos como de agua, así como las condiciones climatológicas.

Aunque la calidad del agua no es una característica inherente de ésta, en este trabajo se ha definido exclusivamente con base en las características químicas como son:

1. Contenido de sales solubles; dadas por la conductividad eléctrica (C.E.), salinidad efectiva (S.E.) y salinidad potencial (S.P.).

Estos parámetros son una estimación real del peligro de las

sales solubles presentes en el agua, que pasan a formar parte de la solución del suelo, donde se toman en cuenta para su cálculo, tanto los cationes como los aniones dependiendo de la cantidad de Ca^{2+} o de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, los cuales al combinarse con los CO_3^{2-} y HCO_3^- forman las sales menos solubles que se precipitan participando en menor medida en la elevación de la presión osmótica de la solución del suelo.

Salinidad potencial (S.P); esta es un índice que toma en cuenta la concentración de los Cl^- y los SO_4^{2-} , ya que al disminuir la humedad aprovechable a menos del 50 % las últimas sales que quedan en solución son los Cl^- y los SO_4^{2-} . Este índice permite estimar el peligro de los cloruros y los sulfatos en solución cuando la humedad es baja, aumentando considerablemente la presión osmótica sobre las plantas.

2. Efecto probable del sodio sobre las características físicas del suelo; dado por la relación de adsorción del sodio (R.A.S.), este índice representa la relación que existe entre el sodio sobre la raíz cuadrada del calcio más magnesio entre dos.

Cuando las concentraciones de Na^+ en solución son considerables, éste se acumula en el suelo en concentraciones elevadas en relación con el Ca^{2+} y el Mg^{2+} , sustituyendo a éstos últimos del complejo de intercambio, originando un desequilibrio eléctrico, dejando cargas negativas residuales, por lo que las partículas se repelen y el suelo se deflocula y pierde su estructura, además de que disminuye la permeabilidad favoreciendo la formación de costras y con ello afectando el desarrollo normal de las plantas. La estimación de estos efectos se realizan mediante el R.A.S., que es

el índice más difundido para contemplar y medir el peligro de sodificación del agua de riego, además está correlacionado con el porcentaje de sodio intercambiable (P.S.I.) del suelo por lo que, entre mayor sea el R.A.S. el P.S.I. será mayor y esto implica un mayor peligro de sodificación del suelo.

Carbonato de sodio residual (C.S.R.), este índice representa la relación que existe entre la diferencia de la suma de los carbonatos más los bicarbonatos menos la diferencia de calcio más magnesio y cuando la diferencia es negativa, los valores del C.S.R. son cero y por lo tanto no existen problemas de este índice. Desde el punto de vista agrícola, cuando el contenido de carbonatos y bicarbonatos en el agua de riego es mayor que el calcio y magnesio, es posible la formación de carbonato de sodio, ya que por su alta solubilidad, permanece en solución aun después de la precipitación de los carbonatos de calcio y magnesio. Por lo que bajo estas condiciones la concentración de sodio puede ser suficiente para desplazar al calcio y al magnesio de los sitios de intercambio, originando la defloculación del suelo.

Y el porcentaje de sodio posible (P.S.P.), este parámetro está estrechamente relacionado con la salinidad efectiva; y se obtiene como resultado del valor de sodio entre la salinidad efectiva multiplicado por cien. El contenido de sodio en solución en el agua de riego, representa un peligro cuando éste rebasa la mitad de los cationes disueltos, por lo que compete desplazando al Ca^{2+} y al Mg^{2+} de los sitios de intercambio; aunque el peligro del porcentaje de sodio posible en solución en el agua de riego no es muy representativo en el suelo las sales menos solubles son CaCO_3 , MgCO_3 y

el CaSO_4 , las cuales se precipitan disminuyendo el porcentaje de sodio en solución; por lo que el P.S.P. depende de la S.E.

3. Respecto al contenido de elementos tóxicos presentes en las aguas de riego que pueden ser dañinos para las plantas aún en pequeñas concentraciones están el boro, cloro, detergentes y metales pesados. Siendo el boro quizá, el elemento más conflictivo, el cual fué tratado ampliamente con anterioridad y respecto a los detergentes, la toxicidad de éstos en la agricultura no está clara, ya que de acuerdo a las experimentaciones al respecto se sabe que bajas concentraciones de detergentes en lugar de afectar el crecimiento lo estimula en concentraciones hasta de 40 ppm. Mientras la toxicidad de los metales pesados en los vegetales depende fundamentalmente del pH, ya que mientras en condiciones de acidez los metales se solubilizan, quedando disponibles para los vegetales; a pH alcalino, los metales pesados se precipitan quedando insolubles en el suelo sin afectar la cadena natural agua-suelo-planta.

Boro, las concentraciones de este elemento fueron analizadas estadísticamente mediante un análisis de varianza al 95 % de confiabilidad, de acuerdo con este análisis existen diferencias significativas y el análisis de rango múltiple muestra que existe una variabilidad numérica considerable desde 0.09, 0.01, 0.01, 0.13, 0.14, 0.15, 0.24, 0.43 hasta 0.45 ppm para los sitios 3, 1, 4, 2, 7, 6, 8, 9 y 5 respectivamente; el análisis de rango múltiple, a pesar de la variabilidad numérica, indica que estadísticamente existe una gran homogeneidad, ya que los únicos sitios distintos son el 3 y el 5 y los demás son iguales entre sí, esta diferencia

se debe a que el sitio 3 representa el agua que se colectó de los amellales al lado del río con fines de potabilidad, mientras la muestra 5 corresponde al drenaje de las zonas industriales de San Martín Texmelucan y Moyotzingo que junto con la muestra 9 resultaron ser las más contaminadas, seguidas por la muestra 8 (Tabla 28 y Fig. 29).

Analizando el comportamiento anual del boro, las mayores concentraciones de este elemento se encontraron durante los primeros muestreos del período que corresponden a los meses de junio, agosto, septiembre y octubre sobre todo en los sitios 5, 9 y 8, aunque el sitio 9 posteriormente mostró concentraciones elevadas de este elemento durante los meses de marzo, abril y mayo, aunque no se pueden comparar con los períodos críticos (Tabla 29 y Fig. 30).

Detergentes, los valores de surfactantes fueron sometidos a un análisis de varianza al 95 % de confiabilidad, el cual muestra que existen diferencias significativas y al someter los resultados a un análisis de rango múltiple al 95 %, indica que existe una gran variabilidad que fluctúa desde 0.29, 0.39, 0.54, 0.60, 0.69, 0.92, 1.10, 1.31 y 2.82 ppm para los sitios 1, 3, 2, 6, 5, 7, 4, 8 y 9 respectivamente; el análisis de rango múltiple, indica además que existe estadísticamente una gran homogeneidad en cuanto a las concentraciones de detergentes, ya que los valores promedio de los sitios 1, 3, 2, 6, 5, 7, 4 y 8 son iguales y que únicamente el sitio 9 es distinto a los demás (Tabla 30 y Fig. 31).

Los valores de surfactantes encontrados son bajos, ya que solo se cuantificaron los que reaccionan con el azul de metileno

(S.A.M.). Los sitios que presentan mayores concentraciones son el 7 y 8, ya que a esta altura se incorporan los afluentes, entre los que se encuentra la Ciudad de Puebla, que aporta la mayor cantidad de detergentes en las aguas residuales.

El comportamiento de las sustancias activas al azul de metilg no durante el periodo de muestreo fué muy heterogéneo, sin embargo las mayores concentraciones se detectaron en el mes de septiembre al final de la época de lluvias y la mayor concentración se detectó en marzo (Tabla 31 y Fig. 32). Aunque las concentraciones detectadas en las aguas residuales del Río Atoyac son bajas, sobre todo en las muestras que corresponden a los primeros sitios, éstas podrían afectar a los cultivos sensibles a los detergentes, aunque al respecto, los efectos de las moléculas de surfactantes no han sido claras ya que a bajas concentraciones éstas incrementan el desarrollo de las plantas (Juárez, 1970 y Rivera, 1971). Sin embargo, concentraciones inferiores a 1 ppm afectan drásticamente la vida acuática, esto ha sido ampliamente demostrado por Leanke y Mount, (1963).

De acuerdo con los parámetros establecidos por SEDUE (1991), para sustancias tóxicas presentes en las aguas residuales, no han sido precisadas, ya que la concentración de estas sustancias solamente se han normado para ciertos tipos de industrias, para las cuales la norma es de 30 ppm (CE-CCA-001/89 y NTE-CCA-031/91). Estos niveles son elevados, pero al integrarse estas aguas a la red de drenaje y alcantarillado disminuyen, por lo que no se pueden comparar las concentraciones detectadas en las aguas del Río Atoyac, pero sí sirven como referencia; ya que en el último sitio

muestreado se encontraron concentraciones hasta de 7.5 ppm, las cuales afectan el desarrollo sobre todo de hortalizas y otros cultivos sensibles a los detergentes.

Las muestras de agua de los sitios 1 y 3 son utilizados con fines de potabilidad y las concentraciones detectadas en estas muestras rebasan los límites máximos permisibles por la O.M.S., (1984), ya que van de 0.0 a 0.2 ppm y el CE-CCA-01/89 que establece 0.5 ppm para el agua con fines de potabilidad.

Respecto a las concentraciones de detergentes en las aguas residuales con fines agrícolas, mientras no se experimente ampliamente, difícilmente se normará sobre los límites máximos permisibles de surfactantes tanto en aguas, suelos y plantas.

Al analizar los resultados de grasas mediante el análisis de varianza, éste nos indica que no existen diferencias significativas; sin embargo, el análisis de rango múltiple muestra una gran variabilidad que fluctúa de 196.92, 234.58, 235.92, 271.83, 289.20, 303.42, 321.22, 337.17 y 339.33 ppm para los sitios 1, 5, 4, 9, 7, 8, 3, 6 y 2 respectivamente y que estadísticamente los sitios son iguales entre sí (Tabla 32 y Fig. 33).

Al analizar detalladamente los resultados de los nueve sitios durante el período de muestreo, se observa que éstos son muy heterogéneos, ya que las mayores concentraciones de grasas en los distintos sitios, no se agrupan específicamente durante un muestreo (Tabla 33 y Fig. 34). Sin embargo, a excepción de los sitios 5 y 7 en los meses de noviembre y julio respectivamente las concentraciones de grasas exceden la NTE-CCA-031/91 que establece de 10 a 12

ppm; aunque para ciertas industrias la norma es de 70 ppm; por lo que este valor se excede en la mayoría de los sitios durante casi todo el año (Tabla 33 y Fig. 34).

El contenido de grasas en las aguas residuales es muy perjudicial, ya que altas concentraciones de grasas y aceites afectan fundamentalmente las propiedades físicas del suelo, alterando la estructura y permeabilidad de éste (Méndez, 1990). En el agua potable el contenido de grasas debe estar ausente, por lo que las muestras 1 y 3 se encuentran muy por arriba de la concentración establecida por el CE-CCA 001/89; que menciona que las grasas deben estar ausentes en el agua potable.

METALES PESADOS

El análisis de varianza al 95 % de los valores de hierro de los nueve sitios durante el año indican, que no existen diferencias significativas; sin embargo, el análisis de rango múltiple mediante la prueba de Tukey indica que existe una variabilidad que fluctúa de 0.03, 0.12, 0.36, 0.42, 0.48, 0.54, 0.60, 0.72 y 1.43 ppm para los sitios 3, 5, 6, 7, 1, 4, 2, 8 y 9 respectivamente; este análisis, indica además que el sitio 9 es distinto a los sitios 3 y 5 y los sitios 6, 7, 1, 4, 2 y 8 son iguales entre sí y presentan además semejanzas con los sitios 3, 5 y 9 (Tabla 34 y Fig. 35).

Al interpretar con más detalle el comportamiento del Fe en los nueve sitios durante el año, se observa que las mayores concentraciones de este elemento se encontraron durante el mes de junio, siendo los sitio 9 y 8 los que presentan las mayores concentraciones.

nes de hierro; para este elemento las mayores concentraciones no corresponden al periodo de estiaje, como ocurre con la mayoría de los parámetros analizados anteriormente (Tabla 35 y Fig. 36).

Al comparar los resultados obtenidos con la NTE-CCA-032/91 y con el CE-CCA-001/89 que establecen el límite máximo permisible de 5.0 ppm para aguas con fines agrícolas; éstas se encuentran dentro de este rango, a excepción del sitio 9 en el mes de junio; durante este mes, varias muestras si no rebasan el límite, si presentan cantidades considerables; pero como no se dan valores mínimos, ni en las normas ni en los criterios ecológicos respecto al Fe, creo que cantidades por arriba de 1.0 ppm de este elemento puede ser tóxico sobre todo para las plantas sensibles al Fe.

Estas aguas, sobre todo en los tramos, donde se emplean con fines domésticos y pecuarios sobrepasan la norma y el criterio ecológico en varias muestras, ya que las primeras toleran hasta 0.3 ppm y las segundas toleran hasta 1.0 ppm.

El análisis de varianza al 95 % de confiabilidad de los datos de cobre indica, que existen diferencias significativas entre los sitios, ya que de acuerdo con la prueba de Tukey existe una variabilidad que fluctúa de 0.008, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01, 0.02 y 0.02 ppm en los sitios 2, 3, 6, 7, 1, 8, 5, 4 y 9 respectivamente y según el análisis de rango múltiple, las mayores diferencias están entre el sitio 9 y 2 y los demás sitios son iguales, pero el sitio 9 presenta semejanzas con los demás sitios a excepción del sitio 2 y a la vez éste, presenta semejanzas con los demás sitios a excepción del sitio 9 (Tabla 36 y Fig. 37).

Al analizar detalladamente la tabla 37 y figura 3B, se observa que los valores son bajos y muy heterogéneos, ya que las mayores concentraciones en los distintos muestreos están muy dispersos; pero los sitios en los cuales se detectaron las mayores concentraciones son el 9, 4 y 5, ya que las muestras 4 y 5 corresponden a las aguas residuales industriales del municipio de San Martín Texmelucan y en el sitio 9 se incorporan además las aguas de las Ciudades de Puebla y Tlaxcala. Al comparar los resultados obtenidos en los nueve sitios durante el año, éstos son muy inferiores a los límites máximos permisibles por la NTE-CCA-032/91 y el CE-CCA-001/89 que son de 5.0 ppm para el agua de uso agrícola; también están dentro de los límites con fines de uso pecuario con respecto al Cu que toleran hasta 1.0 ppm.

De acuerdo con el análisis de varianza al 95 % de confiabilidad realizado con las concentraciones de Mn, éste indica que existen diferencias significativas entre los sitios y según la prueba de Tukey indica que existe una variabilidad entre los valores promedio de 0.008, 0.01, 0.03, 0.03, 0.04, 0.06, 0.12 a 0.26 ppm de Mn para los sitios 3, 5, 6, 4, 2, 7, 1, 8 y 9 respectivamente. Además el análisis de rango múltiple revela, que las muestras del sitio 9 son distintas a las muestras de los demás sitios y los sitios 3, 5, 6, 4, 2, 7, 1 y 8 son iguales entre sí (Tabla 3B y Fig. 39).

El comportamiento del Mn durante el año en los distintos sitios fué más homogéneo que el Cu, ya que aunque las mayores concentraciones se encuentran dispersas a lo largo del año, sí, un gran número de las mayores concentraciones corresponden al mes de ju-

lío; pero las mayores concentraciones por sitio corresponden al sitio 9, que resultó ser el único sitio estadísticamente diferente a los demás (Tabla 39 y Fig. 40).

Los niveles máximos permisibles de Mn según la NTE-CCA-032/91 para fines agrícolas y pecuarios son de 0.02 y 0.1 ppm respectivamente; por lo que si comparamos los resultados obtenidos un gran número de ellos rebasan la norma, sobre todo en los sitios 1, 4, 6, 7, 8 y 9, pero principalmente en los últimos tres sitios donde la norma se rebasa durante casi todo el año.

El análisis de varianza realizado con los valores de Zn, indica que existen diferencias significativas al 95 % de confiabilidad, ya que de acuerdo con la prueba de Tukey existe una variabilidad de los valores promedio de 0.01, 0.01, 0.02, 0.02, 0.02, 0.03, 0.03, 0.05 y 0.026 ppm de Zn para los sitios 3, 2, 1, 7, 4, 6, 9, 8 y 5 respectivamente, siendo diferente únicamente el sitio 5, respecto a los demás sitios, ya que los sitios 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8 y 9 son iguales entre sí (Tabla 40 y Fig. 41).

El comportamiento del Zn durante el año en los nueve sitios fue variable, ya que las mayores concentraciones corresponden a los sitios 5 y 8 en los meses de agosto y marzo respectivamente; pero el sitio en el cual se encontraron las mayores concentraciones de Zn, es el sitio 5 (Tabla 41 y Fig. 42). Los valores de este elemento encontrados son inferiores a los valores máximos permisibles por la NTE-CCA-032/91 que tolera hasta 2.0 ppm para agua de uso continuo en la agricultura.

Los valores de Pb, de acuerdo con el análisis de varianza in-

dican que existen diferencias significativas, ya que de acuerdo con la prueba de Tukey en los valores promedio, existe una variabilidad que fluctúa de 0.04, 0.05, 0.06, 0.06, 0.06, 0.06, 0.06, 0.07 y 0.08 ppm de Pb para los sitios 1, 2, 5, 7, 8, 6, 3, 4 y 9 respectivamente, y según el análisis de rango múltiple las muestras del sitio 9 son distintas a los sitios 1 y 2; además el sitio 9 es semejante a los sitios 5, 7, 8, 6, 3 y 4; los cuales son iguales entre sí (Tabla 42 y Fig. 43).

El comportamiento del Pb en los primeros sitios fué homogéneo, encontrándose las mayores concentraciones en el mes de agosto, sin embargo, los mayores valores durante el período de muestreo corresponden a los sitios 3, 4 y 6 en los meses de agosto y octubre respectivamente; pero los mayores valores promedio corresponden al sitio 9 (Tabla 43 y Fig. 44), lo cual coincide con la mayoría de los elementos pesados, ya que es el sitio que cuenta con las aguas de menor calidad. Sin embargo, las concentraciones detectadas son inferiores a los niveles máximos permisibles por la NTE-CCA-031/91 que tolera hasta 1.0 ppm para aguas de riego.

Para los valores de Cr, de acuerdo con el análisis de varianza, éste muestra que existen diferencias significativas al 95 % de confiabilidad y según la prueba de Tukey, existe variabilidad en los valores promedio que fluctúan de 0.0036, 0.0036, 0.0040, 0.0041, 0.0044, 0.0048, 0.0054 y 0.0139 ppm de Cr para los sitios 6, 7, 1, 2, 8, 4, 5, 3 y 9 respectivamente; el análisis de rango múltiple indica, que el sitio 9 es el único distinto y los demás,

son iguales entre sí (Tabla 44 y Fig. 45).

El comportamiento del Cr en los distintos sitios y durante el período de muestreo, indica una cierta homogeneidad, ya que los mayores valores de las concentraciones de Cr se detectaron en junio y las muestras de mayor contaminación corresponden al sitio 9; de acuerdo con la NTE-CCA-032/91 en los meses de abril, junio y julio se rebasaron los niveles máximos permisibles de dicha norma, que son de 0.01 ppm. En los demás sitios y durante todo el año los niveles de cromo son inferiores a la norma (Tabla 45 y Fig. 46).

El análisis estadístico realizado con los valores de Co, indica que no existen diferencias significativas entre los distintos sitios; sin embargo, según la prueba de Tukey indica que existe una variabilidad que fluctúa de 0.0057, 0.0063, 0.0070, 0.0073, 0.0075, 0.0082, 0.0088, 0.0095 y 0.0104 ppm de Co para los sitios 2, 3, 4, 7, 1, 8, 6, 5 y 9 respectivamente. Por otro lado, el análisis de rango múltiple indica que todos los sitios son iguales entre sí (Tabla 46 y Fig. 47).

Las fluctuaciones de cobalto durante el año y en todos los sitios fueron numéricamente muy homogéneas; sin embargo, en la figura 48 se observa un comportamiento muy heterogéneo principalmente en los sitios 9 y 5; donde las mayores concentraciones, corresponden a la época de secas o a sus límites y los mayores valores encontrados corresponden al sitio 9 (Tabla 47 y Fig. 48). Respecto al cobalto la SEDUE no ha establecido límites, ya que no es un elemento muy conflictivo, además de que por lo general se encuentra en menores concentraciones que los demás elementos pesados.

