

00369



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**“ANÁLISIS DE LAS ESTRATEGIAS DE MUESTREO Y
RELACIONES EN EL COMPORTAMIENTO DE HIDROCARBUROS Y
METALES PESADOS EN DIFERENTES TIPOS DE SUELOS DE LA
VERTIENTE SUR DEL GOLFO DE MÉXICO, (ESTADOS DE
TABASCO Y CHIAPAS)”.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

(EDAFOLOGÍA)

P R E S E N T A

BIÓL. DAVID FLORES HERNÁNDEZ

DIRECTORA DE TESIS: DRA. MARÍA DEL ROSARIO ITURBE ARGÜELLES



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A mi Rosy,

Gracias por ser como eres y por permitirme caminar a tu lado, te amo...

A mi padre, mi madre y mis hermanos

RECONOCIMIENTOS

Al comité tutorial, ***Dra. Rosario Iturbe Argüelles, M. en C. Jesús Ochoa Valdés y M. en I. Ana Elisa Silva Martínez***, quienes con su apoyo y su valiosa dirección siguieron la trayectoria de esta tesis hasta su conclusión.

A los miembros del jurado, ***Dra. Norma E. García Calderón, Dr. Jorge E. Gama Castro, Dra. Silvia Santiago Fragoso y M. en C. Rosalía Ramos Bello***, quienes aportaron comentarios y recomendaciones invaluable, que permitieron mejorar sustancialmente este trabajo.

Este trabajo forma parte del proyecto "Diagnóstico de los efectos ambientales de la industria petrolera, asociados a la región Sur de PEMEX, Exploración y Producción" (PARS), realizado por el Instituto Mexicano del Petróleo, la Universidad Nacional Autónoma de México y el Batelle Memorial Institute. Por lo que en estos párrafos deseo reconocer el trabajo de todas las personas que participaron en este proyecto, pues gran parte de los datos utilizados en esta tesis, fueron generados a partir de los resultados obtenidos por los grupos: "Contaminación en zona no saturada", "Estudios Edafoecológicos", "Suelo y su capacidad de uso" y "Sistemas de información geográfica" encabezados por la Q.F.B. Lucila Elías M., la Dra. Cristina Siebe, el M. en C. Joel Zavala y el Biól. Sergio Gasca A.

Así mismo deseo reconocer y agradecer al Instituto Mexicano del Petróleo, en particular al Comité de becas y las autoridades de las Subdirecciones de Protección Ambiental y Capacitación y Servicios Técnicos, por la beca otorgada para la realización de esta tesis.

AGRADECIMIENTOS

A través de estas líneas quiero agradecer infinitamente a las siguientes personas y a todos aquellos quienes de una manera u otra contribuyeron a la realización de esta tesis:

Ing. Guillermo Calderón Aguilera
Ing. Guillermina Pérez Casimiro
Biól. Sergio Gasca Alvarez
Tec. Francisco Cano Aguilar
Biól. Marco A. Tenorio Torres
Biól. Andrés Rosas Molina
M. en C. Carlos Bouchot C.
Ing. Verónica Domínguez R.
Tec. Alejandro Méndez
Biól. Patricia Blancas Gil
M. en C. Alma Velázquez R.
Biól. Sergio Méndez Velarde
Ing. Jorge Canto Vera
Ing. Carlos F. Valdés Olmedo
Dr. Isaac Shifter Sécora
MS. Nino J. Aimo
Ph.D Charles A. Brandt
Ph.D Calvin C. Ainsworth
Biól. Víctor García Vázquez
Ing. Rosa Ma. Flores S.
Biól. Rafael Serrano
Ing. Ricardo González Dávila
Lic. Rosa Ma. Hernández Herros
Lic. Rosa Lilia Gayosso
Ing. Gabriel Flores Flores
Sra. Adela Villalobos G.
Mtra. Ma. Antonieta Gaudry R.
Ing. Felipe Márquez Cortéz
Fis. Sergio Salinas Güemes
M. en C. Angelica Guerrero Z.
M. en C. Jorge Melendez E.
Biol. Marcela Ruíz Figueroa
Biól. Jose Luis Mondragón

A todos ustedes, mil gracias..

INDICE

	<i>Página</i>
<i>Resumen</i>	1
<i>Prólogo</i>	3
<i>Glosario</i>	6
<i>Capítulo I</i>	
<i>Introducción</i>	8
<i>Objetivos</i>	12
<i>Capítulo II</i>	
<i>Los sitios de estudio: Localización y problemática.</i>	13
<i>II.1 Nivel Local</i>	13
<i>II.2 Nivel Intermedio</i>	25
<i>II.3 Nivel Regional</i>	29
<i>Capítulo III</i>	
<i>Desarrollo Metodológico</i>	31
<i>III.1 Definición de los niveles de muestreo</i>	32
<i>III.2 Delimitación de unidades Ecogeográficas</i>	34
<i>III.3 Taxonomía de los suelos</i>	35
<i>III.4 Procedimiento de muestreo</i>	36
<i>III.5 Parámetros analizados</i>	38
<i>III.6 Procedimiento analítico</i>	41
<i>III.7 Procesamiento de datos</i>	42
<i>III.8 Valores de referencia</i>	45
<i>III.9 Explicación de los gráficos</i>	48

INDICE DE FIGURAS

Página

Figura II.1	Ubicación de la zona de estudio y los sitios analizados en las diferentes etapas	14
Figura II.2	Distribución de las estaciones de muestreo de la localidad de Cinco Presidentes Batería 1	16
Figura II.3	Distribución de las estaciones de muestreo de la localidad de Cinco Presidentes batería 5	16
Figura II.4	Distribución de estaciones de muestreo de la localidad de Cinco Presidentes derrame	17
Figura II.5	Distribución de estaciones de muestreo de la localidad de Giraldas pozo 10	18
Figura II.6	Distribución de estaciones de muestreo de la localidad de pozo Giraldas 72	19
Figura II.7	Distribución de estaciones de muestreo de la localidad de la batería Giraldas.	20
Figura II.8	Distribución de estaciones de muestreo de la localidad del C.A.B. Cunduacán	21
Figura II.9	Distribución de estaciones de muestreo de la localidad de Iride batería II	21
Figura II.10	Distribución de estaciones de muestreo de la localidad de Samaria fosa de desechos	22
Figura II.11	Distribución de estaciones de muestreo de la localidad de Cactus pozo níspero 95	23
Figura II.12	Distribución de estaciones de muestreo de la localidad de Cactus batería II	24
Figura II.13	Distribución de estaciones de muestreo de la localidad de cactus pozo 11	24
Figura II.14	Puntos de muestreo del nivel Intermedio en el Activo Cinco Presidentes	25
Figura II.15	Puntos de muestreo del nivel Intermedio en el Campo Giraldas	26
Figura II.16	Puntos de muestreo del nivel Intermedio en los campos Samaria-Iride	27
Figura II.17	Puntos de muestreo del nivel Intermedio en el Área Cactus-Nuevo PEMEX	28
Figura II.18	Distribución de norias muestreadas en el área de estudio del Activo Cinco Presidentes, Tabasco	30
Figura IV.1	Intervalos de confianza del parámetro salinidad en agua freática de la categoría Etapa	53
Figura IV.2	Intervalos de confianza del pH en agua freática de la categoría Etapa	54
Figura IV.3	Intervalos de confianza del parámetro benceno en agua freática de la categoría Etapa	55
Figura IV.3A	Intervalos de confianza del parámetro tolueno en agua freática de la categoría Etapa	55
Figura IV.4	Intervalos de confianza del parámetro Hidrocarburos Totales del Petróleo en agua freática de la categoría Etapa	56
Figura IV.5	Intervalos de confianza del vanadio en agua freática de la categoría Etapa	57
Figura IV.6	Intervalos de confianza del parámetro plomo en agua freática de la categoría Etapa	57
Figura IV.7	Intervalos de confianza del parámetro cromo en agua freática de la categoría Etapa	58
Figura IV.8	Intervalos de confianza del parámetro cadmio en agua freática de la categoría Etapa	58
Figura IV.9	Intervalos de confianza del parámetro níquel en agua freática de la categoría Etapa	59
Figura IV.10	Intervalos de confianza del parámetro bario en agua freática de la categoría Etapa	59
Figura IV.11	Intervalos de confianza del parámetro Hidrocarburos Totales del Petróleo en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Etapa	60
Figura IV.12	Intervalos de confianza del parámetro bario en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Etapa	61
Figura IV.13	Intervalos de confianza del parámetro níquel en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Etapa	61
Figura IV.14	Intervalos de confianza del parámetro plomo en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Etapa	62
Figura IV.15	Intervalos de confianza del parámetro salinidad en agua freática de la categoría Tipo de Muestreo	66
Figura IV.16	Intervalos de confianza del parámetro pH en agua freática de la categoría Tipo de Muestreo	67

Figura IV.50	Intervalos de confianza del parámetro plomo en la categoría Taxonomía de suelos.	98
Figura IV.51	Intervalos de confianza del parámetro cromo en la categoría Taxonomía de suelos	98
Figura IV.52	Intervalos de confianza del parámetro cadmio en la categoría Taxonomía de suelos.	99
Figura IV.53	Intervalos de confianza del parámetro níquel en la categoría Taxonomía de suelos.	100
Figura IV.54	Intervalos de confianza del parámetro bario en la categoría Taxonomía de suelos	100
Figura IV.55	Intervalos de confianza del parámetro porosidad en horizontes superficiales de la categoría Taxonomía de suelos	101
Figura IV.56	Intervalos de confianza del parámetro porosidad del subsuelo de la categoría Taxonomía de suelos	102
Figura IV.57	Comparación de los promedios de porosidad en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Taxonomía de suelos	102
Figura IV.58	Intervalos de confianza del parámetro HTP en horizontes superficiales de la categoría Taxonomía de suelos	103
Figura IV.59	Intervalos de confianza del parámetro HTP del subsuelo de la categoría Taxonomía de suelos	103
Figura IV.60	Comparación de los promedios de HTP en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Taxonomía de suelos	104
Figura IV.61	Intervalos de confianza del parámetro bario en horizontes superficiales de la categoría Taxonomía de suelos	105
Figura IV.62	Intervalos de confianza del parámetro bario del subsuelo de la categoría Taxonomía de suelos	105
Figura IV.63	Comparación de los promedios de bario en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Taxonomía de suelos	106
Figura IV.64	Intervalos de confianza del parámetro níquel en horizontes superficiales de la categoría Taxonomía de suelos	106
Figura IV.65	Intervalos de confianza del parámetro níquel del subsuelo de la categoría Taxonomía de suelos	107
Figura IV.66	Comparación de los promedios de níquel en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Taxonomía de suelos	107
Figura IV.67	Intervalos de confianza del parámetro plomo en horizontes superficiales y del subsuelo de la categoría Taxonomía de suelos	108
Figura IV.68	Comparación de los promedios de plomo en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Taxonomía de suelos	109
Figura IV.69	Intervalos de confianza del parámetro salinidad en agua freática de la categoría Tipo de Influencia	114
Figura IV.70	Intervalos de confianza del parámetro pH en agua freática de la categoría Tipo de Influencia	115
Figura IV.71	Intervalos de confianza del parámetro benceno en agua freática de la categoría Tipo de Influencia	116
Figura IV.72	Intervalos de confianza del parámetro tolueno en agua freática de la categoría Tipo de Influencia	116
Figura IV.73	Intervalos de confianza del parámetro HTP en agua freática de la categoría Tipo de Influencia	117
Figura IV.74	Intervalos de confianza del parámetro vanadio en agua freática de la categoría Tipo de Influencia	118
Figura IV.75	Intervalos de confianza del parámetro plomo en agua freática de la categoría Tipo de Influencia	118
Figura IV.76	Intervalos de confianza del parámetro cromo en agua freática de la categoría Tipo de Influencia	119
Figura IV.77	Intervalos de confianza del parámetro cadmio en agua freática de la categoría Tipo de Influencia	120
Figura IV.78	Intervalos de confianza del parámetro níquel en agua freática de la categoría Tipo de Influencia	120
Figura IV.79	Intervalos de confianza del parámetro bario en agua freática de la categoría Tipo de Influencia	121
Figura IV.80	Comparación de los promedios de porosidad en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Tipo de Influencia	122

Figura IV.104	Intervalos de confianza del parámetro HTP del subsuelo de la categoría Textura de horizontes superficiales	142
Figura IV.105	Comparación de los promedios de HTP en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Textura de horizontes superficiales	142
Figura IV.106	Intervalos de confianza del parámetro bario en horizontes superficiales de la categoría Textura de horizontes superficiales	143
Figura IV.107	Intervalos de confianza del parámetro bario del subsuelo de la categoría Textura de horizontes superficiales	144
Figura IV.108	Comparación de los promedios de bario en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Textura de horizontes superficiales	144
Figura IV.109	Intervalos de confianza del parámetro níquel en horizontes superficiales de la categoría Textura de horizontes superficiales	145
Figura IV.110	Intervalos de confianza del parámetro níquel del subsuelo de la categoría Textura de horizontes superficiales	145
Figura IV.111	Comparación de los promedios de níquel en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Textura de horizontes superficiales	146
Figura IV.112	Intervalos de confianza del parámetro plomo en horizontes superficiales de la categoría Textura de horizontes superficiales	147
Figura IV.113	Intervalos de confianza del parámetro plomo del subsuelo de la categoría Textura de horizontes superficiales	147
Figura IV.114	Comparación de los promedios de plomo en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Textura de horizontes superficiales	147
Figura IV.115	Intervalos de confianza del parámetro salinidad en agua freática de la categoría Textura de horizontes del subsuelo	151
Figura IV.116	Intervalos de confianza del parámetro pH en agua freática de la categoría Textura de horizontes del subsuelo	152
Figura IV.117	Intervalos de confianza del parámetro benceno en agua freática de la categoría Textura de horizontes del subsuelo	153
Figura IV.118	Intervalos de confianza del parámetro tolueno en agua freática de la categoría Textura de horizontes del subsuelo	154
Figura IV.119	Intervalos de confianza del parámetro HTP en agua freática de la categoría Textura de horizontes del subsuelo	155
Figura IV.120	Intervalos de confianza del parámetro vanadio en agua freática de la categoría Textura de horizontes del subsuelo	155
Figura IV.121	Intervalos de confianza del parámetro plomo en agua freática de la categoría Textura de horizontes del subsuelo	156
Figura IV.122	Intervalos de confianza del parámetro cromo en agua freática de la categoría Textura de horizontes del subsuelo	157
Figura IV.123	Intervalos de confianza del parámetro cadmio en agua freática de la categoría Textura de horizontes del subsuelo	157
Figura IV.124	Intervalos de confianza del parámetro níquel en agua freática de la categoría Textura de horizontes del subsuelo	158
Figura IV.125	Intervalos de confianza del parámetro bario en agua freática de la categoría Textura de horizontes del subsuelo	159
Figura IV.126	Comparación de los promedios de porosidad en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Textura de horizontes del subsuelo	160

INDICE DE CUADROS

	<i>Página</i>
<i>cuadro III.1</i>	Campañas realizadas durante el muestreo regional 33
<i>cuadro III.2</i>	Métodos utilizados en el análisis de Aguas subterráneas 41
<i>cuadro III.3</i>	Métodos utilizados en el análisis de suelos 41
<i>cuadro III.4</i>	Categorías, variables y parámetros analizados 43
<i>cuadro III.5</i>	Resumen de los valores típicos y referencias más próximas sobre la calidad de aguas freáticas 45
<i>cuadro III.6</i>	Resumen de los valores típicos y referencias más próximas sobre la calidad de suelos 47
<i>cuadro IV.1</i>	Datos agrupados por etapa de muestreo 52
<i>cuadro IV.2</i>	Datos agrupados por tipo de muestreo 65
<i>cuadro IV.3</i>	Datos agrupados por zona ecogeográfica 77
<i>cuadro IV.4</i>	Datos agrupados por taxonomía de suelos 92
<i>cuadro IV.5</i>	Datos agrupados por tipo de influencia 113
<i>cuadro IV.6</i>	Datos agrupados por textura de horizontes superficiales 131
<i>cuadro IV.7</i>	Datos agrupados por textura de del subsuelo 150

ANÁLISIS DE LAS ESTRATEGIAS DE MUESTREO Y RELACIONES EN EL COMPORTAMIENTO DE HIDROCARBUROS Y METALES PESADOS EN DIFERENTES TIPOS DE SUELOS DE LA VERTIENTE SUR DEL GOLFO DE MÉXICO, (ESTADOS DE TABASCO Y CHIAPAS).

RESUMEN

Los estudios de contaminación en suelos y manto freático en México han sido en su mayor parte enfocados a la resolución de problemas específicos. Sin embargo, cada sitio ofrece un panorama diferente del comportamiento de esta contaminación, dependiendo del contaminante, tipo de suelo, topografía, parámetros meteorológicos y otros. El diagnóstico de un sitio contaminado en un campo de producción petrolera es por mucho diferente al diagnóstico de una refinería o una petroquímica y no solo por el enfoque dimensional, sino también por las características propias de cada sitio de estudio.

Este trabajo de tesis está enfocado a aprovechar los recursos generados por uno de los proyectos ambientales más ambiciosos en México: "El diagnóstico de los efectos ambientales de la industria petrolera asociados a la Región Sur de PEMEX, Exploración y Producción". En esta tesis se aprovecha la experiencia obtenida durante cinco años de trabajo, haciendo un nuevo manejo de datos para obtener nuevos resultados.

Enfocado a los campos de producción petrolera de los Estados de Tabasco y Chiapas, se realizaron muestreos de suelos y agua freática a tres escalas, una local que se refiere a doce sitios con problemas específicos y la distribución de la contaminación en un radio de 150 m. Una escala Intermedia donde los muestreos se realizaron en un perímetro entre cinco y diez kilómetros en torno a los sitios de la escala local. Y la escala regional en un área de más de 90,000 hectáreas, influenciada por diez campos petroleros con gran cantidad de fuentes potenciales de contaminación.

A partir de los resultados reportados en el estudio antes señalado, se realizó un manejo de datos agrupando cada registro en siete categorías diferentes: etapa, tipo de muestreo, zona ecogeográfica, taxonomía de suelos, tipo de Influencia, textura de suelos en superficie y textura de suelos en fondo. Cada una de estas categorías tienen a su vez diferentes variables categóricas, las cuales se analizaron una por una para cada parámetro fisicoquímico evaluado.

A partir de los resultados encontrados se establecen tres tipos de conclusiones. En éstas, se presentan los parámetros que mas información aportaron para realizar un diagnóstico de la contaminación en un campo de producción petrolera, así como una selección de las mejores estrategias de muestreo utilizadas y como caso específico de los Estados de Tabasco y Chiapas, el comportamiento de los contaminantes en diferentes unidades taxonómicas de suelos y aguas freáticas

Prólogo

Cuando se propuso este tema para una tesis de maestría, la manera de pensar del que suscribe era otra y la idea de la tesis era muy diferente a lo que ahora se presenta. En la propuesta original los títulos y capítulos estaban encuadrados al sistema que nos impone una costumbre escolar del seguimiento del método científico, que aunque es la base de toda investigación, no forzosamente se tienen que pisar las mismas huellas para llegar al conocimiento. Parte del trabajo del investigador es ir mas allá de lo tradicional o de lo que resulta obvio, es salirse de los esquemas establecidos aunque en muchas ocasiones implique volver a los principios simples de los cuales se obtiene mayor información que en los modelos rebuscados de análisis de datos.

La investigación en nuestro país ha tenido una gran variedad de cambios en los últimos 30 años, y las generaciones que crecimos en estas tres décadas hemos visto como se ha dado una importante transformación en las computadoras, que al principio se imaginaban como una historia más del visionario Julio Verne y que comenzaron su incorporación a la sociedad mediante los sistemas de "tarjetas perforadas", el avance a cintas magnéticas para el almacenamiento de datos, los primeros disquetes que eran mas grandes que los conocidos como 5¼, y así se fueron introduciendo poco a poco a la vida cotidiana, hasta lo que hoy conocemos, con un gran avance en la tecnología del acopio y almacenamiento de información. Así mismo se fueron creando "programas" para manejar los datos cada vez más completos y cada vez más complejos y ambiciosos, comenzaba pues una carrera que hasta el momento parece interminable: "El mejor Software"

Es así como después de pasar por "Sigueme", SuperCalc", "Ami Pro", "Works", Lotus 123 y Quatro, a principios de los 90 empiezo a introducirme en el ambiente Windows, un nuevo sistema que sustituye los comandos escritos del DOS (Sistema Operativo de Disco por sus siglas en inglés) y que incluye dentro de "Office" un programa llamado "Excel", que es uno de los mejores manejadores de datos a través del sistema de "hojas de cálculo" que se haya diseñado. El manejo de datos por medio de este programa permite realizar cálculos a una velocidad sin precedente y casi de manera simultanea expresarlos de forma gráfica con una enorme ganancia en tiempo.

Y ¿por qué hago toda esta reseña? Pues sencillamente porque quiero dar a conocer que, el proceso del análisis de datos que fue empleado para esta tesis no empezó hace dos o tres años, en sí, es la experiencia adquirida con estos ordenadores a través del tiempo, poco mas de 10 años acumulando horas frente a un monitor, que al principio era blanco y negro y

ahora es un Super VGA con color verdadero de 24 bits, en fin todo esto ha sido un proceso de aprendizaje en paralelo con la evolución de la computación.

Al mismo tiempo se han hecho muchos otros avances y descubrimientos de la ciencia, donde las computadoras han jugado un papel relevante en el manejo de datos, y cabe destacar que en algunas ocasiones esta evolución parte de la existencia misma de estos ordenadores, y es aquí donde debemos tomar conciencia de que estamos ya en otro nivel del conocimiento, donde las bases del aprendizaje deben ser modificadas para que continúe la inercia de este proceso evolutivo. Debido a esta gran cantidad de cambios no podemos seguir pensando como hace 20 años, estancarnos y regresar a lo que se diseñó, probó y ajustó hace 30, la idea es partir de lo creado hasta el momento para adelantar la línea "0" (cero) y llegar aún mas adelante sin dejar atrás la objetividad, ya que en muchas ocasiones perdemos de vista la finalidad y el objetivo al que queremos llegar.

Ha sucedido, que en algunas ocasiones se hace un manejo increíble de datos con un sinnúmero de algoritmos, matrices y ecuaciones, creando una maraña de resultados de la cual no se puede encontrar la hebra, es así como no tomamos en cuenta la potencialidad del trabajo de un ordenador y nuestra ambición y sed de conocimiento nos hacen "perder el piso" en una falacia que no podemos interpretar, o se interpreta a medias cayendo en la mediocridad de lo que pudo ser un buen trabajo.

En mi opinión, prefiero un trabajo más realista, objetivo, claro, sencillo y sobretodo útil, aplicable a las necesidades de información que en el caso de esta tesis toca a la protección ambiental, en especial en el diagnóstico de sitios contaminados por hidrocarburos en zonas de producción petrolera. Y es con esta inquietud en mente que empiezo a realizar un proyecto de tesis a partir de los datos tomados del Proyecto Ambiental Región Sur.

A finales de 1995 comienza el diseño de uno de los proyectos ambientales más ambiciosos de la industria petrolera: "El diagnóstico de los efectos ambientales de la industria petrolera asociados a la Región Sur de PEMEX, Exploración y Producción, referido como Proyecto Ambiental Región Sur (PARS)". En este proyecto participaron científicos, investigadores, especialistas y técnicos de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), del Batelle Memorial Institute y del Instituto Mexicano del Petróleo, los cuales realizaron análisis, evaluaciones y modelaje para identificar y cuantificar las alteraciones en las condiciones del ambiente, como resultado de las actividades de exploración, producción, procesamiento y transporte de crudo y gas, en las áreas donde se asientan las principales instalaciones de PEMEX en Tabasco y norte de Chiapas.

En este proyecto, mi participación en un principio fue como coordinador de actividades en campo del Subproyecto Sistemas Terrestres, en la especialidad de "Aguas Subterráneas". Posteriormente fui el responsable de dicha especialidad trabajando junto con el encargado del Subproyecto y el equipo de la especialidad "Zona no Saturada", en la planeación, dirección de los muestreos en campo, cadenas de custodia, análisis de laboratorio y trabajo de gabinete, así como toda logística de cada muestreo.

Las dificultades a las que nos enfrentamos desde un principio comenzaron en el diseño de los muestreos, el número de muestras mínimas necesarias por sitio y los análisis a realizar dependiendo del tipo de contaminación. La bibliografía especializada y la experiencia de trabajos en Refinerías e instalaciones de PEMEX nos guiaban hacia un elenco muy completo de compuestos derivados del petróleo y algunos metales pesados de los cuales deberíamos decidir por su toxicidad o los que pudieran asociarse a la extracción y producción de petróleo crudo. Ya en campo y después de haber elegido los sitios de muestreo por su problemática ambiental, comenzaba un nuevo reto: adecuar un muestreo estandarizado a la topografía particular, problemática ambiental e incluso accesibilidad de cada sitio. Regularmente los libros nos indican cómo se debe hacer un muestreo; sin embargo ninguno nos dice donde lo tienes que hacer, pues cada lugar es diferente y muchas veces las condiciones particulares no se ajustan a la estrategia de muestreo, por lo que solo la experiencia y la observación puede guiarnos hacia donde es el mejor lugar para hacerlo sin provocar sesgos que pudieran influir en los resultados.

Como producto de este proyecto dentro del Subproyecto Sistemas Terrestres se generaron doce diagnósticos ambientales de suelo y agua freática a nivel Local, con su seguimiento a nivel intermedio y un diagnóstico regional del activo Cinco Presidentes; además de dos muestreos intensivos dirigidos a problemas específicos de salinidad y metales en agua freática.

Una vez concluidos los diagnósticos ambientales de los sitios evaluados y ya entregado el informe final en diciembre de 1999, surge la idea de hacer algo diferente con los mismos datos evaluados durante todo el proyecto, de obtener más información de los resultados y de aprovechar toda la experiencia adquirida en casi cinco años de trabajo, basado en la importancia de las observaciones, la necesidad de saber qué analizar en un campo de producción petrolera a diferencia de otras instalaciones, de qué estrategias se deben utilizar para cada tipo de muestreo, así como del comportamiento de los contaminantes en los diferentes tipos de suelo. Con lo que comienza la idea de dirigir estas inquietudes como punto de partida de esta Tesis de Maestría.

Glosario

Con el fin de establecer un criterio uniforme en el texto del presente estudio, se presenta a continuación un glosario de los términos utilizados particularmente para esta tesis:

Ademe	Recubrimiento que impide el derrumbe de los pozos y norias. En algunas ocasiones este ademe se encuentra ranurado para permitir el flujo del agua freática.
Aguas congénitas	Agua extraída junto con el petróleo crudo como subproducto de acompañamiento.
Aguas freáticas	Primera capa saturada de agua en el subsuelo.
Ambiente	Conjunto de elementos naturales o inducidos por el hombre que interactúan en un espacio y tiempo determinados.
Batería, o Batería de separación	Instalación petrolera que separa los componentes del petróleo crudo, agua, petróleo y gas natural.
Contaminación	Alteración nociva de las condiciones normales de cualquier medio por la presencia de agentes físicos, químicos o biológicos ajenos al mismo.
Contaminante	Toda materia o energía en cualquiera de sus estados físicos y formas que al incorporarse al medio ambiente físico o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición o condición natural.
Derrame	Hidrocarburo que impregna el suelo a causa de una fuga accidental o inducida.
Deterioro Ambiental	Degradación de los atributos naturales del ambiente.
Diagnóstico Ambiental	Estudio de los atributos físicos, químicos y biológicos del ambiente encaminado a identificar alteraciones en su calidad original.
Doméstico	Agua de uso "doméstico" es decir que se utiliza para limpiar, lavar regar, abreviar animales e incluso preparar alimentos.
EPA	(Environmental Protection Agency) Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos de América.
Fondo	Horizontes del subsuelo
Fosas de desperdicio	Fosas en las cuales se vierten los subproductos de la perforación o de la separación del petróleo crudo (agua congénita, lodos de perforación, hidrocarburos disueltos o en suspensión).
Fuente	Lugar donde se causa la contaminación.
Ganado	Refiérase al lugar donde se tiene, cría o alimenta al ganado bovino

Hand auger	Barrena manual de acero inoxidable con extensiones para perforaciones hasta un máximo de 4 metros.
Lodos de perforación	Subproducto de la perforación.
Manto freático	Conjunto de aguas freáticas.
Microcuenca	Superficie de la tierra firme delimitada por líneas divisorias de agua o fronteras artificiales como rellenos o carreteras.
Noria	Perforación doméstica fija, utilizada para el abasto de agua para uso doméstico, para abrevadero de ganado o para riego. Las paredes de las norias suelen estar ademadas con ladrillo, cemento, tubos de drenaje de 1m de diámetro (alcantarillas), tubos de acero o en pocas ocasiones sin recubrimiento, pueden tener bomba eléctrica de extracción o solo una cubeta con una cuerda para alcanzar el nivel del agua y extraerla. Generalmente el diámetro de estas norias va de 60 cm hasta los 2 m.
Pantano	Lugar con suelos impermeables que propicia el acumulamiento de agua sin movimiento aparente y que permite el crecimiento de flora y fauna características de humedales, popales y manglares.
Pozo	Perforación temporal utilizada para tomar muestras de suelos y aguas freáticas, el diámetro de estos pozos va de 15 a 60 cm
Pozo de sondeo	Perforación temporal utilizada para tomar muestras de suelos y aguas freáticas, el diámetro de estos pozos va de 15 a 60 cm
Presa	Fosas utilizadas para verter los subproductos y desperdicios de la perforación y extracciones primarias de petróleo crudo.
Salmuera	Agua hipersalina, (se considera fuera de lo normal la salinidad en el agua mayor a 1 parte por mil.)
Superficie	Horizontes superficiales
Tipo de suelo	Hace referencia a la textura en la clasificación taxonómica del suelo.

(De la Lanza, E.G.; Cáceres, M.C.; Adame, M.S. y Hernández P.S. 1999; Lugo, H.J. 1989; Ochoa, V.J., 1995)

Capítulo I. Introducción

Los problemas asociados a la contaminación del suelo y manto freático han sido hasta últimas fechas incorporados en México a proyectos de corte ecológico y protección ambiental (IMP, 1995). Los estudios de suelos presentan dificultades debido a que la contaminación en éstos no se refleja directamente como sucede en aire y en agua. Por lo que en el pasado solo se realizaban cuando era más que evidente su influencia sobre el medio ambiente, sin embargo en la actualidad se ha comenzado a dar importancia a las diversas técnicas que ofrecen resultados aplicables en suelos.

El proceso de explotación y producción del petróleo conlleva frecuentemente el uso del suelo ya sea en pozos de extracción, tuberías, presas de desperdicios, oleoductos y otros (PEMEX, 1992; IMP, 1993); por lo que ninguna planta o industria en el mundo que maneje este tipo de materia prima, está exenta de contingencias en donde el suelo sea el receptor de contaminantes y el manto freático muchas veces el vehículo de transporte.

En México desde hace varios años se han realizado estudios sobre la contaminación de los suelos. Las tendencias principales en dichos estudios se refieren en su mayoría a remediar sitios específicos, para lo cual existen diversas técnicas que van desde la extracción física de los suelos, hasta los complicados procesos de solidificación, incineración o biorremediación entre otros.

El principal problema de la contaminación en suelos es la dispersión de los contaminantes o subproductos de estos a través de los diferentes horizontes y como una posible consecuencia, su transporte por el manto freático (IMP, 1995). La diferente constitución de los suelos limita o acelera el paso de los hidrocarburos hacia estratos inferiores, siendo indispensable el conocimiento del comportamiento tanto de los hidrocarburos como de los metales que paralelamente se extraen o se utilizan para la extracción del petróleo crudo.

De acuerdo con el informe de labores de Petróleos Mexicanos (PEMEX, 1999) nuestro país produjo durante 1998 un total de 3070 Miles de Barriles Diarios (MBD) y aproximadamente el 20% es extraída en pozos en operación de la zona Sur, lo cual constituye una de las zonas más propensas a problemas causados tanto por derrames como por la disposición directa del petróleo crudo al suelo.

La vertiente Sur del Golfo de México se encuentra dentro de la división política de los Estados de Tabasco y Chiapas. En esta vertiente las actividades petroleras se desarrollan predominantemente en tres unidades ecogeográficas: las Terrazas Disectadas Miocénicas, la Llanura alta y la Llanura baja de la Planicie Aluvial del Reciente. Los suelos que se

presentan en cada unidad ecogeográfica difieren en sus propiedades físicas, químicas y mineralógicas: en la unidad de Terrazas Disectadas los suelos son de desarrollo avanzado, son profundos, contienen una gran cantidad de arcillas caoliniticas y de óxidos de hierro y aluminio, son de reacción ácida y tienen una baja a moderada capacidad de intercambio catiónico. En la Llanura alta de la Planicie Aluvial, los suelos son más jóvenes, medianamente profundos y de texturas intermedias; su reacción es ligeramente ácida, tienen una alta capacidad de intercambio catiónico; mineralógicamente están dominados por arcillas del tipo esmectita e illita y el manto freático se encuentra generalmente entre 1 y 2 m de la superficie. En la Llanura baja de la Planicie Aluvial los suelos se encuentran saturados con agua la mayor parte del año, contienen muy altos contenidos de materia orgánica, la cual está fermentada en la superficie y humificada a profundidad (IMP, 1999a).

Existe una variedad de suelos que dominan estas áreas, dentro de los cuales los más comunes son los Fluvisoles, los Gleysoles, los Alisoles, los Histosoles y los Arenosoles. Estas subunidades de suelos se encuentran en diferentes proporciones y variantes según las áreas. Asimismo pueden distinguirse diferentes usos del suelo como cuerpos de agua, zonas urbanas, zonas erosionadas e instalaciones petroleras (IMP, 1999b).

Las instalaciones petroleras ubicadas en la vertiente sur del Golfo de México (Región Sur) ocupan el tercer lugar en producción de petróleo crudo después de las dos regiones marinas, esto es un total de 620.8 miles de barriles diarios. (PEMEX, 1999). La producción de petróleo crudo así como de gas natural, conlleva la perforación de pozos tanto exploratorios como de producción, en los cuales se generan tanto salmuera como residuos de perforación e incluso recortes de petróleo crudo o líquidos del gas (IMP, 1999c).

En muchas ocasiones la disposición de estos materiales se realizó depositándolos en fosas de desperdicio construidas sobre suelo natural. Este tipo de fosas también se emplearon en zonas aledañas a las baterías, deshidratadoras y centrales de almacenamiento y bombeo, en otras ocasiones se utilizaron presas improvisadas con materiales de relleno entorno a los pozos, por lo que en ambos casos el agua contaminada, como líquidos de desperdicio e incluso petróleo crudo quedaron en contacto directo con el suelo (IMP, 1999d).

Desde el punto de vista ambiental este tipo de prácticas de disposición de residuos directamente a los suelos representa una problemática debido a la toxicidad de algunos de los elementos que conforman los hidrocarburos y su posible transporte hacia otras zonas a través del manto freático (ARPEL, 1992)

El traslado de las sustancias contaminantes en el subsuelo pueden ser consecuencia de los fenómenos de advección, dispersión hidrodinámica y difusión molecular y adsorción.

y complejos procesos tanto de índole química como microbiológica, que afectan al destino de las sustancias contaminantes en el subsuelo, contribuyendo al frenado de su traslado o a la atenuación de su concentración (LaGrega *et al.*, 1996)

En la vertiente sur del Golfo de México (Estados de Veracruz, Tabasco y Chiapas) desde hace 50 años se han perforado una gran cantidad de pozos petroleros, en muchos de los cuales no se tomó en cuenta la contaminación que puede producir el manejo del petróleo crudo o subproductos de éste y de su disposición directamente sobre el suelo, otra fuente importante de contaminación del suelo son las fugas y derrames ocurridos por rotura de ductos, accidental o en ocasiones premeditada en lo que se conoce comúnmente como “tomas clandestinas” las cuales pueden ocasionar problemas significativos de contaminación.

Tomando en cuenta todos estos puntos de fragilidad de la industria petrolera sobre el ambiente tenemos suelos afectados desde hace mucho tiempo sin tener una idea de que está pasando en el subsuelo y en consecuencia en el manto freático, en el mejor de los casos la dispersión de contaminantes solo ha llegado a unos cuantos metros en el plano horizontal pero se desconoce que pasa en el plano vertical.

El presente trabajo representa una forma diferente de abordar el problema de la contaminación en una parte de la vertiente sur del Golfo de México, y esta enfocado para aprovechar los recursos de uno de los proyectos ambientales más ambiciosos en México: “El diagnóstico de los efectos ambientales de la industria petrolera asociados a la Región Sur de PEMEX, Exploración y Producción” (PARS), aprovechando la experiencia obtenida durante cinco años de trabajo, haciendo un nuevo manejo de datos que aportará nuevos resultados y del cual puede emerger una gama de investigaciones a futuro.

Durante la ejecución del PARS se analizaron los principales problemas de contaminación asociados a los campos de producción petrolera en los Estados de Tabasco y Chiapas, se realizaron muestreos de suelos y agua freática a tres escalas, una local que se refiere a doce sitios con problemas específicos y la distribución de la contaminación en un radio de 150 m. Una escala intermedia donde los muestreos se realizaron en un perímetro entre cinco y diez kilómetros en torno a los sitios de la escala local. Y la escala regional en un área de más de 90,000 hectáreas, influenciada por diez campos petroleros y con una gran cantidad de fuentes potenciales de contaminación.

Una vez concluido el PARS se propuso este trabajo de tesis, retomando algunos resultados mas consistentes, se aplicaron filtros agrupando los datos de acuerdo con las variables categóricas de cada categoría, por ejemplo: la categoría **Eta**pa tiene tres variables categóricas que serían **Local**, **Intermedia** y **Regional**, que corresponden al nivel de

muestreo, entonces los datos con sus respectivos resultados de 22 parámetros fisicoquímicos fueron colocados de acuerdo a su nivel de muestreo, posteriormente se analiza el comportamiento de cada parámetro en cada categoría a través de pruebas estadísticas y análisis gráficos, haciendo las comparaciones entre las variables categóricas. Este procedimiento se aplicó a siete diferentes categorías: etapa, tipo de muestreo, zona ecogeográfica, taxonomía de suelos, tipo de Influencia, textura de horizontes superficiales y textura de horizontes del subsuelo, con sus respectivas variables categóricas.

Un análisis de datos realizado de esta forma, además de aislar cualidades específicas de cada sitio, determinar la eficiencia de una estrategia de muestreo o de los parámetros analizados, nos señala las tendencias de los diferentes parámetros cuando cambian las características de los puntos de muestreo, es decir que cada uno de los 22 parámetros fisicoquímicos es analizado en 38 situaciones diferentes con lo que se evidencian las relaciones que existen entre los contaminantes, los diferentes tipos de suelos y el manto freático.

El constante trabajo ambiental en diferentes zonas con sus características independientes comienza siempre con un diseño de un muestreo de acuerdo a la problemática específica de cada lugar, los campos de producción no son la excepción y su relación estrecha con ambientes inalterados constituyen un patrón de fragilidad ambiental, por lo que su estudio a través de diagnósticos y análisis ambientales se hace necesario más frecuentemente. Para poder llevar a cabo un análisis ambiental o un diagnóstico de un sitio contaminado es necesario saber ¿Qué hay que analizar en un campo de producción petrolera?; ¿A que nivel?, ¿cómo y que se tiene que tomar en cuenta cuando se hace un muestreo en campos de producción de petróleo? y ¿Qué es lo que espero encontrar?. A través del manejo de datos, esta tesis pretende responder estas preguntas tomando como base los siguientes objetivos:

Objetivos

Objetivo General:

Contribuir al conocimiento del comportamiento de los contaminantes en los suelos.

Objetivos específicos:

1. Determinar los parámetros necesarios a analizar en suelo y manto freático, para evaluar la contaminación asociada a la producción de petróleo crudo.
2. Evaluar estrategias de muestreo para el análisis de la contaminación asociada a la producción de petróleo crudo en suelos y agua freática.
3. Establecer las posibles relaciones en el comportamiento de los contaminantes asociados a la producción de petróleo entre diferentes suelos y el manto freático.

Capítulo II. Los sitios de Estudio: Localización y Problemática

El presente trabajo tiene como base el estudio los suelos y las aguas freáticas muestreadas durante el Proyecto Ambiental de la Región Sur (PARS) en los Estados de Tabasco y Chiapas, debido a la magnitud en área y elementos a estudiar se realizaron dos etapas con diferentes intensidades de análisis, la primera etapa se dividió en dos niveles de muestreo, uno local y otro a nivel intermedio; mientras que en la segunda etapa se realizaron los muestreos a nivel regional (Figura II.1) a continuación se presenta el marco espacial de cada uno de las niveles que componen este proyecto:

II.1 Nivel Local

En este nivel se analizaron 12 instalaciones petroleras propuestas para su estudio de acuerdo a visitas prospectivas, a través de la cantidad de reclamos que se presentaron a Petróleos Mexicanos y basados en los inventarios de fuentes en cada una de las áreas. Posteriormente se realizó una consulta con las normativas ambientales del Estado de Tabasco en acuerdo con los investigadores de todas las especialidades de los subproyectos y los asesores del Battelle Memorial Institute, definiéndose el primer listado de áreas propuestas. Estos sitios se seleccionaron por representar los mayores problemas de contaminación y definitivamente en donde se esperaban los peores efectos al ambiente, por lo que este tipo de estrategia permitió realizar una caracterización en cada uno para posteriormente, extrapolar los resultados en lugares con problemas de menor intensidad.

Los 12 sitios se ubican en 4 áreas petroleras como se describe a continuación:

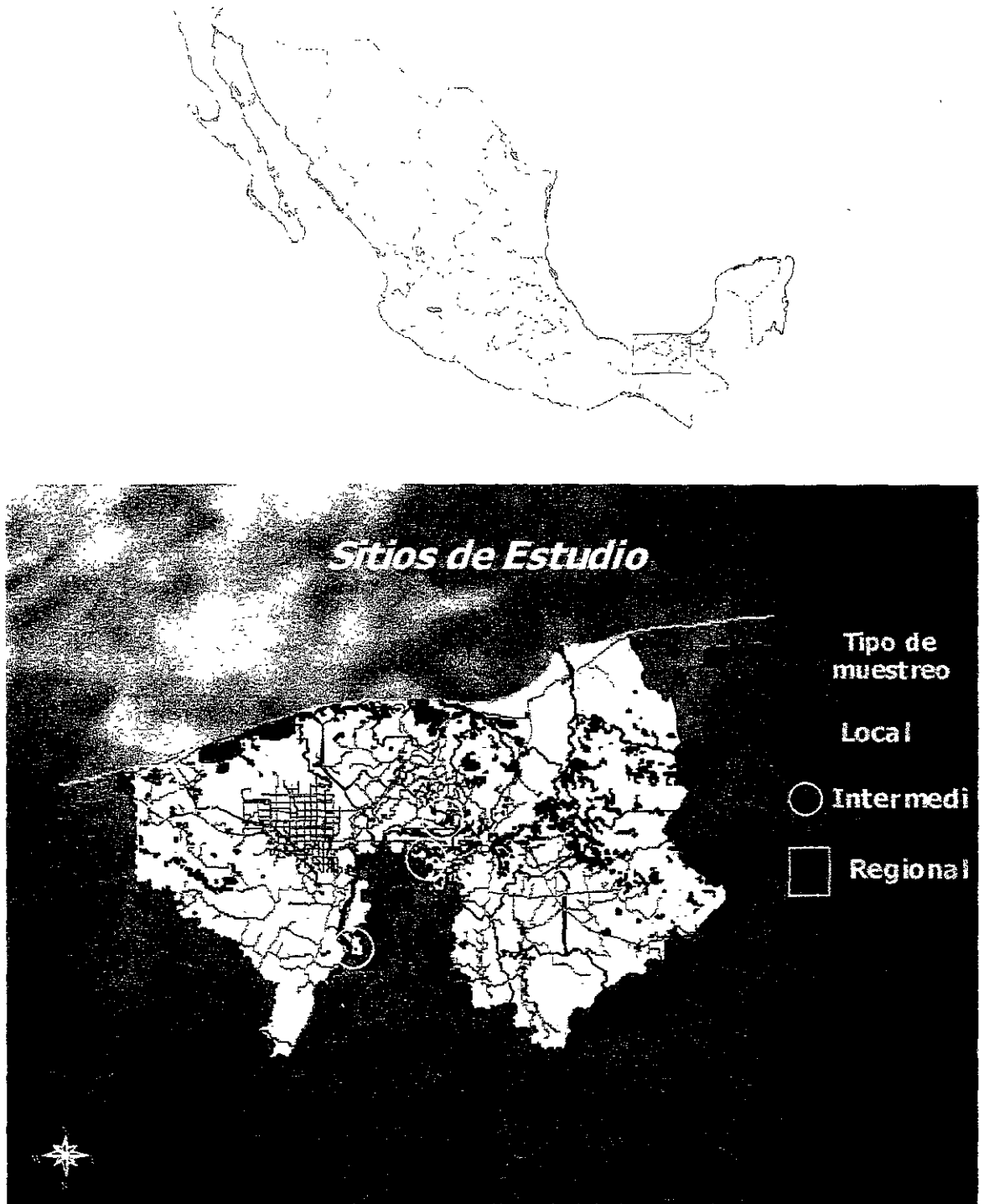


Figura II.1 Ubicación de la zona de estudio y los sitios analizados en las diferentes etapas

(INEGI, 1986)

- **Campo Cinco Presidentes**

Este sitio fue seleccionado por problemas de contaminación del suelo ocasionados hace 50 años aproximadamente, con presencia de fosas de desperdicio en los pozos de extracción y baterías así como derrames y disposición de crudo directamente al suelo. En esta área existe una problemática social compleja traducida en frecuentes demandas contra la Industria Petrolera. En el campo Cinco Presidentes se estudiaron tres sitios, las áreas aledañas a las baterías 1 y 5 donde se encuentran presas de desecho de hidrocarburos construidas en suelo natural, las cuales han operado durante varios años. Por otra parte se analizó un derrame ocurrido hace varios años ocasionado por la rotura de una línea entre los pozos 28 y 40.

Batería 1. En el área de la Batería 1 del Campo Cinco Presidentes, existe un área pantanosa que fue utilizada como cuerpo receptor de productos diversos entre ellos hidrocarburos, así mismo en su proximidad existe una zona afectada por un derrame de hidrocarburos. La región evaluada es de tipo pantanoso y forma parte del sistema regulador en el cual esta incluida la laguna "El Yucateco" (Figura II.2).

Batería 5. En la batería 5 existen dos presas de adsorción construidas sobre suelo natural, que funcionaron como cuerpos receptores de aguas con altos contenidos de hidrocarburos procedentes de este centro de trabajo. Estas presas colindan al sureste con una zona de pantanos, que forman parte del sistema regulador Río Chicozapote - Laguna Yucateco. La presencia de estas presas en una zona propensa a inundaciones, ha ocasionado el arrastre de hidrocarburos hacia el pantano, por lo que se han realizado actividades de limpieza mediante el dragado de los sedimentos, el material colectado ha sido depositado en sus inmediaciones directamente sobre el suelo (Figura II.3).

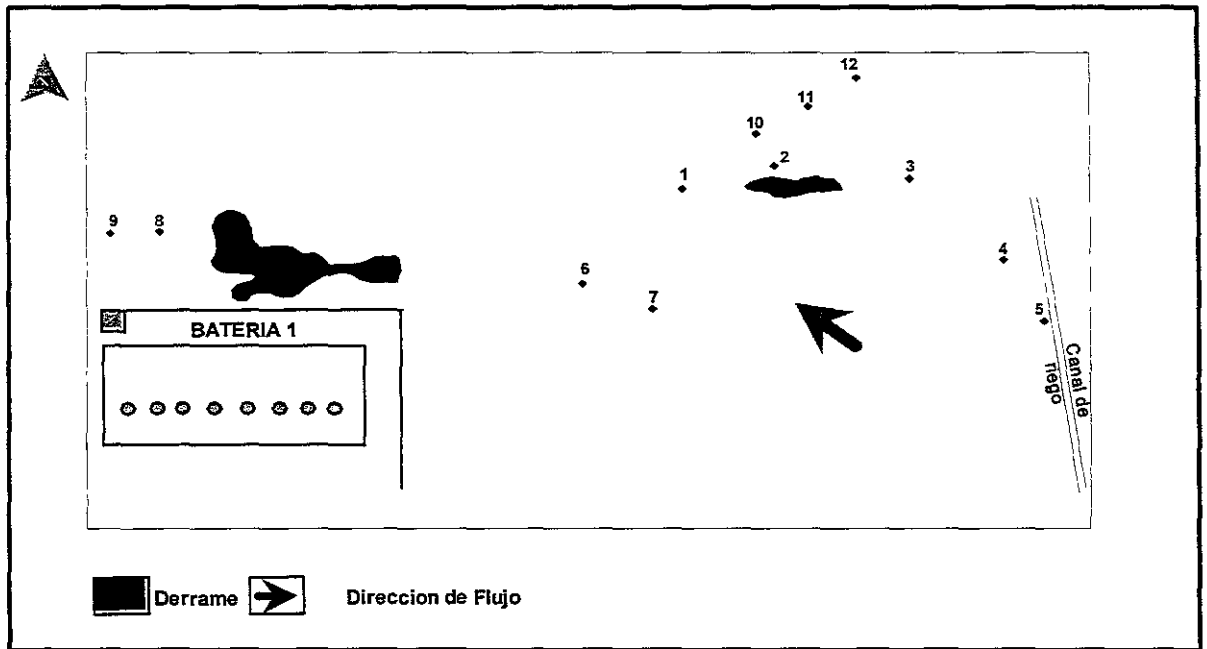


Figura II.2 Distribución de las estaciones de muestreo de la localidad de Cinco Presidentes Bateria 1

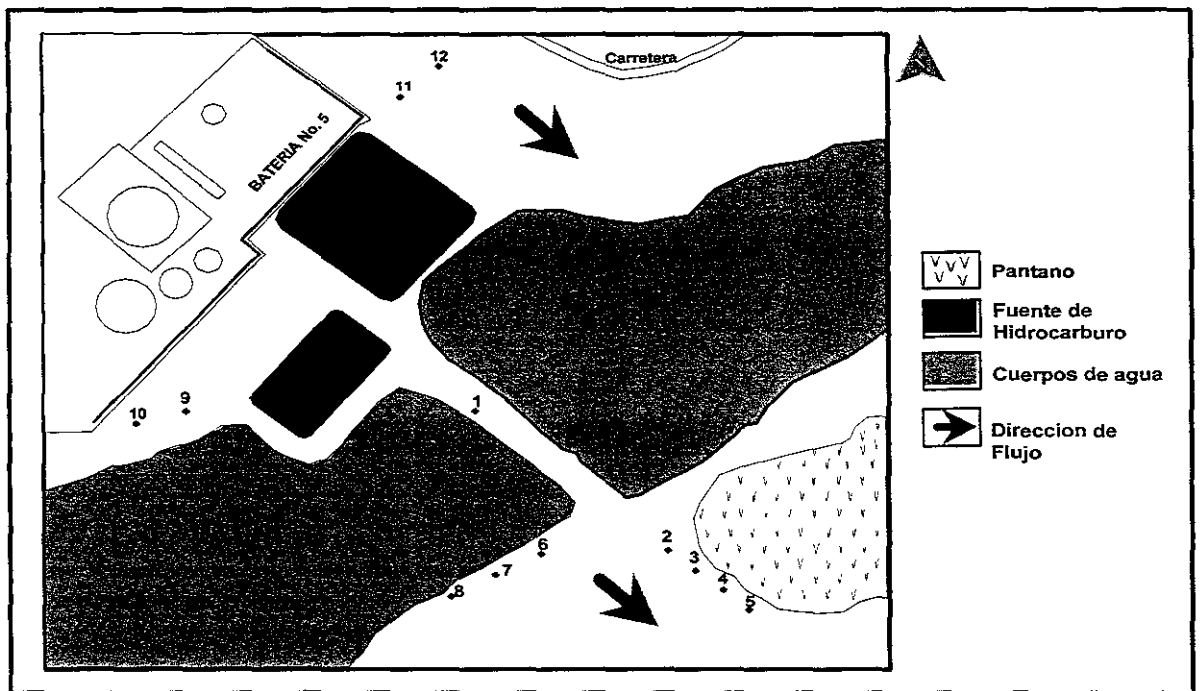


Figura II.3 Distribución de las estaciones de muestreo de la localidad de Cinco Presidentes batería 5

Derrame entre pozos 28 y 40. La zona de estudio se localiza entre los pozos 28, 40 y 193 del campo Cinco Presidentes. Es un área de pantanos y manglares, en donde la especie dominante es el mangle rojo (*Rhizophora mangle L. 1753*), los pozos están comunicados por un camino de terracería construido con relleno de tierra. En esta área se presentó en el pasado la fuga de hidrocarburos en el ducto que comunica los pozos antes mencionados, el volumen de hidrocarburos derramado se desconoce pero afectó la zona de manglar y a la fecha del muestreo, podía observarse la presencia de chapopote impregnado en algunos rizóforos o raíces aéreas de mangle, así como iridiscencia en pequeñas charcas de agua.

En esta área en un espacio relativamente corto, existen 3 pozos en producción P-193, P-40 y P-28, por lo cuál también constituye una excelente oportunidad de evaluar los posibles aportes de contaminantes que pudieran haberse originado como consecuencia de las actividades de producción petrolera (figura II.4)

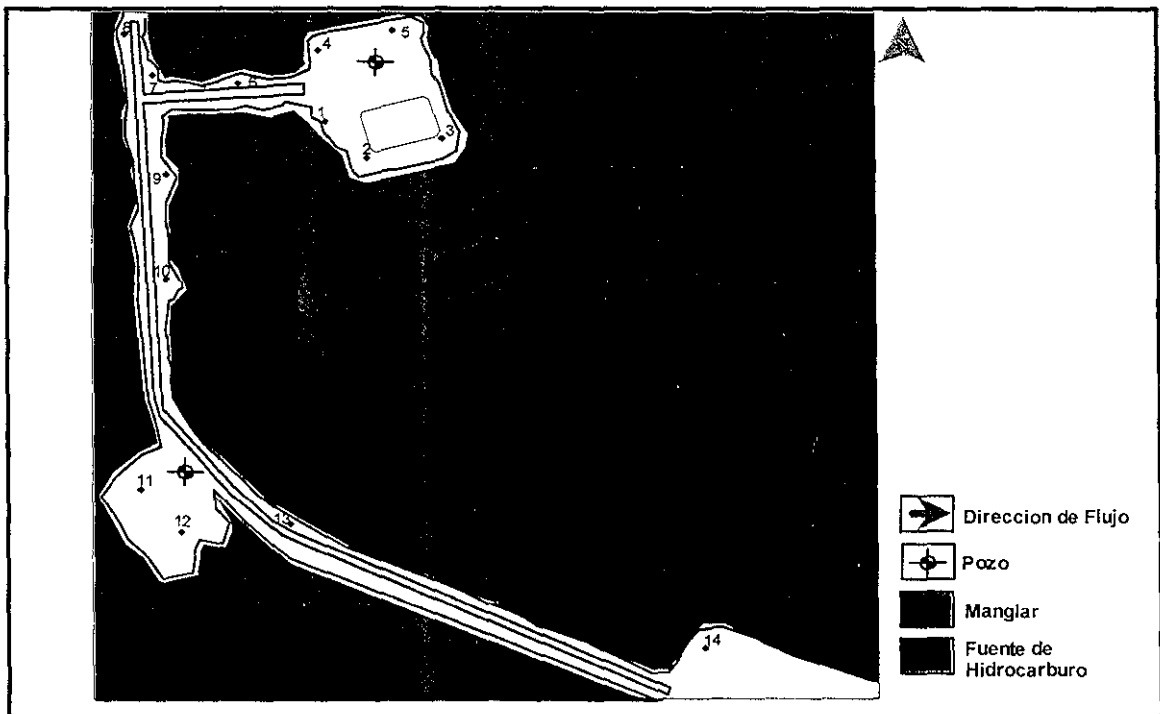


Figura II.4 Distribución de estaciones de muestreo de la localidad de Cinco Presidentes derrame

- **Campo Girdaldas**

Este sitio se encuentra en los límites de los Estados de Tabasco y Chiapas, es una región de lomeríos alejada de poblaciones importantes, en estas zonas se detectó un problema de contaminación del suelo ocasionado por una fuga en las áreas aledañas a la trampa de diablos de la batería Girdaldas; por otra parte el pozo Girdaldas 10 fue utilizado como un centro de acopio de lodos de perforación en tres fosas de desperdicio. Así mismo se estudió un área aledaña al pozo 72 posiblemente perforado en los años 70's, en operación y sin contaminación aparente.

