

69  
201



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

EVALUACIÓN DEL CONTENIDO Y  
DISTRIBUCIÓN DE METALES PESADOS EN  
SUELOS AGRÍCOLAS Y CULTIVOS  
IRRIGADOS CON AGUAS RESIDUALES  
PROCEDENTES DE LA CIUDAD DE LEON,  
GUANAJUATO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

B I Ó L O G O

P R E S E N T A :

EDUARDO GARCÍA CRUZ



DIRECCIÓN DE TESIS  
M. en C. MARÍA DE LA ROSA FLORES DELGADILLO.

1998  
FACULTAD DE CIENCIAS  
SECCION ESCOLAR

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

264561



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

M. en C. Virginia Abrin Batule  
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la  
Facultad de Ciencias  
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis:  
"Evaluación del contenido y distribución de metales pesados en suelos  
agrícolas y cultivos irrigados con aguas residuales procedentes de -  
la ciudad de León, Guanajuato"  
realizado por Eduardo García Cruz.

con número de cuenta 8310384-5 , pasante de la carrera de Biología.

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis M. en C. María de Lourdes Flores Delgadillo  
Propietario

*María de Lourdes Flores*

Propietario Dra. Amada Laura Reyes Ortigoza.

*Amada Laura Reyes Ortigoza*

Propietario M.en C.Ma. Guadalupe Barajas Guzmán.

*Ma. Guadalupe Barajas Guzmán*

Suplente M. en C. María del Socorro Galicia Palacios.

*María del Socorro Galicia Palacios*

Suplente M. en C. Sara Solís Valdéz.

*Sara Solís Valdéz*

FACULTAD DE CIENCIAS  
U.N.A.M.

Consejo Departamental de Biología

*Edna María Suárez Díaz*  
Dra. Edna María Suárez Díaz



DEPARTAMENTO  
DE BIOLOGIA

*Dedicado a:*

*MIS PADRES*

*Doña Doro ☺ y Don Pépe*

*Por el cariño recibido y el ejemplo a seguir.*

*A MIS HERMANOS:*

*Paty, Bety, Gabriel, Leonardo, Ismael, Alejandro, Isaac*

*A MIS CUÑADAS:*

*Sony, Rosa, July y Migue.*

*Con afecto para:*

*Laura De la Rosa,*

*Cesar Jiménez G.*

*y*

*Alfonso Leija S.*

*A MIS SOBRINOS.*

*A MIS COMPAÑEROS PROFESORES*

*A MIS AMIGOS:*

*Gilberto, Rosa Ma. Del Valle, Raquel H., Corrosita, Kenia, Gaby R., Sofía, Maribel Trejo, Gerardo T., Alex, Dra. Marisol Orozco, Dr Cano, Martha Ayala, Gabriel, Iván, Lee, Joel, Fernando, Paco, Ixtzul, Arturo Chávez (†).*

*A MIS PROFESORES*

*Deseo expresar mi agradecimiento a las siguientes personas e instituciones:*

*A la Facultad de Ciencias de la U. N. A. M. por mi formación académica.*

*Al H. Instituto de Geología de La U. N. A. M. por todas las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo.*

*Al personal del Instituto de Geología: Tec. René Alcalá, Dr. Gilberto Hernández, Esther, Danny.*

*Al jurado evaluador de la tesis:*

*M. en C. María de Lourdes Flores Delgadillo.*

*Dra. Amada Laura Reyes Ortigoza.*

*M. en C. Ma. Guadalupe Barajas.*

*M. en C. María del Socorro Galicia Palacios.*

*M. en C. Sara Sofís Valdéz.*

*A las siguientes personas por sus valiosos comentarios:*

*Biol. Abel Ibáñez, Biol. Gustavo Gómez, Biol. Rebeca Pazos y Profr. Gonzálo.*

*"El suelo es la piel de la superficie terrestre y es  
el responsable de la vida en nuestro Planeta"*

Herbert E. Allen.

## ÍNDICE

CONTENIDO	PAG
RESUMEN	
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
A CONCEPTOS BÁSICOS ACERCA DE CONTAMINACIÓN	
B CONTAMINANTES PRODUCIDOS POR LAS TENERÍAS	
C TRABAJOS REALIZADOS EN EL MUNDO	
D TRABAJOS REALIZADOS EN MÉXICO	
III. OBJETIVOS	9
A GENERAL	
B PARTICULARES	
IV. CARACTERIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO	10
A LOCALIZACIÓN	
B CLIMA	
C FLORA Y FAUNA	
D FISIOGRAFIA	
E HIDROGRAFÍA	
F SUELO	
G GEOLOGÍA	
V. MATERIALES Y METODOLOGÍA	18
A MUESTREO	
B ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICOS DE SUELOS	
C METALES PESADOS EN FORMA DISPONIBLE EN SUELOS	
D METALES TOTALES EN SUELO	
E ANÁLISIS DE LAS AGUAS DE RIEGO	
F ANÁLISIS DEL MATERIAL VEGETAL	
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
A CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS SUPERFICIALES	21
B METALES PESADOS EN SUELOS SUPERFICIALES	29
C CARACTERÍSTICAS DE LOS PERFILES DE SUELO.	50
D METALES PESADOS EN PERFILES DE SUELO	56
E CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS DEL AGUA DE RIEGO.	63
F METALES PESADOS EN AGUA DE RIEGO	63
G METALES PESADOS EN MATERIAL VEGETAL.	71
VII. CONCLUSIONES	78
VIII. RECOMENDACIONES	80
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82



## RESUMEN

En las zonas de cultivo se ha detectado que las descargas de agua de ciertos tipos, repercuten de diferentes formas, entre las que se pueden citar la acumulación de elementos químicos que la mayoría de las veces se desconoce su presencia y dinámica en el suelo o en productos de consumo, por ello es menester identificar algunos aspectos de esta problemática, derivada del manejo de recursos que en varias ocasiones no son controladas, incrementando su impacto por la industrialización y la generación de productos de desecho, los que requieren manejos adecuados, sin embargo muchos de ellos son costosos y a veces se desconocen estos procesos.

El presente estudio determinó la concentración de algunos metales pesados que se introducen al suelo por la utilización de riego con aguas residuales y pueden ser disponibles a los vegetales, buscando la relación existente entre el contenido de metales en el agua empleada para el riego, la distribución de metales pesados a lo largo de la zona de influencia de las aguas de riego en el Valle de León y la distribución de los metales en profundidad, mediante perfiles de suelo.

Se determinaron las concentraciones de Fe, Zn, Pb, Cr, Ni, Cu, Cd, Co, Mn, en forma total y disponible en 45 muestras superficiales de suelo, 11 de agua utilizada en el riego y material vegetal, siguiendo el cauce del Río Los Gómez, Río León y Río Turbio, que llevan las aguas residuales de la Ciudad de León, hacia las partes bajas del Valle de León, en el Estado de Guanajuato; se realizaron dos perfiles de suelo, con la finalidad de evaluar el contenido de metales pesados en relación con la profundidad del suelo, asimismo se tomaron muestras de tres sitios con dos profundidades diferentes, para analizar las diferencias entre ambas profundidades, y compararlas con los dos perfiles de suelo. Las tres muestras de suelo con dos profundidades, uno de los perfiles es regado con agua residual y el otro con agua de pozo.

Las mayores concentraciones de metales pesados en las muestras superficiales se localizaron en las zonas cercanas a la Ciudad de León y las partes cercanas al Río León se presentaron condiciones normales en los niveles de concentración en todos los metales; excepto en algunos sitios con concentraciones de metales pesados por arriba de los niveles máximos permisibles, especialmente los sitios Vía tren Plan de Ayala - Nuevo León (28), Carretera antiguo aeropuerto(50) y en los sitios 62, 72, 84 (figura 3), cercanos a la Presa San Germán.

En los perfiles de suelo se detectó que los metales se mantienen en mayor concentración en la superficie del suelo, y disminuyen con el aumento de la profundidad, en el caso de Pb, Cd, y Cu se detecta un cierto grado de lixiviación hacia las partes más profundas de los perfiles.

Los metales pesados en forma disponible, tanto en las muestras superficiales como en los perfiles de suelo, presentaron concentraciones consideradas dentro de los niveles de tolerancia óptimos para uso agrícola.

Las concentraciones de metales pesados en las aguas de riego se encontraron dentro de los límites considerados como aceptables para el riego agrícola, de acuerdo con lo establecido por la Norma Oficial Mexicana de 1993, excepto las aguas provenientes de la Presa San Germán que presentó condiciones no adecuadas para ser utilizadas en el riego.

En el material vegetal analizado se detectó que todos los metales presentaron condiciones de tolerancia consideradas como no tóxicas, excepto en las plantas de Brócoli, en la que se presentaron concentraciones elevadas de algunos elementos, principalmente Pb, Ni, Cu y Co. Lo que indica que los elementos van a ser más móviles en ciertas especies de vegetales, por lo que su asimilación es mayor.

## I. INTRODUCCIÓN

El Municipio de León cuenta con una creciente actividad industrial y comercial, se considera uno de los más importantes del Estado de Guanajuato, junto con el acelerado crecimiento urbano, se asocia el permanente deterioro del medio ambiente. Uno de los problemas es la constante degradación de los ecosistemas, debido a una falta de planeación de los sistemas de riego con aguas residuales, así como la localización de sitios para desechos industriales y de rellenos sanitarios, además de que no se realiza un monitoreo periódico eficaz que auxilie en la localización de los focos de contaminación como mecanismos de prevención de alteraciones ambientales (SEDUE, 1984).

Los contaminantes que son producidos por el hombre, llegan a los sistemas naturales y afecta la integridad de la naturaleza misma e influye directamente en la salud humana. Esta influencia se vuelve más seria y compleja cuando la cantidad de los contaminantes que entran al ambiente sobrepasa las capacidades de descomposición, de dispersión o de incorporación en procesos cíclicos (Gutiérrez, 1990).

Uno de los principales medios de dispersión de agentes contaminantes en el suelo agrícola lo constituye el uso de aguas negras o residuales, pues si bien contienen grandes concentraciones de materia orgánica que es una fuente abundante de nutrimentos, también es un medio para transportar elementos y compuestos químicos que son tóxicos en pequeñas concentraciones como el Pb, Ni, Cd, Cr, etc., que se les conoce como metales pesados, algunos dañan a las plantas, cuando se encuentran en grandes concentraciones, afectan la salud de los animales y en consecuencia, la del hombre. Algunos elementos químicos se pueden considerar benéficos y esenciales para las plantas, ya que se encuentran dentro de los macro y micronutrientes, como es el caso del N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, B, y Co. Pero si la concentración de estos elementos es elevada, representan un peligro potencial, ya que sus efectos se convierten en tóxicos más que en benéficos (Albert, 1990).

Todos estos metales son fuertemente retenidos por el complejo de adsorción del suelo, constituido por las arcillas y el humus, de manera que no pueden ser fácilmente lixiviados.

La contaminación del suelo, a diferencia de la del aire y del agua, puede ser un proceso irreversible especialmente por metales pesados, la completa remoción de éstos es casi imposible, debido a su vida media, que a su vez, causa contaminación en el entorno e indirectamente facilita la introducción de elementos tóxicos en la cadena alimenticia (Gutiérrez, op. cit.).

Así, debido a la potencialidad de acumulación de los metales tanto en vegetales como en animales, los daños que causan de diferente índole depende, del tipo de metal, de la dosis que tenga el organismo y el período de exposición.

Esta acumulación, trae como consecuencia diferentes tipos de daños en el organismo, en algunos casos, estos van a ser irreversibles. Por lo tanto, algunas organizaciones internacionales han propuesto recomendaciones respecto a las dosis máximas permisibles de los diferentes contaminantes como los metales pesados.

Por ello se hace necesaria la realización de un análisis detallado de la problemática actual, los cambios y los efectos ocasionados en las diferentes áreas naturales y en las zonas de cultivo, en donde la explotación de los recursos va directamente relacionada con la calidad de vida humana.

El empleo de las aguas residuales como parte importante del riego de algunas zonas con la finalidad de hacerlas más productivas, va en estrecha relación con el incremento de las ganancias de los agricultores. En efecto, los suelos se han logrado convertir en algunos casos, a suelos más ricos a costa de acumular en ellos diferentes sustancias que pueden llegar a ser tóxicas, lo cual se puede evitar al aplicar un tratamiento al agua antes de ser destinada al riego de los cultivos.

## II. ANTECEDENTES

Para tener una idea de la magnitud de los problemas ambientales en relación a la posibilidad real de resolverlos, basta recordar que, conforme a datos aceptados por la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos (EPA) y de la Organización Mundial de la Salud (OMS) citados por Albert (1990), para 1980 las sustancias tóxicas de uso cotidiano sumaban 63,000 aproximadamente en el mundo, que se incrementan anualmente entre 1,000 y 2,000 sustancias. En muchos casos no se sabe cuál puede ser el grado de toxicidad, con lo que se hace más patente la necesidad de realizar estudios acerca de la producción de sustancias y su dispersión en el medio, así como sus efectos tóxicos (Albert, op. cit.)

En contraste, las sustancias bien estudiadas en cuanto a sus interacciones y efectos a corto y largo plazo no exceden las 2,000. Se debe mencionar, que las interacciones que pueden tener las diferentes sustancias son muchas y de diferente grado, lo cual ha detenido en parte el avance de las investigaciones en este sentido.

Cuando las formas de materia o energía son de tal clase que los seres vivos o el medio abiótico los puede asimilar, transformar o eliminar continuamente, se considera que existe una condición estable. Sin embargo, cada vez es mayor el número y la cantidad de sustancias que se incorporan en los sistemas, que en muchos casos no se pueden transformar y se acumulan, es entonces cuando se habla de contaminación.

Albert (op. cit.) indicó que los efectos adversos de las sustancias ocurren cuando éstas no pueden eliminarse fácilmente del sistema y exceden el nivel basal, o bien porque solo pasan sin cambios de un sistema a otro, lo que da por resultado acumulaciones excesivas en un punto final. Por otro lado las formas de materia que exceden las concentraciones naturales en un momento y sistema dados, y causan efectos adversos, se les considera como contaminantes tóxicos. Por lo tanto, todas las sustancias sintéticas son contaminantes tóxicos potenciales pues su concentración en los sistemas debe ser cero.

Mientras la concentración de sustancia no supere la capacidad del ambiente para transformarla, su efecto no sea adverso o permanezca restringido en el tiempo y el espacio, se puede considerar que hay una contaminación temporal o parcial que requiere atención, puede evitarse o eliminarse. Según Albert (op. cit.), las sustancias llegan a presentar efectos, los cuales se registran en tres etapas dentro de los procesos de contaminación:

- Efectos acumulativos
- Efectos de umbral
- Efectos de interacción

Los efectos acumulativos se observan cuando una sustancia causa un efecto adverso que es imperceptible por sí mismo y se elimina del sistema después. A menudo, la suma de estos pequeños efectos solo se observa cuando el daño es irreversible.

Los efectos de umbral ocurren por acumulación de la misma sustancia, se observan cuando se rebasa la concentración que es característica de cada sustancia y cada sistema; esta cantidad se conoce como umbral y está determinada por los límites permisibles de tolerancia por cada individuo; en ésta se basa el establecimiento de las reglamentaciones para considerar el grado de contaminación.

Los efectos de interacción se observan cuando dos o más sustancias interactúan entre sí, ya sea químicamente para dar una nueva sustancia o biológicamente, en conjunto causan daños que por sí solas no causarían.

Por sus tipos y origen, la contaminación se puede dividir en tres tipos:

- Contaminación biológica: causada por todos aquellos microorganismos que viven en un sustrato que no les pertenece; o bien sí le pertenece pero se encuentra en cantidades que exceden las normales. En general, la contaminación biológica se puede eliminar o controlar con relativa facilidad, en el agua, suelo, aire, o alimentos; muestra sus efectos adversos en cortos periodos de tiempo y puede causar altas tasas de mortalidad.
- Contaminación física: Se puede registrar cuando en un sustrato determinado las formas de energía exceden los niveles basales, por ejemplo la contaminación térmica, la contaminación por ruido, y la contaminación radiactiva. Por sus características, sus efectos se ven reflejados en un largo plazo, en el cual pueden pasar años antes de que se noten problemas ocasionados por este tipo de contaminación.
- Contaminación química: En la actualidad es común, así como la que más daño causa, ya que en algunos casos sus efectos se observan desde el principio; o bien, pueden ser demasiado lentos los procesos de acumulación que, al ser imperceptibles pueden llegar a ser irreversibles los daños causados. En este tipo de contaminación se encuentra la originada por fertilizantes, insecticidas, y procesos industriales, entre los que destaca la industria del curtido de pieles, que es muy importante en el Estado de Guanajuato.

En nuestra época se ha deseado encontrar una respuesta a todas aquellas demandas de recuperación de las regiones que se encuentran en procesos degradativos, derivados por la contaminación, especialmente la ocasionada por los metales pesados. En Bélgica, Bervoets (1996) y colaboradores analizaron el impacto que generó la región industrial de Flandes, en donde analizaron las concentraciones de Cd, Pb, y Zn en las regiones cercanas a un río que recibía las cargas de los desechos industriales de la Ciudad. Ellos siguieron el cauce del río en varios kilómetros, incluyendo a los ríos tributarios, encontraron que el grado de toxicidad era importante y éste varía según la época del año y el lugar en el que se realiza el muestreo, ya que la incorporación de los ríos tributarios disminuía la concentración de los metales en el agua. El grado de toxicidad lo midieron mediante bioensayos con *Daphnia sp.*

Con respecto al grado de asociación que guardan algunos elementos, Essington y Mattigod (1991) analizaron la presencia de metales pesados en sedimentos y lodos residuales en plantas de tratamiento, al buscar alguna asociación entre el Cr, Fe, Ni, Zn, Pb, Co. Los autores señalan que todos estos metales son aportados por las actividades industriales, pero que en el caso del Cr, Zn, Cu, Co, y Ni son incorporados al sedimento y lodo a partir de la precipitación de estos elementos al combinarse con sulfitos en el momento de la digestión anaeróbica. Las asociaciones que encontraron en este trabajo son Cr - Fe, Cr - Ni - Fe, Cr - Zn - Fe, Pb - Cr, Co - Cr, las cuales se presentaron durante la formación de lodos residuales, y van ligadas con el tipo de minerales que está formando el suelo, o bien, pueden incrementar su proporción en los precipitados de los procesos de tratamiento de las aguas residuales.

En China, Qian Jin y su equipo en 1996 analizaron diferentes tipos de metales depositados en 10 distintas áreas rurales cercanas a la Ciudad de Pekín. Analizaron Ni, Cu, Co, y Pb, y mediante métodos estadísticos determinaron la relación que existe entre la concentración de metales y la asimilación por los vegetales cultivados, los cultivos utilizados fueron trigo (*Triticum aestivum L.*) y alfalfa (*Medicago sativa L.*). Los autores observaron una relación entre la asimilación del Co y las diferentes estructuras de la planta de alfalfa; en cuanto al Cu y al Pb, en este estudio no resultaron tan significativos.

En la Universidad de California, Valdares y su equipo (1983), analizaron la influencia de los lodos residuales en la acumulación de metales en el suelo y la incorporación de éstos por los vegetales, observaron que las tasas de asimilación de los metales varían de acuerdo a la concentración de sales del suelo, con una diferencia importante ya que éstos se pueden asociar con las sales naturales del suelo y ser más fácilmente asimiladas por los vegetales; por ejemplo, en los suelos ácidos fueron más móviles el Ni y el Zn, en cambio el Cd y el Cu fueron asimilados en menor proporción.

Tack y sus colaboradores (1996), analizaron la influencia del pH del suelo, como determinante en la acumulación y distribución de los metales pesados; analizaron al Cd, Cu, Zn, Co, y Fe; y concluyeron que el pH influyó en el incremento de la solubilidad de los diferentes elementos conforme se van oxidando.

Adamo y su equipo de trabajo (1995), en Canadá, trataron de mostrar las formas del Ni y Cu que pueden encontrarse en el suelo, observaron que el Cu presentó asociación con la materia orgánica y está homogéneamente distribuido en la fracción arcillosa y además, el Cu es más móvil que el Ni, éste último generalmente estaba en asociación con óxidos de Fe. También notaron que las tasas de concentración de los metales fueron muy variables en el suelo, y que esto tenía relación con la forma en la que estaban los metales y por las características físico-químicas de los suelos.

En un trabajo realizado por Cifuentes y su equipo 1996, analizaron las fuentes principales que aportan cromo en el suelo, entre las que mencionaron la incorporación de lodos residuales y las descargas de aguas negras procedentes de la industria del curtido. Compararon la velocidad de absorción de cromo (III) y cromo (VI) para conocer el potencial de tolerancia de los organismos y su capacidad de absorber Cr (III y VI), o reducir cromo (VI) a cromo (III), los autores encontraron que el cromo trivalente es más estable que el cromo hexavalente; por otro lado, deseaban encontrar cuál era el efecto en la fracción orgánica del suelo al aplicar microorganismos reductores de cromo. A las conclusiones que llegaron es que la asimilación de los metales depende del suelo, en el caso de *Aspergillus niger*, el pH del suelo influyó en la asimilación del cromo. Al analizar a *Pseudomona maltophilia* se encontró poco beneficio. Los mejores resultados los obtuvieron al aplicar pasto bermuda en el suelo, el cual además de ser tolerante a concentraciones elevadas de cromo, removió este metal incorporado al suelo.

Velázquez en 1978 señaló que concentraciones bajas de cromo hexavalente pueden ser benéficas para el crecimiento de algunas plantas, al aumentar a concentraciones consideradas como tóxicas impiden el crecimiento de algunas algas; en el caso de las plantas de maíz, este metal pudo causar daños variables, incluso en algunos casos llegó a producir la muerte.

En México, Armienta y sus colaboradores realizaron un estudio en la región de León, Guanajuato (1996) en donde analizaron la influencia de una fábrica de cromatos, la cual se ha considerado como la más contaminante de la región, pues ésta depositaba la mayor cantidad de cromo hexavalente en una presa de agua residual, pero también recibía los residuos de los procesos de curtido de pieles y captaba aguas residuales domésticas e industriales. Los autores indicaron que en los sitios más contaminados el cromo se encontraba asociado a óxidos de fierro y de manganeso. En las regiones menos contaminadas de la región, el cromo se encontraba asociado con sulfuros y a la fracción orgánica. El cromo III es retenido en la parte superficial del suelo.

La industria de la curtiduría es una de las más antiguas que se conocen, cuyo origen se remonta a la época prehistórica, cuando el hombre empezaba a usar las pieles de los animales para protegerse de las inclemencias del tiempo, ya fuera en la elaboración de vestimentas, o bien como protección para sus refugios. A partir del desarrollo industrial, se van conociendo nuevas técnicas para la fabricación de pieles (Broitman 1972).

En nuestro País la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (1985) ha desarrollado una serie de estudios tendientes a revisar la incidencia de la industria del curtido en el agua, suelo y aire en nuestro país, entre los resultados obtenidos se incluyen diferentes efectos o productos residuales de cada una de las etapas del proceso.



La realización de las prácticas de curtiduría en algunas regiones de nuestro país han mejorado las condiciones socioeconómicas de dichos lugares. Los procesos de curtiduría incluyen la utilización de diferentes tipos de sales, principalmente, de sodio y de cromo, lo cual trae como consecuencia, la salinización de los suelos y la acumulación de metales pesados, principalmente, de cromo. En términos generales, el curtido de pieles se divide en tres partes principales: depilado, curtido y acabado (SEDUE 1989).

Durante el depilado se obtiene la remoción del pelo de la piel, por medio de baños químicos que utilizan los siguientes compuestos: sulfato de sodio, cal, hidróxido de sodio, cloruro de sodio, ácido muriático, sulfato de amonio, detergentes y ácido sulfúrico, principalmente. Se consume un volumen de agua medio, comparado con el que se utiliza durante el curtido. Asimismo, esta etapa puede llevarse a cabo por dos métodos: 1) método de la pulpa, que es la dilución del pelo mediante baños químicos, y 2) método del estanque, que es la remoción física del pelo auxiliada con químicos, sin llegar a la disolución completa. Las pieles una vez depiladas pasan a la segunda etapa.

El curtido busca la estabilización permanente de la piel, por medio de agentes curtientes para preservarlas y conferirles características de resistencia y durabilidad. Existen dos variantes del proceso: curtido con sales de cromo y curtido con agentes vegetales (taninos). El curtido con sales de cromo tiene los siguientes pasos: a) remojo, b) depilado, c) desencalado, d) dividido, e) curtido, f) lavado ácido, g) lavado y rendido, h) descarnado, i) recurtido, j) cortado, k) desmanchado, l) coloreado, m) aceitado, n) secado, o) almacenado.

Una vez recibidas las pieles y clasificadas según sus características, se ablandan y se les remueven impurezas, tales como sangre, tierra, grasas, sal de curado y materia orgánica, que afectan la calidad del curtido. Una vez flexibles, las pieles son depiladas y transportadas a la sección de desencalado, donde las pieles son neutralizadas empleando sales de amonio, para posteriormente ser cortadas de acuerdo a las especificaciones de los usos a los que será destinado. Después las pieles son descarnadas para remoción del tejido adiposo y restos de músculo; se lavan y rinden por medio de sales de amonio y enzimas, reduciendo el pH y eliminando las proteínas, con el fin de suavizar las pieles. Estas son desencaladas, preservadas y prevenidas contra la precipitación de las sales de cromo mediante el lavado ácido, después del cual se realiza el curtido con sales de cromo empleando detergentes industriales, sal industrial, ácido sulfúrico, aceite para curtir, cromo trivalente, formato de sodio y bicarbonato de sodio.

Las pieles así procesadas son curtidas con aceites vegetales para incrementar la calidad del curtido de cromo; son cortadas de acuerdo a sus finalidades de uso y desmanchadas para quitar los excesos de productos químicos empleados durante el curtido, para después colorearlas por medio de tintes básicos, ácidos o directos. Finalmente, las pieles son aceitadas con el objeto de aumentar su flexibilidad, suavidad y resistencia, adicionando aceites minerales, vegetales y/o animales, según sea el caso.

Las pieles ya procesadas son secadas, con o sin pasta, y se almacenan y clasifican de acuerdo a estándares de calidad y usos.

La etapa de mayor demanda de agua es el curtido, seguida por el depilado y coloreado, ésta también es la etapa de mayor cantidad de producción de agentes contaminantes.

### III. OBJETIVOS

#### GENERAL:

Evaluar la contaminación de suelos y cultivos agrícolas del Valle de León en el Estado de Guanajuato, regados con aguas negras.

#### PARTICULARES :

1. Determinar los niveles de concentración de metales pesados en agua, suelo y plantas y analizar si están dentro de los límites permisibles de tolerancia.
2. Definir algunas características físico - químicas importantes de los suelos de la región del Valle de León, Guanajuato.
3. Identificar las regiones más afectadas por la acumulación de metales dentro de la zona de estudio
4. Cuantificar la distribución de algunos metales pesados, en muestras superficiales y perfiles de suelo en forma total y disponible.
5. Determinar la calidad del agua de riego y sus efectos en la contaminación edáfica.
6. Cuantificar los metales pesados asimilables en los cultivos de la región.

#### IV. CARACTERIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

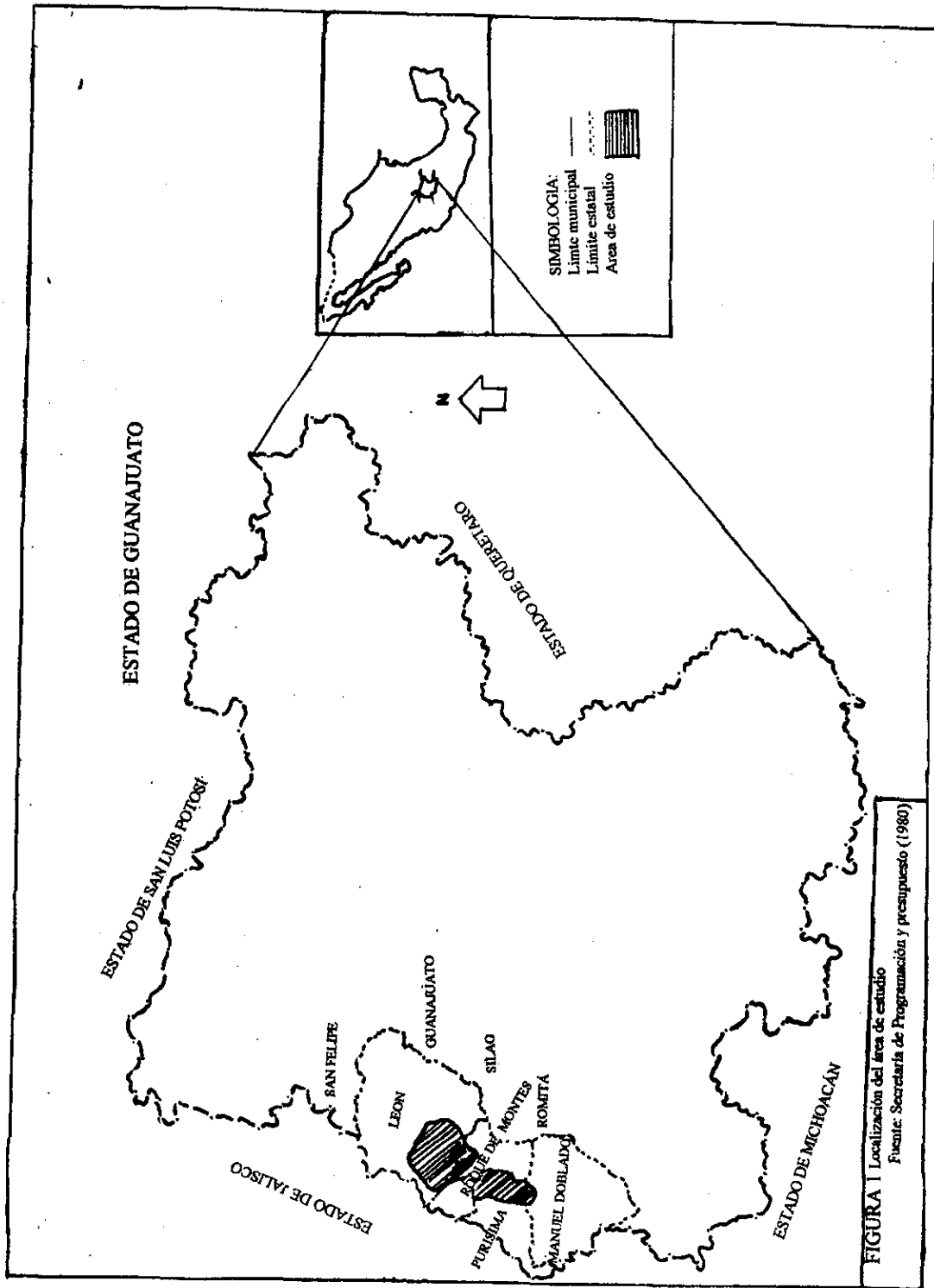
##### A. LOCALIZACIÓN

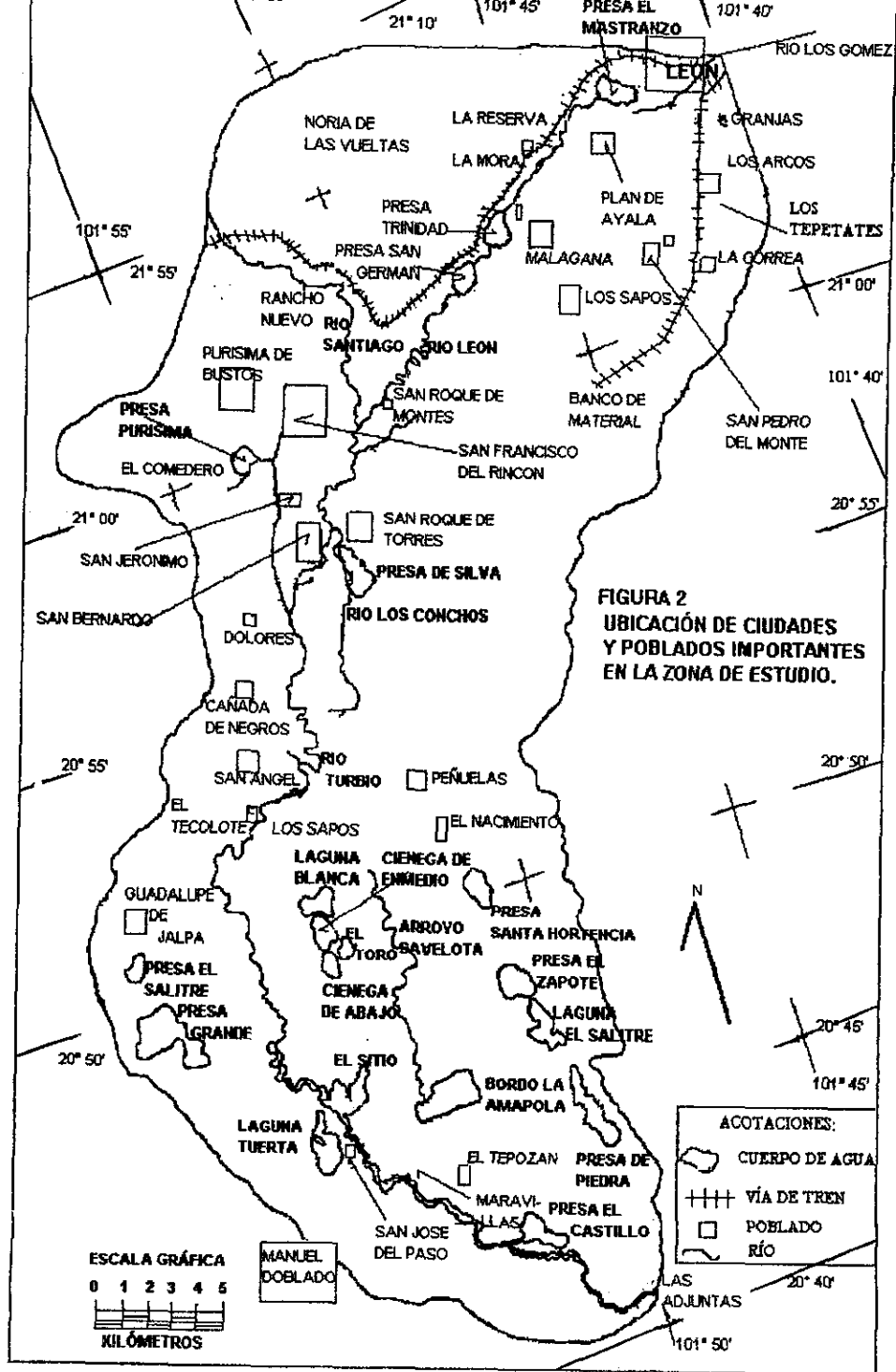
El área de estudio se encuentra ubicada en el centro de la República Mexicana (Figura 1), ocupando la porción noroccidental del Estado de Guanajuato, tiene como límites geográficos aproximados los paralelos  $20^{\circ} 40'$  y  $21^{\circ} 10'$  de latitud norte y los meridianos  $101^{\circ} 40'$  y  $101^{\circ} 55'$  de longitud oeste (Figura 2).