Los valores de Ni, de acuerdo con el análisis de varianza resultaron ser significativos, además la prueba de Tukey indica que existe una variabilidad que fluctúa de 0.0141, 0.0151, 0.0152, 0.0153, 0.0153, 0.0160, 0.0170, 0.0200 y 0.0322 ppm para los sitios 6, 7, 4, 1, 2, 3, 5, 8 y 9 respectivamente y según el análisis de rango múltiple, el sitio 9 es distinto a los demás como ocurre en la mayoría de los parámetros evaluados, ya que a excepción de éste, los demás sitios son iguales entre sí (Tabla 48 y Fig.49).

Al analizar el comportamiento del níquel en los distintos sitios durante el año, se encuentran concentraciones homogéneas en la mayoría de los sitios, a excepción de los sitios 5 y 9 en los cuales se encontraron las mayores variaciones de Ni y los mayores valores de este elemento corresponden al sitio 9 los cuales se detectaron en los meses de junio y julio (Tabla 49 y Fig. 50). La mayoría de los sitios durante el año se encuentran dentro de la NTE-CCA-032/91, que establece el límite máximo permisible de 0.05 ppm de Ni; solamente el sitio 9 en el mes de junio excedió los valores máximos de la norma.

El Cd de acuerdo con el análisis estadístico realizado indica, que no existen diferencias significativas entre los sitios; sin embargo, según la prueba de Tukey al 95 % de confiabilidad, existe una gran variabilidad entre los sitios que varía de 0.0005, 0.0007, 0.0007, 0.0008, 0.0008, 0.0008, 0.0008, 0.0009 y 0.0011 ppm de Cd para los sitios 4, 5, 8, 6, 7, 1, 3, 2 y 9 respectivamente y de acuerdo con el análisis de rango múltiple el sitio 9 es distinto al sitio 4 y éste último es semejante a los sitio 6, 8,

5, 7, 1, 3 y 2, los cuales además son iguales al sitio 9 e iguales entre sí (Tabla 50 y Fig. 51).

Al analizar detalladamente los resultados de los distintos sitios durante el año se observa que las mayores concentraciones de Cd detectadas se encuentran dispersas en los meses de octubre, marzo, abril, mayo y julio; sin embargo, la mayor concentración corresponde al sitio 9 en el mes de octubre, que es de 0.0024 ppm, inclusive este valor es inferior al límite máximo permisible por la NTE- CCA-032/91 que establece 0.01 ppm; siendo los demás valores muy inferiores a la norma (Tabla 51 y Fig. 52).

8. CONCLUSIONES

Las aguas del Río Atoyac que hace unos cuantos años se utilizaban con fines de potabilidad en la mayoría de su recorrido por los Estados de México, Puebla, Oaxaca y Guerrero; en la actualidad se encuentran contaminadas por las aguas residuales que se integran a este río, tanto de origen doméstico como industrial, fundamentalmente de las zonas industriales de los Estados de Puebla y Tlaxcala.

Las aguas del Río Atoyac tienden a ser alcalinas, principalmente en el sitio 5, a la altura del poblado de Moyotzingo, donde las aguas residuales de las zonas industriales de San Martín Texmelucan y Moyotzingo se juntan en estos sitios, respecto a este parámetro, en varios meses se rebasan las normas establecidas por SEDUE para aguas con fines agrícolas. Estas aguas son ligeramente salinas sobre todo en los sitios 5 y 9, donde únicamente se pueden utilizar para riego de plantas semitolerantes y tolerantes a la salinidad, ya que corresponden a la C_2S_4 y la mayoría de los demás sitios son de clase C_2S_4 . Y de acuerdo con el CE-CCA-001/89 las muestras de los sitios 5, 9 y 6 no son recomendables para la agricultura, sin embargo los demás sitios se encuentran dentro de las normas.

Con respecto a la salinidad efectiva, las aguas del Río Atoyac en la mayoría de los sitios y durante casi todo el año son de

clase condicionada, a excepción de los primeros 3 sitios, donde el agua de acuerdo con éste parámetro es de buena clase.

Con respecto a la salinidad potencial; carbonato de sodio residual y por ciento de sodio posible, las aguas analizadas en todos los sitios y durante casi todo el año son de buena clase, a excepción de ciertos meses, durante el estiaje, donde la calidad del agua disminuye aumentando la S.P; C.S.R. y el P.S.P.

Las concentraciones de boro y cloruros durante casi todo el año, permiten clasificar las aguas del Río Atoyac como de buena clase, a excepción de los sitios 5 y 9, donde las aguas son clasificadas de uso condicionado. Sobre todo por el boro, ya que es un elemento que las plantas lo requieren en pequeñas cantidades, y su aumento en el agua origina fuertes toxicidades en los cultivos sensibles.

En relación a los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ , estos se detectaron en concentraciones normales, a excepción del Na^+ que aunque se encuentra en tercer lugar en abundancia, es uno de los elementos que origina los mayores problemas de salinidad en las aguas del Río Atoyac al combinarse con algunos aniones como son los SO_4^{2-} y los HCO_3^- que fueron los más abundantes sobre todo en las muestras 5, 9, 8 y 6 que son las más contaminadas.

Detergentes y grasas-aceites, los primeros se encontraron en concentraciones bajas, pero las grasas y los aceites rebasan ampliamente los niveles establecidos por NTE-CCA-031/91 y el CE-CCA-001/89.

Los niveles detectados de Fe, Cu, Mn y Zn indican que de acuerdo con la NTE-CCA-031/91 y el CE-CCA-001/89 estos se encuen-

tran por debajo de las normas. A excepción del Mn que excede los niveles recomendados en varios sitios y durante varios meses del año. Mientras el Pb, Cr, Co, Ni y Cd se detectaron en cantidades inferiores a los recomendados por SEDUE para aguas con fines agrícolas, a excepción del sitio 9, que durante algunos meses se encontró excedido en Cr y Ni.

9. BIBLIOGRAFIA

- ACEVES, N.E. 1979. El ensalitramiento de los suelos bajo riego. C.P. Chapingo, México. 376 p.
- APHA-AWWA-WPCF. 1980. Standar Methods for Examination of Water and Wastewater. Amer. Pub. Health Asoc. Washington, D.C.
- BARER, A.P. Y FOWLER, W.M. 1937. Urinary iron excretion. J.Lab. Clin. Med. 23:148-155.
- BERGER, K.C. and TROUG, E. 1939. Boron deficiencias as revealed by plant and soil test. J. Amer. Soc. Agron.
- BERTINE, K. K. and GOLDBERG, E.D. 1971. Fossil fuel combustion and the major sedimentary cicle. Science 173:233-235.
- BLANCARTE, Z. M. 1981. Cinética de remoción de detergentes de uso industrial en un sistema de lodos activados. Tesis Profesional Ing. Bioquímico E.C.B., I.P.N. 86p.
- BOGAN, R.A. et al., 1954. Biochemical Degradation of Synthetic Detergents Sewage and Industrial Wastes. Vol. 26.
- BOHN, H., Mc NEAL, B. y O' CONNOR G. 1985. Soil Chemistry. Ed. John Wiley and Sons. N.Y. 341p.
- BROCK, T.D. 1988. Biología de los microorganismos. Ed. Omega. Barcelona, España. 774p.
- BROWN, J.C. 1961. Iron chlorosis. Advance. Agron. 13:329-369.
- CARBAJAL, P.J.J. 1970. Detergentes biodegradables. Tesis Profesional. Ing. Químico, Fac. C. Químicas, UNAM. 75p.

- CHAPMAN, H.D. and PRATT, P.F. 1979. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Ed. Trillas, Méx. 195 p.
- CHOPINE, G.R., JAFFE, B., SUMMERLIN, L. y JACKSON L. 1990. Química. Nivel "B". Ed. P.C.S.A. México. 597p.
- DAVIS, B.E. 1968. Anomalous levels of trace elements in Welsh Soils. Welsh Soils Discussion Group Rep. No. 9:72-87.
- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION, 6-Junio de 1988.
- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION, 13-diciembre 1989.
- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION, 24-octubre 1991
- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION, 24-septiembre 1991.
- DIAZ, Z.G. 1981. El impacto de los detergentes en los recursos hidráulicos de México. México, SARH. 20p.
- DICKSON, T.L. 1975. Química (enfoque ecológico). Ed. Limusa. "Drinking Water and Health". National Academy of Sciences. Washington, D.C. 1977.
- DUFFUS, J.H. 1983. Toxicología Ambiental. Ed. Omega, Barcelona España. 173 p.
- EPA, 1974. Methods for chemical analysis of water and wastes. Methods Development and Quality Assurance Research Laboratory. Nac. Env. Res. Cent. Cincinnati, Ohio, U.S.A.
- FASSBENDER, H.W y BORNEMISZA, E. 1987. Química de Suelos. Edit. IICA, Costa Rica.
- GARCIA, E. 1988. Modificación al sistema de clasificación climática de Köpen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Inst. Geog., UNAM.
- GARCIA, O.J. 1990. Taller sobre el reuso del agua en la agricultura. Inst. Méx. de Tec. del agua.

- GILBERT, F.A. 1952. Copper in nutrition. *Advan. Agron.* 4:147-173.
- HART, E.D., et al. 1928. Iron in nutrition VII. *J. Biol. Chem.* 77:797-812.
- HEM, J.D. 1985. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. U.S. Geol. Surv. Water-Supply Paper.
- IMTA. 1987. Diagnóstico y potencialidad del aprovechamiento de aguas residuales. SARH.
- INEGI, 1987. Síntesis Geográfica, Nomenclator y Anexo Cartográfico del Estado de Puebla.
- JONES, J.B. 1964. Plant analysis - a method of detecting micronutrient deficiencies. *Ohio Agr. Exp. Sta. Agron. Series* 176.
- JUAREZ, C.M. 1971. Efecto de los componentes de las aguas negras (Boro y A.B.S.) en el desarrollo de la Lechuga y el Frijol bajo condiciones de invernadero. Tesis. C.P. E.N.A., Chapingo, México.
- KLEIN, S.A., JENKINS, D., and Mc BLAHEY, P.A. 1962. The fate of ABS in Soil and Plants. *J. Water Pollution Federation* 35.
- KRAUSKOPF, K.B. 1983. Geoquímica de los micronutrientes en: *Micronutrientes en la Agricultura*. 3a. Ed. AGT Editor, S.A.
- LAGERWERFF, J.V. 1971. Uptake of Cd Pb and Zn by radish from soil and air. *Soil Sci.* 111. 129-133.
- LEMKE, A.E. and MOUNT, D.I. 1963. Some effects of alkil benzene sulfonate on the Bluegill *Lepomis macrochirus*. *Trans. Amer. Fisch. Soc. USA.*
- LUCAS, R.E. y KNEZEK, B.D. 1983. Condiciones climáticas y defi-

ABT Editor, S.A.

- MAHLER, H.R. y CORDES, E.H. 1987. Química biológica. Ed. Omega, Barcelona. p. 893.
- MANJAREZ, M.B. 1974. Efecto del agua que contiene detergentes a diferentes concentraciones en la especie porcina. Tesis profesional M.V y Z. F.M.V y Z, UNAM.
- MARGALEF, R. 1988. Ecología. Ed. Omega. Barcelona España.
- McCALLUM, G.J. and WOODWARD, R.N. 1965. Cadmium-109 in New Zealand rainwater. Nature 209:69-70.
- McDOWELL, R., et al. 1976. "Simposio Latinoamericano sobre Investigaciones en Nutrición Mineral de los Rumiantes en Pastoreo". Conferencia realizada en Belo Horizonte, Brazil.
- MEDINA, D. 1982. Efecto del ABS sobre la respiración del suelo. Tesis G.F.B. Univ. Ver. Fac. de Ciencias Químicas.
- MELLANBY, K. 1971. Biología de la Polución. Ed. Omega. España.
- MENDEZ, G.T. 1982. Estudio sobre contaminación de suelos agrícolas del Valle del Mezquital, Hgo. por ABS, boro y metales pesados por el uso de aguas negras de la Ciudad de México. Tesis profesional. Biología, Fac. de Ciencias, UNAM.
- MENDEZ, G.T. Y GUAJARDO, V.R. 1988. Contaminación de las aguas negras de la Ciudad de México por boro, ABS y metales pesados. Rev. Terra. Vol. 3, No. 1.
- MENDEZ, G.T.; GUAJARDO, V.R. y HERNANDEZ, H.L. 1990. Impacto en los suelos del D.D.R. 063 por el efecto de detergentes, boro, grasas y aceites presentes en las aguas residuales de la zona metropolitana de la Ciudad de México. 1er. Simp. Nac. de Deg. del Suelo, Inst. de Geol., UNAM.

- MENDEZ, G.T.; GUAJARDO, V.R. Y FLORES, D.L. 1991. Contenido de metales pesados, boro, A.B.S, grasas y aceites en las aguas residuales del D.D.R. 063 Mixquihuala, Hgo. Conv. Geol. Mex. 1er. Cong. Mx. Min. Inst. Geol., UNAM.
- MENDEZ, G.T.; VILLAMAR, H.V.; GUAJARDO, V.R. y GONZALEZ, V.A. 1991. Efectos en el rendimiento de alfalfa (*Medicago sativa* L.), Cebada (*Hordeum vulgare* L.) y lechuga (*Lactuca sativa* L.) a nivel invernadero por la aplicación de diferentes dosis de detergentes aniónicos en tres suelos distintos. 24o. Congreso Nal. de la Ciencia del Suelo, Pachuca, Hgo.
- MOORE, C.B. and DIBACH, R. 1962. Iron. p. 287-348. In C.L. Comar and F. Bronner (ed.) Mineral metabolism 2: Part B., Academic Press, N.Y.
- MOOSER, F. 1963. Informe sobre la Geología de la Cuenca del Valle de México y zonas colindantes. CHCVM, SRH. México.
- MORTVEDT, J.J., GIORDANO, P.M. Y LINDSAY, W.L., 1983. Micronutrientes en la Agricultura. AGT Editor, S.A.
- MURPHY, K.L. 1974. Manual de prácticas de muestreo de aguas de desecho. S.R.H. Méx. p 1-72.
- NABOKO, S. I., and MURATA, K. J. 1960. Occurrence of CuCl emission in volcanic flames. Amer. J. Sci. 258: 769-772.
- NAT. AIR POLL. CONTR. ADM., PUBLIC HEALTH SERVICE US DEPT. OF HEW. 1969. Preliminary air pollution survey of cadmium and its compounds. Litton System, Inc., Contract No. PH 22-68-25 Pub No. APTD. 69-32. p.81.

- NAT AIR POLL. CONTR. ADM., PUBLIC HEALTH SERVICE, US DEPT. OF HEW. 1970. National Inventory of sources and emissions of cadmium, nickel, and asbestos in 1968, I. W. E. Davis and Assoc., Contract No. CPA 22-69-131, p.44.
- NUÑEZ, E.R. 1988. Apuntes de Fertilidad. Chapingo, Méx.
- NUÑEZ, E.R. y LAIRD, R.J. 1966. Fertilidad de suelos. Ed. C.P. E.N.A. Chapingo, México.
- ORGANIZATION FOR ECONOMICS COOPERATION AND DEVELOPMENT.
Pollution of water by detergents. París.
- ORTEGA, T.E. 1981. Química de suelos. Ed. Chapingo, México.
- ORTIZ, V.B. 1977. Apuntes de fertilidad. Chapingo, Mex.
- PALACIOS, V.D. y ACEVES, N.E. 1970. Instructivo para el Muestreo de Datos e Interpretación de la Calidad del Agua para Riego Agrícola. Rama de Riego y Drenaje del Colegio de Posgraduados de la E.N.A.
- PERKIN-ELMER 1980. Handbook of atomic absorption spectrophotometers. Conneitcut, USA.
- PITTER, P. 1966. Degradable Pollutants-A. Study of the new Detergents. Third Inter. Cont. on Water. Poll. Res. Paper. 1-16. Munich.
- REEDER, STEWART, et al. 1979. "Guidelines for Surface Water Quality". Vol. I. Inorganic Chemical Substances. Environment Canadá.
- RICHARDS, L.A. 1987. Diagnóstico y evaluación de los Suelos salinos y sódicos. Ed. Limusa, Méx.
- RIVERA, G.F. 1970. Efecto del detergente presente en las aguas de riego sobre el desarrollo de siete cultivos bajo con

diciones de invernadero. Tesis Maestría. C.P., E.N.A.
Chapingo, México.

- ROBECK, B.G., 1963. Degradation of ABS and other organics in un-
saturated soils. Jour. Wat. Poll. Cont. Fed. Vol. 35 No.10.
- ROGERS, H.T. 1947. Water -soluble boron in coarse textured soils
in relation to need of boron fertilization for legumes.
J. Amer. Soc. Agron.
- RZEDOWSKI, J. 1978. La vegetación de México. Ed. Limusa, Méx.
- SANCHEZ, S.O. 1980. La flora del Valle de México. Ed. Herrero.
México.
- SARH, DGEA. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de
los E.U.M. 1977,78,79 y 80.
- SCHROEDER, H.A., and BALASSA. J.J. 1961. Abnormal trace metal
in man: cadmium. J. Chronic Dis. 14:236-258.
- SCIENTIFIC AMERICAN, 1981. La Biosfera. Ed. Alianza. Madrid.
- SPP, 1980. Sistema de Cuentas Nacionales de Méx. Producto Inter-
no Bruto por Ent. Fed. Méx.
- STOCKER, J.S. et al. 1981. Química ambiental, contaminación del
aire y del agua. ED. Blume, España.
- SWISHER, R.D. 1964. Fish Bioassays of Linear Alkylate Sulfo-
nates (L.A.S.) and Intermediate Biodegratation Products.
The J. of the Amer. Oil. Chem. Soc. Vol. 41. No. 11.
- TIFFIN, L.O. 1983. Translocación de micronutrientes en plantas,
en: Micronutrientes en la Agricultura. AST. Editor, S.A.
- WATER QUALITY CRITERIA, 1971. California State Water Resources
Control Board.

WATER QUALITY CRITERIA, 1972. U.S. Environmental Protection Agency.

WRIGHT, J.R., LEVICK, R., and ATKINSON, H.T. 1955. Trace elements distribution in virgin profiles representing four great soil groups. Soil Sci.Soc.Amer.Proc. 19:340-344.

APENDICE

One-Way Analysis of Variance

Data: ATOYAC.PH

Level codes: ATOYAC.SITI05

Labels:

Range test: Tukey

Confidence level: 95

Analysis of variance

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
Between groups	5.166667	8	.6458333	2.485	.0168
Within groups	25.730000	99	.2598990		
Total (corrected)	30.896667	107			

0 missing value(s) have been excluded.