Pozo Girdaldas 10. En esta zona existen tres presas que han sido utilizadas para el almacenamiento y tratamiento de productos oleosos de diverso origen, las cuales fueron construidas aparentemente sobre terreno natural, aprovechando el relieve y hondonadas del sistema de lomeríos de esa área. Se seleccionó a esta zona como prioritaria para la evaluación de los posibles efectos al agua subterránea que pudieran derivar de infiltraciones. (Figura II.5).

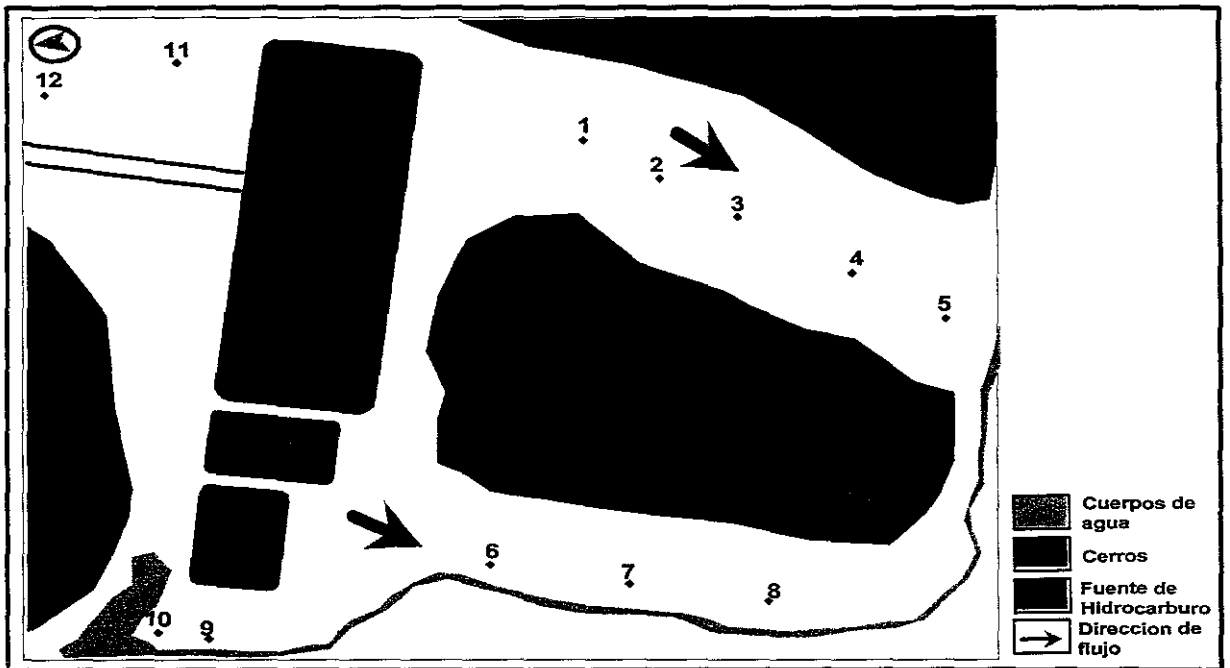


Figura II.5 Distribución de estaciones de muestreo de la localidad de Girdaldas pozo 10.

Pozo Girdaldas 72. Se localiza en una planicie en la porción norte del campo petrolero Girdaldas, en una zona en donde el terreno es utilizado para el cultivo de pastizales, así como de plátano y maíz principalmente. En esta área aún se conservan dos presas a ambos lados del pozo petrolero, las cuales aparentemente se encontraban limpias. Se escogió a este sitio como representativo de un pozo en condiciones normales de operación, por lo que la importancia de su evaluación radica en que puede ser un buen indicador del posible efecto de las actividades de producción de petróleo en esa región bajo condiciones normales de operación. (Figura II.6).

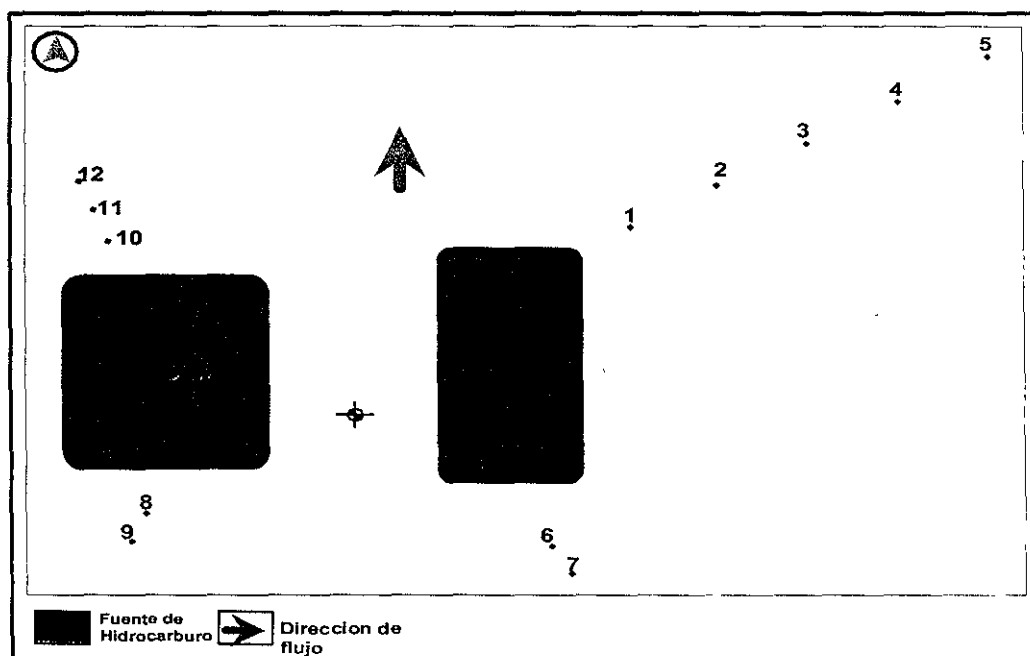


Figura II.6 Distribución de estaciones de muestreo de la localidad de pozo Girdaldas 72.

Derrame de la Batería Girdaldas. El área próxima a la trampa de diablos de la Batería Girdaldas, en particular alrededor del quemador de campo, existen zanjas construidas sobre suelo natural, las cuales presentaron hidrocarburos en fase libre, poniendo en evidencia un fuerte proceso de contaminación del suelo y de las aguas freáticas. El análisis por destilación simulada de este producto, mostró que se trata de una mezcla de hidrocarburos muy similar a la gasolina. En virtud de lo anterior se seleccionó esta área para determinar los efectos sobre el agua freática, asociada a fenómenos de infiltración de hidrocarburos (Figura II.7).

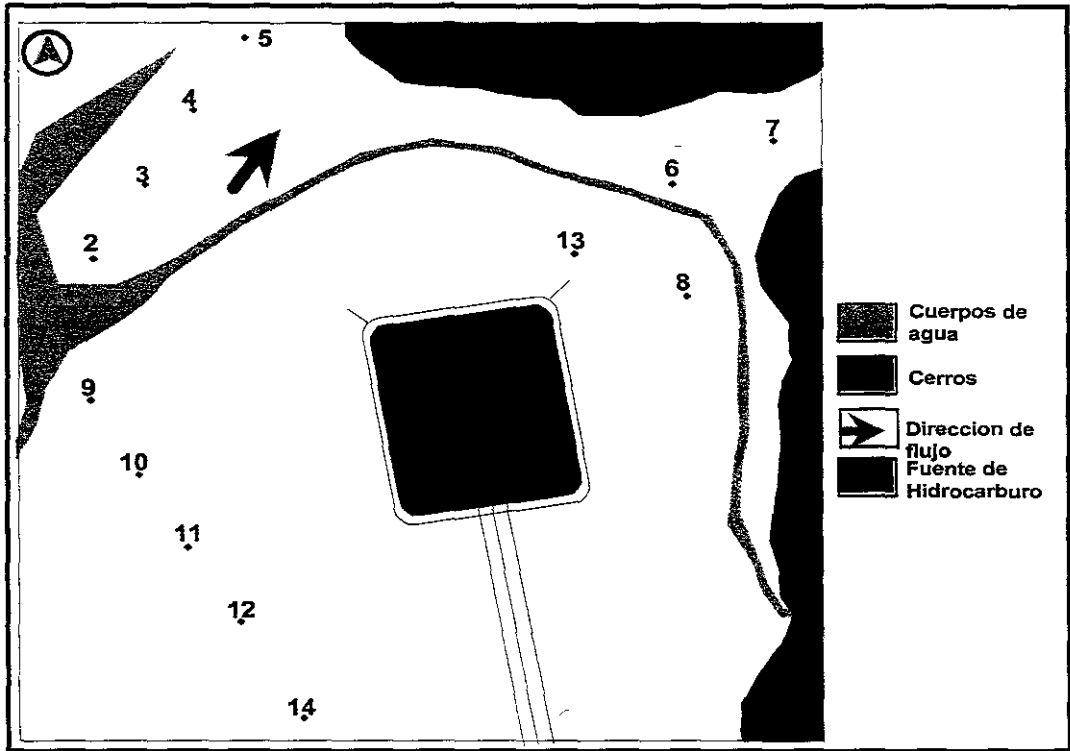


Figura II.7 Distribución de estaciones de muestreo de la localidad de la batería Girdas.

- Área Samaria- Iride

En el área Samaria- Iride se seleccionó un sitio junto a una fosa de la Batería Iride II, Así mismo fueron seleccionados 2 sitios en la Central de Almacenamiento y Bombeo (C.A.B.) Cunduacán y la Deshidratadora Samaria II. con fosas de deshechos que presentaron problemas de salinización en suelos a partir de aguas congénitas y aceitosas procedentes del separador API en ambos casos.

C.A.B. Cunduacán. Hacia el nordeste de la Central de Almacenamiento y Bombeo de Cunduacán, se ubica esta zona de estudio entorno a dos fosas construidas sobre suelo natural, éstas son utilizadas como presas de retención de hidrocarburos y agua procedentes de los sistemas de separadores API de ese centro de trabajo. Dichas presas construidas al borde de la carretera, estaban rodeadas por terrenos de cultivo de maíz y frijol principalmente, así como por huertos familiares de mango, papaya y plátano. (Figura II.8)

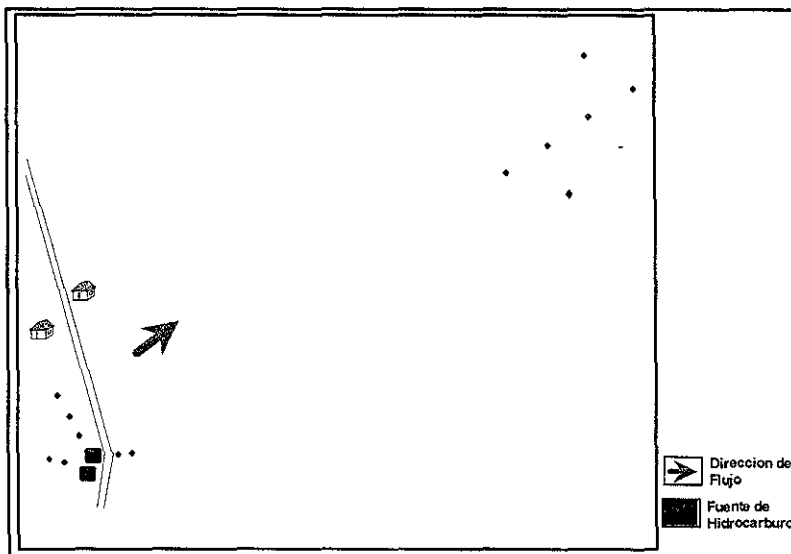


Figura II.8 Distribución de estaciones de muestreo de la localidad del C.A.B. Cunduacán

Batería Iride II. En la Batería II del campo Iride, existe en su porción Este una presa construida sobre el suelo natural, la cual recibió las descargas de agua procedentes de un sistema de separadores API. Esta presa dispone de un canal de salida, que descarga directamente a una zona inundable en donde existe una red de ductos que aparentemente conducen hidrocarburos relacionados con las actividades de separación de dicha Batería.

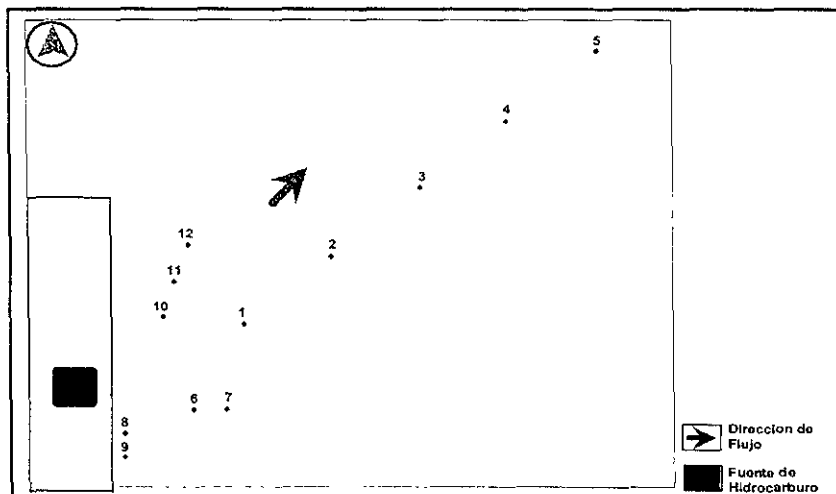


Figura II.9 Distribución de estaciones de muestreo de la localidad de Iride batería II.

Fosas de la Deshidratadora Samaria II. En el campo Samaria existe un sistema de fosas de separación de agua - hidrocarburos que operaba por diferencia de densidades, siguiendo el principio básico de los separadores API. Este sistema que consta de tres presas

construidas aparentemente sin ningún recubrimiento impermeabilizante y conectadas en serie, recibía las aguas de la planta de deshidratación Samaria II, las cuales por su procedencia contienen altas concentraciones de hidrocarburos, así como sales. Los hidrocarburos recuperados son reincorporados a los oleoductos, y la salmuera se descargaba al Río Samaria, cuerpo receptor final. (Figura II.10)

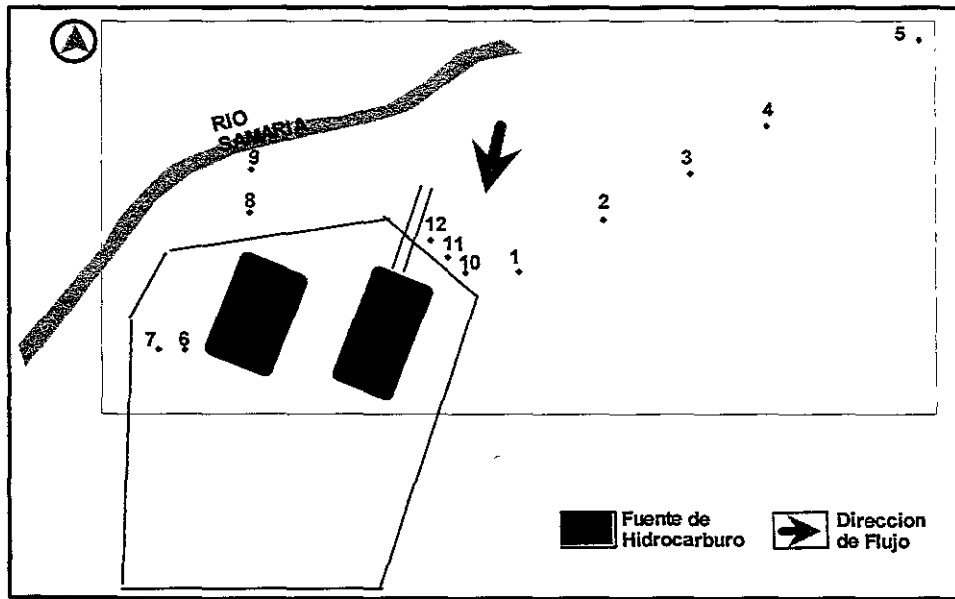


Figura II.10 Distribución de estaciones de muestreo de la localidad de Samaria fosa de desechos.

- **Área Cactus- Nuevo Pemex.**

En el área de Cactus – Nuevo Pemex, los pozos Níspero 95 y Cactus 11 son pozos en producción, y fueron seleccionados como referencias sobre los posibles efectos en el mediano plazo asociados con la producción de hidrocarburos. En este sitio también se estudió la batería Cactus II que presenta en sus fosas de desperdicio y separación aguas con alto contenido de hidrocarburos, estas fueron construidas sobre suelo natural.

Pozo Níspero 95. Camino al complejo petroquímico Cactus, se encuentra el campo productor Níspero, en particular el pozo petrolero Níspero 95, se localiza en una ranchería en donde los moradores han utilizado las áreas de lo que fueron las presas de desperdicios del pozo petrolero, como un campo improvisado de fútbol. En el caserío aledaño, se han

construido norias para abastecimiento de agua, la cual es utilizada principalmente con fines de riego y actividades domésticas diversas. (Figura II.11)

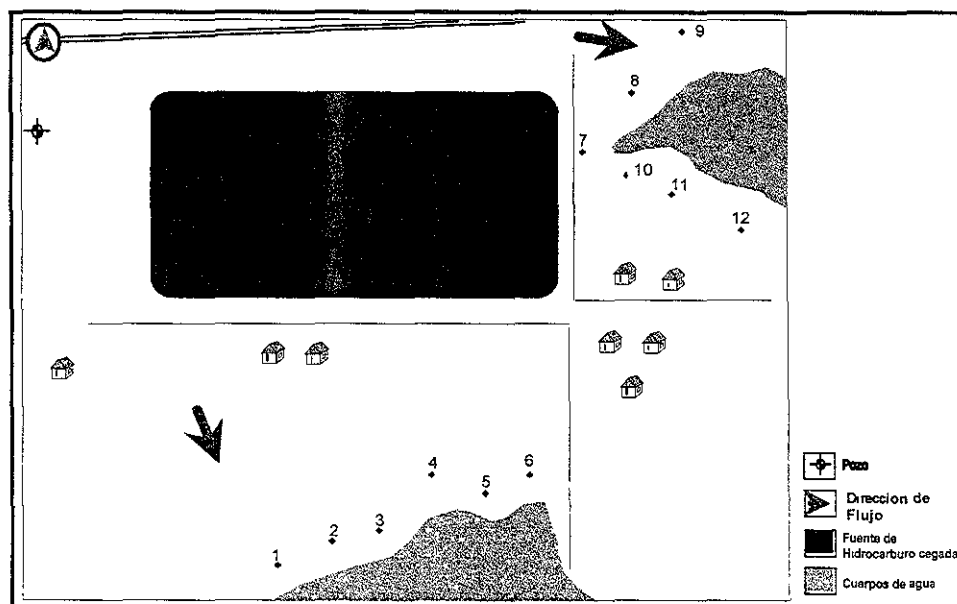


Figura II.11 Distribución de estaciones de muestreo de la localidad de Cactus pozo níspero 95

Batería Cactus II. En este sitio existe una presa de retención de agua e hidrocarburos, misma que fue construida sobre el suelo sin recubrimiento aprovechando su relieve natural. Esta presa mostraba iridiscencia, impregnación y adherencias de hidrocarburos y limita al norte con una región baja, pantanosa, inundable durante la temporada de lluvias. (Figura II.12)

Pozo 11. El pozo Cactus 11, se encuentra en condiciones normales de operación, en este sitio aún se observa la presencia de la presa de lodos, la cual aparentemente se encuentra limpia, al igual que en el pozo Níspero 95, existen caseríos y los moradores utilizan el agua freática para actividades de riego, limpieza y en las actividades domésticas cotidianas. (Figura II.13)

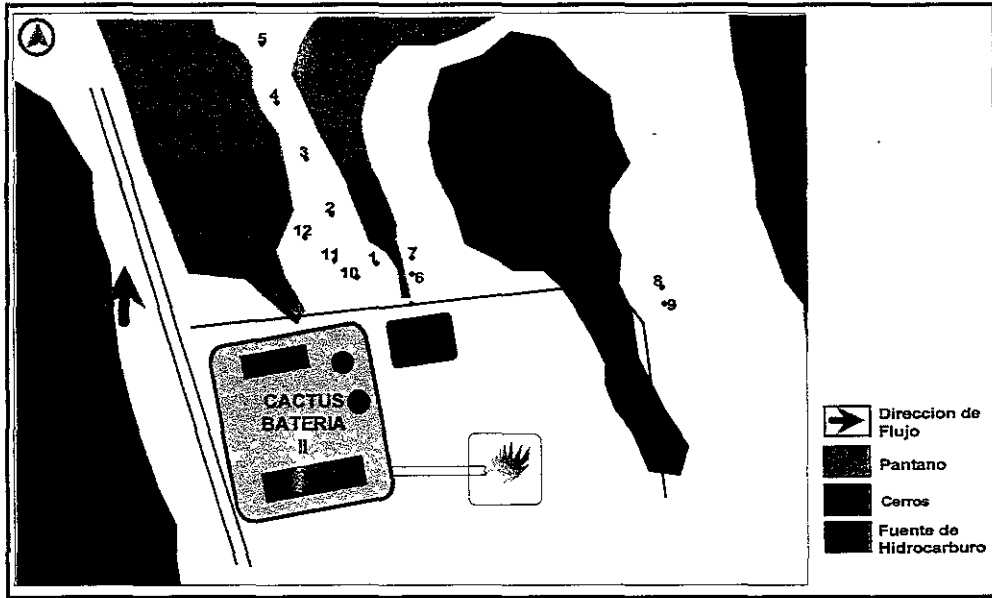


Figura II.12 Distribución de estaciones de muestreo de la localidad de Cactus batería II

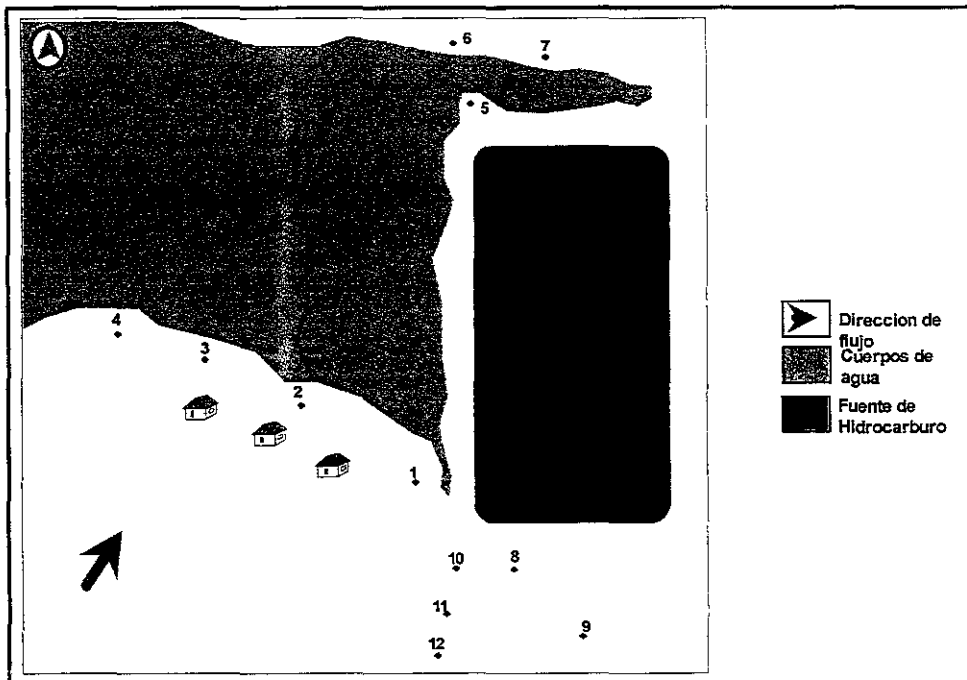


Figura II.13 Distribución de estaciones de muestreo de la localidad de cactus pozo 11.

II.3 Nivel Regional

Durante la segunda etapa de este análisis ambiental, el estudio a nivel Regional se centró en el Activo Cinco Presidentes, antes área del Distrito Agua Dulce, donde se incluyen diez campos petroleros:

- Cinco Presidentes
- San Ramón
- Rodador
- Sánchez Magallanes
- Tucán
- Otates
- Blasillo
- Ogarrio
- La Venta
- San Alfonso

Esta área está limitada al Norte por el Golfo de México, al Sur por el río “Zanapa”, al Poniente por el río “Tonalá” y al Oriente por el Complejo Lagunar “El Carmen”- “Pajonal”- “Machona” así como el camino que conduce al poblado “El Infierno”, fue seleccionada debido a que presenta problemas antiguos y evidentes de contaminación en suelos, ya que la perforación de los pozos petroleros se realizó hace aproximadamente 50 años y la protección al ambiente no tenía la importancia que ahora representa. La existencia de gran cantidad de fuentes potenciales de contaminación interactuando, permitió darle a este estudio un enfoque regional, diseñado de acuerdo a la presencia de 15 microcuencas delimitadas por ríos, carreteras, caminos de terracería y cuerpos de agua importantes, las cuales actúan como barreras artificiales y naturales para el transporte de la contaminación. (Figura II.18)



Figura II.18 Distribución de norias muestreadas en el área de estudio del Activo Cinco Presidentes, Tabasco.

Capítulo III. Desarrollo Metodológico

Como se mencionó anteriormente, el presente estudio parte de los resultados generados en el proyecto "Diagnóstico de los efectos ambientales de la Industria Petrolera asociados a la Región Sur de PEMEX Exploración y Producción" (PARS) realizado por el Instituto Mexicano del Petróleo, el Memorial Battelle Institute y la UNAM entre 1995 y 1999. Parte de las actividades del subproyecto "Sistemas Terrestres" del PARS, fue el estudio de la zona no saturada y de las aguas subterráneas; las áreas evaluadas cubrieron una superficie de 216,287 hectáreas que corresponden a un 8.86% de la superficie total del Estado de Tabasco,

Las actividades del subproyecto Sistemas Terrestres se realizaron en tres etapas, Local, Intermedio y Regional, durante las cuales se obtuvieron un total de 5126 muestras procedentes de 442 estaciones, a partir de las cuales se realizó una selección de datos conformando una base con 294 estaciones y 30 variables tanto categóricas como numéricas. Cabe señalar que el número de análisis varía en algunas estaciones así como las áreas muestreadas y la intensidad de muestreo entre una etapa y otra.

Es importante tomar en cuenta que el subproyecto incluyó el estudio de un área muy extensa en un tiempo relativamente corto, por lo que se tomó como una estrategia de trabajo, el seleccionar los sitios con los problemas de contaminación más representativos, en el suelo y en las aguas freáticas de cada una de las cuatro zonas ecogeográficas, elegidas del Estado de Tabasco y norte de Chiapas (ver figura II.1) , donde se encuentran localizadas las instalaciones petroleras más importantes.

Otro criterio considerado en la realización del estudio, fue la identificación y selección de las principales fuentes de contaminación del suelo, como son las fosas de desperdicio, utilizadas durante la perforación de los pozos petroleros. Este tipo de fosas aparece también en zonas aledañas a las baterías, deshidratadoras y centrales de almacenamiento y bombeo y fueron utilizadas durante mucho tiempo para disponer de diversos productos del petróleo, aguas congénitas, lodos de perforación etc. Otra fuente importante de contaminación del suelo son las fugas y derrames resultado de la rotura de ductos, las cuales pueden ocasionar problemas significativos de contaminación.

III.1 Definición de los niveles de muestreo

Nivel Local. Con el propósito de cumplir con los objetivos y alcances del estudio, se consideró conveniente la caracterización de suelos y aguas freáticas mediante un muestreo local en cada una de las 12 zonas identificadas como prioritarias. En cada sitio el radio de estudio fue menor a 200 m. en torno a las fuentes de contaminación, con el propósito de detectar con precisión los posibles aportes de contaminantes a las aguas freáticas. Los trabajos de campo correspondientes al muestreo local se realizaron entre el 4 y 23 de julio de 1996.

En cada uno de los 12 sitios seleccionados se construyeron 12 pozos de muestreo, cuya distribución dependió de la posición de las fuentes generadoras de contaminación y de las trayectorias más probables de flujo de las aguas freáticas, a fin de detectar los posibles aportes de contaminantes en sus trayectorias de transporte, y con una distribución que permitiera en su caso, determinar los alcances de la contaminación. En este nivel se perforaron un total de 144 pozos de sondeo entre 30 cm y 4 m de profundidad dependiendo de los niveles de manto freático. El detalle particular de la distribución de estaciones en los sitios evaluados, se muestra ampliamente en el capítulo II.

Nivel intermedio. En este nivel se efectuaron dos tipos de muestreos: uno en pozos y otro en norias teniendo como propósito evaluar el posible efecto de un conjunto de fuentes potenciales sobre las aguas freáticas, y de esta manera, conocer el efecto integral sobre este recurso. Estos trabajos fueron realizados entre el 11 y el 17 de noviembre de 1996 así como un muestreo adicional de norias de abastecimiento efectuados entre el 28 de noviembre y primero de diciembre del mismo año. Estos muestreos se diseñaron a manera de abarcar en lo posible un perímetro entre cinco y 10 Km. en torno a los sitios del muestreo local.

De acuerdo con los resultados a nivel local y las observaciones de campo en esta fase se perforaron 38 pozos de sondeo y se muestrearon 14 norias particulares haciendo un total de 728 análisis realizados al agua freática de estos 52 puntos.

Nivel regional. A partir de los resultados obtenidos en los niveles "Local" e "Intermedio", se observó que las zonas aledañas al campo Cinco Presidentes que se localiza en el área limitada al Norte por el Golfo de México, al Sur por el río "Zanapa", al Poniente por el río "Tonalá" y al Oriente por el Complejo Lagunar "El Carmen"- "Pajonal"- "Machona" así como el camino que conduce al poblado "El Infierno", como se indica en el capítulo II, presentan una compleja problemática ambiental y social, razones por las cuales se decidió estudiar este distrito a nivel regional. A finales del mes de abril de 1997 se realizó la visita

prospectiva a este sitio, delimitándose el área de estudio y efectuándose las observaciones pertinentes para plantear la propuesta de trabajo.

Para este nivel de análisis se propuso que se estudiaría el distrito de Agua Dulce, dividiéndolo en micro cuencas, es decir, áreas delimitadas por barreras naturales como son: ríos, lagunas, zonas topográficamente elevadas o en algunos casos la línea de costa; o barreras inducidas como caminos, zonas urbanas, construcciones etc., partiendo de la hipótesis de que éstas pudieran ocasionar modificaciones en el comportamiento, dinámica y dirección de flujo del manto freático, y en consecuencia del transporte y acumulación de contaminantes. Además, el estudio de las micro cuencas como un sistema aislado, propone que las condiciones fisicoquímicas del agua subterránea pudieran ser particulares e incluso intransferibles y en su caso, reflejar con mayor claridad las posibles influencias asociadas al uso de suelo, urbanismo y actividades industriales que ocurren en cada unidad de estudio.

Durante el mes de mayo de 1997 se plantearon diversas posibilidades de estrategias de trabajo para evaluar el agua freática en las microcuencas; se concluyó que la mejor opción era el muestreo a través de las norias, lo cual permite minimizar efectos por materiales en suspensión producto de la perforación, además de generar información para estimar posibles riesgos a la población, que pudieran derivar del uso y consumo de estas aguas.

Para desarrollar esta estrategia de muestreo, se utilizó como base la información de la CNA, INEGI y registros del Estado de Tabasco, con lo cual se realizó y actualizó un censo de norias en el distrito Agua Dulce, seleccionándose para su muestreo 90 norias distribuidas en 15 micro cuencas, mismas que se definieron con base en la probabilidad de dirección de flujo del manto freático, de su cercanía a campos petroleros, topografía, vías de acceso, usos y tipos de suelos (ver figura II.18).

Con el propósito de tener un manejo adecuado de las muestras en cuanto a conservación y tiempos de análisis, los trabajos de muestreo de aguas freáticas a nivel regional se dividieron en tres campañas realizadas entre el 31 de mayo y el 22 de julio de 1997, como se describe en el cuadro III.1.

Cuadro III.1 Campañas realizadas durante el muestreo regional.

Campaña	Fechas	No. de norias Evaluadas
1	31 de mayo al 5 de Junio de 1997	33 norias
2	14 al 19 de julio de 1997	42 norias
3	21 al 22 de julio de 1997	12 norias
	Total:	87 norias

III.2 Delimitación de unidades ecogeográficas

Uno de los grupos de estudio de suelos dentro del PARS fue el grupo de estudios Edafocológicos, el cual llevó a cabo una recopilación de la información existente sobre el entorno físico en la zona de estudio, misma que consideró información geológica, geomorfológica, edafológica, de uso del suelo y vegetación. A partir de la información obtenida, se clasificó a la zona de estudio en 4 grandes unidades ecogeográficas: Flanco sierra Norte de Chiapas, Rampa de pie de monte del volcán Chichonal, Terrazas disectadas del mioceno y planicie aluvial del reciente, de las cuales para este trabajo de tesis solo se incluyeron las dos últimas, dividiendo la planicie aluvial del reciente en llanura aluvial alta, llanura aluvial baja y barra costera ya que en estas zonas es donde se realizan la mayor parte de las actividades petroleras (Zavala, J., 1988; West et al., 1987).

La unidad de **Terrazas disectadas del mioceno**, consiste de antiguas terrazas marinas, formadas por sedimentos del terciario medio (lutitas y areniscas predominantemente), y que han sido disectadas por procesos de erosión. Como resultado se ha conformado un paisaje de lomeríos suaves con una amplitud del relieve de 20 a 50 m. Las unidades de suelo dominantes en los interfluvios son Acrisoles y Alisoles, mientras que en los valles dominan los suelos de tipo Gleysol. La vegetación es de selva mediana perennifolia, misma que se conserva en pocos sitios con superficies muy reducidas. El uso de suelo está dominado por pastizales y zonas cultivadas con maíz, cítricos y cacao, entre otros cultivos (IMP, 1999a).

Planicie Aluvial del Reciente está conformada por el delta del sistema Mezcalapa - Grijalva así como el delta del río Tonalá. Estos ríos depositan su gran carga de sedimentos provenientes de la cuenca alta en la planicie. Los principales patrones de escurrimiento (meándrico y anastomosado) determinan la presencia de geoformas diversas, entre las que destacan los cauces, las llanuras altas o vegas y las llanuras bajas, ocupadas por pantanos y lagunas. En las llanuras altas, las unidades de suelo predominantes son Fluvisoles, Gleysoles y Vertisoles. El uso del suelo corresponde en su mayor parte a pastizales cultivados para la ganadería bovina extensiva, así como a diversos cultivos agrícolas como plátano, maíz, caña, cacao, entre otros. En la llanura baja dominan los suelos de tipo Histosol y Gleysol. El uso del suelo está dominado por pastizales inducidos, utilizados para fines ganaderos extensivos y también se presentan amplias zonas con cobertura de vegetación de humedales como popales, tulares, apompales, así como manglares en áreas cercanas a la costa (IMP, 1999a). Ver anexo A1.

En el contacto de la planicie aluvial con la costa se desarrolla la llamada "**barra costera**", que consiste de depósitos de arenas sobre los que se desarrollan suelos Arenosoles y Regosoles, y cuya cobertura vegetal consiste predominantemente de cocotales así como pastizales inducidos (IMP, 1999a). Ver anexo A1.

III.3 Taxonomía de los suelos

La taxonomía de suelos con sus limitaciones basa su clasificación en propiedades de morfología, química, mineralogía, física y microbiología del suelo (Buol, *et al.*, 1981). Existe una variedad de suelos que dominan los diferentes sitios de estudio, dentro de los cuales los más comunes son los siguientes:

Fluvisoles, (FL) Son suelos que muestran propiedades flúvicas, sin tener otro horizonte diagnóstico que un ócrico, un mólico o un horizonte A úmbrico o un horizonte H hístico, o un horizonte sulfúrico a 125 cm de la superficie. (FAO,1988)

Gleysoles (GL) Son suelos formados por materiales no consolidados exclusivos de materiales con texturas gruesas (con excepción cuando se presenta un horizonte H) y depósitos aluviales los cuales pueden mostrar propiedades flúvicas, muestran un horizonte de gley a una profundidad máxima de 50 cm, sin presentar otros horizontes diagnósticos que no sean un horizonte A, un horizonte H hístico, un horizonte B cámbico, un horizonte sulfúrico, cálcico o de yeso; carece de características diagnósticas para Vertisoles o Arenosoles; carece de plintita hasta 125 cm de profundidad. (FAO,1988)

Alisoles (AL) Suelos con un horizonte B argílico con capacidad de intercambio catiónico igual o mayor a $24 \text{ cmol}(+) \text{ Kg}^{-1}$, arcilla y una base de saturación (NH_4Oac) de menos del 50% en alguna parte del horizonte B a una profundidad no mayor de 125 cm. (FAO,1988)

Histosoles (HS) Suelos que tienen 40 cm o más de materiales orgánicos, que pueden extenderse bajo la superficie o acumularse en los primeros 80 cm; el espesor del horizonte H puede ser menor cuando descansa sobre roca o sobre material fragmentado en el cual los intersticios están llenos con materia orgánica. (FAO,1988)

Arenosoles (AR) Suelos con textura más gruesa que la arena arcillosa a una profundidad por lo menos de un metro; presentan menos del 35% de fragmentos de roca u otros fragmentos gruesos en todos los subhorizontes, sus materiales muestran propiedades fluviales o ándicas, no presentan otros horizontes diagnósticos que no sean: un horizonte A ócrico o un horizonte E álbico. (FAO,1988)

Estas unidades de suelos se encuentran en diferentes proporciones y variantes según las áreas. Asimismo pueden distinguirse diferentes usos del suelo como cuerpos de agua, zonas urbanas, zonas erosionadas e instalaciones petroleras (IMP,1999b).

III.4 Procedimiento de Muestreo

Perforación de pozos. El procedimiento que a continuación se describe involucra la perforación (manual) de pozos de sondeo con una profundidad máxima de 4.00 m, así como el muestreo de suelo y agua subterránea. Una vez seleccionado el sitio de muestreo y ubicado en un mapa local, se procedió a realizar las perforaciones, tomando en cuenta los siguientes lineamientos:

Antes de realizar la perforación se lavó perfectamente todo el material que se utilizó (empleando para ello agua potable y una solución de jabón libre de fosfatos). Dependiendo de la unidad taxonomica de suelo y la profundidad de la perforación se utilizó una barrena manual (handauger) y/o un cavahoyos.

Perforación con cavahoyos (profundidad hasta 1.20 m). En el caso de que el suelo fuera suave se utilizó el cavahoyos realizando una perforación cónica de aproximadamente 0.5 m de diámetro en la boca, hasta llegar al manto freático o hasta alcanzar 1.20 m de profundidad. El material extraído con el cavahoyos se depositó a un lado de la perforación tratando de evitar derrumbes y de ser posible que la parte norte de la boca del pozo mantenga el nivel de terreno natural.

Si al llegar a una profundidad de 1.20 m no se había alcanzado el manto freático, se continuó perforando con el equipo de barrena manual.

Perforación con la barrena manual (profundidad entre 1.20 y 4.00 m). Después de llegar con el cavahoyos hasta 1.20 m de profundidad, se seleccionó el tipo de cuchilla para la barrena manual, adecuada a la consistencia del suelo. Se introdujo la barrena manual con las extensiones que fueron necesarias, girando el instrumento en sentido de las manecillas del reloj. Con avances de aproximadamente 30 cm dependiendo del suelo. Entre cada avance se observaron los cambios en el suelo. Posteriormente se limpió el barril y las cuchillas de la barrena con una espátula o pala delgada, cuidando de no doblar las cuchillas. Nuevamente se introdujo el equipo y se continuó perforando, hasta alcanzar el manto freático.

Muestreo de agua freática. Una vez alcanzado el nivel del agua freática, se continuó perforando entre 30 y 50 cm más, para favorecer la sedimentación de sólidos suspendidos en el agua y evitar posibles interferencias con la toma de muestra. Al terminar la perforación del pozo, se dejó sedimentar el agua de 15 a 30 minutos y posteriormente como primera actividad se realizó la medición *in situ* de los Compuestos Orgánicos Volátiles en la atmósfera interna de cada pozo de monitoreo, mediante un equipo fotoionizador portátil,

marca HNU-101, con una precisión de 0.1 ppm. La calibración del equipo HNU, se realiza utilizando un estándar de gas isobutileno.

Antes de muestrear el agua se midió el nivel estático, mediante un equipo medidor de interfase marca ORS Environmental Equipment, con precisión de +/- 1.8 mm, tomando como referencia el nivel del suelo en la parte norte del pozo.

Las muestras de agua se obtuvieron a través de muestreadores desechables de teflón de un litro (bailer), posteriormente se colocaron en diferentes recipientes, dependiendo el tipo de análisis: Para la determinación de los HTP se utilizaron frascos de un litro, para el análisis de metales se colocaron las muestras en envases plásticos de medio litro, y por último se utilizaron viales de borosilicato con contratapa de teflón de 40 ml para los contenidos de BTEX. Las muestras para las determinaciones de metales en agua fueron preservadas con dos ml de ácido nítrico concentrado, el resto de las muestras se colocaron en hieleras.

Muestreo de Suelo. De acuerdo con la profundidad del pozo se establecieron los diferentes niveles de muestreo, sin embargo para el presente estudio solo se tomarán en cuenta dos niveles: **Horizonte superficial** (Superficie) que es igual en todos los puntos de muestreo (entre 0 y 30 cm de profundidad) y **Horizontes del subsuelo** (Fondo), que es el que se encuentre inmediatamente anterior al manto freático es decir que cuando el manto freático se encuentra a 4 metros entonces la muestra de fondo es la que se encontró entre 3.70 y 4.00 m., sin embargo si la profundidad del manto freático esta entre 0 y 30 cm se considerará la misma muestra del horizonte superficial como la de los horizontes del subsuelo (Boulding J.R., 1994). Las muestras se colocaron en frascos de borosilicato con contratapa de teflón de 250 ml previamente tratados para las determinaciones de metales y HTP. Posteriormente las muestras se colocaron en hieleras, para su traslado a los laboratorios del IMP en la Cd. de México, D.F.

Finalmente se midió la profundidad total del pozo y se tapó tratando de conservar las condiciones originales del sitio.

Cabe señalar que tanto durante el muestreo como en el traslado se siguió un protocolo de calidad y seguimiento de muestras mediante cadenas de custodia mismo que se basa en los protocolos establecidos por la Environmental Protection Agency (EPA) (IMP, 1999c).

III.5. Parámetros analizados

Los contaminantes de interés seleccionados para el estudio fueron aquellos que son indicativos de la actividad petrolera, pueden lixiviarse en el suelo y migrar a través del subsuelo contaminando a las aguas subterráneas, como se indicó en párrafos anteriores, el presente estudio está basado en un proyecto cuyos objetivos fueron los de evaluar el aporte de posibles contaminantes que pudieran tener su origen en las actividades propias de la industria petrolera (IMP, 1999c). De esta manera se seleccionaron los siguientes parámetros por las razones que a continuación se señalan.

Para agua freática:

- Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xilenos (BTEX); son parámetros asociados a los hidrocarburos, presentan una alta capacidad de solubilidad y transporte en agua; figuran dentro de los compuestos considerados como de alta toxicidad, y son indicadores de contaminación asociada a los hidrocarburos.
- Hidrocarburos Totales del Petróleo (HTP); este parámetro se utiliza para evaluar el contenido de hidrocarburos presentes en suelos y agua freática, siendo un excelente indicador de la contaminación por este tipo de productos.
- pH en agua; este es un parámetro íntimamente relacionado con las características naturales de los suelos, si bien pudiera no ser considerado como indicador de la actividad petrolera, su inclusión es importante debido a que presenta efectos sinérgicos con otros parámetros, en particular con la disponibilidad y capacidad de solubilidad de metales pesados.
- Salinidad; es un parámetro que guarda una íntima relación con las propiedades naturales de los suelos; sin embargo también puede considerarse como un indicador secundario de la actividad petrolera, debido a que el crudo que se extrae en la Región Sur, tiene contenidos de hasta un 50 % de agua congénita o de formación, la cual se caracteriza por presentar concentraciones que en promedio oscilan entre 80 y 120 partes por mil es decir, más de 3 veces por arriba la salinidad promedio del agua de mar (36 partes por mil).
- Metales Pesados (V, Pb, Cd, Cr, Ni y Ba); estos metales se encuentran asociados con la actividad petrolera, en algunos casos por ser elementos endémicos al petróleo (Ni y V) o bien por estar asociados a las formulaciones de lodos de

perforación (Cd y Ba), como aditivo en los sistemas de tratamiento de aguas en torres de enfriamiento (Cr) o bien al uso y almacenamiento de combustibles del tipo de la gasolina (Pb).

Como podrá observarse los parámetros seleccionados son indicadores confiables, ampliamente utilizados a nivel internacional en estudios relacionados con el diagnóstico de la contaminación de aguas freáticas (IMP, 1999c).

Para suelos:

- Hidrocarburos totales del petróleo (HTP).- compuesto indicador de contaminación por hidrocarburos de tipo ligero y pesado, ampliamente difundido en la literatura internacional e incluido dentro de los criterios para establecer el nivel de limpieza del subsuelo. Proporciona información más precisa y específica que la evaluación de grasas y aceites.
- Metales Pesados (V, Pb, Cd, Cr, Ni y Ba); estos metales se encuentran asociados a la actividad petrolera, en algunos casos por ser elementos endémicos al petróleo (Ni y V) o bien por estar asociados a las formulaciones de lodos de perforación (Cd y Ba), como aditivo en los sistemas de tratamiento de aguas en torres de enfriamiento (Cr). El plomo en solución es considerado de alta toxicidad y está relacionado con la industria petrolera, sobre todo cuando se han efectuado actividades de manejo de gasolina y con la utilización de la misma. Es un indicador secundario debido a que su presencia se relaciona con las emisiones por el consumo de combustibles en vehículos automotores y a su transporte atmosférico.
- Textura.- La distribución de los tamaños de las partículas que lo constituyen se denomina textura (Cavazos, T. , y Rodríguez, O. 1992). El suelo se compone de partículas minerales de diferente tamaño, las cuales determinan algunas de sus propiedades físicas y químicas como pueden ser: la humedad, la agregación, la plasticidad, la cohesión, la retención de nutrientes, etc. (Gaucher, G. 1971), Aunado a esto también es muy importante conocer las proporciones relativas de los contenidos de partículas minerales menores a 2 mm, ya que estas determinan y restringen el movimiento de contaminantes. Por ejemplo, la presencia de materiales finos tales como las arcillas, disminuyen la permeabilidad del suelo. La composición de un suelo, es decir,

- Porosidad.- La porosidad representa la proporción del volumen del suelo en su lugar que no está ocupado por la fase sólida, es el conjunto de los vacíos del suelo, o también el espacio lagunar. La medida de porosidad total se puede obtener al restarle el volumen de la fase sólida (v) de una muestra de suelo al volumen total (V) de la misma. Si se ha medido la cantidad de líquido que puede absorber el volumen de tierra extraído, después de haberla desecado se tiene ya directamente la porosidad $V-v$. (Baver, L.D. y Gardner, W.H., 1980).

III.6 Procedimiento analítico

El análisis de las muestras se realizó de acuerdo con protocolos aprobados por la Environmental Protection Agency (EPA). Esta metodología implica el muestreo conservación, traslado, tiempo de almacenamiento, extracción y análisis. Cada uno de los métodos utilizados se muestran en los cuadros III.2 y III.3.

Cuadro III.2 Métodos utilizados en el análisis de Aguas subterráneas

Parámetro	Método Analítico.
BTEX	EPA 8240
Hidrocarburos Totales del Petróleo (HTP)	EPA 418.1
As	IMPQA041 y IMPQA024 EAA (Formación de Hidruros)
Hg	IMPQA041 y IMPQA024 EAA (Vapor frío)
Se	IMPQA041 y IMPQA024 EAA (Formación de Hidruros)
Ba	IMPQA041 EAA **
Cd	IMPQA041 EAA **
Cr	IMPQA041 EAA **
Ni	IMPQA041 EAA **
Pb	IMPQA041 EAA **
V	IMPQA041 EAA **
pH	ASTM E70
Salinidad	Por conductividad transformada (Salinómetro)

EAA= Espectrometría de absorción atómica

**.- Basado en NOM-127-SSA 1-1994 y EPA3050.

Cuadro III.3 Métodos utilizados en el análisis de suelos

Parámetro	Método Analítico.
Hidrocarburos Totales del Petróleo (HTP)	EPA 418.1 modificado para suelos
As	AA IMP QA 041*
Se	AA IMP QA 041*
Hg	AA IMP QA 041*
Cd	EPA 200.7 ICP*
V	EPA 200.7 ICP*
Cr	EPA 200.7 ICP*
Pb	EPA 200.7 ICP*
Ba	EPA 200.7 ICP*
Ni	ICP IMP QA 404*
Zn	ICP IMP QA 404*
Textura	Método de Bouyoucos

*.- Preparación del Lixiviado NOM 052 ECOL / 93

III.7 Procesamiento de datos

Para el desarrollo de ésta tesis y teniendo como base los objetivos del presente trabajo, el primer paso fue diseñar una base de datos, con los resultados de los parámetros seleccionados tanto para agua freática como para suelos por lo que en primera instancia se generó una hoja de cálculo en Excel de 49 columnas por 363 filas es decir aproximadamente 17,000 datos entre análisis físicos, químicos y variables categóricas, obtenidas desde las observaciones de campo hasta los levantamientos de suelos realizados.

Una vez obtenida la primera base de datos, se realizó la primera depuración eliminando aquellas estaciones donde no coincidían los muestreos de suelos con los muestreos de agua freática, de esta depuración se obtuvo un total de 294 estaciones afines, posteriormente se eliminaron las columnas que no contenían datos significativos, es decir que se eliminaron los parámetros donde más del 90% de sus datos estaban por debajo o en el límite de detección.

El siguiente paso fue la depuración de las variables categóricas donde solo fue eliminada la variable "Campo Petrolero" porque de los 14 campos petroleros registrados, solo cuatro eran representativos para el total de las estaciones; es decir que más del 90% de los muestreos estaban relacionados con cuatro de los 14 campos petroleros registrados en la zona de estudio.

Después de las depuraciones y adecuaciones a la base de datos, las variables categóricas y los parámetros físicos y químicos analizados en el presente trabajo de tesis son los siguientes:

Variables Categóricas: Etapa (Local, Intermedia y Regional); Tipo de muestreo (Noria o Pozo); Zona Ecogeográfica (Barra Costera, Llanura Aluvial Alta, Llanura Aluvial Baja y Terrazas Miocénicas); Taxonomía de suelos (Alisol, Antrosol, Arenosol, Cambisol, Fluvisol, Gleysol, Histosol y Vertisol); Tipo de influencia (Derrame, Doméstico, Ganado, Pantano, Presa, Río y sin influencia); Textura tanto en horizontes superficiales como de fondo (Arcilla, Arena, Arena Migajosa, Migajón arcilloso, Migajón arenoso y Migajón limoso).

Parámetros Físicos: Textura en horizontes superficiales, Textura en horizontes del subsuelo, Porosidad en horizontes superficiales y Porosidad en horizontes del subsuelo.

Parámetros Químicos: Salinidad, pH, Benceno, Tolueno, HTP, Vanadio, Plomo, Cromo, Cadmio, Níquel y Bario en aguas freáticas; y HTP, Bario, Níquel y Plomo en suelos tanto en superficie como en fondo.

Haciendo un total de 7 categorías con 38 variables categóricas aplicables a 21 parámetros fisicoquímicos en 294 estaciones de muestreo, ver cuadro III.4.

Cuadro III.4 Categorías, variables y parámetros analizados

Categorías	Variables Categóricas	Parámetros	
Etapas	Local Intermedia Regional	Agua Freática	Suelos
Tipo de muestreo	Noria Pozo	Salinidad pH Benceno Tolueno	Porosidad HTP Bario Níquel Plomo
Zona Ecogeográfica	Barra Costera Llanura Aluvial Alta Llanura Aluvial Baja Terrazas Miocénicas	HTP Vanadio Plomo Cromo Cadmio Níquel Bario	
Taxonomía de suelos	Alisol Antrosol Arenosol Cambisol Fluvisol Gleysol Histosol Vertisol		
Tipo de influencia	Derrame Doméstico Ganado Pantano Presa Río sin influencia		
Textura en horizontes superficiales	Arcilla Arena Arena Migajosa Migajón arcilloso Migajón arenoso Migajón limoso		
Textura en horizontes del subsuelo	Arcilla Arena Arena Migajosa Migajón arcilloso Migajón arenoso Migajón limoso		

Una vez ordenados y categorizados todos los datos se utilizó el programa Microsoft Excel 2000 para un manejo óptimo. Para agrupar los datos de acuerdo con cada categoría se utilizó la herramienta "Filtros" de dicho programa, obteniendo una hoja de resultados estadísticos con la Media, Desviación Estándar, Varianza, Máximo, Mínimo y Número de datos para cada variable categórica. Estos resultados se agruparon en una nueva hoja de datos llamada "Datos agrupados" a las cuales se aplicó un formato condicional para establecer que parámetros están dentro o fuera de los valores de referencia. Se completó la hoja de datos agrupados, se graficaron los resultados como se explica en el inciso III.9. Posteriormente, se analizó la información obtenida entre las diferentes variables categóricas de cada parámetro en cada categoría a través de estas herramientas.

III.8 Valores de Referencia

Es evidente que para poder efectuar el análisis de la información que se verterá en las secciones a continuación, se requiere como punto de partida, una referencia que nos indique las variaciones que pudieran o no existir en torno a los valores normales. Para cumplir con este requisito se utilizaron algunos valores normativos o de referencia incluidos en la literatura nacional o internacional.

Cabe señalar que en la normatividad nacional no existen valores para aguas freáticas, siendo la referencia más próxima, las incluidas en la "Norma de Calidad Requerida para Uso o Aprovechamiento del Agua", propuesta por la Comisión Nacional del Agua, el 13 de diciembre de 1989 y renovada el 29 de diciembre de 1997 como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro III.5 Resumen de los valores típicos y referencias más próximas sobre la calidad de aguas freáticas.

Parámetro	Criterios de descontaminación para aguas				Ministerio del ambiente de Québec		
	Agua (1.1)	Agua potable (1.2)	Agua de riego (1.2)	Vida acuática (1.2)	uso agrícola	uso residencial y recreativo	Uso comercial e industrial
Benceno	0.5	5.0	---	300	---	---	5
Tolueno	0.5	< 2.4	---	300	---	---	100
Etilbenceno	0.5	< 2.4	---	700	---	---	150
Xileno	0.5	< 300	---	---	---	---	60
HTP	---	---	---	---	---	---	---
Vanadio	---	---	0.1	---	---	---	---
Plomo	0.01	0.05	0.2	< 0.007	---	---	---
Cadmio	0.001	0.005	0.01	< 0.002	---	---	---
Cromo total	0.015	0.05	0.1	< 0.02	---	---	---
Níquel	0.01	---	0.2	< 0.15	---	---	---
Bario	---	---	---	---	---	---	---

Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xilenos en ppb, HTP y todos los metales en ppm

1.1 = Valores normales para agua subterránea 1.2 = Criterios de descontaminación

Cuadro III.5 Resumen de los valores típicos y referencias más próximas sobre la calidad de aguas freáticas.