La extensión superficial de la zona de estudio, se encuentra representada cartográficamente en forma parcial por tres cartas editadas por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (I. N. E. G. I.), las cuales corresponden a las hojas: León (F14 -C41), San Roque de Torres (F14 - C51), y Manuel Doblado (F14 - C61), en escala 1:50,000 (figura 2).

Políticamente, la mayor parte de la zona corresponde a los municipios de León y San Roque de Torres (figura 1).

Los límites naturales que colindan con el área de estudio son: al noroeste el flanco sudoeste de la Sierra de Guanajuato, al sureste Valle de Silao, al noreste la Ciudad de León, al sudoeste el Valle del Río Turbio; abarcan una parte del cauce del Río Turbio (figura 1).





## B. CLIMA

Con base en los datos obtenidos de la carta estatal de climas escala 1:500 000 de la Síntesis Geográfica de Guanajuato, editada por INEGI según Fernández (Op. cit.), la región del Valle de León está caracterizada por tres tipos de clima:

a ) Clima semiseco semiárido o seco estepario semiárido, Bshw(w). Este tipo de clima se caracteriza porque la evaporación excede a la precipitación. La precipitación media anual oscila entre 600 y 700 mm, la máxima incidencia es en agosto de 150 a 160 mm, y su incidencia mínima en mayo con 10 mm.

La temperatura media anual es de 19° C con un registro máximo de 24° C en el mes de mayo y 15° C en los meses de diciembre y enero.

b) Clima semiárido subhúmedo (A) C (w0) (w). Es el clima semicálido menos húmedo que se presenta en el Estado de Guanajuato. El régimen de precipitación media anual es de 700 a 800 mm, en agosto con máxima precipitación (160 a 170 mm) en febrero con menor incidencia pluvial (menos de 5 mm).

La temperatura media anual es de 19° C, se registra la mayor temperatura (24° C) en mayo, y la más baja (15° C) en enero.

c) Clima templado subhúmedo, C (w0), se ubica topográficamente en las zonas más altas de la zona de estudio, o sea el flanco suroccidental de la Sierra de Guanajuato.

La precipitación media anual fluctúa entre 700 y 800 mm, con mayor precipitación en agosto (170 - 180 mm), y la menor precipitación se registra en febrero (menos de 5 mm).

La temperatura media anual es de 17° C, con una máxima (22°C) en mayo, y una mínima (13° C) en enero.

## C FLORA Y FAUNA

El tipo de vegetación y su distribución en el área dependerá del clima, de la topografía local y del suelo que se desarrolle en la región, hay que aclarar que la flora silvestre en esta región es escasa, debido a que la mayoría de sus suelos se encuentran destinados al cultivo (Izaguirre 1979). Aún así, en algunas regiones se encuentran mezquital, matorral subtropical, bosque de encino, selva baja perenifolia, pastizal halófilo y huizache (Rzedowski, 1994).

Esta región es importante desde el punto de vista agrícola, considerándose por mucho tiempo como el granero de la República por las condiciones climáticas propicias para el desarrollo de praderas cultivadas y pastizales. Predomina la agricultura de riego (principalmente en zonas cercanas a presas y lagunas) y los cultivos de temporal. La agricultura de riego se practica en los alrededores del Municipio de León, así como en algunas regiones cercanas a San Francisco del Rincón, también en regiones cercanas a esta localidad se desarrolla la agricultura de temporal (Izaguirre, op. cit.).

Los principales cultivos del Bajío Guanajuatense son: ajo, alfalfa, avena, brócoli, calabacitas, cebada, cebolla, col, chile, espárragos, frijol, haba, garbanzo, girasol, jitomate, lenteja, lechuga, linaza, papa, sorgo, soya, trigo, y zanahoria.

La fauna silvestre es escasa, se registran las siguientes especies, según el Ecoplan de desarrollo editado por La Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP, 1980):

Mamíferos del orden de los Marsupiales, la familia Didelphidae (Tiacuache *Didelphis marsupialis*); del orden Chiroptera, la familia Desmodidae (murciélago orejudo *Desmodus rotundus*); del orden Edentata, la familia Dasypodidae (Armadillo *Dasypus novemcinctus*); del orden Rodentia, la familia Sciuridae (Ardilla *Sciurus aurugaster*), la familia Crisetidae (Ratón orejudo *Reithrodontomys megalotus*, Ratón de campo *Peromyscus maniculatus*, Ratón de campo *Sigmodon leucatis*, Ratón dorado *Reithrodontomys chrysopsis*); del orden Logomorpha la familia Leporidae (Liebre *Lepus californicus*, conejo *Sylvilagus floridanus*, conejo de audubon *S. audubonii*); del orden Carnívora, la familia Canidae (Coyote *Canis latrans*), la familia Procyonidae (mapache *Procyon lotor*, Zorra gris *P. sineargentatus*, cacomixtle *Bassariscus astutus*), la familia Mustelidae (Tejón *Taxida taxus*, comadreja *Mustela tremata*, Zorro listado *Spilogale augustfros*, zorrillo manchado *Conepatus mesoleucus*).

Aves: Tórtola, Perico atolero, Checla, Urraca, Cenzontle, Cuitlacoche, Jilguerillo, Clarín, Calandria, Ganzo, Pato, Cerceta, Gorrión, Azulejo, Halcón, Cernícalo, Gavilán, Zopilote, Buo, Tecolote, Carpintero, Cuervo, Alondra, Tordo, etc.

Reptiles: Del orden Squamata, Suborden Ofidea, la familia Crotalidae (cascabel *Crotalus sp*), la familia Elapidae (Coralillo *Micrurus sp*), la familia Colubridae (Culebra de agua *Thamnolophis sp*); del suborden Lacertilia, la familia Iguanidae (lagartija *Sceloporus sp*, Llorca sangre *Phrinisoma sp*), la familia Scincidae (camaleón *Eumeces sp*); del orden Chelonia, se encuentran representantes del suborden Cryptodira, representados por las familias Testudinidae (*Gopherus sp*) y Kinosternum (Casquito *Kinosternum sp*).

Anfibios: del orden Caudata, la familia Salamandridae (*Pseudoeunicea sp*); del orden Salientia, la familia Ranidae (Rana *Rana sp*), la familia Bufonidae (Sapo *Bufo sp*), la familia Hylidae (*Hyla sp*).



## D. FISIOGRAFIA

El Estado de Guanajuato presenta gran diversidad de sistemas de topoformas, sierras, valles, lomeríos, mesetas y llanuras, formadas por rocas de origen ígneo, metamórfico y sedimentario, lo que además, crea un paisaje accidentado que consecuentemente, hace del Estado un complejo mosaico de clima, suelos y vegetación local.

En el Estado de Guanajuato se localizan parcialmente tres provincias fisiográficas en el nororiente, la Sierra Madre Oriental, al norte, la Mesa del Centro y, aproximadamente, desde la zona media del Estado, ocupa toda la parte sur, el Eje Neovolcánico.

La provincia del Eje Neovolcánico conforma una masa de rocas volcánicas acumuladas en innumerables y sucesivos episodios volcánicos que se iniciaron a mediados del Terciario, continuando hasta el Reciente. Estas rocas están expuestas como grandes sierras volcánicas, coladas lávicas, depósitos de arena y cenizas dispersas en extensas llanuras.

En esta zona el eje Neovolcánico se divide en dos subprovincias. La primera: Los Altos de Jalisco, ocupa la porción noroccidental del área de estudio, con sistemas de topoformas de Mesetas lávicas. La segunda subprovincia: Bajío Guanajuatense, localizada en el sur, ocupa gran parte del Valle, sus sistemas de topoformas más importantes son: llanuras de aluviones profundos y lomeríos asociados a mesetas.

En la provincia Mesa del Centro, se puede apreciar la discontinuidad fisiográfica Valles paralelos del sudoeste de la Sierra de Guanajuato, la que se caracteriza por la forma vertical convexa de sus valles; esta discontinuidad la representa el sistema de topoformas Sierra con Valles paralelos, los cuales están separados entre sí por áreas planas en sus partes altas.

Las máximas altitudes que alcanzan algunos sistemas de topoformas mencionados, es aproximadamente de 2800 metros sobre el nivel del mar (msnm), pero generalmente la altimetría predominante en el valle es de 1800 msnm (Fernández, op. cit.).

## E. HIDROGRAFÍA

En el Valle de León se establecen parcialmente las subcuencas hidrológicas Río Turbio - Presa Palote y Río Guanajuato- Silao, que pertenecen a la cuenca hidrológica Río Lerma - Chapala - Santiago, de la región hidrológica No. 12 Lerma - Chapala - Santiago, la que abarca gran parte del Estado de Guanajuato, al sur del parteaguas continental y drenando sus aguas al Océano Pacífico (Fernández, op. cit.).

El principal río que drena el área de estudio es el Río León o Río Los Gómez; nace de las corrientes de lluvia desde los cerros al norte de la Ciudad de León, dirige su curso en un sentido NE - SW después, tanto en las cercanías como dentro de la Ciudad, este río recibe como afluente a varios arroyos:

Ibarrilla, Los Castillos, Mariches, Hacienda de Arriba y otros de menor importancia; en la Ciudad de San Francisco del Rincón se intercepta con el Río Santiago, al cual se integran varios arroyos procedentes de Purísima de Bustos y San Francisco del Rincón, que también reciben afluentes que intermitentemente bajan de la sierra. Existen numerosas escorrentías (arroyos San Juan de Otates, La Noria, La Joya, Los Sauces, La Tinaja, Grande, El Salto, por citar algunos) que descienden de la Sierra de Guanajuato hasta llegar a las partes bajas del valle, donde se integran al sistema acuífero o son interceptados por el hombre para la construcción de canales de riego; cabe mencionar, que el Río León se ha convertido en un colector público de aguas residuales de la Ciudad de León (Izaguirre, op. cit.).

Al continuar su cauce, al Río de Los Gómez se le unen los arroyos Jalpa y Saúz de Armenta, y es aquí donde adquiere el nombre de Río Turbio, más adelante se interna en el Municipio de Manuel Doblado, sirve de límite natural entre varios municipios y recibe aportes de varios arroyos; el Río Turbio termina por desembocar en el Río Lerma, este último se nutre con otros arroyos y desemboca en el Lago de Chapala, en el Estado de Jalisco sigue su cauce para formar el Río Santiago o Grande, el cual desemboca en el Océano Pacífico en Nayarit (Secretaría de Programación y Presupuesto, 1980).

Existen algunos manantiales de flujo local que descargan sus aguas cerca de los contactos litológicos del flanco suroccidental de la Sierra de Guanajuato y otros más, en el norte del poblado de San Francisco del Rincón (Fernández, op. cit.).

Existen numerosos vasos de almacenamiento y bordos con fines de uso agrícola que se encuentran distribuidos en toda el área, destacando las presas El Palote, Ciudad Aurora, La Primavera, La Gloria, El Barrial, San José, San Antonio, San Germán, Trinidad, y Mastranzo, la primera es la de mayor volumen y extensión, y la última, la principal colectora de los desechos industriales.

De las aguas residuales que son colectadas por los vasos de almacenamiento, parte de ellas son llevadas mediante canales de riego al campo agrícola, utilizándolas en la irrigación de hortalizas (Fernández op. cit.).

## F. SUELO

Por su origen, los suelos de la zona de estudio son de dos tipos: los derivados de aluviones, y los que se desarrollaron a partir de la roca o material que los sustenta.

Los suelos predominantes son los Vertisoles pélicos asociados a Pheozems háplicos; también se registran Planosoles mólicos asociados con Pheozem háplico y Vertisoles pélicos con fase pedregosa y dúrica (Fernández op. cit.).

El comportamiento físico de un suelo influye en el crecimiento y desarrollo de la planta ya que, de esto depende el que penetren las raíces, el drenaje, la aireación, la retención de humedad y los nutrimentos disponibles, necesarios para los vegetales.

También, son importantes las propiedades físicas, ya que éstas van a tener influencia sobre el comportamiento químico y biológico del suelo. Las propiedades físicas del suelo dependen de la cantidad, forma, disposición, tamaño y composición mineral de sus partículas; de la clase y cantidad de materia orgánica (Mortvedt, 1983).

Las características físico - químicas de los suelos de la zona de estudio corresponden al orden Vertisol, con textura arcillosa; son suelos profundos de colores oscuros. Presentan grietas cuando es época de secas. Se han formado por hidrólisis progresiva de la roca subyacente. Otros Vertisoles se han formado en sedimentos de textura fina que contienen cantidades importantes de arcilla. El proceso principal que se efectúa en estos suelos es la mezcla constante de los horizontes superiores. Cuando el suelo se seca y agrieta, parte del horizonte superficial cae en las grietas; en consecuencia, cuando el suelo se moja y expande, se desarrollan grandes presiones que son liberadas por el movimiento de los materiales hacia arriba. La repetición anual de este ciclo conduce a la mezcla del suelo hasta la profundidad de las grietas, resultando de allí, la unidad pedológica relativamente profunda y uniforme (Tahane et al., 1986; Buckman y Brady, 1991; Izaguirre, op. cit.).

Dos de los requerimientos importantes para la formación de esos suelos son, la presencia de un período de saturación con agua y, una estación seca bien definida. El período de saturación completa produce anaerobiosis y condiciones reductoras. La estación seca favorece que muchos de los cationes básicos permanezcan en el suelo, producen con ello condiciones favorables para la formación de montmorillonita. Debido a la escasa cantidad de materia orgánica, es difícil determinar el origen del color oscuro de los suelos. Algunos autores han sugerido que puede deberse a un complejo de materia orgánica y montmorillonita de color oscuro que se forma cuando esos suelos se inundan en el período húmedo del año (Mortvedt, op. cit.).

Muchos de los Vertisoles se han desarrollado en depósitos superficiales de textura fina o muy fina, los cuales de ordinario son depósitos aluviales o lacustres, aún cuando muchas veces no se tenga certeza de cuál ha sido, ya que algunos son el resultado de erosión y acumulación de material en una depresión de un sitio plano. Otros se han desarrollado por intemperismo progresivo de la roca subyacente, que puede ser basalto, caliza, o ceniza volcánica. Su desarrollo es estimulado por un contenido de feldespatos plagioclásicos, minerales ferromagnésicos y carbonatos.

En cierto número de casos, la presencia de Vertisoles está determinada por la ocurrencia de un tipo específico de material materno; de ordinario, a medida que el clima se vuelve más húmedo, tienden a volverse más confinados al material materno básico o de carbonatos, siendo la razón por la cual ambos materiales producen grandes cantidades de cationes que mantienen condiciones favorables para la formación de montmorillonita (Mortvedt, op. cit.).

El elevado contenido de arcillas puede limitar la utilización de los suelos Vérticos, debido a que el rango de humedad para su cultivo es estrecho. Si se intenta el cultivo cuando no están en su nivel óptimo de humedad, bien se encharcan si están muy mojados, o resultan difíciles de manejar si están muy secos. En términos generales, los suelos Vérticos son deficientes en los macro y micronutrientes de las plantas. El contenido de fósforo, nitrógeno y potasio es bajo, por lo cual, el rendimiento de estos suelos en la práctica resulta ser bajo, haciendo necesaria la incorporación de fertilizantes en el suelo. El nivel de utilización de los Vertisoles es bastante primitivo, generalmente, con agricultura de subsistencia, empleando herramientas de mano, en algunas partes del mundo, se llegan a emplear técnicas modernas de agricultura en las que se utiliza maquinaria, adición de fertilizantes y riego; muchas de estas regiones se destinan al pastoreo (FitzPatrick, 1993).

## G. GEOLOGÍA

Los estudios geológicos de Guanajuato se han realizado inicialmente, con fines minero - metalúrgicos, lo cual ha generado una información geológica muy local de algunos centros mineros importantes.

La Sierra de Guanajuato y sus alrededores, conforman un conjunto de rocas de diversa litología y edad, agrupadas en dos unidades litoestratigráficas importantes bien diferenciadas y separadas por un intrusivo granítico Terciario. La unidad litoestratigráfica inferior corresponde al Mesozoico, está representado por rocas cristalinas, volcánicas y sedimentarias marinas, con un intenso proceso de deformación de carácter compresivo y un incipiente metamorfismo regional. La unidad litoestratigráfica superior, asignada al Cenozoico, la constituyen: una secuencia sedimentaria clástica continental, una unidad volcanoclástica de composición ácida a intermedia, un evento de basaltos pliocuaternarios y finalmente, depósitos de aluvión.

Estratigráficamente entre las rocas Mesozoicas y Cenozoicas, se halla un intrusivo del Paleoceno de composición ácida, emplazado con la misma orientación preferencial que la Sierra de Guanajuato.

De los rasgos estructurales que se manifiestan en esta zona, se pueden distinguir dos estilos de deformación, uno Mesozoico, determinado por esfuerzos tectónicos compresivos, y otro Cenozoico, con eventos tectónicos de distensión, causantes estos últimos, de los diversos pilares y fosas tectónicas que caracterizan a la región del Bajío (Fernández, op. cit.).

CUADRO 1.- Sitios que forman la zona de estudio, ver localización de sitios en la figura 3.

SITIO	LOCALIDAD	CULTIVO
28	A 1 Km. VÍA TREN PLAN DE AYALA NVO. LEON - CARRETERA ANTIGUO	
37B	NORIA DE LAS VUeltas	
48	NORESTE DE LA RESERVA	
49	LEON ( ANTENA - RADIO CERCA ANTIGUO ACUEDUCTO)	MAÍZ
50	CARRETERA ANTIGUO AEROPUERTO LEON - AGUASCALIENTES	MAÍZ
53	LA MORA	
54	ANTENA DE RADIO A 1 Km. DE LA CARRETERA PRINCIPAL	AVENA
56	SANTA ROSA ( SURESTE DE PLAN DE AYALA)	PAPA
57	1.5 Km. DE PLAN DE AYALA	MAÍZ
58	SAN JOSÉ DE LA PRESA	
59	ORIENTE DE GRANJAS ( LOS ARCOS)	QUELITE
60 A	PURISIMA DE BUSTOS	
62	SUR PRESA LA TRINIDAD	
63	RANCHO SANTA ROSITA M ( OESTE DE LOS ARCOS)	
64	ESTE DE LOS ARCOS	PAPA
65	PUENTE RUMBO A LEON	PAPA
67	SUR DE LOS TEPETATES	ALFALFA
68	SURESTE DE MALAGANA	
69	NORTE DEL PUENTE	
70	SUR DE LOS ARCOS (LADO DERECHO)	PAPA
72	SUR PRESA SAN GERMAN	GIRASOL
73	SAN PEDRO DEL MONTE	ALFALFA
78	EL COMEDERO	BROCOLI
81	CRUCE CARRETERA - TREN ( RÍO LEON)	
83	SUR DE LOS SAPOS	TRIGO
84	SAN ROQUE DE MONTES	
85	SUR DE LA CORREA	TRIGO
88	SURESTE DE LOS SAPOS	
89	SURESTE DE SAN. FRANCISCO DEL RINCÓN (RÍO SANTIAGO)	TRIGO
90	SURESTE DE SAN FRANCISCO DEL RINCÓN (RÍO LEON)	TRIGO
90''	SURESTE DE SAN FRANCISCO DEL RINCÓN (RÍO LEON)	
98	ESTE DE SAN BERNARDO	
108	NORESTE DE CAÑADA DE NEGROS	
109	OESTE DE CAÑADA DE NEGROS	
110	ENTRE SAN BERNARDO Y SAN ÁNGEL	
118	ESTE DE LOS ARCOS	
121	SURESTE DEL TECOLOTE	
126	SURESTE DE GUADALUPE DE JALPA	
132	OESTE DEL TORO	
145	SURESTE DE SAN JOSÉ DEL PASO (PUENTE RÍO TURBIO )	
150	RÍO TURBIO (LAS MARAVILLAS)	
150	RÍO TURBIO ( LAS ADJUNTAS)	
210	ESTE DE DOLORES	
214	ESTE DE SAN ÁNGEL	
	***** PERFILES *****	
4	CERCA DE INDUSTRIA DE CROMATOS	
21	SAN ROQUE DE MONTES	
	***** MUESTRAS CON DOS PROFUNDIDADES *****	
62	SUR PRESA LA TRINIDAD	
72	SUR PRESA SAN GERMAN	
84	SAN ROQUE DE MONTES	BROCOLI
		TRIGO

#### IV. MATERIALES Y METODOLOGÍA

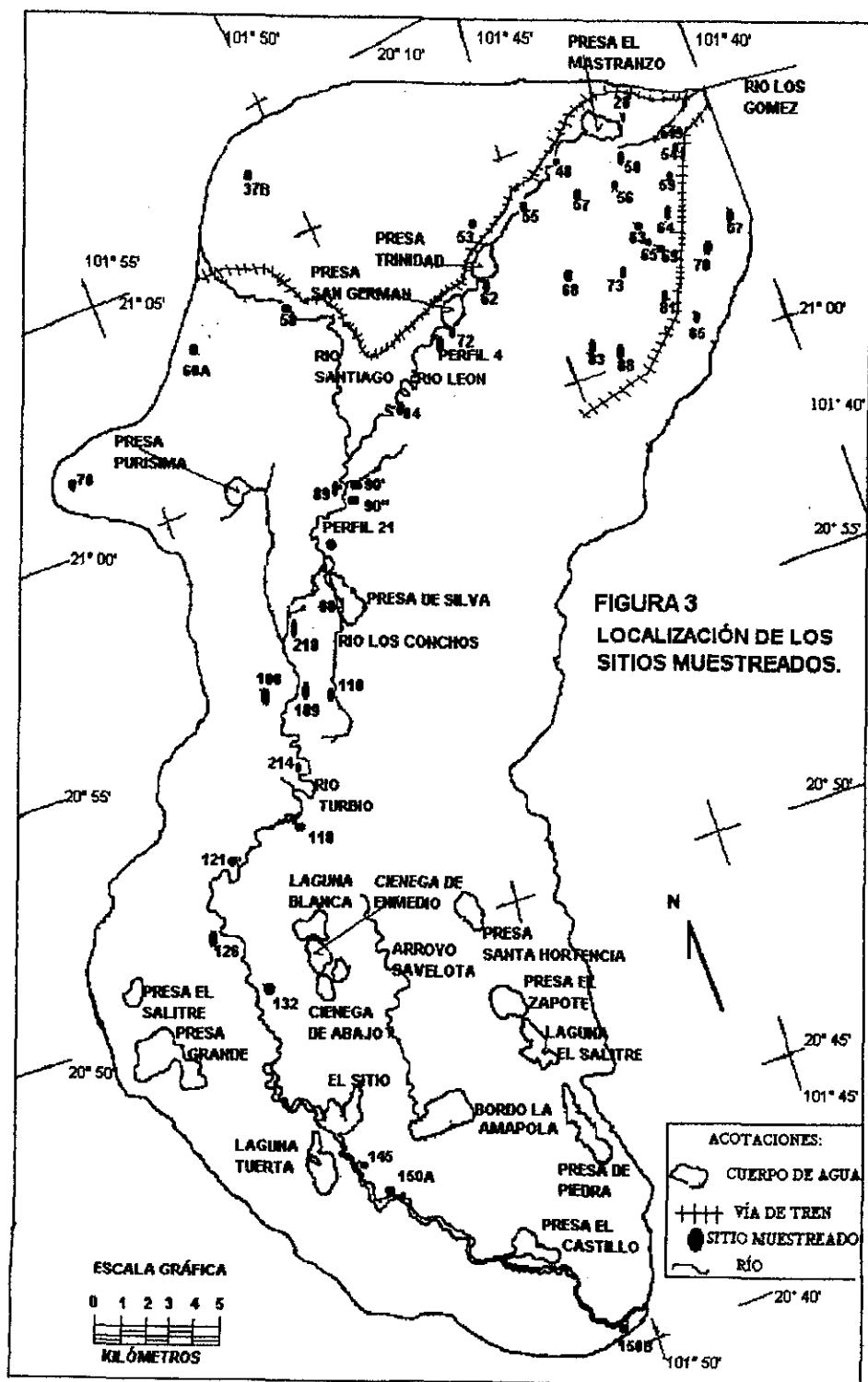
##### A. MUESTREO

Las muestras de suelo, agua y planta, fueron colectadas en una zona donde se practica el riego con aguas residuales, se consideró la zona de influencia de la subcuenca del Río León (Los Gómez), a través del Valle de León; así como su posterior intersección con el Río Turbio, hasta las partes bajas del Valle de León (figura 2). Para determinar las propiedades físicas y químicas de los suelos y la distribución horizontal de los metales, se tomaron aleatoriamente muestras de suelo de 45 sitios diferentes (cuadro No. 1 y figura No. 3); de cada sitio se colectaron 3 submuestras de la capa superficial (0 - 30 cm) para formar una muestra compuesta representativa. Las muestras fueron secadas al aire, tamizadas a través de una malla de 2 mm y almacenadas para su posterior análisis.

Para evaluar la concentración de metales pesados en relación con la profundidad del suelo, se realizaron 2 perfiles de suelo: uno regado con agua residual y otro regado con agua de pozo; el primer perfil se realizó en el sitio número 4 ubicado en San Roque de Montes, Municipio de San Francisco del Rincón. El segundo perfil marcado con el número 21, se encuentra localizado dentro del Rancho Casas Blancas, también ubicado en el mismo Municipio (figura 3). Las muestras fueron tomadas cada 10 cm. hasta una profundidad de 50 cm y, a partir de esta profundidad se tomaron muestras cada 20 cm hasta los 130 cm para el perfil 4; y 170 cm para el segundo perfil (21). En el sitio 62 ubicado al Sur de la Presa la Trinidad, así como el 72 ubicado al Sur de la Presa San Germán y en el 84 San Roque de Montes, se tomaron muestras con dos profundidades, en el sitio 62 de 0 - 30 cm y 30 - 105 cm, en el sitio 72 de 0 - 30 cm y 30 - 95 cm y en el sitio 84 de 0 - 30 cm y 30 - 75 cm.

En algunas de las localidades se tomó muestra de material vegetal; en el momento del muestreo de los suelos; como trigo (*Triticum vulgare*), alfalfa (*Medicago sativa* L.) papa (*Solanum tuberosum*) y cebada (*Hordeum vulgare*), (cuadro 1).

El material vegetal fue lavado con agua acidulada con HCl 1:10 y, posteriormente con agua desionizada. Fue secado en estufa a 65° C durante 48 hrs y molido para pasar por un tamiz de 0.84 mm, para su posterior análisis.



## B) ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICOS DE SUELOS

El porcentaje de materia orgánica se determinó con el método de oxidación húmeda Walkley and Black 1965 (Black et. al, 1976).

El porcentaje de carbonatos alcalino - térreos fue medido por titulación con hidróxido de sodio 0.25 N, según el método propuesto por el Departamento de Salinidad de los E U A. (Richards 1993).

El pH del suelo fue medido utilizando un electrodo de vidrio, en una suspensión de relación suelo - agua 1:2.5 y un periodo de equilibrio de 30 min (Jackson 1987).

La capacidad de intercambio catiónico fue determinada por el método de saturación con acetato sodio 1 N y pH 8.2, eluyendo con acetato de amonio normal y neutro (Richards op. cit.).

El análisis de tamaño de partícula fue hecho por el método del hidrómetro de Boyoucos, modificado por Villegas et al. (1978); la textura fue determinada de acuerdo al sistema de clasificación americana.