Multiple range analysis for ATOYAC.PH by ATOYAC.SITI05

Method: 95 Percent Tukey HSD	Level	Count	Average	Intervals Homogeneous Groups
	8	12	7.5033333	*
	4	12	7.6416667	**
	9	12	7.6416667	**
	3	12	7.8166667	**
	7	12	7.8666667	**
	6	12	7.9416667	**
	2	12	7.9833333	**
	1	12	8.0833333	**
	5	12	8.2916667	*

Table 2

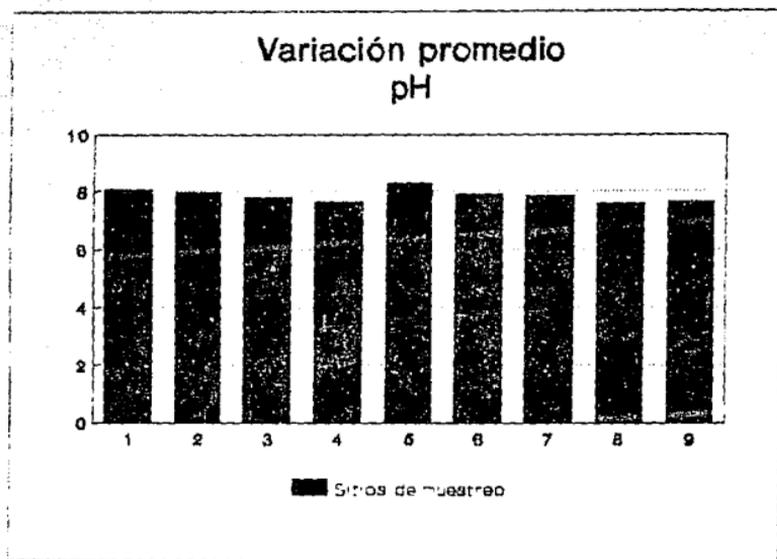
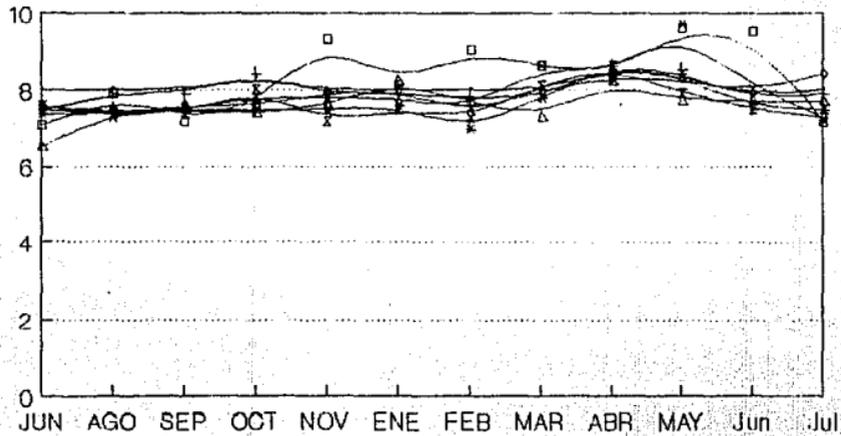


Fig. 3

SITIO	JUN	AGOS	SEP	OCT	NOV	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	Jun	Jul
1	8.0	8.0	8.0	8.3	8.0	8.0	8.0	8.0	8.5	8.4	7.8	8.0
2	7.5	7.9	7.9	8.4	7.9	7.9	7.8	7.8	8.6	8.5	7.7	7.9
3	7.3	7.6	7.5	8.0	7.6	7.6	7.5	8.0	8.7	8.6	7.7	7.7
4	7.4	7.4	7.5	7.5	7.5	7.6	7.0	7.8	8.6	8.4	7.5	7.5
5	7.1	7.9	7.2	7.6	9.3	8.1	9.0	8.6	8.4	9.6	9.5	7.2
6	7.6	7.3	7.5	7.8	7.8	7.8	7.5	8.6	8.4	9.7	8.0	7.3
7	7.6	7.4	7.6	7.6	7.9	8.0	7.4	8.0	8.3	8.3	7.9	8.4
8	6.5	7.5	7.5	7.4	7.6	8.2	7.7	7.3	8.2	7.7	7.7	7.7
9	7.5	7.4	7.4	8.0	7.2	7.5	7.3	8.1	8.6	7.9	7.5	7.3

Tabla 3. Comportamiento de la actividad de los iones hidrógeno, durante el periodo de muestreo.

VARIACION DE pH



Sitios de muestreo

— S 1

—+— S 2

—+— S 4

—□— S 6

—x— S 6

—♦— S 7

—△— S 8

—■— S 9

Fig. 4

One-Way Analysis of Variance

Total ATOYAC.CE

Level closest ATOYAC.SITIOS

Labels:

Range test: Tukey

Confidence level: 95

Analysis of Variance

Source of Variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
Between groups	7.5561630	8	.9445204	25.042	.0000
Within groups	3.7340250	99	.0377174		
Total (corrected)	11.290188	107			

0 missing value(s) have been excluded.

Multiple range analysis for ATOYAC.CE by ATOYAC.SITIOS

Method: 95 Percent Tukey HSD Intervals			
Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	12	.2325000	I
2	12	.2754333	I*
3	12	.3350000	II*
4	12	.4105333	III*
5	12	.4333333	III*
6	12	.4741667	III*
7	12	.5425000	IV*
8	12	.9533333	V*

Table 4

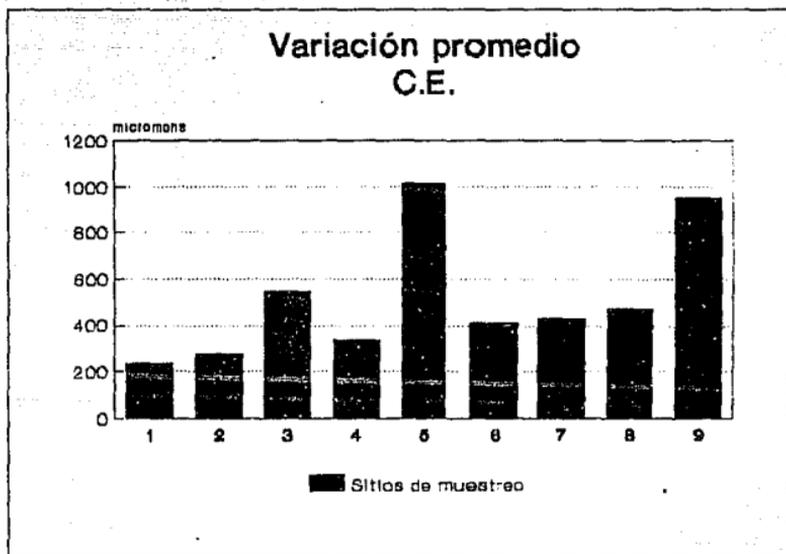
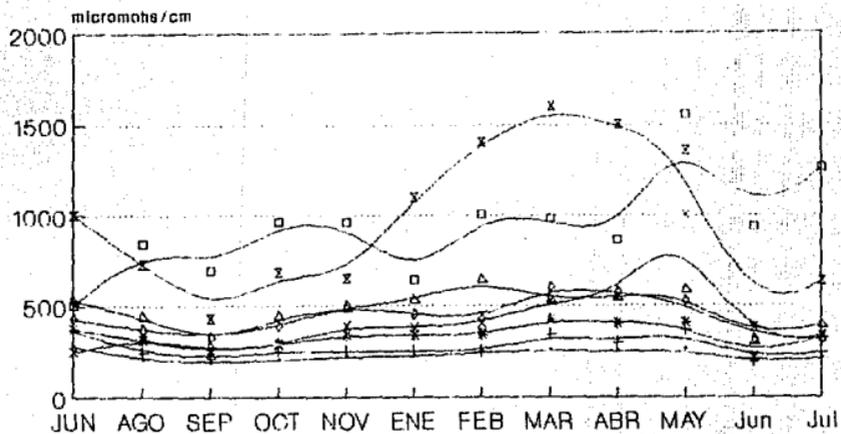


Fig. 5

SITIO	JUN	AGOS	SEP	OCT	NOV	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	Jun	Jul
1	290	210	200	210	230	230	250	260	250	260	190	210
2	370	250	220	260	260	260	250	340	300	360	200	240
3	580	510	530	540	540	540	520	580	560	570	520	520
4	380	320	250	300	340	340	340	420	400	400	210	320
5	1500	840	690	960	960	640	1000	980	860	1550	930	1250
6	260	340	260	290	390	380	400	520	540	1000	220	330
7	430	370	330	390	500	450	420	600	570	520	310	310
8	530	440	290	440	480	530	640	530	540	580	300	390
9	1000	730	430	680	650	1100	1400	1600	1500	1350	370	630

Tabla 5. Variabilidad de la conductividad eléctrica durante el período de muestreo, expresada en micromhos/cm.

VARIACION DE C.E.



Sitio de muestreo

— S 1

—+ S 2

—* S 4

—□ S 6

—x S 3

—◇ S 7

—△ S 8

—x S 9

Fig. 6

SITIO	JUN	AGOS	SEP	OCT	NOV	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	Jun	Jul
1	3.58	1.63	5.72	2.21	1.47	1.70	1.58	2.48	1.91	3.89	2.64	3.84
2	3.57	1.13	6.71	1.70	1.87	0.96	2.52	2.90	5.96	1.14	1.80	4.68
3	2.22	2.69	2.71	2.95	3.65	2.60	4.13	1.65	2.67	4.21	3.06	3.60
4	4.82	1.58	6.08	2.29	4.27	2.46	4.14	2.43	2.31	5.73	4.23	4.87
5	17.22	9.14	9.29	8.59	3.89	4.67	9.20	5.40	5.77	8.35	18.05	13.87
6	3.46	4.81	1.82	3.83	4.43	1.71	2.75	6.78	3.09	2.73	4.65	1.83
7	16.38	1.82	5.83	3.65	4.39	2.84	2.74	2.09	5.94	4.46	4.24	2.40
8	3.87	4.20	3.46	2.98	1.79	2.20	4.52	6.14	3.46	3.00	3.63	2.91
9	6.99	4.86	4.43	5.03	7.33	6.47	12.65	6.57	15.63	8.72	6.17	3.39

Tabla 6. Comportamiento de la S.E. durante el período de muestreo, dado en meq/l.

SALINIDAD EFECTIVA

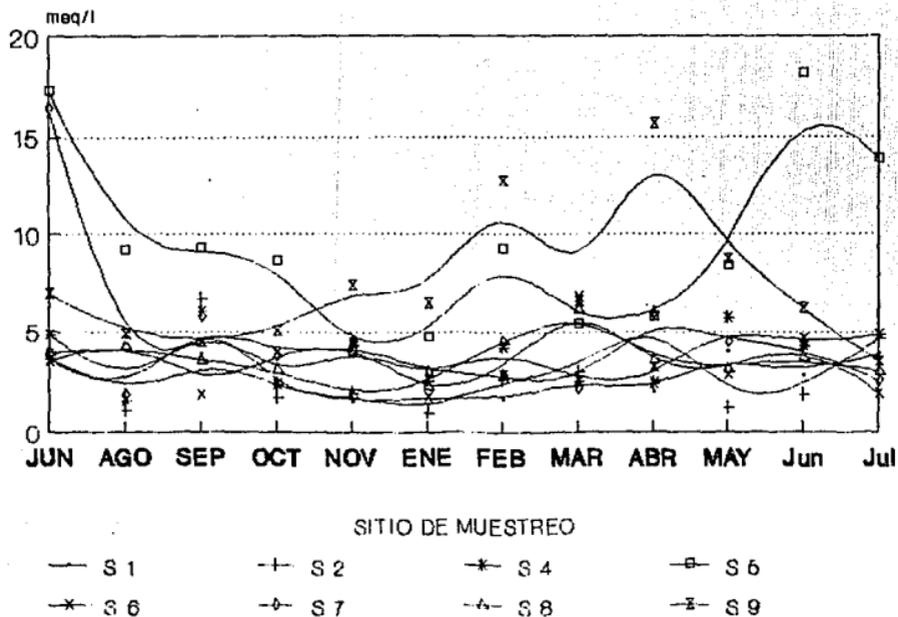
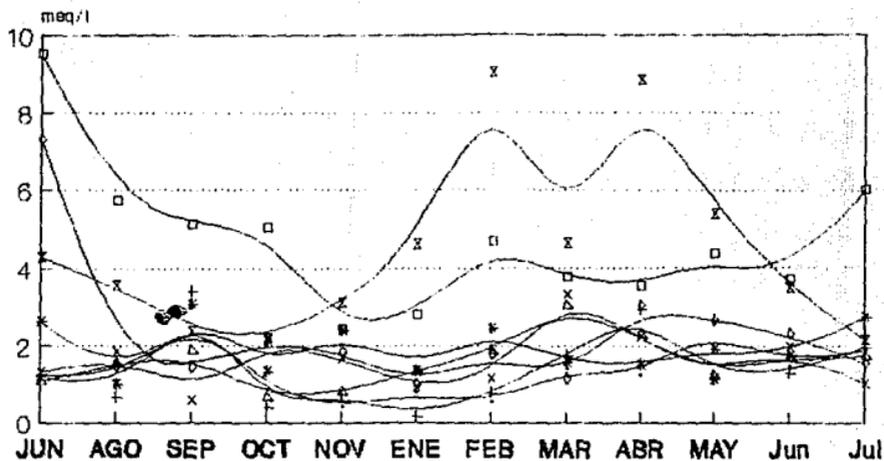


Fig. 7

SITIO	JUN	AGOS	SEP	OCT	NOV	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	Jun	Jul
1	1.25	1.07	2.98	0.84	0.41	0.76	0.54	1.38	1.20	2.60	1.45	1.88
2	1.23	0.65	3.41	0.41	0.74	0.16	0.79	1.74	2.93	1.14	1.28	1.96
3	1.16	1.07	1.51	0.58	2.11	1.26	1.15	0.97	1.63	2.58	1.97	2.31
4	2.61	0.99	3.07	1.35	2.38	1.35	2.43	1.57	1.50	1.92	1.74	2.74
5	9.51	5.71	5.09	4.99	2.42	2.78	4.63	3.77	3.55	4.32	3.69	5.99
6	1.32	1.83	0.58	2.12	1.69	0.93	1.17	3.34	2.23	1.13	1.97	1.02
7	7.33	1.48	1.44	2.11	1.84	1.01	1.77	1.15	3.03	2.65	2.31	1.54
8	1.07	1.56	1.86	0.65	0.81	1.34	1.85	3.03	2.27	1.20	1.71	1.72
9	4.29	3.57	2.37	2.19	3.11	4.58	9.04	4.60	8.86	5.38	3.51	2.14

Tabla 7. Valores de S. P. durante el periodo de muestreo, expresado en meq/l.

SALINIDAD POTENCIAL



SITIO DE MUESTREO

— S 1

+ S 2

* S 4

□ S 5

× S 6

◊ S 7

△ S 8

z S 9

Fig. 8

SITIO	JUN	AGOS	SEP	OCT	NOV	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	Jun	Jul
1	1.90	0.00	0.00	0.00	1.06	0.00	0.00	0.07	0.28	0.00	0.50	0.50
2	2.08	0.48	0.04	0.00	0.96	0.00	0.00	0.05	1.06	0.42	0.00	1.27
3	0.55	1.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.33	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	3.81	1.48	0.07
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	12.56	0.00
6	1.71	2.12	0.00	0.00	1.69	0.00	0.00	1.90	0.00	0.00	1.48	0.00
7	2.37	0.00	3.10	0.00	1.35	1.06	0.00	0.51	1.20	0.45	0.64	0.00
8	2.37	2.38	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.88	0.42	0.00	1.06	0.42
9	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14

Tabla 8. Valores de C.S.R. durante el período de muestreo, en meq/l.

C.S.R.

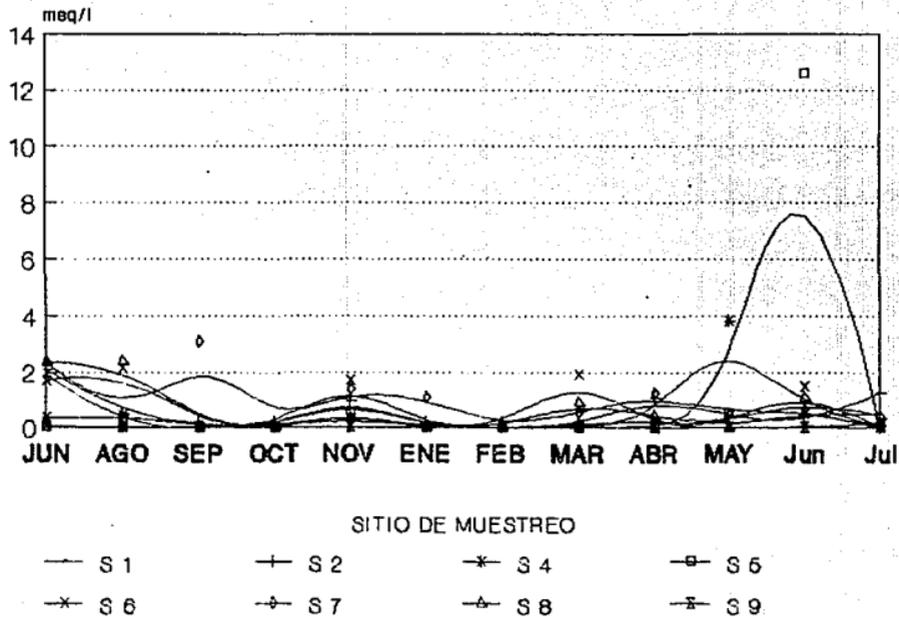


Fig. 9

SITIO	JUN	AGOS	SEP	OCT	NOV	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	Jun	Jul
1	18.43	36.80	8.91	25.33	40.81	35.88	55.06	28.62	35.07	15.42	26.51	18.48
2	33.61	59.29	7.89	40.58	34.75	69.79	23.80	29.31	13.92	62.28	41.66	15.81
3	37.38	29.73	28.04	27.11	20.00	31.53	18.40	54.54	32.58	17.57	27.77	26.66
4	23.44	63.29	12.00	39.30	18.26	36.58	28.26	43.20	48.05	15.70	20.56	25.46
5	47.67	37.96	37.35	62.74	9.51	48.39	44.34	74.07	53.63	97.00	14.95	89.61
6	17.34	20.79	39.01	22.45	2.25	60.81	38.18	2.94	47.57	76.19	17.84	75.40
7	7.69	62.63	15.60	31.23	28.47	44.71	39.78	10.04	16.83	34.08	30.66	50.41
8	44.70	38.33	23.69	48.32	87.15	78.63	50.00	3.58	30.63	75.33	34.71	54.98
9	49.64	19.13	25.05	32.80	28.37	44.20	26.79	8.06	27.25	49.77	25.28	79.6

Tabla 9. Concentraciones del P.S.P., durante el período de muestreo, expresado en meq/l.

P.S.P.

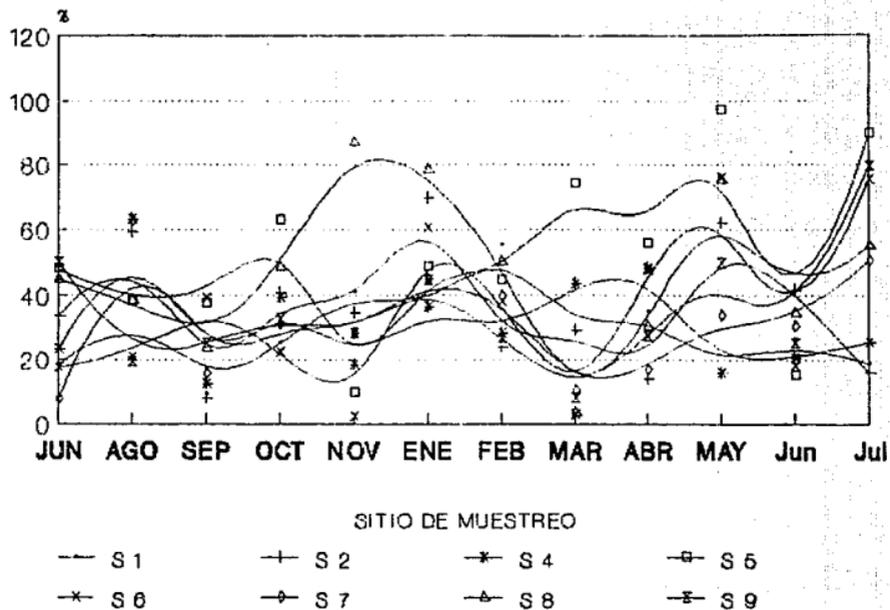


Fig. 10

SITIO	JUN	AGOS	SEP	OCT	NOV	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	Jun	Jul
1	0.82	0.65	0.24	0.16	0.41	0.082	0.54	0.36	0.78	1.32	0.77	0.43
2	0.98	0.65	0.16	0.24	0.57	0.082	0.45	0.63	0.96	1.14	0.77	0.51
3	0.65	0.90	0.32	0.50	0.57	0.328	0.81	0.63	0.78	0.96	1.03	1.03
4	0.73	0.82	0.082	0.41	0.50	0.246	0.72	0.72	0.90	1.92	0.86	0.69
5	1.80	2.29	0.90	1.40	1.40	0.902	1.72	2.15	1.50	1.32	1.89	1.03
6	0.90	0.98	0.41	0.41	0.65	0.246	1.00	1.80	1.38	0.96	0.77	0.77
7	0.65	1.14	0.16	0.57	0.65	0.246	1.18	0.72	1.32	1.20	1.03	0.69
8	0.65	1.31	0.24	0.57	0.73	0.492	0.91	0.81	1.50	1.20	0.86	0.95
9	1.64	2.29	0.32	1.00	1.23	2.700	5.46	2.63	2.10	2.04	0.86	1.03

Tabla 10. Variaciones de las concentraciones de cloruros en mg/l, con base en las cuales se discutió el criterio de la calidad del agua, de acuerdo con Palacios y Aceves, (1970).