Continuación...

Parámetro (ppb)	Criterios de calidad del agua (CE-CCA-001/89)			Criterios de limpieza de agua subterránea propuestos por ARPEL			
	Abastecimiento de agua potable	Riego Agrícola	Protección de la vida acuática	(I)	(II)	(III)	Toxicidad acuática
Benceno	10	---	50	5	50	250	300
Tolueno	14,300	---	200	24	40,000	100,000	300
Etilbenceno	1,400	---	---	2	10,000	50,000	700
Xileno	---	---	---	3	5,000	20,000	---
HTP	---	---	---	0.2	50	200	---
Vanadio	---	---	---	---	---	---	---
Plomo	0.05	5.0	---	0.05	---	---	---
Cadmio	0.01	0.01	---	---	---	---	---
Cromo 6+	0.05	1.0	---	---	---	---	---
Níquel	0.01	0.2	---	---	---	---	---
Bario	1.0	---	0.01	---	---	---	---

I = Reglamento Canadiense de agua potable inmediato.

II.- Nivel de limpieza moderado

III.- Agua sin uso

BTEX en ppb; HTP y metales en ppm

(Basado en Ruymbeke D. Claire, 1996. Criterios de evaluación de suelos y aguas subterráneas. Curso biorremediación de suelos y acuíferos. 30 de septiembre. Instituto de Ingeniería, UNAM. México D.F.)

(ARPEL, 1992. Guía para la descontaminación de los tanques de almacenamiento subterráneo de petróleo. Documento preparado por ALCONSULT como parte del proyecto ambiental de ARPEL (Asociación Recíproca Petrolera Latinoamericana).

De manera reciente se han dado a conocer los "Criterios internos de restauración de suelos contaminados con hidrocarburos" y el "2do. Grupo de criterios internos de restauración de suelos contaminados con inorgánicos tóxicos". En los cuales se señalan los límites permisibles para algunos de los parámetros que se analizan en esta tesis, cabe señalar que los límites establecidos en estos criterios, son por mucho más amplios a las referencias utilizadas en este trabajo, por lo que no fueron incorporados, adicionalmente dichos criterios son aplicables para la descontaminación de sitios con problemas de contaminación, sin embargo en muchos de los casos de esta tesis, no se presentan estas condiciones, tomando en cuenta que la mayoría de los puntos de muestreo son ambientes naturales donde las concentraciones de algunos parámetros son muy bajas, por lo que los criterios de restauración de suelos contaminados, establecidos en la normatividad nacional no aplican.

Tomando en cuenta lo anterior y con la finalidad de hacer evidentes algunas condiciones extremas, a continuación se presentan los valores de referencia utilizados para el manejo de los datos de suelos:

Cuadro III.6 Resumen de los valores típicos y referencias más próximas sobre la calidad de suelos.

Parámetro	Criterios de descontaminación para suelos				Ministerio del ambiente de Québec		
	Suelo (1.1)	Suelo (1.2) agrícola	Suelo (1.2) residencial o recreativo	Suelo (1.2) Comercial o industrial	Uso agrícola	Uso residencial o recreativo	Uso Comercial Industrial
Benceno	0.05	0.05	0.5	5.0	---	---	---
Tolueno	0.1	0.1	3.0	30.0	---	---	---
Etilbenceno	0.1	0.1	5.0	50.0	---	---	---
Xileno	0.1	0.1	5.0	50.0	---	---	---
HTP	---	---	---	---	---	---	1000
Aluminio	---	---	---	---	---	---	---
Cadmio	0.5	3.0	5.0	20.0	---	---	---
Cromo total	20.0	750.0	250.0	800.0	---	---	---
Plomo	25.0	375.0	500.0	1000.0	---	---	---
Zinc	60.0	600.0	500.0	1500.0	---	---	---

(Las concentraciones de hidrocarburos y metales están expresadas en ppm)

1.1 = Valores normales para suelos

1.2 = Criterios de descontaminación

Continuación...

Criterios de limpieza para suelos propuestos por Arpel			
Parámetro (ppm)	Uso residencial	Uso comercial	Suelos en áreas abiertas sin uso
Benceno	0.05	0.5	2.0
Tolueno	1.0	10.0	100.0
Etilbenceno	0.5	5.0	100.0
Xileno	1.0	5.0	50.0
HTP	40.0	400.0	2000.0
Aluminio	---	---	---
Cadmio	---	---	---
Cromo	---	---	---
Plomo	50.0	200.0	600.0
Zinc	---	---	---

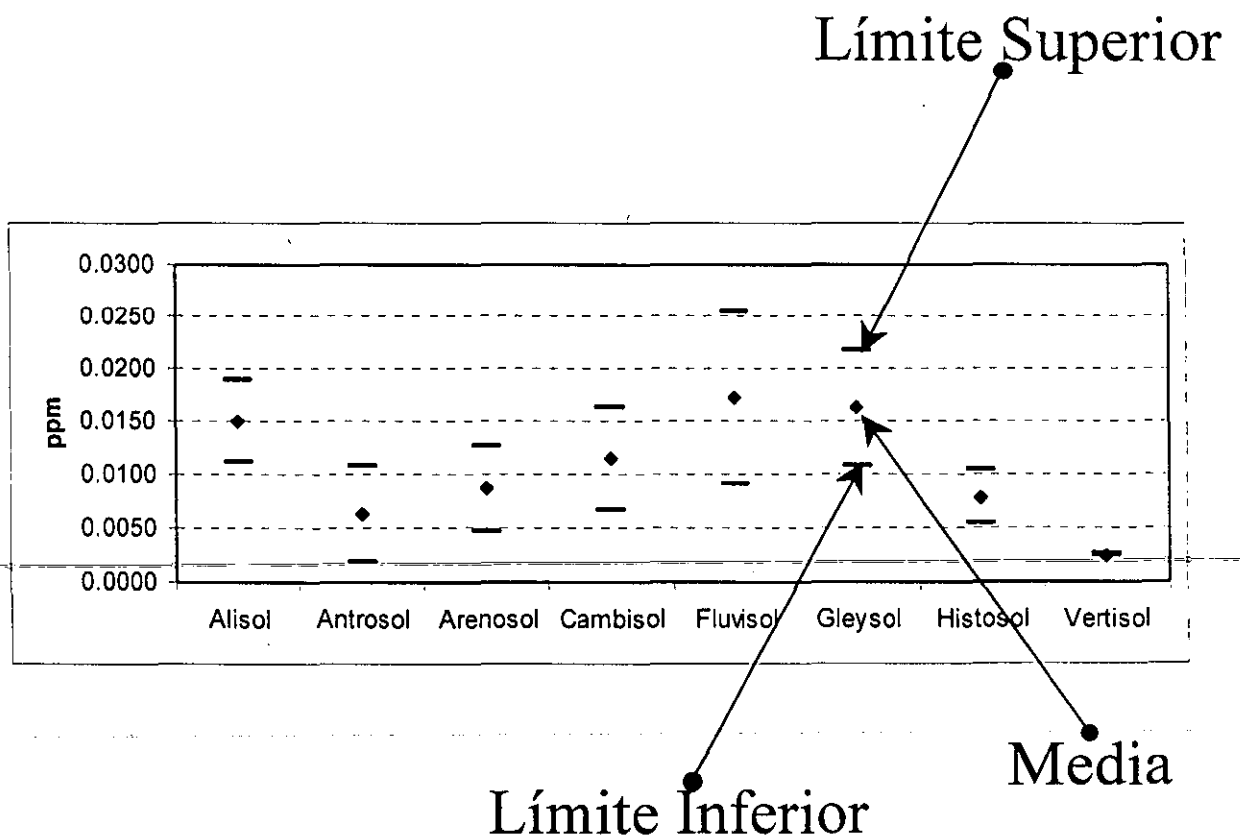
(Basado en Ruymbeke D. Claire, 1996. Criterios de evaluación de suelos y aguas subterráneas. Curso Bioremediación de suelos y acuíferos. 30 de septiembre al 1 de octubre. Instituto de Ingeniería, UNAM. México D.F.)

(ARPEL, 1992. Guía para la descontaminación de los tanques de almacenamiento subterráneo de petróleo. Documento preparado por ALCONSULT como parte del proyecto ambiental de ARPEL (Asociación Recíproca Petrolera Latinoamericana).

III.9 Explicación de los Gráficos:

Después de haber realizado el análisis de datos a través de filtros, se obtuvo un cuadro de resultados para cada variable, del cual se realizó un análisis gráfico de la información obtenida, donde cada parámetro fue analizado en una figura que hace la comparación de las diferentes variables categóricas en cada una de las diferentes variables.

Para la explicación objetiva de los resultados del agrupamiento de los datos en cada categoría, el análisis gráfico indica la tendencia del parámetro analizado, esquematizando el intervalo de confianza al 95% de confiabilidad como se muestra a continuación:



El Intervalo de confianza ($\mu \pm 2\sigma/\sqrt{n}$) contiene aproximadamente el 95% de los valores de X que se podrían generar en muestreos aleatorios repetidos a partir de la población que se estudia (Scheafer y McClave, 1993). En la figura anterior se esquematiza en azul los límites inferior y superior del intervalo de confianza y en color rojo la media.

Capítulo IV. Análisis de Resultados

En los siguientes párrafos se presentan y discuten los resultados de los diferentes tratamientos aplicados a los datos con el fin de cubrir los objetivos planteados para esta tesis. Cada tratamiento será enumerado con un subíndice y contendrá una pequeña discusión y en los casos que sea necesario y oportuno se apoyará en las citas bibliográficas. Posteriormente y a manera de epílogo de este capítulo, se realizará una discusión integral tomando como base los resultados más sobresalientes.

IV.1 Depuración de datos

Cada vez que se plantea un proyecto se discute a cerca de que parámetros son necesarios en un análisis de la contaminación asociada a la producción de petróleo crudo. En este proyecto de tesis se diferencian algunos parámetros que fueron medidos y en los cuales se obtuvo resultados significativos, con respecto de otros cuyos valores fueron poco importantes, entre otras causas debido a que se presentan en concentraciones por debajo del límite de detección de las diferentes técnicas analíticas utilizadas, por lo que fue necesaria una depuración para no analizar columnas con resultados iguales e insignificantes o análisis estadísticos sin sentido.

Originalmente se evaluaron los siguientes parámetros:

Aguas Freáticas	Suelos*
Nivel Estático (NE)	Textura
Salinidad	Porosidad
pH	HTP
Benceno	Arsénico
Tolueno	Bario
Etilbenceno	Mercurio
Xilenos	Plata
HTP	Selenio
Vanadio	Cadmio
Plomo	Cromo
Cromo	Níquel
Cadmio	Plomo
Níquel	
Bario	

*.- horizontes superficiales y del subsuelo

En agua freática se decidió no tomar en cuenta las concentraciones de Etilbenceno y los Xilenos ya que el 98.64% y 95.23% de las estaciones respectivamente, presentaron concentraciones por debajo del límite de detección.

Para el caso de los suelos tanto en horizontes superficiales como del subsuelo no se tomaron en cuenta los resultados de arsénico, mercurio, plata, selenio, cadmio y el cromo ya que estos se presentaron en concentraciones menores al límite de detección en prácticamente todas las estaciones.

IV.2 Análisis de variables

Una vez establecida la base de datos para el análisis de variables, se agruparon todos los registros de los parámetros analizados en las diferentes variables categóricas de cada una de las siete categorías (ver cuadro III.4). En cada variable categórica se aplicó un análisis estadístico básico (media e intervalo de confianza de la media) con el propósito de observar las diferencias que existen en una misma categoría. De esta manera se obtuvieron siete cuadros de resultados (Cuadros IV.1 a IV.7). El análisis de estos cuadros se realizará en cada categoría para cada parámetro.

Categoría 1: "Etapa"

VARIABLES PARA ESTA CATEGORÍA: Local, Intermedio y Regional

La posición de esta categoría con respecto a todas las categorías y sus variables categóricas se esquematiza en el Cuadro Guía mientras que los resultados se pueden consultar en el Cuadro IV.1.

Cuadro Guía: Categorías, variables y parámetros analizados

Categorías	Variables Categóricas	Parámetros Analizados	
		Agua Freática	Suelos
Etapa	Local Intermedia Regional		
Tipo de muestreo	Noria Pozo	Salinidad pH Benceno	Porosidad HTP Bario
Zona Ecogeográfica	Barra Costera Llanura Aluvial Alta Llanura Aluvial Baja Terrazas Miocénicas	Tolueno HTP Vanadio Plomo	Níquel Plomo
Taxonomía de suelos	Alisol Antrosol Arenosol Cambisol Fluvisol Gleysol Histosol Vertisol	Cromo Cadmio Níquel Bario	
Tipo de influencia	Derrame Doméstico Ganado Pantano Presa Río sin influencia		
Textura en horizontes superficiales	Arcilla Arena Arena Migajosa Migajón arcilloso Migajón arenoso Migajón limoso		
Textura en horizontes del subsuelo	Arcilla Arena Arena Migajosa Migajón arcilloso Migajón arenoso Migajón limoso		

Etapa se refiere al tipo de muestreo practicado; el término **Local** aplica para un muestreo en un radio no mayor de 200 metros en torno a un sitio contaminado, el nivel **Intermedio** se refiere a muestreos en un radio de 10 Kilómetros con respecto a un sitio de actividad petrolera y a nivel **Regional** se abarcó una extensión de 90,000 hectáreas influenciadas por varios campos petroleros (ver sección III.1 para mayor detalle).

Cuadro IV.1 Datos agrupados por Etapas

REFERENCIA*	1 pp ml	6 a 7.9 ppb	5 ppb	24 ppb	0.2 ppm	0.1 ppm	0.05 ppm	0.05 ppm	0.01 ppm	0.2 ppm	1 ppm	%	40 ppm	200 ppm	20 ppm	25 ppm	%	40 ppm	200 ppm	20 ppm	25 ppm
Local	Salinidad	pH	Benceno	Tolueno	HTP	Vanadio	Plomo	Cromo	Cadmio	Niquel	Bario	Porosidad (S)	HTP (S)	Ba (S)	Ni (S)	Pb (S)	Porosidad (F)	HTP (F)	Ba (F)	Ni (F)	Pb (F)
Media	2.45	4.87	90.24	106.00	54.61	0.030	0.0539	0.0155	0.0058	0.0597	0.979	52.14	1942.06	1.33	0.05	0.137	52.48	2158.91	1.42	0.05	0.146
Des. Est.	7.57	1.17	567.37	720.49	506.06	0.039	0.0688	0.0215	0.0089	0.0857	2.384	7.50	6005.44	0.78	0.10	0.153	7.64	6450.19	0.79	0.12	0.157
Varianza	57.23	1.37	321913.92	519100.67	256101.34	0.002	0.0047	0.0005	0.0001	0.0073	5.686	56.19	36065337.90	0.60	0.01	0.024	58.29	41604906.11	0.63	0.01	0.025
Maximo	56.27	7.36	6000.00	6000.00	6000.00	0.250	0.3370	0.1700	0.0520	0.5420	23.260	78.69	58440.00	3.52	0.60	0.830	79.96	58440.00	3.69	0.66	0.890
Minimo	0.00	1.57	0.25	0.25	0.06	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	29.50	27.00	0.19	0.01	0.075	29.32	7.41	0.21	0.01	0.075
N	141	144	144	144	146	141	144	144	144	144	144	126	141	132	139	138	126	139	130	139	138
Intermedio	Salinidad	pH	Benceno	Tolueno	HTP	Vanadio	Plomo	Cromo	Cadmio	Niquel	Bario	Porosidad (S)	HTP (S)	Ba (S)	Ni (S)	Pb (S)	Porosidad (F)	HTP (F)	Ba (F)	Ni (F)	Pb (F)
Media	0.47	6.61	1.52	1.38	0.29	0.039	0.0499	0.0206	0.0087	0.1457	1.305	SR	371.71	SR	SR	SR	SR	314.89	SR	SR	SR
Des. Est.	0.61	0.76	0.87	2.07	0.61	0.095	0.0586	0.0233	0.0092	0.2819	2.739	SR	251.85	SR	SR	SR	SR	198.84	SR	SR	SR
Varianza	0.38	0.58	0.76	4.30	0.37	0.009	0.0034	0.0005	0.0001	0.0794	7.502	SR	63426.58	SR	SR	SR	SR	39535.95	SR	SR	SR
Maximo	3.24	7.70	4.09	12.61	3.84	0.350	0.3500	0.1050	0.0340	1.8370	17.120	SR	1236.70	SR	SR	SR	SR	812.00	SR	SR	SR
Minimo	0.01	4.60	0.25	0.25	0.02	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	SR	138.00	SR	SR	SR	SR	128.00	SR	SR	SR
N	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	SR	37	SR	SR	SR	SR	37	SR	SR	SR
Regional	Salinidad	pH	Benceno	Tolueno	HTP	Vanadio	Plomo	Cromo	Cadmio	Niquel	Bario	Porosidad (S)	HTP (S)	Ba (S)	Ni (S)	Pb (S)	Porosidad (F)	HTP (F)	Ba (F)	Ni (F)	Pb (F)
Media	0.48	6.77	1.32	1.83	0.21	0.005	0.0099	0.0030	0.0035	0.0112	0.118	SR	SR	SR	0.02	0.078	SR	414.46	SR	0.02	0.082
Des. Est.	0.49	0.75	0.52	0.88	0.32	0.000	0.0162	0.0030	0.0052	0.0201	0.226	SR	SR	SR	0.03	0.024	SR	2239.07	SR	0.05	0.038
Varianza	0.24	0.57	0.27	0.77	0.10	0.000	0.0003	0.0000	0.0000	0.0004	0.051	SR	SR	SR	0.00	0.001	SR	5013432.56	SR	0.00	0.001
Maximo	2.66	8.29	2.48	7.89	2.38	0.005	0.1200	0.0300	0.0310	0.1200	1.440	SR	SR	SR	0.15	0.270	SR	18016.11	SR	0.24	0.310
Minimo	0.03	3.57	0.25	0.25	0.03	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	SR	SR	SR	0.01	0.075	SR	3.90	SR	0.01	0.075
N	87	87	87	87	86	87	87	87	87	87	87	SR	SR	SR	57	64	SR	64	SR	57	64

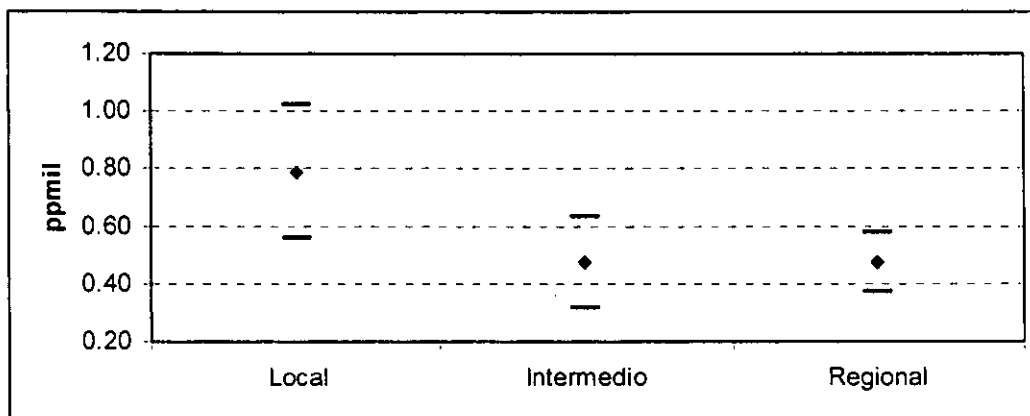
* Los valores de referencia fueron tomados de diferentes fuentes mostradas en el inciso III.8 del capítulo "Desarrollo Metodológico"

SR= Sin resultados al agrupar los datos. pp ml= partes por mil. ppm= partes por millón. (S)= Horizonte superficial. (F)= Horizontes del subsuelo.

- Agua Freática

Salinidad. En los datos nominales este parámetro se presenta en la etapa local cuatro veces mayor que en las etapas intermedia y regional, más de dos veces mayor al valor de referencia, presentando un intervalo de confianza muy grande que difiere totalmente de las otras etapas.

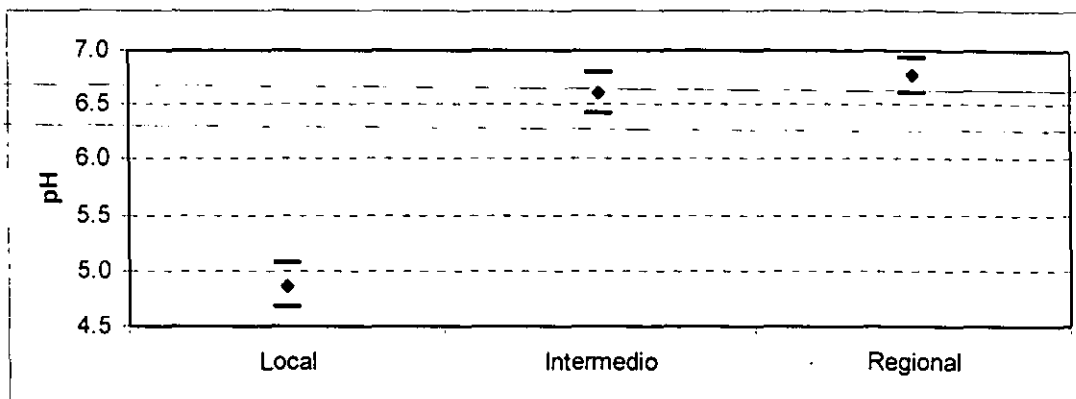
Figura IV.1 Intervalos de confianza del parámetro salinidad en agua freática de la categoría Etapa



Tomando en cuenta que el valor de referencia de salinidad normal es 1.0 partes por mil (partes por mil). En el nivel Local se eliminaron 10 datos que se consideran aberrantes por la influencia de problemas específicos de contaminación por aguas congénitas, estas diez estaciones están ubicadas dentro de los campos petroleros Samaria-Iride y al agruparlas presentan un promedio de 24.22 partes por mil. Con la ayuda gráfica de la figura IV.1 se puede observar que aún eliminando estos datos del análisis, la etapa local se presenta como una agrupación de datos totalmente diferente a las etapas Intermedio y Regional.

pH. El potencial hidrógeno o pH presenta registros muy bajos en el nivel local (4.87) a diferencia de los niveles intermedio y regional donde este parámetro se mantiene muy cerca de los niveles normales.

Figura IV.2 Intervalos de confianza del pH en agua freática de la categoría Etapa



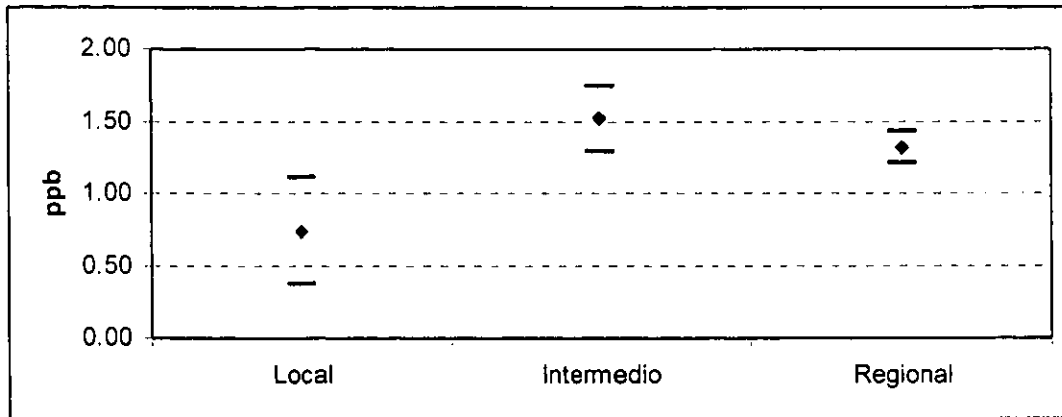
Nuevamente tomando como referencia los valores de pH entre 6 y 7.9, tenemos que 116 de los 141 registros obtenidos para el nivel local (82.26%) presentaron un promedio de pH de 2.66 lo cual hace la diferencia entre los datos de las etapas Intermedio y Regional, como se muestra en la figura IV.2.

Benceno. El Benceno se presentó en el nivel local en concentraciones promedio fuera de las especificaciones normativas (90.24 ppb) a diferencia de los otros niveles donde la media está por debajo de los valores utilizados como referencia (Cuadro IV.1), este comportamiento atiende a la presencia de concentraciones muy altas en algunos de los sitios muestreados (batería Giraldas) donde incluso se encontró producto en fase libre.

Analizando los resultados se obtuvo que 7 de los 144 registros, presentan un promedio de 1841.92 ppb, es decir que el 95.13% del total de los datos del nivel local registraron concentraciones menores a 16 ppb, para elaborar la figura IV.3 se eliminaron esos 7 registros y se obtuvo que en el nivel local aunque hay mayor variación en los datos y el intervalo de confianza es más amplio, los valores registrados, contrariamente a lo que se esperaba son menores que en las etapas Intermedio y Regional.

Tomando el valor de 5 ppb como referencia, se tiene que en los tres niveles de muestreo las concentraciones de benceno se encuentran por debajo de la mitad de este límite normal.

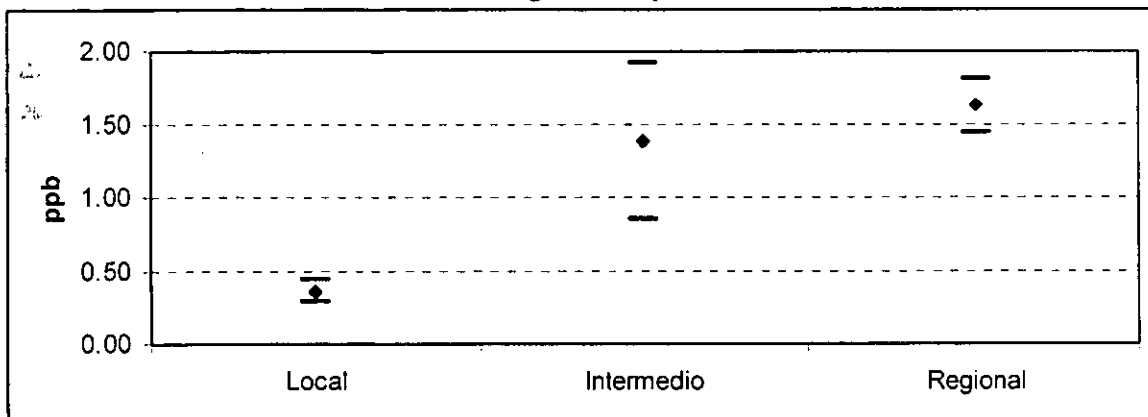
Figura IV.3 Intervalos de confianza del parámetro Benceno en agua freática de la categoría Etapa



Tolueno. El tolueno presentó el mismo comportamiento que el benceno, estos compuestos los podemos encontrar en algunas fracciones de condensados de los gases o fracciones ligeras producto de la separación del petróleo crudo, todo esto viene a resaltar un derrame de estos productos cerca de la batería Girdaldas la cual presento los más altos resultados en cuanto a estos dos parámetros y que influyen en el resultado del análisis estadístico y su comparación con los otros niveles de muestreo.

Al analizar los resultados se observa que las diferencias en el caso del tolueno son más marcadas, es decir que solo cuatro registros de la batería Girdaldas en el nivel Local están haciendo cambiar el comportamiento global de los resultados, si se omiten estos, tenemos que la media del 97.22% de los datos del nivel local es 0.36 ppb de Tolueno. Y como se muestra en la figura IV.4, el intervalo de este parámetro es más cerrado que el benceno en el nivel local aunque se presenta el mismo comportamiento con respecto a las otras dos etapas.

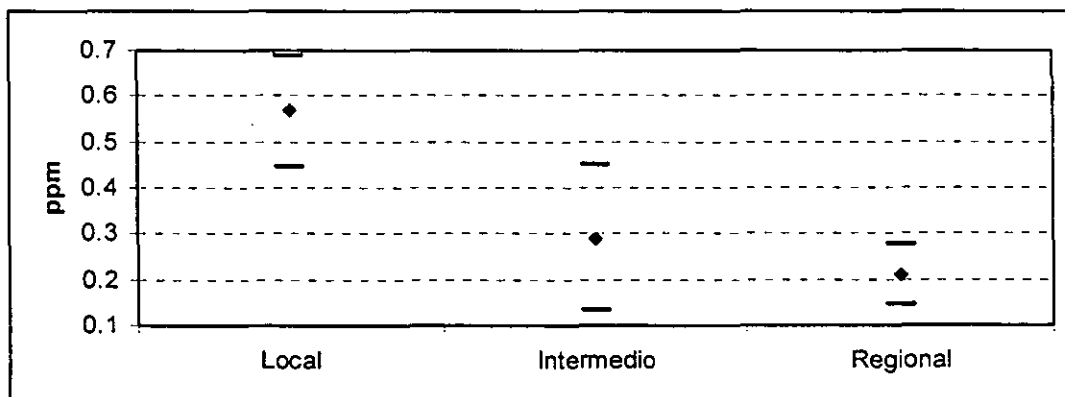
Figura IV.3A Intervalos de confianza del parámetro Tolueno en agua freática de la categoría Etapa



HTP. Los Hidrocarburos Totales del Petróleo muestran de igual manera, que el benceno y el tolueno, la influencia de dos derrames en sus registros, uno en la Batería Giraldas y el otro en la Batería 5 del campo Cinco Presidentes. Esta influencia reflejada en el nivel local, sobrepasa por mucho los valores normales, que a diferencia de los niveles Intermedio y regional se encuentran por debajo de esta referencia. Sin embargo si se eliminan estos cinco datos se obtiene que el 96.57% de los datos del nivel Local presentan una media de 0.57 ppm con lo que la comparación entre los tres niveles es más objetiva tomando en cuenta que estos cinco datos no están arrastrando la media hacia concentraciones superiores.

Cuando se hace la comparación eliminando los datos extremos, tenemos que el nivel local sigue presentando las concentraciones más altas de hidrocarburos totales del petróleo, en comparación con las etapas Intermedio y Regional. Se realizó una comparación de los resultados obtenidos con el nivel de referencia (0.2 ppm), y se obtuvo que el 50.34% del total de los datos en las tres etapas es menor o igual al nivel de referencia. Cabe mencionar que este nivel de referencia es muy estricto y para condiciones de ecosistemas sin alteración. La comparación gráfica de las etapas puede observarse claramente en la figura IV.4.

Figura IV.4 Intervalos de confianza del parámetro Hidrocarburos totales del petróleo en agua freática de la categoría Etapa

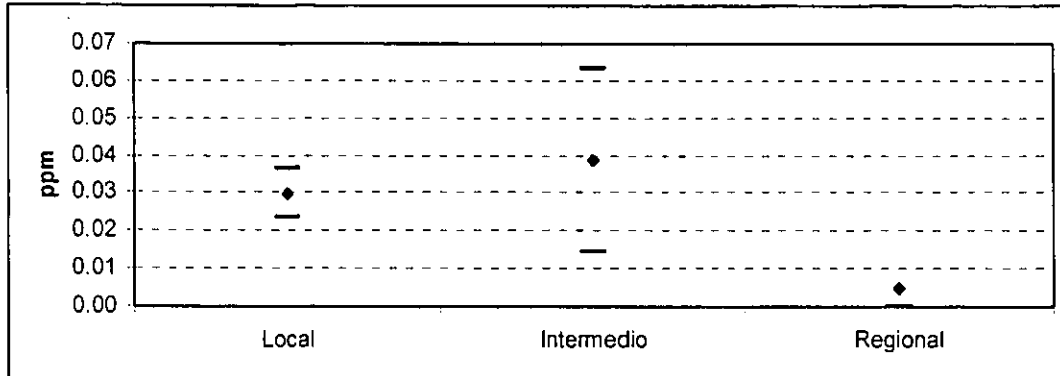


Vanadio. Este metal se encuentra dentro de los valores de referencia en las tres etapas siendo más bajo en el nivel regional, mas que una influencia se supone una diferencia en cuanto al tipo de muestreo en pozos o en norias y esto se discutirá en la siguiente categoría.

Al analizar los datos se observa que en el caso del muestreo Regional todos los registros son menores al límite de detección. Esto nos lleva a examinar la totalidad de los datos, donde se observa que 258 de los 286 registros (90.20%) están por debajo o en el límite de

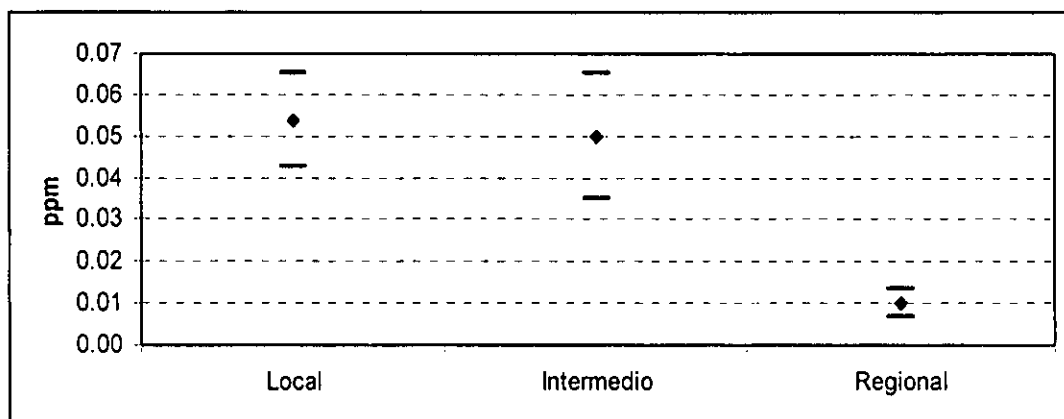
detección. La variación en el comportamiento de este metal puede observarse en la siguiente figura:

Figura IV.5 Intervalos de confianza del vanadio en agua freática de la categoría Etapa



Plomo. Los promedios de datos de este parámetro se presentan tanto a nivel Local como en el Intermedio muy cerca del valor de referencia (0.05 ppm), siendo estos dos grupos de datos muy semejantes en cuanto a su intervalo de confianza que difiere totalmente del nivel regional donde las concentraciones se presentaron muy por debajo de los valores de referencia (figura IV.6).

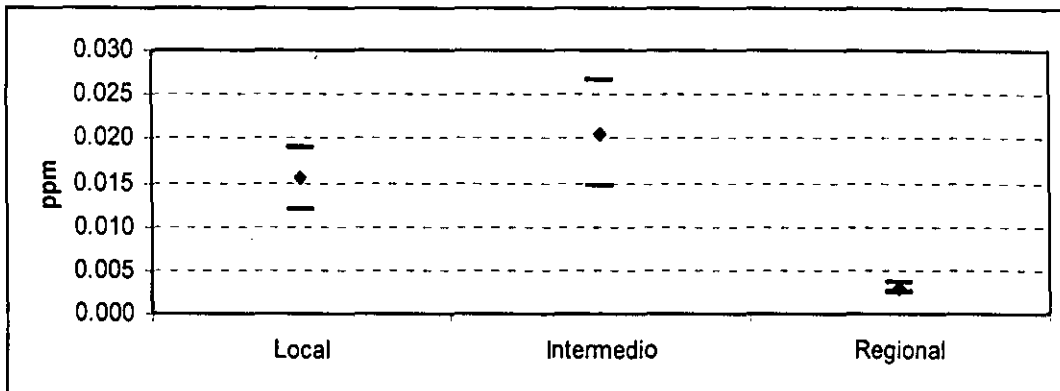
Figura IV.6 Intervalos de confianza del parámetro plomo en agua freática de la categoría Etapa



En el caso de los datos agrupados en la etapa Regional el 59.77% corresponden a registros igual o menores al límite de detección por lo que su promedio es menor a las otras dos etapas.

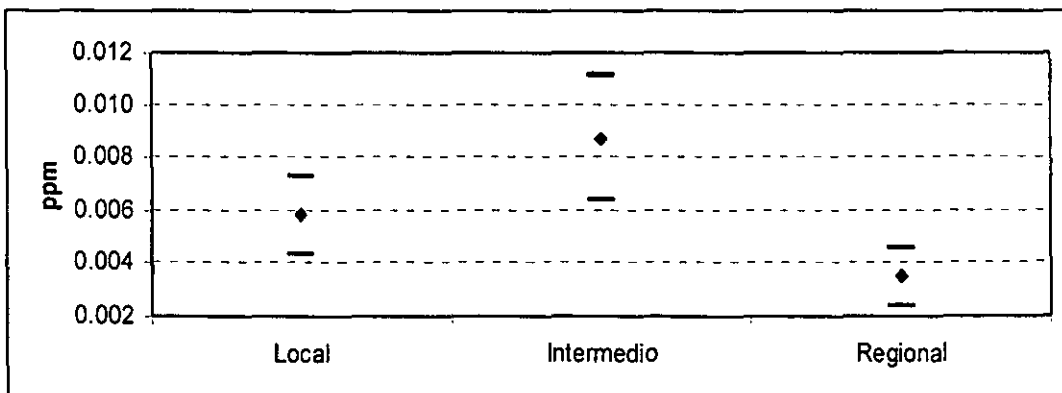
Cromo. Este metal presentó su mayor concentración en la etapa Intermedia en tanto que la etapa Regional registró las menores concentraciones, en la etapa Regional el 93.1% corresponden a registros igual o menores al límite de detección por lo que su promedio es menor a las otras dos etapas.

Figura IV.7 Intervalos de confianza del parámetro cromo en agua freática de la categoría Etapa



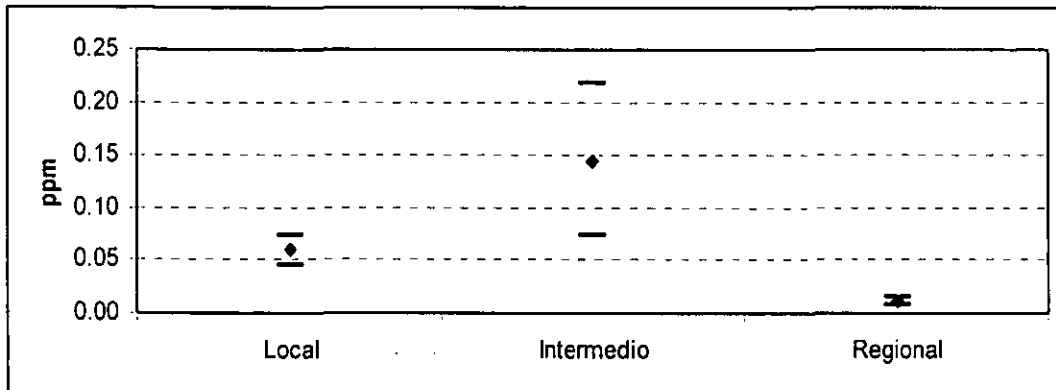
Cadmio. Los promedios de concentración de Cd en agua freática fueron por lo general muy bajos en las tres etapas, la mayor concentración se observa en el nivel intermedio mientras que la más baja es en el nivel Regional, donde solo 3 de los 87 registros son mayores al límite de detección, lo que hace que esta variable categórica se presente en la figura IV.8 con el intervalo de confianza más cerrado y con el menor promedio registrado.

Figura IV.8 Intervalos de confianza del parámetro cadmio en agua freática de la categoría Etapa



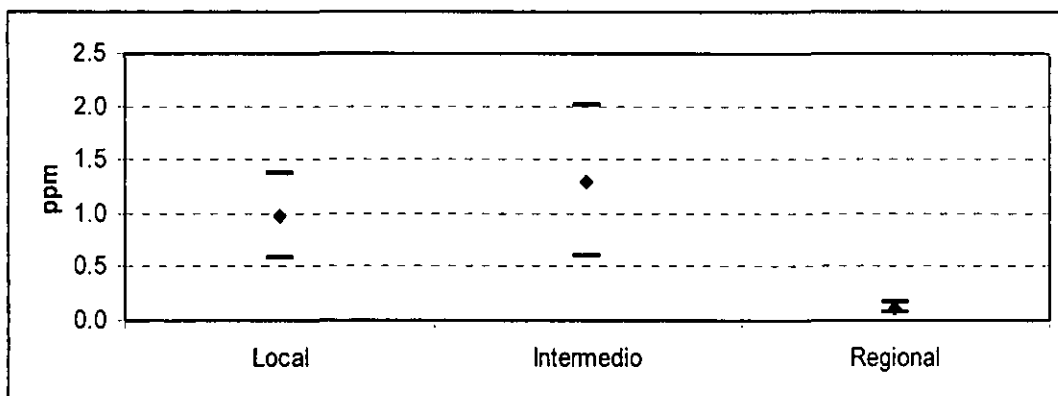
Níquel. Como el vanadio, el cromo y el cadmio este metal se presenta en muy bajas concentraciones en todos sus niveles de muestreo, en las tres etapas los promedios de concentración de níquel en agua freática están dentro de los límites de referencia y su comportamiento menor en el nivel regional pudiera asociarse con el tipo de muestreo.

Figura IV.9 Intervalos de confianza del parámetro níquel en agua freática de la categoría Etapa



Bario. Este metal también presenta el mismo comportamiento en cuanto a los promedios de concentración en agua freática en los diferentes niveles de muestreo, pero cabe señalar que el resultado del análisis en el nivel Intermedio sobrepasó el valor de referencia (1.0 ppm). En el nivel regional el 54% de los registros corresponden a concentraciones iguales o menores al límite de detección por lo que la variación en los resultados es muy baja y el intervalo de confianza es muy cerrado diferenciándose claramente de las otras etapas.

Figura IV.10 Intervalos de confianza del parámetro bario en agua freática de la categoría Etapa

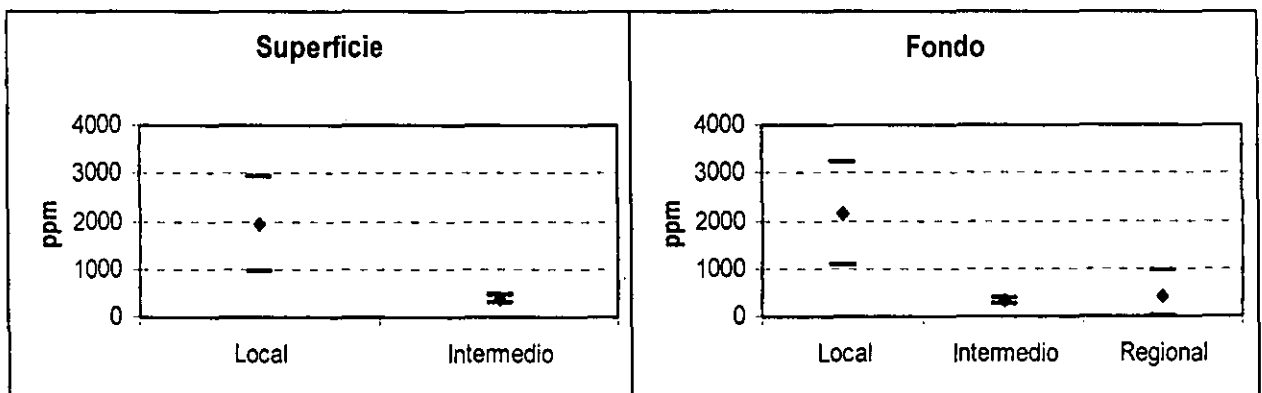


- Suelo

Porosidad: Solo se realizó en los muestreos del nivel Local por lo que no hay punto de comparación entre niveles, sin embargo en cuanto a los horizontes superficiales y los del subsuelo se observa que la variación entre los valores promedio del nivel local fue mínima, por lo que se puede inferir que no existen diferencias significativas en la porosidad entre los horizontes superficiales y los del subsuelo.

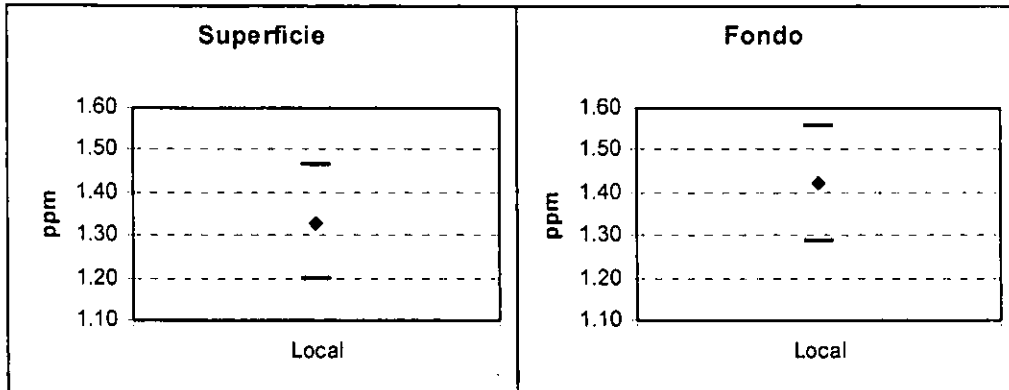
HTP. Los Hidrocarburos Totales del Petróleo en horizontes superficiales se presentan en concentraciones muy altas a nivel local, sin embargo a nivel intermedio también están fuera del nivel permisible, en el nivel regional no se presentaron datos. En los horizontes del subsuelo las concentraciones registradas de HTP sobrepasan los límites de referencia en los tres niveles siendo considerablemente altos a nivel local. Cabe señalar que la evaluación de HTP tal y como lo especifica el procedimiento EPA 418.1 tiende a reportar valores anormalmente altos debido a interferencias con la presencia de materia orgánica de origen biogénico.

Figura IV.11 Intervalos de confianza del parámetro Hidrocarburos Totales del Petróleo en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Etapa



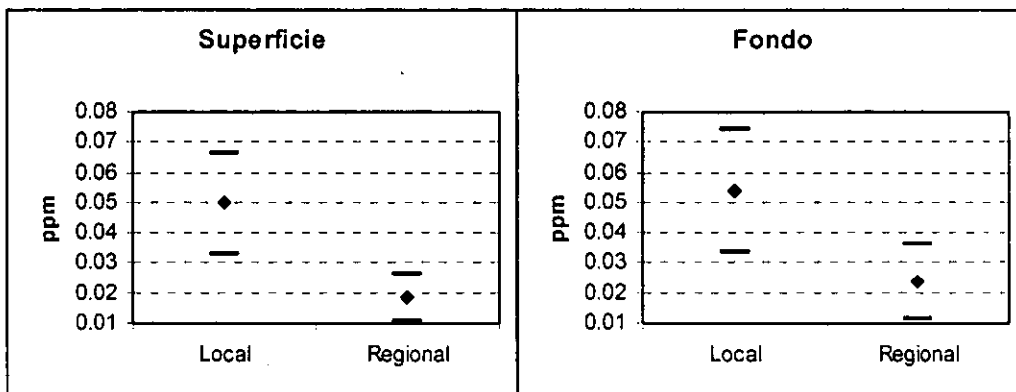
Bario. Este metal solo se presentó a nivel Local tanto en horizontes superficiales como del subsuelo y el promedio de 130 datos indica que aunque la diferencia es muy poca, existe mayor concentración de este metal en los horizontes del subsuelo, sin embargo como se muestra en la figura IV.12 esta diferencia no es significativa puesto que las medias de ambos grupos de datos coinciden con los intervalos de confianza.

Figura IV.12 Intervalos de confianza del parámetro bario en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Etapa



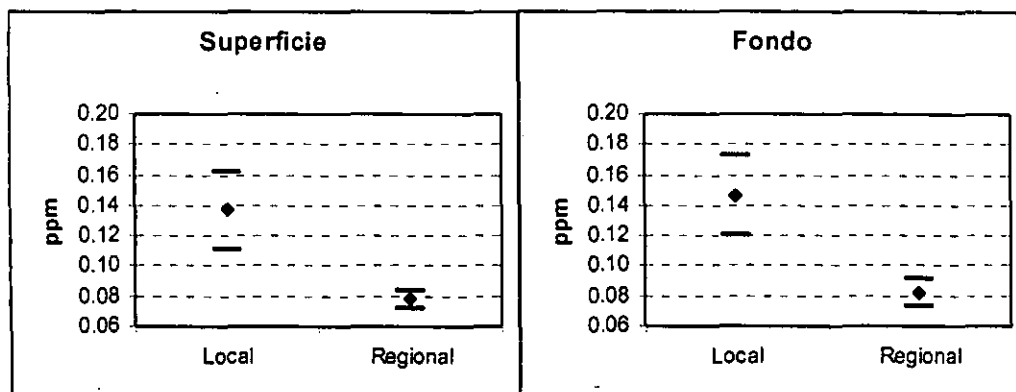
Níquel. El Ni se registró para los niveles Local y Regional tanto en horizontes superficiales como del subsuelo. En la figura IV.13 se puede observar como las concentraciones de níquel en el nivel Local tanto en horizontes superficiales como del subsuelo son muy semejantes y más altas de lo registrado en ambas profundidades del nivel regional, demostrándose diferencias significativas para ambos niveles de muestreo.

Figura IV.13 Intervalos de confianza del parámetro níquel en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Etapa



Plomo. El plomo como el níquel se presentó solo en los niveles Local y Regional pero a diferencia de este, las concentraciones observadas en los horizontes superficiales son más bajas que las observadas en el subsuelo, asimismo a nivel Regional el plomo se encontró en menor concentración que a nivel Local.

Figura IV.14 Intervalos de confianza del parámetro plomo en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Etapa



Discusión de la variable Etapa

En el análisis de los datos mostrados en el Cuadro IV.1 se puede observar como la variable categórica "Local" que hace referencia a los muestreos hechos en torno a un problema de contaminación a no más de 200 metros, es la que presenta mayor número de parámetros fuera de los límites de referencia, sin embargo cuando se hace un análisis más detallado del comportamiento de cada parámetro las condiciones cambiaron en algunos casos como en el Benceno y el Tolueno en aguas freáticas, por el contrario la salinidad y los HTP aún con la eliminación de datos aberrantes siguen conservando condiciones fuera de los valores de referencia.

En el agua freática todos los metales analizados presentaron el mismo comportamiento diferencial entre niveles de muestreo (local, intermedio y regional) pero en diferentes concentraciones; es decir que el nivel intermedio presentó los intervalos más amplios y las mayores concentraciones seguido muy de cerca por el nivel local, en tanto que en el nivel regional en la mayor parte de los casos las concentraciones de metales estuvieron por debajo de los límites de detección.

Para el caso del suelo las condiciones son diferentes, encontrando en el nivel Local las concentraciones de los parámetros analizados muy superiores a lo registrado en los niveles de muestreo Intermedio y Regional. En algunos de los casos se pudo analizar el mismo parámetro en el mismo nivel de muestreo pero a diferente profundidad y se encontró que las concentraciones son un poco más altas en los horizontes del subsuelo sin que la diferencia con los horizontes superficiales sea significativa.

Categoría 2: Tipo de Muestreo

Variables para esta categoría: **Pozos o Norias**

La posición de esta categoría con respecto a todas las categorías y sus variables categóricas se esquematiza en el Cuadro Guía mientras que los resultados se pueden consultar en el Cuadro IV.2.

Cuadro Guía: Categorías, variables y parámetros analizados

Categorías		Parámetros Analizados	
Etapa	Variables Categóricas	Agua Freática	Suelos
	Local Intermedia Regional		
Tipo de muestreo	Noria Pozo	Salinidad pH Benceno Tolueno	Porosidad HTP Bario Níquel Plomo
Zona Ecogeográfica	Barra Costera Llanura Aluvial Alta Llanura Aluvial Baja Terrazas Miocénicas	HTP Vanadio Plomo	
Taxonomía de suelos	Alisol Antrosol Arenosol Cambisol Fluvisol Gleysol Histosol Vertisol	Cromo Cadmio Níquel Bario	
Tipo de influencia	Derrame Doméstico Ganado Pantano Presa Río sin influencia		
Textura en horizontes superficiales	Arcilla Arena Arena Migajosa Migajón arcilloso Migajón arenoso Migajón limoso		
Textura en horizontes del subsuelo	Arcilla Arena Arena Migajosa Migajón arcilloso Migajón arenoso Migajón limoso		

Cuadro IV.2 Datos agrupados por tipo de muestreo

REFERENCIA*	1	6 a 7.9	5	24	0.2	0.1	0.05	0.05	0.01	0.2	1		40	200	20	25		40	200	20	25
	pp ml		ppb	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm
NORIAS	<i>Salinidad</i>	<i>pH</i>	<i>Benceno</i>	<i>Tolueno</i>	<i>HTP</i>	<i>Vanadio</i>	<i>Plomo</i>	<i>Cromo</i>	<i>Cadmio</i>	<i>Niquel</i>	<i>Barlo</i>	<i>Porosidad (S)</i>	<i>TPH (S)</i>	<i>Ba (S)</i>	<i>Ni (S)</i>	<i>Pb (S)</i>	<i>Porosidad (F)</i>	<i>TPH (F)</i>	<i>Ba (F)</i>	<i>Ni (F)</i>	<i>Pb (F)</i>
Media	0.49	6.85	1.50	1.55	0.19	0.005	0.0104	0.0029	0.0033	0.0101	0.112	SR	SR	SR	0.02	0.078	SR	414.46	SR	0.02	0.082
Des. Est	0.50	0.71	0.61	1.30	0.29	0.000	0.0158	0.0027	0.0047	0.0186	0.206	SR	SR	SR	0.03	0.024	SR	2239.07	SR	0.05	0.038
Varianza	0.25	0.51	0.37	1.69	0.08	0.000	0.0003	0.0000	0.0000	0.0003	0.043	SR	SR	SR	0.00	0.001	SR	5013432.56	SR	0.00	0.001
Maximo	2.66	8.29	2.60	10.89	2.38	0.005	0.1200	0.0300	0.0310	0.1200	1.440	SR	SR	SR	0.15	0.270	SR	18016.11	SR	0.24	0.310
Minimo	0.02	3.57	0.25	0.25	0.02	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	SR	SR	SR	0.01	0.075	SR	3.90	SR	0.01	0.075
N	107	107	107	107	106	107	107	107	107	107	107	SR	SR	SR	57	64	SR	64	SR	57	64
POZOS	<i>Salinidad</i>	<i>pH</i>	<i>Benceno</i>	<i>Tolueno</i>	<i>HTP</i>	<i>Vanadio</i>	<i>Plomo</i>	<i>Cromo</i>	<i>Cadmio</i>	<i>Niquel</i>	<i>Barlo</i>	<i>Porosidad (S)</i>	<i>TPH (S)</i>	<i>Ba (S)</i>	<i>Ni (S)</i>	<i>Pb (S)</i>	<i>Porosidad (F)</i>	<i>TPH (F)</i>	<i>Ba (F)</i>	<i>Ni (F)</i>	<i>Pb (F)</i>
Media	2.02	5.16	71.64	84.17	43.42	0.036	0.0572	0.0185	0.0071	0.0931	1.181	52.14	1615.64	1.33	0.05	0.137	52.48	1771.25	1.42	0.05	0.146
Des. Est	6.77	1.24	505.98	642.28	451.32	0.064	0.0680	0.0228	0.0095	0.1790	2.607	7.50	5384.04	0.78	0.10	0.153	7.64	5781.96	0.79	0.12	0.157
Varianza	45.85	1.54	256013.53	412522.53	203692.54	0.004	0.0046	0.0005	0.0001	0.0320	6.795	56.19	28987842.11	0.60	0.01	0.024	58.29	33431304.58	0.63	0.01	0.025
Maximo	56.27	7.36	6000.00	6000.00	6000.00	0.350	0.3500	0.1700	0.0520	1.8370	23.260	78.69	58440.00	3.52	0.60	0.830	79.96	58440.00	3.69	0.66	0.890
Minimo	0.00	1.57	0.25	0.25	0.05	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	29.50	27.00	0.19	0.01	0.075	29.32	7.41	0.21	0.01	0.075
N	179	182	182	182	184	179	182	182	182	182	182	126	178	132	139	138	126	176	130	139	138

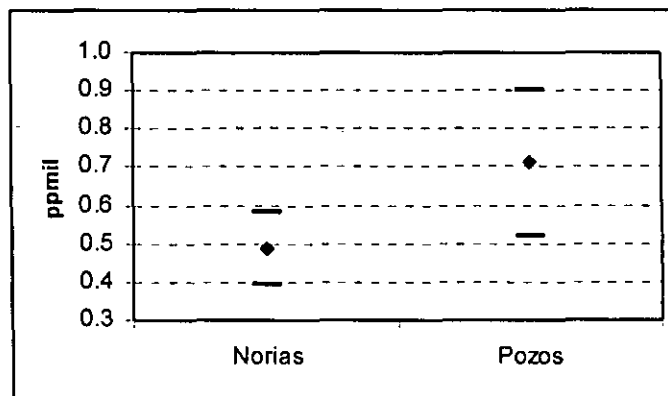
* Los valores de referencia fueron tomados de diferentes fuentes mostradas en el inciso III.8 del capítulo "Desarrollo Metodológico"
 SR= Sin resultados al agrupar los datos. pp ml= partes por mil. ppm= partes por millón. (S)= Horizonte superficial. (F)= Horizontes del subsuelo.