## C) METALES PESADOS EN FORMA DISPONIBLE

La evaluación de los metales en forma disponible se realizó mediante la obtención de extractos con una solución de acetato de sodio 1 N con DTPA, a un pH de 4.8; los extractos se formaron en una suspensión de relación suelo - solución de 1 : 2, con un periodo de equilibrio de 2 Hrs (Lindsay y Norvell 1978). Los metales fueron determinados por espectrofotometría de absorción atómica.

## D) METALES TOTALES EN SUELO

La concentración total de metales pesados (Fe, Zn, Pb, Cr, Ni, Cu, Cd, Co, y Mn.) en las muestras de suelo fueron obtenidas por espectrofotometría de absorción atómica de los extractos formados por la digestión con agua regia en horno de microondas marca CEM modelo MDS 2000, de 0.5 gr. de suelo en 8 ml. de ácido nítrico concentrado más 2 ml de ácido clorhídrico concentrado en un volumen final de 50 ml. El suelo fue previamente molido en mortero de ágata, para pasar por un tamiz con apertura de malla de 0.84 mm.

## E) ANÁLISIS DE LAS AGUAS DE RIEGO

La concentración de metales pesados presentes tanto en las aguas residuales y de pozo, fueron determinados en alícuotas sin filtrar; a partir de la evaporación de muestras de medio litro hasta 100 mililitros, se midió la concentración de los elementos presentes por espectrofotometría de absorción atómica.



## F) ANÁLISIS DEL MATERIAL VEGETAL

Fue digerido en horno de microondas marca CEM modelo MDS 2000 a partir de 0.5 gramos de material en 10 ml. de ácido nítrico y aforado a un volumen final de 50 ml. Los metales pesados se cuantificaron por medio de espectrofotometría de absorción atómica.

Cada procedimiento se realizó por duplicado, excepto la textura, los metales pesados se cuantificaron en un espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin - Elmer, modelo 3110 con flama de aire - acetileno.

## G) ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Mediante análisis de varianza para evaluar diferencias significativas entre las concentraciones promedio de los metales pesados, totales y disponibles, si el análisis era significativo se aplicó el análisis de comparaciones múltiples (Tukey), con un nivel de confiabilidad del 99 % se estudió el grado de variabilidad de los sitios en muestras superficiales y en perfiles de suelo, de acuerdo a las diferentes propiedades del suelo (Daniel, 1991).

Se utilizó el análisis de correlación múltiple para establecer el grado de asociación entre las propiedades del suelo con las diferentes concentraciones de metales pesados totales y disponibles. Con el coeficiente de variación se detectó el tipo de distribución presente entre diferentes concentraciones de elementos (Daniel, op. cit., Sánchez, 1996).

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS SUPERFICIALES

Se considera al suelo como un sistema formado por tres fases (sólida, líquida y gaseosa) y cuatro componentes (partículas inorgánicas, materia orgánica, agua y aire), que varían de acuerdo a las condiciones climáticas de la región, principalmente la lluvia, la temperatura, vegetación y biota del suelo, las propiedades de un suelo también dependen de varios factores que afectan su *composición física y química, esto es, las propiedades pedogénicas* en la formación particular de un suelo se involucra la adición de materia orgánica y material mineral al suelo, pérdida de materiales del suelo, traslocación de materiales en las diferentes capas del suelo, en sentido vertical y horizontal, también la transformación de materia orgánica y material mineral, los procesos que se generan pueden ser constructivos o destructivos en la formación del suelo, material parental (naturaleza de los minerales) y la topografía (sistemas abiertos o cerrados), tiempo y actividades antropogénicas, tales como: degradación, contaminación, y actividades agrícolas y ganaderas (Tamhane, op cit., Kábata - Pendias y Pendias, 1986).

Para el análisis de las propiedades del suelo y los componentes minerales, se ha dividido la región de estudio en tres secciones, en la que se considera su ubicación geográfica (figura 2 y 3). Región Norte, abarca los sitios 28 al 88, Región Centro, con los sitios 78 al 110, 126, 210 y 214 y la Región Sur con los sitios 118, 121, 132, 145, 150A y 150B (Cuadro 1).

### MATERIA ORGÁNICA.

Los suelos contienen materia orgánica originada de los restos de organismos vegetales y animales. Lo que promueve transformaciones bioquímicas a través de la dinámica de elementos como nitrógeno, fósforo, carbono, hidrógeno, oxígeno, y azufre esto implica relaciones directas entre el medio físico y los organismos, por lo que se acumula materia orgánica no transformada y con cierto grado de madurez, que es la que llega a mineralizarse y le da al suelo su carácter dinámico. De las transformaciones expuestas, se desprende el hecho de que se presenten muchas de las propiedades deseables del suelo, para considerarlo favorable para realizar prácticas agrícolas (Tamhane, op. cit.).

La materia orgánica del suelo consiste de sustancias de origen orgánico, que proporcionan colores de pardos a negros al suelo, que se forman como resultado de la descomposición de los residuos de animales y vegetales (Tamhane, op. cit.).

CUADRO 2

Propiedades físico - químicas de suelos superficiales de la región del Valle de León, Estado de Guanajuato.  
Ver claves de localización en el cuadro 1.

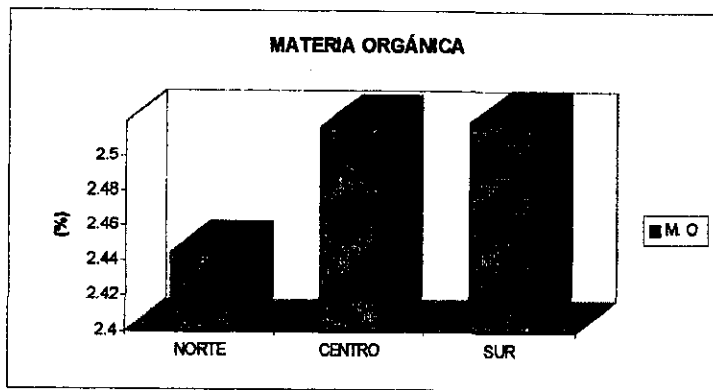
SITIO	M.O (%)	pH agua:suelo 1:2.5	CaCO <sub>3</sub> (%)	CICT cmol(+)/kg-1	ARCILLAS (%)	LIMOS (%)	ARENAS (%)	TIPO TEXTURAL
28	3.18	8.10	7.51	43.45	60.00	28.00	14.00	Arcilla
37B	1.03	7.85	1.26	3.26	6.00	8.00	86.00	Arena migajosa
48	2.71	7.80	4.67	28.53	32.00	30.00	38.00	Franco arcilloso
49	2.23	8.25	5.10	19.89	28.00	38.00	34.00	franco
50	5.00	8.20	5.10	30.07	30.00	42.00	28.00	Franco arcilloso
53	1.81	6.90	2.85	24.19	26.00	18.00	58.00	Franco arcillo-arenoso
54	2.12	8.20	5.10	24.57	34.00	42.00	24.00	Franco arcilloso
55	0.34	7.80	4.48	6.53	4.00	6.00	90.00	Arena
56	2.12	7.45	7.13	31.78	38.00	38.00	26.00	Franco arcilloso
57	2.30	7.60	6.81	30.23	40.00	42.00	18.00	Franco arcillo-limoso
58	1.64	7.78	2.77	13.89	20.00	14.00	66.00	Franco arenoso
59	1.89	8.30	7.65	28.76	30.00	48.00	22.00	Franco arcilloso
60A	2.32	8.10	7.43	29.42	34.00	34.00	32.00	Franco arcilloso
62	2.05	7.85	3.41	37.59	46.00	36.00	18.00	Arcilla
63	2.35	7.80	6.98	36.77	40.00	42.00	18.00	Franco arcillo-limoso
64	2.03	7.70	7.06	31.38	36.00	52.00	12.00	Franco arcillo-limoso
65	1.96	7.90	6.91	30.23	38.00	46.00	16.00	Franco arcillo-limoso
67	4.20	7.25	6.01	33.51	38.00	52.00	10.00	Franco arcillo-limoso
68	5.15	7.80	3.34	35.14	46.00	40.00	14.00	Arcillo-limoso
69	2.24	7.85	8.19	30.40	30.00	54.00	16.00	Franco arcillo-limoso
70	0.77	6.90	6.37	32.69	34.00	50.00	16.00	Franco arcillo-limoso
72	1.94	7.90	3.98	25.33	56.00	32.00	12.00	Arcilla
73	2.04	7.10	5.90	34.32	48.00	38.00	14.00	Arcilla
78	3.43	7.30	5.72	27.78	42.00	18.00	40.00	Arcilla
81	2.84	7.40	9.48	23.70	34.00	42.00	24.00	Franco arcilloso
83	2.84	7.40	6.27	32.89	46.00	41.00	13.00	Arcillo-limoso
84	1.68	7.90	3.28	42.49	52.00	46.00	2.00	Arcillo-limoso
85	3.21	8.20	6.32	28.76	32.00	56.00	12.00	Franco arcillo-limoso
88	4.46	8.05	6.24	27.13	48.00	42.00	10.00	Arcillo-limoso
89	2.77	7.70	5.83	22.22	30.00	38.00	32.00	Franco arcilloso
90'	1.41	7.80	3.21	20.59	12.00	24.00	64.00	Franco arenoso
90"	1.37	7.70	3.28	19.61	14.00	22.00	64.00	Franco arenoso
98	2.28	7.95	4.46	23.96	30.00	20.00	50.00	Franco arcillo-arenoso
101	1.82	7.55	6.82	28.80	44.00	46.00	16.00	Arcilla
108	4.14	7.55	5.98	32.06	40.00	34.00	26.00	Franco arcilloso
109	3.66	8.10	6.26	28.11	54.00	38.00	10.00	Arcilla
110	4.14	8.20	6.27	34.38	58.00	34.00	8.00	Arcilla
118	2.28	8.05	6.08	37.59	52.00	34.00	14.00	Arcilla
121	2.18	7.70	5.81	31.05	50.00	38.00	12.00	Arcilla
132	2.89	7.47	6.60	35.14	52.00	30.00	18.00	Arcilla
145	2.00	7.75	5.90	25.33	38.00	50.00	12.00	Franco limoso-arcilloso
150A	3.39	7.25	7.12	36.77	54.00	30.00	16.00	Arcilla
150B	2.38	6.25	5.75	23.86	52.00	40.00	8.00	Arcillo-limoso
210	1.73	8.10	3.04	25.98	44.00	44.00	12.00	Arcillo-limoso
214	0.95	7.40	5.03	29.42	42.00	28.00	32.00	Arcilla

M.O = Materia Orgánica

CICT = Capacidad de Intercambio Catiónico.

La materia orgánica del suelo tiene importantes funciones entre estas está el reducir el impacto de las gotas de lluvia en la superficie del suelo, además de ayudar al control de la filtración de agua, también se observa que esta propiedad tiene relación directa con la movilización de nutrientes, por otra parte se nota que los iones son retenidos por la presencia de materia orgánica, ya que estos pueden formar quelatos, provocando que estos puedan migrar en perfiles de suelo, o bien ser adsorbidos por las arcillas del suelo (Kábata - Pendias y Pendias, op. cit.; Horst 1995).

Los porcentajes de materia orgánica en la zona de estudio presentó variaciones importantes a lo largo de la región (gráfica 1), los porcentajes máximos presentes en los sitios: 68 (5.15%), 50 (5.0%) y 88 (4.46 %), (cuadro 2), según la clasificación propuesta por Moreno Dahme (1970), los suelos son considerados en rangos de pobres a medianamente pobres, excepto estos sitios, que se consideran como extremadamente ricos en este componente orgánico. El porcentaje mínimo registrado para los suelos superficiales fue en el sitio 55 (0.34%) y 70 (0.77 %); el promedio de la zona de estudio, en la región norte fue el menor (2.44 %), en la región centro y sur presentaron porcentajes parecidos (2.52%), (gráfica 1).



GRÁFICA 1.- Promedio del porcentaje de materia orgánica en el Valle de León, Estado de Guanajuato.

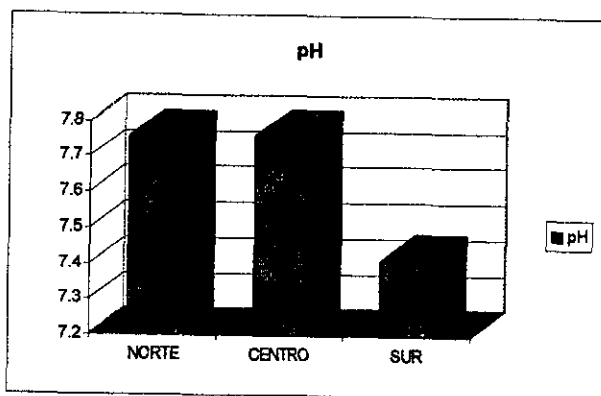
Las diferencias entre sitios pueden ser debidas entre otras cosas a que el empleo de agua residual para el riego incorpora materia orgánica a los suelos, esto se observó sobre todo en la región centro, ya que en la región norte se nota el porcentaje que puede deberse al uso excesivo del suelo en prácticas agrícolas, compensado con el empleo de fertilizantes. Por otro lado es importante resaltar el hecho de que otras propiedades del suelo pueden influir a nivel local en la incorporación de materia orgánica, como es el contenido de arcilla, ya que se ha detectado que la materia orgánica presenta una fuerte asociación con ésta propiedad del suelo y se muestra en los sitios de estudio como es el caso de la región sur (Cuadro 2).

## REACCIÓN DEL SUELO (pH)

Se considera como una propiedad muy importante del suelo ya que limita en mayor o menor medida su productividad, regula otras propiedades del suelo, como el intercambio de cationes, el contenido de carbonatos en el suelo y la movilización de nutrientes (Murray 1994).

En cuanto a esta característica del suelo se ha notado que los suelos del Valle de León, en el Estado de Guanajuato, con pH de 6.9 y 8.3, excepto el sitio 150B (6.25), la mayoría presentaron valores superiores a 7.0 (cuadro 2), por lo cual se consideran suelos de ligeramente alcalinos a suelos alcalinos, de acuerdo con la clasificación de Moreno - Dahme (op. cit.).

El valor promedio de pH más alto se registró en la región norte (7.54) y centro (7.75), el valor más bajo en la región sur (7.41), (gráfica 2).



GRÁFICA 2.- Promedio del pH en el Valle de León, Estado de Guanajuato.

El pH del suelo es el resultado de reacciones químicas complejas donde suceden disociaciones iónicas que, de esta reacción resultan cationes  $H^+$  que forman un ácido débil y radicales  $OH$  que forman una base fuerte. La reacción del suelo tiene su origen en el complejo de adsorción y es por ello que se deben considerar ciertas condiciones:

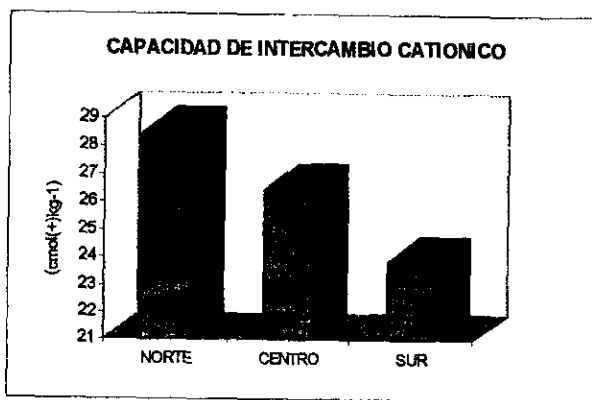
- Naturaleza del material arcilloso
- Porcentaje de saturación de bases.
- Relación que guardan entre sí los cationes básicos adsorbidos (FitzPatrick, op. cit.).

El valor de pH más alto se encontró en los sitios 59 (8.3), 85 (8.2) y 210 (8.1), (cuadro 2), en los cuales se detectó el porcentaje más bajo de materia orgánica, y se corrobora con la correlación significativa y negativa ( $r=-0.53$ ,  $P<0.01$ ) entre estas dos variables: pH y materia orgánica, lo cual indica que cuando aumenta el pH la materia orgánica disminuye, e influye directa o indirecta en el crecimiento y desarrollo de los vegetales, al determinar la capacidad de asimilación de nutrientes en las plantas; en algunos casos, se incluye la asimilación de iones tóxicos, o limita la asimilación de elementos nutrientes esenciales para el crecimiento de los vegetales, algunos nutrientes esenciales son menos asimilables cuando el pH está por debajo de 5.5, como es el caso del manganeso (Buckman y Brady, op. cit.).

Los valores más bajos de pH se observaron en los sitios 53 y 70 (6.9), 9 y 150B (6.25), en estos suelos también se presentan los porcentajes más altos de materia orgánica y de arcillas (cuadro 2), se ha visto que en el rango normal, los dos factores principales que regulan el pH son la materia orgánica y el tipo y cantidad de cationes. (FitzPatrick, op. cit.).

### CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CICT).

Esta propiedad del suelo es de las más importantes, tanto para la clasificación de los suelos, como para determinar el tipo de suelo y algunas propiedades de los mismos, ya que esta se relaciona con la materia orgánica, carbonatos y arcillas, y de esta manera conocer acerca de algunos procesos intrínsecos del suelo tales como retención de nutrientes o movilización de éstos, también se infieren concentraciones de metales que pudieran ser adsorbidos en el suelo (FitzPatrick, op. cit.).



GRÁFICA 3.- Promedio de la Capacidad de Intercambio Cationico en  $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$  en el Valle de León, Estado de Guanajuato.

En la zona se presentan diferencias importantes (gráfica 3), en donde se observó que el mayor promedio de la CICT fue en la región norte ( $28.45 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ ), y el más bajo en la región sur ( $23.86 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ ), los sitios 84, 62, 28, 63, 150A y 68 (cuadro 2), presentaron las concentraciones más altas en esta propiedad y son los lugares más cercanos a cuerpos de agua, los sitios que se encuentran relativamente más alejados presentan concentraciones más bajas, lo cual se puede atribuir a que las aguas residuales aportan una cantidad importante de cationes a los suelos, lo que se puede relacionar con un incremento en el pH y materia orgánica, y también considerando las características texturales del suelo, pues se ha visto que los suelos ricos en arcillas o limos tienden a retener mayor cantidad de nutrientes y tienen una mayor movilidad de sales (Rechcigl, 1991).

Al aplicar la prueba de correlación entre la CICT con otras propiedades del suelo, esta correlación resultó positiva con la materia orgánica ( $r= 0.62$ ,  $P<0.01$ ), esto permite afirmar que la materia orgánica y la CICT están estrechamente relacionadas ya que cuando aumenta una propiedad, la otra también presenta este comportamiento, con carbonatos alcalino - térreos ( $r= 0.5$ ,  $P<0.05$ ), y arcillas ( $r= 0.72$ ,  $P<0.01$ ), y resultó negativa con el pH ( $r= -0.85$ ,  $P<0.01$ ). Tomando en cuenta, las correlaciones anteriores, la CICT se asocia negativamente con el pH ya que disminuye, al aumentar la CICT, esto es importante para considerar la movilidad y solubilidad de los elementos presentes en el suelo, pues se ha visto que con pH ácido y valores altos de CICT la movilidad de metales es mayor, en el caso de las arcillas y carbonatos alcalino - térreos van a estar aumentando conforme aumenta la capacidad de intercambio catiónico (cuadro 2), se nota una relación en los suelos que presentan mayor cantidad de materia orgánica, éstos tienen mayor capacidad de intercambio catiónico y mayor porcentaje de arcillas, pero presentan los valores más bajos de pH (Murray, op. cit.).

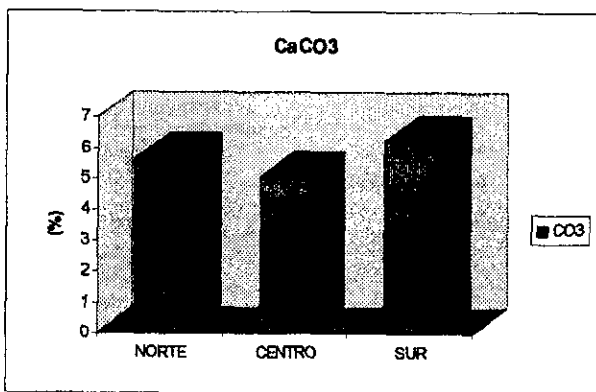
Se debe tener en cuenta que los cationes intercambiables están en equilibrio con los cationes de la solución del suelo; son difíciles de remover por efecto de lavado, además, de esta propiedad se deriva la capacidad de los vegetales para asimilar nutrientes (Ortiz-Villanueva, op. cit.).

## CARBONATOS ALCALINO - TÉRREOS

Los carbonatos de calcio y magnesio, están distribuidos en forma amplia en los suelos, ocurriendo separadamente o asociados con sales solubles. Las propiedades más importantes de los carbonatos son:

- Se disuelven relativamente fácil, lo cual les permite ser distribuidos en el suelo.
- Cuando están presentes, aún en pequeñas cantidades, pueden elevar el pH por encima de la neutralidad y sostener un alto nivel de actividad biológica.
- Los carbonatos son los primeros se empiezan a acumular a medida que el clima se vuelve árido (FitzPatrick, op. cit.).

El porcentaje más alto se encontró en el sitio 81 (9.48 %), (cuadro 2) y el más en el sitio 37B (1.26 %), se observó que el promedio más alto en los porcentajes de carbonatos está en la región sur de la zona de estudio (6.21%) y el menor en la región centro (5.63%) y norte (5.06%), (gráfica 4). Los carbonatos alcalino - térreos para los suelos superficiales presentaron una correlación positiva, significativa con las arcillas ( $r=0.81$ ,  $P<0.01$ ), lo que implica que los porcentajes de carbonatos determinados, corresponden a tamaños de partículas muy semejantes al de las arcillas, además la distribución de los carbonatos de calcio y magnesio se asocian con la textura de un suelo, principalmente con el contenido de limos y arcillas, lo cual coincide en los sitios estudiados se encontraron mayores porcentajes de limos con altos porcentajes de carbonatos (Foth, 1978).



GRÁFICA 4.- Promedio del porcentaje de CaCO<sub>3</sub> en el Valle de León, Estado de Guanajuato.

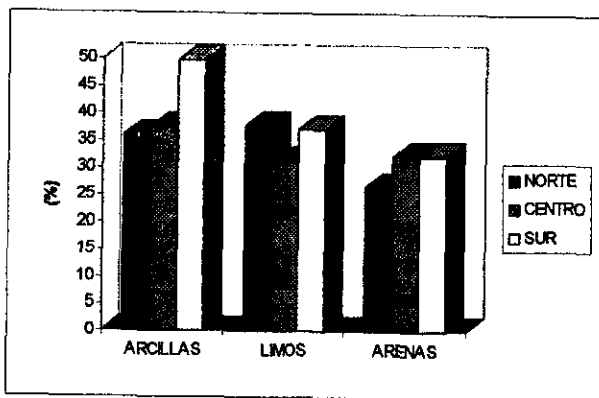
## TEXTURA

Esta propiedad del suelo puede ser medida en campo utilizando la sensación que da al tacto el suelo húmedo, en el laboratorio proporciona una medida aproximada de la distribución del tamaño de partícula que a su vez determina la consistencia del suelo (Tamhane, Op. cit; Siebe, 1995).

En general, los suelos de la región son ricos en arcillas, ya que la mayoría de los sitios de muestreo se encuentra dentro de categorías franco arcillosos y arcillosos (cuadro 2); por lo cual, son suelos considerados propios para desarrollar actividad agrícola. Sin embargo se consideran como suelos pesados, altamente plásticos y muy adhesivos (Buckman y Brady, op. cit.).



Los diferentes tamaños de partícula se encuentran en proporciones significativamente diferentes en los distintos tipos de suelo colectados en la región de estudio (Cuadro 2), el mayor promedio del porcentaje de arcillas se presenta en la región sur (49.66 %), la región norte presentó el menor promedio (35.92%), (Gráfica 5); el mayor porcentaje de limos se registró en la región norte (37.6%), el promedio del porcentaje más alto de arena se presentó en las regiones centro y sur (32.18%) (Gráfica 4).



GRÁFICA 5.- Promedio del porcentaje de los tipos texturales en el Valle de León, Estado de Guanajuato.

En el análisis de correlación se observó que los diferentes tipos texturales se asociaron con otras propiedades del suelo de la siguiente manera:

A) Las arcillas presentaron asociación significativa con la materia orgánica ( $r=0.44$ ,  $P=0.05$ ),  $\text{CaCO}_3$  ( $r=0.81$ ,  $P=0.01$ ), CICT ( $r=0.72$ ,  $P=0.01$ ), limos ( $r=0.36$ ,  $P=0.05$ ), esta asociación al ser positiva, indica que cuando aumentan los porcentajes de arcilla, se observa un incremento en las propiedades; en la relación con arenas, es negativa ( $r=-0.84$ ,  $P=0.01$ ), lo que indica que mientras menos arcillas existen, el porcentaje de arenas se incrementa (cuadro 2).

B) Los limos presentan relaciones significativas y positivas con  $\text{CO}_2$  ( $r=0.51$ ,  $P=0.05$ ), CICT ( $r=0.51$ ,  $P=0.05$ ) y arcillas ( $r=0.36$ ,  $P=0.05$ ), por tanto la asociación entre estas propiedades es directa esto implica que conforme aumente el porcentaje de limos en el suelo, también aumentarán los contenidos de arcillas y CICT; con las arenas se observa una relación negativa ( $r=-0.80$ ,  $P=0.01$ ), por lo que se observa la disminución de arenas conforme aumenta el porcentaje de limos.

C) La asociación entre las arenas con otras propiedades resulta ser significativa y negativa, al relacionarse con la materia orgánica ( $r=-0.43$ ,  $P=0.01$ ), arcillas ( $r= -0.84$ ,  $P=0.01$ ), carbonatos ( $r= -0.52$ ;  $P= 0.01$ ), capacidad de intercambio catiónico ( $r= - 0.75$ ,  $P= 0.01$ ) y limos ( $r= - 0.80$ ,  $P= 0.01$ ), disminuye el porcentaje de arena conforme aumentan las otras propiedades del suelo.

## METALES PESADOS EN SUELOS SUPERFICIALES (DISTRIBUCIÓN HORIZONTAL).

El término "metal pesado", no ha sido eficientemente definido, pero si es ampliamente reconocido y utilizado para nombrar a un amplio grupo de metales y metaloides, asociados con toxicidad y contaminación, incluyen algunos elementos que son esenciales para los seres vivos en bajas concentraciones. Metales tóxicos es una alternativa para nombrar a los metales pesados, lo cual puede ser aplicable para los elementos no esenciales, como el Pb, Cd, Hg, As, Tl, Cr, Ni y U; lo cual no es apropiado para los elementos utilizados por los vegetales y animales, como el Co, Cu, Mn, Se, Fe y Zn. Existe una clasificación, que es la más aceptada, basada en la densidad atómica ( $>6\text{gcm}^{-3}$ ), lo cual incluye a una amplia cantidad de elementos. El término elemento traza está tomando mayor auge, aun cuando no es de uso muy común (Alloway, 1990).

La National Research Council de Los Estados Unidos de Norteamérica (1993), según datos de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) del mismo País, considera que los metales pesados son: As, Ba, Cd, Co, Cr, Pb, Hg, Se, Ag, Fe, Mn, Bo, Ni, V, Zr, F, Cu, Ba, Ce, Rb, U, Te, Be, Al y Zn, algunos de ellos son considerados potencialmente tóxicos.

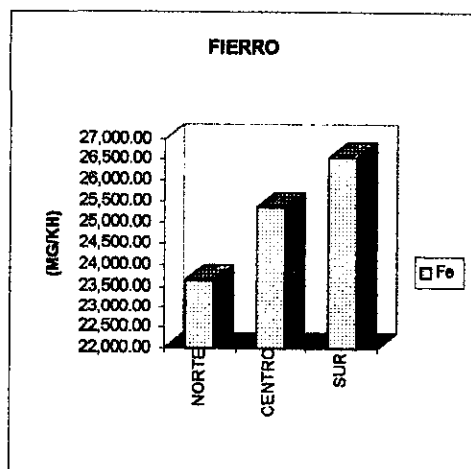
Los metales pesados pueden ser introducidos en el suelo por diferentes vías, entre ellas están las de origen natural y las de origen antropogénico; las primeras pueden ser por descomposición del material parental o roca madre, sin embargo, la movilidad de los metales está determinada por la estabilidad de los mismos y las características físico - químicas intrínsecas del suelo. La persistencia de estos elementos en el suelo depende de la vida media de los metales, cual es la fuente natural o antropogénica de estos y la velocidad de incorporación en los ecosistemas. Los niveles de tolerancia permisibles de un metal pesado, dependen de los siguientes criterios (Kábata - Pendías y Pendías, op. cit.):

1. Contenido inicial en el suelo.
2. Cantidad total de un solo elemento y de todos los metales pesados.
3. Concentración límite de metales pesados.
4. Toxicidad en plantas.
5. Valores umbral de concentración en suelos.
6. Interacción entre elementos.
7. Características físicas y químicas del suelo (pH, carbonatos, arcillas, materia orgánica).
8. Balance de pérdida e incorporación.
9. Sensibilidad en el desarrollo vegetal.

## FIERRO

El hierro es uno de los elementos más abundantes en la litosfera aproximadamente el 5% forma parte de algunas rocas, principalmente de origen magmático. Un indicador de la cantidad de hierro presente en los suelos puede ser el color pardo del mismo, se puede notar que el hierro presente va a depender en buena parte de las actividades humanas, entre las que se puede citar la aplicación de fertilizantes, o las aguas residuales. (Kábata - Pendias y Pendias, op. cit.; Tack, 1996; Rechcigl, op. cit.).

Los contenidos de Fe en las muestras superficiales de la zona de estudio, denotan diferencias significativas entre grupos, la concentración más baja de este elemento se presentó en el sitio 109 (1993.3 mg/kg), el sitio 28, registró la concentración más alta de este elemento (39115 mg/kg), (Cuadro 4). La mayoría de los sitios con altas concentraciones de Fe se localizan al sur de la Ciudad de León (Figura 3), algunos de ellos se encuentran en las márgenes del Río León (sitios: 28, 55 y 84). La región norte presentó el promedio de concentración mas bajo (23,619.11 mg/kg), la región centro y sur registraron las concentraciones más elevadas (25353.16 mg/kg y 26570.00 mg/kg respectivamente), (Gráfica 6), lo que indica que el Fe es transportado o el material parental aporta cantidades importantes del elemento.



Gráfica 6. - Promedio de la concentración en mg/kg de Fe total en muestras superficiales de suelo en el Valle de León, Estado de Guanajuato.

**CUADRO 3**

Concentración en mg/kg de metales pesados en forma total de suelos superficiales, en el Valle de León, Estado de Guanajuato. Ver referencias de sitios en el cuadro 1.