VARIACION DE CI

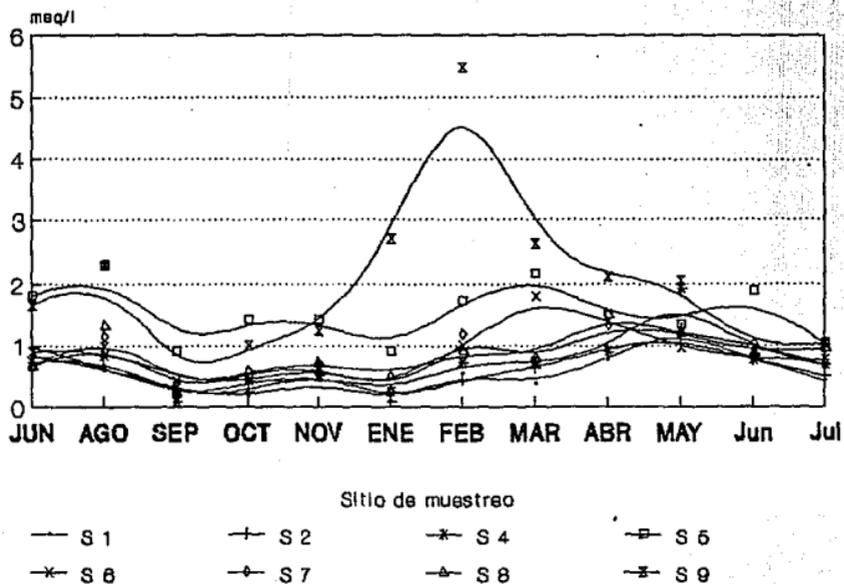


Fig. 11

SITIO	JUN	AGOS	SEP	OCT	NOV	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	Jun	Jul
1	0.05	0.30	0.44	0.03	0.12	0.03	0.05	0.03	0.02	0.04	0.02	0.09
2	0.15	0.50	0.47	0.03	0.06	0.06	0.02	0.00	0.06	0.06	0.05	0.06
3	0.00	0.21	0.55	0.02	0.08	0.09	0.04	0.03	0.03	0.04	0.05	0.01
4	0.20	0.22	0.50	0.08	0.07	0.11	0.02	0.02	0.00	0.07	0.06	0.07
5	1.12	0.96	1.44	0.80	0.11	0.13	0.19	0.24	0.18	0.06	0.04	0.13
6	0.02	0.25	0.55	0.54	0.09	0.07	0.00	0.11	0.06	0.07	0.00	0.06
7	0.24	0.35	0.50	0.06	0.13	0.07	0.07	0.12	0.08	0.09	0.01	0.06
8	0.03	0.56	0.47	1.40	0.09	0.09	0.09	0.04	0.06	0.07	0.00	0.05
9	1.00	0.60	1.08	0.50	0.20	0.18	0.20	0.47	0.41	0.39	0.01	0.14

Tabla 11. Variaciones de las concentraciones de B en ppm, con base en las cuales se discutió el criterio de la calidad del agua, de acuerdo con Palacios y Aceves, (1970).

VARIACION DE B

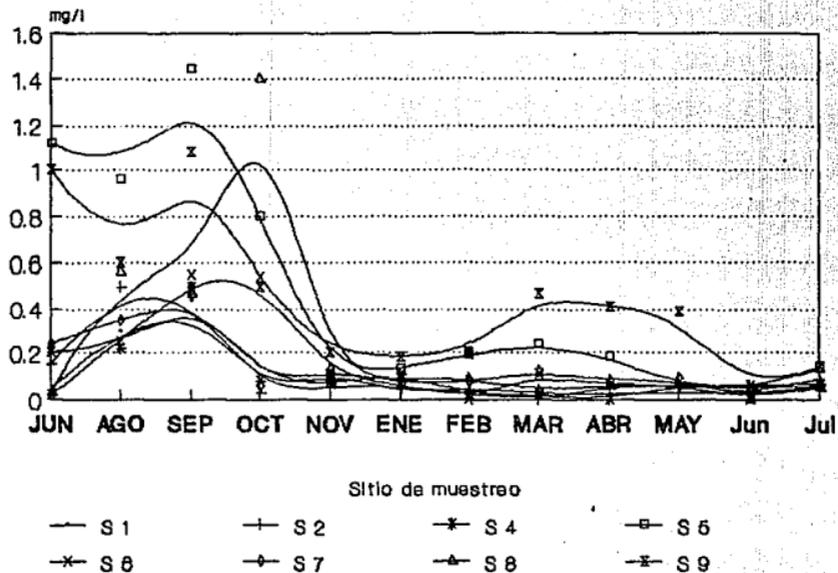


Fig. 12

One-Way Analysis of Variance

Data: Ca

Level codes: ATOYAC.SITIOS

Labels:

Range test: Tukey

Confidence level: 95

Analysis of variance

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
Between groups	126.59310	8	15.824138	19.604	.0000
Within groups	79.91313	99	.807203		
Total (corrected)	206.50623	107			

0 missing value(s) have been excluded.

Multiple range analysis for Ca by ATOYAC.SITIOS

Level	Count	95 Percent Tukey HSD Average	Intervals Homogeneous Groups
1	12	.9508333	*
2	12	1.2216667	**
7	12	1.4675000	**
4	12	1.4891667	**
6	12	1.4983333	**
5	12	1.6025000	**
8	12	1.9450000	**
3	12	2.2183333	*
9	12	4.8091667	*

Tabla 12

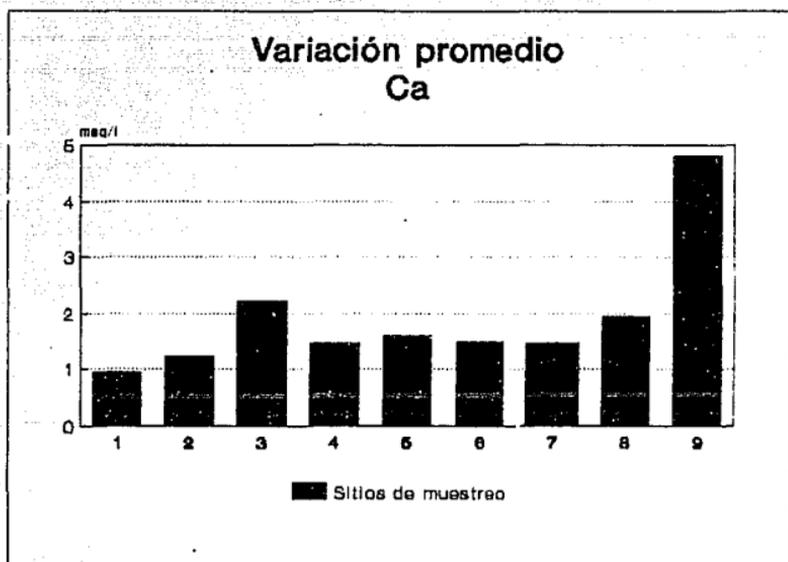
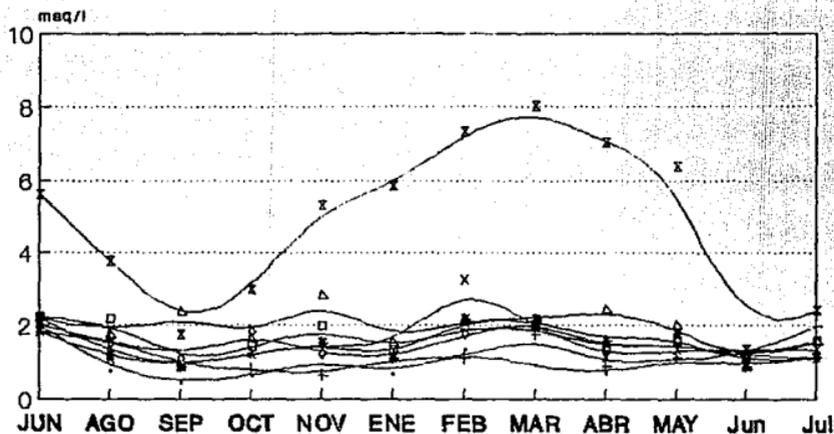


Fig. 13

SITIO	JUN	AGOS	SEP	OCT	NOV	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	Jun	Jul
1	2.00	0.75	0.43	0.60	1.08	0.64	1.29	0.88	0.66	1.10	0.88	1.10
2	1.80	1.62	0.86	0.80	0.64	1.08	1.08	1.72	0.88	1.10	1.10	1.98
3	3.00	2.05	0.64	2.00	3.02	1.94	2.37	2.80	2.42	2.42	2.20	1.76
4	2.20	1.18	0.86	1.20	1.51	1.08	2.16	2.16	1.54	1.76	0.88	1.10
5	2.20	2.16	0.86	1.40	1.94	1.29	1.94	1.94	1.32	1.54	1.10	1.54
6	1.80	1.08	0.86	1.20	1.51	1.29	3.24	1.94	1.10	1.32	1.32	1.32
7	2.00	1.51	1.08	1.80	1.20	1.08	1.72	2.16	1.32	1.54	1.10	1.10
8	2.20	1.72	2.37	1.60	2.80	1.51	2.16	2.16	2.42	1.98	0.88	1.54
9	5.60	3.78	1.72	3.00	5.28	5.83	7.34	8.00	7.04	6.38	1.32	2.42

Tabla 13. Variabilidad de las concentraciones de calcio durante el período de muestreo, en meq/l.

VARIACION DE Ca



Sitio de muestreo

— S 1

+ S 2

* S 4

□ S 6

* S 6

◊ S 7

△ S 8

* S 9

Fig. 14

One-Way Analysis of Variance

Data: M9

Model: Model1 ATOYAC.SITI05

LebA12

ANOVA test: Tukey Confidence level: 95

Analysis of Variance

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
Between groups	41.32063	8	5.1650792	4.422	.0001
Within groups	115.63026	99	1.1679824		
Total (corrected)	156.95089	107			

0 missing value(s) have been excluded.

Multiple range analysis for M9 by ATOYAC.SITI05

Method:	%	Percent	Tukey	HSD	Intervals
Level	Count		Average		Homogeneous Groups
4	12		1.5116667	*	
4	12		1.5303333	**	
4	12		1.5490000	**	
4	12		1.6250000	**	
1	12		1.8033333	**	
1	12		2.1108333	**	
3	12		2.3708333	**	
2	12		2.4200000	**	
5	12		3.0575000	*	

Tabla 14

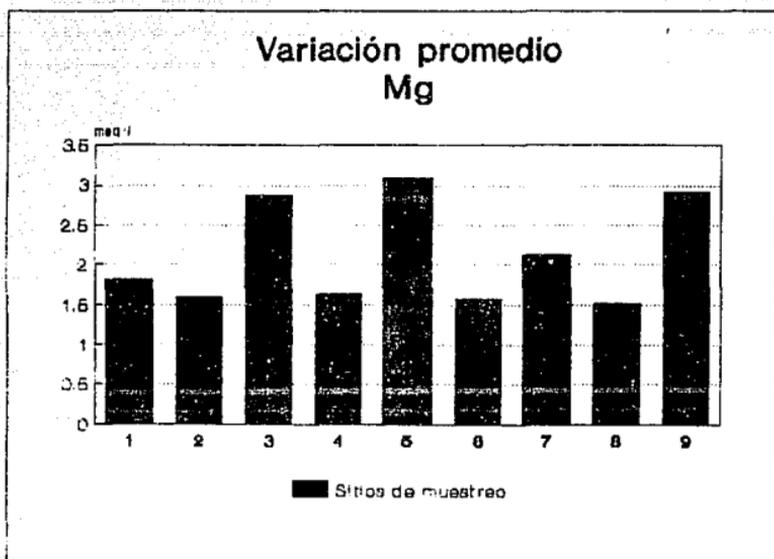
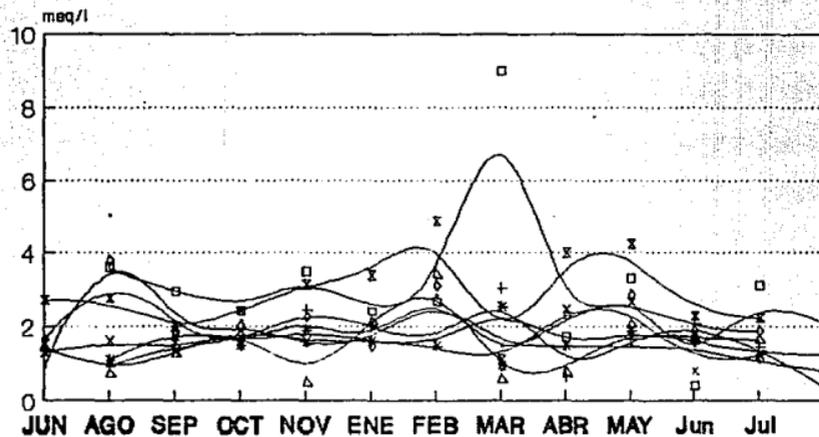


Fig. 15

SITIO	JUN	AGOS	SEP	OCT	NOV	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	Jun	Jul
1	0.90	5.00	1.56	2.12	1.46	1.54	2.89	1.45	1.46	1.44	1.02	0.80
2	0.92	1.50	1.50	2.47	2.00	1.46	3.10	0.63	1.66	2.08	1.44	0.35
3	2.45	1.30	4.44	3.45	2.25	3.15	4.35	0.46	2.66	3.09	3.31	3.54
4	1.07	2.00	1.49	1.90	1.60	1.46	2.56	1.47	1.85	1.63	1.24	1.23
5	3.61	3.00	2.40	3.50	2.42	2.70	8.96	1.68	3.34	0.36	3.14	2.06
6	1.29	1.60	1.31	1.90	1.60	1.61	1.48	0.96	2.50	2.70	0.80	1.22
7	1.63	3.80	1.82	1.47	2.25	1.46	3.18	0.93	2.28	2.91	1.86	1.86
8	1.43	0.70	1.26	2.03	0.47	2.12	3.47	0.56	0.76	2.04	1.66	1.64
9	2.76	2.80	1.73	2.45	3.20	3.44	4.84	1.10	3.98	4.22	2.28	2.24

Tabla 15. Variaciones de las concentraciones de magnesio durante el periodo de muestreo, en mcg/l.

VARIACION DE Mg



Sitio de muestreo

— S 1

+ S 2

-x S 4

-□ S 6

-x S 8

-○ S 7

-△ S 8

-x S 9

Fig. 16

One-Way Analysis of Variance

Data: Na

Level codes: ATOYAC.SITI05

Labels:

Range test: Tukey

Confidence level: 95

Analysis of variance

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
Between groups	170.88482	8	21.360602	14.495	.0000
Within groups	145.89387	99	1.473676		
Total (corrected)	316.77869	107			

0 missing value(s) have been excluded.

Multiple range analysis for Na by ATOYAC.SITI05

Method:	95 Percent	Tukey HSD	Intervals
Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	12	.6500000	*
2	12	.7408333	*
3	12	.8183333	**
6	12	.9433333	**
4	12	.9816667	**
7	12	1.1066667	**
8	12	1.4625000	**
9	12	2.4066667	*
5	12	4.8075000	*

Tabla 16

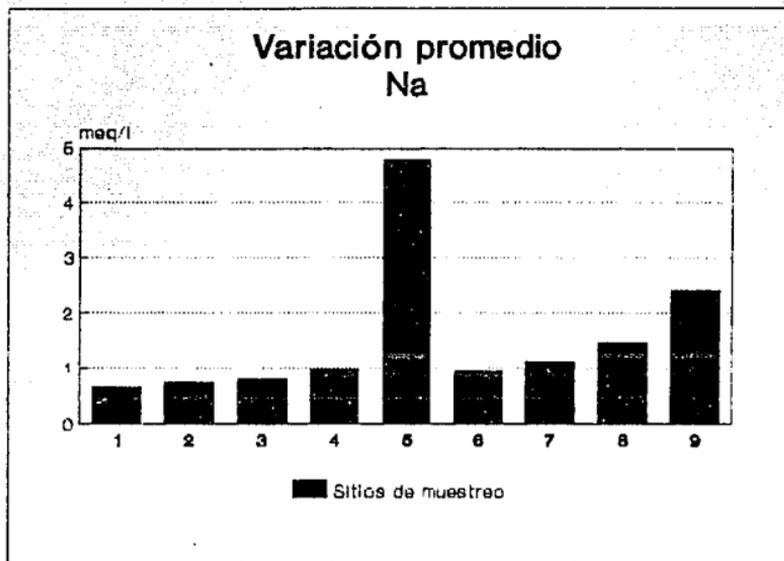


Fig. 17

SITIO	JUN	AGOS	SEP	DCT	NOV	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	Jun	Jul
1	0.66	0.60	0.51	0.56	0.60	0.61	0.87	0.71	0.67	0.60	0.70	0.71
2	1.20	0.67	0.53	0.69	0.65	0.67	0.60	0.85	0.83	0.71	0.75	0.74
3	0.83	0.80	0.76	0.80	0.73	0.82	0.76	0.90	0.87	0.74	0.85	0.96
4	1.13	1.10	0.73	0.90	0.78	0.90	1.17	1.05	1.11	0.90	0.87	1.24
5	8.21	3.47	3.47	5.39	0.37	2.26	4.08	4.00	3.21	8.10	2.70	12.43
6	0.60	1.00	0.71	0.86	0.10	1.04	1.05	0.20	1.47	2.08	0.83	1.38
7	1.26	1.14	0.91	1.14	1.25	1.27	1.09	0.21	1.00	1.52	1.30	1.21
8	1.73	1.61	0.82	1.44	1.56	1.73	2.26	0.22	1.06	2.26	1.26	1.60
9	3.47	0.93	1.11	1.65	2.08	2.86	3.39	0.53	4.26	4.34	1.56	2.70

Tabla 17. Valores de sodio detectados durante el periodo de muestreo, en meq/l.

VARIACION DE Na

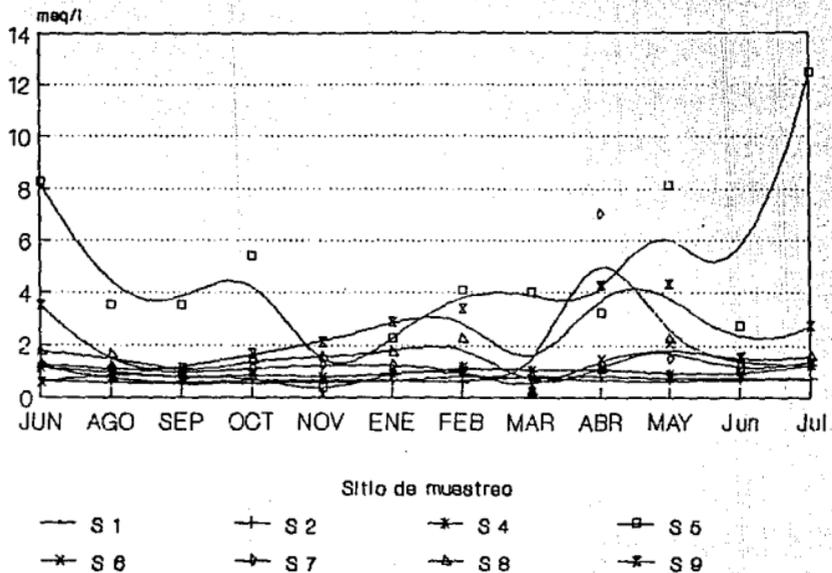


Fig. 18

One-way Analysis of Variance

Data: K

Level: Post AT0YAC.SITIOS

Labels:

Range test: Tukey

Confidence level: 95

Analysis of variance

Source of Variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
Between groups	.5389336	8	.0672605	7.930	.0000
Within groups	.8396253	99	.0084818		
Total (corrected)	1.3777790	107			

0 missing value(s) have been excluded.