El tipo de muestreo hace referencia a la procedencia del agua freática en términos de haber sido tomada en una **Noria** previamente construida y que sirve de abasto a la gente del lugar o si fue tomada en un **Pozo** de sondeo, construido al momento del muestreo. Las norias generalmente son más profundas que los pozos y en el caso de estas, los muestreos de suelos se realizaron a un lado de cada Noria tratando de seguir la topografía del lugar.

- Agua Freática

Salinidad. En los resultados que aparecen en el cuadro IV.2, la salinidad del agua freática fue cuatro veces más alta en los pozos que en las norias, incluso fue dos veces mayor que el valor permisible, sin embargo se debe tomar en cuenta que estos resultados incluyen 10 puntos de muestreo ubicados en los campos Samaria-Iride con problemas específicos de salinidad. Si se eliminan estos diez datos extremos, se obtiene una media de 0.71 partes por mil en 169 registros, con lo cual se puede hacer una comparación más objetiva de los resultados.

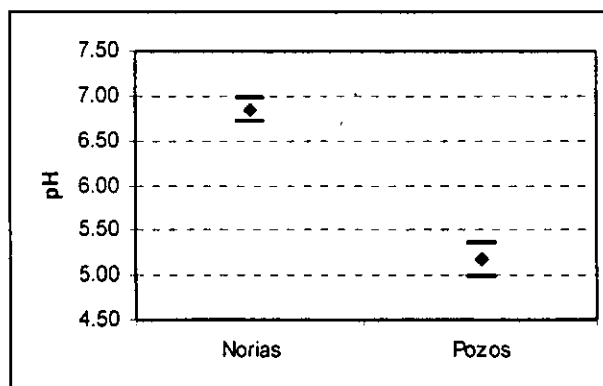
Figura IV.15 Intervalos de confianza del parámetro salinidad en agua freática de la categoría Tipo de Muestreo



Al analizar la información, se obtienen dos agrupaciones de datos significativamente diferentes, aunque las concentraciones encontradas sean muy bajas y aún con que los intervalos de confianza están por debajo del valor de referencia (1.0 partes por mil), en los pozos se presenta mayor variación de los registros, así como las mayores concentraciones de salinidad.

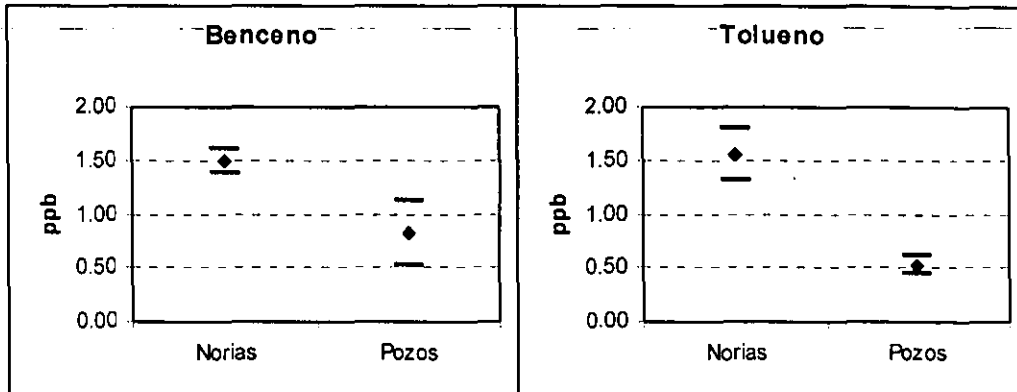
pH. El pH de los pozos se presentó fuera de los valores característicos para aguas freáticas siendo más ácido que el de las norias, en los pozos el 73.18% de los registros es más ácido que el pH considerado como normal para agua (6 a 7.9), mientras que en las norias solo el 9.3% están fuera de los valores de referencia. En si los dos intervalos de confianza de los datos registrados son cerrados es decir que no hay variación entre los datos registrados en cada tipo de muestreo, sin embargo la media de los valores registrados para norias tiende hacia un pH normal en tanto que los pozos son por mucho ácidos, al comparar los intervalos de confianza de los dos grupos de datos, se observa que esta diferencia es significativa (figura IV.16).

Figura IV.16 Intervalos de confianza del parámetro pH en agua freática de la categoría Tipo de Muestreo



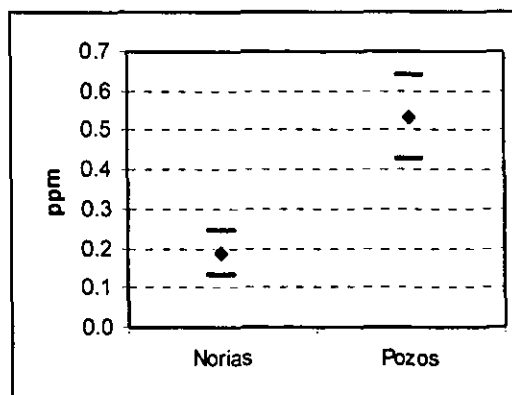
Benceno y Tolueno. Nuevamente en estos parámetros se hace notoria la influencia de los muestreos en pozos realizados muy cerca de derrames o fosas de desecho, siendo sus resultados por mucho mayores a lo registrado en las norias, los pozos presentan gran variación en los datos con lo que se amplía su intervalo de confianza y sus datos promedio sobrepasan los valores de referencia. Sin embargo tenemos que para el benceno 7 de 182 datos se muestrearon en sitios críticos mientras que para el Tolueno solo fueron 5 de 182, estos 12 datos considerados extremos, no son representativos y modifican el análisis del comportamiento del parámetro, por lo que al ser omitidos tenemos que el contenido de Benceno y Tolueno en agua freática extraída de pozos es menor a las concentraciones encontradas en las norias y como se observa en la figura IV.17 en los dos casos las diferencias entre pozos y norias son significativas.

Figura IV.17 Intervalos de confianza de los parámetros Benceno y Tolueno en agua freática de la categoría Tipo de Muestreo



HTP. En los resultados nominales, los hidrocarburos totales del petróleo presentan la misma tendencia influenciada por los pozos muestreados en sitios críticos, a diferencia de las norias donde la concentración de HTP fue menor en casi tres órdenes de magnitud. Si se omiten estos 5 valores extremos en los datos de los pozos, se puede realizar una comparación objetiva (Figura IV.18), donde se observa como la concentración de hidrocarburos totales del petróleo en agua freática extraída de pozos es mayor a la de norias. Estos dos grupos de datos son significativamente diferentes, y en el caso de los pozos las concentraciones encontradas son superiores al valor de referencia.

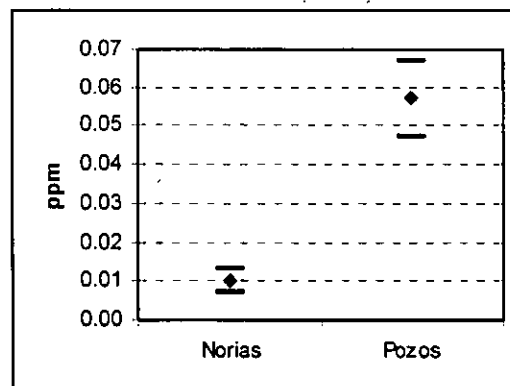
Figura IV.18 Intervalos de confianza del parámetro HTP en agua freática de la categoría Tipo de Muestreo



Vanadio. Para este metal, las concentraciones registradas en las norias fueron menores al límite de detección, es decir que no existe el V en concentraciones significativas en los muestreos realizados en norias, al no haber variación en los datos no hubo desviación estándar por lo que no se puede calcular un intervalo de confianza para este cúmulo de datos. Por otra parte los muestreos realizados en pozos muestran un promedio un poco mayor al de las norias encontrándose que 165 de los 179 registros (92.17%) corresponden a concentraciones dentro de los límites permisibles. Estos resultados sugieren que el V en los sitios estudiados puede tener muy poca movilidad a través del manto freático y que solo se encuentra muy cerca de lugares contaminados.

Plomo. El Pb presentó concentraciones bajas en las norias, en el 97.19% de las muestras la concentración fue menor o igual al límite permisible, en tanto que en los pozos, el 66% de los registros es menor a este valor normativo siendo 62 de los 182 datos los que arrastran el promedio fuera de los valores de referencia.

Figura IV.19 Intervalos de confianza del parámetro plomo en agua freática de la categoría Tipo de Muestreo

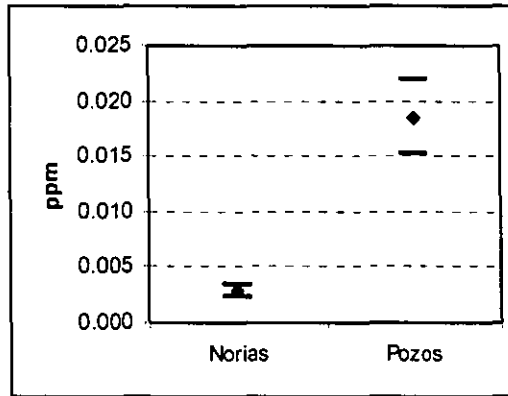


Al hacer un análisis de los datos puede observarse en la figura IV.19 que las dos agrupaciones son significativamente diferentes, esta diferencia esta basada en la cantidad de muestras con registros menores al límite de detección es decir que en el caso de las norias 65 de los 107 datos (60.7%) podría decirse que no contienen plomo, mientras que en los pozos solo el 2.1% presentó esta condición.

Cromo. Este metal se presentó tanto en las norias como en los pozos en concentraciones por debajo de los límites normativos. En las norias el 94.4% de los datos corresponden a registros por debajo o en el límite de detección lo cual es equivalente a la ausencia de cromo en norias por el contrario los pozos presentan concentraciones mayores al al valor

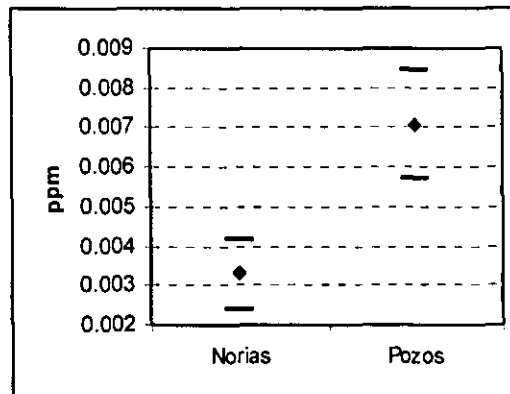
de referencia (0.05 ppm), en la figura IV.20 puede observarse como difieren estos dos grupos de datos.

Figura IV.20 Intervalos de confianza del parámetro cromo en agua freática de la categoría Tipo de Muestreo



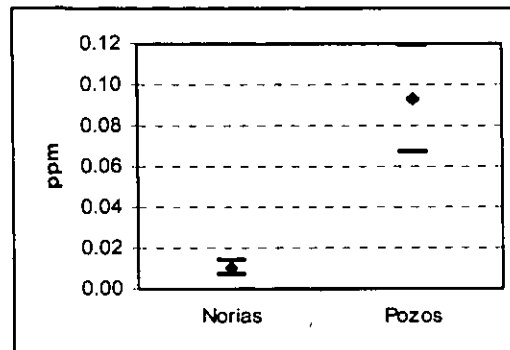
Cadmio. El Cd como el cromo se presenta en concentraciones por debajo de los valores de referencia siendo el promedio de norias muy cercano al límite de detección y en los pozos la concentración es dos veces mayor. En las norias el 2.8% de los datos son mayores al límite de detección mientras que en los pozos este porcentaje es del 29.12%. Se puede decir que la presencia de cadmio en agua freática es rara y con concentraciones muy bajas. En el caso de los pozos 36 de 182 datos sobrepasaron el valor normativo (0.01 ppm) con un promedio de 0.0233 ppm.

Figura IV.21 Intervalos de confianza del parámetro cadmio en agua freática de la categoría Tipo de Muestreo



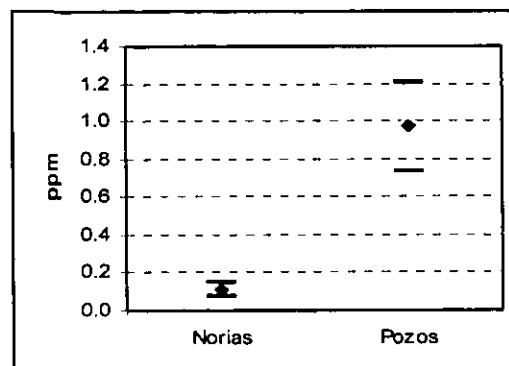
Níquel. Este metal presenta concentraciones superiores a otros metales, aún en las norias, donde su promedio fue tres veces mayor al límite de detección, por otra parte en los pozos la concentración registrada es mucho mayor sin sobrepasar los valores de referencia. Como puede observarse en la figura IV.22 las agrupaciones de datos ofrecen resultados significativamente distintos lo cual esta basado como en otros metales en los registros menores al límite de detección que en el caso de las norias es del 61.7% a diferencia de los pozos donde esta condición solo es del 5.5%.

Figura IV.22 Intervalos de confianza del parámetro níquel en agua freática de la categoría Tipo de Muestreo



Bario. El Ba se presenta como un metal constante en casi todos los muestreos, las norias presentaron concentraciones dentro de los valores de referencia, con un intervalo de confianza muy estrecho. Los pozos por el contrario presentaron 48 datos de los 182 fuera de los valores de referencia esto hace que el promedio se incremente y aparezca como un parámetro con concentraciones superiores a lo permitido, el intervalo de confianza en estos datos es muy amplio lo cual nos habla de resultados con una alta variación asociada a las diferencias entre sitios contaminados y limpios, aún eliminando los datos extremos se conserva la tendencia de concentraciones mayores en los pozos y significativamente diferentes a las de las norias (figura IV.23).

Figura IV.23 Intervalos de confianza del parámetro bario en agua freática de la categoría Tipo de Muestreo

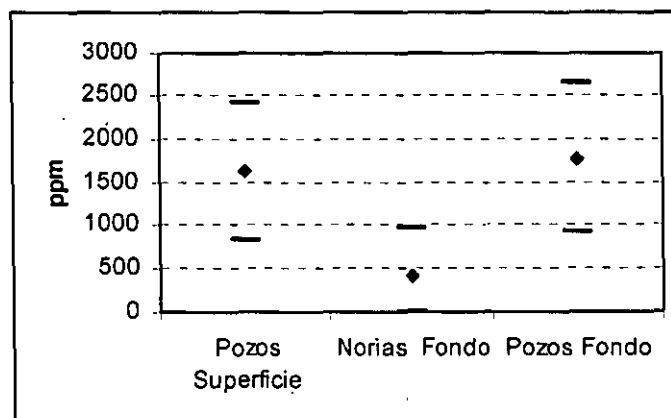


- Suelo

Porosidad. La porosidad en el suelo solo se registró para los suelos de los muestreos en pozos, observándose que esta fue muy semejante tanto en horizontes superficiales como del subsuelo.

HTP. Los hidrocarburos totales del petróleo no se evaluaron en los suelos de los muestreos de norias en horizontes superficiales, sin embargo en el subsuelo presentan un promedio de 414.46 ppm con 41 de los 64 datos registrados (64%) fuera de los límites permisibles, debido a que los valores usados como referencia son muy estrictos, casi todos los datos sobrepasan este límite. Como se puede observar en la figura IV.24, los intervalos de confianza en los dos cúmulos de datos de los pozos son semejantes, bastante amplios y mayores al intervalo de las norias del subsuelo. Cabe hacer notar que aún eliminando los datos extremos tanto en Norias como en Pozos se siguen conservando las mismas características de comportamiento pero en menor concentración.

Figura IV.24 Intervalos de confianza del parámetro HTP en horizontes superficiales y del subsuelo de la categoría Tipo de Muestreo

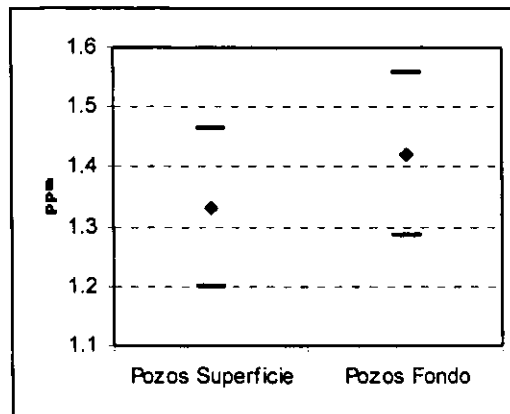


Bario. El Ba no se registró ni en horizontes superficiales ni en el subsuelo en los muestreos de norias, sin embargo se hace presente en los pozos con una mínima diferencia entre los horizontes superficiales y del subsuelo. Las concentraciones registradas están muy por debajo de los límites permisibles.

En la figura IV.25 se pueden observar las pequeñas diferencias entre los dos grupos de datos (pozos de horizontes superficiales y pozos del subsuelo), sin embargo, al extrapolar los valores medios hacia el intervalo de confianza de cada grupo de datos, se observa que en los dos casos estos valores medios extrapolados se sitúan dentro del área del 95% de

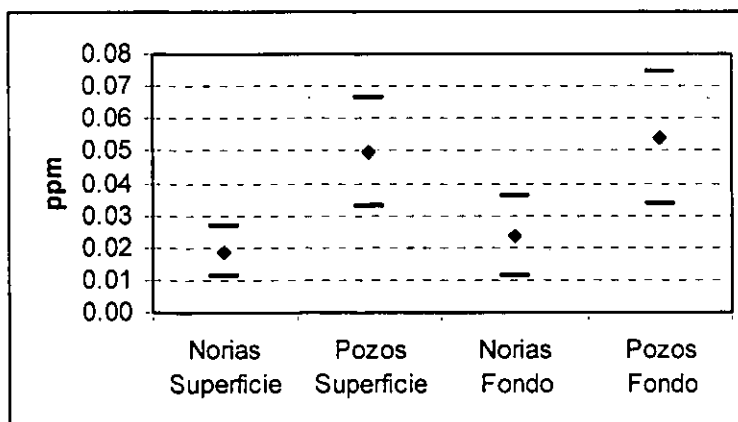
confiabilidad de los intervalos, por lo que las concentraciones de bario encontradas en los horizontes superficiales y las encontradas en los horizontes del subsuelo no se consideran significativamente diferentes.

Figura IV.25 Intervalos de confianza del parámetro bario en horizontes superficiales y del subsuelo de la categoría Tipo de Muestreo



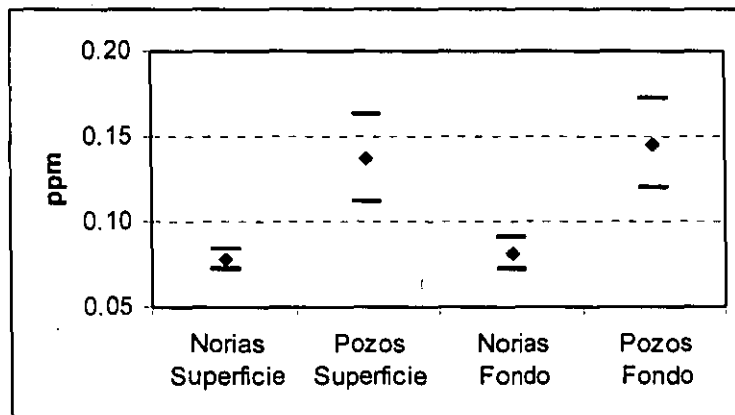
Níquel. Este metal se presentó en los suelos de ambos tipos de muestreo, tanto en horizontes superficiales como del subsuelo. Las concentraciones encontradas están por debajo de los valores de referencia. Al analizar los datos en la figura IV.26 se observa que existen diferencias significativas en el contenido de níquel en los suelos de las norias con respecto de los pozos. Por otra parte se hace evidente que la concentración de níquel en las muestras de horizontes superficiales es similar a la del subsuelo.

Figura IV.26 Intervalos de confianza del parámetro níquel en horizontes superficiales y del subsuelo de la categoría Tipo de Muestreo



Plomo. El Pb presentó concentraciones por debajo de los límites permisibles tanto en horizontes superficiales como del subsuelo para ambos tipos de muestreo. Los valores encontrados en los pozos son casi el doble de lo encontrado en las norias, la diferencia entre las concentraciones encontradas a dos profundidades (horizontes superficiales y del subsuelo) en ambos muestreos es casi nula.

Figura IV.27 Intervalos de confianza del parámetro plomo en horizontes superficiales y del subsuelo de la categoría Tipo de Muestreo



Discusión de la variable Tipo de Muestreo

El análisis con estas variables categóricas permite diferenciar dos grupos de parámetros, aquellos que varían en respuesta a las características del medio ambiente y aquellos que son resultado de las diferencias del procedimiento de muestreo.

Las diferencias entre los pozos y las norias fueron marcadas sobretodo en las aguas freáticas donde los metales presentaron las mayores concentraciones en los pozos, este tipo de comportamiento no es el mismo para todos los parámetros. Las mayores concentraciones de salinidad se observan en los pozos, lo cual hace una diferencia que puede inducir una tendencia u ocasionar un sesgo en el tipo de muestreo.

En cuanto a las concentraciones de benceno y Tolueno en agua freática las concentraciones son mayores en las norias, mientras que en los hidrocarburos totales del petróleo la mayor concentración se registra en los pozos, esto puede tener dos causas distintas, una, dada la influencia doméstica en caso de las norias con diferentes productos que pudieran tener influencia en el agua de las norias y la otra como se ha mencionado anteriormente la evaluación de HTP tal y como lo especifica el procedimiento EPA 418.1 tiende a reportar valores anormalmente altos debido a interferencias con la presencia de materia orgánica de origen biogénico.

En el caso del vanadio los resultados sugieren que este metal puede tener muy poca movilidad en los sitios estudiados a través del manto freático y que solo se encuentra muy cerca de lugares contaminados

Para el caso del Pb, Cr, Cd, Ni y Ba en agua freática las diferencias entre pozos y norias no están dadas por las mayores concentraciones, sino por las concentraciones en o por debajo del límite de detección. Es así como en la mayor parte de las norias prácticamente no contienen estos metales, en cambio en los pozos sin importar el nivel de muestreo todos los contienen en mayor o menor concentración. El comportamiento en este análisis es el mismo en todos los casos sin importar las diferentes concentraciones en las que se encuentran los diferentes metales.

Para el caso de los suelos se observa que los resultados encontrados en los parámetros analizados en las muestras de horizontes superficiales y en las muestras del subsuelo son semejantes, es decir que las diferencias encontradas no son significativas. Por otra parte es clara la diferencia de los suelos muestreados junto a norias y los suelos muestreados en pozos de sondeo donde en HTP, Ni y Pb las concentraciones en pozos son mayores.

Categoría 3: Zona Ecogeográfica

Variables para esta categoría: **Barra Costera, Llanura Aluvial Alta, Llanura Aluvial Baja y Terrazas Miocénicas.**

La posición de esta categoría con respecto a todas las categorías y sus variables categóricas se esquematiza en el Cuadro Guía mientras que los resultados de los datos agrupados por las diferentes variables se pueden consultar en el Cuadro IV.3. mientras que la posición geográfica de cada zona se puede observar en el mapa A1 de los anexos.

Cuadro Guía: Categorías, variables y parámetros analizados

Categorías	Variables Categóricas	Parámetros Analizados	
		Agua Freática	Suelos
Etapa	Local Intermedia Regional		
Tipo de muestreo	Noria Pozo	Salinidad pH Benceno Tolueno	Porosidad HTP Bario Níquel Plomo
Zona Ecogeográfica	Barra Costera Llanura Aluvial Alta Llanura Aluvial Baja Terrazas Miocénicas	HTP Vanadio Plomo Cromo Cadmio Níquel Bario	
Taxonomía de suelos	Alisol Antrosol Arenosol Cambisol Fluvisol Gleysol Histosol Vertisol		
Tipo de influencia	Derrame Doméstico Ganado Pantano Presa Río sin influencia		
Textura en horizontes superficiales	Arcilla Arena Arena Migajosa Migajón arcilloso Migajón arenoso Migajón limoso		
Textura en horizontes del subsuelo	Arcilla Arena Arena Migajosa Migajón arcilloso Migajón arenoso Migajón limoso		

Cuadro IV.3 Datos agrupados por Zona Ecogeográfica

REFERENCIA*	1	6 a 7.9	5	24	0.2	0.1	0.05	0.05	0.01	0.2	1		40	200	20	25		40	200	20	25
	pp mil		ppb	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm
Barra Costera	Salinidad	pH	Benceno	Tolueno	HTP	Vanadio	Plomo	Cromo	Cadmio	Niquel	Barlo	Porosidad (S)	TPH (S)	Ba (S)	NI (S)	Pb (S)	Porosidad (F)	TPH (F)	Ba (F)	NI (F)	Pb (F)
Media	0.13	5.6414	1.57	1.52	0.25	0.054	0.0148	0.0079	0.0025	0.0161	0.219	SR	201.75	SR	0.01	0.075	SR	170.94	SR	0.01	0.075
Des. Est.	0.16	0.8629	1.33	0.83	0.19	0.121	0.0123	0.0067	0.0000	0.0117	0.320	SR	36.43	SR	0.00	0.000	SR	67.67	SR	0.00	0.000
Varianza	0.03	0.7446	1.77	0.69	0.04	0.015	0.0002	0.0000	0.0000	0.0001	0.103	SR	1327.19	SR	0.00	0.000	SR	4579.19	SR	0.00	0.000
Maximo	0.52	7.5	4.09	2.82	0.60	0.350	0.0370	0.0200	0.0025	0.0400	0.980	SR	262.00	SR	0.01	0.075	SR	262.00	SR	0.01	0.075
Minimo	0.03	4.8	0.25	0.25	0.07	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	SR	170.00	SR	0.01	0.075	SR	53.71	SR	0.01	0.075
N	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	SR	4	SR	1	1	SR	5	SR	1	1
Llanura Aluvial Alta	Salinidad	pH	Benceno	Tolueno	HTP	Vanadio	Plomo	Cromo	Cadmio	Niquel	Barlo	Porosidad (S)	TPH (S)	Ba (S)	NI (S)	Pb (S)	Porosidad (F)	TPH (F)	Ba (F)	NI (F)	Pb (F)
Media	0.32	6.85	1.64	2.22	0.23	0.036	0.0685	0.0340	0.0123	0.2040	1.790	SR	460.83	SR	SR	SR	SR	246.70	SR	SR	SR
Des. Est.	0.26	0.38	0.65	2.80	0.15	0.099	0.0918	0.0358	0.0103	0.2186	2.045	SR	339.30	SR	SR	SR	SR	136.61	SR	SR	SR
Varianza	0.07	0.14	0.43	7.84	0.02	0.010	0.0084	0.0013	0.0001	0.0478	4.180	SR	115127.39	SR	SR	SR	SR	18661.42	SR	SR	SR
Maximo	1.10	7.30	2.60	10.89	0.47	0.350	0.3500	0.1050	0.0340	0.6070	6.770	SR	1236.70	SR	SR	SR	SR	517.30	SR	SR	SR
Minimo	0.06	6.00	0.25	0.25	0.05	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	SR	157.00	SR	SR	SR	SR	154.70	SR	SR	SR
N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	SR	8	SR	SR	SR	SR	8	SR	SR	SR
Llanura Aluvial Baja	Salinidad	pH	Benceno	Tolueno	HTP	Vanadio	Plomo	Cromo	Cadmio	Niquel	Barlo	Porosidad (S)	TPH (S)	Ba (S)	NI (S)	Pb (S)	Porosidad (F)	TPH (F)	Ba (F)	NI (F)	Pb (F)
Media	2.07	6.19	14.85	1.17	4.73	0.017	0.0410	0.0089	0.0058	0.0327	0.651	50.12	1298.67	1.47	0.04	0.101	50.74	957.46	1.47	0.04	0.104
Des. Est.	6.75	1.15	139.12	1.29	51.68	0.035	0.0659	0.0113	0.0088	0.0521	2.104	7.86	3640.07	0.87	0.06	0.098	7.24	3212.56	0.82	0.07	0.091
Varianza	45.56	1.33	19354.90	1.68	2671.22	0.001	0.0043	0.0001	0.0001	0.0027	4.426	61.85	13250132.53	0.75	0.00	0.010	52.41	10320551.15	0.67	0.01	0.008
Maximo	56.27	8.29	1694.73	12.61	657.00	0.250	0.3370	0.0620	0.0520	0.2800	23.260	74.49	23250.00	3.52	0.34	0.680	69.66	23892.00	3.52	0.36	0.470
Minimo	0.04	2.70	0.25	0.25	0.03	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	29.50	40.00	0.19	0.01	0.075	29.32	3.90	0.21	0.01	0.075
N	159	162	162	162	161	161	162	162	162	162	162	53	72	62	118	125	53	135	61	118	125
Terrazas Miocénicas	Salinidad	pH	Benceno	Tolueno	HTP	Vanadio	Plomo	Cromo	Cadmio	Niquel	Barlo	Porosidad (S)	TPH (S)	Ba (S)	NI (S)	Pb (S)	Porosidad (F)	TPH (F)	Ba (F)	NI (F)	Pb (F)
Media	0.74	5.09	98.74	140.01	65.25	0.031	0.0369	0.0166	0.0050	0.0952	0.920	53.61	2016.88	1.20	0.05	0.147	53.75	2241.08	1.38	0.05	0.162
Des. Est.	3.04	1.40	630.24	825.24	576.73	0.058	0.0432	0.0249	0.0070	0.2113	2.218	6.85	6655.56	0.66	0.12	0.167	7.67	7214.14	0.77	0.14	0.181
Varianza	9.23	1.95	397199.14	681025.05	332612.82	0.003	0.0019	0.0006	0.0000	0.0447	4.919	46.94	44296464.01	0.43	0.01	0.028	58.76	52043776.20	0.59	0.02	0.033
Maximo	23.39	7.60	6000.00	6000.00	6000.00	0.350	0.2050	0.1700	0.0390	1.8370	17.120	78.69	58440.00	3.18	0.60	0.830	79.96	58440.00	3.69	0.66	0.890
Minimo	0.00	1.57	0.25	0.25	0.02	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	35.39	27.00	0.21	0.01	0.075	37.83	31.00	0.21	0.01	0.075
N	109	109	109	109	111	107	109	109	109	109	109	73	94	70	77	76	73	92	69	77	76

* Los valores de referencia fueron tomados de diferentes fuentes mostradas en el inciso III.8 del capítulo "Desarrollo Metodológico"

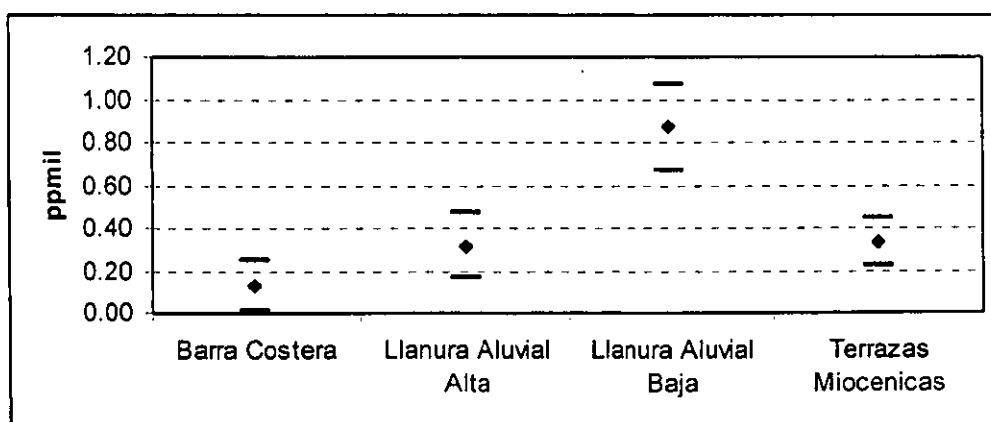
SR= Sin resultados al agrupar los datos. pp mil= partes por mil. ppm= partes por millón. (S)= Horizonte superficial. (F)= Horizontes del subsuelo.

La categoría zona ecogeográfica se refiere a una zonificación independiente de los muestreos que considera información geológica, geomorfológica, edafológica, de uso del suelo y vegetación para dividir la zona de estudio en cuatro variables con características semejantes. El muestreo no fue dirigido hacia las diferentes zonas ecogeográficas sino que una vez realizados los muestreos se dividieron los datos de acuerdo con su zona ecogeográfica.

- Agua Freática

Salinidad. En los datos nominales, la salinidad se presenta en concentraciones bajas en 3 de las cuatro variables categóricas, en la llanura aluvial baja se sobrepasa el nivel normal, donde 43 de los 159 registros (27%), son los datos que rebasan los valores de referencia y que a la vez influyen sobre el otro 73% de estos. Si se eliminan los valores que se consideran extremos por presentar problemas ya conocidos de salinización, tanto en suelos como en agua freática, tenemos que ocho datos (5%) pertenecientes tanto a las fosas de la deshidratadora Samaria II como a la Batería de separación Iride II, son los que modifican el comportamiento de este parámetro en la variable categórica "Llanura aluvial baja", por otra parte en las Terrazas miocénicas 2 de 109 datos (1.8%) se consideraron extremos y se omitieron en el análisis gráfico.

Figura IV.28 Intervalos de confianza del parámetro salinidad en agua freática de la categoría Zona Ecogeográfica



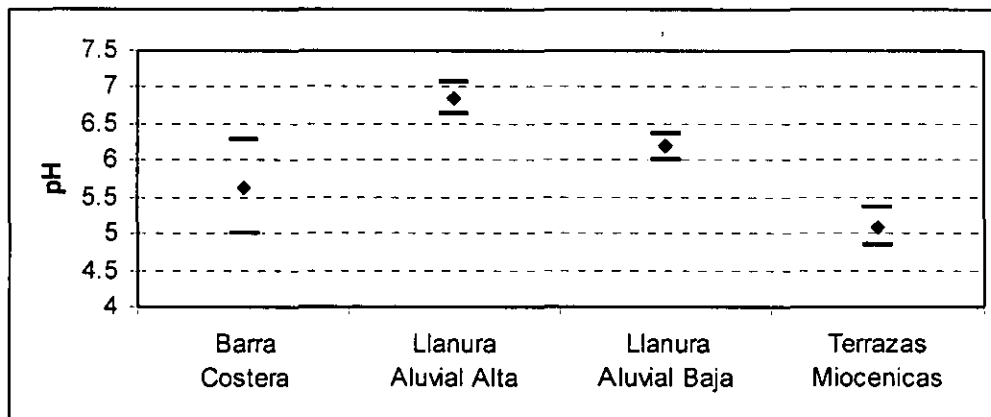
En la figura IV.28 puede observarse como con esta disposición de los datos, los promedios de las cuatro zonas ecogeográficas están por debajo del límite de referencia de salinidad para aguas subterráneas (1 partes por mil). Para el caso de las Terrazas miocénicas y la llanura aluvial alta los cúmulos de datos se consideran sin diferencias significativas, este

comportamiento se atribuye a la cercanía y similitud de características de las dos zonas ecogeográficas.

Las concentraciones encontradas en la llanura aluvial baja podrían estar influenciadas tanto por el efecto de cuña en el río Tonalá como por problemas de salinidad específicos que no se diferenciaron en este análisis, por otra parte en la zona costera se esperaría este efecto o un efecto de intrusión marina, sin embargo el efecto es contrario presentando el menor promedio de salinidad.

pH. En la llanura aluvial alta y en la llanura aluvial baja los valores de pH tuvieron características de acidez y alcalinidad casi neutros no así en la barra costera o en las terrazas Miocénicas donde el pH fue más ácido. En el análisis de datos se observa que el intervalo de confianza más amplio lo presenta la barra costera, debido a la escasez y variación en los datos, mientras que la llanura aluvial alta presenta un cúmulo de datos con poca variación y acercándose a los valores normales.

Figura IV.29 Intervalos de confianza del parámetro pH en agua freática de la categoría Zona Ecogeográfica

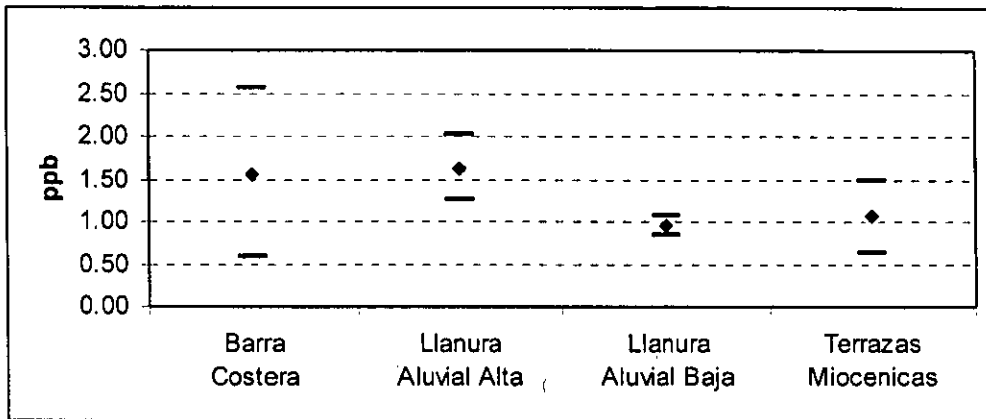


En la figura IV.29 se observan los diferentes intervalos de confianza para las zonas ecogeográficas en cuestión. Para los casos de las terrazas miocénicas y la barra costera se realizó el análisis omitiendo los valores extremos y se encontró que la diferencia era mínima, por lo que se optó por dejarlos sin omisiones de datos.

Benceno. Las concentraciones encontradas de benceno fueron menores al límite permisible en la barra costera y en la llanura aluvial alta. En la llanura aluvial baja la concentración de este compuesto es dos veces mayor al valor permisible sin embargo si

quitamos dos valores extremos, encontraríamos que 159 de los 162 datos registrados están dentro de los valores permisibles con un promedio de 0.96 ppb. En las terrazas Miocénicas se registró un promedio de 98.74 ppb sin embargo existen cinco valores que alteran este resultado si se omiten estos valores encontraríamos que el promedio de benceno sería de 1.06 ppb. Para hacer una comparación más objetiva de estos datos se eliminaron los datos extremos antes mencionados obteniendo la siguiente gráfica:

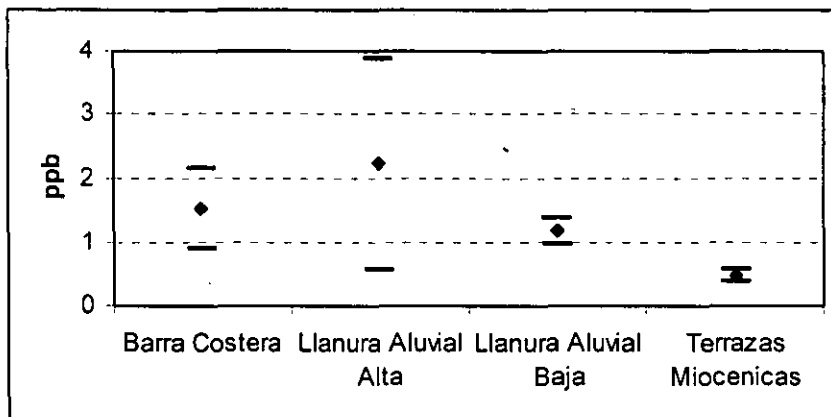
Figura IV.30 Intervalos de confianza del parámetro Benceno en agua freática de la categoría Zona Ecogeográfica



Como puede observarse en la figura anterior, los resultados cambian totalmente al omitir los datos extremos y en primera instancia se tiene que ningún promedio sobrepasa los valores de referencia (5.0 ppb). La llanura aluvial baja y las terrazas miocénicas presentan los menores promedios siendo sus cúmulos de datos muy semejantes, mientras que la amplia variación y la carencia en los datos de la barra costera, trae como consecuencia un intervalo muy amplio que no puede compararse con los intervalos de las otras zonas ecogeográficas.

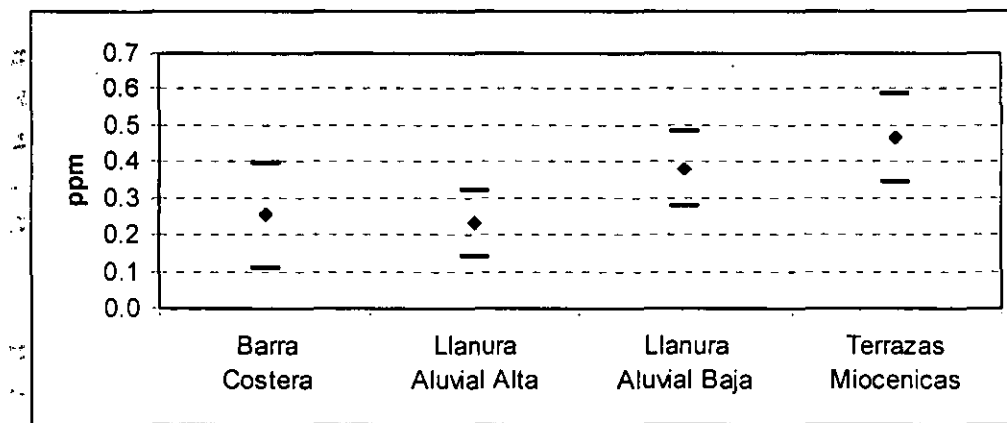
Tolueno. Las concentraciones de tolueno estuvieron dentro de los valores de referencia en la barra costera, la llanura aluvial alta y la llanura aluvial baja. Las terrazas Miocénicas presentaron un promedio de 140.01 ppb influenciado por cuatro datos extremos, si se omiten estos datos tenemos que el promedio es de 0.46 ppb en 105 de los 109 datos registrados. La comparación del contenido de tolueno en agua freática es más objetiva si se grafica omitiendo los valores extremos y se obtiene entonces que las terrazas miocénicas presentan la menor concentración de tolueno con una variación muy baja en sus datos a diferencia de la llanura aluvial alta donde la escasez de resultados y un solo valor alto están modificando el intervalo de confianza haciendo parecer que es muy amplio. Puede considerarse que la llanura aluvial baja y la barra costera presentan resultados semejantes sin ser muy significativa esta similitud. (figura IV.31)

Figura IV.31 Intervalos de confianza del parámetro Tolueno en agua freática de la categoría Zona Eco geográfica



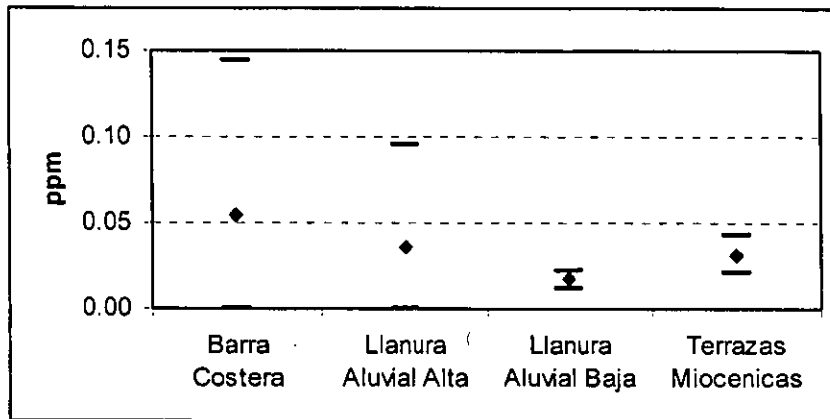
HTP. Los promedios de los hidrocarburos totales del petróleo en las cuatro zonas fue mayor a los valores de referencia, aunque en la barra costera y la llanura aluvial alta apenas se sobrepasa el límite permisible. En la llanura aluvial baja el promedio fue de 4.73 ppm, este dato está influido por dos datos extremos sin los cuales el promedio sería de 0.38 ppm en 159 datos, si se evalúan solo los datos menores al valor normativo tenemos que el 57% de éstos tienen un promedio de 0.12 para esta zona. En las terrazas Miocénicas pasa lo mismo solo que son tres datos los que hacen que el promedio se recorra hasta 65.25 ppm, si se eliminan estos tres datos tenemos que el promedio queda en 0.46 ppm para 108 registros y solo 40 datos (36%) son menores al valor normativo. En la figura IV.32 se omitieron los datos extremos y puede observarse como las concentraciones son semejantes entre las diferentes zonas eco geográficas.

Figura IV.32 Intervalos de confianza del parámetro HTP en agua freática de la categoría Zona Eco geográfica



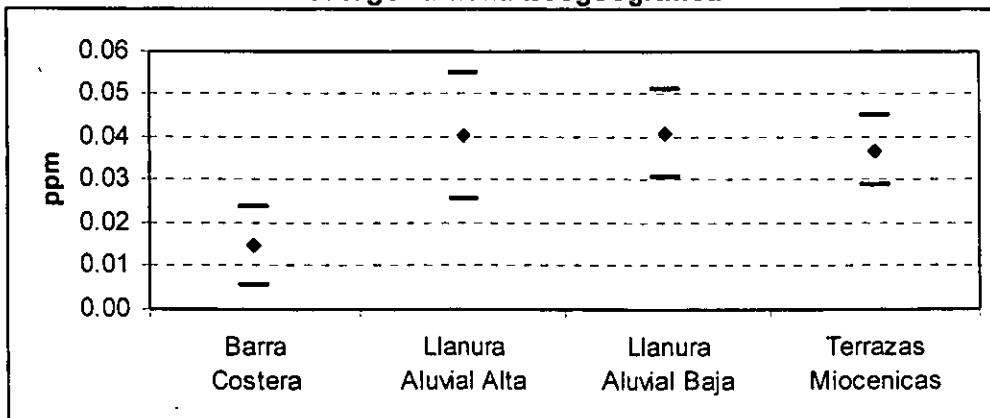
Vanadio. Los resultados promedio para este metal fueron menores a los límites considerados como referencia en las cuatro zonas, encontrándose una mayor concentración en la barra costera y la menor en la llanura aluvial baja. La barra costera y la llanura aluvial alta presentan mayor variabilidad en una menor cantidad de datos lo cual incrementa el intervalo de confianza a diferencia de llanura aluvial baja y las terrazas Miocénicas donde la poca variación de los datos dan como resultado un intervalo estrecho y muy semejante para estas dos zonas.

Figura IV.33 Intervalos de confianza del parámetro vanadio en agua freática de la categoría Zona Ecogeográfica



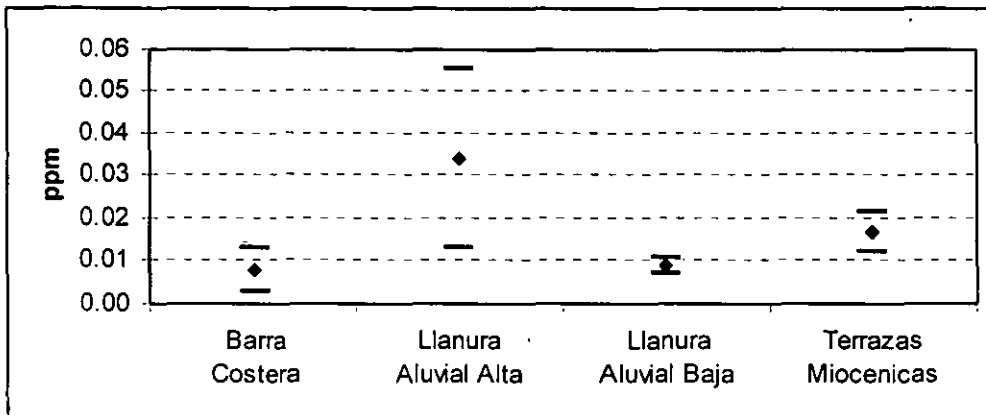
Plomo. El Pb solo se presentó en concentraciones fuera de los valores de referencia en la llanura aluvial alta, donde el intervalo se hace amplio debido a un dato extremo incrementa la variación; por lo contrario la barra costera con un número menor de datos no se observa variabilidad en los datos. En el análisis mostrado en la figura IV.34 se omitió el dato extremo en la llanura aluvial alta y se puede observar como la llanura aluvial alta, la llanura aluvial baja y las terrazas miocénicas no presentan diferencias significativas en el contenido de plomo en agua freática.

Figura IV.34 Intervalos de confianza del parámetro plomo en agua freática de la categoría Zona Ecogeográfica



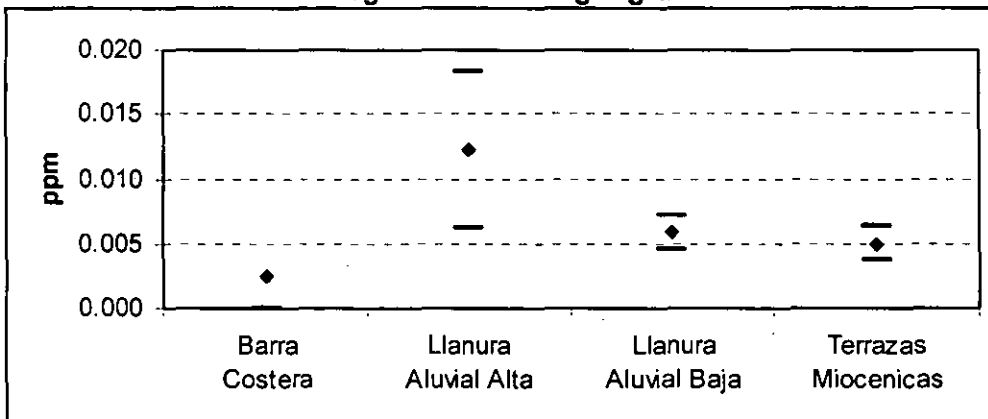
Cromo. Este metal presenta en las cuatro zonas promedios por debajo de los límites permisibles, encontrándose el mayor promedio de concentración en la llanura aluvial alta y el menor en la barra costera. En si la mayor concentración puntual se encontró en las terrazas miocénicas pero 47 de los 109 datos están por debajo del límite de detección lo que hace que el promedio baje, por lo contrario en la llanura aluvial alta con pocos datos, un dato puntual alto hace que la variación se incremente y aumente el intervalo de confianza como se puede observar en la figura

Figura IV.35 Intervalos de confianza del parámetro cromo en agua freática de la categoría Zona Ecogeográfica



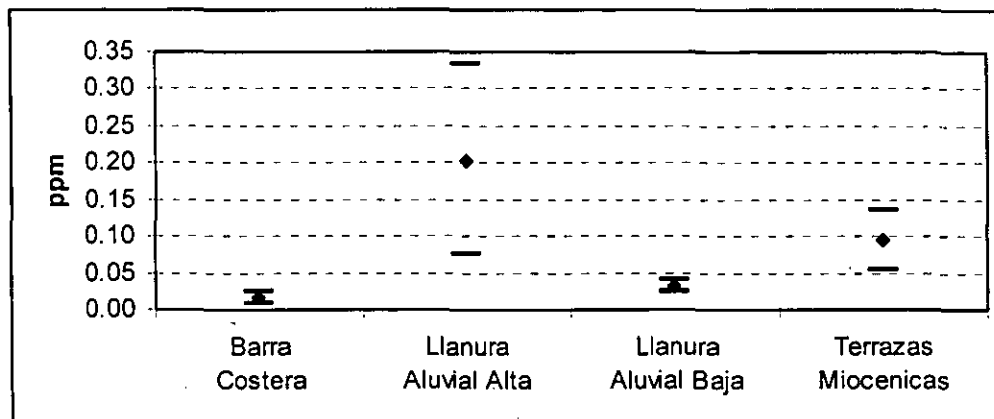
Cadmio. El Cd se presentó apenas sobrepasando el valor de referencia en la llanura aluvial alta, en esta zona los datos presentan variación a pesar de ser solo siete, esto tiene como resultado un amplio intervalo de confianza. En la barra costera las concentraciones encontradas están por debajo del límite de detección, por lo que se considera que no se presenta este metal en las aguas freáticas cercanas a la costa. En la llanura aluvial baja y en las terrazas Miocénicas todos los resultados fueron menores al valor de referencia y presentaron un intervalo estrecho en cúmulos de datos sin diferencias significativas.

Figura IV.36 Intervalos de confianza del parámetro cadmio en agua freática de la categoría Zona Ecogeográfica



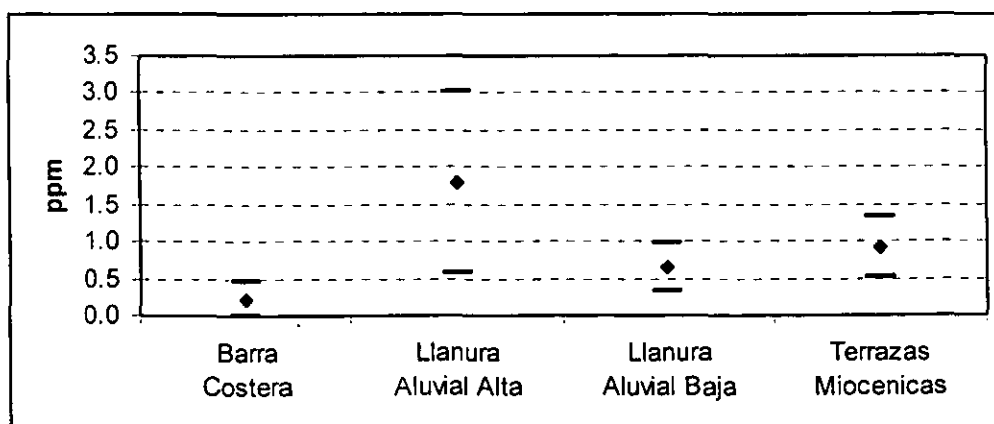
Níquel. El Ni como el cadmio, apenas sobrepasan los valores de referencia en la Llanura aluvial alta, en esta, como en los otros metales existe variación en los datos ampliando su intervalo de confianza y a diferencia del cadmio, las terrazas Miocénicas también presentan cierta variación lo cual hace un cúmulo de datos diferente al de la barra costera y la llanura aluvial baja donde los intervalos de confianza fueron estrechos y semejantes. (figura IV.37).

Figura IV.37 Intervalos de confianza del parámetro níquel en agua freática de la categoría Zona Ecogeográfica



Bario. Este metal se reportó fuera del intervalo de referencia solo en la llanura aluvial alta, en las terrazas Miocénicas se presentó una concentración significativa sin ser mayor que los valores de referencia, en tanto que la menor concentración se registró en la barra costera.