SITIO	Fe	Zn	Pb	Cr	Ni	Cu	Cd	Co	Mn
	***** (mg/kg-1) *****								
28	39,115.00	189.50	184.75	345.00	59.00	54.50	1.00	15.10	696.00
37B	12,590.00	36.50	88.33	8.50	21.50	7.00	0.50	0.60	244.50
48	23,350.00	80.00	41.05	404.00	22.00	18.00	1.00	12.00	603.00
49	27,090.00	121.50	56.55	25.50	34.00	31.50	5.00	19.00	671.50
50	24,805.00	186.50	81.70	5,875.50	50.50	41.50	1.00	15.10	555.50
53	21,125.00	81.50	41.00	20.00	21.50	14.00	ND	9.85	459.00
54	31,545.00	140.00	74.90	55.50	48.50	35.50	2.00	16.75	643.50
55	33,295.00	151.50	178.60	37.00	52.00	10.40	3.00	18.25	679.00
58	13,490.00	67.00	55.80	38.00	34.50	16.50	1.00	18.75	875.50
57	19,505.00	72.00	53.80	281.00	34.00	15.50	0.50	13.45	563.50
58	15,735.00	49.50	104.15	17.00	28.50	22.50	0.50	3.85	340.50
59	24,840.00	96.00	57.60	148.50	39.00	23.75	5.50	19.50	759.50
60A	21,250.00	62.00	139.80	8.00	18.00	9.40	6.00	13.00	345.00
62	18,830.00	65.00	54.30	140.00	24.00	12.50	ND	10.95	456.50
63	31,690.00	145.00	70.15	199.50	33.50	28.30	6.00	24.50	1,020.50
64	21,065.00	124.00	74.15	58.50	39.00	22.00	ND	18.25	701.00
65	21,945.00	69.50	58.60	69.50	37.50	15.00	ND	17.00	651.50
67	21,650.00	78.00	59.80	44.00	39.00	15.50	ND	19.50	722.00
68	21,470.00	125.50	76.30	1,161.00	38.00	29.50	ND	16.50	575.00
69	20,710.00	122.50	71.15	209.75	37.50	28.00	ND	14.15	567.50
70	21,900.00	77.00	57.60	39.50	41.50	15.50	ND	15.40	654.00
72	22,720.00	103.00	54.85	141.00	41.00	22.20	2.20	13.30	645.00
73	22,630.00	77.50	62.70	33.00	35.50	16.00	ND	11.45	666.50
78	27,980.00	74.00	132.95	21.00	36.00	15.00	1.00	12.10	594.00
81	29,720.00	138.00	75.10	64.50	48.00	44.00	1.00	13.30	662.00
83	26,170.00	87.00	37.05	24.00	49.00	30.00	2.00	16.00	657.50
84	28,580.00	104.50	81.70	159.50	40.00	24.00	ND	11.60	529.50
85	21,945.00	72.00	55.70	34.50	36.00	15.50	ND	11.90	684.00
88	22,575.00	72.00	65.05	396.50	35.00	27.50	1.00	12.35	640.00
89	21,280.00	61.00	56.95	1,239.50	31.50	29.00	0.50	8.40	525.50
90'	21,450.00	78.50	61.70	190.50	32.00	26.00	1.00	6.55	295.00
90"	21,875.00	81.50	63.85	196.00	33.00	26.50	1.00	7.20	300.50
98	22,400.00	68.00	94.80	37.70	10.00	17.60	1.00	8.80	482.20
101	23,255.00	59.50	27.00	22.00	24.00	15.20	1.00	20.02	597.00
108	156,18.56	57.04	23.31	24.00	23.37	12.54	1.50	14.14	717.10
109	1,993.30	101.68	40.15	23.75	27.06	18.26	1.00	12.16	672.63
110	17,809.10	89.28	38.86	29.95	24.50	17.07	1.00	10.52	486.84
118	17,708.30	74.40	36.26	23.01	28.75	18.17	1.00	11.17	631.58
121	23,480.00	72.50	27.90	27.50	56.50	16.50	6.50	19.30	513.00
132	26,290.00	83.60	85.20	34.40	20.10	25.60	1.00	10.70	662.20
145	21,550.00	65.00	121.30	26.50	34.00	27.50	0.50	8.85	696.00
150A	24,445.00	7.70	113.10	44.50	38.00	16.40	2.15	8.70	478.50
150B	37,085.00	61.50	149.95	44.50	46.00	20.50	ND	2.07	517.50
210	96,102.00	69.44	35.36	16.82	18.37	13.80	1.00	1.17	453.94
214	16,765.50	66.96	31.08	20.78	27.50	15.62	1.00	1.17	546.05

### CUADRO 4

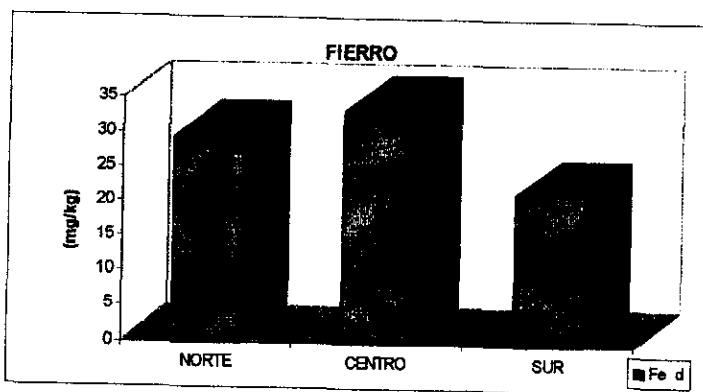
Concentración en mg/kg de metales disponibles en suelos superficiales del Valle de León, Estado de Guanajuato. Ver claves de localización en el cuadro 1.

SITIO	Fe	Zn	Pb	Cr	Ni	Cu	Cd	Co	Mn
***** mgkg-1 *****									
28	45.58	4.68	6.16	2.30	3.27	1.19	0.44	1.32	322.20
37B	151.88	1.41	1.41	0.41	0.83	0.53	0.10	0.88	45.10
48	33.42	7.70	3.01	6.59	1.62	3.23	0.41	1.24	91.10
49	13.92	2.11	3.558	0.68	0.11	3.19	0.62	1.90	108.30
50	28.30	11.64	2.78	0.52	4.07	2.93	0.44	1.36	71.00
53	30.68	7.90	11.68	12.00	1.22	1.98	0.28	1.00	71.20
54	1.30	1.53	3.71	0.57	1.96	3.76	0.64	1.63	87.20
55	162.93	8.88	28.03	0.67	1.52	11.42	0.46	1.30	116.80
56	10.34	1.07	2.06	0.52	1.82	1.60	0.30	1.66	119.80
57	17.49	1.38	2.62	1.49	2.49	2.06	0.29	1.68	155.20
58	13.34	0.56	1.20	0.48	1.30	0.88	0.22	0.92	53.80
59	10.93	1.52	2.01	2.12	2.41	2.67	0.38	1.67	90.30
60A	17.07	0.50	1.73	0.54	1.33	0.89	0.20	0.96	32.30
62	19.94	1.65	2.08	1.51	1.61	1.33	0.25	1.04	79.40
63	8.75	2.79	2.37	0.89	1.92	2.08	0.20	1.60	110.50
64	17.28	4.46	3.57	0.60	2.39	2.85	0.22	2.08	129.60
65	20.00	2.08	4.23	1.07	2.33	1.78	0.20	2.39	180.60
67	11.62	1.62	1.90	0.46	2.15	1.67	0.24	1.77	128.20
68	25.84	11.6	2.65	4.98	3.31	2.95	0.24	1.25	72.40
69	25.87	5.01	5.92	13.56	2.09	2.43	0.27	2.46	152.10
70	21.25	3.38	4.35	0.40	2.43	2.12	0.18	1.87	146.30
72	17.00	0.72	1.88	1.32	1.73	1.77	0.25	1.09	85.10
73	25.53	2.35	4.43	0.43	2.39	1.16	0.24	1.99	155.40
78	185.24	1.20	4.00	0.49	1.26	0.57	0.55	1.38	104.90
81	33.17	6.16	5.75	0.64	2.41	2.99	0.42	1.90	146.30
83	14.81	0.98	1.76	0.50	1.54	1.16	0.22	1.20	90.40
84	20.51	0.872	2.39	1.73	1.63	2.05	0.28	0.82	49.70
85	9.81	0.41	2.00	0.55	1.32	1.30	0.29	1.03	44.50
88	14.23	1.24	1.49	0.50	1.56	1.48	0.19	1.54	108.60
89	32.73	3.40	2.21	60.31	1.78	6.11	0.29	1.52	111.20
90'	39.14	2.94	2.87	5.40	1.68	0.98	0.20	1.13	67.30
90"	40.16	2.64	3.02	5.49	1.60	0.88	0.20	1.11	67.70
98	11.96	0.64	4.42	1.25	0.63	1.43	0.20	0.50	41.00
101	14.16	0.58	2.03	0.49	0.53	1.41	0.32	0.565	61.03
108	14.10	0.51	2.19	0.21	2.32	1.03	0.14	0.90	50.41
109	11.30	0.46	1.50	0.35	2.13	1.13	0.13	1.25	89.43
110	23.05	2.45	1.70	0.71	1.34	1.91	0.19	0.99	42.90
118	8.30	0.46	2.43	0.15	1.47	1.30	0.13	0.67	35.77
121	13.90	0.68	2.47	0.20	1.66	1.80	0.19	1.40	57.75
132	14.45	0.38	2.64	0.53	1.07	1.70	0.24	0.53	61.14
145	18.51	0.97	2.04	0.53	1.49	2.17	0.21	0.94	72.20
150A	34.97	1.24	2.62	0.60	1.49	0.66	0.30	1.00	100.50
150B	25.88	1.38	1.92	0.71	1.60	0.61	0.18	2.59	43.50
210	9.20	0.53	2.19	0.23	1.98	1.34	0.16	0.71	61.79
214	11.13	0.56	3.10	0.15	1.76	1.13	0.13	0.67	22.68

La prueba de correlación aplicada a las concentraciones de Fe total en los diferentes sitios, no registró asociación significativa con las propiedades físico - químicas, ni con otros metales del suelo, lo que indica que la presencia de hierro en estos sitios no se ve limitada por otros elementos, ni por las propiedades del suelo.

El hierro disponible en el suelo se encuentra distribuido de manera irregular en la zona de estudio (Gráfica 7), (C.V.= 1.28), el valor más alto se presentó en el sitio 78 (185.24 mg/kg), (cuadro 3), este sitio se localiza en la región norte de la zona de estudio (figura 3); el valor más bajo para este elemento se encuentra en el sitio 54 (1.3 mg/kg), este sitio es registrado en la región norte de la zona de estudio, muy cerca de la Ciudad de León; los demás sitios se encuentran comprendidos entre estos dos valores de concentración.

El promedio de concentración de Fe disponible fue mayor en la región centro (33.37 mg/kg) y el menor en la región sur (21.54 mg/kg) (gráfica 7). El grado de disponibilidad de Fe, con respecto al total, fue en la región norte (0.21%), en la región centro (0.18 %) y en la sur (0.08%), por lo que el mayor grado de disponibilidad se observó en la región norte.



Gráfica 7. - Promedio de la concentración en mg/kg de Fe disponible en muestras superficiales de suelo en el Valle de León, Estado de Guanajuato.

El hierro disponible presenta relaciones significativas con el pH ( $r=-0.54$ ,  $P<0.01$ ), esta correlación al ser negativa, indica que conforme aumenta el pH del suelo la concentración de hierro disponible disminuye, lo cual concuerda con lo que se menciona en la literatura. También se observa una relación débil, pero significativa con el cobalto ( $r=0.37$ ,  $p<0.01$ ). Aparentemente, solo el pH y el contenido de cobalto influyen en la distribución del hierro disponible. La presencia del hierro y su abundancia en los suelos, depende de varios factores entre los que se puede citar el pH, materia orgánica, arcillas; el Fe se asocia con otros metales formando quelatos, principalmente en suelos ricos en materia orgánica, o bien se encuentra en forma de óxidos e hidróxidos (Kábata - Pendias y Pendias, op. cit.).

CUADRO 5 Valores promedio en mg/kg de metales pesados totales para suelos de uso agrícola. Datos tomados de Alloway (op. cit.) y de Kabata - Pendias y Pendias (op. cit.).

METAL	GRUPO I NIVEL BASAL	GRUPO II NIVEL MEDIANO ACEPTABLE	GRUPO III POR ARRIBA DEL NIVEL MÁXIMO PERMISIBLE
FIERRO	NO HAY DATOS	NO HAY DATOS	NO HAY DATOS
ZINC	1.0 - 70	70.1 - 300	> 300
PLOMO	0.2 - 20	20.1 - 100	> 100
CROMO	5.2 - 55	55.1 - 100	> 100
NÍQUEL	0.0 - 20	20.1 - 100	> 100
COBRE	0.0 - 50	50.1 - 100	> 100
CADMIO	0.0 - 1.0	1.1 - 3	> 3
COBALTO	0.5 - 25	25.1 - 50	> 50
MANGANESO	0.0 - 500	500.1 - 1000	> 1500

## ZINC

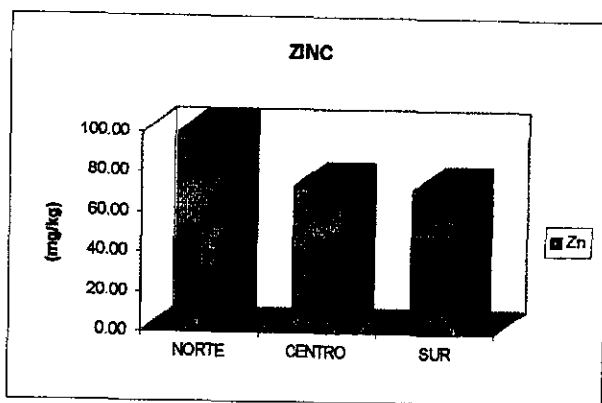
En los suelos la presencia de zinc es abundante, sobre todo por que este es incorporado por el material de la roca madre, una fuente antropogénica que aporta zinc al suelo puede ser la utilización de spray o acero galvanizado (Alloway, op. cit.).

En la zona de estudio las concentraciones de zinc total (cuadro 5), en todas las muestras de suelo superficial se encuentran en niveles permisibles, el valor más alto se registra en el sitio 28 (189.5 mg/kg), y el sitio 50 (186.5 mg/kg), ambos sitios se encuentran en la zona cercana al Río Los Gómez (sitio 50), y otro cerca de la Presa El Mastranzo (sitio 28), muy cerca de la Ciudad de León (Figura 3), los sitios: 49, 69, 81, 54, 63 y 55, registraron concentraciones entre 121.5 mg/kg y 151.5 mg/kg (Cuadro 4), valores muy altos, y también se ubican en la zona cercana a la Ciudad de León, en la zona de estudio con diferencias significativas respecto a los demás sitios.

El sitio 37B Noria de vueltas presentó la menor concentración de zinc (36.5 mg/kg), (Cuadro 4), aún cuando pertenece a la región norte, esto se debe que al no estar lejos de vías de ferrocarril, carreteras o cuerpos de agua que pueden acarrear materiales (Figura 3). En la región norte se encontró el promedio de mayor concentración de Zn total (99.79 mg/kg), la menor concentración se presentó en la región sur (71.92 mg/kg), (Gráfica 8).

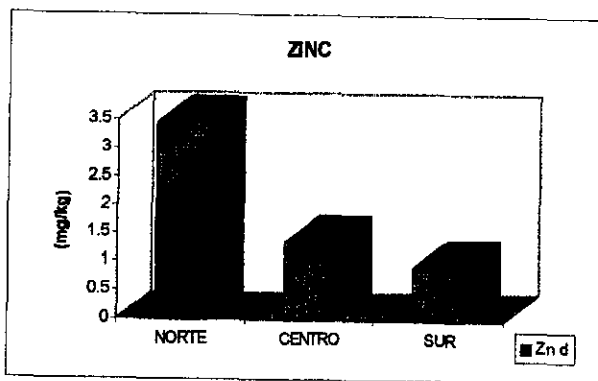
El zinc no presentó alguna correlación significativa con las propiedades físico - químicas de suelo, ni con otros metales en el presente trabajo, lo que indica, que aparentemente dichas propiedades no están influyendo sobre la distribución y abundancia de Zn, y la distribución es independiente de cualquier otro metal.





Gráfica 8.- Promedio de la concentración en mg/kg de Zn total en muestras superficiales de suelo en el Valle de León, Estado de Guanajuato.

La concentración más alta de zinc disponible se registra en el sitio 50 (11.64 mg/kg) y el valor más bajo en el sitio 132 (0.38 mg/kg), (cuadro 3), los sitios de la región sur de la zona de estudio presentaron la menor cantidad promedio de zinc disponible (0.93 mg/kg), y la mayor concentración promedio de este elemento se presenta en la parte norte de la zona de estudio (3.43 mg/kg), (Gráfica 9), la mayor disponibilidad de Zn fue en los sitios cercanos a la Ciudad de León y los cauces de los ríos próximos a la Ciudad, lo que habla de la incorporación a los suelos por actividades antropogénicas y el transporte de este elemento en el agua residual.



Gráfica 9.- Promedio de la concentración en mg/kg de Zn disponible en muestras superficiales de suelo en el Valle de León, Estado de Guanajuato.

La distribución del zinc disponible en esta zona resulta en grupos con concentraciones semejantes (figura 9), (C.V.= 1.09), el porcentaje de asimilación de la región norte fue 3.57%, en la región centro 1.87% y en el sur 1.35%.

En relación con el grado de asociación presente entre el zinc disponible con las propiedades del suelo, se detectó una relación significativa entre el zinc y los porcentajes de arcillas ( $r=0.3$ ,  $P<0.05$ ), lo cual indica que la disponibilidad del zinc depende de la presencia de las arcillas, y estas favorecen la adsorción de zinc para los suelos de estos sitios y la retención de minerales por las interacciones que ocurren en la solución del suelo (Evans, 1983).

## PLOMO

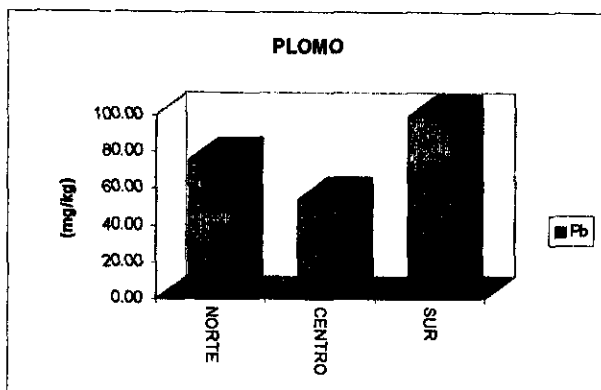
Se debe considerar, que es de los elementos más difíciles de contrarrestar y de los contaminantes más tóxicos, ya que en los suelos se acumula, tiene poca solubilidad, resistencia a los ácidos y una baja tasa de corrosividad o desintegración por microorganismos, solo una parte es transportado por la lluvia, por eso se debe considerar al suelo como uno de los principales lugares de depósito de este elemento. Es importante señalar, que este elemento también es abundante en sitios cercanos a carreteras, industrias y fundidoras por ello permanece sin cambios a lo largo de la cadena de alimentación, hasta que llega a ser consumido por los humanos (Alloway, op. cit.).

Entre las fuentes naturales de plomo se encuentran el intemperismo de las rocas y las emanaciones de volcanes. Frecuentemente, se asocia con algunos elementos como el zinc, cobre, cadmio y hierro.

Las fuentes antropogénicas, son principalmente la fabricación de acumuladores y baterías, pigmentos, insecticidas, explosivos, reactivos químicos, soldaduras, aditivos antidetonantes para gasolina, alfarería decorativa vidriada en hoja metálica y en barro, cubiertas para proteger de los rayos X y tuberías durante la extracción, fundición y refinación, sino también durante otros procesos como la combustión de hidrocarburos fósiles, el procesamiento de minerales metálicos no ferrosos y por su uso en aditivos para la gasolina (Alloway op. cit.).

La mayor concentración de plomo se encuentra en el sitio 28 (184.75 mg/kg), (Cuadro 3), cercano a la Presa El Mastranzo, al sur de la Ciudad de León (Figura 3), ésta diferencia en la distribución puede deberse entre otras cosas a la actividad humana en las regiones cercanas a los sitios, como son la presencia de carreteras, la combustión de hidrocarburos, o bien al uso de pesticidas, por otro lado la actividad industrial de la Ciudad de León, se basa principalmente en el tratamiento de pieles y algunos de los procesos, sobre todo durante el teñido utilizan tintes, que pueden aportar plomo a las aguas residuales y ser transportado a las zonas de riego.

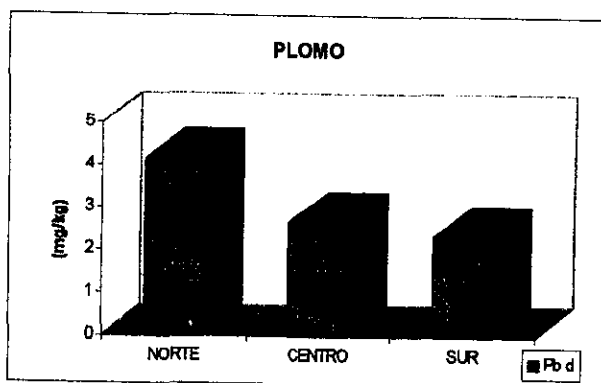
Los sitios localizados en la parte central de la zona de estudio, presentaron el promedio de la concentración más bajo en plomo (53.52 mg/kg), los sitios de la zona norte (75.44 mg/kg), mientras que los sitios localizados en la zona sur del valle de León en la parte cercana al río Turbio, presentan las concentraciones más altas de plomo (99.49 mg/kg), (Gráfica 10).



Gráfica 10.- Promedio de la concentración en mg/kg de Pb total en muestras superficiales de suelo en el Valle de León, Estado de Guanajuato.

Al realizar el análisis de correlación múltiple, se encontró que para este elemento y para este tipo de muestras, no hubo relación significativa entre los diferentes metales y las propiedades físico - químicas del suelo, por lo que en la distribución superficial y horizontal del plomo total en la zona de estudio no influyeron otros metales, ni las características físicas y químicas del suelo, este resultado es contrario a lo que reporta la bibliografía, ya que se ha visto asociación con la CICT, materia orgánica y pH (Murray, Op. cit).

La concentración de plomo disponible en la zona de estudio refleja que la distribución del elemento es en grupos (C.V.= 1.14). En la región sur de la zona de estudio se detecta la menor concentración de plomo disponible (2.33 mg/kg). Lo que indica, que la disponibilidad de plomo va disminuyendo hacia el sur de la zona de estudio (Gráfica 11).



Gráfica 11.- Promedio de la concentración en mg/kg de Pb disponible en muestras superficiales de suelo en el Valle de León, Estado de Guanajuato

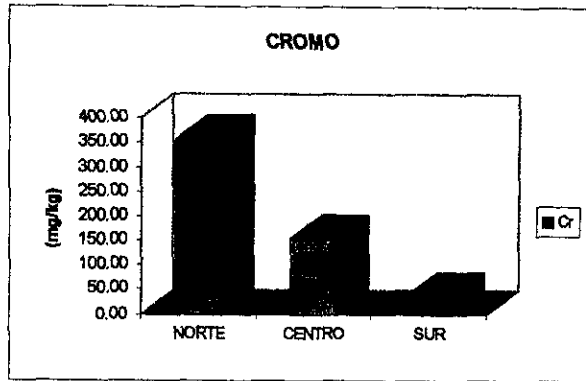
La mayor concentración de plomo disponible se detectó en el sitio 55 (28.03 mg/kg) (Cuadro 3), muy cerca de la Ciudad de León, cerca del cauce del Río León (figura 3). En esta misma región se encuentran otros sitios con altas concentraciones de plomo disponible, con concentraciones entre 4.43 y 5.92 mg/kg, la disponibilidad de plomo es mayor en el norte (5.99%) y centro (5.74%) y la menor disponibilidad se presentó en el sur (3.45%).

La movilidad del plomo depende de diferentes factores entre ellos el pH y la presencia de arcillas (Alloway, op. cit.), aunque en las muestras estudiadas, solo se encontró relación significativa entre el plomo y el zinc ( $r=0.43$ ,  $P<0.01$ ), y el cadmio ( $r=0.29$ ,  $P<0.05$ ), lo que indica que existe influencia del zinc y del cadmio en la disponibilidad de plomo en el suelo.

## CROMO

Las actividades industriales de la Ciudad de León son, principalmente, referentes a la curtiduría de piel de animales, lo que involucra el uso de sales de cromo en los procesos de curtido, que a su vez ha provocado el incremento de este elemento en los cuerpos de agua residual procedente de la Ciudad. Se detectan problemas de contaminación con cromo en suelos que han tenido periodos prolongados de riego con aguas residuales, tanto domésticas como industriales (Kabata - Pendias y Pendias, op. cit.).

Los sitios que se localizan en la región centro tienen un promedio de concentración superior al normal (153.75 mg/kg), la región sur de la zona de estudio (35.48 mg/kg) presentó el contenido más bajo de este elemento, la región norte (358.0 mg/kg) presentó el promedio de concentración más alto de toda la zona (Gráfica 12).



Gráfica 12.- Promedio de la concentración en mg/kg de Cr total en muestras superficiales de suelo en el Valle de León, Estado de Guanajuato

La mayor parte de los sitios están por debajo del valor considerado como límite máximo permisible (cuadro 5). Sin embargo, la mayor concentración de cromo total, se presentó en el sitio 48 (404.5 mg/kg), (cuadro 4), al sur de la Ciudad de León. El sitio 72 (141 mg/kg), ubicado al Sur de la Presa San Germán (figura 3), se encontró entre los sitios con mayor concentración de cromo (cuadro 4), esto se asocia con el hecho de que, muy cerca de este sitio, se localiza una empresa "Química de México", que maneja sales de cromo, la cual está aportando cantidades importantes de este elemento.

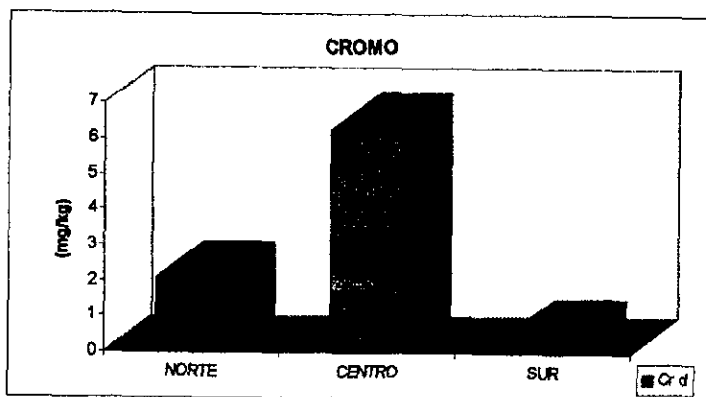
Armienta (op. cit.), reportó concentraciones muy por encima del límite permisible (500 mg/kg), en el presente trabajo se detecta en el sitio 72 (141 mg/kg), más baja que la reportada, pero aún es superior al límite máximo permisible (cuadro 5).

Los sitios 89, 69, 68 y 50 presentaron concentraciones muy por encima de lo considerado como límite máximo permisible, en el último se detectó la concentración la más alta para toda la zona de estudio (587.55 mg/kg), estos son próximos a la Ciudad de León (figura 3), lo que remarca la influencia que ejerce la actividad industrial urbana sobre los suelos cercanos a las zonas de riego con agua de mala calidad, que incorpora cromo entre otros elementos por el curtido de pieles, la fabricación de acero inoxidable, en aleaciones con otros metales, en la fabricación de ladrillos, pigmentos para productos artesanales, para elaborar preservadores de la madera y telas, cintas magnéticas, fungicidas, catalizadores, acabados metálicos, e inhibidores de la corrosión de metales (Alloway, op. cit.).

En el análisis de correlación se observa una relación significativa del cromo con la materia orgánica ( $r = 0.46$ ,  $p < 0.01$ ), lo que indica que el cromo se asocia con la materia orgánica y cuando existen suelos ricos en materia orgánica, existe la posibilidad de que estos incorporen una mayor cantidad de cromo.

El promedio de la distribución del cromo disponible en las distintas regiones (Gráfica 13), tiene diferencias importantes, en donde el coeficiente de variación (C.V. = 1.65) indica que la distribución de Cr disponible a lo largo de la zona de estudio es irregular. La concentración más alta fue en el sitio 89 (60.31 mg/kg) (cuadro 3), este se localiza en la intersección del río León con el río Santiago (figura 3). La concentración más baja de cromo disponible es en el sitio 214 (0.15 mg/kg), en la región sur (figura 3); la mayor parte de los sitios presentaron concentraciones por abajo de 1 mg/kg, que no se consideran de riesgo hacia una toxicidad, ya que Alloway (op. cit.) sugiere que para considerar un suelo contaminado por Cr disponible, debe tener más de 1 mg/kg. la mayor disponibilidad de Cr es en la región norte (4.38 %), el menor porcentaje de disponibilidad fue en el centro (2.15%) y sur (1.44%).

El análisis de correlación indicó una relación significativa entre el cromo y el cobre disponibles ( $r=0.31$ ,  $P<0.05$ ), así como con el manganeso disponible ( $r=0.30$ ,  $P<0.05$ ), por lo que los suelos que contienen cromo tendrán altas concentraciones de cromo y manganeso.



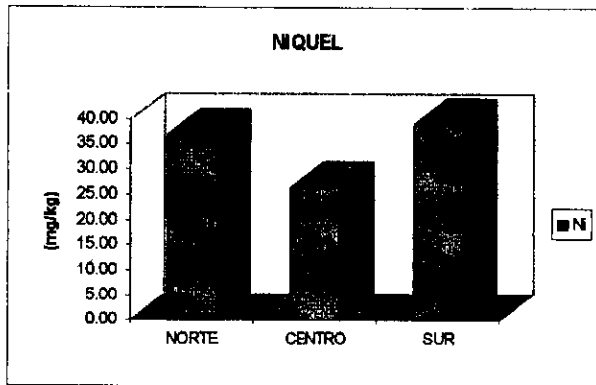
Gráfica 13.- Promedio de la concentración en mg/kg de Cr disponible en muestras superficiales de suelo en el Valle de León, Estado de Guanajuato.

## NÍQUEL

El contenido de Ni al igual que el de Co y Fe en la tierra proviene principalmente del material parental, se incrementa de acuerdo al pH que presente el suelo, si la acidez del suelo, disminuye la concentración de níquel, las concentraciones más altas de este elemento, se encuentran en suelos ricos en arcillas, la presencia de este elemento, depende de los procesos de formación del suelo y de las actividades humanas, a partir de la industria procesadora de metales, la combustión del carbón y gasolina, así también la aplicación de lodos residuales y algunos fertilizantes fosfatados pueden ser una fuente importante de níquel en el suelo (Alloway, Op. cit.).

El análisis de varianza que se aplicó a las muestras superficiales de suelo; mostró que los sitios presentan diferencias significativas, el sitio 150B, 81, 54, 83, 50, 121 y 28 (cuadro 4), registraron las concentraciones más altas de níquel (entre 46 mg/kg y 59 mg/kg), y se encuentran dentro del valor reportado como aceptable (Cuadro 5), para considerar a la zona sin problemas de toxicidad.

El mayor promedio de la concentración de níquel total se localizó en la región sur (38.92 mg/kg) y norte (37.05 mg/kg) del Valle de León (Gráfica 14), con lo que se puede decir que en esta zona se registró la mayor influencia en el uso de agua de riego, puesto que en otros elementos se ha detectado la mayor concentración con respecto a los otros sitios, en la región sur, la presencia de níquel puede deberse a las prácticas culturales que se ejerzan en las zonas de cultivo, tales como la fertilización excesiva, o el contenido del material parental, o a los altos porcentajes de materia orgánica, que facilita la adsorción de Ni (Alloway, Op. cit.).