Multiple range analysis for K by AT0YAC.SITIOS

Method:	95 Percent	Tukey HSD	Intervals
Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	12	.1349333	*
2	12	.1658333	**
3	12	.2216667	***
4	12	.2259333	***
5	12	.2216667	***
6	12	.2375000	***
7	12	.2711667	***
8	12	.3049333	**
9	12	.3908333	*

Tabla 18

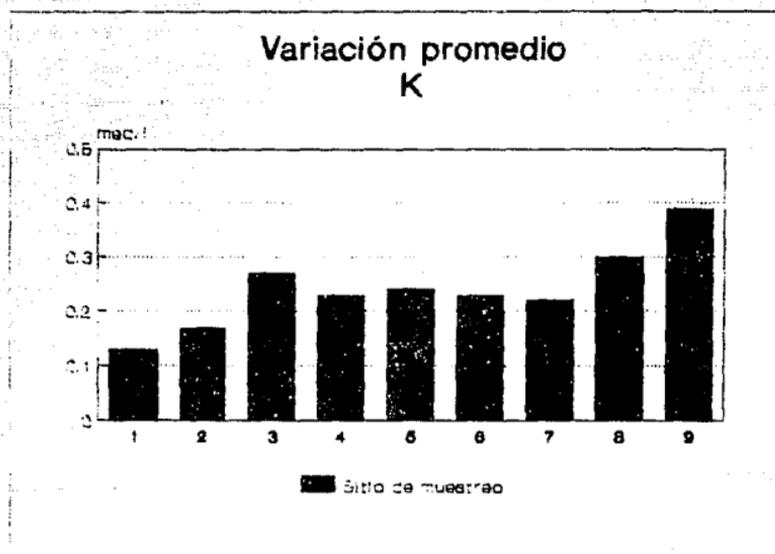
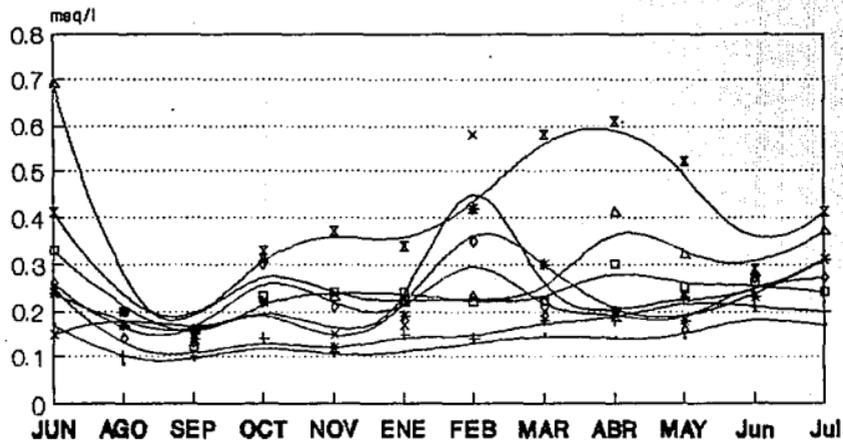


Fig. 19

SITIO	JUN	AGOS	SEP	OCT	NOV	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	Jun	Jul
1	0.17	0.082	0.09	0.13	0.10	0.11	0.13	0.15	0.14	0.14	0.20	0.17
2	2.25	0.100	0.10	0.14	0.11	0.15	0.14	0.18	0.18	0.23	0.21	0.20
3	0.29	0.160	0.18	0.30	0.24	0.29	0.25	0.30	0.32	0.31	0.30	0.31
4	0.24	0.170	0.14	0.22	0.12	0.19	0.42	0.30	0.19	0.18	0.23	0.31
5	0.33	0.200	0.12	0.23	0.24	0.24	0.22	0.22	0.30	0.25	0.26	0.24
6	0.15	0.200	0.14	0.22	0.15	0.17	0.58	0.20	0.20	0.23	0.23	0.31
7	0.26	0.140	0.13	0.30	0.21	0.18	0.35	0.19	0.20	0.16	0.27	0.27
8	0.69	0.170	0.16	0.31	0.23	0.22	0.23	0.22	0.41	0.32	0.28	0.37
9	0.41	0.200	0.15	0.33	0.37	0.34	0.42	0.58	0.61	0.52	0.29	0.41

Tabla 19. Concentraciones de potasio encontradas durante el año, en meq/l.

VARIACION DE K



Sitio de muestreo

— S1

+ S2

* S4

□ S5

* S6

◊ S7

△ S8

* S9

Fig. 20

One-Way Analysis of Variance

Data: C03

Level codes: ATOYAC.SITIOS

Labels:

Range test: Tukey

Confidence level: 95

Analysis of variance

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
Between groups	38.32667	8	4.8533333	1.604	.1301
Within groups	299.52000	99	3.0254545		
Total (corrected)	338.34667	107			

0 missing value(s) have been excluded.

Multiple range analysis for C03 by ATOYAC.SITIOS

Method:	95 Percent	Tukey HSD	Intervals
Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	12	.2000000	*
4	12	.2000000	*
2	12	.3000000	*
8	12	.3000000	*
3	12	.4000000	*
6	12	.4000000	*
9	12	.7000000	*
7	12	.9000000	*
5	12	2.2000000	*

Tabla 20

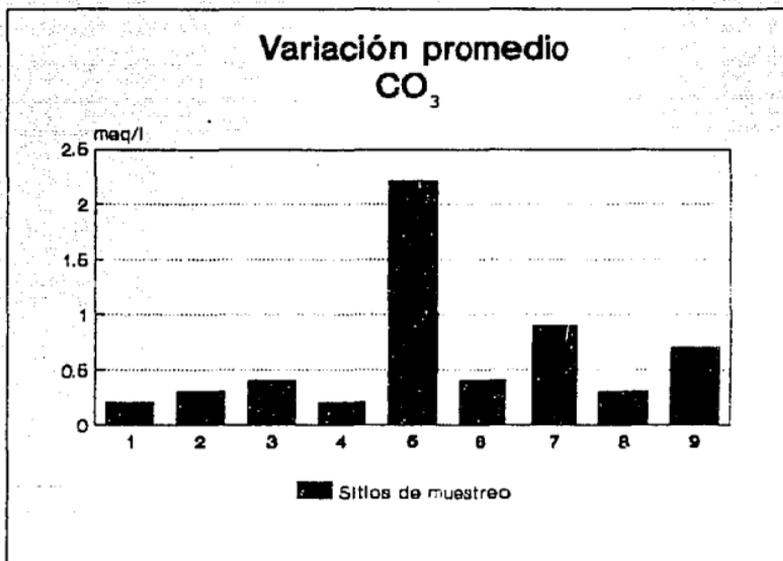


Fig. 21

SITIO	JUN	AGOS	SEP	OCT	NOV	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	Jun	Jul
1	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	1.2	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	1.2	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	1.2	1.2	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	1.2	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	2.4	2.4	1.2	2.4	16.8	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	1.2	2.4	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	2.4	1.2	0.0	1.2
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0

Tabla 21. Valores de carbonatos detectados durante el período de muestreo, en meq/l.

VARIACION DE CO₃

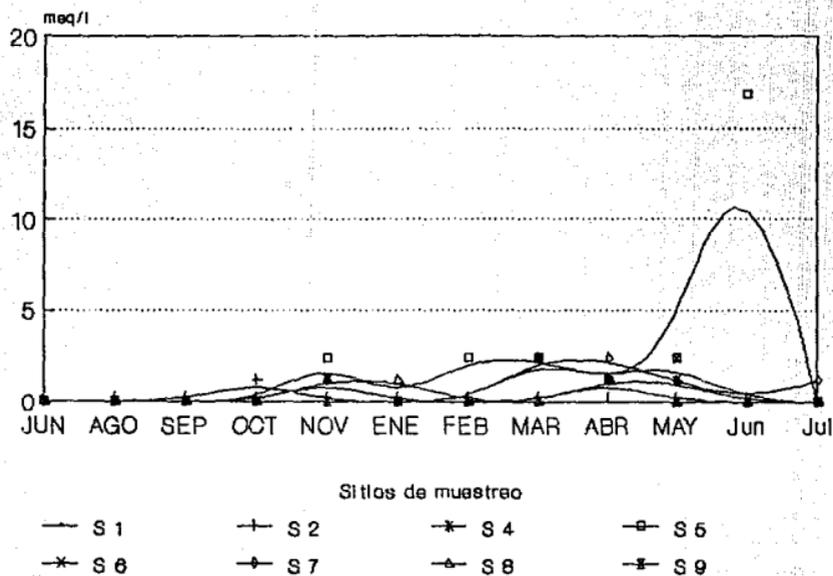


Fig. 22

One-Way Analysis of Variance

Date: HC03

Level codes: ATOYAC.SITIOS

Labels:

Range test: Tukey

Confidence level: 95

Analysis of variance

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
Between groups	41.10296	8	5.1378704	2.520	.0154
Within groups	201.84917	99	2.0388805		
Total (corrected)	242.95213	107			

0 missing value(s) have been excluded.

Multiple range analysis for HC03 by ATOYAC.SITIOS

Method: 95 Percent Tukey MSD Intervals	Level	Count	Average	Homogeneous Groups
	1	12	2.1000000	*
	2	12	2.5416667	*
	3	12	2.8000000	**
	4	12	2.9000000	**
	5	12	3.2000000	**
	6	12	3.3000000	**
	7	12	3.4000000	**
	8	12	3.5000000	**
	9	12	4.4000000	*

Table 22

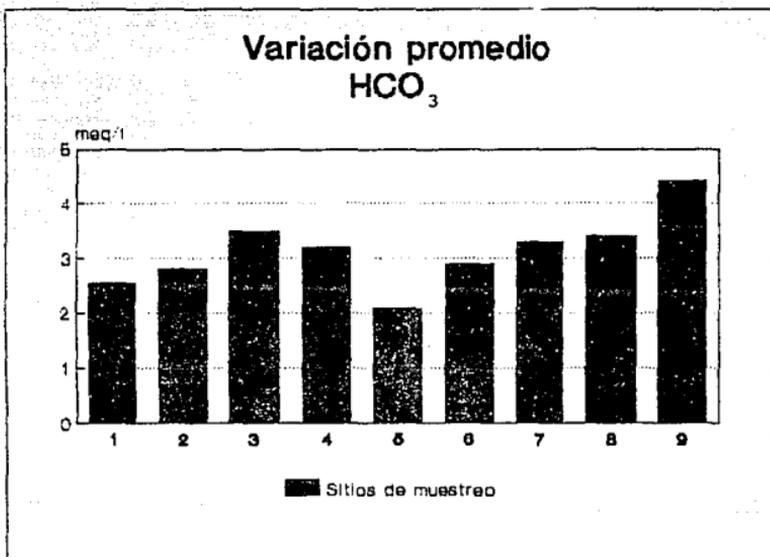


Fig. 23

SITIO	JUN	AGOS	SEP	OCT	NOV	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	Jun	Jul
1	4.8	4.8	1.2	1.2	3.6	0.0	3.6	2.4	1.2	2.4	2.4	2.4
2	4.8	3.6	2.4	2.4	3.6	1.2	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	3.6
3	6.0	4.8	3.6	3.6	2.4	2.4	3.6	3.6	2.4	2.4	3.6	3.6
4	3.6	3.6	1.2	2.4	2.4	1.2	3.6	3.6	2.4	7.2	3.6	2.4
5	3.6	3.6	1.2	2.4	2.4	1.2	3.6	1.2	1.2	2.4	0.0	2.4
6	4.8	4.8	1.2	1.2	3.6	1.2	3.6	4.8	1.2	2.4	3.6	2.4
7	6.0	4.8	6.0	2.4	3.6	2.4	3.6	1.2	2.4	3.6	3.6	0.0
8	6.0	4.8	2.4	2.4	2.4	2.4	3.6	3.6	2.4	3.6	3.6	3.6
9	8.4	6.0	2.4	2.4	3.6	4.8	3.6	2.4	4.8	7.2	2.4	4.8

Tabla 23. Concentraciones de bicarbonatos encontradas durante el período de muestreo, en meq/l.

VARIACION DE HCO₃

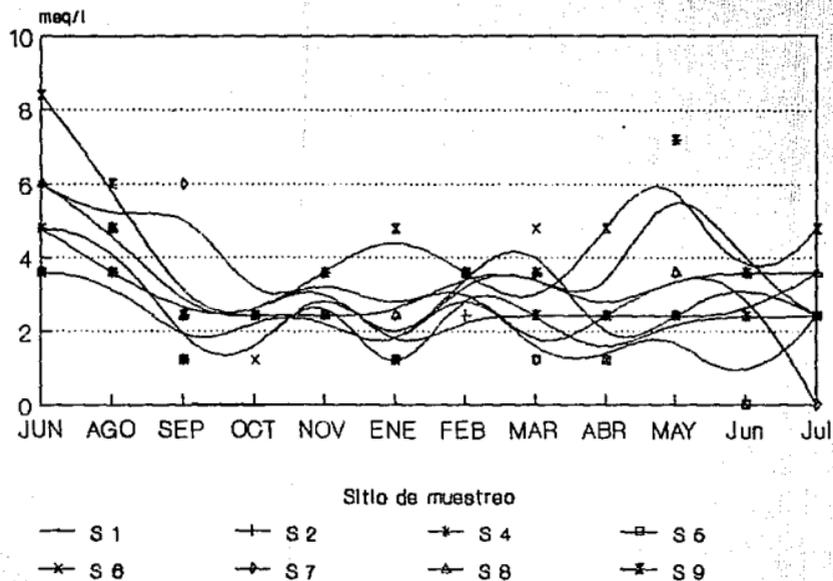


Fig. 24

One-Way Analysis of Variance

Data: C1

Level codes: ATOYAC.SITIOS

Labels:

Range test: Tukey Confidence level: 95

Analysis of variance

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
Between groups	20.952404	3	2.6190505	7.894	.0000
Within groups	32.845795	99	.3317757		
Total (corrected)	53.798199	107			

0 missing value(s) have been excluded.

Multiple range analysis for C103 by ATOYAC.SITIOS

Method:	95 Percent	Tukey HSD	Intervals
Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	12	.5468333	*
2	12	.6116667	*
3	12	.7083333	*
4	12	.7166667	*
7	12	.7958333	**
8	12	.8516667	**
6	12	.8566667	**
5	12	1.5250000	**
9	12	1.9416667	*

Tabla 24

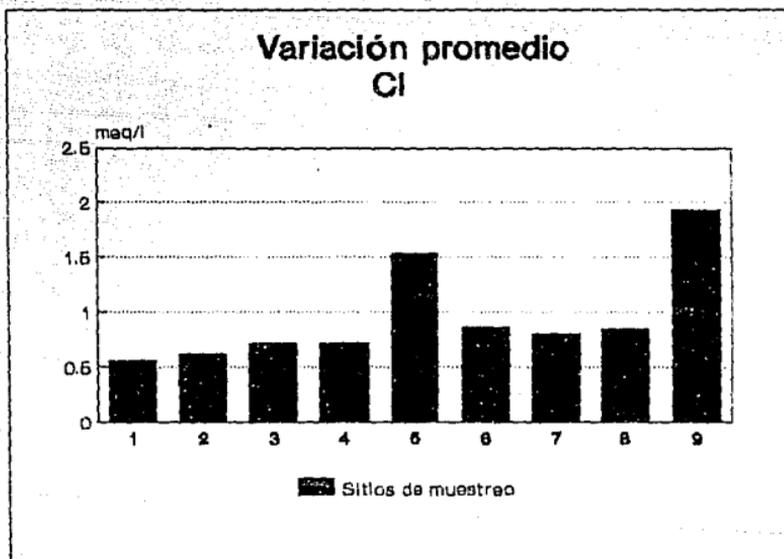


Fig. 25

SITIO	JUN	AGOS	SEP	OCT	NOV	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	Jun	Jul
1	0.82	0.65	0.24	0.16	0.41	0.082	0.54	0.36	0.78	1.32	0.77	0.43
2	0.98	0.65	0.16	0.24	0.57	0.082	0.45	0.63	0.96	1.14	0.77	0.51
3	0.65	0.90	0.32	0.50	0.57	0.328	0.81	0.63	0.78	0.96	1.03	1.03
4	0.73	0.82	0.082	0.41	0.50	0.246	0.72	0.72	0.90	1.92	0.86	0.69
5	1.80	2.29	0.90	1.40	1.40	0.902	1.72	2.15	1.50	1.32	1.89	1.03
6	0.90	0.98	0.41	0.41	0.65	0.246	1.00	1.80	1.38	0.96	0.77	0.77
7	0.65	1.14	0.16	0.57	0.65	0.246	1.18	0.72	1.32	1.20	1.03	0.69
8	0.65	1.31	0.24	0.57	0.73	0.492	0.91	0.81	1.50	1.20	0.86	0.95
9	1.64	2.29	0.32	1.00	1.23	2.700	5.46	2.63	2.10	2.04	0.86	1.03

Tabla 25. Valores de cloruros detectados durante el año, en meq/l.

VARIACION DE CI

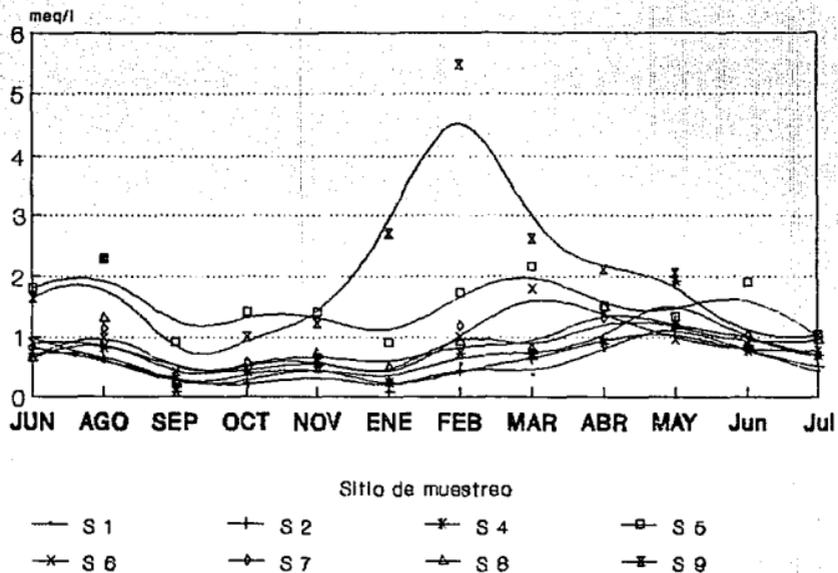


Fig. 26

One-way Analysis of Variance

Data: 504

Level Model: ATGYAC.SITIOS

Labels:

Range test: Tukey

Confidence level: 95

Analysis of Variance

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
Between groups	319.56680	8	42.445850	5.792	.0000
Within groups	725.49687	99	7.328251		
Total (corrected)	1065.0637	107			

0 missing values have been excluded.

Multiple range analysis for 504 by ATGYAC.SITIOS

Method: 95 Percent Tukey HSD Intervals
 Level Count Average Homogeneous Groups

0	12	1.4116667	*
5	12	1.5133333	*
2	12	1.5541667	*
3	12	1.5550000	*
1	12	1.5400000	**
4	12	2.1241667	**
7	12	3.9233333	**
6	12	5.0641667	**
8	12	6.6991667	*

Table 26

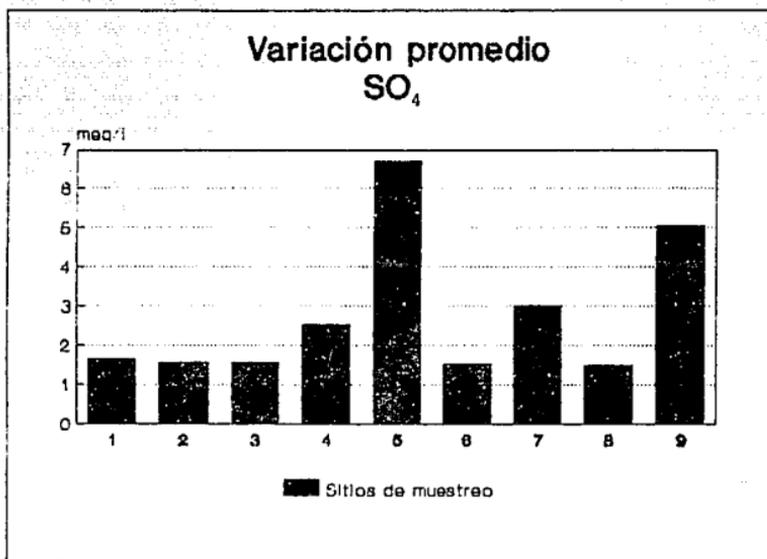


Fig. 27

SITIO	JUN	AGOS	SEP	OCT	NOV	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	Jun	Jul
1	0.86	0.85	5.48	1.37	0.00	1.37	0.00	2.05	0.85	2.57	1.37	2.91
2	0.51	0.00	6.51	0.34	0.34	0.17	0.68	2.22	3.94	0.00	1.03	2.91
3	1.02	0.34	2.39	0.17	3.08	1.88	0.68	0.68	1.71	3.25	1.89	2.57
4	3.76	0.34	5.99	1.88	3.77	2.22	3.42	1.71	1.21	0.00	1.89	4.11
5	15.42	6.85	8.39	7.19	2.05	3.77	5.83	3.25	4.11	6.00	3.60	9.93
6	0.85	1.71	0.34	3.42	2.09	1.37	0.34	3.08	1.71	0.34	2.40	0.51
7	13.36	0.68	2.57	3.08	2.39	1.54	1.19	0.86	3.42	2.91	2.57	1.71
8	0.85	0.51	3.25	0.17	0.17	1.71	1.88	4.45	1.54	0.00	1.71	1.54
9	5.31	2.57	4.11	2.39	3.77	3.77	7.17	3.94	13.53	6.68	5.31	2.22

Tabla 27. Concentraciones de sulfatos detectados durante el periodo de muestreo, en mg/l.