Figura IV.38 Intervalos de confianza del parámetro bario en agua freática de la categoría Zona Ecogeográfica

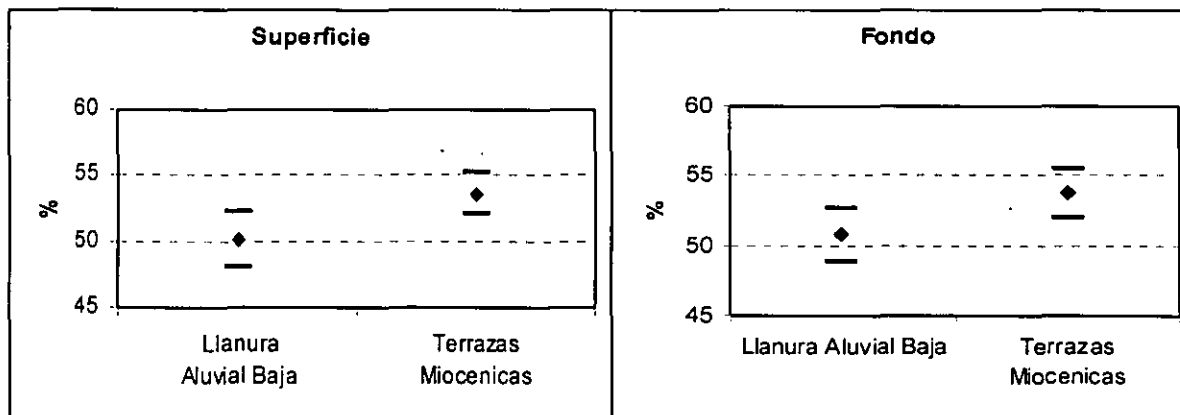


En el análisis de datos se pueden distinguir tres grupos: el de la barra costera con un intervalo de confianza cerrado sin llegar a ser estrecho y de concentraciones bajas, el de la llanura aluvial alta que es muy amplio con altas concentraciones y variación en los datos. Finalmente el de la llanura aluvial baja junto con las terrazas Miocénicas que presentan intervalos cerrados, semejantes y de las mismas magnitudes en concentración de bario.

- Suelo

Porosidad. La porosidad sólo se evaluó en la llanura aluvial baja y terrazas Miocénicas. En la primera de estas zonas se observó que aproximadamente el 50% de la matriz del suelo lo constituyen poros tanto en el horizonte superficial como del subsuelo. Por otro lado en las terrazas Miocénicas este porcentaje aumenta a 53% también sin diferencias significativas entre los horizontes superficiales y los del subsuelo (Figura IV.39)

Figura IV.39 Intervalos de confianza del parámetro Porosidad en suelos de la categoría Zona Ecogeográfica

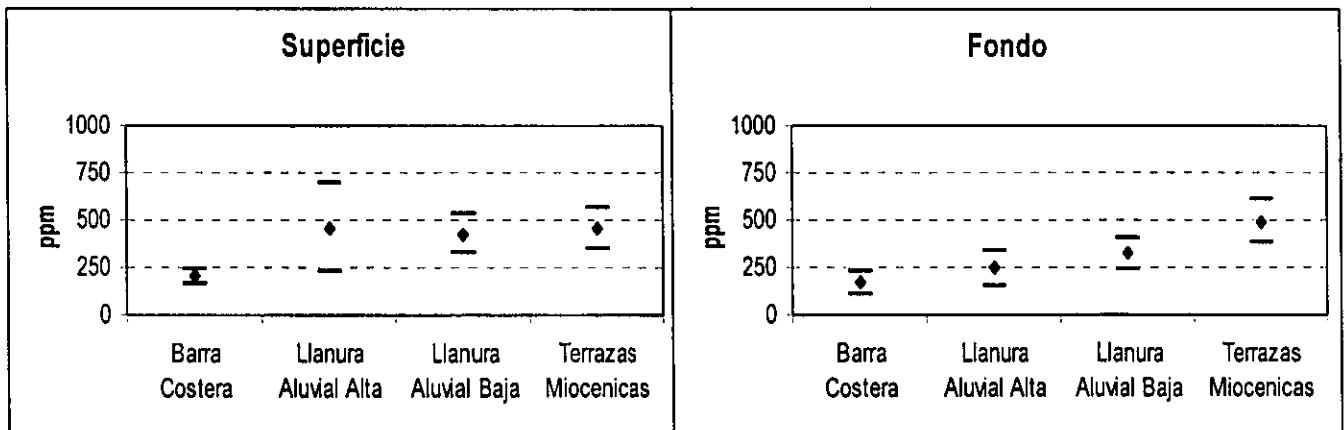


HTP. Los hidrocarburos totales del petróleo están fuera de los límites normativos en las cuatro zonas, tanto en el horizonte superficial como en el subsuelo. Para los horizontes superficiales los registros en este parámetro presentan gran variación sobre todo en las terrazas Miocénicas, donde se observa un intervalo de confianza amplio con valores extremos de 27 a 58,000 ppm, después sigue la llanura aluvial baja con menor variabilidad en los datos y valores más bajos cerrando así su intervalo, en la llanura aluvial alta el intervalo es aún más cerrado y con menor concentración, por último la barra costera presenta un intervalo de confianza estrecho con concentraciones bajas pero con todos los registros fuera de los límites permisibles.

En los horizontes superficiales de las terrazas miocénicas, 11 datos extremos de un total de 94 datos modifican el comportamiento de este parámetro, estos datos se encuentran en su mayoría en el derrame de la batería Giraldas, si se omiten estos datos extremos el promedio de HTP en horizontes superficiales es de 459.8 ppm en 83 datos. De la misma forma en la Llanura aluvial Baja cinco de los 72 datos se consideran extremos y al omitirlos el promedio baja a 427.5 ppm. Estas modificaciones son tomadas en cuenta en el análisis gráfico para una comparación más objetiva.

En los datos nominales de los horizontes del subsuelo, las concentraciones de hidrocarburos totales del petróleo son menores en la barra costera y las dos llanuras aluviales, las terrazas Miocénicas presentan mayor concentración que en el horizonte superficial. En el análisis gráfico de los horizontes del subsuelo, para las terrazas miocénicas se omitieron 10 de los 92 datos originales por considerarse casos extremos, mientras que en la llanura Aluvial Baja se omitieron 6 de los 135 datos (Figura IV.40)

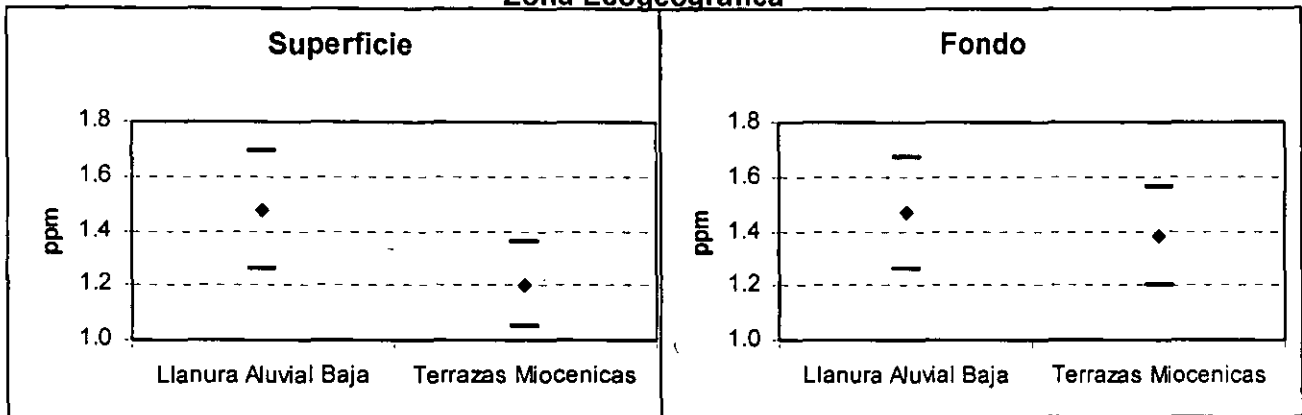
Figura IV.40 Intervalos de confianza del parámetro HTP en suelos de la categoría Zona Ecogeográfica



Como resultado de este análisis tenemos que en el horizonte superficial, las llanuras aluviales y las terrazas miocénicas no presentan diferencias significativas en cuanto al contenido de HTP en suelos mientras que en los horizontes del subsuelo no existe esta similitud. Los suelos de la barra costera presentan los menores contenidos de hidrocarburos sin variación en sus resultados, tanto en el horizonte superficial como en el subsuelo. Por el contrario las terrazas miocénicas presentan los mayores contenidos de hidrocarburos en ambos niveles. Para el caso de las Llanuras aluviales las concentraciones de hidrocarburos en el horizonte superficial son mayores a las encontradas en el subsuelo en ambos casos (Alta y Baja) sin embargo esta característica es más notoria en la llanura aluvial alta.

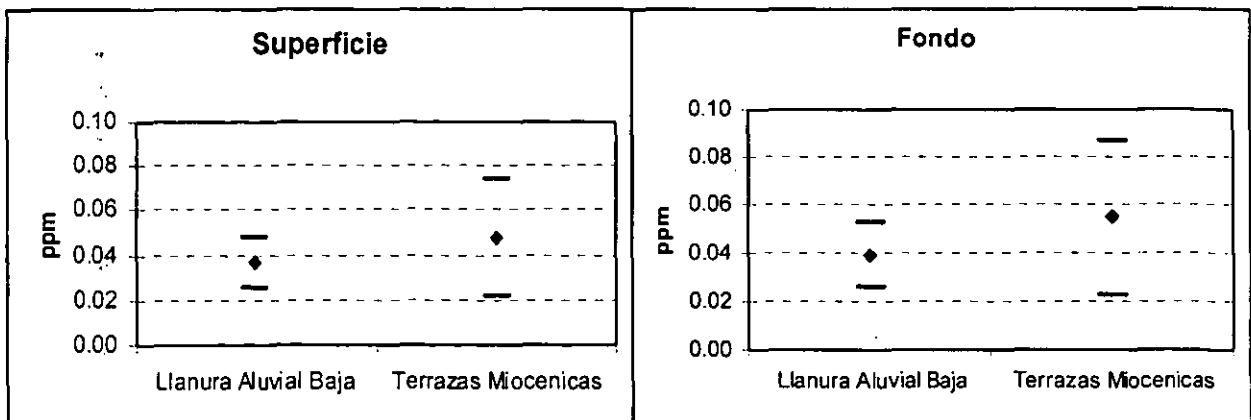
Bario. Este metal solo se evaluó en la llanura aluvial baja y en las terrazas Miocénicas; en las dos zonas y tanto para el horizonte superficial como para los horizontes del subsuelo las concentraciones de bario estuvieron por debajo de los valores de referencia. En el caso de la llanura aluvial baja el promedio de la concentración de bario en el horizonte superficial es igual a la de los horizontes del subsuelo, a diferencia con las terrazas Miocénicas donde el promedio de la concentración en el horizonte superficial es menor a la de los horizontes del subsuelo (Figura IV.41)

Figura IV.41 Intervalos de confianza del parámetro bario en suelos de la categoría Zona Eco geográfica



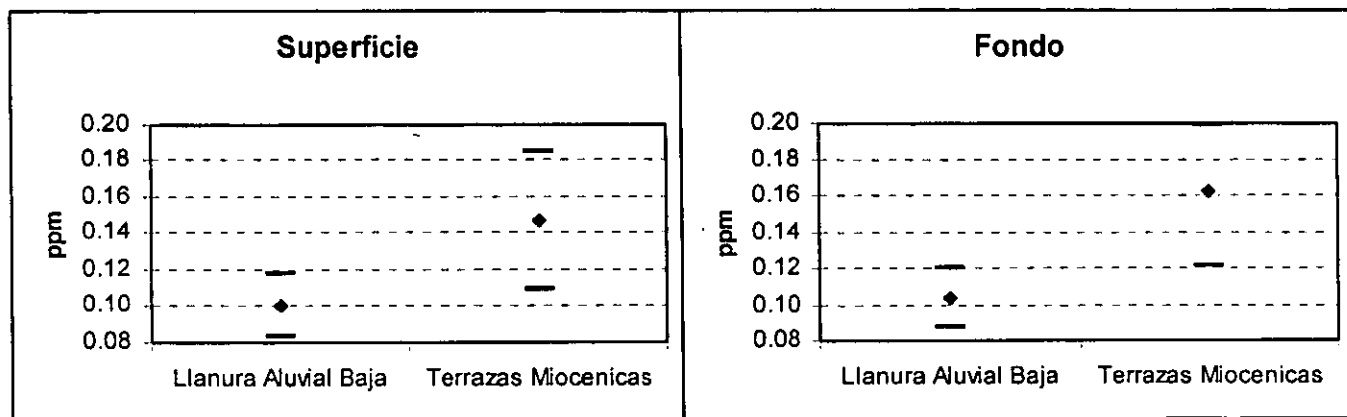
Níquel. El Ni en suelos no se determinó para este análisis en la llanura aluvial alta, mientras que en la barra costera solo se registró un valor menor al límite de detección. En la llanura aluvial baja y en las terrazas Miocénicas la concentración de níquel fue semejante tanto para los horizontes superficiales como para los del subsuelo, todos los datos registrados para níquel están por debajo del nivel normativo.

Figura IV.42 Intervalos de confianza del parámetro níquel en suelos de la categoría Zona Eco geográfica



Plomo. Como el metal anterior, el Pb presenta solo un dato menor al límite de detección en la barra costera, para la llanura aluvial alta no se analizó este parámetro, en la llanura aluvial baja la concentración de plomo es baja con una diferencia insignificante entre los horizontes superficiales y los del subsuelo. En las terrazas Miocénicas las concentraciones de plomo son poco más altas que las de la llanura aluvial baja y por mucho menores a los valores de referencia (25 ppm), en esta zona se muestra una pequeña diferencia no significativa entre los promedios de plomo en el horizonte superficial y los del subsuelo, siendo poco más elevados a mayor profundidad.

Figura IV.43 Intervalos de confianza del parámetro plomo en suelos de la categoría Zona Ecogeográfica



Discusión de la variable Zona Ecogeográfica

La característica del tratamiento: Zonas ecogeográficas, es que define una hipótesis de trabajo dirigida a identificar variaciones en la calidad de los parámetros analizados asociadas a las diferentes características de cada zona. En este sentido se considera fuente de ruido, todo proceso de contaminación que introduzca una variabilidad adicional en el muestreo. Por lo que fue necesario limpiar esas interferencias para obtener una visión más clara y objetiva de cada parámetro en su comparación con las cuatro zonas ecogeográficas

En este análisis de datos no se distinguió una influencia marina en las aguas freáticas de las zonas más cercanas a la costa, sin embargo puede observarse que en algunos de los puntos de muestreo cercanos a los ríos Tonalá y Blasillo la salinidad se incrementa, este efecto pudiera ser provocado por la intrusión salina del mar a través de estos ríos. Este efecto aunado a los problemas de salinización, ubican a la llanura aluvial baja como la zona con salinidades diferentes a las demás zonas ecogeográficas.

De acuerdo con lo observado en el análisis de datos, las diferencias entre los promedios de pH de aguas freáticas en las diferentes zonas ecogeográficas, tienen su origen en los diferentes tipos de suelos que dominan cada zona ecogeográfica. En las terrazas miocénicas dominan los Gleysoles que pueden presentar características más ácidas que los Fluvisoles que dominan las llanuras aluviales, o los Arenosoles de la barra costera.

El contenido de benceno en aguas freáticas fue menor a lo que se esperaba, sobretodo en la llanura aluvial baja donde se encuentran gran cantidad de campos petroleros a diferencia de las demás zonas donde la incidencia de estos campos es menor.

Si se considera que en el caso del tolueno el 55% de los datos obtenidos están por debajo del límite de detección y que la mayor parte de los datos están registrados en la llanura aluvial baja y las terrazas miocénicas, tenemos entonces que la presencia del tolueno en agua freática es ocasional y en muy bajas concentraciones.

El comportamiento de los metales en agua freática en las diferentes zonas ecogeográficas fue semejante, en todos los casos los intervalos de confianza más amplios se encuentran en la Llanura aluvial alta, esta característica es provocada por la variaciones de concentración en cúmulos de datos con pocos registros. En contraste, la llanura aluvial baja presentó los intervalos más cerrados casi en todos los casos, con poca variación en los datos y más de 160 registros en cada análisis. Una buena parte de los metales presentaron concentraciones por debajo de los límites de detección o en concentraciones muy bajas por

lo que debe recordarse, que lo que se muestra en estas gráficas son tendencias que pueden ser aisladas de acuerdo con la zona en la que se realizó un muestreo.

~~Para el caso de los suelos se hace evidente como en las terrazas miocénicas en los horizontes del subsuelo aumentan las concentraciones de los parámetros analizados, a diferencia de otras zonas ecogeográficas donde se mantienen casi los mismos intervalos de confianza entre las diferentes profundidades de muestreo. Las concentraciones de los metales en suelo fueron mayores en las terrazas miocénicas, excepto en el barío donde la llanura aluvial baja registra valores ocasionalmente más altos. Los resultados más tangibles de la situación de los suelos analizados en este estudio de acuerdo con la zona ecogeográfica donde se encuentran, puede observarse en los Hidrocarburos Totales del Petróleo.~~

Categoría 4: Taxonomía de suelos

Variables para esta categoría: **Alisoles, Antrosoles, Arenosoles, Cambisoles, Fluvisoles, Gleysoles, Histosoles y Vertisoles.**

La posición de esta categoría con respecto a todas las categorías y sus variables categóricas se esquematiza en el Cuadro Guía mientras que los resultados de los datos agrupados por las diferentes variables se pueden consultar en el Cuadro IV.4.

Cuadro Guía: Categorías, variables y parámetros analizados

Categorías	Variables Categóricas	Parámetros Analizados	
		Agua Freática	Suelos
Etapa	Local Intermedia Regional	Salinidad pH Benceno Tolueno HTP Vanadio Plomo Cromo Cadmio Níquel Bario	Porosidad HTP Bario Níquel Plomo
Tipo de muestreo	Noria Pozo		
Zona Ecogeográfica	Barra Costera Llanura Aluvial Alta Llanura Aluvial Baja Terrazas Miocénicas		
Taxonomía de suelos	Alisol Antrosol Arenosol Cambisol Fluvisol Gleysol Histosol Vertisol		
Tipo de influencia	Derrame Doméstico Ganado Pantano Presa Río sin influencia		
Textura en horizontes superficiales	Arcilla Arena Arena Migajosa Migajón arcilloso Migajón arenoso Migajón limoso		
Textura en horizontes del subsuelo	Arcilla Arena Arena Migajosa Migajón arcilloso Migajón arenoso Migajón limoso		

Cuadro IV.4 Datos agrupados por Taxonomía de Suelos (FAO, 1988)

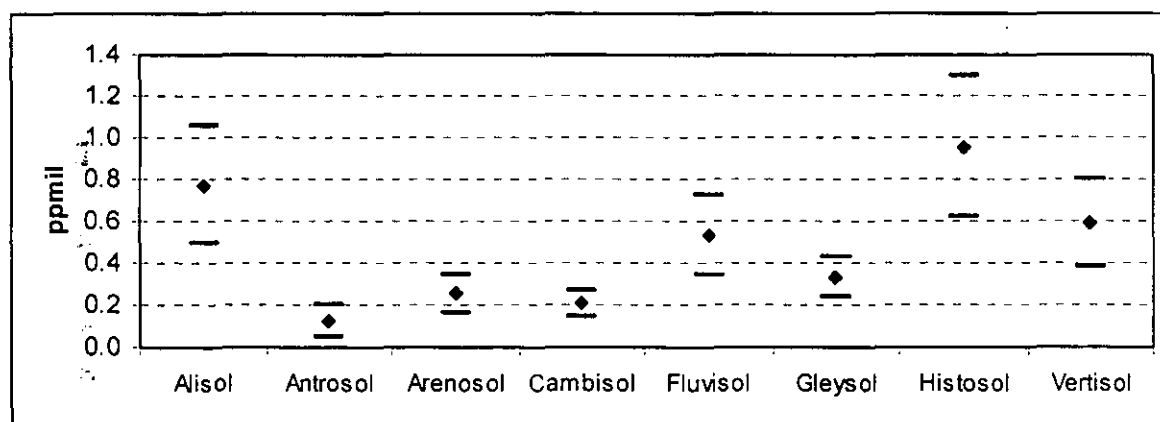
REFERENCIA*	1	6 a 7.9	5	24	0.2	0.1	0.05	0.05	0.01	0.2	1	40	200	20	25	40	200	20	25		
	pp mil		ppb	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm		
Aislol	Salinidad	pH	Benceno	Tolueno	HTP	Vanadio	Plomo	Cromo	Cadmio	Niquel	Bario	Porosidad (S)	TPH (S)	Ba (S)	Ni (S)	Pb (S)	Porosidad (F)	TPH (F)	Ba (F)	Ni (F)	Pb (F)
Media	3.73	5.58	0.73	0.57	0.61	0.040	0.0973	0.0150	0.0106	0.1144	1.123	50.73	989.34	1.15	0.18	0.193	52.85	830.81	1.75	0.21	0.229
Des. Est.	5.62	1.27	0.87	0.69	1.02	0.059	0.0763	0.0114	0.0103	0.1103	2.041	4.34	1820.94	0.67	0.16	0.182	8.81	1422.81	0.62	0.21	0.162
Varianza	31.63	1.61	0.75	0.48	1.04	0.004	0.0058	0.0001	0.0001	0.0122	4.164	18.87	3315829.61	0.45	0.03	0.033	77.58	2024393.51	0.38	0.04	0.026
Maximo	23.39	7.30	4.04	3.15	4.85	0.210	0.3000	0.0450	0.0390	0.4740	8.900	57.98	8172.00	2.30	0.60	0.680	79.96	8172.00	2.79	0.66	0.470
Minimo	0.06	1.70	0.25	0.25	0.05	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	38.89	27.00	0.19	0.01	0.075	38.47	31.00	0.21	0.01	0.075
N	34	34	34	34	34	33	34	34	34	34	34	21	29	24	27	27	22	31	23	27	27
Antrosol	Salinidad	pH	Benceno	Tolueno	HTP	Vanadio	Plomo	Cromo	Cadmio	Niquel	Bario	Porosidad (S)	TPH (S)	Ba (S)	Ni (S)	Pb (S)	Porosidad (F)	TPH (F)	Ba (F)	Ni (F)	Pb (F)
Media	0.12	4.54	0.25	0.25	117.19	0.029	0.0114	0.0063	0.0025	0.0105	0.383	54.15	174.50	1.02	0.11	0.075	53.02	240.17	1.03	0.12	0.075
Des. Est.	0.08	0.66	0.00	0.00	241.93	0.023	0.0065	0.0055	0.0000	0.0031	0.518	3.44	204.80	1.10	0.07	0.000	2.51	226.39	1.10	0.08	0.000
Varianza	0.01	0.44	0.00	0.00	58530.77	0.001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.269	11.84	41944.92	1.21	0.00	0.000	6.31	51253.81	1.20	0.01	0.000
Maximo	0.25	5.48	0.25	0.25	657.00	0.070	0.0230	0.0160	0.0025	0.0160	1.380	59.36	629.00	3.46	0.17	0.075	57.14	629.00	3.46	0.22	0.075
Minimo	0.07	3.49	0.25	0.25	0.18	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0060	0.025	49.90	40.00	0.40	0.01	0.075	49.90	81.00	0.40	0.01	0.075
N	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Arenosol	Salinidad	pH	Benceno	Tolueno	HTP	Vanadio	Plomo	Cromo	Cadmio	Niquel	Bario	Porosidad (S)	TPH (S)	Ba (S)	Ni (S)	Pb (S)	Porosidad (F)	TPH (F)	Ba (F)	Ni (F)	Pb (F)
Media	0.25	5.36	1.03	1.12	0.37	0.038	0.0116	0.0087	0.0025	0.0123	0.419	47.51	2039.64	1.65	0.02	0.075	50.87	1677.63	1.26	0.01	0.075
Des. Est.	0.24	1.24	0.93	0.84	0.47	0.078	0.0115	0.0111	0.0000	0.0121	0.762	4.79	5889.96	0.89	0.03	0.000	5.94	5092.33	0.92	0.00	0.000
Varianza	0.06	1.53	0.87	0.71	0.22	0.006	0.0001	0.0001	0.0000	0.0001	0.580	22.93	34691687.23	0.79	0.00	0.000	35.23	25931820.66	0.84	0.00	0.000
Maximo	1.06	7.50	4.09	2.82	2.38	0.350	0.0460	0.0530	0.0025	0.0530	2.780	53.07	23250.00	2.57	0.12	0.075	62.00	23892.00	2.57	0.01	0.075
Minimo	0.03	2.70	0.25	0.25	0.04	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	39.17	43.00	0.28	0.01	0.075	42.02	7.41	0.21	0.01	0.075
N	28	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	8	14	10	20	20	8	24	10	20	20
Cambisol	Salinidad	pH	Benceno	Tolueno	HTP	Vanadio	Plomo	Cromo	Cadmio	Niquel	Bario	Porosidad (S)	TPH (S)	Ba (S)	Ni (S)	Pb (S)	Porosidad (F)	TPH (F)	Ba (F)	Ni (F)	Pb (F)
Media	0.21	5.59	394.71	580.37	266.33	0.011	0.0180	0.0115	0.0029	0.0373	0.344	55.45	1321.66	1.50	0.01	0.075	54.46	1301.87	1.41	0.01	0.075
Des. Est.	0.16	1.03	1263.45	1642.42	1146.29	0.010	0.0111	0.0125	0.0018	0.0478	0.942	8.42	2424.86	0.32	0.00	0.000	8.84	2828.23	0.62	0.00	0.000
Varianza	0.02	1.06	#####	#####	#####	0.000	0.0001	0.0002	0.0000	0.0023	0.888	70.87	5879943.04	0.27	0.00	0.000	78.14	7998905.27	0.39	0.00	0.000
Maximo	0.54	7.20	6000.00	6000.00	6000.00	0.040	0.0500	0.0600	0.0120	0.1920	4.980	78.89	8371.00	2.66	0.01	0.075	78.69	12611.00	2.95	0.01	0.075
Minimo	0.01	3.80	0.25	0.25	0.02	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	35.39	43.00	0.78	0.01	0.075	37.83	39.00	0.78	0.01	0.075
N	25	25	25	25	27	26	26	26	26	26	26	23	25	21	23	23	22	25	20	23	23
Fluvisol	Salinidad	pH	Benceno	Tolueno	HTP	Vanadio	Plomo	Cromo	Cadmio	Niquel	Bario	Porosidad (S)	TPH (S)	Ba (S)	Ni (S)	Pb (S)	Porosidad (F)	TPH (F)	Ba (F)	Ni (F)	Pb (F)
Media	5.10	6.73	63.82	1.42	0.25	0.015	0.0648	0.0172	0.0099	0.0977	0.549	49.82	307.86	0.84	0.01	0.075	50.47	134.60	0.90	0.03	0.075
Des. Est.	13.24	0.91	289.85	1.74	0.17	0.057	0.0955	0.0250	0.0139	0.1524	1.328	13.15	347.97	0.30	0.02	0.000	11.17	184.95	0.30	0.05	0.000
Varianza	175.38	0.83	84012.46	3.02	0.03	0.003	0.0091	0.0006	0.0002	0.0232	1.764	172.91	121081.75	0.09	0.00	0.000	124.82	34205.67	0.09	0.00	0.000
Maximo	56.27	8.29	1694.73	10.89	0.63	0.350	0.3500	0.1050	0.0520	0.6070	6.770	74.49	1236.70	1.53	0.11	0.075	69.66	910.00	1.47	0.22	0.075
Minimo	0.10	3.13	0.25	0.25	0.04	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	30.33	49.00	0.38	0.01	0.075	34.37	3.90	0.52	0.01	0.075
N	36	36	36	36	35	36	36	36	36	36	36	8	18	12	24	26	8	32	12	24	26
Gleysol	Salinidad	pH	Benceno	Tolueno	HTP	Vanadio	Plomo	Cromo	Cadmio	Niquel	Bario	Porosidad (S)	TPH (S)	Ba (S)	Ni (S)	Pb (S)	Porosidad (F)	TPH (F)	Ba (F)	Ni (F)	Pb (F)
Media	0.33	5.42	9.87	8.42	0.56	0.027	0.0292	0.0162	0.0052	0.0826	0.758	53.25	2566.34	1.25	0.01	0.182	53.22	2511.30	1.30	0.01	0.192
Des. Est.	0.48	1.52	76.61	73.53	1.40	0.059	0.0319	0.0269	0.0067	0.2218	2.059	5.92	8123.15	0.75	0.02	0.196	4.86	8204.05	0.81	0.00	0.206
Varianza	0.23	2.31	5869.46	5406.06	1.97	0.004	0.0010	0.0007	0.0000	0.0492	4.241	35.02	65985575.87	0.56	0.00	0.039	23.66	67306452.07	0.65	0.00	0.043
Maximo	2.44	7.74	737.81	713.59	12.70	0.350	0.1700	0.1700	0.0340	1.8370	17.120	71.87	58440.00	3.18	0.15	0.830	63.86	58440.00	3.69	0.01	0.890
Minimo	0.00	1.57	0.25	0.25	0.03	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	41.08	77.00	0.39	0.01	0.075	41.08	6.70	0.36	0.01	0.075
N	93	93	93	93	93	91	92	92	92	92	92	41	60	37	48	50	41	68	37	48	50
Histosol	Salinidad	pH	Benceno	Tolueno	HTP	Vanadio	Plomo	Cromo	Cadmio	Niquel	Bario	Porosidad (S)	TPH (S)	Ba (S)	Ni (S)	Pb (S)	Porosidad (F)	TPH (F)	Ba (F)	Ni (F)	Pb (F)
Media	0.95	6.19	0.87	1.34	0.37	0.017	0.0382	0.0078	0.0041	0.0227	1.298	49.62	1412.62	1.91	0.02	0.079	49.54	1310.52	1.76	0.02	0.079
Des. Est.	1.31	1.09	0.72	1.70	0.60	0.026	0.0579	0.0096	0.0058	0.0420	3.338	8.19	3694.22	0.78	0.03	0.029	8.27	3711.06	0.80	0.02	0.029
Varianza	1.72	1.18	0.51	2.88	0.36	0.001	0.0034	0.0001	0.0000	0.0018	11.141	67.11	13647268.31	0.61	0.00	0.001	68.46	13771986.97	0.64	0.00	0.001
Maximo	7.80	7.91	2.48	12.61	3.84	0.110	0.3370	0.0420	0.0340	0.2800	23.260	68.28	17871.00	3.52	0.13	0.270	68.28	18016.11	3.52	0.11	0.270
Minimo	0.04	2.84	0.25	0.25	0.04	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	29.50	40.00	0.27	0.01	0.075	29.32	5.00	0.32	0.01	0.075
N	58	58	58	58	58	57	58	58	58	58	58	19	26	22	43	44	19	48	22	43	44
Vertisol	Salinidad	pH	Benceno	Tolueno	HTP	Vanadio	Plomo	Cromo	Cadmio	Niquel	Bario	Porosidad (S)	TPH (S)	Ba (S)	Ni (S)	Pb (S)	Porosidad (F)	TPH (F)	Ba (F)	Ni (F)	Pb (F)
Media	0.59	6.93	1.02	1.42	0.19	0.005	0.0128	0.0025	0.0061	0.0387	0.078	SR	SR	SR	0.02	0.075	SR	46.56	SR	0.07	0.075
Des. Est.	0.30	0.68	0.60	0.53	0.12	0.000	0.0183	0.0000	0.0094	0.0414	0.062	SR	SR	SR	0.01	0.000	SR	12.82	SR	0.09	0.000
Varianza	0.09	0.47	0.36	0.28	0.02																

La categoría Taxonomía hace referencia a la clasificación de suelos basado en la clasificación de FAO,1988, realizada por por el M. en C. Joel Zavala para el PARS (IMP,1999b), a través de levantamientos de suelos tanto en campo como con fotografías aéreas y de satélite. Así como la zona ecogeográfica, el muestreo no fue dirigido hacia las diferentes zonas con sus diferentes unidades taxonómicas de suelos, sino que una vez realizados los muestreos se dividieron los datos de acuerdo con su taxonomía.

- Agua Freática

Salinidad. La salinidad se presenta en concentraciones mayores a los niveles normativos en los Fluvisoles y en los Alisoles, como puede observarse el cuadro IV.4, originalmente estas mismas unidades de suelos componen un grupo de intervalos de confianza muy abiertos y diferentes totalmente a los datos obtenidos en las otras unidades de suelos. Para estos casos la salinidad no es un factor que dependa de la unidad de suelo sino que algunos factores de contaminación han afectado a esas dos unidades de suelos y el resultado se ve reflejado en el agua freática. Si se analiza la información cuidadosamente, en los Fluvisoles se observa que existen seis datos extremos que están modificando el comportamiento de este parámetro, estos seis datos corresponden a las fosas de desechos de la deshidratadora Samaria II en donde ya es conocido un problema de contaminación por salinización de suelos. Por otro lado, los Alisoles presentan 12 datos extremos relacionados con la Batería Iride II y con la CAB Cunduacán, igualmente conocidos por sus problemas de salinización en suelos.

Figura IV.44 Intervalos de confianza del parámetro salinidad en la categoría Taxonomía de suelos

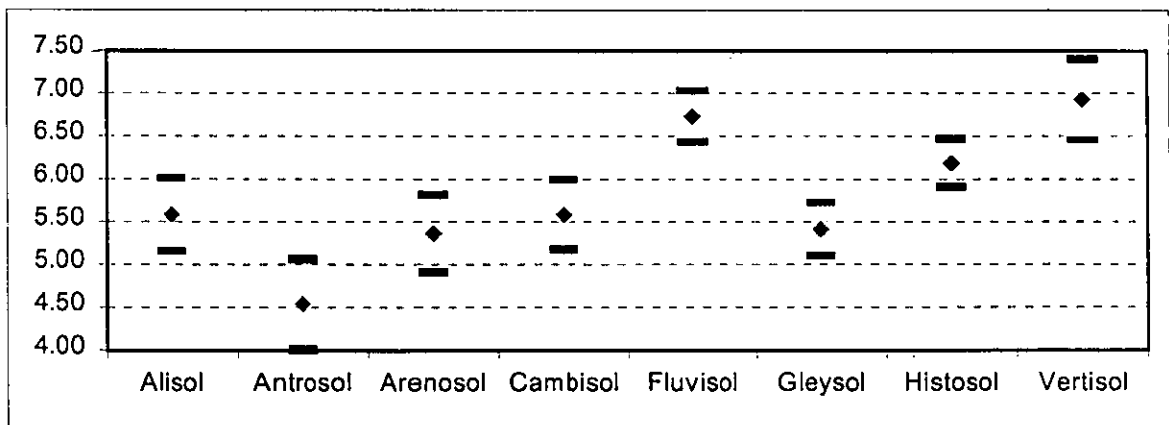


Al omitir los datos extremos, el análisis se puede hacer comparativo entre las diferentes unidades taxonómicas de suelos y se puede observar que se forman tres agrupaciones de datos sin diferencias significativas, los Alisoles y los Histosoles con las concentraciones más altas, seguido por los Vertisoles y los Fluvisoles, posteriormente los Cambisoles y los

Arenosoles, dejando a los Gleysoles y a los Antrosoles como grupos aislados. Las concentraciones más bajas de salinidad se registraron en los Antrosoles, Cambisoles y Arenosoles.

pH. En cuanto al pH del agua freática se obtuvo que los Alisoles, Antrosoles, Arenosoles, Cambisoles y Gleysoles están fuera de los valores normales, la mayor acidez se encuentra en los Antrosoles y las aguas con un pH neutro se observó en los Vertisoles. En los intervalos de confianza de las diferentes unidades (Figura IV.45) para este parámetro se pueden observar cuatro grupos de datos, el primero solo con los Antrosoles con un promedio cercano a 4.5. El segundo grupo con los Alisoles, Arenosoles, Cambisoles y Gleysoles con un pH entre 5 y 6. El siguiente grupo sería solo de los Histosoles con pH entre 6 y 6.5 aislado de las demás unidades taxonómicas de suelos. Y por último los Fluvisoles y los Vertisoles con un pH entre 6.5 y 7.5. En este caso debe tomarse en cuenta que los Antrosoles son suelos manejados por el hombre, incluso traídos de otros lugares para diferentes fines por lo cual no se debe considerar como un suelo típico de las zonas de estudio.

Figura IV.45 Intervalos de confianza del parámetro pH en la categoría Taxonomía de suelos

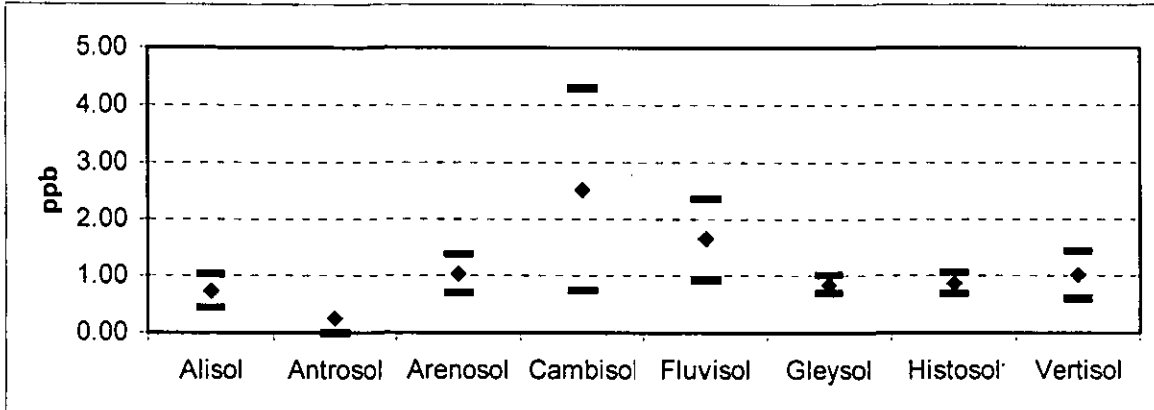


Benceno. El Benceno se presenta en mayor concentración en las aguas freáticas de los Cambisoles seguido de los Fluvisoles y los Gleysoles, en estas tres unidades de suelos se sobrepasan los valores de referencia a diferencia de las otras unidades. En tanto que en los Antrosoles, los valores registrados están por debajo del límite de detección.

En el análisis de resultados para el caso de los Cambisoles tenemos que tres valores encontrados modifican la tendencia de todo este grupo de datos, es decir que si estos datos se omitieran el promedio de 394.71 ppb bajaría a 2.52 ppb, lo mismo pasa con los Fluvisoles y los Gleysoles donde dos valores en cada unidad de suelo están cambiando la

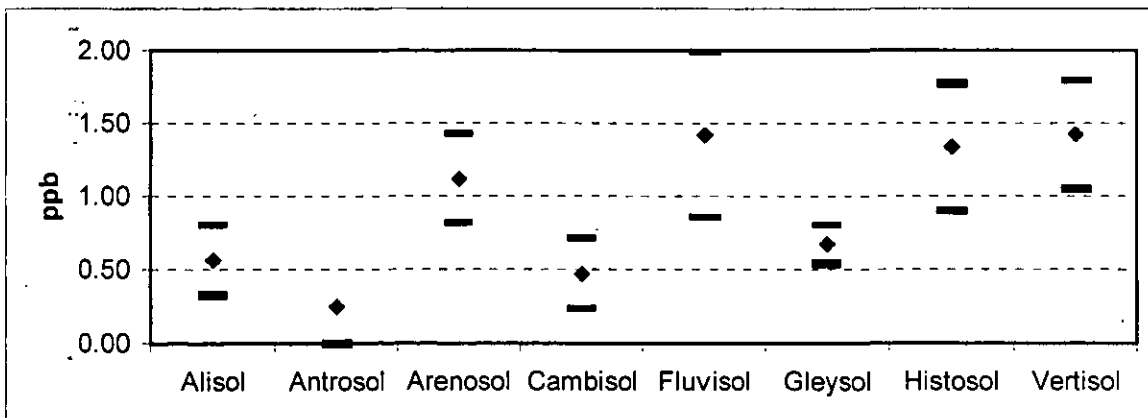
tendencia del resultado. Para un mejor análisis se excluyeron estos siete datos extremos y se encontró que todos los promedios encontrados están por debajo de los valores de referencia, así mismo se observa que la mayor parte de los datos están por debajo de 1 ppb y que aún se conserva la tendencia de mayores concentraciones en los Cambisoles y en los Fluvisoles, ver Figura IV.46.

Figura IV.46 Intervalos de confianza del parámetro Benceno en la categoría Taxonomía de suelos



Tolueno. El Tolueno en agua freática se presentó en concentraciones mayores a 2 ppb en los Cambisoles y en los Gleysoles, en esta primer unidad de suelos, tres valores elevan el promedio registrado, mientras que en los Gleysoles son solo dos datos de menor concentración, los que definen la tendencia de este compuesto. Para el análisis de este parámetro se omitieron los casos extremos en ambas unidades de suelo quedando una grafica de tendencia de datos como se muestra a continuación:

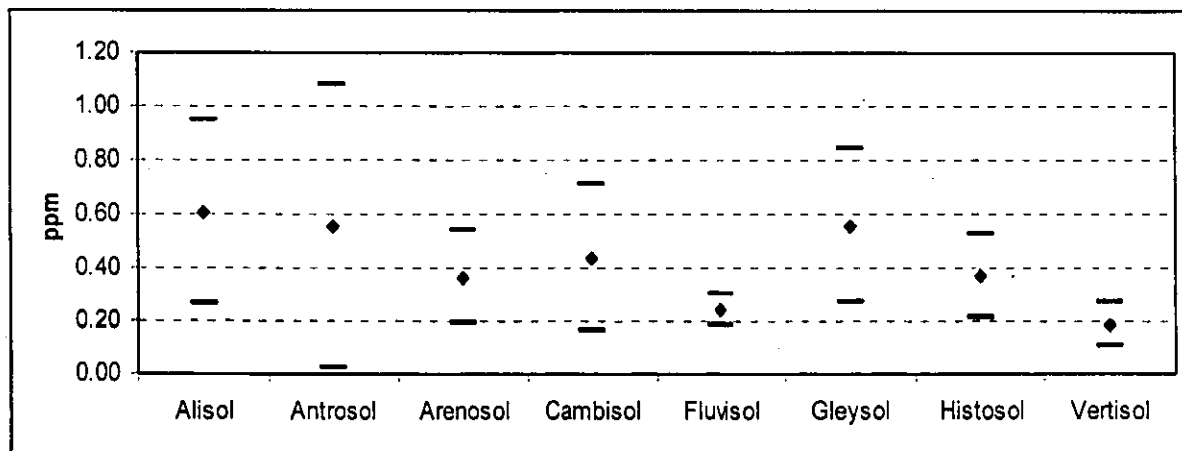
Figura IV.47 Intervalos de confianza del parámetro Tolueno en la categoría Taxonomía de suelos



En este análisis se distinguen 3 grupos de datos, el primero que solo esta representado por los Antrosoles donde la concentración de Tolueno fue menor a los limites de detección, el segundo grupo de los Alisoles, Cambisoles y Gleysoles con valores entre 0.25 y 0.8 ppb, debemos recordar que en este grupo están los suelos que presentaron las mayores concentraciones (Cambisoles y Gleysoles) por lo que cabe analizar más a detalle los puntos extremos. El tercer grupo esta compuesto por los Arenosoles, Fluvisoles, Histosoles y Vertisoles, éstos presentaron concentraciones mayores a 1 ppb y menores a 2 ppb siendo el grupo de concentración más alta sin pasar en ningún momento los valores de referencia. Solo 4 de los 5 puntos extraídos en este análisis sobrepasan los valores de referencia por lo que se consideran casos extremos muy localizados.

HTP. Como se muestra en el cuadro IV.4 a primera vista los Hidrocarburos Totales del Petróleo en aguas freáticas se encuentran casi en todos los casos fuera de los limites permisibles, solo los Vertisoles están por debajo de 0.2 ppm,. Para el análisis del comportamiento de este parámetro, en el caso de los Antrosoles y los Cambisoles se excluyeron dos datos extremos que modifican la tendencia encontrada, en la siguiente figura se muestra el comportamiento de los Hidrocarburos Totales del Petróleo en agua freática:

Figura IV.48 Intervalos de confianza del parámetro Hidrocarburos Totales del Petróleo en la categoría Taxonomía de suelos.

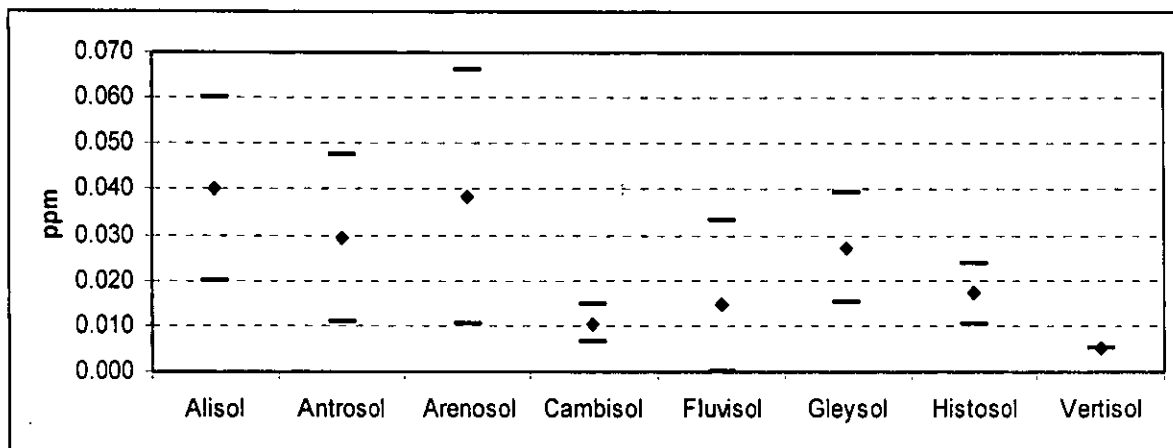


El análisis de datos muestra que hay semejanza entre los resultados de HTP en agua en los diferentes suelos, la variación entre los datos es mayor en los Antrosoles seguido por los Alisoles, así mismo junto con los Gleysoles fueron los suelos que presentaron mayor concentración de hidrocarburos. Por el contrario los intervalos más cerrados se presentaron

en los Fluvisoles seguida por los Vertisoles siendo estos últimos los que presentaron el menor promedio de concentración de HTP.

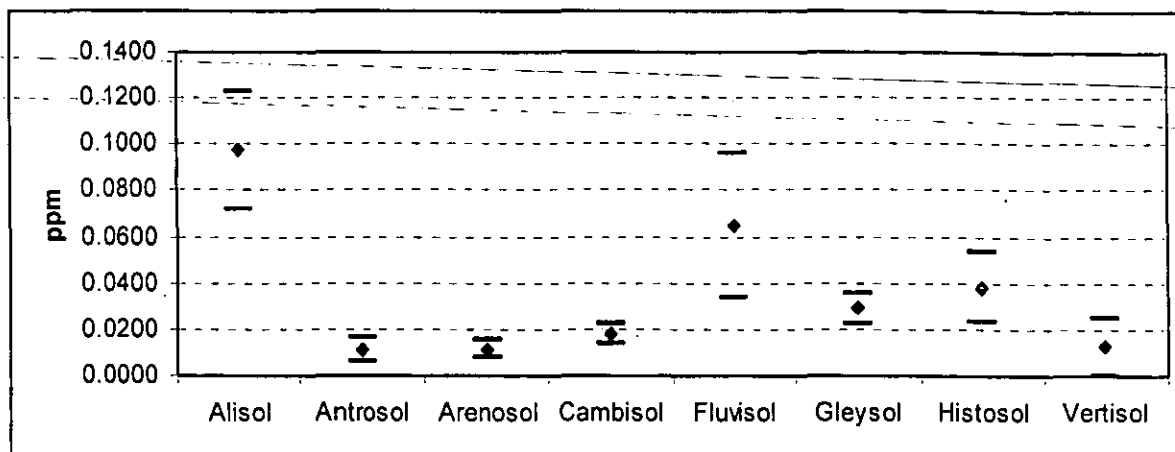
Vanadio. La concentración de este metal en aguas freáticas se presentó en todos los casos por debajo de los valores de referencia e incluso en los Vertisoles se encuentra debajo de los límites de detección, la variación de datos es más marcada en los Arenosoles y más cerrada en las aguas freáticas de los Cambisoles, en los Vertisoles no hay variación debido a que todos los datos registrados para esta unidad de suelos presentan un valor de 0.005 ppm. En cuanto al comportamiento de los datos podría establecerse solo un grupo de características semejantes: Los Alisoles, Antrosoles y Arenosoles.

Figura IV.49 Intervalos de confianza del parámetro vanadio en la categoría Taxonomía de suelos.



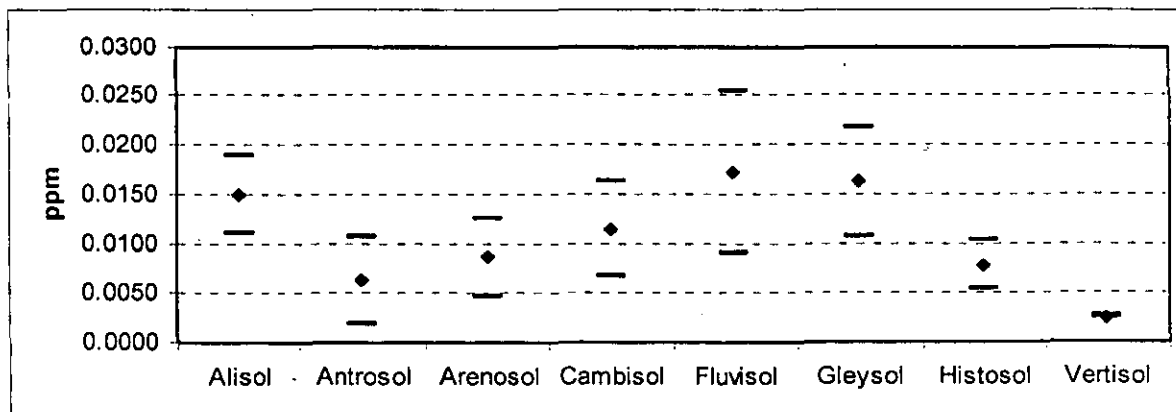
Plomo. El Pb, de acuerdo con el cuadro IV.4 sobrepasó los valores de referencia en las aguas freáticas de los Alisoles y los Fluvisoles, los intervalos de confianza más cerrados se presentaron en los Antrosoles, Arenosoles y Cambisoles siendo los dos primeros los que presentaron los promedios más bajos en concentración de plomo, la mayor variación de datos se encontró en los Fluvisoles que junto con los Alisoles presentan las mayores concentraciones, el siguiente grupo lo forman los Gleysoles y los Histosoles con una variación moderada y datos entre 0.02 y 0.05 ppm. Por último el tercer grupo lo forman los Antrosoles, Arenosoles, Cambisoles y Vertisoles con una parte significativa de sus registros por debajo del límite de detección y un promedio de datos no mayor a 0.02 ppm de Pb en agua freática (ver figura IV.50).

Figura IV.50 Intervalos de confianza del parámetro plomo en la categoría Taxonomía de suelos.



Cromo. Al igual que el vanadio, este metal se presentó en todas las aguas freáticas de las diferentes unidades de suelos en concentraciones menores a los valores de referencia, en el caso las aguas muestreadas en Vertisoles, el cromo solo se registró en concentraciones menores al límite de detección. El comportamiento de este metal en las aguas de los diferentes suelos se puede observar en la siguiente figura:

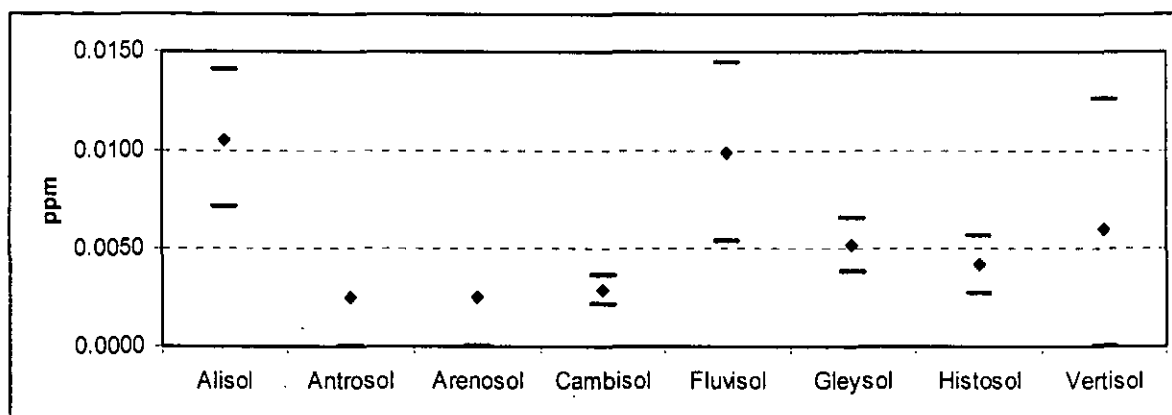
Figura IV.51 Intervalos de confianza del parámetro cromo en la categoría Taxonomía de suelos.



El análisis de estos datos ubica a los Fluvisoles con la mayor variabilidad encontrándose con el intervalo de confianza más amplio, cabe señalar que estos intervalos fueron muy semejantes en todas las unidades de suelos, solo en los Vertisoles no se presentó intervalo de confianza debido a que todos los valores registrados para esta unidad de suelo presentan una concentración de cromo en agua freática de 0.0025 ppm (límite de detección).

Cadmio. El Cd en agua freática presentó en general concentraciones muy bajas, solo en los Alisoles fue mayor al valor de referencia en concentraciones en algunos casos significativas. El análisis de la tendencia de los datos para este parámetro se muestra a continuación:

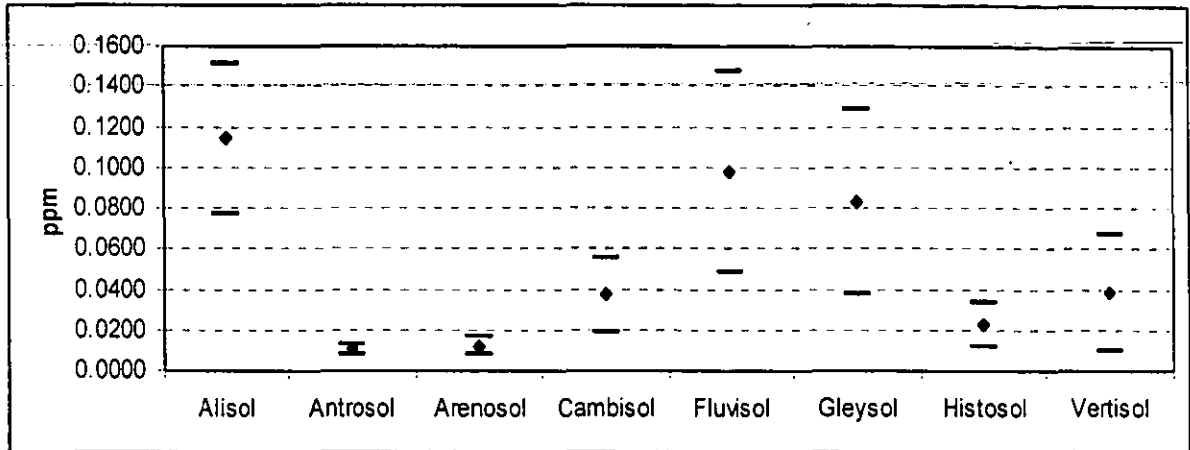
Figura IV.52 Intervalos de confianza del parámetro cadmio en la categoría Taxonomía de suelos.