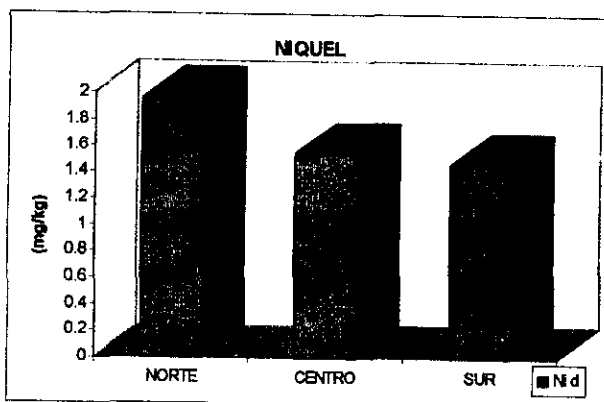


Gráfica 14.- Promedio de la concentración en mg/kg de Ni total en muestras superficiales de suelo en el Valle de León, Estado de Guanajuato.

En el análisis de correlación aplicado registró una relación significativa con los  $\text{CO}_3$  ( $r=0.49$ ,  $P<0.01$ ), lo que implica, una relación directa entre el incremento en contenido de níquel, y el porcentaje de  $\text{CaCO}_3$ , lo que implica la posible adsorción del Ni en los  $\text{CO}_3$ .

La presencia de este elemento de manera disponible en los suelos analizados se distribuye heterogéneamente a lo largo de la zona de estudio (C.V.= 0.39), el contenido más alto se encontró en la zona norte (1.95 mg/kg), (Gráfica 15). La menor concentración de níquel disponible se registró en la región sur (1.46 mg/kg).

En el análisis de correlación, se registran relaciones débiles, pero significativas del níquel disponible con la materia orgánica ( $r=0.37$ ,  $P<0.01$ ), la capacidad de intercambio catiónico ( $r=0.42$ ,  $P<0.01$ ), y con el zinc ( $r=0.52$ ,  $P<0.01$ ), lo que sugiere que en parte la presencia de níquel en los suelos se debe a la formación de complejos con el zinc, por otra parte se observó una relación significativa con los limos ( $r=0.31$ ,  $p<0.05$ ), la solubilidad de níquel en el suelo depende principalmente del pH y la capacidad de intercambio catiónico, también va a influir en la presencia y movilidad de este elemento en el suelo la fracción mineral del suelo, la que está estrechamente relacionada con la movilidad de nutrientes en el suelo por sus características químicas y la capacidad para retener iones, lo que puede propiciar la retención y movilización de nutrientes en el suelo (Hivel, Op. cit.; Hickey, 1984; Alloway, Op. cit.).



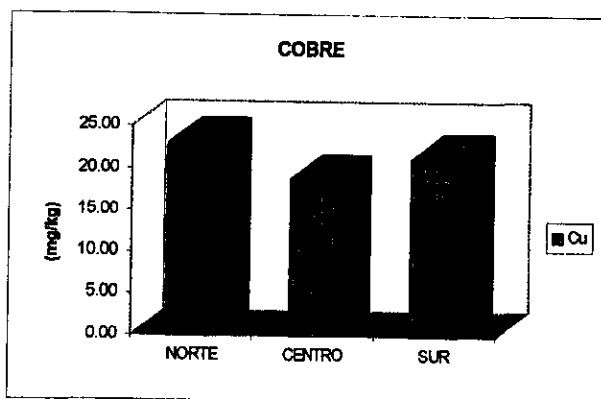
Gráfica 15.- Promedio de la concentración en mg/kg de Ni disponible en muestras superficiales de suelo en el Valle de León, Estado de Guanajuato

## COBRE

En la actualidad la presencia de cobre en los diferentes ecosistemas, ha sido comparada con el plomo, ya que en muchos lugares se superan las concentraciones normales de cobre debido a las diferentes actividades humanas, entre las que se encuentran la aplicación extensiva de fungicidas a partir de una mezcla de sulfato de cobre con carbonato de calcio (Mezcla de Burdeos), la cual es asperjada sobre las plantas, en algunas partes del mundo aporta cantidades importantes de cobre a niveles considerados como tóxicos, así también se ha detectado la acumulación de cobre por la aplicación de fertilizantes, la utilización de lodos residuales y el riego de zonas agrícolas con aguas residuales, por otra parte las emisiones de diferentes actividades industriales han aportado cobre a los suelos y sedimentos, se ha observado que en los sedimentos de los puertos, se registran cantidades importantes de cobre (Rechcigl, 1995).



El cobre en la zona de estudio se encuentra distribuido de manera heterogénea de acuerdo con el análisis de varianza, el sitio 37B, presentó la concentración más baja de cobre total (7.0 mg/kg), (Cuadro 4), la mayor concentración se presentó en el sitio 28 (54.50 mg/kg), por lo que se encuentra en el grupo II mediano o aceptable (Cuadro 5), los demás sitios presentaron concentraciones menores a 40 mg/kg (cuadro 3), por lo que la concentración es incluida en grupo I nivel basal (Cuadro 5), por lo que se considera a la zona como no contaminada por este elemento. El promedio más alto en la concentración de cobre total, se presentó en la zona norte (22.98 mg/kg), el menor promedio de la concentración de Cu total se encontró en la zona centro (18.81 mg/kg), (Gráfica 16).

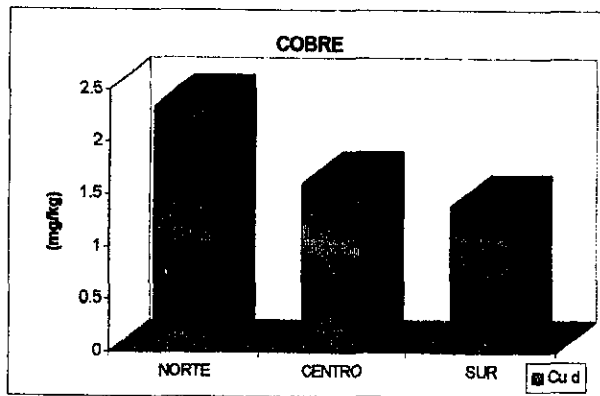


Gráfica 16.- Promedio de la concentración en mg/kg de Cu total en muestras superficiales de suelo en el Valle de León, Estado de Guanajuato.

Al aplicar el análisis de correlación a las muestras de suelo se detectó que existe una correlación, entre el Cu total con arcillas ( $r=-0.25$ ,  $p<0.01$ ), CICT ( $r=-0.45$ ,  $p<0.01$ ), en donde se observa una relación inversa entre estas dos propiedades, ya que al disminuir éstas, la concentración de cobre se incrementa, la relación con las arenas ( $r=0.43$ ,  $p<0.01$ ), es directa ya que al aumentar los porcentajes de arena y al existir una serie de interacciones con la parte orgánica del suelo y con la parte mineral, los niveles basales de cobre en el suelo se adsorben al obtenerse principalmente por el aporte de la roca madre y procesos de formación del suelo.

La distribución del cobre disponible en la zona, es ligeramente homogénea (C.V. = 0.85), con una tendencia a formar grupos a lo largo de la zona de estudio, el sitio 55 (11.42 m/kg), y 89 (6.11 m/kg), presentaron las mayores concentraciones de este elemento (cuadro 3), los menores valores de cobre se registran en el sitio 37B (0.53 m/kg); 150A (0.66 m/kg) y 150B (0.61 m/kg), estos dos últimos se localizan en la zona sur de la zona de estudio (figura 3), lo que indica que el grado de disponibilidad de cobre es mayor en la parte norte de la zona de estudio (Gráfica 17).

El análisis de correlación, denotó una relación negativa y significativa entre el cobre disponible y las arcillas ( $r=-0.40$ ,  $p<0.01$ ), y con la capacidad de intercambio catiónico ( $r=0.30$ ,  $p<0.05$ ), con lo que se ve que en los suelos superficiales van a estar influidos por las arcillas y la capacidad de intercambio iónico para la disponibilidad de cobre en toda la zona, se observa que los suelos con porcentajes bajos en arcillas y valores bajos en capacidad de intercambio catiónico presentan las concentraciones más altas de cobre (Cuadros 2 y 3) se asocia y adsorbe principalmente a partículas finas de suelo. Este elemento en los suelos, tiende a ser muy soluble en medios ácidos, lo cual le permite ser muy móvil en medios con pH ácidos, además que, al cobre se le considera, uno de los elementos más móviles entre los metales pesados (Kábata - Pendias y Pendias, Op. cit).



Gráfica 17.- Promedio de la concentración en mg/kg de Cu disponible en muestras superficiales de suelo en el Valle de León, Estado de Guanajuato

Este elemento es de los metales que más fácilmente se incorporan en la solución del suelo debido al desgaste del mismo, o bien por la incorporación derivada de actividades humanas, en algunos casos, superando la capacidad de adsorción del suelo. Localmente, una gran variedad de minerales de cobre pueden formar las soluciones del suelo a partir de óxidos, carbonatos básicos, o silicatos ( Mortvedt, Op. cit.).

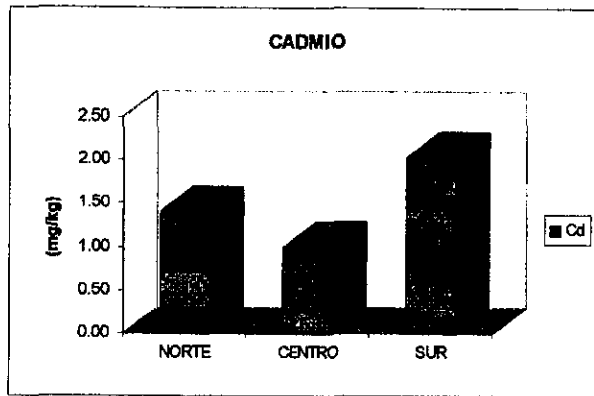
Se observa una correlación significativa con arenas ( $r=0.32$ ,  $p<0.05$ ); en cuanto a otros metales se reporta una relación altamente significativa con el zinc ( $r=0.52$ ,  $p<0.01$ ) y una relación significativa con el cromo ( $r=0.31$ ,  $p<0.05$ ) y con el cadmio ( $r=0.43$ ,  $p<0.05$ ), lo que señala un comportamiento similar de estos metales, en cuanto a su movilidad en el suelo.

## CADMIO

Es un metal relativamente raro, ocupa aproximadamente el lugar 67 en el orden de abundancia. Este elemento no es esencial para funciones biológicas, pero si es altamente tóxico para los animales y plantas (Kábata - Pendias y Pendias, Op. cit.).

Los suelos de la zona de estudio, presentan diferencias significativas entre ellos por el análisis de varianza. Se presentaron niveles basales (Cuadro 5), entre 0.0 mg/kg y 0.5 mg/kg, (Cuadro 4), en lugares alejados de los cuerpos de agua, lo que indica que probablemente su forma principal de depositación es por actividades antropogénicas con la utilización de aguas residuales en el riego agrícola y los fertilizantes fosfatados ya que este elemento, prácticamente no se localiza de manera natural en los suelos (Rechigl, Op. cit.; Alloway, Op. cit.).

La concentración de 1.5 mg/kg, hasta 3.0 mg/kg, se encuentra en el sitio 55 (cuadro 4), cercano al cauce del río Turbio (figura 1), tienen el contenido más alto de cadmio, por arriba del nivel máximo permisible (3.00 mg/kg), (cuadro 5), presentes en el sitio 49 (5.0 mg/kg) y 121 (6.5 mg/kg), (Cuadro 4). Localizados en la región norte y centro de la zona de estudio (Figura 3 y Gráfica 18).



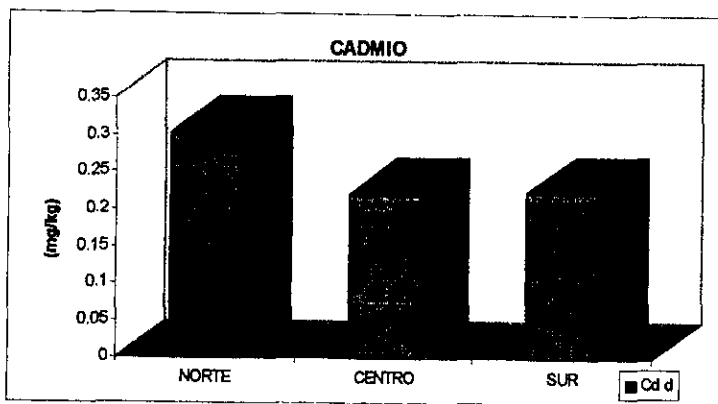
Gráfica 18.- Promedio de la concentración en mg/kg de Cd total en muestras superficiales de suelo en el Valle de León, Estado de Guanajuato.

El análisis de correlación refleja una asociación positiva con el pH ( $r=0.3$ ,  $p<0.05$ ), y con el Zn ( $r=0.39$ ,  $p<0.01$ ), lo cual indica que la movilidad o retención del cadmio se va a determinar entre otras cosas por el grado de acidez de un suelo, por otro lado se observa una asociación directa entre el cadmio con el zinc, y presenta un comportamiento semejante al Zn.

La distribución de cadmio disponible en los suelos de la zona, presentó heterogeneidad en la distribución (C.V. = 0.46), el promedio del contenido más alto se encontró en la región norte (0.64 mg/kg), (cuadro 3), y el más bajo en la región centro (0.22 mg/kg), (Gráfica 19).

El contenido de Cd disponible resultó mayor en la región norte (Gráfica 19), y un contenido de Cd total menor con respecto a la región sur (Gráfica 18), lo que indica que en la región norte existe una mayor movilidad del elemento y en la región sur se retiene más, esto probablemente por la cantidad de materia orgánica de la zona sur, o el empleo excesivo de fertilizantes fosfatados lo que provoca la acumulación, por el contenido promedio actual puede llegar a existir contaminación en el futuro.

La concentración más alta se localizó en el sitio 54 (0.64 mg/kg), y la más baja en el sitio 37B (0.1 mg/kg), los demás sitios se encontraron entre ambos, todos presentaron concentraciones por debajo de 1 mg/kg; las concentraciones más elevadas se presentaron cerca de la Ciudad de León, por lo que ésta es la fuente más importante en la incorporación de metales pesados en el suelo, pues estos se acumulan cerca del origen y siguen un recorrido durante el cual se pierden los metales por que quedan retenidos a lo largo del camino, es por eso que en las partes bajas (zona sur), disminuye la cantidad de los elementos contenidos en el agua empleada en el riego y la disponibilidad de metales en el suelo (Gráfica 19).



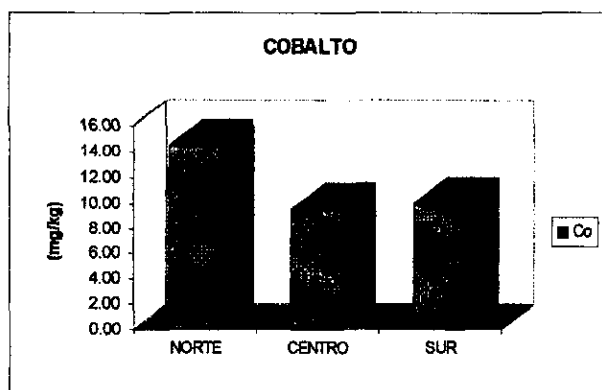
Gráfica 19.- Promedio de la concentración en mg/kg de Cd disponible en muestras superficiales de suelo en el Valle de León, Estado de Guanajuato.

El análisis de correlación para este elemento detecta una relación significativa con el zinc ( $r=0.33$ ,  $P<0.05$ ), plomo ( $r=0.29$ ,  $P<0.05$ ), cobre ( $r=0.43$ ,  $P<0.01$ ) y manganeso ( $r=0.34$ ,  $P<0.05$ ); no se detecta una asociación entre el cadmio disponible con las propiedades físico-químicas del suelo, lo que refleja un comportamiento parecido entre los elementos mencionados y no existe una influencia aparente de las propiedades del suelo sobre la disponibilidad de cadmio en la región de estudio.

## COBALTO

La única forma natural en la que el cobalto se deposita en los suelos, es por los materiales parentales, de manera artificial, el cobalto se deposita a través de aplicaciones de sales de cobalto en el suelo o fertilizantes tratados con cobalto, se ha visto que este elemento, en condiciones alcalinas es poco móvil (Alloway, Op. cit.).

Estadísticamente el cobalto presentó diferencias significativas entre sitios; el sitio 37B registró la concentración más baja (0.6 mg/kg) y el 63 (24.5 mg/kg) la mayor (cuadro 4). Todos presentaron contenidos que no exceden la concentración límite permisible para éste elemento (50 mg/kg), (Cuadro 5), el promedio mayor de la concentración más alto se presentó en la región norte (Gráfica 20), pero no se puede pensar en que estos suelos actualmente tengan problemas de toxicidad por Co.



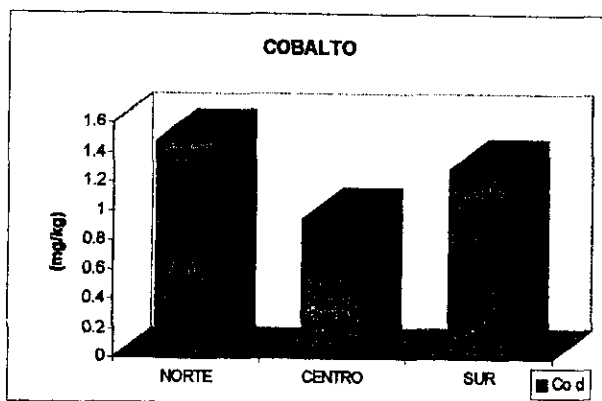
Gráfica 20.- Promedio de la Concentración en mg/kg de Co total en muestras superficiales de suelo en el Valle de León, Estado de Guanajuato.

La distribución y movilidad del cobalto es influida principalmente por la materia orgánica y el porcentaje de arcillas que presente el suelo (Alloway, Op. cit.), aunque, en el presente trabajo, el análisis de correlación, revela solamente una asociación entre el cobalto con:  $\text{CaCO}_3$  ( $r=0.47$ ,  $p<0.01$ ), Ni ( $r=0.41$ ,  $p<0.05$ ) y con Cd ( $r=0.42$ ,  $p<0.01$ ), en donde se observa que las asociaciones anteriores son directas, y que el Co se adsorbe principalmente en la fracción mineral del suelo.

La disponibilidad y movilidad del cobalto en el suelo es de gran importancia, pues se ha visto una asociación directa con el manganeso y, sobre todo, se ha visto la mayor movilidad en suelos con pH bajo. Los suelos ricos en materia orgánica tienden a formar quelatos, que permiten la traslocación de este elemento en el suelo y, por tanto, permite una mayor movilidad del mismo (Kabata - Pendias y Pendias, Op. cit.).

La distribución del cobalto disponible en la zona de estudio es en grupos (C.V. = 0.386), el contenido más alto en los sitios: 150A ( 2.59 mg/kg), 65 (2.39 mg/kg) 70 (2.46 mg/kg). Todos los demás sitios presentan concentraciones por debajo de 2 mg/kg de cobalto disponible, con concentraciones por abajo de la considerada tóxica para los organismos. El contenido más bajo de cobalto disponible en la zona de estudio se registra en el sitio 37B (0.88 mg/kg).

El promedio mayor de la concentración se encontró en la región norte (14.43 mg/kg) y sur (9.92 mg/kg) de la zona de estudio (Gráfica 21).



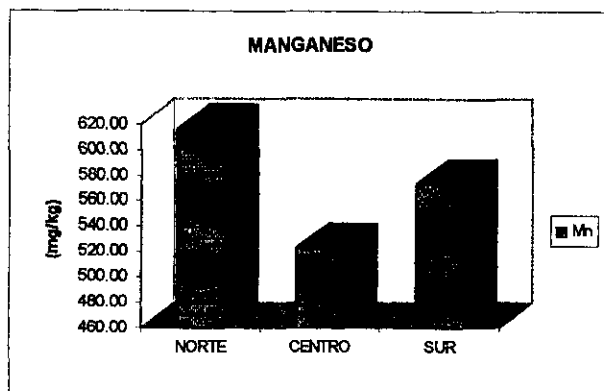
Gráfica 21.- Promedio de la concentración en mg/kg de Co disponible en muestras superficiales de suelo en el Valle de León, Estado de Guanajuato.

El análisis de correlación refleja relaciones significativas entre el cobalto disponible y los carbonatos alcalino - térreos ( $r=0.43$ ,  $P<0.01$ ), los limos ( $r=0.41$ ,  $P<0.01$ ), se observó una relación significativa entre el cobalto disponible y el hierro disponible ( $r=0.37$ ,  $P<0.01$ ) lo que indica que existe cierto grado de adsorción con los carbonatos y limos en la región, la retención y movilización de los minerales en el suelo tiene entre otros factores, reacciones de adsorción, que involucra la fracción mineral del suelo, principalmente arcillas y limos, o bien la interacción con otros minerales y formar reacciones que originan una fase mineral secundaria, originando una secuencia de reacciones en la que los minerales adsorbidos pueden ser precipitados posteriormente por la asociación con otros elementos, o bien pueden ser adsorbidos nuevamente en el suelo (Evans, Op. cit.).

## MANGANESO

El manganeso generalmente se encuentra bien distribuido en los suelos, presenta concentraciones entre los 500 a 600 mg/kg, se relaciona con algunas actividades de la industria metalúrgica, en la extracción de acero, cobre y aluminio, así como en diversas actividades humanas, por otro lado se ha visto que es importante para el buen crecimiento y desarrollo de los vegetales y se asocia con óxidos, carbonatos y silicatos (Rehchigl, Op. cit.).

El Mn total en la zona, presentó el contenido más alto en el sitio 64 (1020.50 mg/kg), y el sitio 56 (875.50 mg/kg), localizados al sur de la Ciudad de León, cerca a las vías de ferrocarril, las que probablemente estén aportando manganeso entre otros metales (figura 3). La menor concentración de Mn se localizó en la región centro, en el sitio 90' y 90'' (295 y 300.05 mg/kg respectivamente), (Gráfica 22).



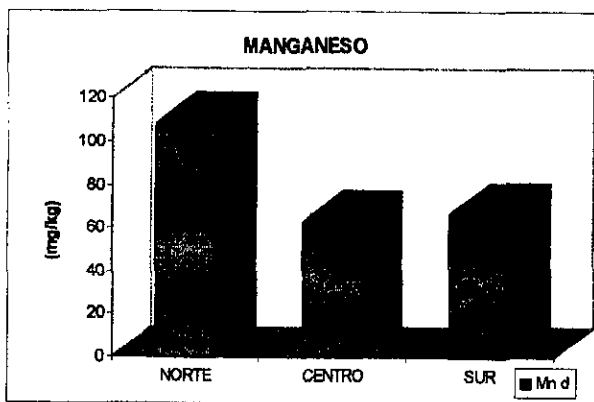
Gráfica 22. - Promedio de la concentración en mg/kg de Mn total en muestras superficiales de suelo en el Valle de León, Estado de Guanajuato

Uno de los principales factores que regulan la solubilidad del manganeso es el pH, y de esto depende la capacidad de asimilación por parte de los vegetales, se ha sugerido que el manganeso se encuentra en los suelos fundamentalmente como óxidos insolubles y estos van a ser adsorbidos por los minerales de arcilla en formas intercambiables (Rehchigl, Op. cit.; Mortvedt, Op. cit.).

De acuerdo con el análisis de correlación aplicado a este elemento, se encontró una relación significativa con los  $\text{CaCO}_3$  ( $r=0.42$ ,  $p<0.01$ ), también se encuentra una relación significativa con el cobalto ( $r= 0.70$ ,  $p< 0.01$ ), ambas relaciones resultan directas, en donde al aumentar cualquiera de ellas, se verá un incremento en el contenido de manganeso.

El manganeso se considera uno de los elementos más solubles en el suelo. La química del manganeso en el suelo es muy compleja debido a los diferentes estados de oxidación y la formación de óxidos no estequiométricos con estados de valencia mezclados; sus óxidos también se encuentran en diferentes estados cristalinos y amorfos, así como en coprecipitados con fierro y otros óxidos. Las deficiencias por manganeso son poco comunes debido a la alta solubilidad mencionada y a las diversas fuentes de incorporación de manganeso a los suelos (Mortvedt, Op. cit.)

La distribución del manganeso disponible en los suelos de la zona de estudio, presenta cierto grado de uniformidad (C.V.= 0.56). La mayor concentración de manganeso disponible en estos suelos se registra en el sitio 28 (322.2 mg/kg), (cuadro 3), en la parte norte de la zona de estudio en las regiones cercanas a la Ciudad de León, este sitio se sale por mucho del promedio de los demás sitios. El sitio que tiene la menor cantidad de manganeso disponible es el 214 (22.66 mg/kg), en la región sur de la zona de estudio (Gráfica 23).



Gráfica 23.- Promedio de la concentración en mg/kg de Mn disponible en muestras superficiales de suelo en el Valle de León, Estado de Guanajuato.

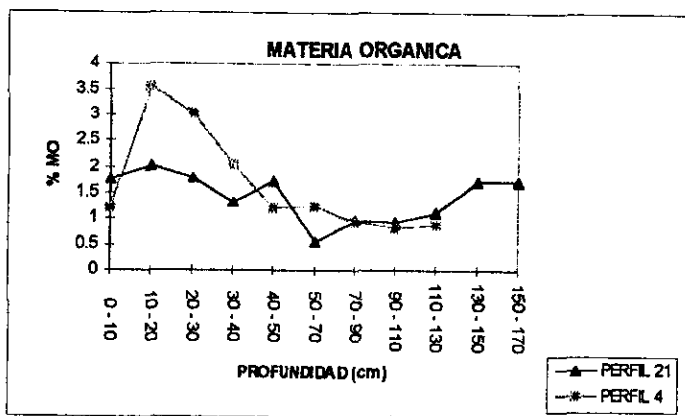


El análisis de correlación refleja una relación significativa entre el manganeso disponible y los carbonatos alcalino - térreos ( $r=0.44$ ,  $P<0.01$ ), el plomo disponible ( $r=0.40$ ,  $P<0.01$ ), asimismo se observa una relación significativa entre el manganeso disponible y el cromo disponible ( $r=0.30$ ,  $P<0.05$ ), el níquel disponible ( $r=0.46$ ,  $P<0.01$ ) y el cadmio disponible ( $r=0.34$ ,  $P<0.05$ ). Se sugiere que la movilidad y biodisponibilidad de un elemento, se relaciona con la forma geoquímica del elemento y con las propiedades físicas y químicas del suelo, pues se ha visto una mayor asimilación en suelos con porcentajes altos de carbonatos (Tessler, 1979).

## CARACTERÍSTICAS DE LOS PERFILES DE SUELO

### MATERIA ORGÁNICA

En los perfiles de suelo los mayores porcentajes de materia orgánica se presentaron en las capas más superficiales (Gráfica 24). También cabe mencionar que la mayor cantidad de materia orgánica se encuentra en el perfil 4, el cual es regado con aguas residuales, por lo que, en buena parte, el aporte de materia orgánica se está dando por el uso de aguas de mala calidad en esa región, el perfil 21 es regado con agua de pozo, pero ambos perfiles se localizan cerca del Río León (Figura 3), el perfil 4 se encuentra muy cerca de la presa San Germán, la cual almacena gran parte de las aguas residuales de la Ciudad de León (Fernández op. cit.).



GRÁFICA 24.- Porcentaje de materia orgánica en perfiles de suelo del Valle de León, Estado de Guanajuato.

El perfil 4 presentó un porcentaje de 3.56% de materia orgánica en la profundidad de 0 a 10 cm (Cuadro 7), en la profundidad de 110 - 130 cm, se registra un porcentaje de 0.88% lo que, con la clasificación mencionada, esta parte del perfil corresponde a suelo pobre en materia orgánica.

En el perfil 21 la profundidad de 0 a 10 cm tiene un contenido de 1.76 %, considerándose como un suelo medianamente pobre; en la profundidad de 10 a 20 cm se nota un ligero aumento, se nota que los porcentajes de materia orgánica del perfil varían con la profundidad, lo cual es una característica de los suelos Vérticos, pues al agrietarse, el suelo superficial llega a mayor profundidad (Cuadro 8).

CUADRO 6

Características físico- químicas de suelo con dos profundidades, en el Valle de León, Estado de Guanajuato. Ver claves de localización en el cuadro 1.

SITIO	PROFUNDIDAD (CM)	M.O (%)	pH suelo:agua 1:2.5	CaCO <sub>3</sub> (%)	CICT cmol(+)kg-1	ARCILLA (%)	LIMO (%)	ARENA (%)	TIPO TEXTURAL
62	0-30	2.05	7.85	3.41	37.57	46.00	36.00	18.00	Arcilla
62	30-75	1.36	8.17	3.20	39.22	46.00	16.00	19.00	Arcilla
72	0-30	1.94	7.90	3.98	25.33	56.00	32.00	12.00	Arcilla
72	30-75	1.28	8.20	5.66	31.70	50.00	36.00	14.00	Arcilla
84	0-30	1.68	7.90	3.28	42.49	52.00	46.00	2.00	Arcillo limosa
84	30-75	1.15	8.20	3.25	35.95	50.00	45.00	15.00	Arcillo limosa

M.O = Materia Orgánica

CICT = Capacidad de Intercambio Catiónico.

### CUADRO 7

Características físico-químicas del perfil de suelo 4, regado con agua residual, en la región del Valle de León, Estado de Guanajuato. Ver claves de localización en el cuadro 1.