VARIACION DE SO₄

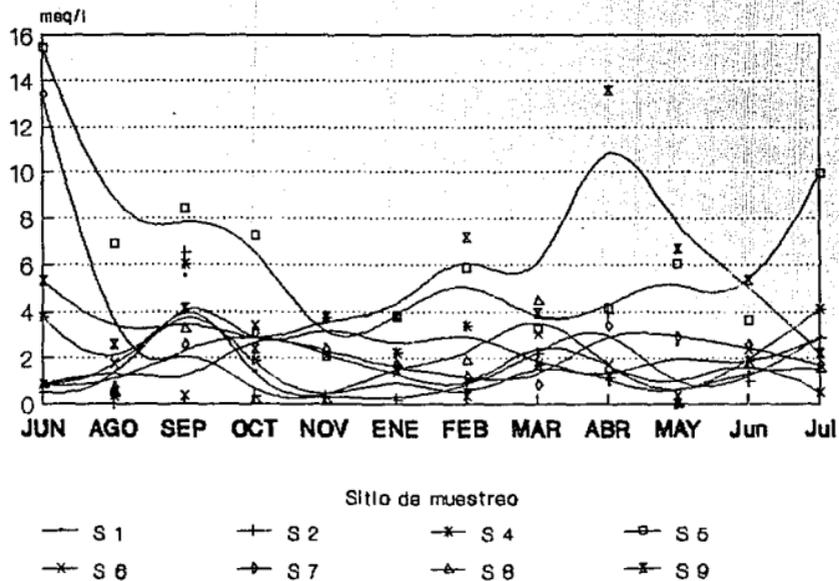


Fig. 28

One-Way Analysis of Variance

Data: Boro

Level codes: ATOYAC.SITIOS

Labels:

Range test: Tukey

Confidence level: 95

Analysis of variance

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
Between groups	1.9614907	8	.2326861	3.139	.0031
Within groups	7.3395833	99	.0741372		
Total (corrected)	9.2010741	107			

0 missing value(s) have been excluded.

Multiple range analysis for Boro by ATOYAC.SITIOS

Method:	95 Percent Tukey HSD		Intervals
Level	Count	Average	Homogeneous Groups
3	12	.0958333	*
1	12	.1033333	**
4	12	.1166667	**
2	12	.1266667	**
7	12	.1483333	**
6	12	.1516667	**
8	12	.2441667	**
9	12	.4316667	**
5	12	.4500000	*

Table 28

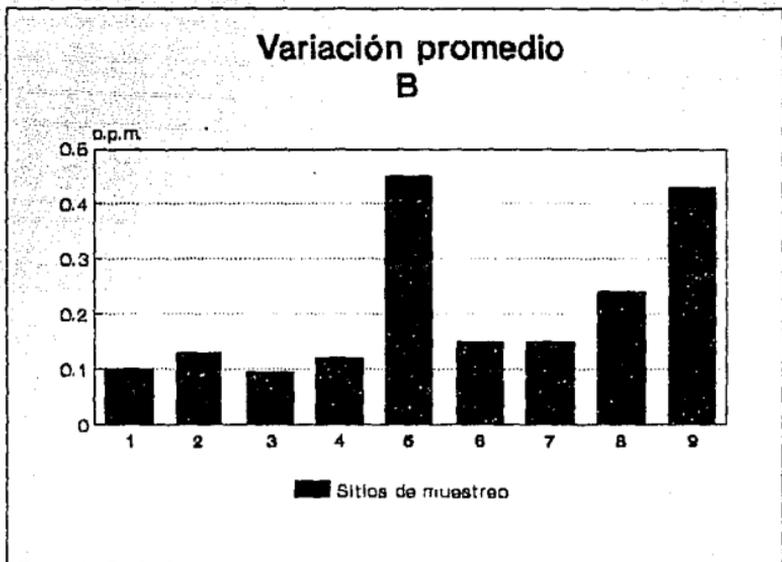


Fig. 29

SITIO	JUN	AGOS	SEP	OCT	NOV	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	Jun	Jul
1	0.03	0.30	0.44	0.03	0.12	0.03	0.05	0.03	0.02	0.04	0.02	0.09
2	0.15	0.50	0.47	0.03	0.06	0.06	0.02	0.00	0.06	0.06	0.05	0.06
3	0.00	0.21	0.55	0.02	0.08	0.09	0.04	0.03	0.03	0.04	0.05	0.01
4	0.20	0.22	0.50	0.08	0.07	0.11	0.02	0.02	0.00	0.07	0.06	0.07
5	1.12	0.96	1.44	0.80	0.11	0.13	0.19	0.24	0.18	0.06	0.04	0.13
6	0.02	0.25	0.55	0.54	0.09	0.07	0.00	0.11	0.06	0.07	0.00	0.06
7	0.24	0.35	0.50	0.06	0.13	0.07	0.07	0.12	0.08	0.09	0.01	0.06
8	0.03	0.56	0.47	1.40	0.09	0.09	0.09	0.04	0.06	0.07	0.00	0.05
9	1.00	0.60	1.08	0.50	0.20	0.18	0.20	0.47	0.41	0.39	0.01	0.14

Tabla 29. Variaciones de las concentraciones de B durante el año, en ppm.

VARIACION DE B

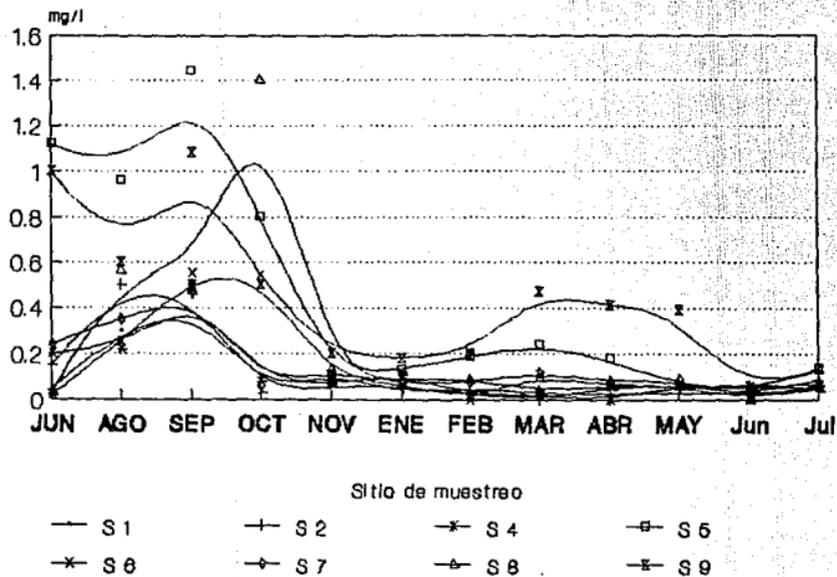


Fig. 30

One-way Analysis of Variance

Factor: detergente

Level codes: ATOYAC.SITI05

Labels:

Range test: Tukey Confidence level: 95

Analysis of variance

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
Between groups	57.062233	9	7.1329167	8.965	.0000
Within groups	73.767292	99	.7956292		
Total (corrected)	130.83063	107			

Missing value(s) have been excluded.

Multiple range analysis for Detergente by ATOYAC.SITI05

Method: 95 Percent Tukey HSD Intervals			
Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	12	.2916667	*
3	12	.3875000	*
2	12	.5416667	*
6	12	.6041667	*
5	12	.6916667	*
7	12	.9166667	*
4	12	1.0958333	*
8	12	1.3125000	*
9	12	2.8208333	*

Tabla 10

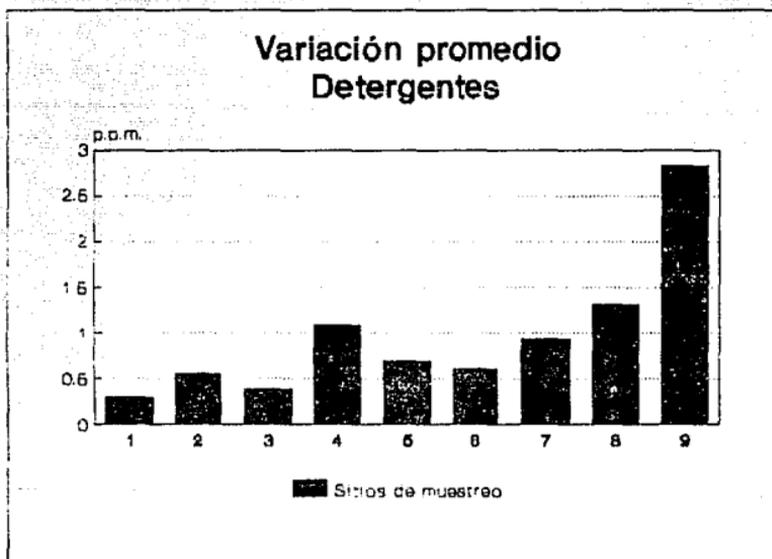
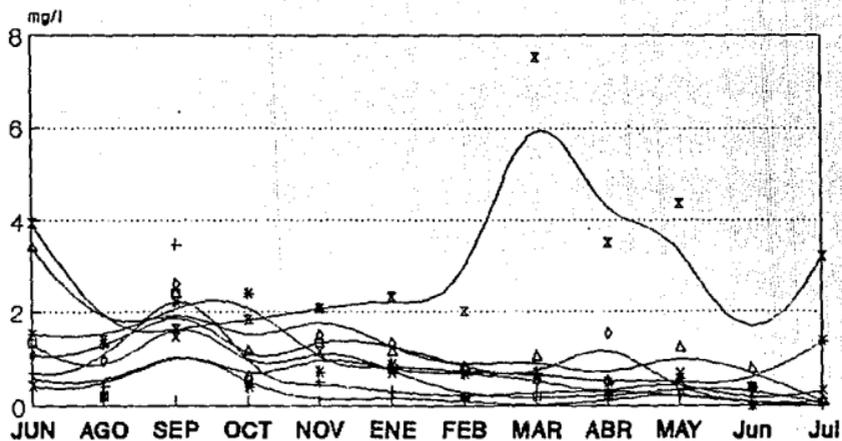


Fig. 31

SITIO	JUN	AGO	SEP	OCT	NOV	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	Jun	Jul
1	0.55	0.25	1.40	0.40	0.10	0.20	0.10	0.00	0.10	0.35	0.05	0.00
2	0.65	0.40	3.40	0.40	0.50	0.30	0.20	0.00	0.35	0.25	0.05	0.00
3	0.45	0.25	1.00	1.60	0.20	0.25	0.25	0.10	0.20	0.20	0.05	0.10
4	1.50	1.25	2.20	2.40	0.70	0.85	0.70	0.70	0.50	0.60	0.40	1.35
5	1.25	0.20	2.40	0.50	1.25	0.75	0.20	0.20	0.20	0.40	0.40	0.05
6	0.40	0.70	1.40	0.40	1.10	0.70	0.70	0.60	0.20	0.70	0.00	0.35
7	1.00	0.90	2.60	0.60	1.45	1.25	0.80	0.55	0.50	0.25	0.00	0.10
8	3.40	1.25	2.40	1.10	2.05	1.10	0.80	1.00	0.55	1.20	0.80	0.10
9	3.95	1.35	1.60	1.80	2.05	2.30	2.00	7.50	3.50	4.35	0.25	3.20

Tabla 31. Concentraciones de A.B.S. detectadas durante el periodo de muestreo, en mg/l

VARIACION DE DETERGENTES



Sitio de muestreo



Fig. 32

One-Way Analysis of Variance

Label: Grasses

Level codes: ATOYAC.SITIOS

Labels:

Range test: Tukey Confidence level: 95

Analysis of variance

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
Between groups	241027.3	8	30128.415	.592	.7822
Within groups	5036731.5	99	50876.076		
Total (corrected)	5277758.9	107			

0 missing value(s) have been excluded.

Multiple range analysis for Grasses by ATOYAC.SITIOS

Method: 95 Percent Tukey HSD	Intervals		
Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	12	196.91667	*
5	12	234.58333	*
4	12	235.91667	*
9	12	271.83333	*
7	12	289.20000	*
8	12	303.41667	*
3	12	321.21667	*
6	12	337.16667	*
2	12	339.35333	*

Tabla 32

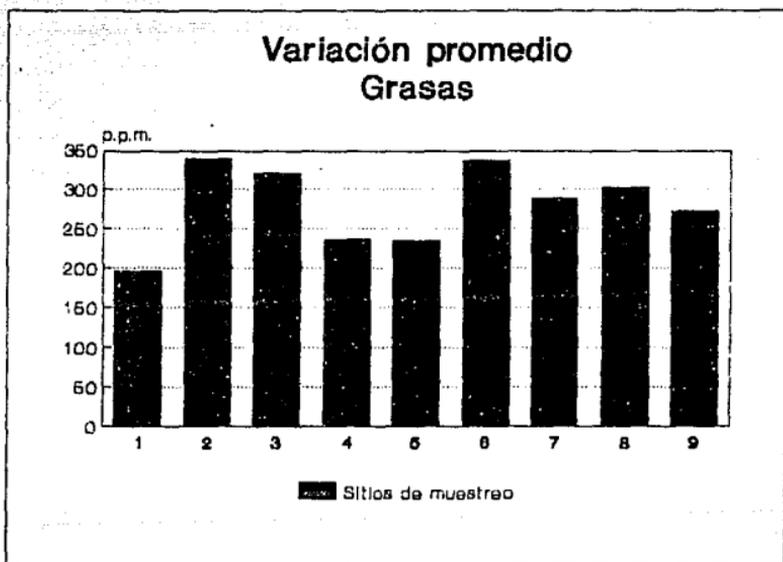


Fig. 33

SITIO	JUN	AGOS	SEP	OCT	NOV	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	Jun	Jul
1	100	163	479	180	111	89	86	79	161	362	368	195
2	130	521	171	734	749	33	129	128	401	28	457	589
3	292	345	468	407	563	156	91	346	593	121	468	4.6
4	229	134	426	103	101	378	89	22	572	16	535	266
5	126	200	379	163	146	25	171	169	18	17	788	413
6	204	550	798	395	541	42	67	356	291	23	421	358
7	248	154	294	587	0.4	200	198	65	392	444	492	396
8	938	337	727	183	73	120	21	41	81	198	365	557
9	191	166	295	60	41	53	77	72	68	308	748	565

Tabla 33. Valores de grasas y aceites encontrados durante el año, en mg/l.

VARIACION DE GRASAS Y ACEITES

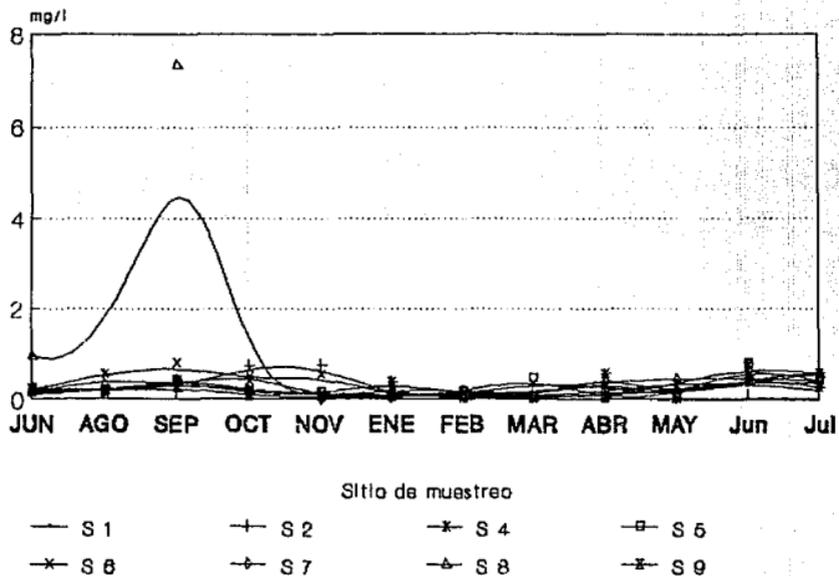


Fig. 34

One-Way Analysis of Variance

Data: Fe

Level codes: ATOYAC.SITIOS

Lehman:

Range test: Tukey

Confidence level: 95

Analysis of variance

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
Between groups	14.41522	8	1.8019023	1.601	.1357
Within groups	101.31749	90	1.1257499		
Total (corrected)	115.73271	98			

9 missing values have been excluded.

Multiple range analysis for Fe by ATOYAC.SITIOS

Level	Count	Average	Intervals	Homogeneous Groups
3	11	.0326182	*	
5	11	.1192727	*	
2	11	.2832727	*	
7	11	.4177273	*	
1	11	.4813636	*	
4	11	.5365455	*	
2	11	.6022727	*	
8	11	.7207273	*	
9	11	1.4303636	*	

Tabla 34

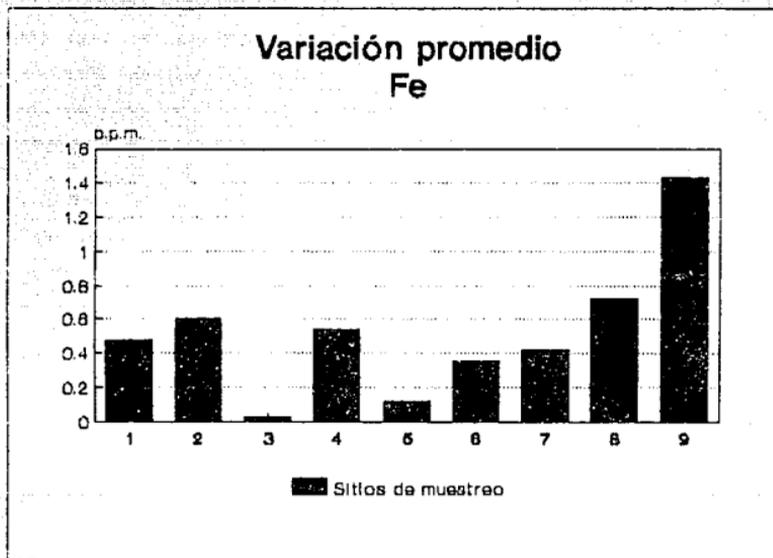


Fig. 35

SITIO	AGOS	SEP	OCT	NOV	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	Jun	Jul
1	0.151	0.123	0.017	0.151	0.080	2.323	0.003	0.151	0.109	1.267	0.950
2	0.183	0.387	0.010	0.172	0.017	0.070	0.105	0.095	0.014	3.415	2.147
3	0.017	0.017	0.049	0.024	0.024	0.045	0.035	0.028	0.035	0.010	0.077
4	0.175	0.426	0.468	0.140	0.052	0.105	0.169	0.059	0.073	2.499	1.725
5	0.052	0.249	0.088	0.278	0.017	0.116	0.119	0.077	0.105	0.123	0.088
6	0.052	0.306	0.609	0.010	0.017	0.281	0.126	0.049	0.116	2.250	0.183
7	0.088	0.598	0.633	0.154	0.059	0.130	0.049	0.049	0.080	2.711	0.045
8	0.538	0.492	1.348	2.711	0.021	0.045	0.362	0.211	0.137	1.725	0.352
9	0.116	1.230	3.098	0.109	0.010	0.088	0.264	0.228	0.299	8.098	2.218

Tabla 35. Variabilidad de las concentraciones de Fe detectadas durante el año, en ppm.