Como puede observarse en la figura IV.52, el promedio de cadmio en agua freática de los Fluvisoles está muy cerca del valor de referencia (0.01 ppm), esta condición es semejante a la que presentan los Alisoles en tanto que los promedios encontrados de Gleysoles, Histosoles y Vertisoles fluctúan a la mitad de este valor de referencia. En el caso de los Vertisoles un solo dato (0.031 ppm) arrastra el límite superior del grupo de datos ampliando intervalo de confianza. En este análisis de datos se distingue un grupo caracterizado por la ausencia, o muy bajas concentraciones de cadmio en agua freática, los Antrosoles y Arenosoles con todos sus registros menores al límite de detección y los Cambisoles con un solo dato mayor a este límite.

Níquel. Este metal en el agua freática de todas las unidades de suelos fue menor al valor de referencia, es decir que no existe ningún problema de contaminación asociada al níquel en el caso de agrupaciones de datos por unidad taxonómica de suelos. La tendencia de los registros encontrados se muestra a continuación:

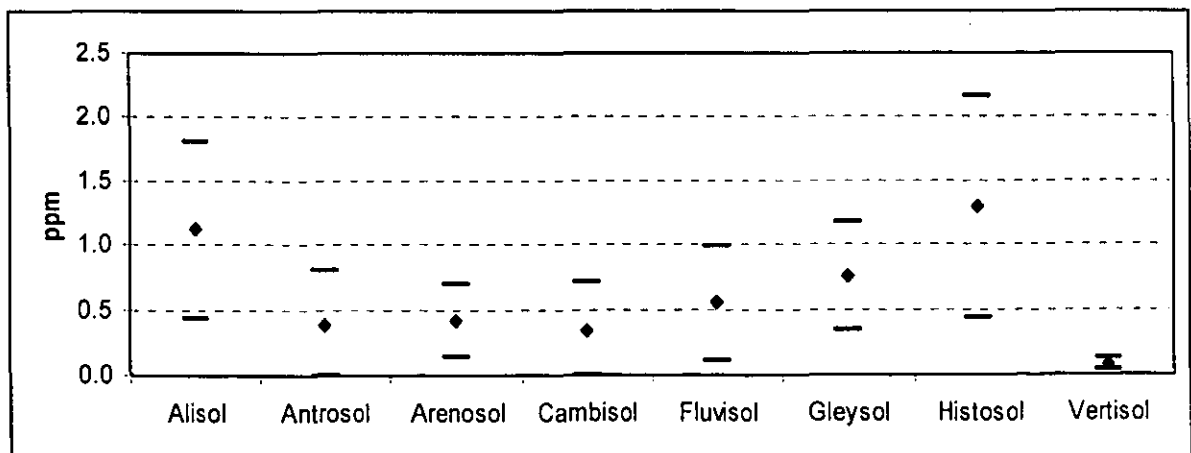
Figura IV.53 Intervalos de confianza del parámetro níquel en la categoría Taxonomía de suelos.



Las mayores concentraciones de níquel en aguas freáticas se encontraron en los Alisoles, en tanto que las menores se encontraron en los Antrosoles y en los Arenosoles, cabe señalar que a diferencia con otros metales, para el níquel no se encontraron casos donde todas las concentraciones de alguna unidad de suelo estuvieran debajo del límite de detección.

Bario. El Ba en aguas freáticas se presentó en los Alisoles y en los Histosoles con promedios mayores al valor de referencia, el menor promedio de concentración registrado para este metal lo presentaron los Vertisoles, a continuación se muestra la gráfica con la tendencia de los datos encontrados:

Figura IV.54 Intervalos de confianza del parámetro bario en la categoría Taxonomía de suelos.

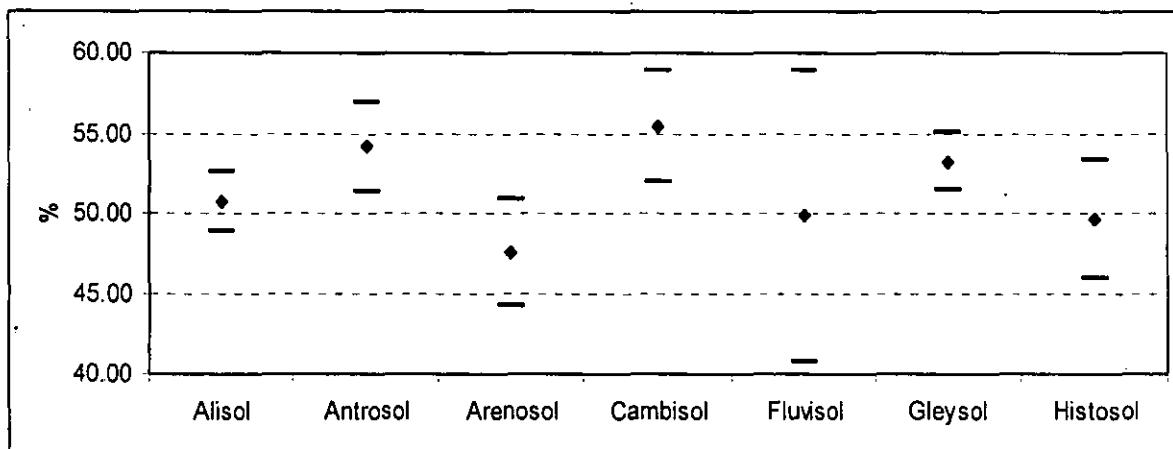


Como puede observarse en el gráfico anterior, la mayor amplitud en los intervalos de confianza se encuentra en los Alisoles e Histosoles. Los Antrosoles, Arenosoles, Cambisoles y Fluvisoles presentan intervalos de confianza sin diferencias significativas, lo cual quiere decir que el contenido de bario en aguas freáticas en estos suelos es muy semejante, a diferencia de los Gleysoles que registraron 13 datos individuales (14.13%) por arriba del valor de referencia, por lo que se considera diferente. Así mismo las bajas concentraciones de este metal en las aguas freáticas de los Vertisoles, hace que esta unidad se considere totalmente diferente a las otras unidades taxonómicas de suelos.

- Suelo

Porosidad. La porosidad de los suelos fue mayor en los Cambisoles tanto para el horizonte superficial como para subsuelo, mientras que los suelos con menor porosidad fueron los Arenosoles en el horizonte superficial y los Histosoles en el subsuelo. Para el caso de los Vertisoles no se realizó el análisis de porosidad, por lo que no se considera esta unidad de suelos para el análisis. La tendencia de los datos se muestra a continuación:

Figura IV.55 Intervalos de confianza del parámetro Porosidad en horizontes superficiales de la categoría Taxonomía de suelos.



Como puede observarse en las figuras IV.55 y IV.56 los datos más variados se presentan en los Fluvisoles mientras que los Gleysoles son más homogéneos, esta tendencia se observa tanto para los horizontes superficiales como para los horizontes del subsuelo. La diferencia entre los promedios de porosidad en el horizonte superficial y en el subsuelo se hace más evidente en la figura IV.57 donde los Arenosoles presentan porosidades completamente diferentes en los dos niveles analizados.

Figura IV.56 Intervalos de confianza del parámetro Porosidad en horizontes del subsuelo de la categoría Taxonomía de suelos.

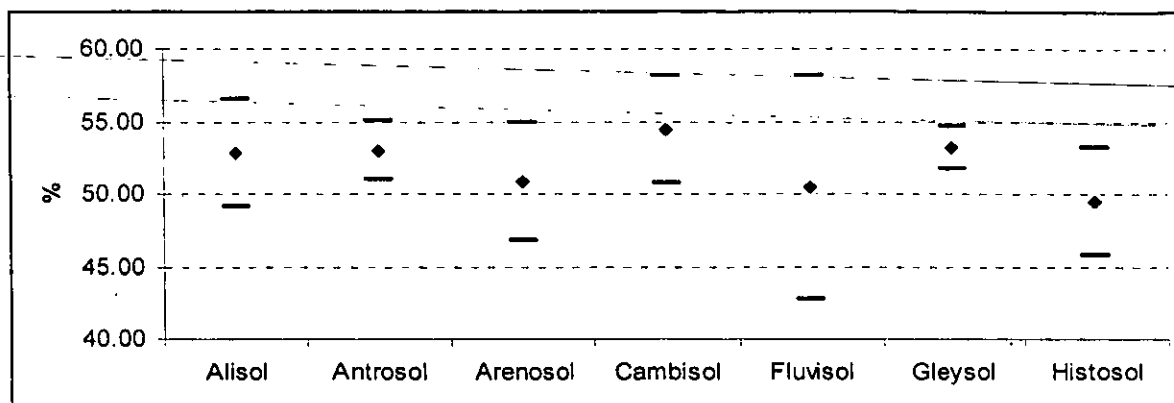
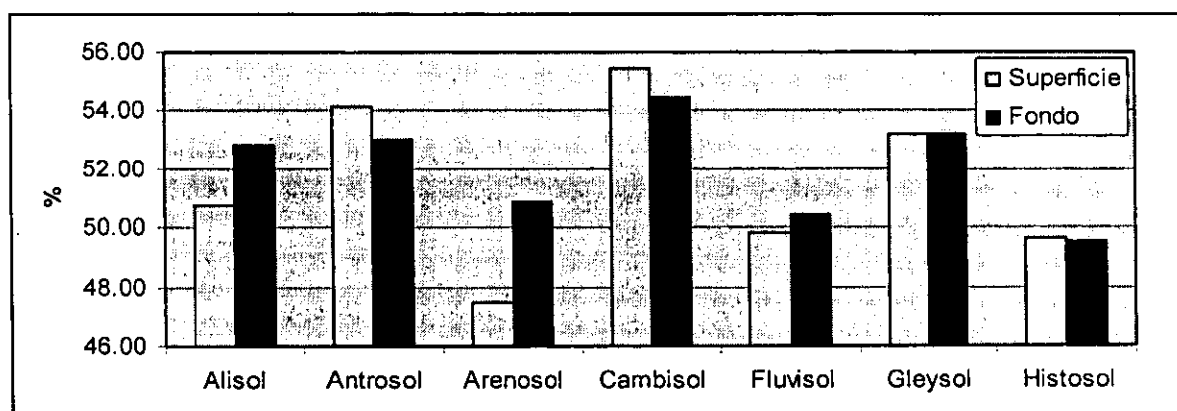


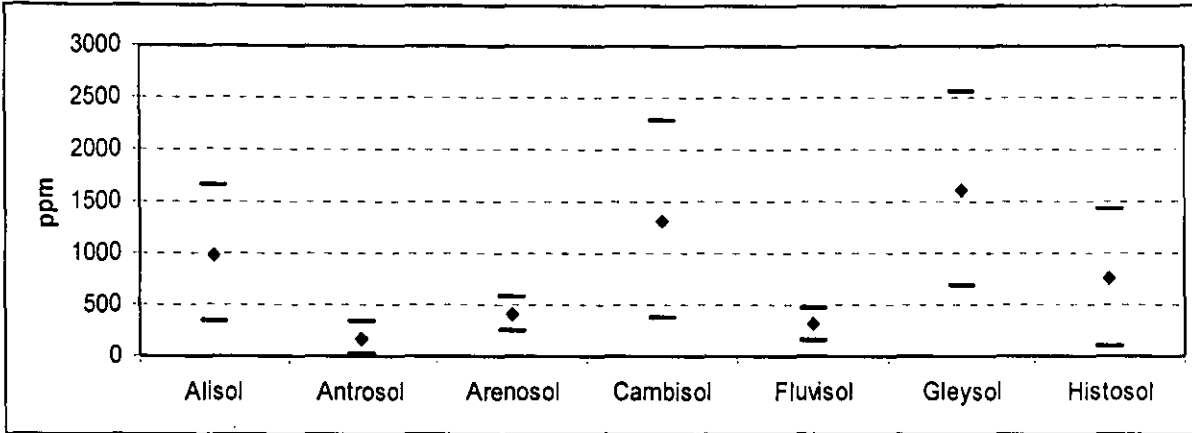
Figura IV.57 Comparación de los promedios de porosidad en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Taxonomía de suelos.



HTP. Los Hidrocarburos Totales del Petróleo en suelos presentaron concentraciones muy variadas tanto en el horizonte superficial como en el subsuelo (Cuadro IV.4). Las mayores concentraciones se registraron en los Gleysoles y Arenosoles mientras que las menores concentraciones se presentaron en el horizonte superficial de los Antrosoles y en el subsuelo de los Vertisoles (cabe señalar que no se realizaron análisis de HTP para Vertisoles en el horizonte superficial). En este caso las variaciones de los datos son importantes debido a la presencia de derrames en suelos y el transporte que pudiera existir entre el horizonte superficial y el subsuelo.

En la figura IV.58 se pueden observar las variaciones de las concentraciones de HTP en los diferentes horizontes superficiales.

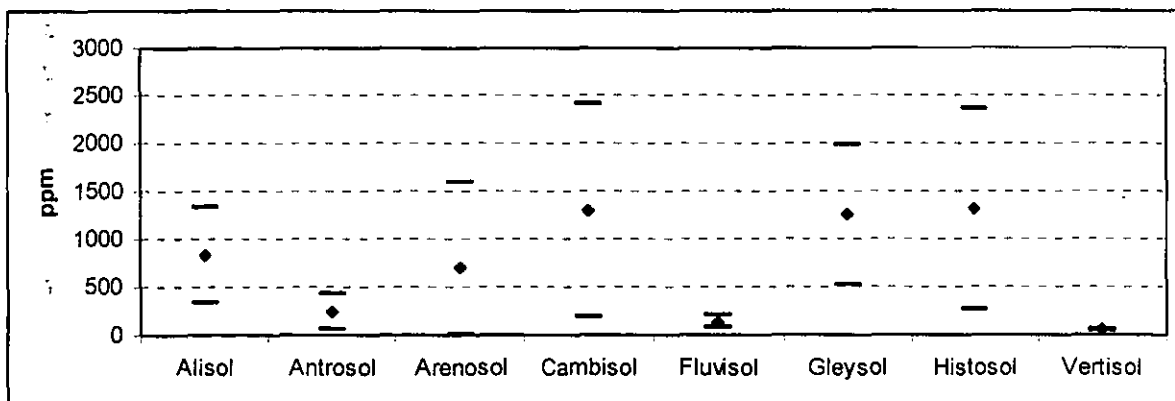
Figura IV.58 Intervalos de confianza del parámetro HTP en horizontes superficiales de la categoría Taxonomía de suelos.



Para los horizontes superficiales (figura IV.58) los Antrosoles y los Fluvisoles presentan los promedios de concentraciones más bajos de HTP en todos sus datos, sus intervalos son muy estrechos y semejantes. En los datos presentados en el cuadro IV.4 los Arenosoles, Gleysoles e Histosoles presentan los promedios más altos y los intervalos más amplios, sin embargo para un análisis más objetivo se excluyeron los datos extremos, en el resultado de esta modificación se observa como los Gleysoles presentan los promedios de concentración más altos, seguido por los Cambisoles.

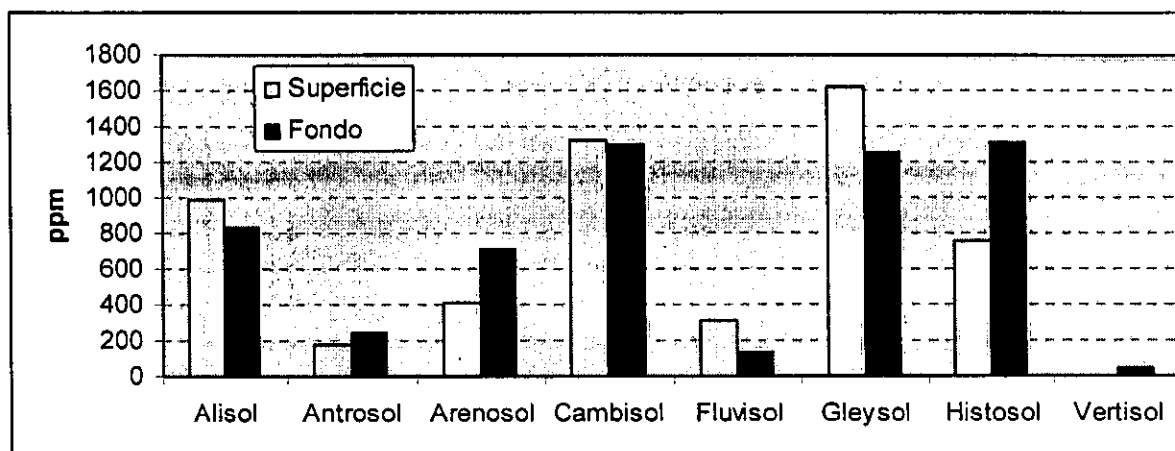
Los Arenosoles y los Fluvisoles se consideran dos grupos sin diferencia significativa en cuanto al contenido de hidrocarburos totales del petróleo, por la semejanza en los registros observados podría considerarse a los Antrosoles con las mismas características de estas dos unidades de suelos sin embargo se debe recordar que estos suelos son introducidos y se desconoce su origen, por lo que para este estudio solo se toman como una referencia de los niveles de contaminación encontrados.

Figura IV.59 Intervalos de confianza del parámetro HTP en horizontes del subsuelo de la categoría Taxonomía de suelos.



En la figura IV.59 se excluyeron los valores extremos en los Arenosoles y en los Gleysoles, con lo que los mayores promedios de concentración de hidrocarburos totales del petróleo en horizontes del subsuelo se presentaron en los Cambisoles, Histosoles y Gleysoles. Por el contrario los Vertisoles además de presentar los valores más bajos muestran el intervalo más estrecho, seguido por los Fluvisoles y los Antrosoles.

Figura IV.60 Comparación de los promedios de HTP en horizontes superficiales y horizontes del subsuelo en la categoría Taxonomía de suelos.



En esta figura se puede observar como son las concentraciones del horizonte superficial comparadas con las del subsuelo, las condiciones de derrames y disposiciones de hidrocarburos directamente al suelo provocarían una tendencia de mayores concentraciones en horizontes superficiales sin embargo las suelos estudiados presentan características propias, como en el caso de los Histosoles que por su contenido de materia orgánica y sus condiciones de humedad podrían retener más los HTP (Dominguez, 1998) en el subsuelo que otras unidades taxonómicas de suelos.

Bario. Este metal en suelos se presentó muy por debajo de los valores de referencia en todas las unidades de suelos y para ambos niveles, en el caso de los Vertisoles no se midió este parámetro por lo que quedara excluido en el análisis de datos.

En las figuras IV.61 y IV.62 pueden observarse los intervalos de confianza de los datos de bario en horizontes superficiales y del subsuelo respectivamente, se observa que los Histosoles presentaron mayor concentración de este metal, mientras que las menores concentraciones se registraron en los Fluvisoles, cabe destacar el comportamiento de los Alisoles donde el promedio de bario en horizontes superficiales es significativamente menor

que en los horizontes del subsuelo, este comportamiento se puede apreciar mejor en la figura IV.63 donde por el contrario, en los Arenosoles se observa una mayor concentración en los horizontes superficiales.

Figura IV.61 Intervalos de confianza del parámetro bario en horizontes superficiales de la categoría Taxonomía de suelos.

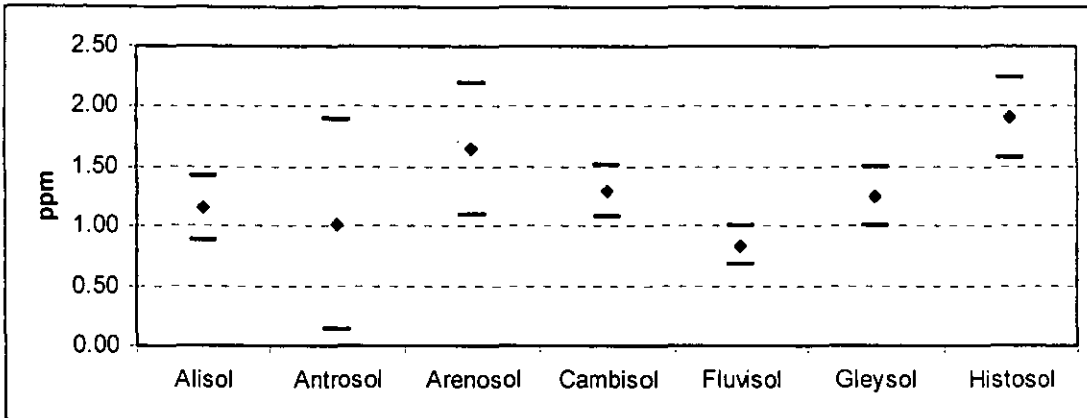


Figura IV.62 Intervalos de confianza del parámetro bario en horizontes del subsuelo de la categoría Taxonomía de suelos.

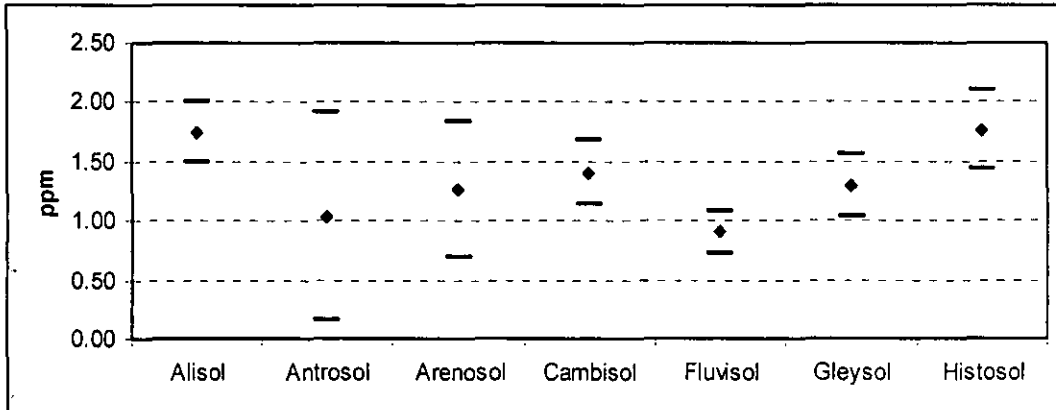
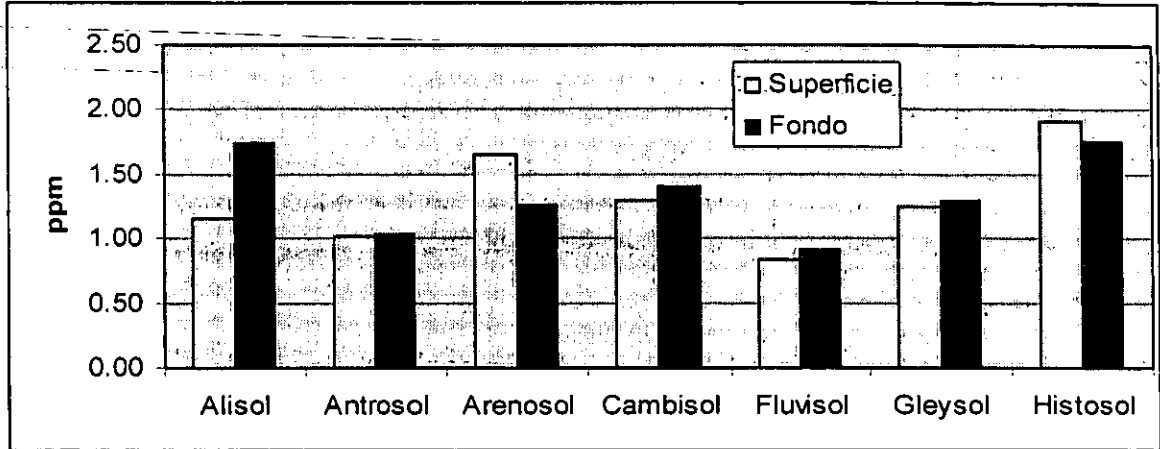
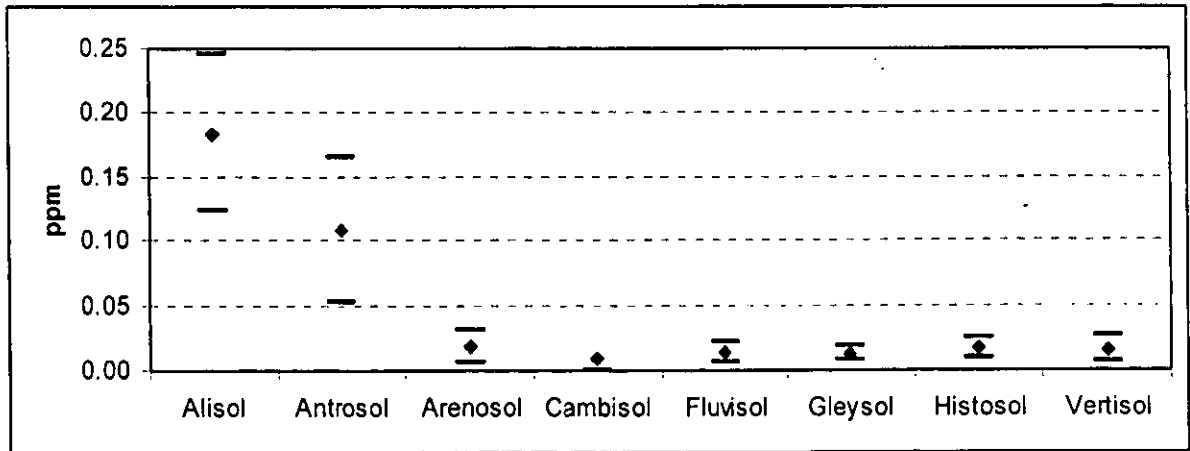


Figura IV.63 Comparación de los promedios de bario en horizontes superficiales y horizontes del subsuelo en la categoría Taxonomía de suelos.



Níquel. Este metal como el bario presentó concentraciones muy bajas en suelos tanto del horizonte superficial como del subsuelo. La distribución de datos y sus intervalos de confianza pueden observarse en las siguientes figuras:

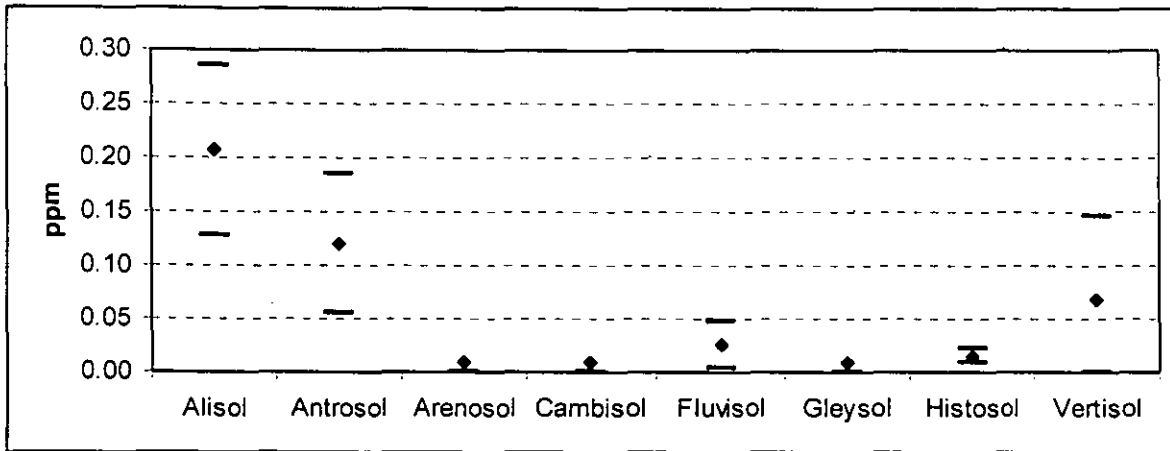
Figura IV.64 Intervalos de confianza del parámetro níquel en horizontes superficiales de la categoría Taxonomía de suelos.



En la figura anterior se observa como los Alisoles presentan las mayores concentraciones de níquel en suelos, así mismo junto con los Antrosoles son los suelos con mayor concentración y variabilidad en sus datos, por otra parte los Arenosoles, Fluvisoles, Gleysoles, Histosoles y Vertisoles, presentan concentraciones de níquel significativamente menores y semejantes, con intervalos de confianza muy estrechos lo cual supone poca

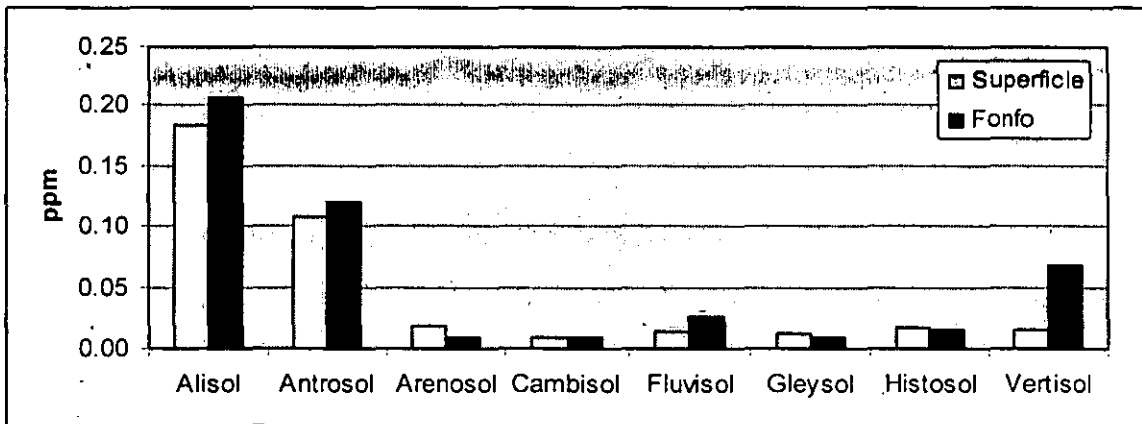
variabilidad en los datos. Los Cambisoles se presentaron en todos sus registros con concentraciones menores al límite de detección.

Figura IV.65 Intervalos de confianza del parámetro níquel en horizontes del subsuelo de la categoría Taxonomía de suelos.



En la figura IV.65 se observa como los Alisoles y los Antrosoles conservan la misma tendencia en los horizontes superficiales y en los del subsuelo. Sin embargo también puede verse que en los Vertisoles la concentración de níquel es mayor en los horizontes del subsuelo, aunque este efecto lo da un solo valor de la microfrecuencia 6 del Activo Cinco Presidentes. Para el caso de los Arenosoles, Cambisoles y Gleysoles los registros de níquel en los horizontes del subsuelo están por debajo de los límites de detección. Las diferencias de los promedios entre el horizonte superficial y el subsuelo se pueden apreciar más claramente en la siguiente figura:

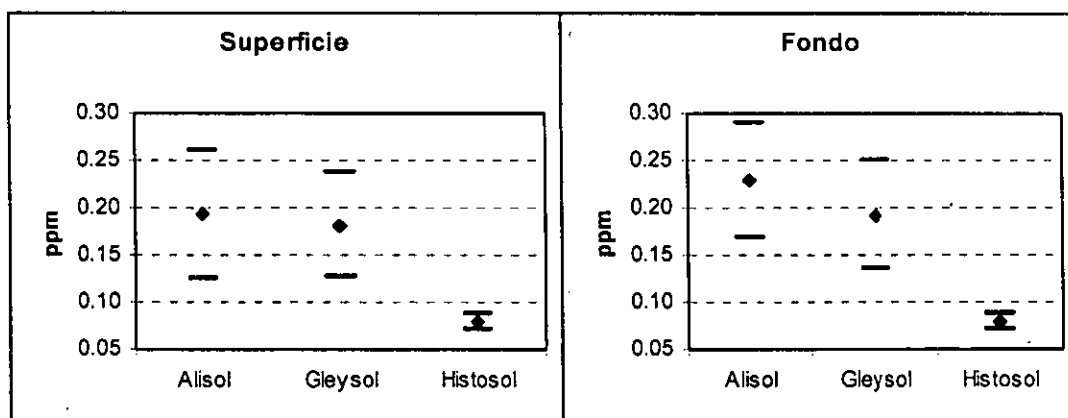
Figura IV.66 Comparación de los promedios de níquel en horizontes superficiales y horizontes del subsuelo en la categoría Taxonomía de suelos.



En esta figura se observa como la diferencia más marcada del contenido de níquel en suelos está representada por los Vertisoles haciéndose evidente que en los Alisoles, Antrosoles y Fluvisoles las concentraciones en subsuelo son mayores a las del horizonte superficial; el caso contrario son los Arenosoles, Gleysoles e Histosoles con diferencias no significativas en tanto que en los Cambisoles no se detecto níquel a ningún nivel.

Plomo. El Pb como el bario y el níquel también se presentó en concentraciones muy bajas, en ambos niveles de muestreo, los Antrosoles, Arenosoles, Cambisoles, Fluvisoles y Vertisoles presentaron todos sus registros menores al límite de detección, por lo que en la figura IV.67, solo se presenta la comparación de los intervalos de confianza para las concentraciones de plomo de los Alisoles, los Gleysoles y los Histosoles, tanto en horizontes superficiales como del subsuelo.

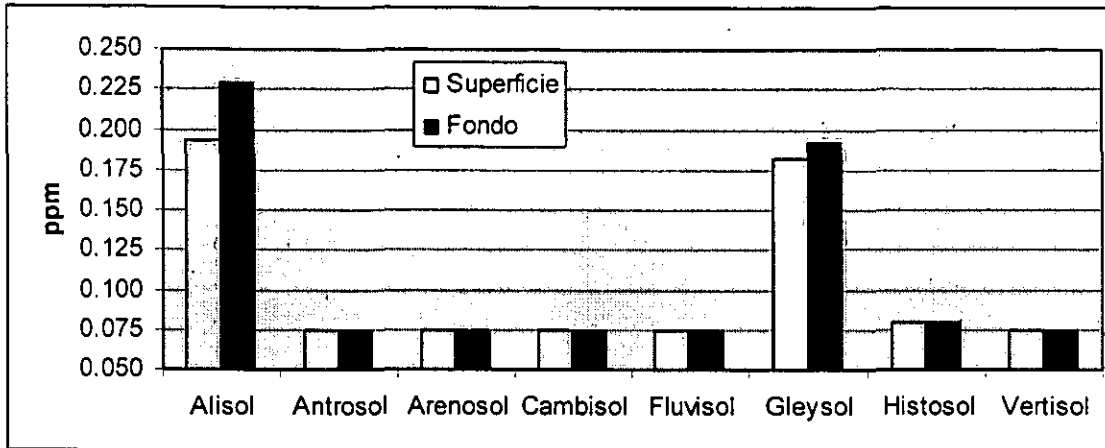
Figura IV.67 Intervalos de confianza del parámetro plomo en horizontes superficiales y horizontes del subsuelo de la categoría Taxonomía de suelos.



Los promedios de concentración más altos fueron registrados en los Alisoles, sin embargo el valor individual más alto se obtuvo en los Gleysoles. A primera vista, se observa que existe mayor concentración en los promedios de níquel en los horizontes del subsuelo, con respecto a los del horizonte superficial, sobretodo en los Alisoles y los Gleysoles sin embargo esta diferencia no es significativa en ninguno de los dos casos. Tomando en cuenta lo anterior se considera que el contenido de plomo en Alisoles y Gleysoles es el mismo a los dos niveles de muestreo y diferente al de los Histosoles que es significativamente menor.

A manera de demostración se presenta en la figura IV.68 una gráfica comparativa de los promedios del horizonte superficial y del subsuelo.

Figura IV.68 Comparación de los promedios de plomo en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Taxonomía de suelos.



La figura anterior muestra como 5 de los 8 grupos de suelos están por debajo del límite de detección (0.075 ppm). En el caso de los Histosoles 43 de los 44 datos registrados para esta unidad de suelos se presentaron por debajo del límite de detección, es un solo dato (0.27 ppm) el que arrastra el promedio diferenciándolo de la mayor parte de los datos encontrados.

En los Gleysoles, 35 de 50 datos es decir el 70% se registraron por debajo del límite de detección en ambos niveles de muestreo, sus valores máximos individuales fueron 0.830 ppm para el horizonte superficial y 0.890 ppm para el subsuelo. Para los Alisoles los resultados oscilaron entre 0.075 y 0.680 ppm en el horizonte superficial, siendo más variados en el subsuelo entre 0.075 y 0.47 ppm, estos resultados arrastraron el promedio hacia concentraciones mayores aún cuando 17 de los 27 datos registrados para el horizonte superficial y 12 de los 27 datos registrados para subsuelo están por debajo del límite de detección.

Las diferencias mostradas en la figura IV.68 se consideran casos ocasionales influenciados por problemas específicos de contaminación. Para el caso de los Alisoles, tanto en el horizonte superficial como en el subsuelo, todas las concentraciones mayores al límite de detección fueron registradas en la Batería Iride II y en los alrededores de la CAB Cunduacán. Mientras que en los Gleysoles las concentraciones mayores al límite de detección se relacionan con la Batería Cactus II y el pozo Cactus 11.

Discusión de la variable Taxonomía de suelos

En general, de acuerdo con los resultados anteriores se hace notar una diferencia en cuanto a las unidades taxonómicas de suelos, los Alisoles se distinguieron por presentar características diferentes a los otros grupos taxonómicos. Este comportamiento en el análisis de datos está relacionado a la influencia por efectos de contaminación específicos en el área de Samaria Iride.

En el agua freática la salinidad de acuerdo con la taxonomía de los suelos, reflejó problemas específicos de salinización, aún cuando se omitieron los valores extremos, los Alisoles se presentan como un grupo con mayor concentración, este mismo comportamiento pero en menor magnitud se observa en los Fluvisoles. La influencia marina se ve reflejada en los Histosoles relacionados con el río Chicozapote, estos se encuentran en la zona del derrame entre los pozos 28 y 40 del campo Cinco Presidentes.

Para el caso del benceno las condiciones de derrame presentadas en la batería Girdaldas marcan la diferencia en las altas concentraciones registradas para los Cambisoles, mientras que en los Fluvisoles, las fosas de desechos de la deshidratadora Samaria II modifican el comportamiento de los datos. En el caso del Tolueno pasa lo mismo con los Fluvisoles, mientras que en los Histosoles, un solo valor encontrado en el muestreo intermedio en la zona del campo Cinco Presidentes modifica el comportamiento de este parámetro para esta unidad de suelos, por lo contrario en los Vertisoles todos los registros son relativamente más altos lo cual nos señala una zona influenciada por el Tolueno en agua freática en el activo Cinco Presidentes donde se realizaron estos muestreos.

Para los Hidrocarburos totales del petróleo en agua freática las mayores concentraciones encontradas en los Antrosoles no son representativas debido a que la procedencia y uso de estos suelos se desconoce, por lo que los Alisoles ocuparían el primer lugar en las mayores concentraciones de este parámetro.

En cuanto a los metales en agua freática se puede distinguir una influencia clara en los Alisoles donde el V, Pb, Cr, Cd y Ni presentaron sus mayores promedios sin dejar de tomar en cuenta el Cr y el Ba donde las concentraciones no dejaron de ser altas. Debe hacerse notar que los Alisoles pertenecen en un 88.2% a la zona de estudio de Samaria-Iride la cual presenta sus mayores problemas de contaminación por salinización de suelos, otro punto importante es el pH que para este grupo se presentó con un promedio de 5.58 lo cual por sus condiciones relativamente ácidas pueden promover la movilidad de los metales.

Tomando en cuenta estos resultados, tenemos en segundo término a los Fluvisoles, donde las concentraciones de metales como el Pb, Cr, Cd y Ni no fueron tan altas como en los

Alisoles pero fueron sobresalientes, cabe señalar que esta unidad taxonómica de suelos fue muestreada también en un 38.88% en la zona de Samaria-Iride.

Por otro lado están los Vertisoles que representan una zona del activo Cinco Presidentes, estos suelos se distinguieron por presentar las más bajas concentraciones de V, Cr y Ba en aguas freáticas, este comportamiento no fue igual en todos los metales pues el Pb se presentó bajo, pero el Cd y el Ni presentan valores altos comparados con el resto de las unidades taxonómicas de suelos.

En el análisis de los suelos, los Alisoles Cambisoles y Gleysoles se distinguen por ser un grupo con altas concentraciones de hidrocarburos totales del petróleo tanto en los horizontes superficiales como del subsuelo, en la comparación de niveles de muestreo de este parámetro, los Histosoles presentan la mayor diferencia con mayores concentraciones en la capa inmediatamente superficial al manto freático (Subsuelo).

De los metales en suelos, cabe destacar al níquel y al plomo con la mayor parte de los registros con concentraciones menores al límite de detección, tanto en horizontes superficiales como del subsuelo en todas las unidades de suelos. Los registros mayores al límite de detección se registraron únicamente en los Alisoles, en sitios específicos de la Batería Iride II y la CAB Cunduacán y en los Gleysoles asociados a la Batería Cactus II y el pozo Cactus 11.

Categoría 5: Tipo de Influencia

-Variables para esta categoría: **Derrame, Doméstico, Ganado, Pantano, Presa, Río y sin influencia aparente.**

La posición de esta categoría con respecto a todas las categorías y sus variables categóricas se esquematiza en el Cuadro Guía mientras que los resultados de los datos agrupados por las diferentes variables se pueden consultar en el Cuadro IV.5.

Cuadro Guía: Categorías, variables y parámetros analizados

Categorías	Variables Categóricas	Parámetros Analizados	
Etapa	Local Intermedia Regional	Agua Freática	Suelos
Tipo de muestreo	Noria Pozo	Salinidad pH Benceno	Porosidad HTP Bario
Zona Ecogeográfica	Barra Costera Llanura Aluvial Alta Llanura Aluvial Baja Terrazas Miocénicas	Tolueno HTP Vanadio Plomo	Níquel Plomo
Taxonomía de suelos	Alisol Antrosol Arenosol Cambisol Fluvisol Gleysol Histosol Vertisol	Cromo Cadmio Níquel Bario	
Tipo de influencia	Derrame Doméstico Ganado Pantano Presa Río sin Influencia		
Textura en horizontes superficiales	Arcilla Arena Arena Migajosa Migajón arcilloso Migajón arenoso Migajón limoso		
Textura en horizontes del subsuelo	Arcilla Arena Arena Migajosa Migajón arcilloso Migajón arenoso Migajón limoso		

Cuadro IV.5 Datos agrupados por tipo de influencia

REFERENCIA*	1	6 a 7.9	5	24	0.2	0.1	0.05	0.05	0.01	0.2	1		40	200	20	25		40	200	20	25	
	pp mil		ppb	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	
Derrame	Salinidad	pH	Benceno	Tolueno	HTP	Vanadio	Plomo	Cromo	Cadmio	Niquel	Bario	Porosidad (S)	TPH (S)	Ba (S)	Ni (S)	Pb (S)	Porosidad (F)	TPH (F)	Ba (F)	Ni (F)	Pb (F)	
Media	1.94	5.11	201.23	287.52	136.48	0.023	0.0634	0.0106	0.0062	0.0374	1.564	SR	51.43	3675.35	1.61	0.05	0.132	51.79	3995.99	1.60	0.05	0.135
Des. Est.	2.87	0.82	892.43	1165.44	828.79	0.022	0.0757	0.0105	0.0073	0.0489	3.418	SR	7.49	8964.23	0.74	0.08	0.143	7.57	9444.45	0.67	0.08	0.128
Varianza	8.26	0.67	796424.64	1358245.93	686894.20	0.000	0.0057	0.0001	0.0001	0.0024	11.681	SR	56.11	80357406.88	0.54	0.01	0.020	57.33	89197647.49	0.45	0.01	0.016
Maximo	11.12	6.54	6000.00	6000.00	6000.00	0.090	0.3370	0.0530	0.0340	0.2800	23.260	SR	78.69	58440.00	3.28	0.34	0.680	78.69	58440.00	3.27	0.36	0.470
Minimo	0.01	2.77	0.25	0.25	0.12	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	SR	29.50	40.00	0.19	0.01	0.075	29.32	7.41	0.25	0.01	0.075
N	51	51	53	53	53	51	52	52	52	52	52	SR	47	52	50	53	47	53	49	53	53	53
Domestico	Salinidad	pH	Benceno	Tolueno	HTP	Vanadio	Plomo	Cromo	Cadmio	Niquel	Bario	Porosidad (S)	TPH (S)	Ba (S)	Ni (S)	Pb (S)	Porosidad (F)	TPH (F)	Ba (F)	Ni (F)	Pb (F)	
Media	0.41	6.91	1.51	1.61	0.18	0.005	0.0100	0.0030	0.0032	0.0090	0.109	SR	SR	SR	0.02	0.075	SR	77.69	#DIV/0!	0.03	0.080	
Des. Est.	0.39	0.74	0.60	1.41	0.32	0.000	0.0159	0.0030	0.0043	0.0156	0.176	SR	SR	SR	0.03	0.000	SR	152.81	#DIV/0!	0.05	0.033	
Varianza	0.15	0.55	0.36	1.98	0.10	0.000	0.0003	0.0000	0.0000	0.0002	0.031	SR	SR	SR	0.00	0.000	SR	23351.47	#DIV/0!	0.00	0.001	
Maximo	2.07	8.29	2.60	10.89	2.38	0.005	0.1200	0.0300	0.0310	0.0900	1.260	SR	SR	SR	0.15	0.075	SR	1090.81	0.00	0.24	0.310	
Minimo	0.02	3.57	0.25	0.25	0.02	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	SR	SR	SR	0.01	0.075	SR	3.90	0.00	0.01	0.075	
N	86	86	86	86	85	86	86	86	86	86	86	SR	SR	SR	44	49	SR	49	0	44	49	
Ganado	Salinidad	pH	Benceno	Tolueno	HTP	Vanadio	Plomo	Cromo	Cadmio	Niquel	Bario	Porosidad (S)	TPH (S)	Ba (S)	Ni (S)	Pb (S)	Porosidad (F)	TPH (F)	Ba (F)	Ni (F)	Pb (F)	
Media	0.70	6.33	1.41	1.33	0.41	0.024	0.0238	0.0093	0.0056	0.0698	0.587	SR	511.00		0.01	0.097	SR	408.48	SR	0.01	0.097	
Des. Est.	0.78	0.62	0.75	0.63	0.61	0.029	0.0288	0.0150	0.0071	0.1605	1.728	SR	249.88		0.00	0.061	SR	529.27	SR	0.00	0.061	
Varianza	0.61	0.38	0.56	0.40	0.37	0.006	0.0008	0.0002	0.0001	0.0258	2.978	SR	62441.33		0.00	0.004	SR	280127.71	SR	0.00	0.004	
Maximo	2.66	7.50	2.48	2.07	2.52	0.350	0.0850	0.0600	0.0310	0.6900	7.570	SR	812.00		0.01	0.270	SR	2202.50	SR	0.01	0.270	
Minimo	0.01	5.30	0.25	0.25	0.05	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	SR	138.00		0.01	0.075	SR	44.11	SR	0.01	0.075	
N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	SR	6		9	9	SR	15	SR	9	9	
Pantano	Salinidad	pH	Benceno	Tolueno	HTP	Vanadio	Plomo	Cromo	Cadmio	Niquel	Bario	Porosidad (S)	TPH (S)	Ba (S)	Ni (S)	Pb (S)	Porosidad (F)	TPH (F)	Ba (F)	Ni (F)	Pb (F)	
Media	0.73	6.50	0.93	2.22	0.49	0.005	0.0483	0.0149	0.0035	0.0372	0.849	SR	372.80		0.01	0.075	SR	2538.85	SR	0.01	0.075	
Des. Est.	0.92	0.69	0.77	3.33	1.07	0.000	0.0548	0.0147	0.0030	0.0399	1.643	SR	233.34		0.00	0.000	SR	5854.02	SR	0.00	0.000	
Varianza	0.84	0.47	0.59	11.09	1.14	0.000	0.0030	0.0002	0.0000	0.0016	2.699	SR	54449.36		0.00	0.000	SR	34269535.46	SR	0.00	0.000	
Maximo	3.24	7.74	2.30	12.61	3.84	0.005	0.2150	0.0420	0.0130	0.1250	5.900	SR	784.00		0.01	0.075	SR	18016.11	SR	0.01	0.075	
Minimo	0.05	5.30	0.25	0.25	0.06	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	SR	171.00		0.01	0.075	SR	6.70	SR	0.01	0.075	
N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	SR	5		2	3	SR	8	SR	2	3	
Presa	Salinidad	pH	Benceno	Tolueno	HTP	Vanadio	Plomo	Cromo	Cadmio	Niquel	Bario	Porosidad (S)	TPH (S)	Ba (S)	Ni (S)	Pb (S)	Porosidad (F)	TPH (F)	Ba (F)	Ni (F)	Pb (F)	
Media	2.72	4.75	25.34	0.29	7.87	0.034	0.0481	0.0180	0.0055	0.0716	0.642	SR	52.57	929.36	1.16	0.05	0.139	52.90	1016.53	1.32	0.06	0.152
Des. Est.	9.16	1.31	183.93	0.30	67.46	0.046	0.0639	0.0252	0.0096	0.0982	1.406	SR	7.47	2721.39	0.75	0.11	0.159	7.64	2969.75	0.84	0.14	0.172
Varianza	83.86	1.73	33831.55	0.09	4550.92	0.002	0.0041	0.0006	0.0001	0.0096	1.977	SR	55.75	7405953.31	0.56	0.01	0.025	58.41	8819406.30	0.71	0.02	0.030
Maximo	56.27	7.36	1694.73	2.46	657.00	0.250	0.2750	0.1700	0.0520	0.5420	8.900	SR	74.49	23250.00	3.52	0.60	0.830	79.96	23892.00	3.69	0.66	0.890
Minimo	0.00	1.57	0.25	0.25	0.06	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	SR	30.33	27.00	0.21	0.01	0.075	34.37	20.00	0.21	0.01	0.075
N	91	94	92	92	94	91	93	93	93	93	93	SR	79	89	62	87	79	87	81	87	86	
Rio	Salinidad	pH	Benceno	Tolueno	HTP	Vanadio	Plomo	Cromo	Cadmio	Niquel	Bario	Porosidad (S)	TPH (S)	Ba (S)	Ni (S)	Pb (S)	Porosidad (F)	TPH (F)	Ba (F)	Ni (F)	Pb (F)	
Media	0.39	6.47	1.23	1.32	0.18	0.059	0.0529	0.0262	0.0123	0.1681	1.451	SR	293.74	SR	0.01	0.075	SR	256.13	SR	0.01	0.075	
Des. Est.	0.29	0.68	0.50	0.56	0.12	0.116	0.0391	0.0287	0.0089	0.1688	1.495	SR	151.34	SR	0.00	0.000	SR	193.56	SR	0.00	0.000	
Varianza	0.08	0.47	0.25	0.31	0.01	0.013	0.0015	0.0008	0.0001	0.0285	2.235	SR	22904.34	SR	0.00	0.000	SR	37465.11	SR	0.00	0.000	
Maximo	1.10	7.30	1.68	2.26	0.44	0.350	0.1420	0.1050	0.0260	0.4800	4.910	SR	604.80	SR	0.01	0.075	SR	781.11	SR	0.01	0.075	
Minimo	0.04	4.60	0.25	0.25	0.08	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	SR	157.00	SR	0.01	0.075	SR	16.39	SR	0.01	0.075	
N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	SR	9	SR	1	2	SR	11	SR	1	2	
Sin influencia	Salinidad	pH	Benceno	Tolueno	HTP	Vanadio	Plomo	Cromo	Cadmio	Niquel	Bario	Porosidad (S)	TPH (S)	Ba (S)	Ni (S)	Pb (S)	Porosidad (F)	TPH (F)	Ba (F)	Ni (F)	Pb (F)	
Media	0.44	6.38	1.26	1.03	0.25	0.062	0.0753	0.0320	0.0145	0.2851	2.258	SR	363.50	SR	SR	SR	SR	292.78	SR	SR	SR	
Des. Est.	0.61	0.76	0.91	0.45	0.25	0.114	0.0786	0.0243	0.0111	0.4207	4.075	SR	278.81	SR	SR	SR	SR	172.91	SR	SR	SR	
Varianza	0.38	0.58	0.82	0.20	0.06	0.013	0.0062	0.0006	0.0001	0.1770	16.608	SR	77734.10	SR	SR	SR	SR	29899.27	SR	SR	SR	
Maximo	2.38	7.30	4.09	1.63	1.04	0.350	0.3500	0.0880	0.0340	1.8370	17.120	SR	1236.70	SR	SR	SR	SR	710.00	SR	SR	SR	
Minimo	0.02	4.80	0.25	0.25	0.03	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	SR	150.00	SR	SR	SR	SR	156.00	SR	SR	SR	
N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	SR	17	SR	SR	SR	SR	17	SR	SR	SR	

* Los valores de referencia fueron tomados de diferentes fuentes mostradas en el inciso III.8 del capítulo "Desarrollo Metodológico"

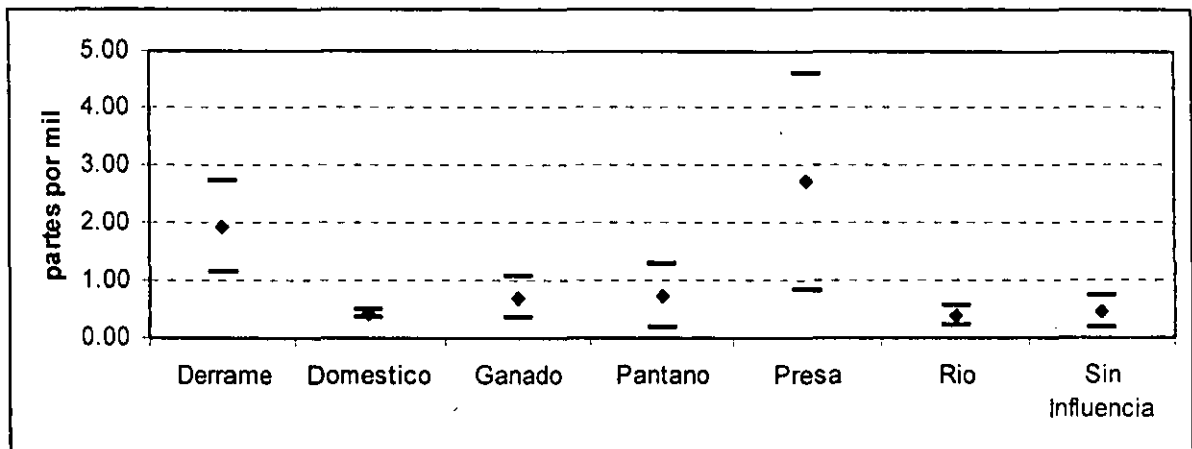
SR= Sin resultados al agrupar los datos. pp mil= partes por mil. ppm= partes por millón. (S)= Horizonte superficial. (F)= Horizontes del subsuelo.

La categoría "tipo de Influencia" hace referencia a las observaciones de campo realizadas durante el muestreo, relaciona la zona de cada punto de muestreo con la presencia de derrames, el uso del agua freática, si hay presencia de ganado, pantanos, presas de desechos, ríos o definitivamente no se observa ningún tipo de influencia que pueda afectar el comportamiento de los parámetros analizados durante el presente estudio. Como en categorías anteriores el muestreo no fue dirigido hacia los diferentes tipos de influencia, sino que una vez realizados los muestreos se dividieron los datos de acuerdo con las observaciones de campo.

- Agua Freática

Salinidad. Los promedios de salinidad en agua freática fuera del intervalo de referencia se relacionaron con los derrames y con la presencia de presas de desechos, en tanto que los menores registros se encontraron en aguas con uso doméstico y en áreas cercanas a ríos.