PROFUNDIDAD (cms)	pH agua:suelo 1:2.5	M. O. (%)	CICT cmol(+)/kg-1	CaCO <sub>3</sub> (%)	ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)	Clasificación textural
0 - 10	7.94	1.20	45.66	4.05	10	30	60	Arcilla
10 - 20	6.69	3.56	45.66	4.16	10	26	64	Arcilla
20 - 30	7.33	3.03	46.47	4.52	6	28	66	Arcilla
30 - 40	7.74	2.05	46.47	4.16	10	24	66	Arcilla
40 - 50	7.92	1.20	44.84	4.13	8	30	62	Arcilla
50 - 70	7.93	1.24	44.84	4.17	10	32	58	Arcilla
70 - 90	8.06	0.94	46.47	4.67	10	34	56	Arcilla
90 - 110	8.00	0.81	50.55	5.52	12	32	56	Arcilla
110 - 130	8.26	0.88	46.47	7.56	24	50	26	Migajón limoso

### CUADRO 8

Características físico-químicas del perfil de suelo 21, regado con agua de pozo, en la región del Valle de León, Estado de Guanajuato. Ver claves de localización en el cuadro 1

PROFUNDIDAD (cms)	pH agua:suelo 1:2.5	M. O. (%)	CICT cmol(+)/kg-1	CaCO <sub>3</sub> (%)	ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)	Clasificación textural
0 - 10	6.97	1.76	35.87	2.50	16	50	34	Migajón arcillo limoso
10 - 20	6.97	2.02	33.83	2.57	14	44	42	Arcilla
20 - 30	6.98	1.79	35.87	2.62	12	48	40	migajón arcillo -limoso
30 - 40	7.45	1.30	36.69	2.69	10	42	48	Arcilla
40 - 50	7.49	1.71	38.73	2.81	10	42	48	Arcilla
50 - 70	7.61	0.55	35.87	2.74	10	42	48	Arcilla
70 - 90	7.53	0.97	37.50	2.77	14	46	40	Migajón arcilloso
90 - 110	7.47	0.94	33.83	2.00	12	46	42	Arcilla
110 - 130	7.48	1.11	35.61	2.27	10	48	42	Arcilla
130 - 150	7.67	1.71	32.61	2.36	20	46	34	Migajón arcilloso
150 - 170	7.56	1.71	30.16	2.36	20	40	40	Migajón arcilloso

M.O = Materia Orgánica

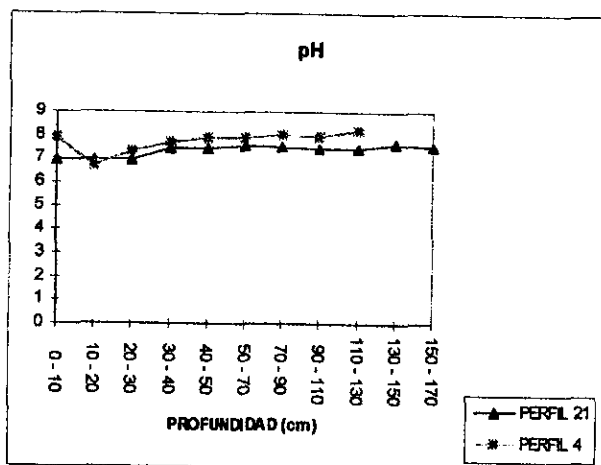
CICT = Capacidad de Intercambio Catiónico.

Como se mencionó en la metodología, se colectaron muestras, con una profundidad de 0 - 30 cm y otras con una profundidad de 30 a 105 cm en el sitio 62 al sur de la Presa Trinidad, de 30 a 75 cm en el sitio 72 al sur de la Presa San Germán y de 30 a 75 cm en el sitio 84 en San Roque de Montes (Figura 3). Estos sitios están muy cercanos a la presa San Germán y se encuentran en regiones adyacentes al Río León. El comportamiento de los diferentes sitios se considera semejante en la proporción de materia orgánica, ya que en las capas superficiales se registran los porcentajes más altos y, en las partes profundas, se ve una disminución de dichos porcentajes. Siendo significativas las diferencias entre estas dos profundidades (Cuadro 6).

La correlación múltiple de los contenidos de materia orgánica en los perfiles de suelo mostró relaciones en el perfil 4 con los contenidos de arcillas ( $r=0.51$ ,  $P<0.05$ ) y limos ( $r=-0.55$ ,  $P<0.01$ ), y de manera inversa con el pH ( $r=-0.95$ ,  $P<0.01$ ), en el perfil 21, hubo relación con el pH ( $r=-0.59$ ,  $P<0.05$ ) y el porcentaje de arenas ( $r=-0.73$ ,  $P<0.01$ ).

### REACCIÓN DEL SUELO (pH)

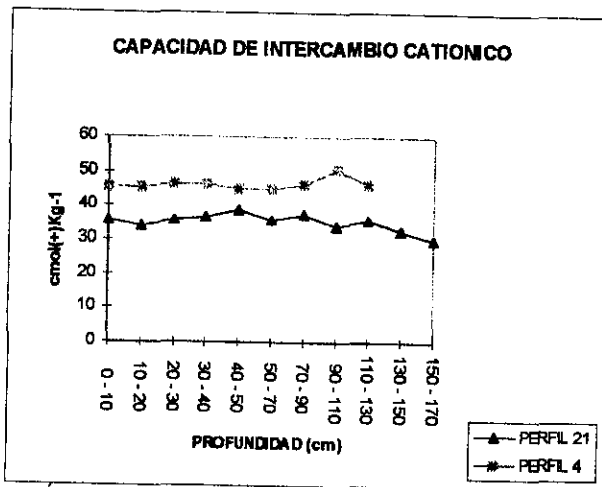
En ambos perfiles, como en las muestras con dos profundidades, los valores del pH oscilaron entre 6.9 y 8.26 (Cuadros 7 y 8), los horizontes superficiales fueron ligeramente ácidos, y fueron más alcalinos conforme aumentó la profundidad (Gráfica 25), las muestras con dos profundidades fueron más semejantes al perfil 4 y no tanto al perfil 21, ésta semejanza se debe a que el perfil 4 pertenece a la misma región geográfica (figura 3) y, además, en esta parte de la zona de estudio se utiliza agua residual para el riego agrícola, en la región del perfil 21, el riego empleado es con agua de pozo, lo cual ha permitido que no se incrementen de manera sustancial la cantidad de sales en el suelo.



GRÁFICA 25.- pH en perfiles de suelo del Valle de León, Estado de Guanajuato.

## CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

La tendencia de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CICT) en los perfiles fue a disminuir conforme aumentó la profundidad, con un ligero incremento en la parte media (Cuadros 6, 7 y 8). El perfil 4 registró mayores valores que el 21, esto se relaciona con el hecho de que el perfil 4 y los sitios 62, 72 y 84, utilizan aguas residuales para el riego, lo que incorporó materia orgánica, algunas sales, lo que propició una mayor movilidad de elementos en el suelo (Gráfica 26)

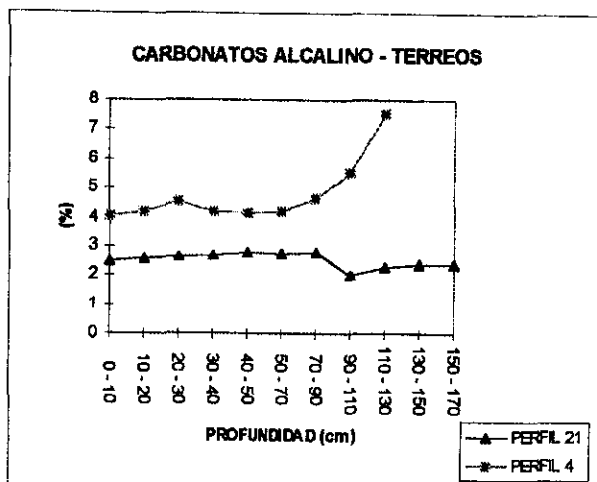


GRÁFICA 26.- CICT en  $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$  en el Valle de León, Estado de Guanajuato.

La CICT presentó una relación positiva y altamente significativa con los carbonatos alcalino térreos ( $r=0.72$ ,  $P<0.01$ ), en el perfil 21. La capacidad de intercambio cationico también reportó una correlación negativa con el pH ( $r=-0.51$ ,  $P<0.01$ ) en el perfil 4, al ser altamente significativa, indica que existe influencia directa de la cantidad de carbonatos en la CICT a lo largo de los perfiles, y una relación inversa entre la CICT y el pH, notando que la CICT está más asociada en la fracción mineral de los suelos, que a la fracción orgánica.

## CARBONATOS ALCALINO - TÉRREOS

La tendencia que se observó en cuanto al porcentaje de carbonatos alcalino - térreos es muy similar en todos los sitios, ya que se notó un ligero aumento y posterior disminución conforme se aumenta la profundidad, excepto en el perfil 4 y en el sitio 72, en los que se notó un marcado aumento y registraron las mayores concentraciones en la partes más profundas del perfil (Cuadros 6, 7 y 8) esto es debido, a la posible lixiviación de las sales, además en el perfil 4 se registraron los valores más altos, con respecto al perfil 21 (Gráfica 27).



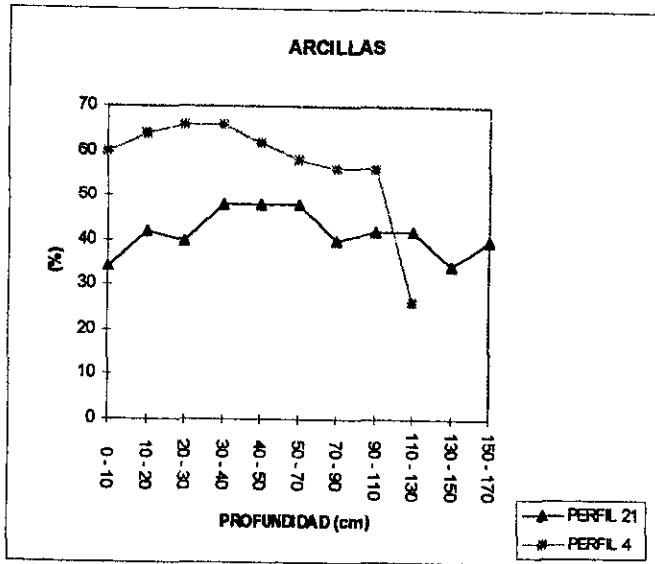
GRÁFICA 27.- Porcentaje de  $\text{CaCO}_3$  en el Valle de León, Estado de Guanajuato.

Esta propiedad presentó una relación significativa con la CICT ( $r=0.72$ ,  $p<0.01$ ), en el perfil 21, con arenas ( $r=-0.91$ ,  $p<0.01$ ), en el perfil 4 ( $r=0.73$ ,  $p<0.01$ ), en el perfil 21, limos ( $r=0.96$ ,  $p<0.01$ ), en el perfil 4, arcillas ( $r=0.93$ ,  $p<0.01$ ), en el perfil 21. Esto significa que, cuando aumentan los valores de  $\text{CO}_3$ , aumenta la capacidad de intercambio catiónico, los porcentajes de limos y arcillas y disminuye la cantidad de arenas.

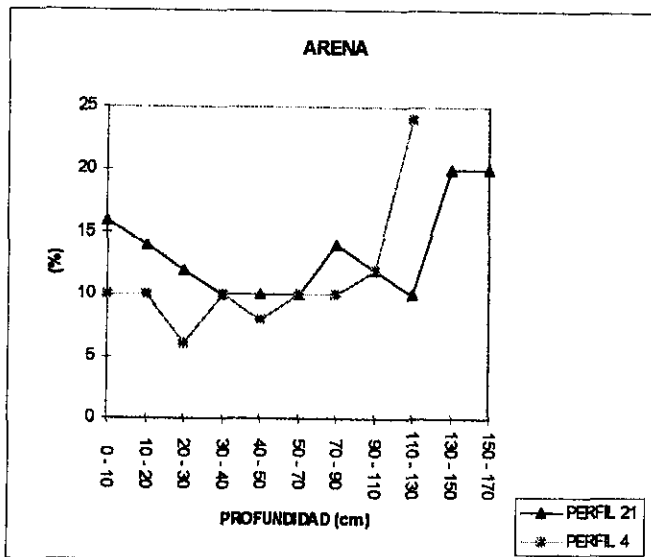
## TEXTURA

La clasificación textural del perfil 4, es de dos clases, arcillas, y migajón limoso (Cuadro 7). En el perfil 21, se encontraron tres tipos texturales diferentes, Arcilla, Franco arcillo limoso, Franco arcilloso (Cuadro 8). De acuerdo a las características de los suelos, éstos corresponden a suelos pesados, aun cuando conservan cierta tendencia a ser más ligeros con la profundidad (Gráfica 29, 30 y 31).

Los sitios 62, 72, mientras que en el sitio 84 se pudo notar que el tipo textural es Arcillo limoso en ambas profundidades (Cuadro 7), al encontrarse estos en la misma zona de influencia que el perfil 4, los tipos texturales son muy semejantes.



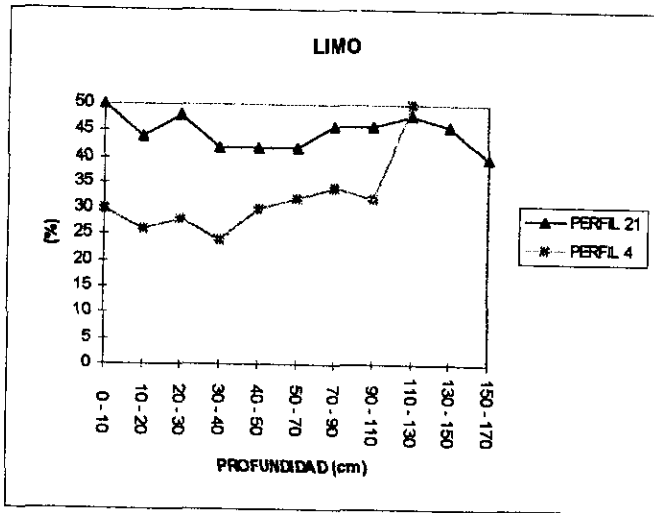
GRÁFICA 28.- Porcentaje de algunas propiedades físicas de perfiles de suelo en el Valle de León, Estado de Guanajuato.



GRÁFICA 29.- Porcentaje de algunas propiedades físicas de perfiles de suelo en el Valle de León, Estado de Guanajuato.



Las asociaciones encontradas con la textura de los perfiles a partir del análisis de correlación, en el perfil 4 se encuentra una relación significativa entre las arcillas y los carbonatos alcalino - térreos ( $r= 0.93$ ,  $P<0.01$ ), así también entre los limos y carbonatos alcalino - térreos ( $r= 0.90$ ,  $P<0.01$ ), arcillas con materia orgánica ( $r= 0.51$ ,  $P< 0.01$ ); en el perfil 21 solo se presenta para este estudio la asociación entre arcillas y materia orgánica ( $r=0.50$ ,  $P<0.01$ ), lo que puede asociarse con la formación de complejos entre la materia orgánica y la parte mineral del suelo ya que en ambos perfiles se registra asociación con la materia orgánica. Un hecho relevante es que la presencia de los tipos texturales ricos en arcillas van a aumentar la capacidad de intercambio catiónico, aunque esto no sucedió en los resultados obtenidos en la correlación múltiple (Tamhane, Op. cit.; Hivel, Op. cit.).



GRÁFICA 30.- Porcentaje de algunas propiedades físicas de perfiles de suelo en el Valle de León, Estado de Guanajuato.

## METALES PESADOS EN PERFILES DE SUELO (DISTRIBUCIÓN VERTICAL).

Se observa que el perfil 4, cerca de la industria de cromatos (Figura 3), presentó las mayores concentraciones en casi todos los metales, excepto cadmio y cobalto, que se presentaron en mayores concentraciones en el perfil 21, San Roque de Torres. Se observó que la concentración de los metales pesados en las diferentes profundidades de ambos perfiles varía, la mayor concentración se presentó en las partes más superficiales del perfil, y conforme aumenta la profundidad disminuye la concentración de metales pesados (Cuadros 10 y 11).

En cuanto a los sitios con dos profundidades, el sitio 84, que se ubica en San Roque de Montes, presentó las mayores concentraciones de Fe, Pb, Cr, Cu y Co, el sitio 72 localizado al sur Presa San Germán (muy cerca del perfil 4) presentaron los contenidos más altos de Zn, Ni, Cd y Mn, el sitio 62, localizado al sur de la Presa Trinidad (Figura 3), registró los contenidos más bajos de metales pesados respecto a los sitios mencionados. Al comparar estos con los perfiles se observó una mayor cantidad de metales totales en el perfil 4 para Fe, Zn y Cr; en el perfil 21 se registraron las mayores concentraciones de Ni y Co, en el sitio 72 más Cd y Mn y en el sitio 84 más Pb y Cu (Gráficas 31 a 39).

El hecho de que los metales disminuyen conforme aumenta la profundidad se puede relacionar con algunas propiedades del suelo, como la materia orgánica, CICT y las arcillas, las cuales disminuyen con la profundidad (cuadros 9, 10 y 11), hechos que se relacionan con la retención y movilidad de los metales en el suelo a partir de la traslocación de estos elementos a través de los diferentes horizontes de un perfil de suelo, se observó que el Pb, Cd y Cu presentaron ligeros incrementos conforme aumentó la profundidad, lo que sugiere la posible migración de este elemento debido a las características físicas y químicas de los suelos tales como materia orgánica, pH, CICT y textura (Allen, et al. 1995; Alloway, Op. cit.).

En el perfil 21 se presentaron algunos metales con bajas concentraciones, debido a que se utiliza para el riego agua proveniente de pozo. En el perfil 4 y los otros sitios, el agua es residual, lo que incrementa las posibilidades de aportar cantidades importantes de metales pesados en el suelo. El perfil 4 y el sitio 72 se localizan muy cerca de la industria de cromatos "Química de México", que es una fuente importante para la incorporación de metales pesados en el suelo, de hecho en estos sitios se registran concentraciones importantes de metales, en especial de cromo.

El análisis de varianza reflejó que existen diferencias significativas en la distribución de metales pesados totales a lo largo de los perfiles de suelo y muestras con dos profundidades, solamente el Cd, Co y Mn no presentaron diferencias significativas.

CUADRO 9

Metales pesados en forma total y disponible en muestras de suelo con dos profundidades, en la región del Valle de León, Estado de Guanajuato. Ver claves de localización en el cuadro 1.

sitio	Prof (cm)	Fe t	Fe d	Zn t	Zn d	Pb t	Pb d	Cr t	Cr d (mg/kg -f)	Ni t	Ni d	Cu t	Cu d	Cd t	Cd d	Co t	Co d	Mn t	Mn d
62	0-30	18 830.00	19.94	66.00	1.65	54.30	2.06	140.00	1.51	24.00	1.61	12.50	1.33	ND	0.25	10.66	1.04	466.50	79.40
62	30-75	19 235.00	14.16	66.00	0.94	106.20	2.45	50.00	1.10	18.50	1.39	11.40	1.51	6.00	0.10	15.50	1.02	479.50	46.10
72	0-30	22 720.00	17.00	103.00	0.72	54.85	1.88	141.00	1.32	41.00	1.73	22.20	1.77	2.20	0.25	13.30	1.09	646.00	86.10
72	30-75	28 125.00	12.69	86.00	0.45	123.85	2.80	59.50	0.77	46.50	1.56	9.20	2.12	3.45	0.34	9.20	1.12	657.50	27.70
84	0-30	28 580.00	20.52	104.50	0.82	81.70	2.39	159.50	1.73	40.00	1.63	24.00	2.05	ND	0.28	11.60	0.86	528.50	49.70
84	30-75	29 230.00	19.51	104.00	0.57	125.30	2.58	50.50	1.16	34.50	1.36	24.00	2.16	7.00	0.33	24.00	0.89	705.50	43.50

t= total

d= disponible

**CUADRO 10**

Metales pesados en forma total en el perfil de suelo 4, regado con agua residual en la región del Valle de León, Estado de Guanajuato. Ver claves de localización en el cuadro 1.

Profundidad (cm)	Fet	Fe d	Zn t	Zn d	Pbt	Pbt d	Cr t	Cr d	Ni t	Ni d	Cu t	Cu d	Cd t	Cd d	Cot	Cot d	Mnt	Mnt d
0 - 10	28,075.00	20.95	114.50	0.68	30.10	2.34	272.00	1.64	46.00	1.29	24.50	1.03	1.00	0.17	9.40	1.15	533.00	82.90
10 - 20	28,946.00	19.65	106.00	0.59	72.66	2.23	234.50	2.04	49.00	1.09	25.00	1.13	0.50	0.21	11.30	1.15	641.00	52.06
20 - 30	29,225.00	17.90	107.00	0.44	26.36	2.12	176.50	1.65	46.00	1.00	26.50	1.43	1.00	0.21	11.00	0.98	728.00	32.08
30 - 40	29,665.00	15.00	104.50	0.36	20.50	2.01	62.50	0.47	47.50	0.76	27.50	1.78	1.00	0.22	10.85	1.02	697.50	20.80
40 - 60	29,390.00	14.75	105.50	0.28	19.95	1.91	44.30	0.34	47.00	0.76	27.50	1.65	1.00	0.22	10.60	0.98	694.50	15.40
60 - 70	29,410.00	17.40	105.50	0.25	18.15	2.23	55.00	0.26	46.50	0.81	29.00	1.20	2.00	0.23	10.85	1.02	659.00	10.80
70 - 90	29,620.00	14.75	107.50	0.27	18.65	2.95	52.00	0.26	49.00	0.81	29.00	1.58	1.50	0.25	9.90	1.26	688.50	14.55
90 - 110	27,795.00	14.50	106.00	0.34	20.85	2.95	55.50	0.26	52.00	1.00	30.00	2.13	1.00	0.26	11.50	1.35	677.60	13.70
110 - 130	22,020.00	7.70	89.50	0.47	36.00	3.40	54.50	0.39	51.00	1.27	26.50	2.42	2.70	0.33	10.00	2.07	698.50	19.98

**CUADRO 11**

Metales pesados en forma total en el perfil de suelo 21, regado con agua de pozo en la región del Valle de León, Estado de Guanajuato. Ver claves de localización en el cuadro 1.

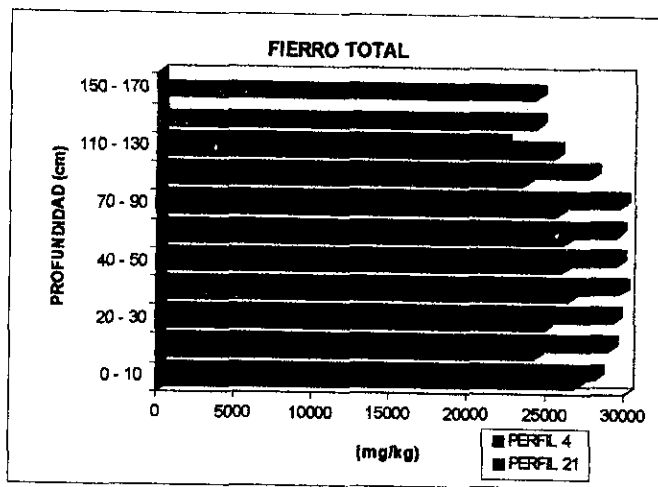
PROFUNDIDAD (cm)	Fet	Fe d	Zn t	Zn d	Pbt	Pbt d	Cr t	Cr d	Ni t	Ni d	Cu t	Cu d	Cd t	Cd d	Cot	Cot d	Mnt	Mnt d
0 - 10	26,800.00	9.60	66.00	0.60	26.36	2.05	20.00	0.19	51.50	1.25	14.50	1.34	1.50	0.16	18.73	1.06	470.00	69.92
10 - 20	24,200.00	9.30	68.50	0.59	21.90	2.20	21.00	0.18	54.00	1.21	15.50	1.37	2.00	0.16	20.30	1.06	491.50	64.23
20 - 30	24,822.00	9.00	59.00	0.57	26.25	1.73	16.00	0.19	50.00	1.32	15.50	1.30	1.50	0.17	16.60	1.09	464.00	65.85
30 - 40	26,342.00	8.00	73.00	0.51	36.66	1.62	12.50	0.19	20.50	1.21	14.45	1.20	6.00	0.16	16.00	0.83	532.50	37.40
40 - 60	25,900.00	7.40	70.00	0.46	4.80	1.73	11.00	0.18	20.50	1.25	13.60	1.13	6.00	0.16	18.00	0.77	497.50	26.01
60 - 70	26,000.00	8.20	70.00	0.57	20.35	1.85	21.50	0.18	34.50	1.47	15.55	1.37	2.85	0.17	7.46	0.86	443.50	34.15
70 - 90	25,555.00	6.00	67.00	0.47	24.35	1.96	23.50	0.13	33.50	1.06	12.55	1.03	2.60	0.17	6.90	0.70	414.00	16.26
90 - 110	23,400.00	8.30	62.50	0.63	27.30	1.96	49.50	0.19	17.50	1.21	11.20	1.16	6.50	0.16	15.50	0.67	460.50	19.51
110 - 130	25,365.00	9.00	68.00	0.51	22.70	1.62	23.50	0.11	32.00	1.14	12.80	1.13	3.50	0.13	5.50	0.70	448.50	13.93
130 - 150	24,220.00	9.64	70.00	0.59	31.35	1.73	25.00	0.22	31.50	1.18	13.35	1.20	3.20	0.13	5.45	0.80	469.00	13.00
150 - 170	24,210.00	9.60	73.00	0.56	41.50	2.08	24.50	0.09	32.50	1.14	13.80	1.09	3.35	0.14	6.35	0.77	448.50	10.00

t = Metales totales

d = Metales disponibles

En términos generales se observa que en los metales disponibles tienden a presentarse en mayor concentración en las capas superiores de los diferentes sitios, excepto el cobalto, plomo, zinc y níquel, presentaron un comportamiento muy parecido al reportado en los metales totales cuadros (9, 10 y 11).

La mayor disponibilidad de metales se detectó en el perfil 4 a excepción del cadmio en la profundidad de 30 - 40 cm, en el perfil 21 es mucho mayor.



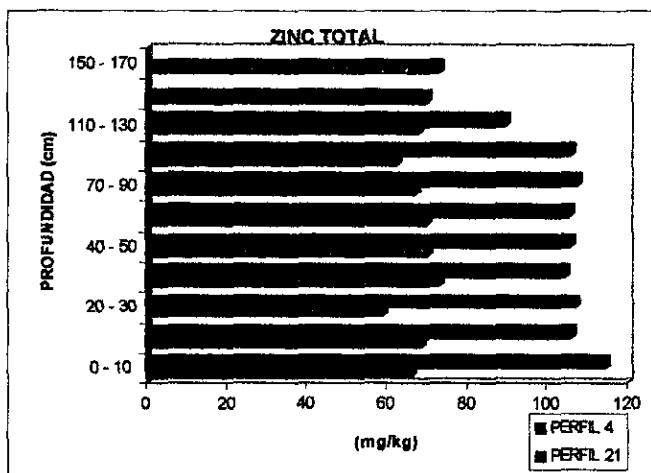
GRÁFICA 31.- Concentración en mg/kg de metales pesados totales en perfiles de suelo del Valle de León, Estado de Guanajuato.

El análisis de correlación múltiple, en el perfil 4, reflejó asociación con el pH con Zn ( $r = -0.69$ ,  $P < 0.05$ ) lo que indica que el pH va a indicar que el pH juega un papel determinante en la movilidad de los elementos en el suelo y estos son retenidos o movilizados, en suelos alcalinos es retenido este elemento y en suelos ácidos es más móvil (Sposito 1982), lo cual concuerda con los resultados obtenidos, ya que en el perfil 4 la capa superficial es más alcalina y la concentración de zinc es mayor, en el perfil 21 al ser ligeramente más ácido la movilidad es mayor. Cu ( $r = 0.73$ ,  $P < 0.01$ ), Co ( $r = 0.64$ ,  $P < 0.01$ ), Cd ( $r = 0.85$ ,  $P < 0.01$ ); M. O con Cr ( $r = 0.59$ ,  $P < 0.01$ ), Cu ( $r =$ ,  $P < 0.01$ ), Cd ( $r = -0.51$ ,  $P < 0.01$ );  $\text{CaCO}_3$  con Fe ( $r = 0.94$ ,  $P < 0.01$ ), Zn ( $r = -0.89$ ,  $P < 0.01$ ), Cd ( $r = 0.68$ ,  $P < 0.01$ ), Ni ( $r = 0.74$ ,  $P < 0.01$ ); CICT con Ni ( $r = 0.82$ ,  $P < 0.01$ ); arcilla con Fe ( $r = 0.94$ ,  $P < 0.01$ ), Cd ( $r = 0.86$ ,  $P < 0.01$ ); limos con Fe ( $r = 0.85$ ,  $P < 0.01$ ) Alloway (Op. cit.), sugirió que el porcentaje de arcilla, limos, los carbonatos y las asociaciones con otros elementos influyen en la disponibilidad de metales.

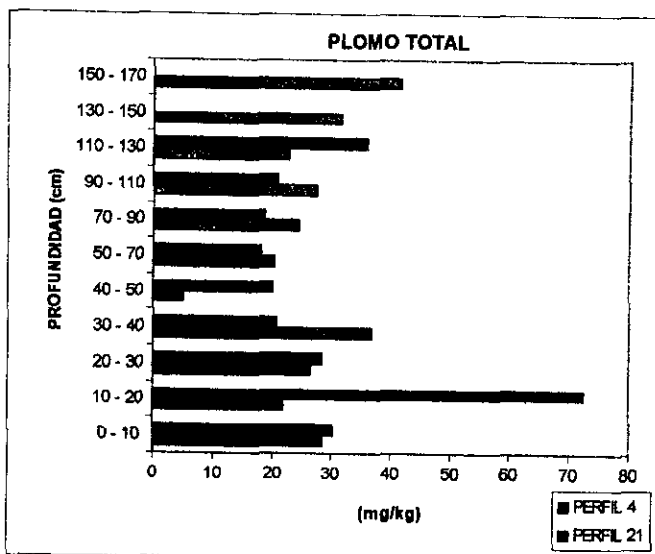
Zn ( $r=-0.89$ ,  $P<0.01$ ); Fe con Zn ( $r=0.79$ ,  $P<0.01$ ), Mn ( $r=0.52$ ,  $P<0.01$ ); Cr con Fe ( $r=0.79$ ,  $P<0.01$ ), Pb ( $r=0.62$ ,  $P<0.01$ ); Ni con Fe ( $r=-0.60$ ,  $P<0.01$ ); Cu con Pb ( $r=-0.63$ ,  $P<0.01$ ), Cr ( $r=-0.81$ ,  $P<0.01$ ); Cd con Zn ( $r=-0.72$ ,  $P<0.01$ ); Co con Fe ( $r=-0.69$ ,  $P<0.01$ ); Mn con Co ( $r=0.67$ ,  $P<0.01$ ), Cu ( $r=0.55$ ,  $P<0.01$ ), en el perfil la concentración de metales en el suelo se vio influida por las arcillas y limos y se favorece por los carbonatos y contenidos de arenas y limos. por lo que la disponibilidad para los vegetales se limita principalmente por la fracción orgánica y fina del suelo y se favorece por la fracción mineral.

El perfil 21 presentó las siguientes asociaciones de manera significativa entre M. O con Zn ( $r=0.53$ ,  $P<0.01$ ), Ni ( $r=-0.79$ ,  $P<0.01$ ), Cd ( $r=0.54$ ,  $P<0.01$ ), Co ( $r=-0.74$ ,  $P<0.01$ );  $\text{CaCO}_3$  con Cr ( $r=-0.71$ ,  $P<0.01$ ); CICT con Pb ( $r=0.67$ ,  $P<0.01$ ); arcilla con Cd ( $r=0.56$ ,  $P<0.01$ ); limos con Zn ( $r=0.84$ ,  $P<0.01$ ); Pb con Cr ( $r=0.62$ ,  $P<0.01$ ); Cr con Zn ( $r=0.67$ ,  $P<0.01$ ); Ni con Cd ( $r=-0.92$ ,  $P<0.01$ ); Cu con Cr ( $r=0.64$ ,  $P<0.01$ ), Ni ( $r=0.66$ ,  $P<0.01$ ), Cd ( $r=-0.58$ ,  $P<0.01$ ); Co con Mn ( $r=0.64$ ,  $P<0.01$ ). Algunos metales están influidos directamente por el contenido de arcillas, asociados a la parte fina del suelo, esto es que en suelos ricos en arcillas los elementos son retenidos y en suelos ricos en limos o arenas son lixiviados en los perfiles de suelo a menos que formen quelatos y permanezca de esta forma en los suelos (como el Fe), pues si existe asociación con otros elementos, los hace más estables en la solución del suelo (Kabata Pendias y Pendias, Op. cit.).