VARIACION DE Fe

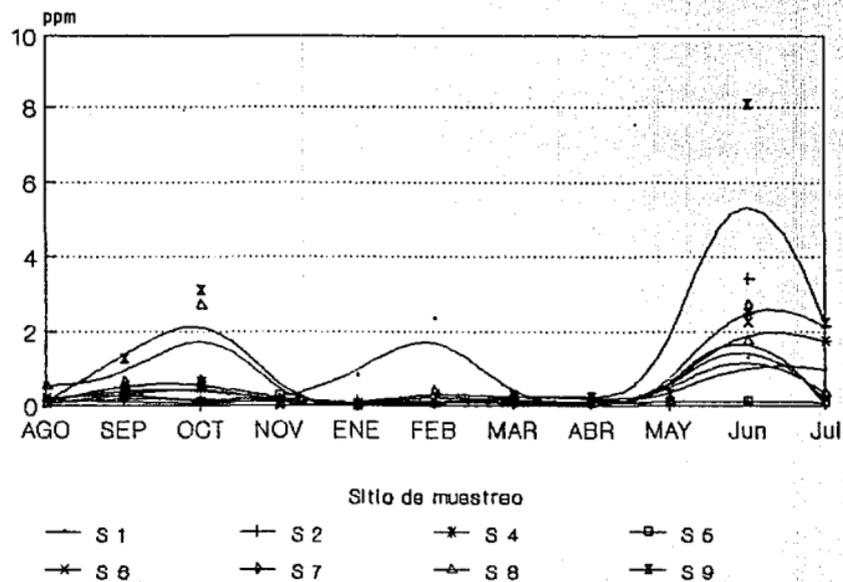


Fig. 36

One-Way Analysis of Variance

Data: Cu

Level codes: ATOYAC.SITIOS

Labels:

Range test: Tukey

Confidence level: 95

Analysis of variance

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
Between groups	.0009479	8	1.18487E-004	2.276	.0289
Within groups	.0046855	90	5.20606E-005		
Total (corrected)	.0056334	98			

9 missing value(s) have been excluded.

Multiple range analysis for Cu by ATOYAC.SITIOS

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
2	11	.0082727	*
3	11	.0084545	*
6	11	.0095455	*
7	11	.0100909	*
1	11	.0107273	*
8	11	.0119091	*
5	11	.0137273	*
4	11	.0164545	*
9	11	.0170909	*

Tabla 36

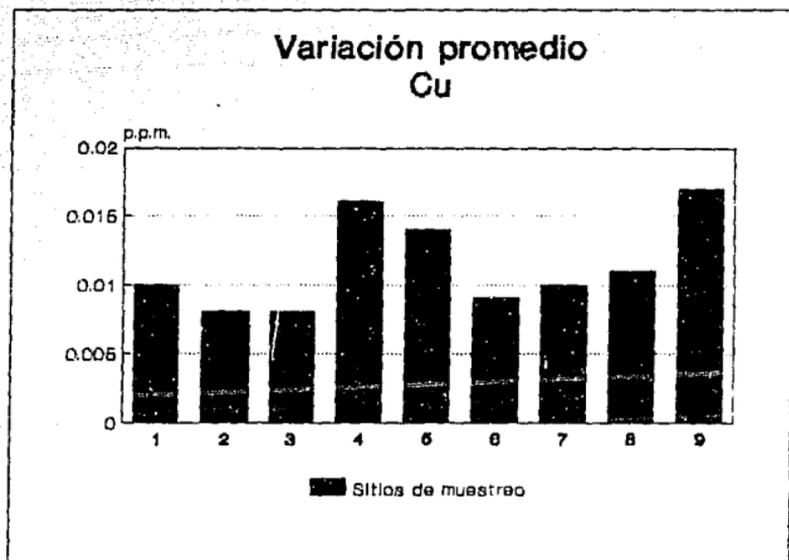


Fig. 37

SITIO	AGOS	SEP	OCT	NOV	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	Jun	Jul
1	0.010	0.021	0.005	0.010	0.016	0.018	0.008	0.010	0.005	0.010	0.005
2	0.008	0.005	0.005	0.005	0.002	0.008	0.013	0.013	0.005	0.016	0.010
3	0.005	0.005	0.021	0.005	0.010	0.010	0.008	0.005	0.010	0.005	0.008
4	0.061	0.008	0.013	0.008	0.008	0.013	0.010	0.010	0.013	0.013	0.024
5	0.008	0.010	0.010	0.016	0.008	0.018	0.016	0.013	0.018	0.013	0.021
6	0.010	0.013	0.013	0.005	0.002	0.010	0.013	0.008	0.013	0.010	0.008
7	0.010	0.016	0.010	0.010	0.010	0.013	0.008	0.008	0.013	0.008	0.005
8	0.008	0.010	0.021	0.024	0.005	0.016	0.016	0.005	0.008	0.010	0.008
9	0.016	0.013	0.029	0.010	0.010	0.013	0.021	0.005	0.013	0.034	0.024

Tabla 37. Variaciones de las concentraciones de Cu durante el período de muestreo, en ppm.

VARIACION DE Cu

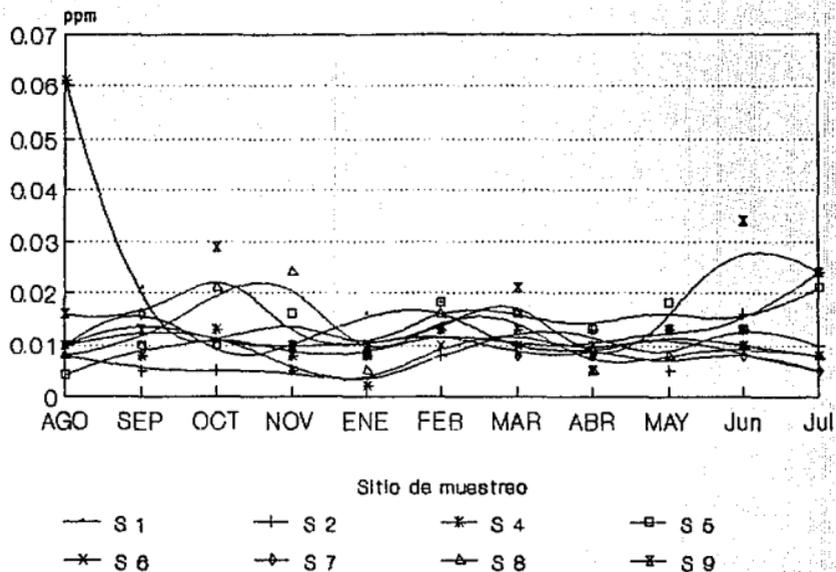


Fig. 38

One-Way Analysis of Variance

DATA: Mn

Level codes: ATOYAC.SITIOS

Labels:

Range test: Tukey

Confidence level: 95

Analysis of variance

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
Between groups	.5640028	8	.0705003	6.737	.0000
Within groups	.9418508	90	.0104650		
Total (corrected)	1.5058535	98			

9 missing value(s) have been excluded.

Multiple range analysis for Mn by ATOYAC.SITIOS

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
3	11	.0030902	*
5	11	.0126364	*
6	11	.0305455	*
4	11	.0324273	*
2	11	.0336264	*
7	11	.0423636	*
1	11	.0627273	*
8	11	.1229091	**
9	11	.2605455	*

Table 38

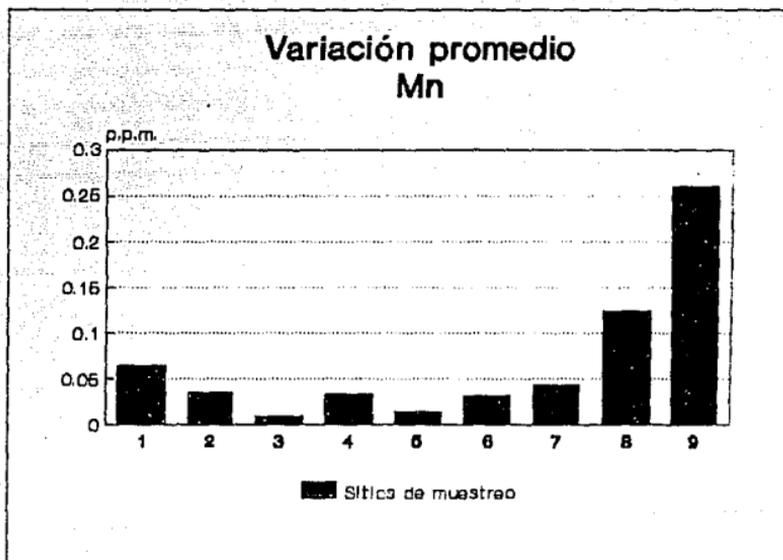


Fig. 39

Tabla 35. Variaciones de las concentraciones de Mn durante el periodo de muestreo, en ppm.

SITIO	AGOS	SEP	OCT	NOV	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	Jun	Jul
1	0.032	0.005	0.011	0.042	0.032	0.374	0.028	0.024	0.032	0.037	0.073
2	0.017	0.046	0.007	0.021	0.003	0.019	0.015	0.013	0.005	0.105	0.119
3	0.013	0.005	0.019	0.003	0.011	0.007	0.007	0.009	0.003	0.009	0.003
4	0.067	0.057	0.030	0.040	0.011	0.015	0.032	0.005	0.003	0.086	0.107
5	0.013	0.021	0.013	0.017	0.005	0.017	0.015	0.005	0.009	0.017	0.007
6	0.038	0.045	0.042	0.005	0.007	0.013	0.030	0.011	0.009	0.080	0.055
7	0.013	0.096	0.076	0.053	0.036	0.026	0.034	0.011	0.036	0.080	0.005
8	0.096	0.028	0.165	0.307	0.003	0.030	0.057	0.469	0.146	0.044	0.007
9	0.019	0.173	0.124	0.107	0.007	0.588	0.138	0.563	0.544	0.536	0.067

VARIACION DE Mn

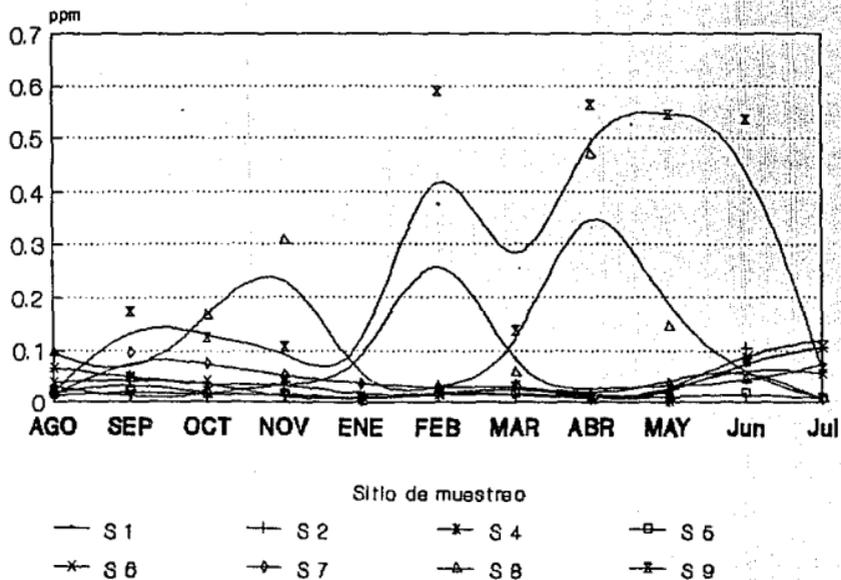


Fig. 40

One-way Analysis of Variance

Data: Zn

Level codes: ATOYAC.SITIOS

Labels:

Range test: Tukey Confidence level: 95

Analysis of variance

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
Between groups	.5410092	8	.0676261	11.432	.0000
Within groups	.5323928	90	.0059155		
Total (corrected)	1.0734020	98			

9 missing value(s) have been excluded.

Multiple range analysis for Zn by ATOYAC.SITIOS

Method: 95 Percent Tukey HSD Intervals			
Level	Count	Average	Homogeneous Groups
3	11	.0100545	*
2	11	.0119364	*
1	11	.0174545	*
7	11	.0233636	*
4	11	.0241818	*
6	11	.0263636	*
9	11	.0344545	*
8	11	.0460000	*
5	11	.2570309	*

Tabla 40

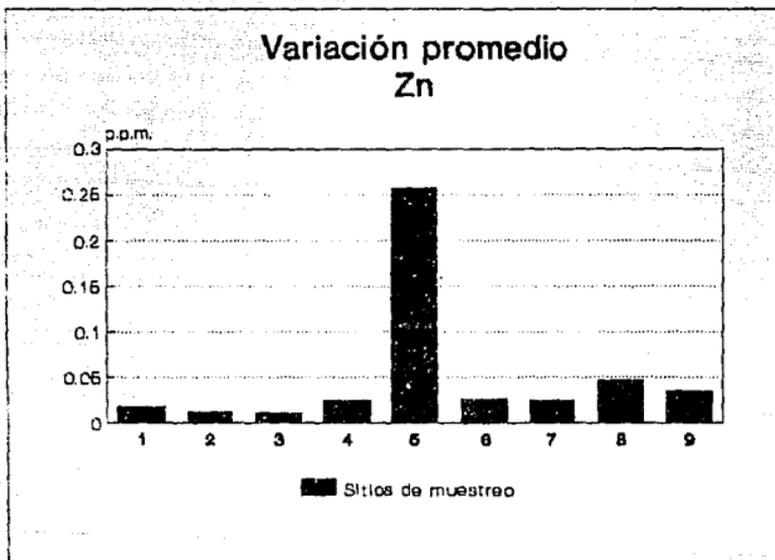
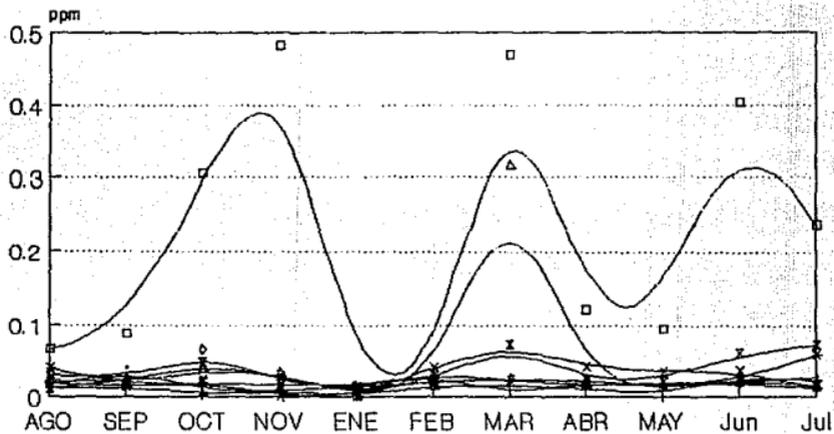


Fig. 41

Tabla 41. Variabilidad de las concentraciones de Zn durante el periodo de muestreo, en ppm.

	SEPTIEMBRE	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO
1	0.016	0.038	0.0007	0.008	0.013	0.031	0.002	0.020	0.012	0.019	0.026	0.022
2	0.012	0.014	0.0030	0.008	0.001	0.015	0.015	0.012	0.0003	0.029	0.016	0.012
3	0.012	0.005	0.0170	0.007	0.005	0.015	0.012	0.013	0.012	0.010	0.016	0.058
4	0.038	0.016	0.0180	0.016	0.014	0.031	0.022	0.015	0.018	0.020	0.239	0.013
5	0.605	0.087	0.3040	0.482	0.002	0.020	0.468	0.121	0.095	0.405	0.013	0.012
6	0.019	0.013	0.0220	0.0003	0.0007	0.040	0.072	0.041	0.034	0.035	0.013	0.012
7	0.029	0.022	0.0650	0.018	0.011	0.021	0.024	0.021	0.015	0.019	0.012	0.015
8	0.022	0.018	0.0370	0.032	0.001	0.015	0.315	0.016	0.012	0.023	0.015	0.072
9	0.011	0.021	0.0460	0.028	0.003	0.023	0.072	0.023	0.020	0.060	0.072	0.072

VARIACION DE Zn



Sitio de muestreo

— S 1

+ S 2

* S 4

□ S 5

* S 6

◇ S 7

△ S 8

* S 9

Fig. 42

One-Way Analysis of Variance

Data: Pb

Level codes: ATOYAC.SITIOS

Labels:

Range test: Tukey

Confidence level: 95

Analysis of variance

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
Between groups	.0096325	8	.0012103	2.232	.0321
Within groups	.0488129	90	.0005424		
Total (corrected)	.0584454	98			

9 missing value(s) have been excluded.

Multiple range analysis for Pb by ATOYAC.SITIOS

Method:	95 Percent	Tukey HSD	Intervals
Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	11	.0430909	*
2	11	.0513636	**
5	11	.0579182	1*
7	11	.0580909	**
8	11	.0590909	**
6	11	.0610909	**
3	11	.0638182	**
4	11	.0655455	**
9	11	.0817455	*

Tabla 42

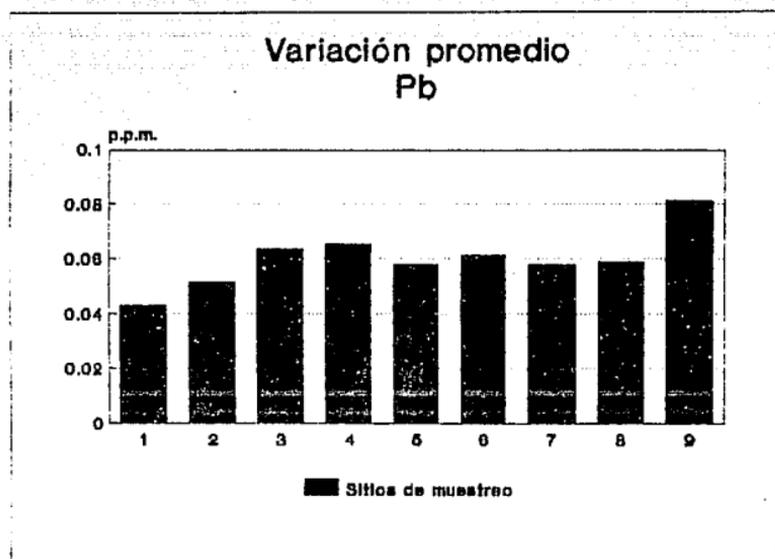


Fig. 43

SITIO	AGO	SEP	OCT	NOV	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	Jun	Jul
1	0.088	0.035	0.035	0.035	0.053	0.053	0.035	0.035	0.053	0.035	0.017
2	0.070	0.035	0.035	0.070	0.053	0.053	0.035	0.053	0.053	0.053	0.035
3	0.070	0.035	0.141	0.070	0.053	0.070	0.035	0.017	0.070	0.088	0.053
4	0.123	0.088	0.053	0.035	0.053	0.070	0.070	0.053	0.053	0.053	0.070
5	0.053	0.088	0.053	0.035	0.070	0.106	0.053	0.053	0.088	0.017	0.070
6	0.053	0.035	0.123	0.070	0.070	0.035	0.053	0.070	0.106	0.035	0.017
7	0.035	0.035	0.053	0.088	0.070	0.070	0.053	0.070	0.053	0.070	0.035
8	0.053	0.070	0.070	0.070	0.088	0.053	0.035	0.053	0.053	0.070	0.035
9	0.070	0.053	0.088	0.088	0.088	0.070	0.106	0.070	0.106	0.088	0.070

Tabla 43. Variabilidad de las concentraciones de Pb durante el periodo de muestreo, en ppm.