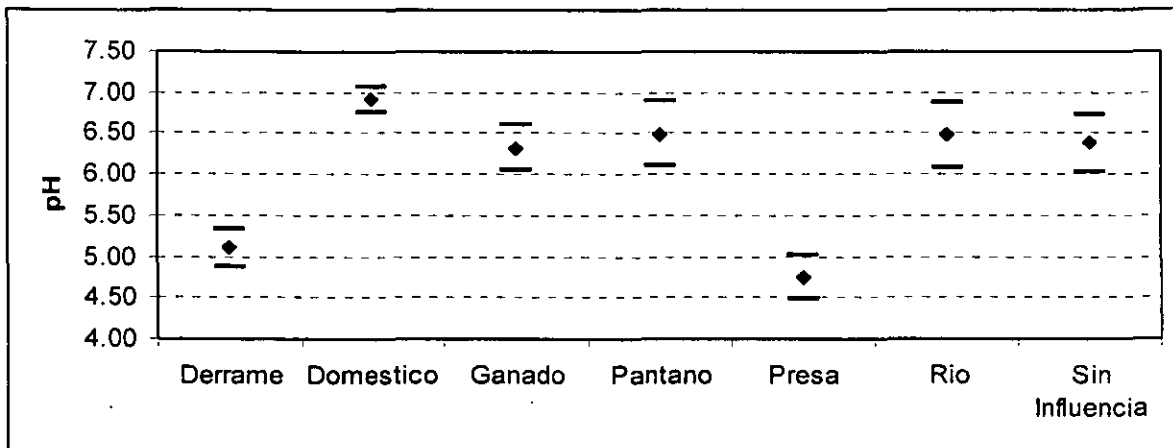
Figura IV.69 Intervalos de confianza del parámetro Salinidad en agua freática de la categoría Tipo de influencia.



En la figura IV.69 puede observarse como la salinidad en agua freática está menos influenciada en muestras tomadas de aguas con uso doméstico y en muestras asociadas a ríos. Los registros sin influencia, o relacionados a ganado y pantanos son un poco mayores sin que su promedio sobrepase los valores de referencia. Las presas de desechos presentan amplitud en el intervalo de confianza, lo cual nos indica mayor variabilidad además de presentar las mayores concentraciones de este parámetro.

pH. Las condiciones extremas en cuanto a este parámetro se presentaron en las muestras asociadas a derrames y a presas de desechos. Las mejores condiciones de pH en aguas freáticas están asociadas al uso doméstico con un promedio (6.9) muy cercano al neutro (pH 7).

Figura IV.70 Intervalos de confianza del parámetro pH en agua freática de la categoría Tipo de Influencia.



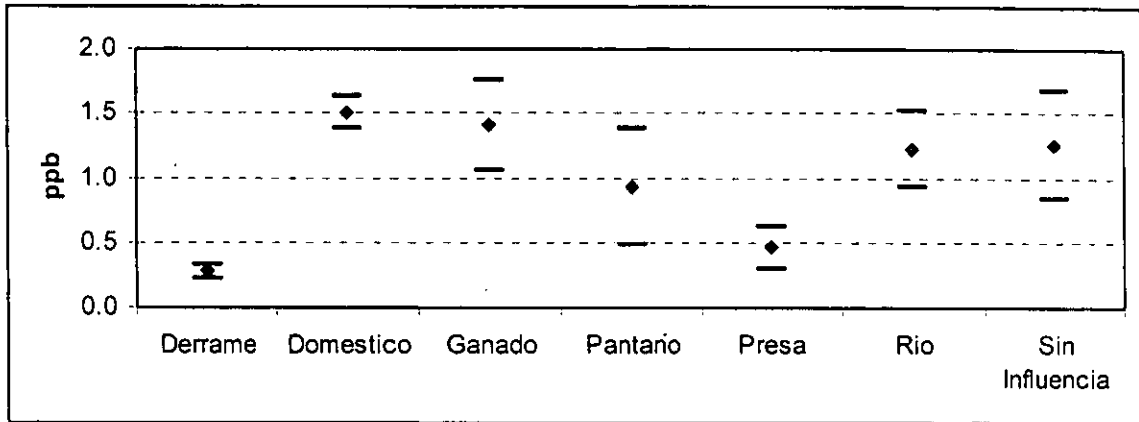
En la figura IV.70 se pueden ubicar 2 grupos: uno que incluye a las muestras relacionadas con el uso doméstico, el ganado, pantanos y ríos los cuales presentan valores promedio e intervalos de confianza similares a los sitios sin influencia, con datos que fluctúan entre 6 y 7, y por otro lado los registros de pH muy ácidos asociados a derrames y presas de desechos, estos presentan intervalos entre 4.5 y 5.5 mismos que están fuera de los valores de referencia

Benceno. Para este parámetro se registraron las concentraciones más altas en los muestreos relacionados con derrames seguido por los asociados a presas de desechos. El menor promedio de contenido de benceno en agua freática fue registrado en el grupo de datos correspondiente a influencia por pantanos.

Para obtener un análisis más objetivo de los resultados se omitieron cinco datos extremos del derrame de la batería Giraldas, tres de las fosas de desechos de Samaria y tres de las presas del pozo Giraldas 72, con lo que los resultados cambian radicalmente pudiendo observar en la figura IV.71 que la mayor parte de los derrames y las presas de desechos no están aportando benceno a las aguas freáticas, en contraste las aguas con uso doméstico y las relacionadas con el ganado presentan concentraciones más altas, estas

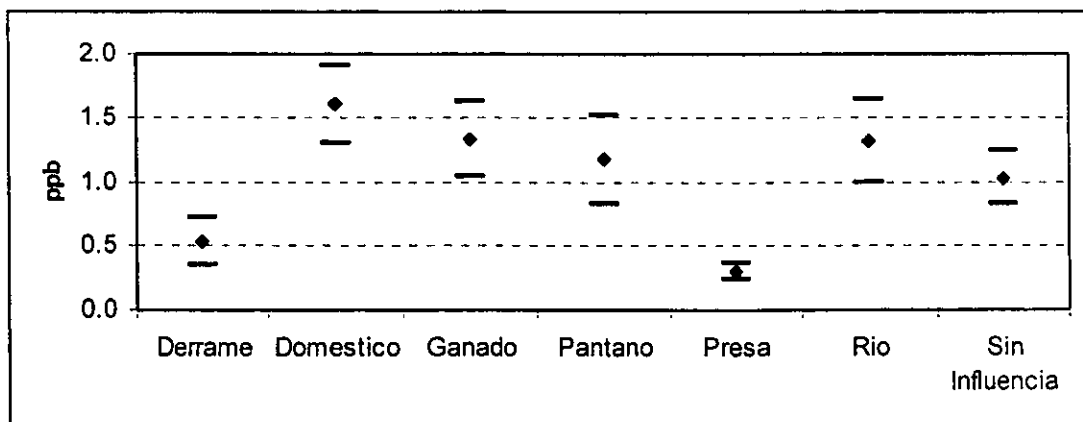
concentraciones de benceno pueden estar más relacionadas a insecticidas, garrapaticidas o cualquier otro tipo de agroquímicos que contienen alguna forma componentes aromáticos.

Figura IV.71 Intervalos de confianza del parámetro Benceno en agua freática de la categoría Tipo de Influencia.



Tolueno. El Tolueno solo se presentó en concentraciones fuera de los valores de referencia en los muestreos asociados a derrames, debido a la influencia del derrame de la batería Girdaldas, si se omiten cuatro datos extremos de ésta y un dato extremo en los pantanos, se obtiene que al igual que el benceno, estos compuestos aromáticos están presentes en mayor concentración asociadas al agua con uso doméstico y al ganado que a los derrames y las presas donde su influencia fue mínima, cabe señalar que se omitió un dato extremo en el caso de los pantanos pero en los resultados no hay diferencia significativa entre pantanos ganado o ríos.

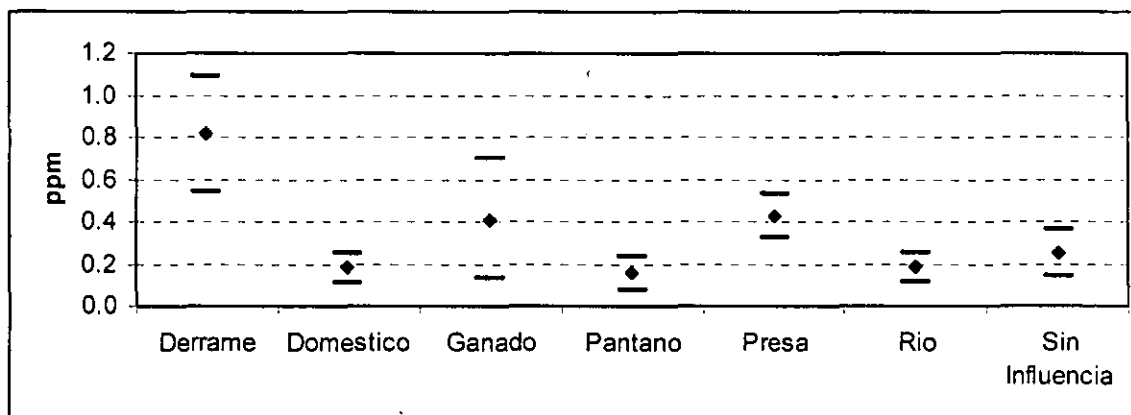
Figura IV.72 Intervalos de confianza del parámetro Tolueno en agua freática de la categoría Tipo de Influencia.



HTP. Originalmente los menores promedios de Hidrocarburos Totales del Petróleo en agua freática fueron registrados en los grupos de datos asociados a aguas con uso doméstico y muestras tomadas cerca de ríos. Las mayores concentraciones se asociaron con derrames y presas de desechos, aunque cabe señalar que los muestreos relacionados con ganado o cerca de pantanos e incluso los que no tienen influencia aparente presentaron promedios superiores a los valores de referencia.

Si se analiza la información omitiendo los datos extremos se obtiene que se conserva el comportamiento de las aguas freáticas con uso doméstico con concentraciones bajas sin diferencias significativas en las aguas freáticas relacionadas a pantanos y ríos, mientras que para el caso de los derrames persisten las concentraciones mayores. Las presas y la influencia de ganado no presentan diferencias significativas con promedios dos veces mayores al valor de referencia (Figura IV.73)

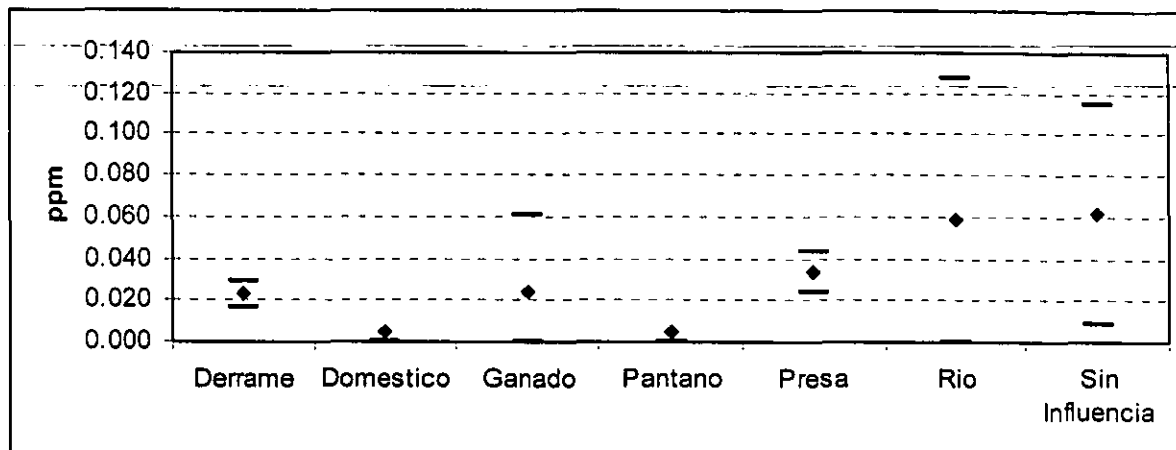
Figura IV.73 Intervalos de confianza del parámetro HTP en agua freática de la categoría Tipo de Influencia.



Vanadio. Este metal se presentó en concentraciones muy bajas en todas las categorías, incluso en los datos asociados a pantanos y a agua de uso doméstico los datos encontrados son menores al límite de detección. El mayor promedio encontrado se registró en sitios que no presentan influencia aparente.

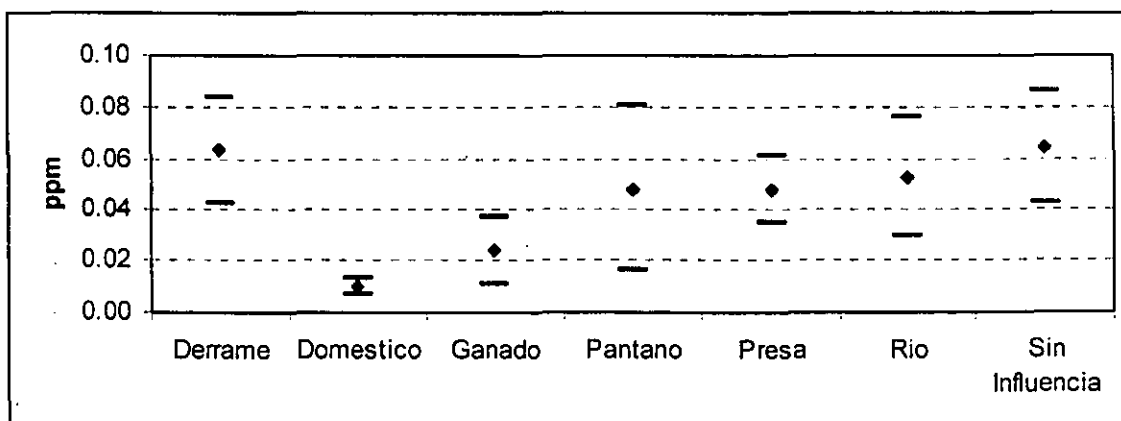
Los intervalos de confianza de la figura IV.74 muestran como la mayor variación de datos se encuentra en los muestreos asociados a ríos, sin embargo no existen diferencias significativas con la variabilidad natural, en este caso representada por el comportamiento de datos bajo la categoría "sin influencia". En todos los grupos de datos por tipo de influencia las concentraciones promedio de vanadio en agua freática fueron menores al valor de referencia.

Figura IV.74 Intervalos de confianza del parámetro vanadio en agua freática de la categoría Tipo de Influencia.



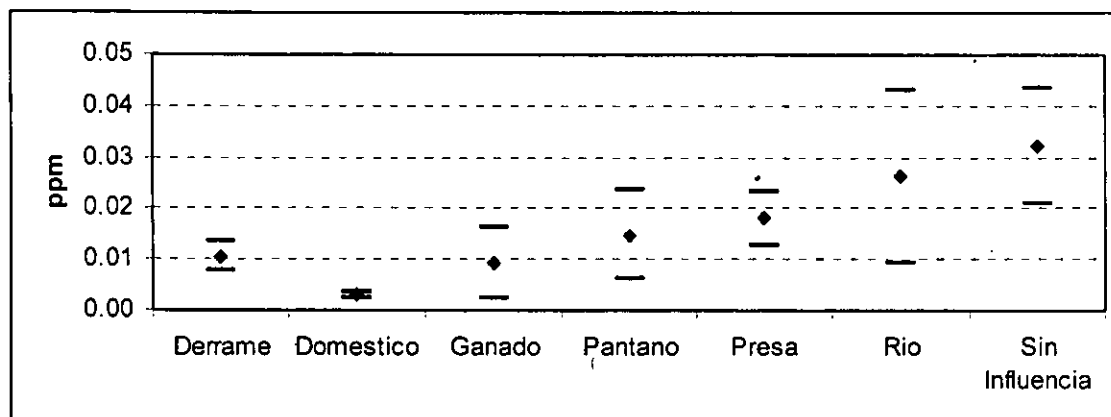
Plomo. El Pb se presentó en concentraciones fuera del valor de referencia cuando se agrupan los datos influenciados por derrames, ríos o cuando no presentan influencia aparente. Siendo esta última agrupación junto con los derrames las de mayor concentración. Por el contrario cuando se agrupan los datos relacionados con agua de uso doméstico se obtiene el menor promedio de todos los registros, con el menor intervalo de confianza como se muestra en la figura IV.75. Para este parámetro los pantanos presentan una amplia variación de datos con un promedio muy cercano al valor de referencia, esta última condición se presenta también en la agrupación de datos asociados a presas de desechos y ríos sin mostrar diferencias significativas.

Figura IV.75 Intervalos de confianza del parámetro plomo en agua freática de la categoría Tipo de Influencia.



Cromo. El Cr como el vanadio, se presentó en escasas proporciones en todos los arreglos de datos realizados para esta categoría. El grupo de datos con el mayor promedio fueron los que no presentan influencia aparente, mientras que la menor concentración promedio de cromo se presentó en la agrupación de datos relacionados con uso de agua Doméstico, este grupo tiene la menor variación en sus datos con un intervalo de confianza muy estrecho (figura IV.76).

Figura IV.76 Intervalos de confianza del parámetro cromo en agua freática de la categoría Tipo de Influencia.

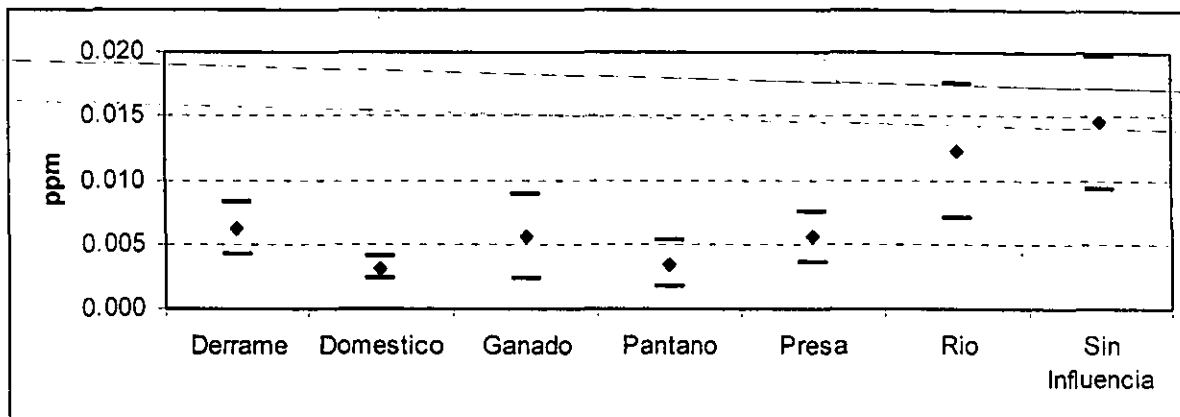


Los muestreos asociados a ríos presentan la mayor variación en sus registros más no el mayor promedio. Se esperaría que se presentaran mayores concentraciones en los datos relacionados con presas de desechos o derrames por su asociación con algunos fluidos de perforación con altos contenidos de cromo, sin embargo para este parámetro todos los promedios de las asociaciones por tipo de influencia fueron menores a los valores de referencia.

Cadmio. El análisis de este parámetro mostró que el promedio de las concentraciones de cadmio es mayor a los valores de referencia si se agrupan los datos que no tienen influencia aparente o los datos relacionados con ríos. El menor promedio con un estrecho intervalo de confianza se obtiene cuando se agrupan los muestreos relacionados con agua de uso doméstico (figura IV.76).

Los promedios en las agrupaciones de datos Derrame, Ganado, Pantano y Presa también presentaron valores bajos aunque con mayor variación, lo cual repercute en los intervalos de confianza más abiertos, sobretodo para el caso de los muestreos relacionados con ganado. Las concentraciones de cadmio encontradas en las zonas sin influencia pueden considerarse como valores ocasionales no relacionados con la industria petrolera.

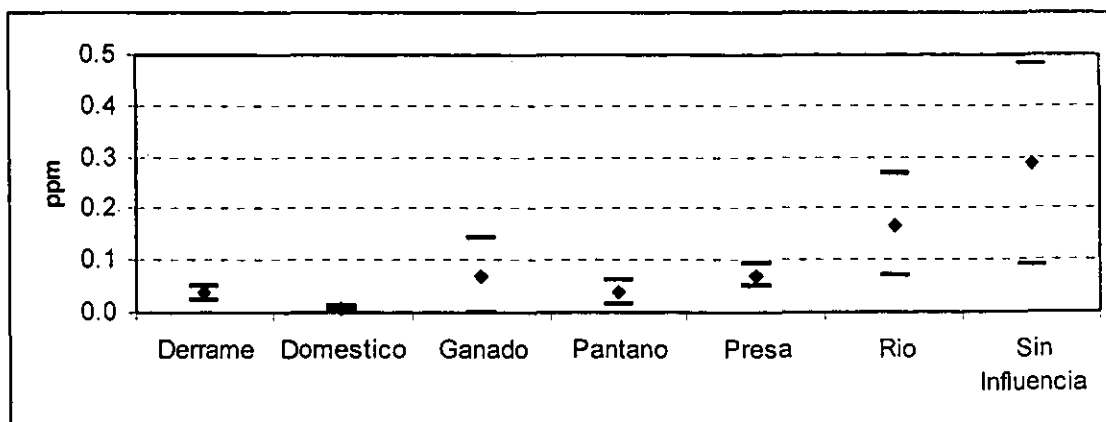
Figura IV.77 Intervalos de confianza del parámetro cadmio en agua freática de la categoría Tipo de Influencia.



Níquel. Este metal solo se presentó en niveles fuera del valor de referencia en la agrupación de datos sin influencia aparente, mientras que el promedio más bajo observado se encontró cuando se agrupan los datos relacionados con agua de uso doméstico.

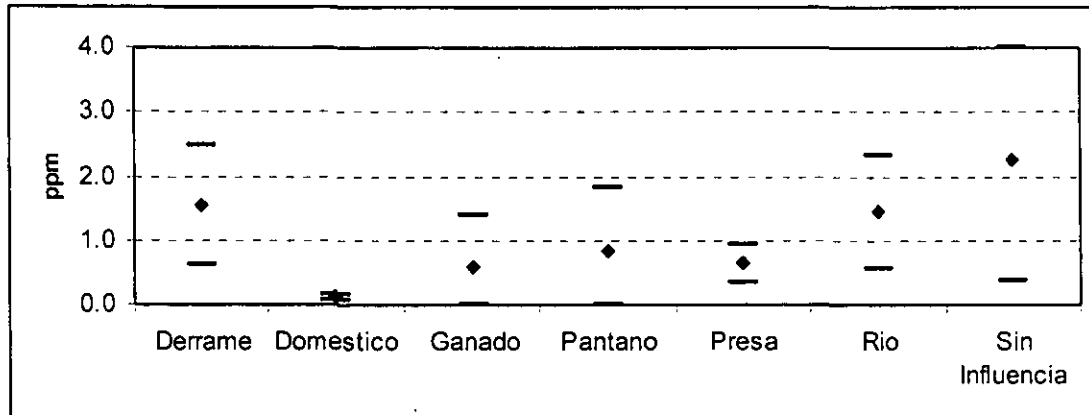
Los intervalos de confianza para este metal son parecidos a otros metales como el cadmio, el cromo y el vanadio, donde los promedios más altos y los intervalos más abiertos se presentan cuando se agrupan los datos relacionados con ríos o sin influencia aparente, el intervalo más cerrado es en los datos de agua con uso doméstico, los relacionados con ganado presentan el intervalo más abierto del grupo de menores promedios, ver figura IV.78.

Figura IV.78 Intervalos de confianza del parámetro níquel en agua freática de la categoría Tipo de Influencia.



Bario. Este metal en agua freática presenta promedios superiores a los valores de referencia en las agrupaciones de datos Derrame, Río y Sin Influencia, siendo en este último donde se observaron los valores más altos, la menor concentración es para los datos relacionados con agua de uso doméstico.

Figura IV.79 Intervalos de confianza del parámetro bario en agua freática de la categoría Tipo de Influencia.

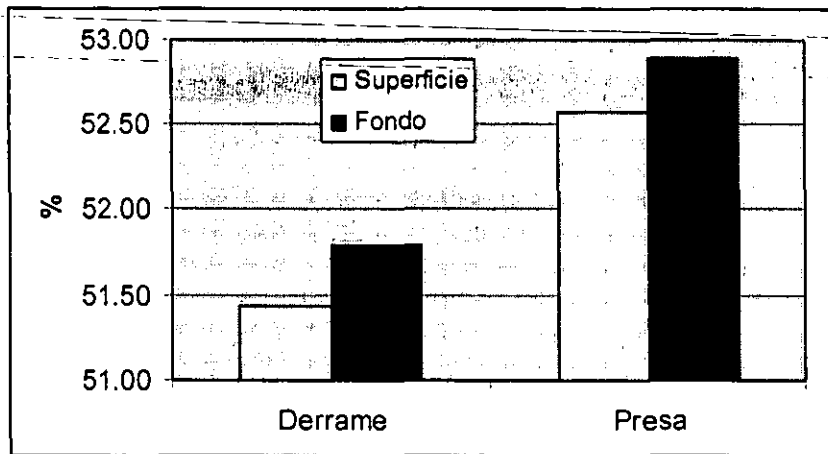


En la figura IV.79 los intervalos de confianza de los agrupamientos por tipo de influencia muestran tres tendencias, la más cerrada y con promedio menor correspondiente al agua de uso doméstico, por otra parte los grupos "Derrame", "Ganado", "Pantano", "Río" y "Presa" que podrían considerarse muy semejantes y por último los datos agrupados que carecen de influencia aparente, donde la variabilidad de los datos supera a los otros grupos y el promedio es dos veces mayor al valor de referencia.

- Suelo

Porosidad. La porosidad en el arreglo de datos por tipo de influencia sólo se evaluó en los muestreos relacionados con derrames y con presas, tanto en horizontes superficiales como del subsuelo. Siendo mayor la porosidad asociada a los suelos cercanos a presas como se muestra en la siguiente figura:

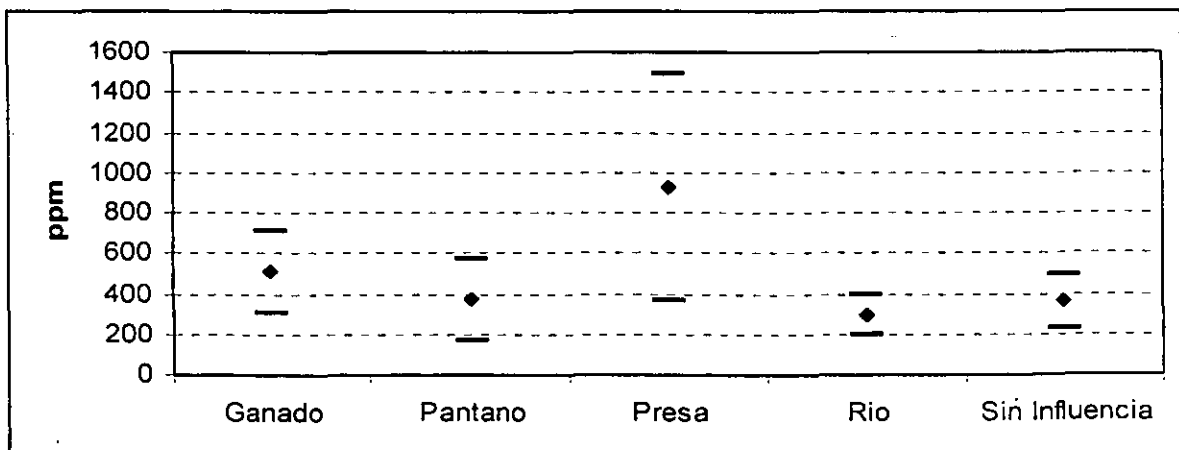
Figura IV.80 Comparación de los promedios de Porosidad en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Tipo de Influencia.



HTP. Los Hidrocarburos Totales del Petróleo en horizontes superficiales se presentaron fuera de los valores de referencia en todos los grupos de datos con excepción de los asociados a agua de uso doméstico, donde el mecanismo de agrupación no arrojó ningún resultado. El menor promedio se registró en los suelos de los muestreos asociados a Ríos.

El intervalo de confianza del grupo de datos asociado a derrames presenta un límite inferior de 1238 ppm y un límite superior de 6111 ppm, lo cual impide la comparación con otros grupos de datos. En la siguiente gráfica se omite este intervalo de confianza y el lugar que ocuparía el intervalo del grupo de datos asociados con agua de uso doméstico para un mejor análisis.

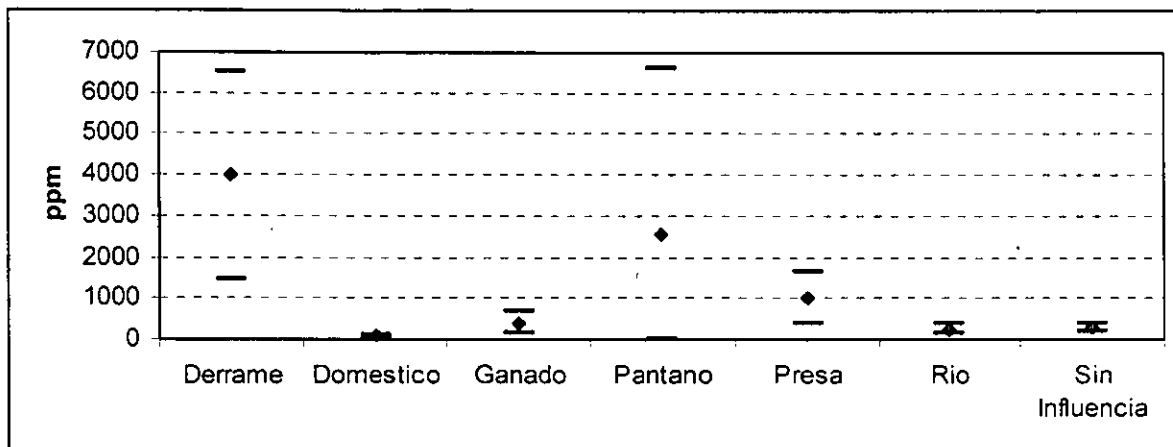
Figura IV.81 Intervalos de confianza del parámetro HTP en horizontes superficiales de la categoría Tipo de Influencia.



Al omitir el intervalo de confianza de "derrames" en esta gráfica se puede observar como solo los datos relacionados con Presas son mayores a lo encontrado en otros grupos, cabe señalar que en todos los casos los promedios son superiores al valor de referencia y de los registros individuales solo 2 de 178 son menores a esta.

Para los horizontes del subsuelo, el mayor promedio encontrado se reporta para los suelos asociados a derrames seguido por los suelos de pantanos, en tanto que las menores concentraciones se presentaron en los suelos asociados a aguas de uso doméstico.

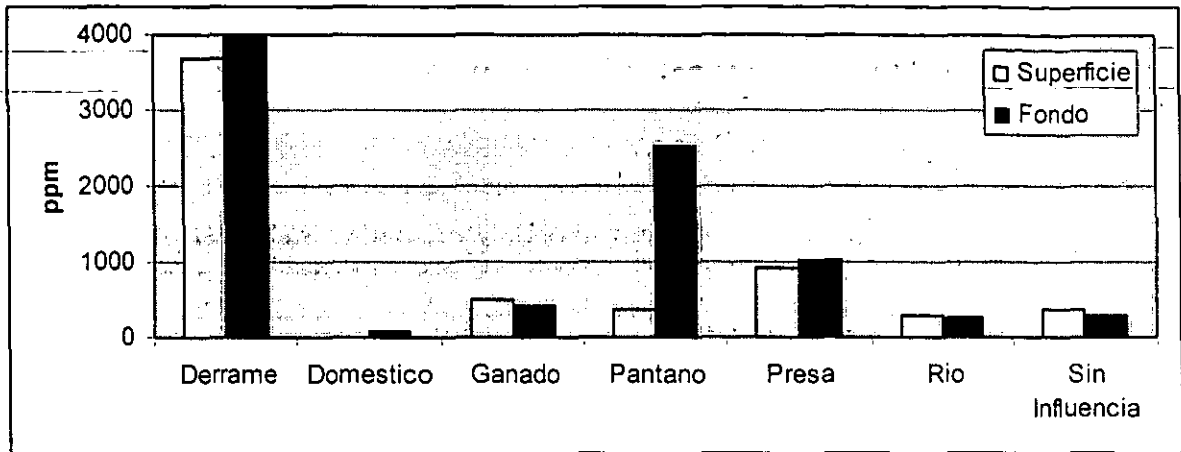
Figura IV.82 Intervalos de confianza del parámetro HTP en horizontes del subsuelo de la categoría Tipo de Influencia.



En el caso del subsuelo, no se omitieron los intervalos de confianza para mostrar como la variación en el caso de los datos asociados a pantanos es mayor incluso que el intervalo de confianza de derrames donde se registró el mayor promedio. Hay mucha diferencia entre los grupos de datos anteriormente mencionados y el resto de las agrupaciones, sin embargo cabe mencionar que Ganado, Río y datos sin Influencia aparente, se presentaron de manera muy semejante, mientras que los resultados de las presas fueron mayores.

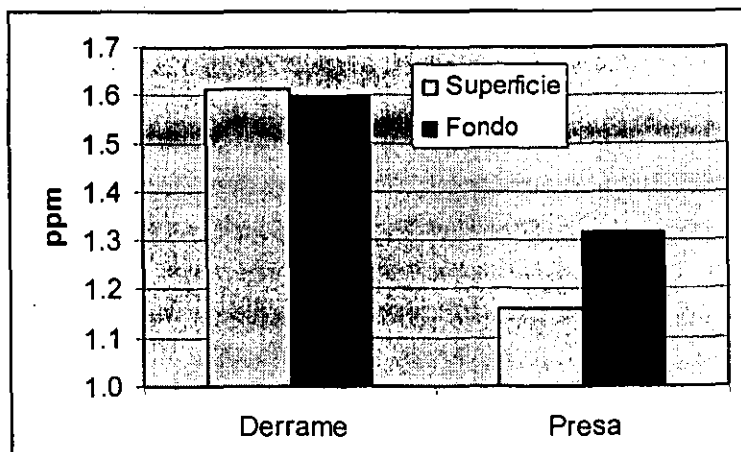
Las diferencias entre los promedios de datos agrupados por tipo de influencia de horizontes superficiales y del subsuelo pueden observarse más claramente en la siguiente figura IV.83 donde se pueden observar las diferencias claramente marcadas entre los dos niveles de muestreo en suelos de datos agrupados por tipo de influencia, se hace notar que en el caso de los datos asociados a Pantanos, el contenido de Hidrocarburos Totales del Petróleo en los horizontes del subsuelo es mucho mayor a la diferencia registrada para otros grupos, esta particularidad puede estar relacionada con la retención de hidrocarburos por materia orgánica contenida en los horizontes del subsuelo.

Figura IV.83 Comparación de los promedios de HTP en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Tipo de Influencia.



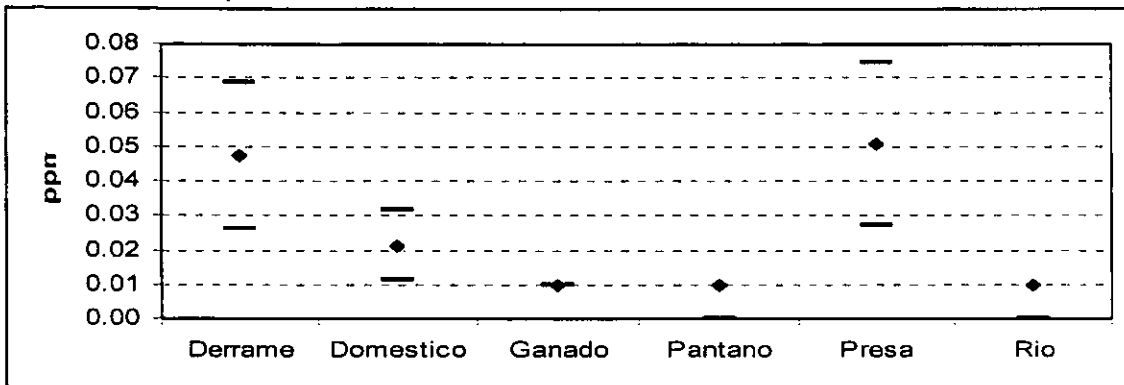
Bario. Este metal sólo se evaluó en los grupos asociados a Derrames y Presas, tanto en el horizonte superficial como en el subsuelo, por lo que es más sencillo analizar el comportamiento en la figura IV.84 donde se observa como los promedios de bario en suelos de derrames tanto en el horizonte superficial como en subsuelo, son mayores a lo registrado para las presas. En este último grupo de datos se observa que las concentraciones del horizonte superficial son menores a las del subsuelo. Todos los promedios estuvieron por debajo de los valores de referencia.

Figura IV.84 Comparación de los promedios de bario en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Tipo de Influencia.



Níquel. El Ni en horizontes superficiales presentó concentraciones muy bajas, para el arreglo de datos según su tipo de influencia, los grupos Ganado, Pantano y Río se registraron con promedios menores al límite de detección mientras que los datos sin influencia aparente no arrojaron resultados en el análisis de este metal.

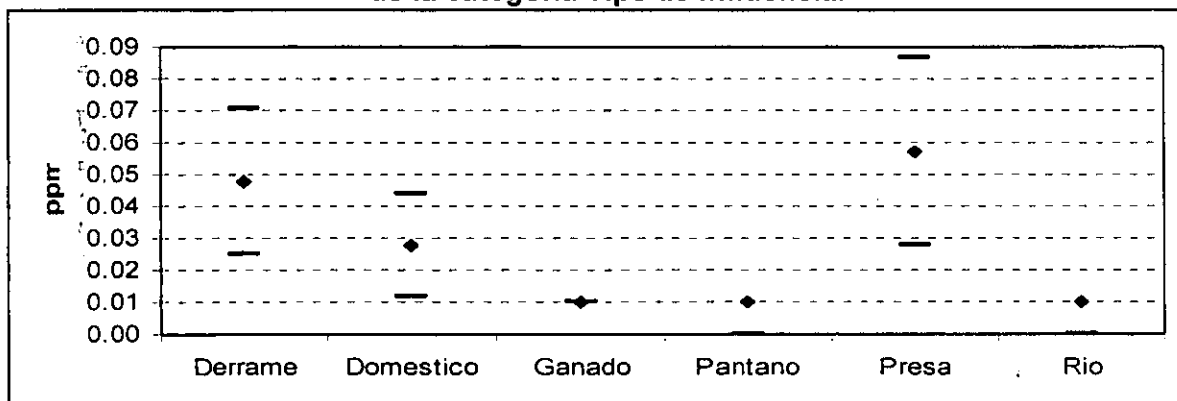
Figura IV.85 Intervalos de confianza del parámetro níquel en horizontes superficiales de la categoría Tipo de Influencia.



Como se muestra en la figura anterior los suelos superficiales con mayores concentraciones de níquel se presentaron asociados a los derrames y las presas seguidos por los datos asociados a agua de uso doméstico donde la variabilidad de datos fue menor y por lo tanto su intervalo de confianza es más estrecho.

Para los horizontes del subsuelo el comportamiento de este metal es el mismo aumentando la variabilidad en los datos asociados a agua de uso doméstico y con un incremento mínimo en la concentración de los grupos derrame, doméstico y presa (figura IV.86).

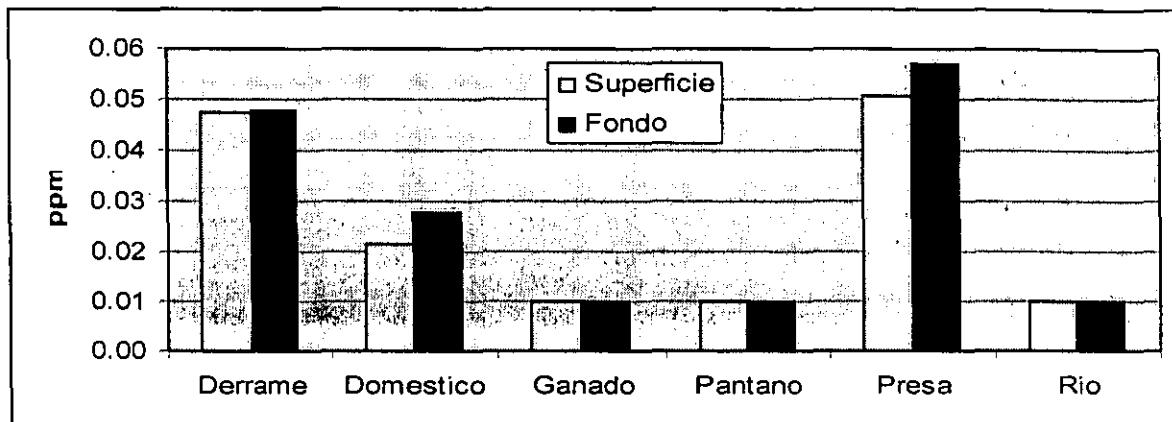
Figura IV.86 Intervalos de confianza del parámetro níquel en horizontes del subsuelo de la categoría Tipo de Influencia.



En la comparación de promedios del horizonte superficial y los horizontes del subsuelo puede apreciarse como las diferencias son mínimas entre los dos niveles de muestreo

sobretudo en los datos relacionados con derrames en tanto que los grupos Ganado, Pantano y Río se mantienen en el límite de detección para ambas profundidades (figura IV.87)

Figura IV.87 Comparación de los promedios de níquel en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Tipo de Influencia.



Plomo. El Pb se presentó en muy bajas concentraciones en un comportamiento semejante al del níquel. Tanto para los muestreos realizados en el horizonte superficial como los del subsuelo, el promedio con mayor concentración se encuentra cuando se agrupan los datos relacionados con presas. La agrupación de datos sin influencia aparente para este parámetro no arrojó ningún resultado.

Para los horizontes superficiales los datos agrupados por su relación con agua de uso doméstico, con pantanos o con ríos presentaron todos sus registros por debajo del límite de detección. Como se muestra en la figura IV.88 los grupos Derrame, Presa y Ganado tienen una variabilidad semejante, aunque este último en menor concentración.

En los horizontes del subsuelo las concentraciones son mayores pero se conserva la amplitud de los intervalos de confianza, solo el grupo de datos relacionados con agua de uso doméstico incrementa su promedio y amplía su intervalo de confianza como se muestra en la figura IV.89. La diferencia entre los niveles de muestreo (horizonte superficial y del subsuelo) para el plomo en la agrupación por tipo de influencia se muestra en la figura IV.90 donde de cabe señalar que la mayor disparidad entre niveles de muestreo se encuentra en los datos agrupados por su asociación con presas, los grupos de datos Doméstico y Derrame presentan diferencias mínimas, para Pantano y Río los promedios de concentración de plomo en suelos son iguales.

Figura IV.88 Intervalos de confianza del parámetro plomo en horizontes superficiales de la categoría Tipo de Influencia.

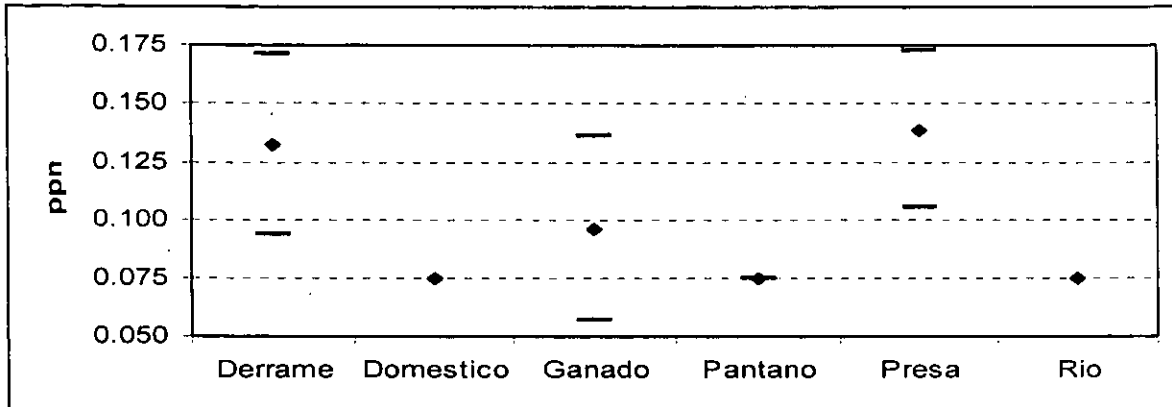


Figura IV.89 Intervalos de confianza del parámetro plomo en horizontes del subsuelo de la categoría Tipo de Influencia.

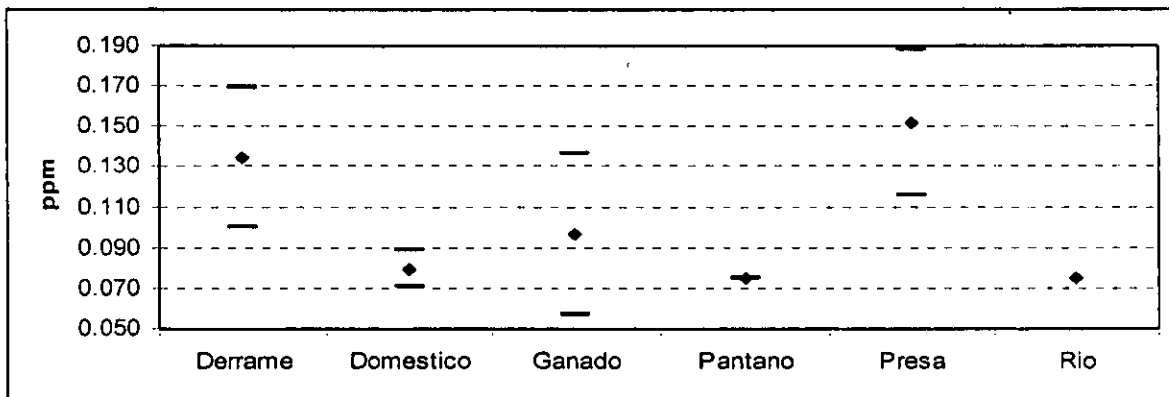
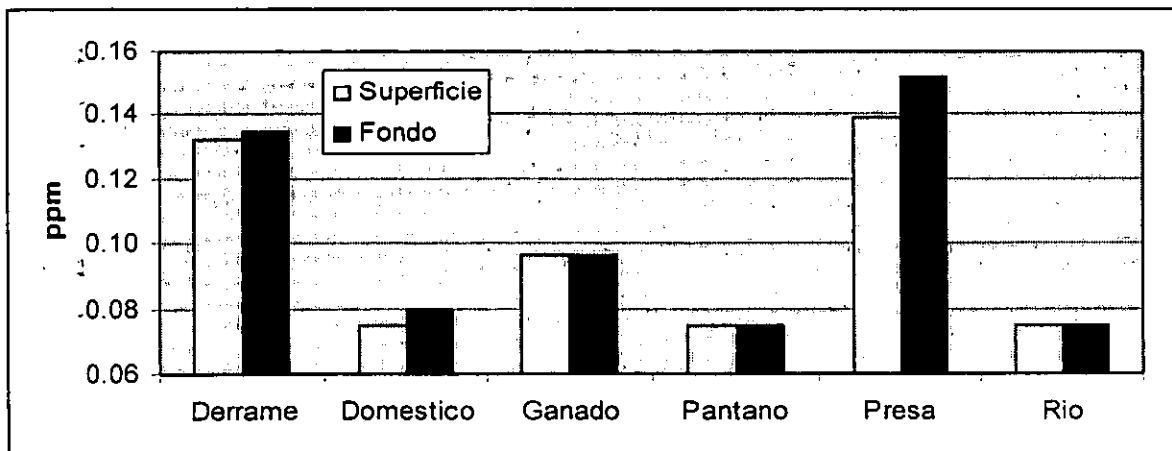


Figura IV.90 Comparación de los promedios de plomo en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Tipo de Influencia.



Discusión de la variable Tipo de Influencia

En esta variable, se hace notar que las altas concentraciones de sales, han afectado los suelos y los mantos freáticos en lugares específicos asociados a la disposición de salmuera sobre presas de desechos, por lo que se consideran un efecto colateral a los derrames de hidrocarburos (en su mayor parte debido al robo de ductos) y en donde se presentan procesos de infiltración de agua congénita altamente salina, que acompaña al petróleo, cuando este es extraído de los yacimientos.

Para el Benceno, solo en casos particulares (derrame de la Batería Giraldas, Presas de desechos de Samaria II, y del pozo Giraldas 72) se encontraron concentraciones altas de este parámetro, se puede considerar que las aguas de uso doméstico tienen más influencia de benceno por otro tipo de productos utilizados que por la producción de petróleo. Así mismo el Tolueno presenta el mismo comportamiento que puede ser propiciado más por el uso de agroquímicos que por la extracción de hidrocarburos. Este tipo de condiciones denota que solo bajo condiciones drásticas de contaminación los orgánicos volátiles pueden ser muy útiles en el diagnóstico de sitios contaminados.

El plomo no presenta cambios representativos en la variable tipo de influencia, lo cual puede interpretarse debido a que este metal se encuentra asociado a las actividades de refinación y no de exploración y producción. Tomando en cuenta el origen del plomo, los mayores efectos se esperarían en zonas urbanas, sin embargo en el criterio doméstico se encontraron bajas concentraciones distribuidas en su mayoría en zonas de muy baja densidad de población.

Es consistente que a excepción del benceno y el tolueno las mejores condiciones en cuanto a los parámetros analizados fueron encontradas en las norias relacionadas con el uso doméstico, lo cual es un buen indicador de la calidad del agua utilizada. Sin embargo también fue consistente que en la mayor parte de los metales, las concentraciones más altas fueron encontradas en la agrupación de datos sin influencia, estos valores pueden estar asociados a otra característica que no fue evidente al momento del muestreo, por lo que este resultado sobresaliente puede considerarse como ocasional no relacionado con la industria petrolera.

Para el caso de los suelos, los puntos de muestreo relacionados con derrames y presas fueron los que presentaron las concentraciones más altas en los parámetros analizados, en algunos casos estas concentraciones no sobrepasan los valores de referencia, pero establecen una tendencia que al ser comparada con los demás tipos de influencia se encuentran diferencias significativas.

En cuanto a los hidrocarburos totales del petróleo en suelos los efectos más importantes están relacionados a derrames y a presas como era de esperarse, sin embargo cabe señalar que en los pantanos, los HTP se han retenido en los horizontes del subsuelo a diferencia de los horizontes superficiales, donde el constante lavado por los efectos de inundaciones, tiende a removerlos hacia otras zonas o a dispersarse.

Categoría 6: Textura en horizontes superficiales

Variables para esta categoría: **Arcilla, Arena, Arena Migajosa, Migajón arcilloso, Migajón arenoso, Migajón limoso.**

La posición de esta categoría con respecto a todas las categorías y sus variables categóricas se esquematiza en el Cuadro Guía, mientras que los resultados de los datos agrupados por las diferentes variables se pueden consultar en el Cuadro IV.6.

Cuadro Guía: Categorías, variables y parámetros analizados

Categorías	Variables Categóricas	Parámetros Analizados	
Etapa	Local Intermedia Regional	Agua Freática	Suelos
Tipo de muestreo	Noria Pozo	Salinidad	Porosidad
Zona Ecogeográfica	Barra Costera Llanura Aluvial Alta Llanura Aluvial Baja Terrazas Miocénicas	pH	HTP
Taxonomía de suelos	Alisol Antrosol Arenosol Cambisol Fluvisol Gleysol Histosol Vertisol	Benceno	Bario
Tipo de influencia	Derrame Doméstico Ganado Pantano Presa Río sin influencia	Tolueno	Níquel
Textura en horizontes superficiales	Arcilla Arena Arena Migajosa Migajón arcilloso Migajón arenoso Migajón limoso	HTP	Plomo
Textura en horizontes del subsuelo	Arcilla Arena Arena Migajosa Migajón arcilloso Migajón arenoso Migajón limoso	Vanadio	
		Plomo	
		Cromo	
		Cadmio	
		Níquel	
		Bario	

Cuadro IV.6 Datos agrupados por textura en horizontes superficiales

REFERENCIA*	1	6 a 7.9	5	24	0.2	0.1	0.05	0.05	0.01	0.2	1		40	200	20	25		40	200	20	25
	pp mil		ppb	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm
Arcilla	Salinidad	pH	Benceno	Tolueno	HTP	Vanadio	Plomo	Cromo	Cadmio	Niquel	Bario	Porosidad (S)	TPH (S)	Ba (S)	Ni (S)	Pb (S)	Porosidad (F)	TPH (F)	Ba (F)	Ni (F)	Pb (F)
Media	0.89	6.65	1.48	1.54	0.24	0.036	0.0444	0.0308	0.0144	0.2157	1.926	SR	348.44	SR	0.01	0.075	SR	226.40	SR	0.01	0.075
Des. Est.	0.76	0.30	0.19	0.51	0.14	0.099	0.0284	0.0269	0.0098	0.1910	2.291	SR	181.82	SR	0.00	0.000	SR	152.44	SR	0.00	0.000
Varianza	0.58	0.09	0.04	0.26	0.02	0.010	0.0008	0.0007	0.0001	0.0365	5.247	SR	33057.23	SR	0.00	0.000	SR	23238.02	SR	0.00	0.000
Maximo	2.23	7.20	1.82	2.26	0.47	0.350	0.0900	0.0880	0.0340	0.6070	6.770	SR	604.80	SR	0.01	0.075	SR	517.30	SR	0.01	0.075
Minimo	0.04	6.10	1.07	0.25	0.05	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	SR	156.00	SR	0.01	0.075	SR	48.99	SR	0.01	0.075
N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	SR	8	SR	3	3	SR	11	SR	3	3
Migajón Arcilloso	Salinidad	pH	Benceno	Tolueno	HTP	Vanadio	Plomo	Cromo	Cadmio	Niquel	Bario	Porosidad (S)	TPH (S)	Ba (S)	Ni (S)	Pb (S)	Porosidad (F)	TPH (F)	Ba (F)	Ni (F)	Pb (F)
Media	1.27	6.21	1.09	1.66	0.48	0.036	0.0564	0.0185	0.0091	0.1674	1.354	51.05	406.23	0.94	0.04	0.169	53.13	277.76	1.76	0.06	0.136
Des. Est.	2.42	0.65	0.73	2.08	0.81	0.093	0.0589	0.0238	0.0093	0.3473	3.308	1.16	258.48	0.60	0.07	0.180	1.12	237.28	0.06	0.08	0.118
Varianza	5.86	0.42	0.54	4.34	0.65	0.009	0.0035	0.0006	0.0001	0.1206	10.945	1.34	66812.28	0.36	0.01	0.032	1.26	56303.61	0.00	0.01	0.014
Maximo	10.55	7.51	2.48	12.61	3.84	0.350	0.2370	0.1050	0.0340	1.8370	17.120	52.72	936.00	1.68	0.30	0.680	54.61	936.00	1.85	0.30	0.470
Minimo	0.01	5.13	0.25	0.25	0.05	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	49.86	138.00	0.19	0.01	0.075	51.52	38.91	1.68	0.01	0.075
N	31	31	31	31	30	31	31	31	31	31	31	4	19	4	16	16	4	31	4	16	16
Migajón Limoso	Salinidad	pH	Benceno	Tolueno	HTP	Vanadio	Plomo	Cromo	Cadmio	Niquel	Bario	Porosidad (S)	TPH (S)	Ba (S)	Ni (S)	Pb (S)	Porosidad (F)	TPH (F)	Ba (F)	Ni (F)	Pb (F)
Media	0.45	7.16	1.19	1.41	0.14	0.005	0.0333	0.0085	0.0054	0.0470	0.237	SR	170.35	SR	0.01	0.075	SR	62.32	SR	0.01	0.075
Des. Est.	0.20	0.56	0.52	0.54	0.06	0.000	0.0413	0.0138	0.0070	0.0703	0.339	SR	0.65	SR	0.00	0.000	SR	54.56	SR	0.00	0.000
Varianza	0.04	0.31	0.28	0.29	0.00	0.000	0.0017	0.0002	0.0000	0.0049	0.115	SR	0.42	SR	0.00	0.000	SR	2976.67	SR	0.00	0.000
Maximo	0.76	8.29	1.64	2.07	0.25	0.005	0.1200	0.0500	0.0260	0.1970	1.160	SR	171.00	SR	0.01	0.075	SR	171.00	SR	0.01	0.075
Minimo	0.17	6.33	0.25	0.25	0.04	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	SR	169.70	SR	0.01	0.075	SR	5.00	SR	0.01	0.075
N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	SR	2	SR	7	9	SR	11	SR	7	9
Migajón Arenoso	Salinidad	pH	Benceno	Tolueno	HTP	Vanadio	Plomo	Cromo	Cadmio	Niquel	Bario	Porosidad (S)	TPH (S)	Ba (S)	Ni (S)	Pb (S)	Porosidad (F)	TPH (F)	Ba (F)	Ni (F)	Pb (F)
Media	3.13	5.88	37.50	0.60	0.59	0.019	0.0524	0.0183	0.0067	0.0763	0.242	53.40	818.54	1.34	0.03	0.138	53.43	698.85	1.45	0.04	0.157
Des. Est.	10.05	1.11	218.05	0.63	0.91	0.036	0.0782	0.0280	0.0107	0.1092	0.360	6.37	1343.04	0.70	0.05	0.149	6.03	1783.98	0.72	0.07	0.169
Varianza	100.96	1.24	47547.50	0.39	0.83	0.001	0.0061	0.0008	0.0001	0.0119	1.360	40.62	1803767.74	0.49	0.00	0.022	36.36	3182567.47	0.52	0.01	0.078
Maximo	56.27	7.87	1694.73	2.46	4.85	0.180	0.3500	0.1700	0.0520	0.5420	2.120	71.87	6746.00	3.18	0.25	0.830	69.66	12611.00	3.69	0.36	0.890
Minimo	0.00	3.13	0.25	0.25	0.04	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	35.39	43.00	0.31	0.01	0.075	40.00	3.90	0.52	0.01	0.075
N	67	67	65	65	67	66	67	67	67	67	67	43	53	43	56	60	43	66	43	56	60
Arena Migajosa	Salinidad	pH	Benceno	Tolueno	HTP	Vanadio	Plomo	Cromo	Cadmio	Niquel	Bario	Porosidad (S)	TPH (S)	Ba (S)	Ni (S)	Pb (S)	Porosidad (F)	TPH (F)	Ba (F)	Ni (F)	Pb (F)
Media	2.06	4.65	264.29	380.67	180.26	0.024	0.0521	0.0108	0.0060	0.0523	0.796	53.92	2805.73	1.09	0.08	0.137	53.50	2724.37	1.30	0.08	0.149
Des. Est.	5.13	1.60	1019.22	1328.27	949.91	0.025	0.0658	0.0149	0.0087	0.0794	1.308	9.01	4718.07	0.55	0.15	0.144	8.54	5756.17	0.74	0.18	0.151
Varianza	26.36	2.55	1038810.68	1764301.58	902320.51	0.001	0.0043	0.0002	0.0001	0.0063	1.711	81.19	22260188.41	0.30	0.02	0.021	72.88	33133435.81	0.55	0.03	0.023
Maximo	23.39	7.88	6000.00	6000.00	6000.00	0.120	0.3000	0.0860	0.0390	0.3800	6.000	78.69	16660.00	2.87	0.60	0.610	78.69	29813.00	2.95	0.66	0.610
Minimo	0.00	1.57	0.25	0.25	0.10	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	30.33	37.00	0.21	0.01	0.075	37.83	16.43	0.21	0.01	0.075
N	38	38	40	40	40	38	39	39	39	39	39	34	37	34	41	41	33	41	33	41	41
Arena	Salinidad	pH	Benceno	Tolueno	HTP	Vanadio	Plomo	Cromo	Cadmio	Niquel	Bario	Porosidad (S)	TPH (S)	Ba (S)	Ni (S)	Pb (S)	Porosidad (F)	TPH (F)	Ba (F)	Ni (F)	Pb (F)
Media	0.65	5.22	0.54	0.80	9.98	0.039	0.0391	0.0119	0.0036	0.0327	1.480	49.70	2195.64	1.52	0.03	0.086	50.81	2013.23	1.45	0.04	0.088
Des. Est.	1.18	1.22	0.67	0.78	76.42	0.060	0.0549	0.0119	0.0042	0.0561	3.194	6.86	8324.29	0.91	0.07	0.090	8.30	7613.33	0.89	0.07	0.091
Varianza	1.40	1.48	0.45	0.60	5840.20	0.004	0.0030	0.0001	0.0000	0.0031	10.202	47.08	69293802.91	0.83	0.00	0.008	68.85	57962821.36	0.80	0.01	0.008
Maximo	7.80	7.91	4.09	2.61	657.00	0.350	0.3370	0.0530	0.0340	0.2800	23.260	68.28	58440.00	3.52	0.41	0.810	79.96	58440.00	3.52	0.45	0.810
Minimo	0.01	2.70	0.25	0.25	0.04	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	29.50	27.00	0.27	0.01	0.075	29.32	7.41	0.21	0.01	0.075
N	70	73	73	73	73	71	72	72	72	72	72	45	59	51	66	66	46	73	50	66	66

* Los valores de referencia fueron tomados de diferentes fuentes mostradas en el inciso III.8 del capítulo "Desarrollo Metodológico"
 SR= Sin resultados al agrupar los datos. pp mil= partes por mil. ppm= partes por millón. (S)= Horizonte superficial. (F)= Horizontes del subsuelo.