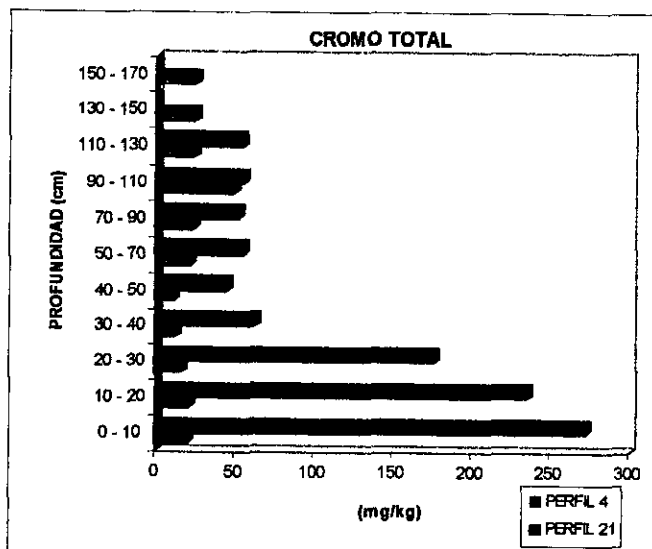
El perfil 21 no presentó una aparente influencia entre algunos metales (Fe, Zn, Pb), lo que indica que la adsorción de estos elementos es independiente de las concentraciones de otros elementos, tampoco algunas de las propiedades del suelo influyeron de manera determinante en la distribución de metales.



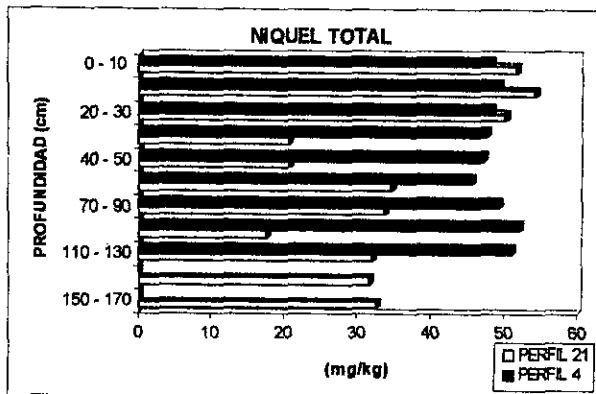
GRÁFICA 32.- Concentración en mg/kg de metales pesados totales en perfiles de suelo del Valle de León, Estado de Guanajuato.



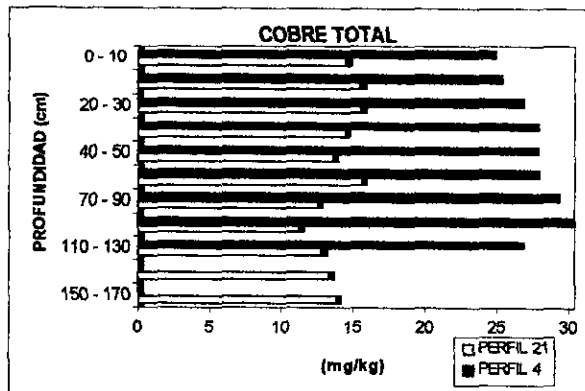
GRÁFICA 33.- Concentración en mg/kg de metales pesados totales en perfiles de suelo del Valle de León, Estado de Guanajuato.



GRÁFICA 34.- Concentración en mg/kg de metales pesados totales en perfiles de suelo del Valle de León, Estado de Guanajuato.

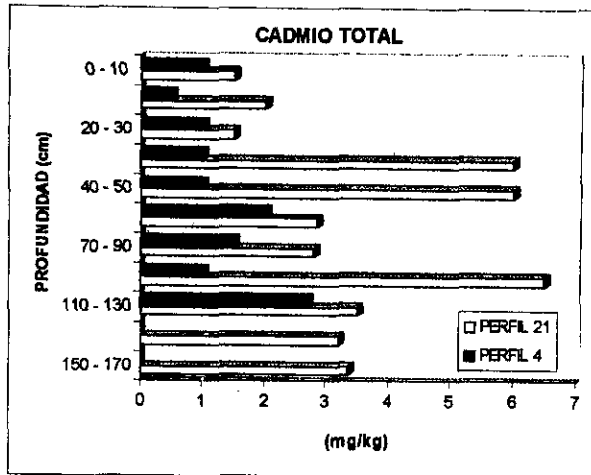


GRÁFICA 34.- Concentración en mg/kg de metales pesados totales en perfiles de suelo del Valle de León, Estado de Guanajuato

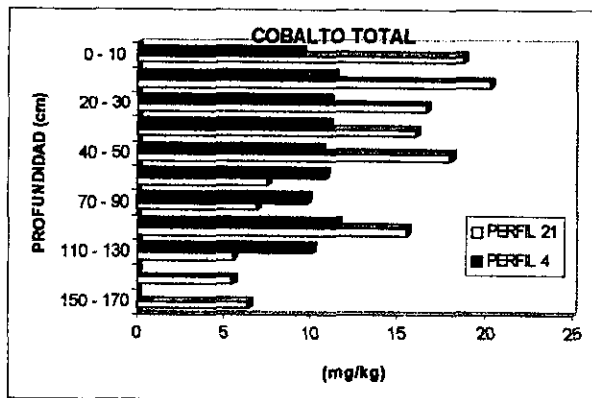


GRÁFICA 36.- Concentración en mg/kg de metales pesados totales en perfiles de suelo del Valle de León, Estado de Guanajuato

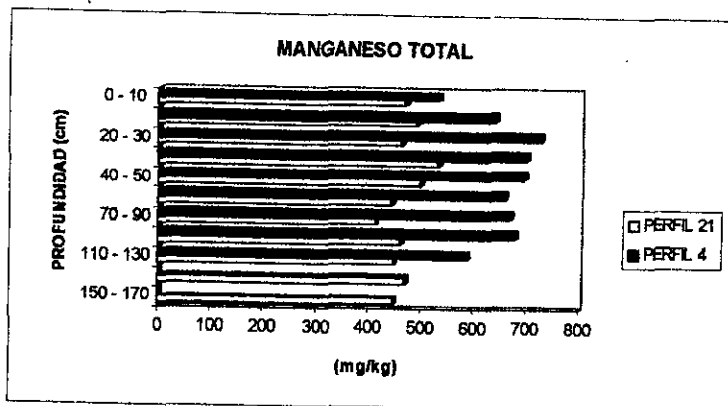




GRÁFICA 37.- Concentración en mg/kg de metales pesados totales en perfiles de suelo del Valle de León, Estado de Guanajuato



GRÁFICA 38.- Concentración en mg/kg de metales pesados totales en perfiles de suelo del Valle de León, Estado de Guanajuato.



GRÁFICA 39.- Concentración en mg/kg de metales pesados totales en perfiles de suelo del Valle de León, Estado de Guanajuato.

## E. CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS DEL AGUA UTILIZADA PARA RIEGO.

La totalidad de las aguas residuales de la Ciudad de León, son desalojadas mediante las descargas a los ríos que cruzan la ciudad, sin que estas tengan un tratamiento previo, en la zona de estudio, con base en los datos de la Secretaría de desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE, 1989), la calidad para las aguas de pozo se encuentra dentro de los parámetros considerados como permisibles (Cuadro 14).

Las muestras de agua colectadas en la zona de estudio presentaron, en todos los casos, temperatura menor a 30° C; el pH menor a 9, aun cuando se observa que en el Río Turbio (Las Maravillas) el valor es de 8.59, muy cercano al límite máximo permisible. En las aguas de canal del sitio Estancia de Vaqueros, el valor de conductividad eléctrica está muy arriba del valor permisible (8002  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ), el sitio el Refugio, y el sitio Río Turbio (5790  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ), (Cuadro 12), por lo que se debe monitorear continuamente el agua y evitar que se incremente el pH y la conductividad eléctrica

## F METALES PESADOS EN EL AGUA DE RIEGO.

La presencia de metales pesados en las aguas residuales puede llegar a tener consecuencias adversas, al ocasionar algunos efectos en los lugares que reciben las aguas y trae como resultado que algunos vegetales lleguen a presentar problemas en su desarrollo, o bien, que estos elementos sean acumulados en alguna parte de los vegetales; para ser introducidos en las cadenas de alimentación, en donde se incluyen las poblaciones humanas e incluso llegar a ser causantes de problemas de salud pública (Vernet. 1991).

Las concentraciones de metales pesados en las aguas de riego se encuentran en mayor proporción en el sitio 56 (Santa Rosa ), que corresponde a una muestra de agua de canal; el sitio 72 (Presa San Germán); el sitio 63 (Santa Rosa) con agua de canal, el sitio 121 (El Tecolote) con agua de río; el sitio 62 ( Estancia de Vaqueros) con agua de canal; el sitio 110 (cerca de Presa de Silva) con agua de pozo (ver cuadro 14). Los valores reportados como permisibles dentro del presente trabajo son con base en la Norma Oficial Mexicana, para riego agrícola, publicados en la NOM - CCA - 032 - ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola; ya que existen valores establecidos para la calidad del agua potable, reportados en la Norma Oficial Mexicana NOM - 127 - SSA1 - 1995. "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano - Límites permisibles de calidad y tratamientos a los que debe someterse", ya que en algunos requerimientos de calidad de agua los vegetales son más tolerante o bien necesitan de algunos nutrientes disueltos sin que estos lleguen a estar presentes en cantidades importantes.

### CUADRO 12

Características físico químicas del agua de riego de la región del Valle de León, Estado de Guanajuato. Ver claves de localización en la figura 3 y cuadro 1.

sitio	LOCALIDAD	pH	CaCO <sub>3</sub> (%)	CE (mmhos/cm)	T°C (°C)
1	CANAL DE AGUAS NEGRAS	7.60	0.88	1.88	21.70
2	SANTA ROSA (AGUA DE CANAL)	7.70	1.78	1.72	24.00
3	SANTA ROSA (AGUA DE POZO)	7.30	0.33	8.02	29.90
4	ESTANCIA DE VAQUEROS (CANAL)	7.80	1.94	3.83	25.70
5	PRESA SAN GERMAN	8.40	8.65	25.40	24.70
6	RIO SANTIAGO	7.40	0.37	0.88	24.60
7	CERCA PRESA DE SILVA (AGUA DE POZO)	6.70	0.08	1.82	25.00
8	LOS ARCOS (CANAL)	8.00	0.25	0.58	24.90
9	EL REFUGIO	7.70	2.35	5.79	24.70
10	RIO TURBIO (EL TECOLOTE)	7.10	2.35	2.35	24.70
11	RIO TURBIO(LAS MARAVILLAS)	8.60	0.14	0.31	24.80

T°C = Temperatura

CE = Conductividad eléctrica.

### CUADRO 13

Concentración de metales pesados solubles, en mg/l en agua residual, en la región del Valle de León, Estado de Guanajuato. Ver claves de localización en la figura 3 y cuadro 1.

sitio	LOCALIDAD	mg/l									
		Fe	Zn	Pb	Cr	Ni	Cu	Cd	Co	Mn	
1	CANAL DE AGUAS NEGRAS	0.299	0.114	0.135	0.162	0.140	0.160	0.001	ND	0.141	
2	SANTA ROSA (AGUA DE CANAL)	0.687	0.131	0.144	0.414	0.020	0.070	0.001	ND	0.116	
3	SANTA ROSA (AGUA DE POZO)	0.856	0.005	0.191	0.166	ND	ND	0.010	ND	ND	
4	ESTANCIA DE VAQUEROS (CANAL)	0.027	0.099	0.198	0.173	0.052	0.021	0.007	0.001	0.007	
5	PRESA SAN GERMAN	0.042	0.155	0.290	0.858	0.166	0.047	0.016	0.001	0.011	
6	RIO SANTIAGO	0.034	0.019	0.103	0.076	0.001	0.002	0.004	ND	0.140	
7	CERCA PRESA DE SILVA (AGUA DE POZO)	0.557	0.015	0.266	0.153	0.015	ND	0.010	ND	0.005	
8	LOS ARCOS (CANAL)	0.048	0.014	0.214	0.157	0.060	ND	0.010	ND	ND	
9	EL REFUGIO	0.629	0.066	0.162	0.126	0.060	0.016	0.010	0.016	0.024	
10	RIO TURBIO (EL TECOLOTE)	0.019	0.010	0.058	0.047	ND	0.001	0.003	ND	0.153	
11	RIO TURBIO(LAS MARAVILLAS)	0.620	0.032	0.096	0.082	0.001	0.010	0.004	ND	0.030	

CUADRO 14.- Valores máximos permisibles de algunos parámetros para agua usada en el riego agrícola.

PARÁMETROS	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	VALORES MÁXIMOS ENCONTRADOS
Temperatura (°C)	35° C	29.9° C
pH ( unidades de pH)	6.5 a 8.5	8.59
conductividad eléctrica (µs/cm)	2,000	8002
FIERRO (mg / l)	5.0	0.687
ZINC (mg / l)	2.0	0.155
PLOMO (mg / l)	5.0	0.266
CROMO (mg / l)	0.1	0.414
NIQUEL (mg / l)	0.2	0.166
COBRE (mg / l)	0.2	0.47
CADMIO (mg / l)	0.01	0.016
COBALTO (mg / l)	no hay datos	0.016
MANGANESO (mg / l)	0.2	0.153

DATOS TOMADOS DEL DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN.

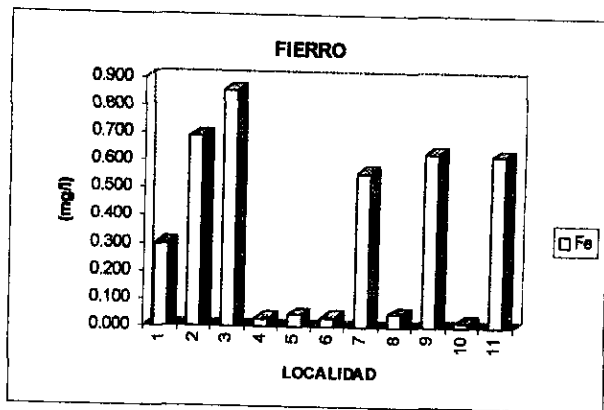
## FIERRO

El hierro en ausencia de oxígeno es bastante soluble es decir, en estado reducido. Cuando se oxida en un ámbito de pH de 7 a 8.5, es completamente insoluble y su concentración se puede reducir con facilidad.

En el agua puede estar presente en forma coloidal, como hierro ferroso, como un compuesto quelatado. La forma coloidal puede removerse por coagulación, floculación y precipitación, o filtración. La forma quelatada puede requerir oxidación del material orgánico para descomponer el quelato de modo que el hierro pueda ser precipitado para su remoción.

En la forma ferrosa, el hierro puede encontrarse en ciertas aguas de pozo a concentraciones tan altas como 25 mg/l en condiciones anaeróbicas. Las condiciones reductoras de las aguas de pozo permiten que el hierro se convierta en soluble, con frecuencia también producen sulfuros. En el tratamiento de muchas aguas municipales que contienen hierro el agua, generalmente, es aereada para que el hierro cambie de forma soluble a una forma férrica (SARH 1984).

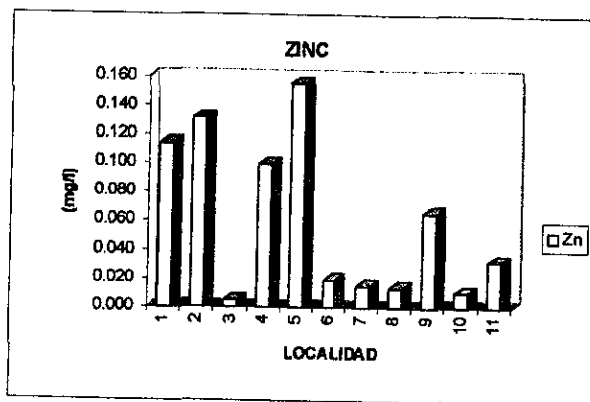
Las mayores concentraciones de hierro se registran en los sitios: Santa Rosa, con agua de canal 0.687 mg/l, en este mismo sitio, en el agua de pozo 0.856 mg/l, Presa de Silva 0.55 mg/l y El Refugio 0.62 mg/l (Gráfica 40); se registran concentraciones muy semejantes entre los sitios, según el valor reportado por la Norma Oficial Mexicana de 1993, el agua puede contener hasta 5 mg/l de hierro, por lo que los valores que se registran en el presente trabajo (Cuadro 13), estuvieron por abajo de lo establecido en la norma (Cuadro 14).



GRÁFICA 40.- Concentración en mg/l de metales pesados solubles en agua de riego del Valle de León, Estado de Guanajuato.

### ZINC

Las concentraciones de zinc en el agua de riego en la zona de estudio, se encuentran dentro de los límites permisibles, pues todas las muestras de agua se mantienen muy por debajo de los 2 mg/l que marca la Norma Oficial Mexicana como valores máximos (Cuadro 14), las mayores concentraciones se presentaron en los sitios: Presa San Germán (0.155 mg/l), (cuadro 13 ), en el que se colectó agua de la presa; el sitio Canal de Aguas Negras, (0.114 mg/l) y el sitio Santa Rosa, con agua de canal (0.131 mg/l), por lo que se refiere a las demás muestras no tienen concentraciones importantes del metal (Gráfica 41).

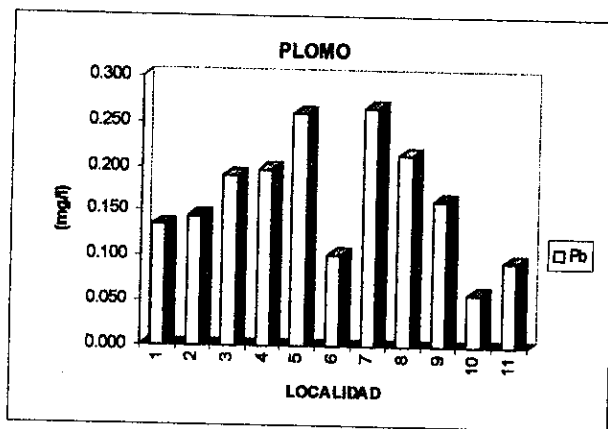


GRÁFICA 41.- Concentración en mg/l de metales pesados solubles en agua de riego del Valle de León, Estado de Guanajuato.

## PLOMO

El hecho de encontrar plomo en los cuerpos de agua indica que existe una importante actividad humana, ya que se generan cantidades importantes de desechos metalúrgicos, o bien puede ser un indicador del grado de deterioro en el que encuentra un cuerpo de agua.

Todas las muestras colectadas presentan valores inferiores a 1.0 mg/l (Cuadro 13 y gráfica 42), por lo que, están muy por debajo de los límites permisibles marcados en la Norma Oficial Mexicana, el cual es de 5 mg/l (Cuadro 14).



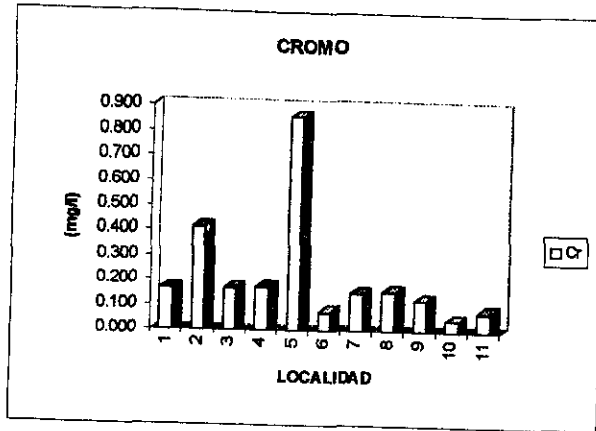
GRÁFICA 42.- Concentración en mg/l de metales pesados solubles en agua de riego del Valle de León, Estado de Guanajuato.

## CROMO

El valor máximo permisible para el cromo en aguas de riego es de 0.1 mg/l (cuadro 14), por lo que la mayor parte de las muestras se encuentran por arriba de este límite (cuadro 13). El sitio 5, Presa San Germán, registra la concentración más elevada de cromo (0.858 mg/l), aún el sitio Santa Rosa, en el que se colectó agua de pozo (para consumo humano), presenta una concentración elevada (0.166 mg/l), (cuadro 14).

Las concentraciones más altas de cromo en el agua de riego se registran en las localidades más cercanas a la ciudad de León; y en algunos sitios cercanos a la presa San Germán, en los sitios: Santa Rosa con agua de canal tiene 0.414 mg/l y 5 Presa San Germán, se reportan los niveles más altos de cromo, como consecuencia los suelos cercanos a estos sitios presentan las mayores concentraciones para este elemento.

Los sitios: Río Santiago con 0.076 mg/l, 10 Río Turbio (El Tecolote) con 0.047 mg/l y 11 Río Turbio (Las Maravillas) con 0.082 mg/l (Gráfica 43), presentaron las menores concentraciones de cromo, ligeramente por debajo de las consideradas como normales, estos sitios corresponden a las muestras de suelo 121 y 150A (Cuadro 1), ubicadas en las regiones bajas del río Turbio tomando como referencia a la Ciudad de León (figura 3).

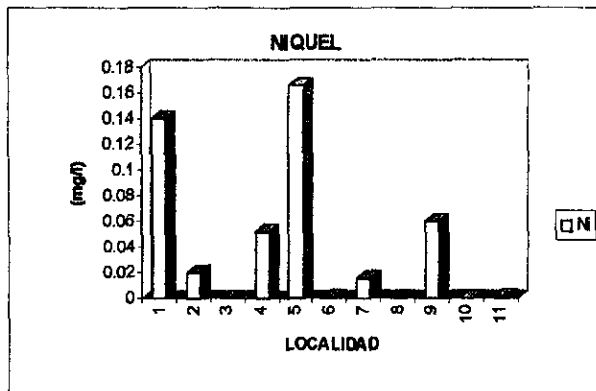


GRÁFICA 43.- Concentración en mg/l de metales pesados solubles en agua de riego del Valle de León, Estado de Guanajuato.

## NÍQUEL

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana, las concentraciones de níquel tienen como límite máximo permisible 0.2 mg/l (Cuadro 14), las muestras colectadas tienen valores por debajo del máximo permisible. Los sitios: 1 Canal de aguas negras y 5 con agua de la Presa San Germán contienen los valores más altos para este elemento (0.14 mg/l y 0.166 mg/l, respectivamente), (Cuadro 13). La presa San Germán presentó contenidos muy cercanos al máximo permisible. En los sitios 3 Santa Rosa con agua de pozo (potable), 8 Los Arcos con agua de canal y 10 Río Turbio no se detectó este elemento (Gráfica 44).

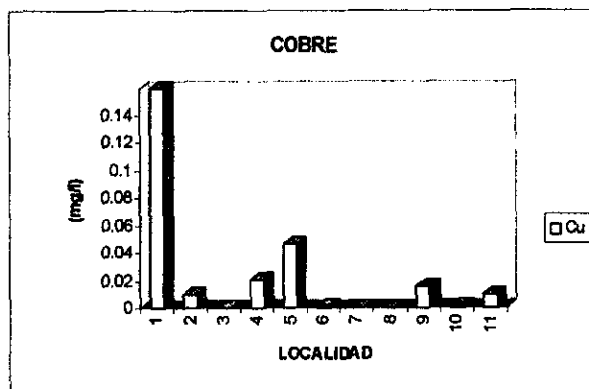




GRÁFICA 44.- Concentración en mg/l de metales pesados solubles en agua de riego del Valle de León, Estado de Guanajuato

### COBRE

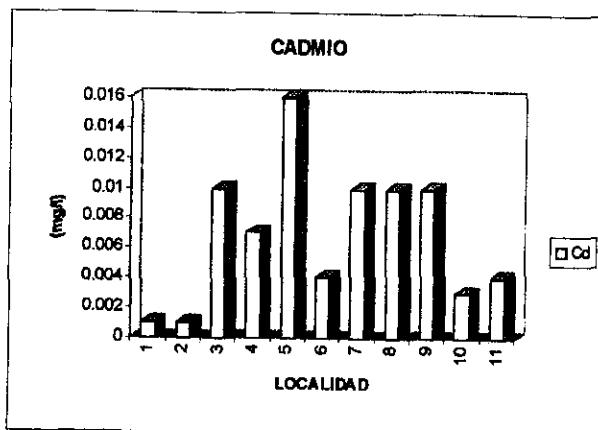
La Norma Oficial Mexicana establece una concentración máxima de 0.2 mg/l (Cuadro 14), los valores del presente trabajo, quedaron abajo de este valor, ya que las concentraciones más elevadas se encuentran en los sitios 1 con agua de canal (0.16 mg/l), el sitio 5 con agua de la Presa San Germán 5 es de (0.47 mg/l), (Cuadro 13), los sitios 3 con agua de pozo (potable), el 7 cerca de presa de Silva (pozo para riego) y el 8 con agua de canal, no se detectó este elemento (Gráfica 45).



GRÁFICA 45.- Concentración en mg/l de metales pesados solubles en agua de riego del Valle de León, Estado de Guanajuato

## CADMIO

La norma Oficial Mexicana establece una concentración máxima de 0.01 mg/l (Cuadro 14), la localidad 5 con agua de la presa San Germán presentó contenidos por arriba del límite máximo permisible (0.016 mg/, (cuadro 13), los sitios 3 en Santa Rosa con agua de pozo (potable), 7 cerca de la presa de Silva con agua de pozo (para riego), 8 en los Arcos con agua de canal y el sitio 9 con agua de canal presentan concentraciones de 0.01 mg/l, considerado como máximo permisible (Gráfica 46).



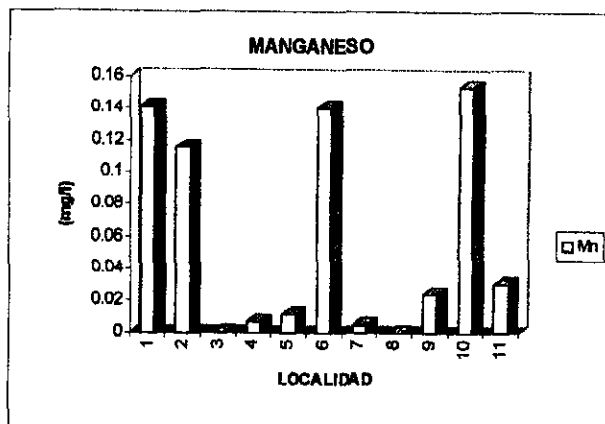
GRÁFICA 46.- Concentración en mg/l de metales pesados solubles en agua residual del Valle de León, Estado de Guanajuato.

## COBALTO

Este elemento no fue detectado en la mayor parte de las muestras de agua, solo en los sitios 9 El Refugio con agua de canal (0.016 mg/l), el sitio 4 Estancia de Vaqueros con agua de canal y 5 con agua de la presa San Germán (0.01 mg/l), (Cuadro 13).

## MANGANESO

El manganeso se encuentra principalmente asociado con el hierro (Gamboa 1994), las concentraciones más altas se registran en los sitios 1 canal de aguas negras (0.141 mg/l), 2 Santa Rosa (agua de canal), (0.116 mg/l), 6 Río Santiago y 10 río Turbio (El Tecolote) (0.153 mg/l), (Cuadro 13), en el que se presenta la concentración más alta. La Norma Oficial Mexicana en 1993 propone como límite máximo permisible 0.2 mg/l (Cuadro 14), por lo que todos los sitios de muestreo se encontraron por debajo del límite mencionado (Gráfica 47).



GRÁFICA 47.- Concentración en mg/l de metales pesados solubles en agua residual del Valle de León, Estado de Guanajuato.

## G. METALES PESADOS EN MATERIAL VEGETAL.

La tasa de incorporación de metales pesados a los vegetales varía de acuerdo a diferentes factores entre los que se puede mencionar la concentración de iones en la solución del suelo, la altura de las raíces, la esencialidad de los iones en la planta, la movilidad del metal y la capacidad intrínseca de los vegetales para poder tomar los elementos ya sea en forma de iones o en forma de quelatos, en ciertas ocasiones aún cuando el elemento se encuentra en grandes concentraciones no puede ser incorporado por los vegetales, pues no es tan móvil como cuando se encuentra asociado a otro elemento, o de acuerdo a las propiedades fisico-químicas del suelo, pues se ha visto por ejemplo que el pH influye en la movilidad de los iones y su incorporación en el material vegetal (Wild, Op. cit.; Tack, 1995).

Por otro lado, la actividad de algunos microorganismos también va a definir la movilidad de los elementos, pues algunos son necesarios para el buen crecimiento y desarrollo de los vegetales; pero cuando éstos no pueden ser incorporados por los vegetales o se encuentran en grandes cantidades causan lo que se conoce como síndrome de crecimiento en las plantas, o bien en el caso de algunos de los metales pesados se acumulan en el vegetal y se integran en las cadenas de alimentación y si éstos se encuentran en cantidades fuera de lo establecido como límites de tolerancia para los organismos, estos elementos se convierten en una fuente potencial de problemas de salud, desde muy ligeros hasta bastante severos (Albert, Op. cit.).

### FIERRO

Los suelos que tienden a ser salinos o calcáreos, llegan a formar tipos insolubles de hierro, aún cuando el hierro es uno de los elementos más comunes en el suelo, la formación de precipitados llega a provocar que este no sea aprovechable. Por otra parte, los suelos que son fuertemente ácidos, aumentan la tasa de incorporación del hierro en la planta, lo cual puede generar problemas de toxicidad por hierro (Kabata Pendias y Pendias, Op. cit.).

El hierro se vuelve especialmente importante para los vegetales debido a que este elemento es parte de algunos sitios catalíticos de muchas enzimas óxido - reductoras importantes, y es esencial para la formación de la clorofila.

La deficiencia por hierro es muy clara y específica, aunque ésta puede presentarse a diferentes niveles en los vegetales, esta deficiencia se relaciona estrechamente con el suelo, la planta, aspectos nutricionales y aspectos climáticos; los síntomas más evidentes son: clorosis restringida a las hojas más jóvenes de plantas en crecimiento, sin aparente achaparramiento o necrosis; muchos frutales, cereales, avena arroz en particular, son muy susceptibles a la clorosis (Bidwell, 1990).

Los mecanismos por los cuales el hierro es incorporado y transportado por los vegetales ha sido estudiado ampliamente, encontrándose que todas las deficiencias por hierro, se deben principalmente a que algunas características del suelo no permiten la solubilidad del hierro (Kabata - Pendias y Pendias, Op. cit.), la incorporación de hierro en la planta se puede producir al ser absorbido en forma de  $Fe^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$ , o como quelatos de hierro.

La presencia de hierro es indispensable, tanto para vegetales como para animales; las diferencias para la incorporación de hierro por los vegetales, no siempre depende de su capacidad para absorberlo, al tomar en cuenta el tipo de suelo, condiciones ambientales y estado de crecimiento de la planta. Las concentraciones de hierro que toleran los vegetales varía de acuerdo a las características de la planta, Kábata - Pendias y Pendias (Op. cit.), reportan tolerancia de 2127 mg/kg a 3580 mg/kg en algunos pastos; de 18 a 1000 mg/kg en algunas plantas comestibles y proponen un rango promedio de tolerancia de 0 a 1200 mg/kg para los cereales.