VARIACION DE Pb

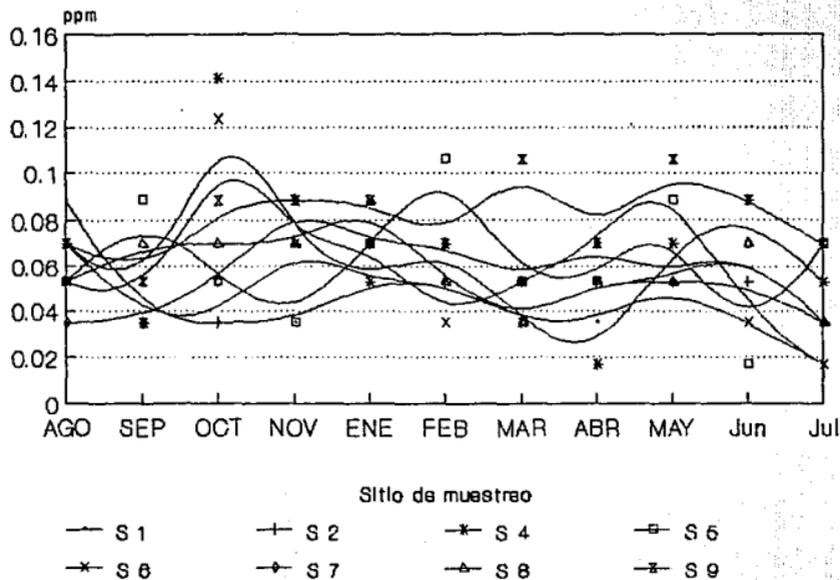


Fig. 44

One-Way Analysis of Variance

Data: Cr

Level codes: ATOYAC.SITI08

Labels:

Range test: Tukey Confidence level: 95

Analysis of variance

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
Between groups	.0009112	8	1.13902E-004	3.786	.0007
Within groups	.0027078	90	3.00866E-005		
Total (corrected)	.0036190	98			

9 missing value(s) have been excluded.

Multiple range analysis for Cr by ATOYAC.SITI08

Method: 95 Percent Tukey HSD Intervals
 Level Count Average Homogeneous Groups

6	11	.0036000	*
7	11	.0036000	*
1	11	.0040000	*
2	11	.0041455	*
8	11	.0044000	*
4	11	.0047813	*
5	11	.0054000	*
3	11	.0054000	*
9	11	.0138545	*

Tabla 44

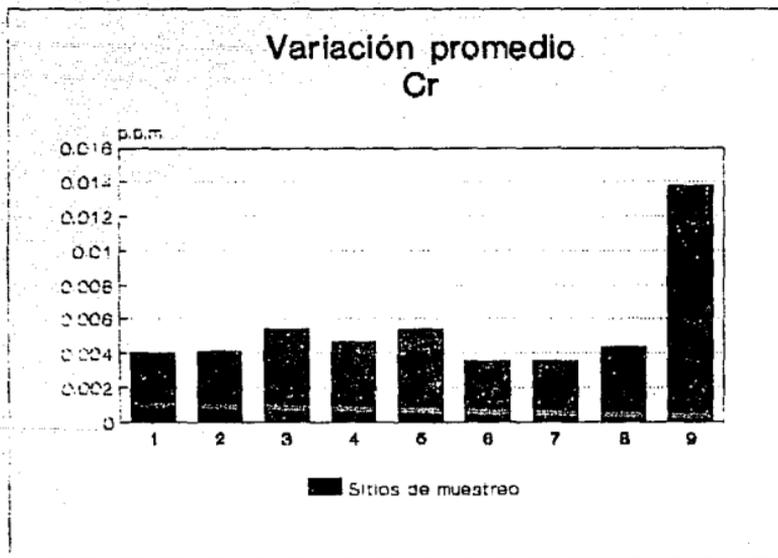


Fig. 45

SITIO	AGOS	SEP	OCT	NOV	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	Jun	Jul
1	0.0044	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0110	0.0022	0.0044	0.0022	0.0066	0.0044
2	0.0022	0.0022	0.0022	0.0044	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0170	0.0066
3	0.0044	0.0066	0.0088	0.0044	0.0066	0.0022	0.0044	0.0022	0.0066	0.0066	0.0066
4	0.0044	0.0044	0.0044	0.0044	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.013	0.0110
5	0.0066	0.0044	0.0044	0.0066	0.0022	0.0066	0.0066	0.0044	0.0044	0.0044	0.0088
6	0.0022	0.0044	0.0044	0.0022	0.0044	0.0022	0.0022	0.0022	0.0044	0.0088	0.0022
7	0.0022	0.0066	0.0044	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0110	0.0022
8	0.0044	0.0044	0.0088	0.0088	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0022	0.0088	0.0022
9	0.0088	0.0066	0.0044	0.0044	0.0022	0.0044	0.0066	0.0150	0.0044	0.0370	0.0190

Tabla 45. Variabilidad de las concentraciones de Cr durante el año, en ppm.

VARIACION DE Cr

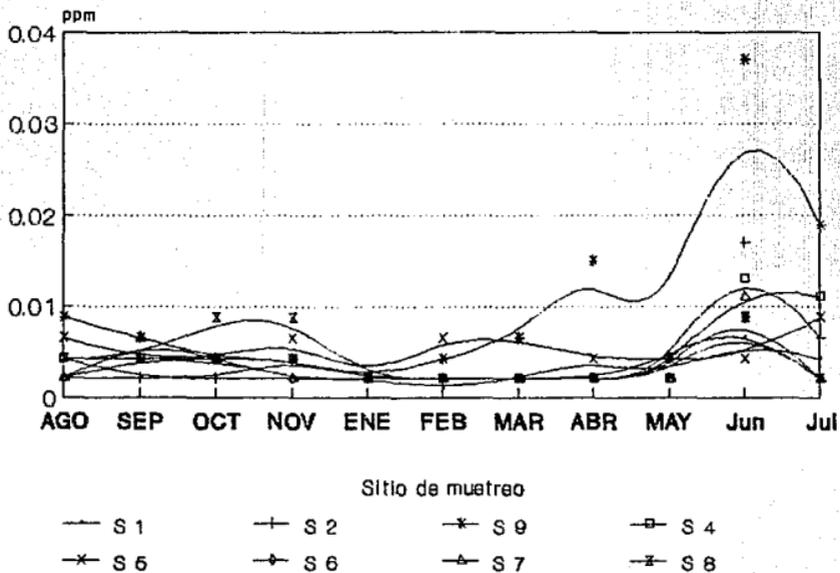


Fig. 46

One-Way Analysis of Variance

Data: Co

Level codes: ATOYAC.SITIOS

Labels:

Range test: Tukey

Confidence level: 95

Analysis of variance

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
Between groups	.0002022	8	2.52753E-005	1.197	.3096
Within groups	.0018998	90	2.11091E-005		
Total (corrected)	.0021020	98			

9 missing value(s) have been excluded.

Multiple range analysis for Co by ATOYAC.SITIOS

Method: 95 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
2	11	.0057273	*
3	11	.0062727	*
4	11	.0070000	*
7	11	.0072727	*
1	11	.0075455	*
8	11	.0081818	*
6	11	.0088182	*
5	11	.0095455	*
9	11	.0103636	*

Table 46

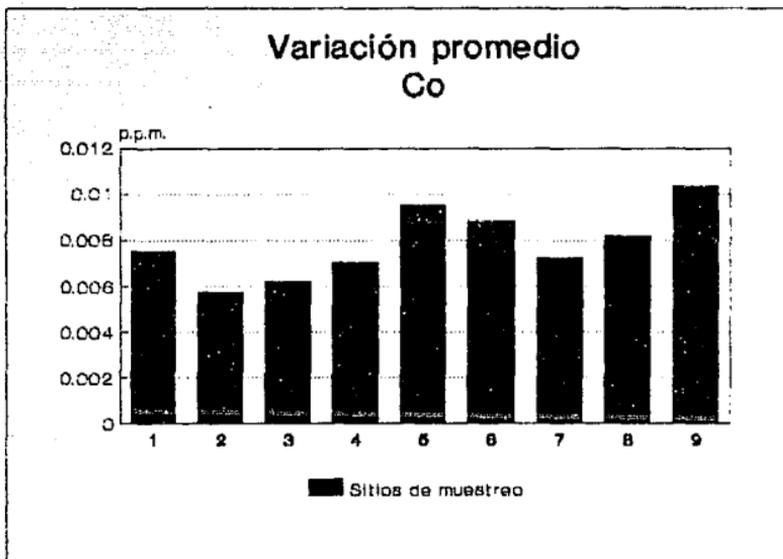


Fig. 47

SITIO	AGOS	SEP	OCT	NOV	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	Jun	Jul
1	0.002	0.010	0.012	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.015	0.007
2	0.005	0.002	0.005	0.002	0.007	0.012	0.002	0.002	0.007	0.012	0.007
3	0.005	0.005	0.010	0.007	0.005	0.002	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
4	0.007	0.005	0.010	0.005	0.007	0.002	0.010	0.002	0.012	0.007	0.010
5	0.010	0.007	0.012	0.005	0.005	0.012	0.015	0.012	0.010	0.007	0.010
6	0.002	0.012	0.017	0.007	0.005	0.002	0.005	0.010	0.012	0.015	0.010
7	0.005	0.007	0.005	0.012	0.007	0.007	0.002	0.005	0.010	0.015	0.010
8	0.010	0.007	0.005	0.007	0.002	0.002	0.007	0.015	0.015	0.010	0.015
9	0.002	0.007	0.012	0.005	0.007	0.002	0.002	0.020	0.020	0.025	0.012

Tabla 47. Variabilidad de las concentraciones de Co durante el año, en ppm.

VARIACION DE Co

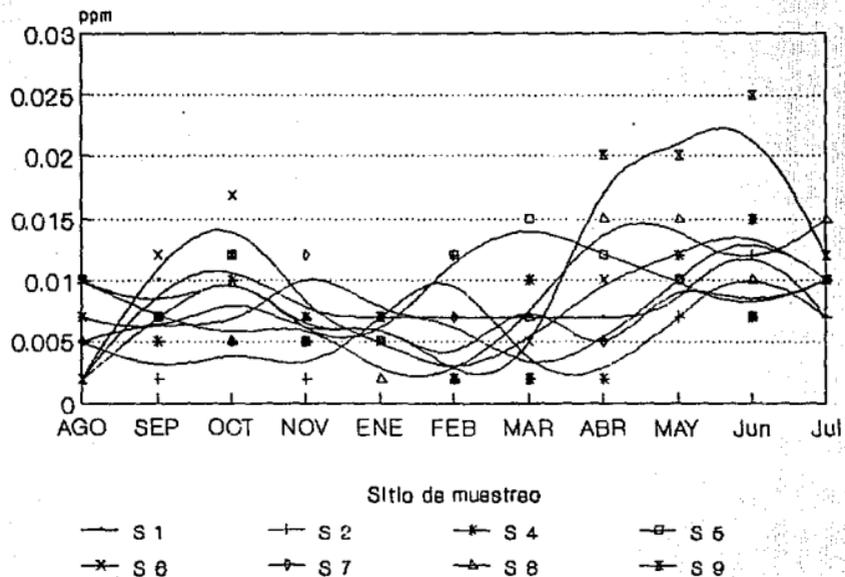


Fig. 48

One-Way Analysis of Variance

Data: NI

Level codes: ATOYAC.SITIOS

Labels:

Range test: Tukey

Confidence level: 95

Analysis of variance

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
Between groups	.0028200	8	3.52500E-004	4.669	.0001
Within groups	.0067947	90	7.54970E-005		
Total (corrected)	.0096147	98			

9 missing value(s) have been excluded.

Multiple range analysis for NI by ATOYAC.SITIOS

Method:	95	Percent	Tukey	HSD	Intervals
Level	Count	Average	Homogeneous	Groups	
6	11	.0141818	*		
7	11	.0151818	*		
4	11	.0152727	*		
1	11	.0153636	*		
2	11	.0153636	*		
J	11	.0160000	*		
5	11	.0170000	*		
8	11	.0200000	*		
9	11	.0322727	*		

Tabla 48

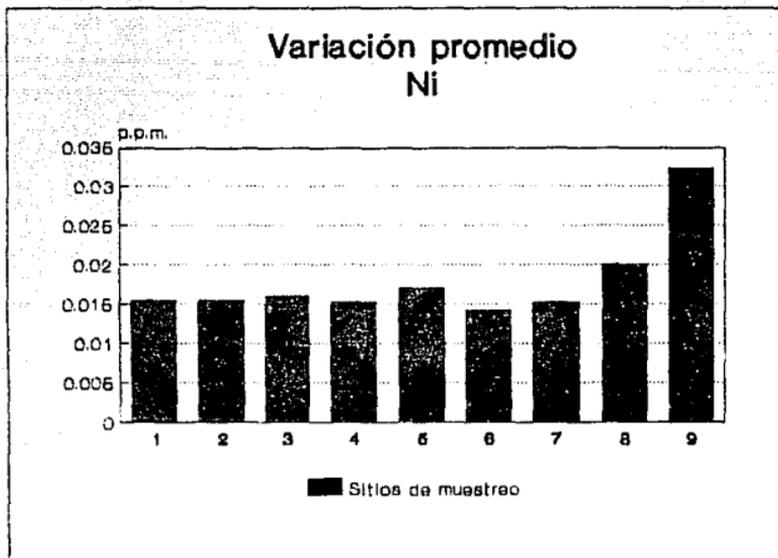


Fig. 49

SITIO	AGOS	SEP	OCT	NOV	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	Jun	Jul
1	0.021	0.014	0.007	0.014	0.014	0.021	0.007	0.010	0.003	0.021	0.036
2	0.021	0.014	0.003	0.014	0.010	0.010	0.021	0.007	0.018	0.025	0.025
3	0.018	0.010	0.028	0.014	0.021	0.007	0.028	0.018	0.003	0.014	0.014
4	0.021	0.021	0.014	0.003	0.024	0.007	0.010	0.021	0.021	0.010	0.025
5	0.018	0.028	0.018	0.014	0.010	0.018	0.018	0.025	0.021	0.010	0.007
6	0.014	0.028	0.010	0.018	0.010	0.010	0.021	0.014	0.014	0.007	0.014
7	0.010	0.025	0.014	0.010	0.003	0.018	0.003	0.021	0.021	0.028	0.014
8	0.018	0.010	0.018	0.032	0.025	0.018	0.018	0.014	0.025	0.025	0.014
9	0.028	0.028	0.025	0.039	0.010	0.032	0.032	0.032	0.047	0.068	0.014

Tabla 49. Variaciones de las concentraciones de Ni durante el periodo de muestreo, en ppm.

VARIACION DE Ni

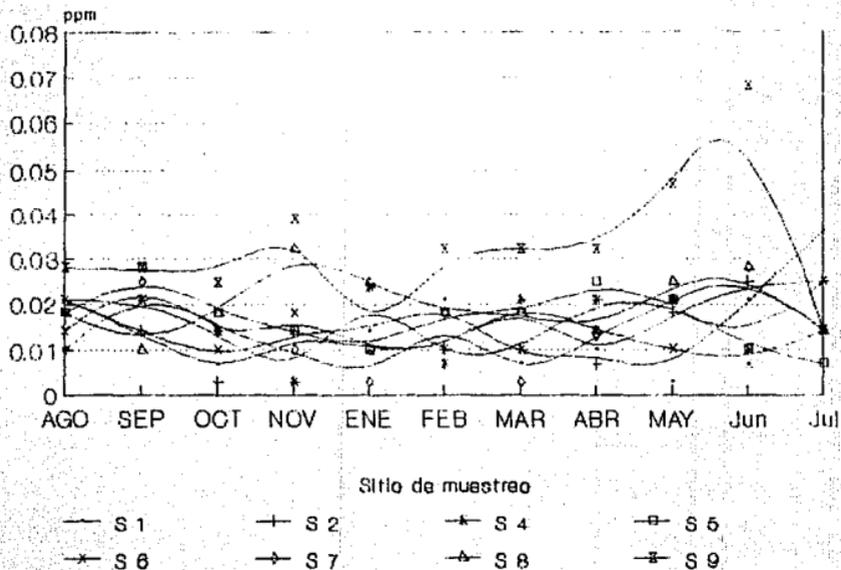


Fig. 50

One-Way Analysis of Variance

Data: Cd

Level codes: ATOYAC.SITI05

Labels:

Range test: Tukey

Confidence level: 95

Analysis of variance

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	F-ratio	Sig. level
Between groups	2.59596E-006	8	3.24495E-007	1.790	.0894
Within groups	1.63182E-005	90	1.91313E-007		
Total (corrected)	1.89141E-005	98			

9 missing value(s) have been excluded.

Multiple range analysis for Cd by ATOYAC.SITI05

Method:	95 Percent	Tukey	MSD	Intervals
Level	Count	Average	Homogeneous	Groups
4	11	.0004909	*	
5	11	.0006727	**	
8	11	.0007182	**	
3	11	.0007636	**	
7	11	.0007636	**	
1	11	.0008091	**	
3	11	.0008091	**	
2	11	.0009000	**	
9	11	.0011273	*	

Tabla 50

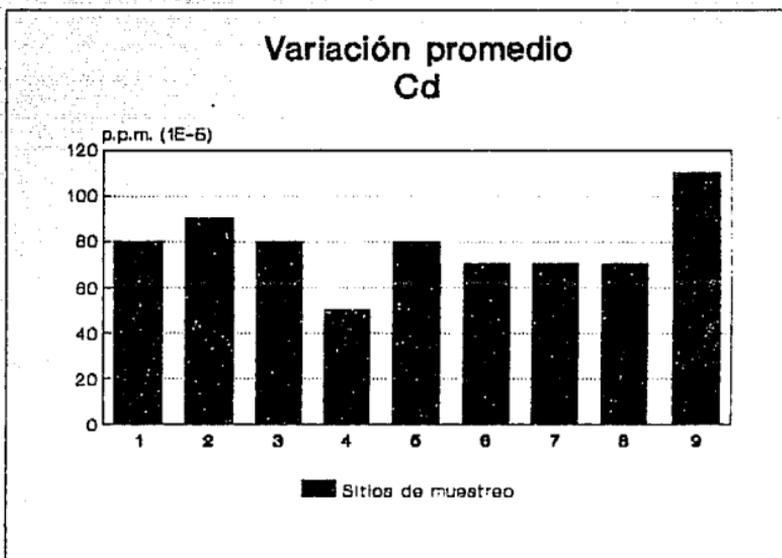


Fig. 51

SITIO	AGOS	SEP	OCT	NOV	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	Jun	Jul
1	0.0009	0.0009	0.0004	0.0004	0.0004	0.0009	0.0009	0.0014	0.0009	0.0004	0.0014
2	0.0009	0.0004	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0014	0.0009	0.0009	0.0004	0.0014
3	0.0009	0.0009	0.0019	0.0004	0.0004	0.0009	0.0004	0.0009	0.0009	0.0004	0.0009
4	0.0009	0.0009	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0009	0.0004	0.0004
5	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0004	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0004	0.0014
6	0.0004	0.0004	0.0004	0.0009	0.0004	0.0009	0.0009	0.0004	0.0004	0.0004	0.0019
7	0.0009	0.0009	0.0009	0.0004	0.0014	0.0004	0.0014	0.0004	0.0009	0.0004	0.0004
8	0.0004	0.0004	0.0009	0.0014	0.0004	0.0014	0.0009	0.0004	0.0004	0.0009	0.0004
9	0.0004	0.0004	0.0024	0.0009	0.0014	0.0009	0.0019	0.0014	0.0019	0.0004	0.0004

Tabla 51. Variabilidad de las concentraciones de Cd durante el año, en ppm.

VARIACION DE Cd

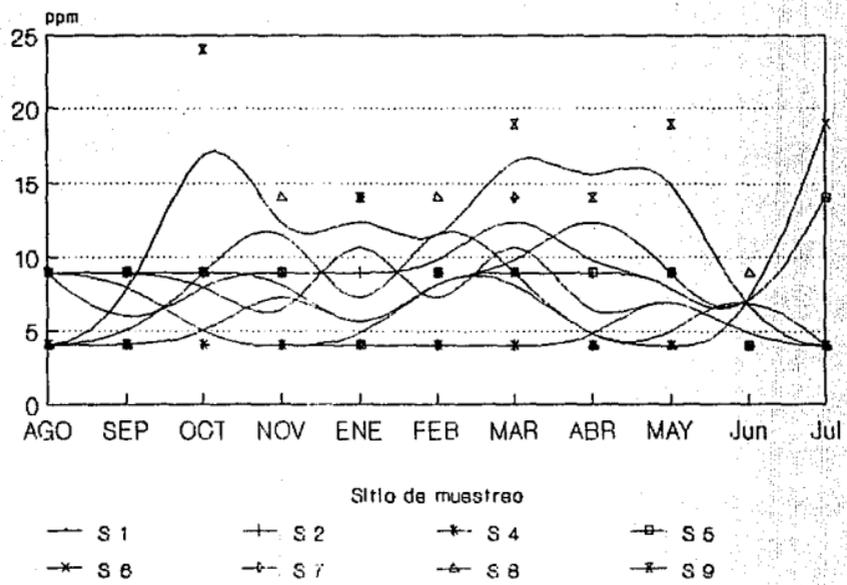


Fig. 52