Los valores registrados en los diferentes sitios de muestreo (cuadro 16), indican que las concentraciones de hierro se encuentran dentro de los rangos normales, notando que existen variaciones importantes en cuanto a la concentración de hierro en cada sitio. El sitio 70 cultivado con girasol tiene la concentración más alta (660 mg/kg); en segundo lugar el sitio 64 cultivado con papa, le sigue el sitio 73, cultivado con brócoli (256.5 mg/kg), el sitio 28 fue el que incorporó la menor cantidad de hierro (47.6 mg/kg), (Cuadro 15).

## ZINC

El zinc como muchos otros elementos está ampliamente distribuido en los suelos, pero es poco aprovechable conforme va aumentando el pH del suelo, el resultado es un cierto grado de deficiencia. El zinc en los vegetales tiene relación con la formación de ácido indolacético, por lo cual su deficiencia puede causar daños substanciales en la forma y crecimiento de las plantas, produciendo plantas atrofiadas o de tallas pequeñas, con pobre desarrollo de la dominancia apical; además, el zinc es un activador obligado de numerosas e importantes enzimas en las que se incluyen las deshidrogenasas del ácido láctico, ácido glutámico, alcohol, y pirimidín nucleótido, además, parece estar implicado en la síntesis de proteínas.

Los síntomas de deficiencia pueden traducirse en un sustancial incremento de compuestos nitrogenados solubles, incluyendo atrofiamiento del tamaño de la hoja, así como clorosis intravenal; en el caso del maíz, puede producir una considerable reducción en la floración, lo que conduce a una considerable reducción de la fructificación, así como achaparramiento y crecimiento radicular pobremente diferenciado (Bidwell, Op. cit.).

Kabata - Pendias y Pendias (1986) sugieren que la concentración mínima de zinc para considerar que una planta presenta problemas de toxicidad, debe ser mayor a 150 mg/kg, por lo que se puede decir que todos los cultivos de la región estudiada se encuentran dentro de este límite, el sitio que presenta la mayor concentración es el 73 (92.3 mg/kg), la menor concentración se presentó en el sitio 56 (24.7 mg/kg), los demás se encontraron entre estos valores (Cuadro 15).

## PLOMO

La incorporación de plomo en las plantas tiene dos vías de acceso, por un lado se tiene la vía aérea con las hojas y, por otro lado, la captación por medio de las raíces. Se sabe que el plomo tiende a ser acumulado en el interior de los vegetales, principalmente en las raíces, posteriormente los animales consumen este plomo, siendo así incorporado en las cadenas de alimentación, desde donde se afectarán a casi todos los eslabones de las mismas (Albert op. cit.).

Una vez dentro, el plomo parece ser retenido por la membrana celular, mitocondrias y cloroplastos. La retención del plomo en el interior de la planta va a depender de varios factores entre los que se pueden mencionar la edad de la planta, la especie vegetal y, sobre todo, el periodo de exposición a este elemento (Mortvedt, Op. cit.).

Algunos estudios reportan que el plomo puede tener efectos positivos en el crecimiento de los vegetales, sin embargo, otros reportes indican que el plomo puede tener efectos tóxicos sobre las plantas, aunque estos no son muy específicos (Kabata -Pendias y Pendias Op. cit.).

Kabata - Pendias y Pendias (Op. cit.), propone como límite excesivo o tóxico, una concentración mayor de 300 mg/kg; consideran que el límite promedio de tolerancia en los vegetales, antes de ser tóxico es de 30 mg/kg. Las concentraciones más altas se registraron en los sitios 73 cultivado con brócoli (47.9 mg/kg), el 64 cultivado con papa (33.8 mg/kg), el 70 cultivado con girasol (36.5 mg/kg), el 81 cultivado con avena (38 mg/kg). Todos estos sitios se encuentran por arriba de los límites de tolerancia; los demás sitios analizados presentan concentraciones de plomo, abajo de los límites de tolerancia, e incluso, en algunos no fue posible la detección del elemento (Cuadro 15).

## CROMO

La concentración de cromo en los vegetales es extremadamente pequeña, y se ha visto la existencia de algún tipo de relación entre la parte aérea de los vegetales con respecto a las características del suelo, para incorporar este elemento (Alloway, Op. cit.).

Aún no existen evidencias de la esencialidad del cromo en el metabolismo vegetal, el contenido de cromo se controla principalmente por la solubilidad de este metal en el suelo.

Debido a que los mecanismos de incorporación del Cr en los vegetales son muy similares a los del Fe se han estudiado ampliamente, con lo cual se ha llegado a la conclusión de que el cromo presenta asociaciones con otros metales formando complejos, los cuales se han identificado al ser analizados los fluidos del xilema (Kabata - Pendias y Pendias, Op. cit.).

Las concentraciones de cromo en el material vegetal de la zona de estudio se encuentra dentro de los rangos considerados como normales para la mayor parte de los sitios, según lo propuesto por Kabata - Pendias y Pendias (Op. cit.), quienes sugieren concentraciones menores de 5 mg/kg. El sitio 73 cultivado con brócoli, presenta 4.5 mg/kg y el sitio 70 cultivado con girasol con 5 mg/kg, se encuentran ligeramente por abajo, o en el límite considerado como excesivo o tóxico; los demás sitios se encuentran abajo de 3.3 mg/kg, considerándose como sitios sin problemas de toxicidad por cromo (Cuadro 15).

## NÍQUEL

No existen evidencias acerca de la esencialidad del níquel en el metabolismo de los vegetales, así como tampoco se han reportado efectos benéficos con respecto al crecimiento o desarrollo de los vegetales Welch citado por Kabata - Pendias y Pendias (Op. cit.), reporta que el níquel puede tener cierta influencia como transportador de nitrógeno desde la raíz hasta la región apical de los vegetales, pero la mayor parte de los estudios referentes a la incorporación del níquel en los vegetales se relacionan principalmente a toxicidad y sus implicaciones con respecto a los animales y el hombre.

Los efectos de toxicidad más notorios que se han reportado son, por un lado, la clorosis en las hojas, muy semejante a la que se presenta por el fierro; por otro lado interfiere en el proceso de fotosíntesis y transpiración en vegetales, aunque se ha visto que muchas plantas son tolerantes a rangos amplios de concentración de níquel.

El valor reportado por Kabata - Pendias y Pendias (Op. cit.), como excesivo o tóxico, está comprendido entre 10 y 100 mg/kg, por lo que el sitio 73 se encuentra por encima de este rango (102 mg/kg); los sitios 50 y 12 se encontraron en el límite inferior para ser considerados como excesivos (10 mg/kg), mientras que el sitio 54 se encuentra ligeramente arriba del límite (12 mg/kg). La concentración más baja la presenta el sitio 110 (1.2 mg/kg) y los sitios 57 y 59 (9 mg/kg en ambos sitios), los demás se consideran sin problemas de toxicidad.

## COBRE

El cobre se presenta en el suelo en pequeñas cantidades, se reabastece por la intemperización de minerales que contienen este elemento. El cobre normalmente está presente en el complejo de intercambio de los suelos, donde es firmemente retenido pero disponible para los vegetales, de manera que su deficiencia en la naturaleza es rara, sin embargo, la fertilización excesiva con fosfatos puede reducir su asimilación al formar precipitados insolubles.

El cobre desempeña funciones exclusivamente catalíticas en las plantas, es parte de varias enzimas. Está presente en la plastocianina de los cloroplastos, un importante componente del sistema transportador de electrones de la fotosíntesis, y está involucrado en la reducción de nitritos (Bidwell, Op. cit.).

La deficiencia de cobre causa necrosis en las hojas y les da una apariencia de marchitez, en la enfermedad conocida como "el reclamo", en la que las hojas se enrollan apretadamente y se tornan blancas en las puntas (Bidwell, Op. cit.).

El nivel de deficiencia en cobre es reportada por Kabata - Pendias y Pendias (Op. cit.) menor a 2 mg/kg, mientras que el límite considerado como tóxico, debe ser mayor de 100 mg/kg y el valor óptimo es menor de 20 mg/kg. En la zona de estudio el sitio 73, se excede en mucho del límite superior (132 mg/kg), el 69 se encuentra por arriba del límite considerado como óptimo (36.5 mg/kg), el 210 (1.5 mg/kg) y el 54 (1.6 mg/kg) se encontraron abajo del valor considerado como esencial; el resto de los sitios se encontraron dentro de los límites óptimos, la concentración más baja (2.4 mg/kg) la presentó el sitio 214 y la concentración más alta (15.2 mg/kg) el sitio 63 (cuadro 15).

## CADMIO

La mayor parte del cadmio que es incorporado a la planta es retenido en las raíces, salvo en algunas especies de lechuga y plantas acuáticas. En el caso de las gramíneas, la mayor parte del cadmio se retiene en las raíces principalmente, pudiendo traslocarse en menor proporción a los tallos, hojas, y en una cantidad mínima a las semillas. En los brotes y hojas de vegetales el cadmio puede presentarse en grandes cantidades (Wild, Op. cit.).

Los valores que se reportan como permisibles para el buen desarrollo de los vegetales, sin llegar a ser tóxicos para los animales según Alloway 1990, oscila entre 0.1 a 2.4 mg/kg; en los sitios de colecta, la mayor parte quedaron dentro de este rango, salvo el sitio 49 Cerca antiguo acueducto (Figura 3), en el que se colectó maíz, se encontró una concentración de 8 mg/kg, arriba de lo reportado como óptimo; en el sitio 73 (San Pedro del Monte), cultivado con brócoli, 28 (1 Km. de la vía del tren) cultivado con alfalfa y 81 (la Correa) sembrado con avena, se encuentran concentraciones de 4 mg/kg. En algunos sitios no se detectó la presencia de cadmio (cuadro 15).



## COBALTO

El cobalto resulta de especial interés ya que este elemento como un micronutriente de las plantas, ayuda en la fijación de nitrógeno. Es necesario para algunos organismos, particularmente las algas. Es un componente de la vitamina B 12 y diversos compuestos afines que actúan en el metabolismo de compuestos de carbono. Esta imprescindible necesidad de cobalto, sin embargo, es tan baja que no puede demostrarse con facilidad. Parece ser que el cobalto es necesario para las bacterias implicadas en la fijación simbiótica del nitrógeno, y muchos sistemas simbióticos fijadores del nitrógeno son incapaces de sobrevivir sin la suplementación de cobalto o de nitrógeno, también se ha visto la importancia del cobalto al estimular el crecimiento de vegetales, sobre todo en áreas de corte como meristemos (Horst, Op. cit.), (Alloway, Op. cit. ).

Alloway (Op. cit.), reporta que la cantidad óptima de cobalto en el material vegetal debe ser entre 0.02 y 1.0 mg/kg; los sitios: 73 San Pedro del Monte, con cultivo de brócoli (5.5 mg/kg), 70, con cultivo de girasol, tiene 3.25 mg/kg (cuadro 15) y 59 Oeste de Granjas, con cultivo de quelite (Figura 3) presenta 2.69 mg/kg, valores superiores a los normales para este elemento. Los demás sitios se encuentran dentro de los límites normales (Cuadro 15).

## MANGANESO

El manganeso se presenta de diferentes formas en el suelo, el ión manganeso reducido es generalmente la forma en que se asimila; el manganeso al igual que el hierro llega a ser deficiente en suelos oxidantes o alcalinos, porque se convierte en formas poco aprovechables. Este elemento se involucra en funciones catalíticas, es el metal activador de algunas enzimas respiratorias y de reacciones del metabolismo del nitrógeno y la fotosíntesis, se necesita para el funcionamiento de la nitrato reductasa, por cuya razón las plantas deficientes en manganeso requieren  $\text{NH}_3$ . También se necesita para la acción de algunas enzimas en el metabolismo de la hormona ácido indolacético. El papel más importante del manganeso en la fotosíntesis reside en la secuencia de reacciones mediante las cuales se derivan en electrones del agua y se libera oxígeno. El manganeso también puede tener un papel estructural en los cloroplastos, los que se tornan susceptibles a la luz en su ausencia y, finalmente, pierden su estructura y se desintegran bajo condiciones de disminución extrema de manganeso. La estructura de mitocondrias y núcleos no parecen afectarse del mismo modo, lo que indica que el papel del manganeso a diferencia del hierro es muy específico (Bidwell, Op. cit.).

Los síntomas de deficiencia de manganeso consisten en la formación de manchas necróticas sobre las hojas y necrosis de los cotiledones de plántulas de leguminosas. La movilidad del manganeso es compleja y depende de las especies y la edad de la planta, así que los síntomas pueden aparecer primero en hojas jóvenes o maduras. Las enfermedades deficitarias comunes son "la mancha gris" de la avena, los "amarillamientos moteados" de la remolacha azucarera y la "mancha fangosa" de los frijoles (Bidwell, Op. cit.).

El rango adecuado para que los vegetales puedan tener un crecimiento óptimo se encuentra entre los 20 a 300 mg/kg, y los límites considerados como excesivos o que se puedan tomar como tóxicos, deben ser mayores a 500 mg/kg (Kabata - Pendias y Pendias, Op. cit.).

La mayor parte de los sitios se encuentran dentro de los límites normales, la mayor concentración se presentó en el sitio 73 (174.5 mg/kg), y la menor concentración el sitio 69 (11.8 mg/kg), (cuadro 15), este último se encuentra abajo del valor considerado como mínimo para este elemento.

#### CUADRO 15

Concentración en mg/kg de metales pesados en material vegetal colectado en el Valle de León, Estado de Guanajuato. Ver referencias de sitios en la figura 1.

SITIO	CULTIVO	Fe	Zn	Pb	Cr	Ni	Cu	Cd	Co	Mn
49	MAÍZ	312.9	24.8	ND	ND	8	5.3	8	ND	52.4
50	MAÍZ	221.6	41	ND	ND	10	5.1	ND	ND	26.4
54	AVENA	51.4	37.8	ND	ND	12	1.6	ND	ND	32.8
56	PAPA	141.6	24.7	ND	ND	8	7.6	ND	ND	53
57	MAÍZ	105.9	39	29.9	1.5	9	6.6	0.31	1.35	22.6
59	QUELITE	132.7	30.8	9.37	1.6	9	5.2	1	2.69	19.8
63	PAPA	99.7	37.1	9.24	1.8	5.9	15.2	0.28	1.4	81.9
64	PAPA	332.6	76.3	33.8	3.4	16	12.4	1	3.64	56.3
65	ALFALFA	98.3	69.1	27.1	3.7	6	5.9	0.42	1.7	46.5
69	PAPA	255.5	38.8	18.9	1.8	4.1	36.5	0.63	1.4	11.8
70	GIRASOL	660	74.6	36.5	5	18	10.7	1	3.25	127.5
73	BROCOLI	256.5	92.3	47.9	4.5	102	132	4	5.5	174.5
81	AVENA	87.5	55.7	38	1.9	8	4.7	3	0.8	65.9
12	TRIGO	73.2	51.3	ND	ND	6	1.5	2	ND	28.3
16	TRIGO	61.6	34	ND	ND	6	2.4	ND	ND	22.2
28	ALFALFA	47.4	45	12.7	3.3	10	3.8	4	2.08	43.1
110	TRIGO	83.3	63.8	ND	ND	1.2	7.8	ND	ND	42

ND = No Detectado

## VII CONCLUSIONES.

1. Los suelos analizados presentan condiciones que los hacen favorables para las prácticas agrícolas, debido en parte, al empleo de aguas residuales para riego, incorporando cantidades importantes de materia orgánica y otros nutrientes en el suelo de la zona.
2. La alcalinidad de los suelos, limita la asimilación de metales, especialmente en el caso de metales altamente tóxicos como el cadmio y el plomo.
3. En términos generales la calidad del agua de riego, se encuentra dentro de los límites considerados como apropiados, en cuanto a sus características físicas y químicas, excepto para la conductividad eléctrica, pero puede ser utilizada para ese fin.
4. Los perfiles de suelo, presentan diferencias significativas, para las características físico - químicas, esto se ve reflejado en el perfil 4, donde al ser regado con aguas residuales, se determinaron los mayores contenidos de materia orgánica, así como el pH más alcalino.
5. La mayor concentración de metales pesados totales en las muestras superficiales de suelo, se localizaron en la región norte de la zona de estudio, específicamente en sitios cercanos a la ciudad de León y al Río León, especialmente los sitios 28 y 50 (Figura 3), debido principalmente a las actividades antropogénicas desarrolladas, entre ellas el curtido de pieles de animales o la aplicación excesiva de fertilizantes, así como el empleo de agua de mala calidad. Todos los demás se consideran dentro de niveles aceptables, por lo que aún no se puede pensar en problemas serios de contaminación.
6. La concentración de metales disponibles en las muestras superficiales de suelo, están dentro de límites aceptables, con porcentajes de disponibilidad bajos, por lo que actualmente no existen problemas de toxicidad en los cultivos de la región.
7. En los perfiles de suelo se detecta en algunos metales cierto grado de movilidad, como el Pb, Cd y Cu, atribuido principalmente al tipo textural, o al movimiento de la materia orgánica a los horizontes más profundos, debido a la formación de grietas en el suelo durante el periodo de estiaje.
8. Los sitios cercanos a la Presa San Germán (62, 72, 84 y el perfil 4), presentaron concentraciones importantes de metales totales, sobre todo Pb, Cr, Fe y Zn, las concentraciones que presentaron se consideran superiores al límite máximo, lo que indica cierto grado de contaminación por estos metales.
9. El comportamiento de los metales pesados en los perfiles, en general tienden a ser acumulados preferentemente en las partes superficiales del mismo.

10. La concentración de metales pesados en el agua de riego se encuentra en concentraciones consideradas como adecuadas para uso agrícola en la mayor parte de los lugares estudiados.
11. El agua de la presa San Germán presenta concentraciones de metales pesados no adecuadas para el uso de riego agrícola, lo que coincidió con las muestras de suelo cercanas a esta presa que presentaron las concentraciones más altas de metales.
12. El comportamiento en la incorporación de los metales en los vegetales fue diferente en cada especie de cultivo, con una relación en la que se cita primero el metal más móvil (Fe) y terminando con el menos móvil (Co):  
 $Fe > Mn > Zn > Ni > Cu > Pb > Cr > Cd > Co$
13. Las concentraciones de metales pesados se encuentra en los rangos considerados como normales con excepción de los sitios 73, 81, 28, 59, y 64 en los que exceden los límites permisibles para varios elementos en el mismo sitio, la ubicación de las mayores concentraciones fueron en la región norte y las menores en la región sur, lo que mostró que la mayor influencia del agua de riego es en las regiones cercanas a la Ciudad de León y en la región sur es principalmente por la depositación de material parental.
14. En el caso del material vegetal los cultivos de tallas pequeñas como el brócoli, tiende a incorporar mayor cantidad de metales con respecto a los cultivos de tallas más grandes como el maíz.

## VIII. RECOMENDACIONES .

Las recomendaciones se pueden dividir en los aspectos de salud, técnicas, financieras, administrativas y culturales.

### De Salud

Promover la utilización de ciertos tipos de cultivo que sean tolerantes a las condiciones de la región, que existan estudios microbiológicos de los cultivos, implementar campañas entre la población.

Clasificar el tipo de descargas en cada poblado para tener una idea de los posibles residuos presentes en los campos de cultivo. Sobre todo si se reciben descargas industriales, sobre todo poner especial cuidado en los metales pesados y sustancias tóxicas. Clasificar el riesgo potencial en cada tipo de agua para evaluar si el daño es de tipo químico, físico o biológico.

### Técnicas

Promover la utilización segura de agua residual mediante la aplicación de tratamientos previos y que estos se ajusten a la legislación en términos de calidad ambiental, retomando los criterios que establece la Norma Oficial Mexicana para la calidad del agua.

Seleccionar los tipos de cultivo tomando en cuenta la composición química del afluente, así como las condiciones de colección. asimismo considerar las condiciones del suelo, que la utilización de aguas residuales se enfoque más a la producción de plantas ornamentales, forestales, o bien plantas que no sean de consumo humano. En el caso de las industrias, evitar que se arrojen a las descargas de agua elementos difíciles de detectar y de remover, o bien racionar más el uso del agua y de ser posible la reutilicen en procesos que no requieren de agua con buena calidad.

### Financieras

Buscar apoyo económico en donde se estimule el tratamiento y reutilización de aguas residuales, con la finalidad de incrementar la producción en el campo, sin correr riesgos de incorporar elementos tóxicos al suelo y tener una mayor productividad agrícola. O bien establecer alguna cuota por el uso de aguas tratadas de acuerdo a los costos, siendo pagada por las industrias que generan los desechos, por otro lado se pueden buscar convenios que puedan ser rentables para los productores.

## Administrativas

Controlar la calidad del agua que se utiliza en el riego de cultivos, según su procedencia, es decir si es agua proveniente de uso domiciliario o es de origen industrial, dar apoyo a la participación de los campesinos en el control de las descargas de agua residual.

Establecer programas de apoyo para el control y seguimiento de la calidad del agua- suelo - planta. Cobrar cuotas fijas para la descarga de agua, elaborar evaluaciones periódicas de impacto ambiental para poder tomar decisiones en cuanto al control de las descargas en los campos de cultivo sin tener un tratamiento previo.

El agua residual en la agricultura debe ser utilizada siempre y cuando ésta sea de origen doméstico; el agua de origen industrial debe ser tratada en su fuente. Se recomienda la sustitución progresiva de detergentes duros por detergentes biodegradables, así como la detección de elementos que son tóxicos. (OMS, 1993).

Elaborar un programa de educación ambiental en las zonas agrarias para sensibilizar a los campesinos, industriales y pobladores de la región acerca de la importancia de la calidad que debe tener el agua de uso agrícola, las medidas de higiene básicas en el manejo de agua residual. Que exista participación informada, consciente para la elaboración de programas acordes a las necesidades de la población que utiliza agua residual para riego, sobre todo si el agua no tiene ningún tipo de tratamiento previo.

El gobierno debe promover una legislación en la que se establezcan criterios y normas para establecer los límites máximos permisibles, tanto en las descargas de agua, como en los suelos o vegetales para los diferentes tipos de elementos tóxicos. Que se establezca un programa de monitoreo continuo para la calidad de agua, suelo, con la finalidad de evaluar la calidad microbiológica y toxicológica de los productos agrícolas en las diferentes etapas de la producción. Que todos los medios de control y medidas de protección sean aplicados y exista vigilancia y seguimiento de los grupos expuestos, en caso de ser necesario, que exista restricción de cultivos, de acuerdo a la facilidad que tengan estos para la asimilación de agentes tóxicos.

## IX - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adamo, P., Dudka, S. Wilson, M. j. (1995). Chemical and mineralogical forms of Cu and Ni in contaminated soils from the sudbury mining and smelting region, Canada. *Environmental Pollution*. 91(1): 11-19
- Albert, A. L. (1990). Curso básico de toxicología ambiental. Limusa México. D.F. pp. 5-120
- Alloway B: J. (1990). Heavy metals in soils. Blackie, Johny Wiley and sons, Inc. Glasgow, London, NewYork 339 pp.
- Armienta, M. A., Rodríguez, R. Ceniceros, N. Juárez, F. y Cruz, O. (1996) Distribution, origin and fate of chromium in soils in Guanajuato, México. *Environmental Pollution* 91(3):391-397.
- Bidwell, R. G. S., (1990). Fisiología Vegetal. AGT Editor. México D. F. pp 265 - 292.
- Bervoets, L., Bailleul, M. Blust, R. y Verheyen, R. (1996). Evaluation of effluent toxicity and ambient toxicity in a polluted low and river. *Environmental Pollution*, 91(3):333-341.
- Black, C. A., Evans, D. D., White, J. L., Clark, F. E. & Ensminger, L. E. (1976) Methods of soil analisis vol 2. American society of agronomy U. S. A. 1397 - 1400
- Broitman K., B. (1972). Evaluación y control de la contaminación ambiental producida por la industria de la curtiduría. Tesis de licenciatura, Facultad de Química. U.N.A.M. pp. 9-28.
- Buckman H. O., y Brady, N. C. (1991), Naturaleza y propiedades del suelo. U. T. E. H. A. México D. F. 590 pp.
- Cifuentes, F. R., Liendemann, W. C. y Barton, L. L. (1996) Chromuim sorption and reduction in soil with implications to bioremediation. *Soil Science*. 161(4):233-241
- Daniel, W. W. (1991). Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud. Limusa. México. 667 pp.
- Diario oficial. (1993). Norma Oficial Mexicana para la calidad del agua de riego agrícola (NOM - CCA- 032 - ECOL/ 1993. lunes 18 de Octubre. pp 116-128
- Diario oficial. (1995). Norma Oficial Mexicana para la calidad del agua para uso y consumo humano (NOM - 127 - SSA1 - 1994. Miércoles 15 de Febrero. pp 116-128.

- Essington, M. E.; y Mattigod, S. V. (1991). Trace element solid - phase asociation in sewage sludge and sludge - amended soil. *Soil Sci. Am. J.* 55(2):350-356.
- Evans, L. J. (1983). Chemistry of metal retention by soils. *Soil. Sci. Am J.* 33(9): 1947-1953.
- Fernández, L. N. (1991). Modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del sistema acuifero del Valle de León, Guanajuato. Tesis de Maestría. Facultad. de Ingeniería. UNAM. pp. 25-59.
- FitzPatrick, E. A. (1993). Suelos: Su formación, clasificación y distribución. C.E.C.S.A. México. D. F. 430 pp.
- Foth, H. D. (1978), *Fundamentals of Soil Science.*, John Wiley and sons, Inc. Glasgow, New York, 436 pp.
- Gamboa B., V. (1994). Calidad del agua potable en México. *Ingeniería Ambiental* 23:28-47.
- Gutiérrez, E. M. (1990). Los residuos sólidos peligrosos (¿un riesgo sin solución?). *Ciencias* (20): 31-36.
- Hickey, M. G. (1984). Chemical partitioning of cadmium, copper, nickel and zinc in soils and sediments containing high levels of heavy metals. *J. Environ. Qual.*, 13 (3): 373-377.
- Hivel, D. (1982). *Introduction to soil physics.* Academic Press inc. San Diego Ca. USA. 364 pp.
- Horst, M. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants.* Academic Press. Great Britain. pp 229 - 434.
- Izaguirre M., M. (1979) *Geografía moderna del estado de Guanajuato.* Gobierno del Estado de Guanajuato México pp 8 - 76.
- Jackson, M. L. (1982) *Análisis químicos de suelos.* Omega Barcelona Esp. pp. 20-81, 322, 351, 229.
- Kabata - Pendias, A. y Pendias H. (1986), *Trace elements in soils and plants.* CRC Press, inc. Boca Ratón Florida. 315 pag.
- Lindsay, W. L. and W. A. Norvell, (1978). Development of a DTPA. soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 421 - 428.



- Moreno D. R., (1970). Clasificación del pH del suelo, contenido de sales y nutrientes asimilables. Instituto Nacional de investigaciones Agrícolas. S. A. R. H. Departamento de Suelos. México. 4 pp.
- Murray B. (1994). Environmental Chemistry of Soil. Oxford. New York. 406 pag.
- Mortvedt, J. J. (1983). Micronutrientes en agricultura. AGT: Editor. México D.F. 708 pp.
- National Research Council. (1993), Soils and Water Quality, (An agenda for Agriculture). National Academy Press. Washington U. S. A. 516 pag.
- OMS / OPS, -FAO - CNUAH - PNUMA. (1993). Memorias del Taller regional sobre salud, agricultura y ambiente vinculados con el uso de aguas residuales. Jiutepec Morelos. México. pp 1 - 72.
- Qian, J. Zi - jian Wang, Xio - quan Shan, Quiang Tu, Bei Wen, y Bin Chen. (1996). Evaluation of plant availability of soil trace metals by chemical fractionation and multiple regression analysis. Environmental Pollution. 91(3): 309-315.
- Rechcigl, J. P. (1991). Soil amendments and environmental quality. Lewis Publishers. Florida U. S. A. pp 56 - 313.
- Richards, L. A. (1993) Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Limusa. 172. pp.
- Rzedowski, J. (1994) La vegetación de México. Ed. Limusa. México 432 pp.
- Sánchez, O. (1996). Probabilidad y Estadística. McGraw - Hill. México D. F. pp. 123 - 126.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. (1984) Aprovechamiento de las aguas residuales en el riego agrícola. México D. F. pp. 215-304.
- Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (1980). Ecoplan del Estado de Guanajuato.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. (1984). Análisis de laboratorio en las muestras resultantes en las visitas de inspección en el Estado de Guanajuato zona de León e Irapuato. pp 20 56.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (1985) Estudio de factibilidad e ingeniería básica para el sistema de tratamiento de aguas residuales en: Guanajuato, Guanajuato. Ingenieros ambientales asociados pp 80 - 158.

Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (1986). Informe final del estudio de la planeación integral del programa nacional de distritos de control de la contaminación del agua. México D. F.

Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (1989) Normas técnicas ecológicas que establecen los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales de origen industrial en cuerpos de agua. Vol. I y Vol. II. México D.F.

Secretaría de Programación y Presupuesto. Coordinación General del Servicio Nacional, Estadística e informática. 1980. Síntesis geográfica del Estado de Guanajuato. México.

Secretaría de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional. (CETENAL), 1974. Carta topográfica, escala 1 : 50 000 hoja León. F14 - C 41.

Secretaría de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional. (CETENAL), 1989. Carta topográfica, escala 1:50 000 hoja San Roque de Torres. F14 - C51

Secretaría de Programación y Presupuesto. Comisión de Estudios del Territorio Nacional. (CETENAL), 1982. Carta topográfica, escala 1 : 50 000 hoja Manuel Doblado. F14 - C 61

Siebe, Ch. (1995). Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. Sociedad Mexicana para la ciencia del suelo. 53 pp.

Sposito, G, Lund, L. J. (1982). Trace Metal chemistry in arid - zone field soils amended with sewage sludge: Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. En: Soil Sci. Am. J. 46:260-264

Tack, F. M. O. Callewaert, W. J. J. y Verloo. M. G. (1996). Metal solubility as a function of pH in a contaminated, dredged sediment affected by oxidation. Environmental pollution. 91(2): 109 - 208.

Tamhane, R., V., Motiramani, D. P., Y Bali, Y. P., (1986). Suelos su química y fertilidad en zonas tropicales. Diana. México D. F. 426 pp

Tessler, A. Campbell, P. G. (1979). Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. Analytical Chemistry. 51(7):344-351.

Valdares, J. M. A. Val, A. S. M. Mingelgrin, U. y Page, A. L. (1983). Some heavy metals in soils treated with sewage sludge, their effects on yield, and their uptake by plants. In: J. Environ. Qual. 12(1):49-57.

Velázquez L. R. (1978). Tratamiento de cromatos en aguas residuales provenientes de cromadoras pequeñas. Tesis profesional. Facultad de Química UNAM. México D. F. pp 1-28.

Vernet, J. P. (1991) Heavy metals in the environment. Elsevier publishing Co. Amsterdam Holanda. pp 139 - 323.

Villegas S. M., Aguilera, H. N. y Flores, D. L. (1978). Método simplificado de análisis para la clasificación granulométrica de los minerales del suelo. Rev. Inst. Geología UNAM. México. 2: 188 - 193.

Wild, A. (1994) Soils and the environment: An introduction. Cambridge University press. New York USA. 287pp.

Zhenbin, L. and L. M. Shuman (1996). Extractability of Zinc, Cadmium, and Nickel in soils amended with EDTA. Soil Science. 161(4): 226-232.