La textura del suelos esta relacionada con el tamaño de las partículas minerales y se puede definir como la proporción relativa de arena, limo y arcilla en el suelo (Gavande, S.A. 1982). Y con ello se puede obtener un gran número de combinaciones que dan origen a las clases texturales. La determinación de la clase textural se basa en las fracciones de arena, limo y arcilla, medida y expresada en porcentaje para posteriormente clasificar mediante el triangulo de texturas de Wiley, (ver anexo A6), (Cavazos y Rodríguez 1992).

Específicamente la clasificación de texturas se basa en la cantidad de partículas menores a 2 mm de diámetro, al respecto se han propuesto diferentes clasificaciones. Para el presente estudio se utilizó la clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, donde las arenas tienen un tamaño entre 0.1 a 2.00 mm, los limos de 0.05 a 0.002 mm y las arcillas con un diámetro menor a los 0.002 mm. (Baver, 1991, Salgado, et al., 1999).

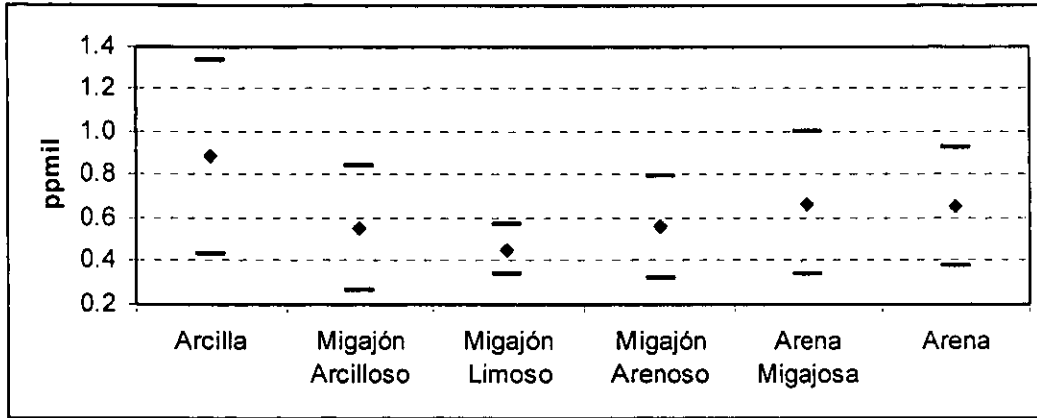
La categoría "Textura en horizontes superficiales" agrupa a seis diferentes características de textura incorporando los tamaños de las partículas encontradas en los suelos superficiales de los muestreos realizados en este estudio. Los datos serán agrupados de acuerdo con la textura encontrada en el horizonte superficial del punto de muestreo y se analizarán los parámetros en cada característica de textura.

El muestreo original analizaba la textura en los suelos muestreados. Esta parte del estudio propone el análisis de los parámetros relacionándolos con cada tipo de textura, y tomando en cuenta que esta puede ser diferente en el horizonte superficial o en los diferentes estratos.

- Agua Freática

Salinidad. La mayor salinidad en agua freática se presentó en suelos caracterizados por ser migajones arenosos seguidos por arenas migajosas y migajones arcillosos, estos grupos de datos se encuentran por arriba de los valores de referencia, sin embargo, con anterioridad se conocían los problemas de salinidad en algunas zonas de los campos Samaria-Iride, por lo que, si se eliminan doce datos correspondientes a la deshidratadora Samaria II, la CAB Cunduacán, y la batería Iride II, se obtiene un resultado más objetivo del comportamiento de la salinidad en las aguas freáticas relacionadas a diferentes tamaños de partículas encontrados en los horizontes superficiales, como se muestra en la figura IV.91.

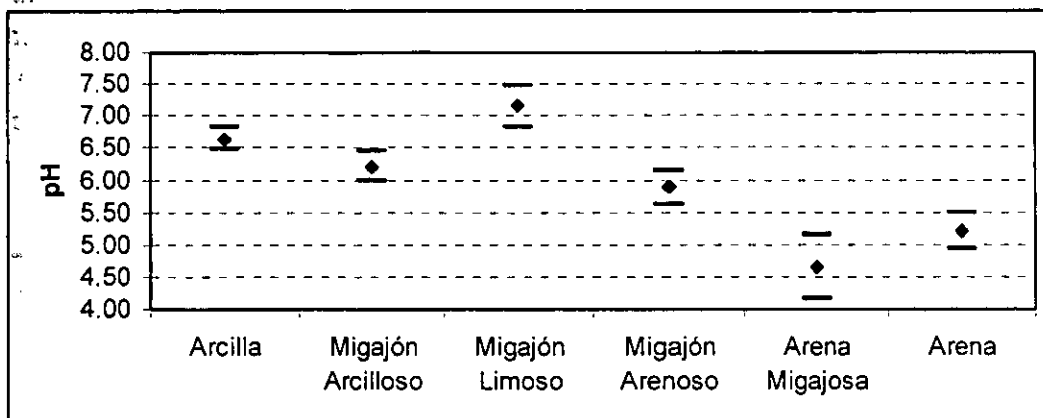
Figura IV.91 Intervalos de confianza del parámetro Salinidad en agua freática de la categoría Textura de horizontes superficiales.



En este arreglo de datos puede observarse como todos los promedios están por debajo del valor de referencia (1.0 partes por mil). Con excepción de las arcillas, no hay diferencias significativas entre la salinidad en agua freática encontrada en los suelos superficiales de textura de migajón arcilloso, limoso, arenoso, arena migajosa o arena.

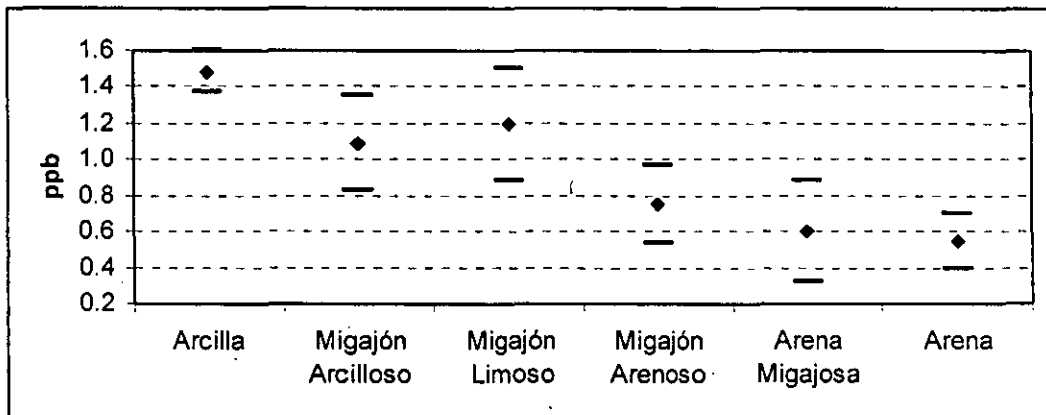
pH. El pH presenta valores dentro de los límites de referencia en los migajones y en la arcilla; mientras que las arenas reportan aguas freáticas más ácidas, en todas las agrupaciones se muestran diferencias significativas y se observa una ligera tendencia donde los tamaños de partícula mayores están relacionados con la mayor acidez del agua freática. (ver figura IV.92)

Figura IV.92 Intervalos de confianza del parámetro pH en agua freática de la categoría Textura de horizontes superficiales.



Benceno. El Benceno en agua freática se presentó en concentraciones superiores a los valores de referencia en los horizontes superficiales de tipo arena migajosa y migajón arenoso; las demás texturas estuvieron muy por debajo del valor de referencia (5 ppb) como se puede observar en el cuadro IV.6. Este comportamiento obedece a las altas concentraciones encontradas en el derrame de la batería Giraldas, Pozo 72 de Giraldas y las fosas de desechos de la deshidratadora Samaria II. Para un análisis objetivo de los datos encontrados se omitieron los datos extremos de estos sitios, la representación gráfica se muestra en la figura IV.93.

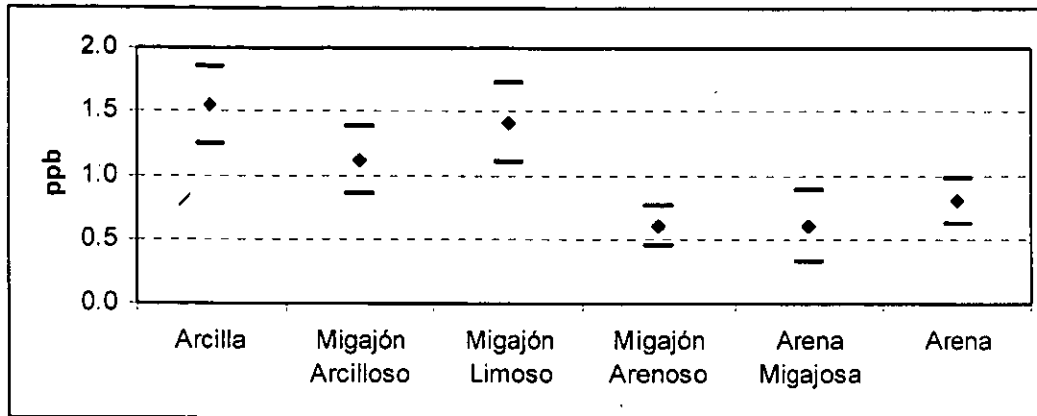
Figura IV.93 Intervalos de confianza del parámetro Benceno en agua freática de la categoría Textura de horizontes superficiales.



Después de haber eliminado los datos extremos se observa que todos los intervalos de confianza están por debajo de la concentración utilizada como referencia para benceno en agua (5 ppb). Se puede decir que no hay diferencia significativa entre algunos de los grupos de texturas, como el migajón arcilloso y el migajón limoso, el migajón arenoso y la arena migajosa, sin embargo en los puntos promedio de cada grupo textural puede observarse que a mayor tamaño de partícula menor concentración de Benceno en agua freática.

Tolueno. Este parámetro presenta concentraciones bajas, con excepción de suelos con textura de arena migajosa, donde el promedio encontrado sobrepasa por mucho los valores de referencia; sin embargo son 4 datos nuevamente los que arrastran el promedio hasta 380.67 ppb. Si se omiten estos cuatro valores extremos se obtiene un promedio de 0.60 ppb lo cual es muy diferente de lo encontrado con la totalidad de los datos. Para hacer una buena comparación de resultados se omitirán estos valores en el análisis gráfico mostrado en la figura IV.94.

Figura IV.94 Intervalos de confianza del parámetro Tolueno en agua freática de la categoría Textura de horizontes superficiales.



Las concentraciones de Tolueno al haber omitido los datos extremos presentan una ligera tendencia parecida a la del Benceno, donde las mayores concentraciones se presentan asociadas a los mayores tamaños de partícula, en este análisis se pueden distinguir dos grupos de datos: uno en el cual los horizontes superficiales contienen arenas y el otro en el cual carecen de ellas, éste último presenta las mayores concentraciones, muy por debajo del valor de referencia (24 ppb). Al no encontrar un gradiente continuo como en el benceno, la baja presencia de tolueno puede estar asociada a la alta permeabilidad que caracteriza a las arenas.

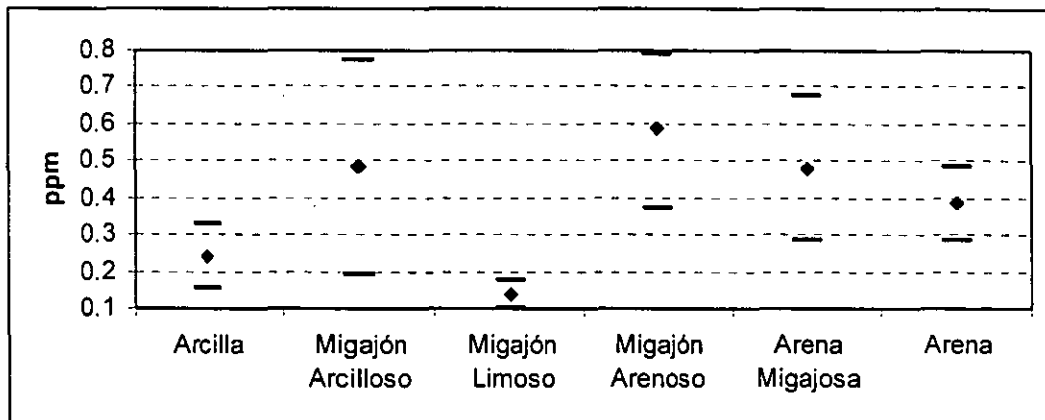
HTP. Los Hidrocarburos Totales del Petróleo se presentaron en concentraciones menores al valor de referencia solo para la textura de tipo migajón limoso, en todos los demás tipos de textura se sobrepasó el valor de referencia (0.2 ppm) encontrándose el promedio más alto en las arenas migajosas.

Para poder realizar un análisis gráfico, se eliminarán los datos extremos en las arenas migajosas, pasando de un promedio de 180.26 ppm a un promedio de 0.48 ppm. Mientras que para las arenas siguiendo el mismo proceso se tomará un promedio de 0.39 ppm en lugar de 9.98 ppm. Como se muestra en la figura IV.95.

Al haber omitido los datos extremos, las texturas con arenas se separan de las arcillas y del migajón limoso formando un solo grupo, se observa como este grupo presenta una ligera tendencia hacia menores concentraciones de hidrocarburos, mientras mayor sea el porcentaje de arena. Este comportamiento está relacionado con la permeabilidad de la

arena y las continuas inundaciones sobretodo en la planicies aluviales, no se debe dejar de tomar en cuenta que estamos hablando de agua freática y que las características de textura son las de los horizontes superficiales.

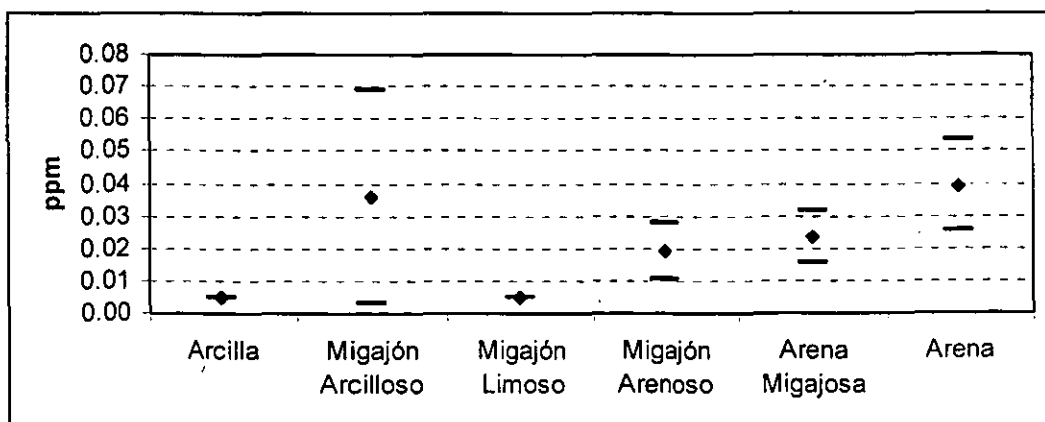
Figura IV.95 Intervalos de confianza del parámetro HTP en agua freática de la categoría Textura de horizontes superficiales.



Vanadio. El V se presentó en concentraciones por debajo de los valores de referencia en todos los grupos de datos por textura de horizontes superficiales, incluso en el migajón limoso todos los datos estuvieron por debajo del límite de detección.

Para el caso de este metal, en las arcillas solo se presentó un dato con concentración mayor al límite de detección por lo que se considera ocasional, desvirtúa el resultado y se eliminó del análisis gráfico, para migajón arcilloso ocurre lo mismo con cinco datos pero en este caso al ser más del 10%, si son tomados en cuenta para el análisis gráfico

Figura IV.96 Intervalos de confianza del parámetro vanadio en agua freática de la categoría Textura de horizontes superficiales.

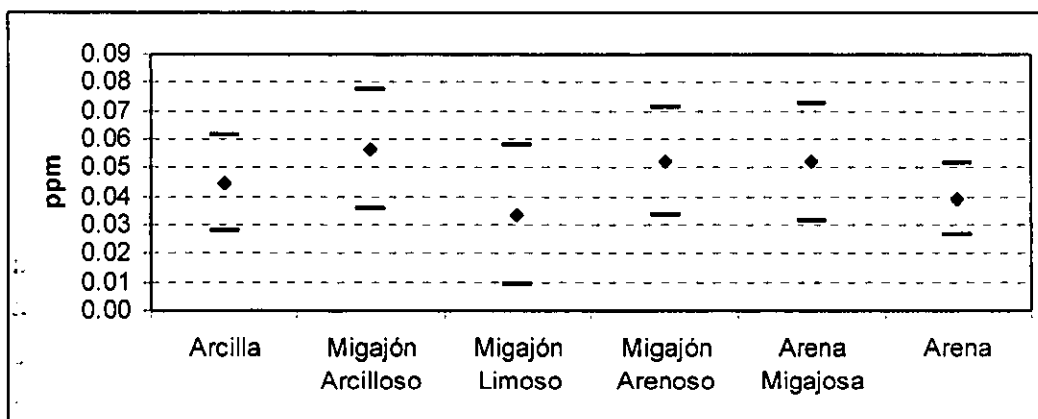


El promedio de concentración más alto fue para la arena seguido muy de cerca por el migajón arcilloso, la mayor variabilidad se presentó en este último tamaño de partículas, pues el 84% de sus datos son menores al límite de detección. Si se omitieran los cinco datos registrados en el migajón arcilloso, tendríamos que el vanadio en agua freática solo se presenta cuando la textura de los horizontes superficiales contiene arenas. (ver figura IV.96)

Plomo. Este metal en agua freática se registró en los promedios de datos de Arena migajosa, Migajón arcilloso y Migajón Arenoso apenas rebasando el valor de referencia (0.05 ppm). El promedio con menor concentración se presentó en el migajón limoso mientras que el más alto fue en el migajón arcilloso.

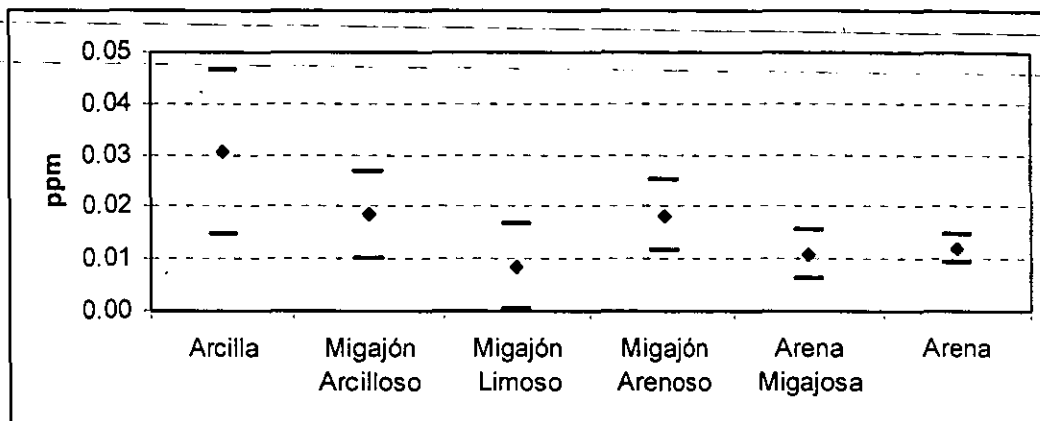
La mayor parte de los promedios encontrados oscilan entre 0.04 y 0.06 ppm y los intervalos de confianza son muy semejantes, no hay diferencias significativas entre los diferentes tamaños de partícula en horizontes superficiales por lo que se considera que el plomo está distribuido uniformemente en todas las texturas de los horizontes superficiales, es decir que la textura en los horizontes superficiales no parece tener relación con el contenido de plomo en agua freática. (ver figura IV.97)

Figura IV.97 Intervalos de confianza del parámetro plomo en agua freática de la categoría Textura de horizontes superficiales.



Cromo. Los promedios encontrados para Cr en agua freática no sobrepasaron el valor de referencia en ningún tipo de textura, el promedio más alto fue registrado para las arcillas, en tanto que el más bajo detectable se encontró en el Migajón limoso.

Figura IV.98 Intervalos de confianza del parámetro cromo en agua freática de la categoría Textura de horizontes superficiales.

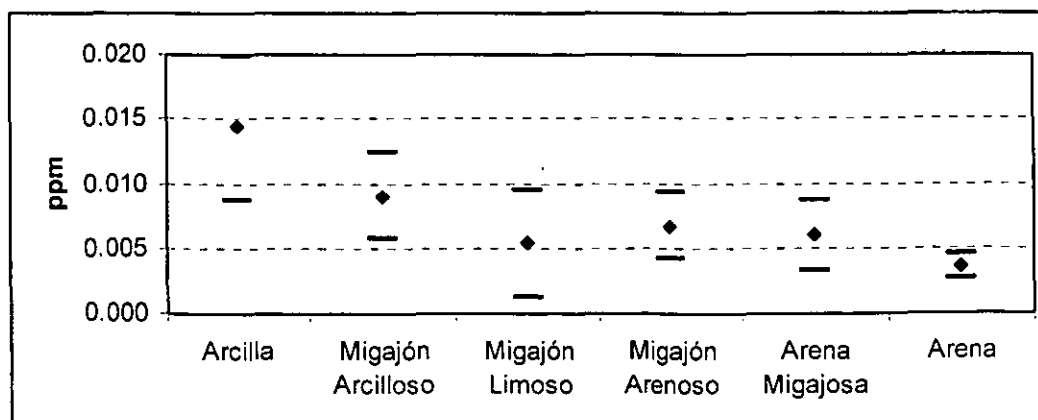


En la gráfica anterior, puede observarse como en los menores tamaños de partícula de los horizontes superficiales, las concentraciones de cromo en el agua freática son mayores y más variadas, a diferencia de los tamaños de partícula más grandes en las arenas, donde las concentraciones son menores y uniformes.

Cadmio. Los promedios de concentración de Cd en agua freática fueron en general bajos, solo en el grupo de datos con textura de arcilla se sobrepasó el valor de referencia. (0.01 ppm), el menor promedio de concentración de cadmio en agua freática así como la menor variabilidad en los datos se presentó en el grupo de las arenas, en tanto que el mayor intervalo lo presentaron las arcillas.

En el análisis gráfico mostrado en la figura IV.99, se observa la misma tendencia del cromo en agua freática, es decir, que mientras mayor sea el tamaño de las partículas que componen los horizontes superficiales, menor es la concentración de cadmio en el agua freática.

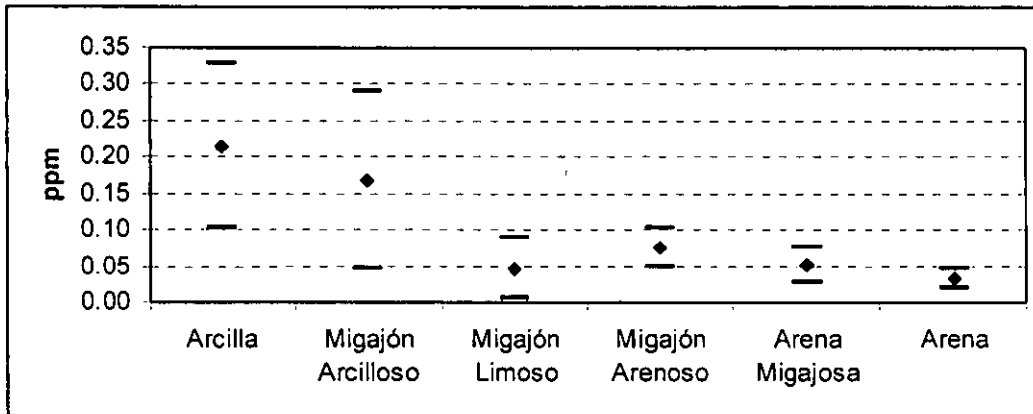
Figura IV.99 Intervalos de confianza del parámetro cadmio en agua freática de la categoría Textura de horizontes superficiales.



Níquel. El Ni en agua freática al igual que el cadmio sobrepasó los valores de referencia cuando la textura en los horizontes superficiales presenta arcilla, siguiendo a esta textura se encuentra el migajón arcilloso con concentraciones muy parecidas pero dentro de los valores de referencia, por lo contrario la menor concentración se observó en las arenas.

Los intervalos de confianza de los datos agrupados por texturas en los horizontes superficiales mostraron ser más amplios en el migajón arcilloso y la arcilla mientras que los intervalos más estrechos o con menos variabilidad en los datos se registraron en las arenas, arenas migajosas y migajón arenoso. Estos resultados pueden observarse claramente en la figura IV.100.

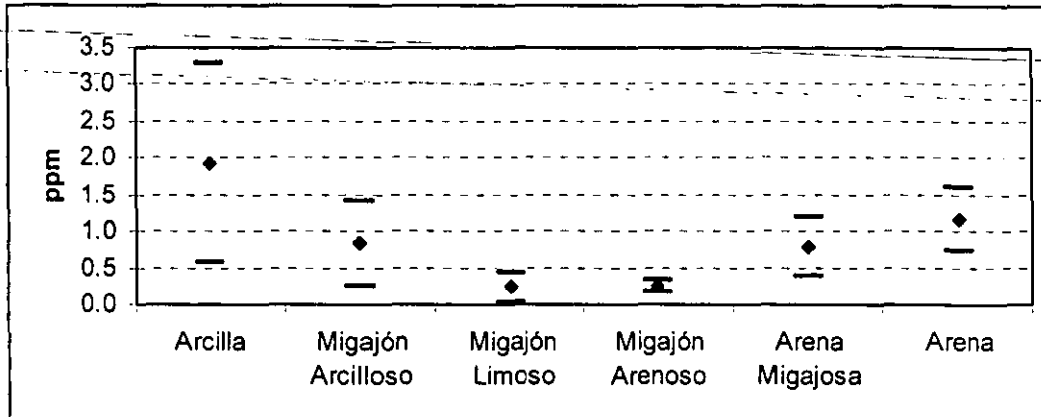
Figura IV.100 Intervalos de confianza del parámetro níquel en agua freática de la categoría Textura de horizontes superficiales.



En el gráfico anterior se observa como la presencia de arcillas en los horizontes superficiales, está relacionada con las mayores concentraciones de níquel en agua freática, estableciendo a las arcillas y al migajón arcilloso como grupos sin diferencias significativas y significativamente diferentes del resto de las texturas encontradas.

Bario. Este metal presentó promedios de concentración superiores al valor de referencia en las arcillas y las arenas, en tanto que las menores concentraciones de bario en agua freática se presentaron en el migajón limoso y en el migajón arenoso. En la figura IV.101 se muestra la tendencia de este metal en relación a los datos de textura superficial.

Figura IV.101 Intervalos de confianza del parámetro bario en agua freática de la categoría Textura de horizontes superficiales.

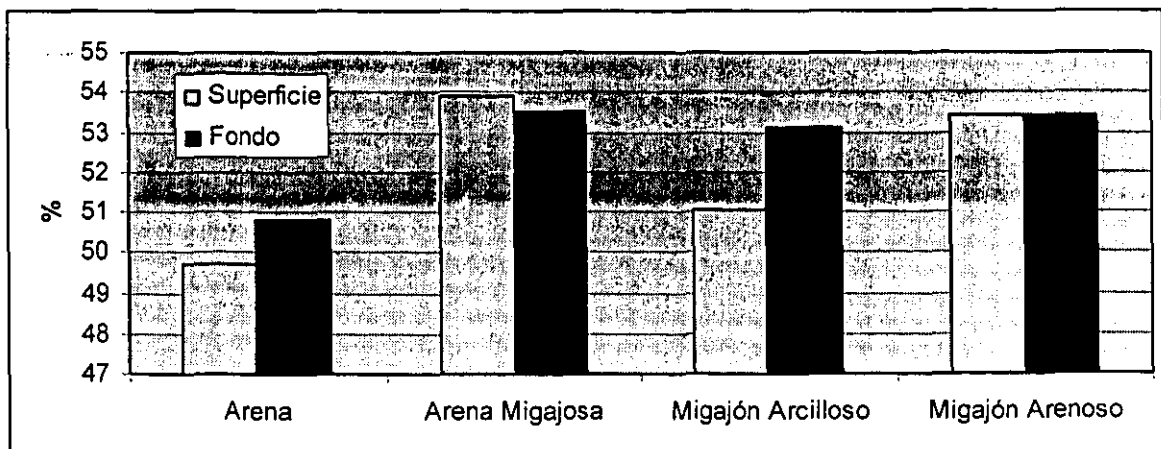


Se observa como en los menores tamaños de partícula se presentaron concentraciones más altas de bario en agua freática, al presentarse concentraciones cercanas al nivel de referencia en las arenas, esta tendencia no es tan clara como en otros metales. Cabe destacar que para una buena interpretación de los datos fueron omitidos dos valores extremos, uno en las arenas de 26.26 ppm y otro en el migajón arcilloso de 17.12 ppm.

- Suelo

Porosidad. La porosidad en el análisis de datos por Textura de horizontes superficiales solo tuvo resultados en las arenas, arenas migajosas, migajones arcillosos y migajones arenosos tanto en horizontes superficiales como en horizontes del subsuelo. En ambos niveles la mayor porosidad se observó en la arena migajosa mientras que la menor porosidad se registró en las arenas.

Figura IV.102. Comparación de los promedios de porosidad superficial y del subsuelo en la categoría Textura de horizontes superficiales.



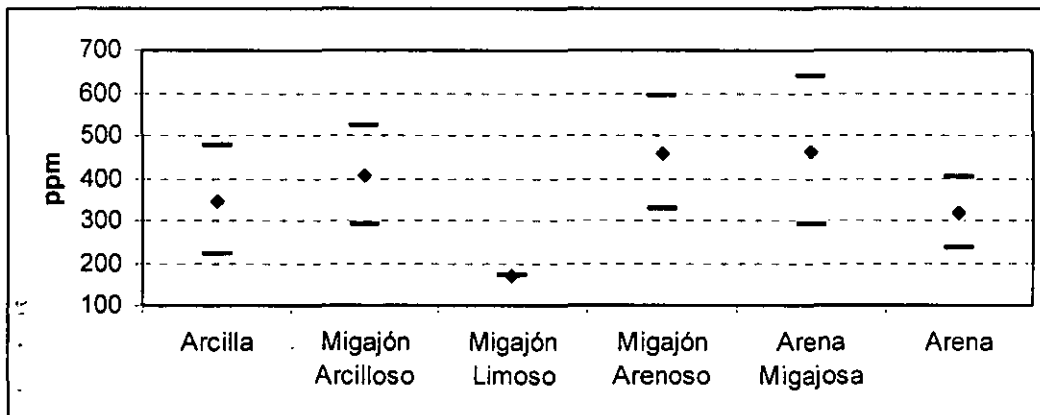
En la figura anterior se observa como las diferencias entre niveles son más marcadas en las arenas y en el migajón arcilloso en tanto que en el migajón arenoso no hay diferencia entre los horizontes superficiales y los horizontes del subsuelo.

HTP. Los hidrocarburos totales del petróleo en suelos fueron superiores al valor de referencia (40 ppm) en todos los tipos de textura tanto para los muestreos de suelos superficiales como para los del subsuelo.

Las mayores concentraciones de HTP se encontraron en arenas y arenas migajosas, mientras que las menores concentraciones de este parámetro las representa el migajón limoso en ambos niveles. Las tendencias de los datos de HTP en suelos agrupados por textura en horizontes superficiales se presentan en las figuras IV.103 y IV.104.

Para hacer el análisis más comparable en el caso de los resultados de los horizontes superficiales se omitieron algunos resultados extremos de sitios con problemas de contaminación conocidos, en el grupo de las arenas, las arenas migajosas y el migajón arenoso.

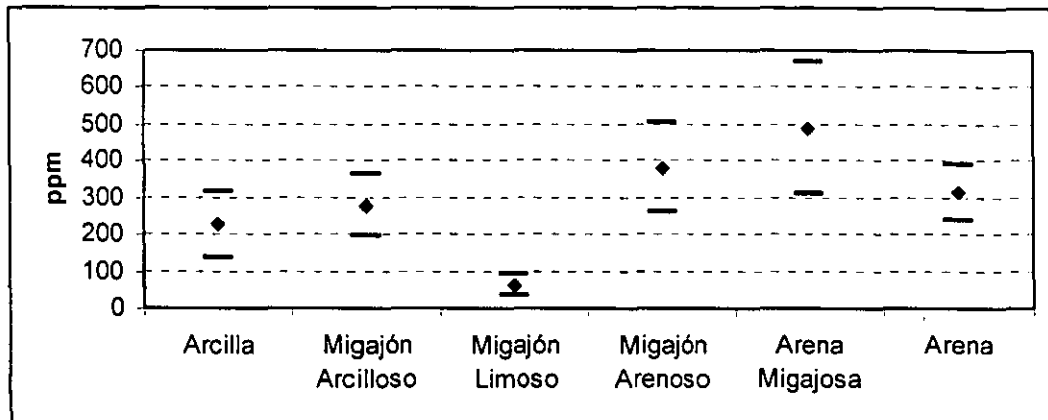
Figura IV.103 Intervalos de confianza del parámetro HTP en horizontes superficiales de la categoría Textura de horizontes superficiales.



Aún cuando se omitieron los valores más altos para poder hacer una mejor comparación gráfica de los resultados obtenidos, los datos clasificados como arenas migajosas siguen siendo los que presentan las concentraciones más altas de HTP, en los tipos de texturas analizados con excepción del migajón limoso no se observan diferencias significativas que puedan caracterizar alguna tendencia que relacione el tamaño de partícula en los horizontes superficiales con los resultados de hidrocarburos totales del petróleo en horizontes superficiales.

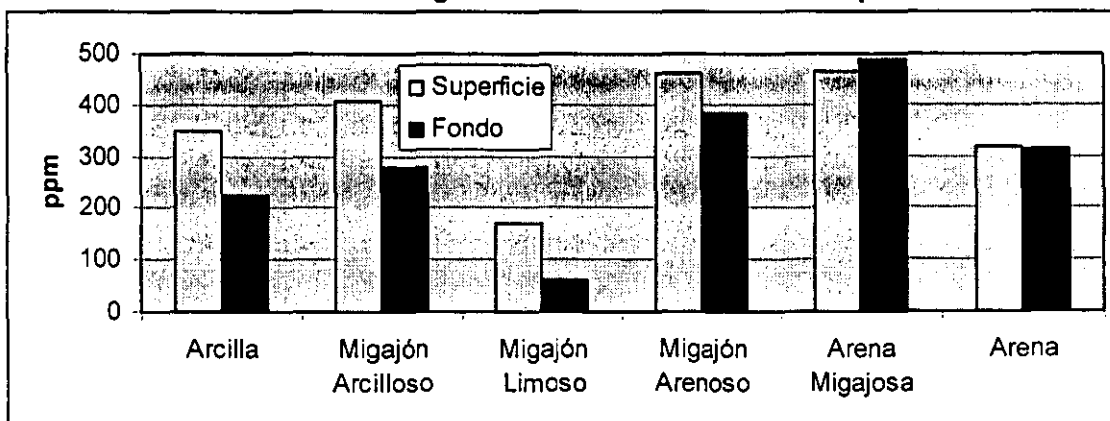
Con la misma intención de poder realizar un análisis gráfico más objetivo, en los horizontes del subsuelo se omitieron los valores más altos en el grupo de las arenas y las arenas migajosas, quedando los promedios en 668.04 ppm y 1319.48 respectivamente.

Figura IV.104 Intervalos de confianza del parámetro HTP en horizontes del subsuelo de la categoría Textura de horizontes superficiales.



Los resultados encontrados en el subsuelo difieren escasamente de los horizontes superficiales, a mayor profundidad se observan menores concentraciones conservándose los promedios más altos en la arena migajosa y los más bajos en el migajón limoso, la diferencia en las concentraciones de HTP en suelos, encontradas en los dos niveles, cuando la textura de los horizontes superficiales tiene cualquiera de estos seis tamaños de partícula, puede observarse en la figura IV.105.

Figura IV.105 Comparación de los promedios de HTP en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Textura de horizontes superficiales.

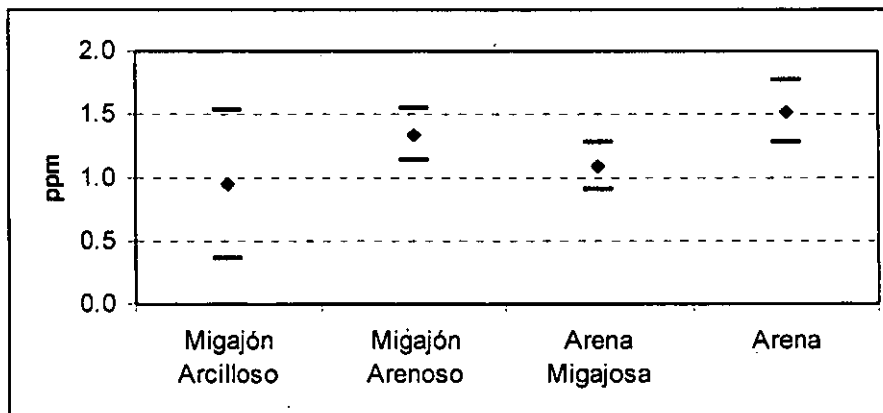


Con excepción de la arena migajosa, en la comparación entre niveles de muestreo se hace evidente que las concentraciones encontradas en los promedios de horizontes del subsuelo, es menor en todas las variables a los promedios de los horizontes superficiales,

si se omitieran los valores del migajón limoso y las arenas, podría observarse una tendencia registrando las menores concentraciones de HTP en suelos, cuando el tamaño de partícula es menor y viceversa. Para este gráfico también se omitieron los datos extremos con lo que resulta más fácil comparar los resultados obtenidos.

Bario. Este metal en suelos agrupados por tipos de textura en los horizontes superficiales presenta promedios de concentración muy bajos, en el caso de las arcillas y los migajones limosos este análisis no arrojó resultados por la ausencia de datos, es decir que no se realizó el análisis del parámetro cuando se encontraron este tipo de texturas en los horizontes superficiales. Todas las concentraciones encontradas en este nivel, están muy por debajo de los valores de referencia. La figura IV.106 muestra la tendencia de los datos encontrados:

Figura IV.106 Intervalos de confianza del parámetro bario en horizontes superficiales de la categoría Textura de horizontes superficiales.



Los resultados del análisis gráfico muestran como el bario en los horizontes superficiales tiende a ser menor en el promedio del migajón arcilloso, sin embargo hay mayor variación debido a la diferencia de concentraciones en un número de datos menor. El mayor promedio lo presentan las arenas seguido por el migajón arenoso con intervalos semejantes.

Para ser congruentes con las comparaciones, en la figura IV.107 se mantuvo la misma escala que en los resultados de los horizontes superficiales y se observa que existen diferencias no significativas en el migajón arenoso, la arena migajosa y las arenas, sin embargo en el migajón arcilloso, el comportamiento del bario en los horizontes del subsuelo difiere totalmente de los horizontes superficiales. Estas pequeñas diferencias se hacen más evidentes en la figura IV.108.

Figura IV.107 Intervalos de confianza del parámetro bario en horizontes del subsuelo de la categoría Textura de horizontes superficiales.

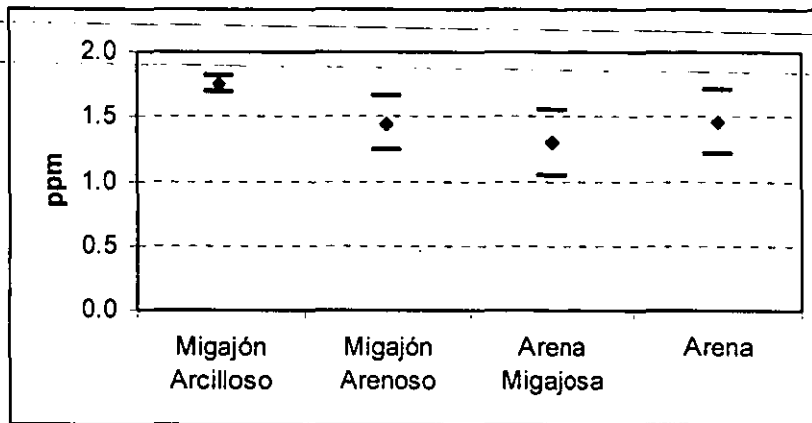
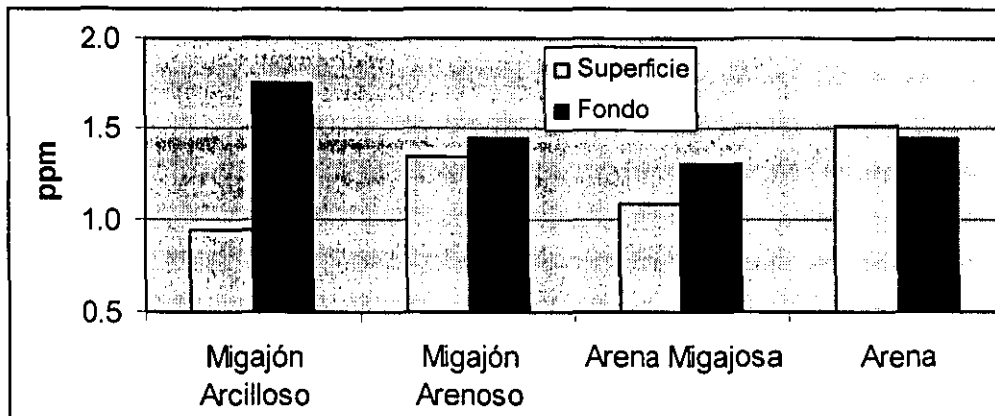


Figura IV.108 Comparación de los promedios de bario en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Textura de horizontes superficiales.



La figura IV.108 nos ayuda a visualizar la diferencia que hay entre los promedios encontrados en los horizontes superficiales y del subsuelo, sobretodo cuando la textura de los horizontes superficiales es migajón arcilloso esta diferencia se hace mayor. Por otro lado también cabe hacer notar que solo las arenas presentaron mayores concentraciones de bario en los horizontes superficiales que en los suelos del subsuelo.

Níquel. Las concentraciones de este metal en suelos fueron muy bajas, en todos los casos, los promedios encontrados se ubicaron por debajo del valor de referencia. En los horizontes superficiales, las arcillas y el migajón limoso presentaron concentraciones menores al límite de detección en todos sus datos tanto en los suelos superficiales como en los del subsuelo.

Los promedios encontrados en los horizontes superficiales muestran como en las arenas migajosas se presentan las mayores concentraciones de níquel, en tanto que las arenas y el migajón arenoso registraron el mismo valor de promedio con pequeñas diferencias en su intervalo de confianza (figura IV.109).

Figura IV.109 Intervalos de confianza del parámetro níquel en horizontes superficiales de la categoría Textura de horizontes superficiales.

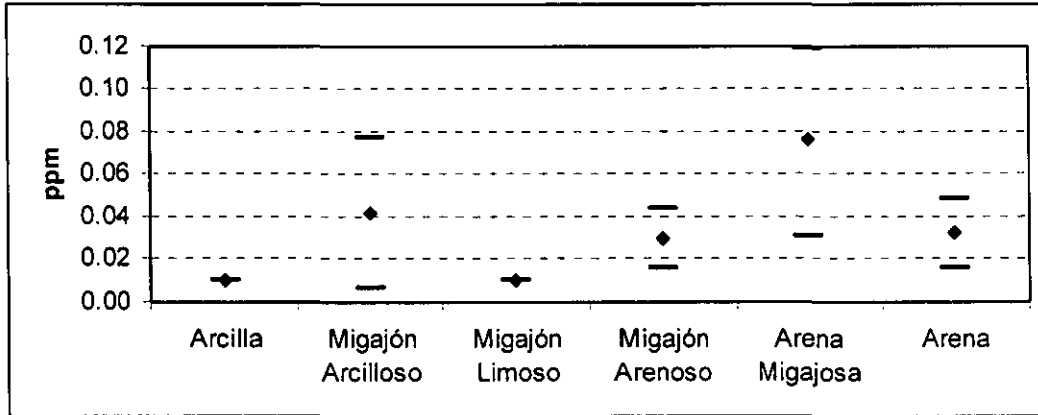
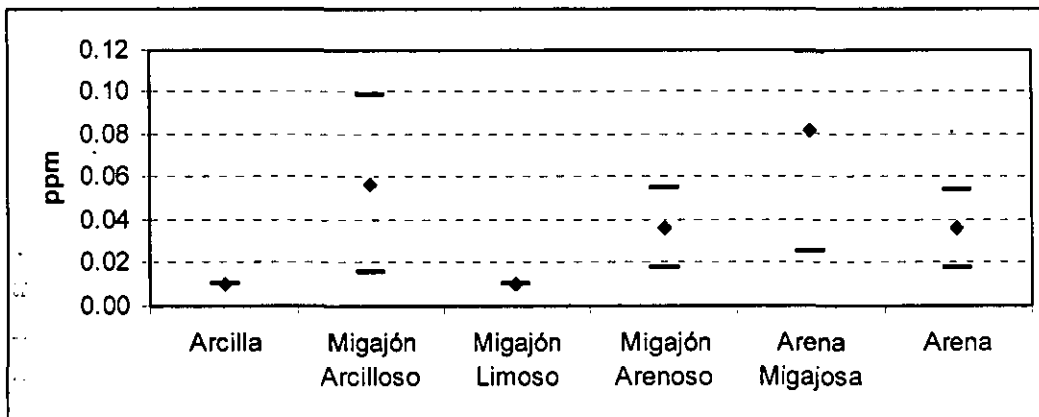
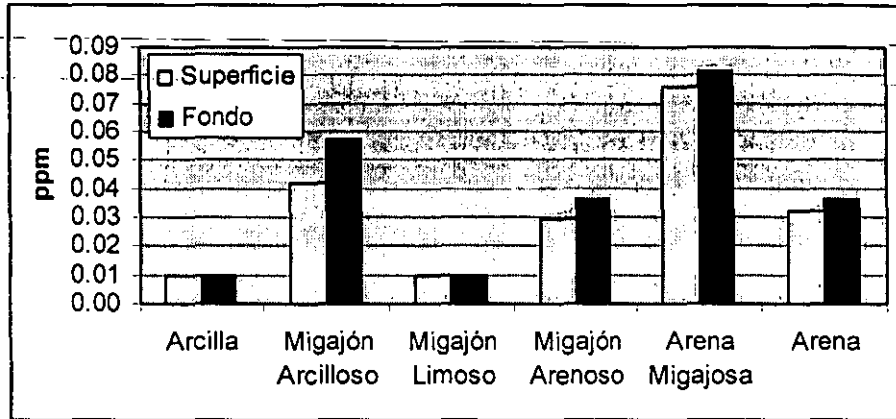


Figura IV.110 Intervalos de confianza del parámetro níquel en horizontes del subsuelo de la categoría Textura de horizontes superficiales.



Los resultados en los horizontes del subsuelo son relativamente mayores pero sin diferencias significativas con respecto a las de horizontes superficiales, en ambas figuras se conservo la misma escala para poder hacer esta comparación, en la figura IV.111 se hacen más evidentes las diferencias entre los dos niveles de muestreo.

Figura IV.111 Comparación de los promedios de níquel en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Textura de horizontes superficiales.



Esta figura muestra las arcillas y el migajón limoso por debajo del límite de detección en ambos niveles de muestreo, en los otros tamaños de partícula las concentraciones de níquel fueron ligeramente superiores en horizontes del subsuelo. No se observa ninguna tendencia que pueda tener relación entre el tamaño de partícula en los horizontes superficiales y el contenido de níquel en ambos niveles de muestreo.

Plomo. El Pb en suelos presenta un comportamiento parecido al del níquel con concentraciones muy bajas, todos sus registros están por debajo del valor de referencia (25 ppm) y aún más, las arcillas y el migajón limoso están por debajo del límite de detección tanto en los horizontes superficiales como en los horizontes del subsuelo.

Para los horizontes superficiales, el migajón arcilloso presentó el mayor promedio, así como el intervalo de confianza más amplio, los menores registros dentro de las concentraciones superiores al límite de detección se presentaron en las arenas con el mayor número de datos entre grupos y el menor intervalo de confianza (ver figura IV.112)

En los horizontes del subsuelo la tendencia es la misma que para los horizontes superficiales, para poder hacer un análisis gráfico más objetivo las figuras IV.112 y IV.113 se pusieron en la misma escala, notando así como los promedios en arena migajosa y el migajón arenoso son mayores incrementando también su intervalo de confianza, por lo contrario el migajón arcilloso presenta un promedio menor y una menor variabilidad en sus datos, representada con un intervalo de confianza más cerrado.

La comparación gráfica entre los promedios de plomo en suelo a dos niveles se puede observar en la figura IV.114. Fuera de los valores que se presentaron menores al límite de detección (arcilla y migajón arcilloso) las diferencias entre el migajón arenoso y la arena migajosa no son significativas, aún en los dos niveles de muestreo por otra parte la

menor diferencia entre niveles, se presenta en las Arenas y por lo contrario resalta el comportamiento del migajón arcilloso con mayores concentraciones en los horizontes superficiales que en los del subsuelo. (figura IV.114).

Figura IV.112 Intervalos de confianza del parámetro plomo en horizontes superficiales de la categoría Textura de horizontes superficiales.

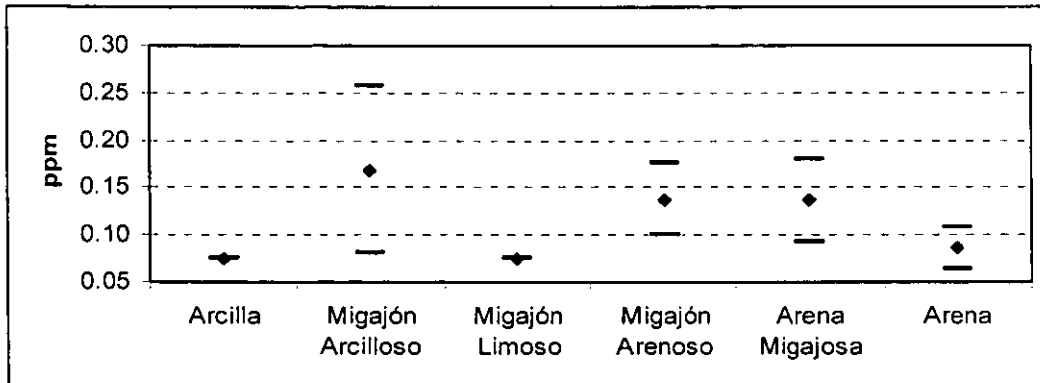


Figura IV.113 Intervalos de confianza del parámetro plomo en horizontes del subsuelo de la categoría Textura de horizontes superficiales.

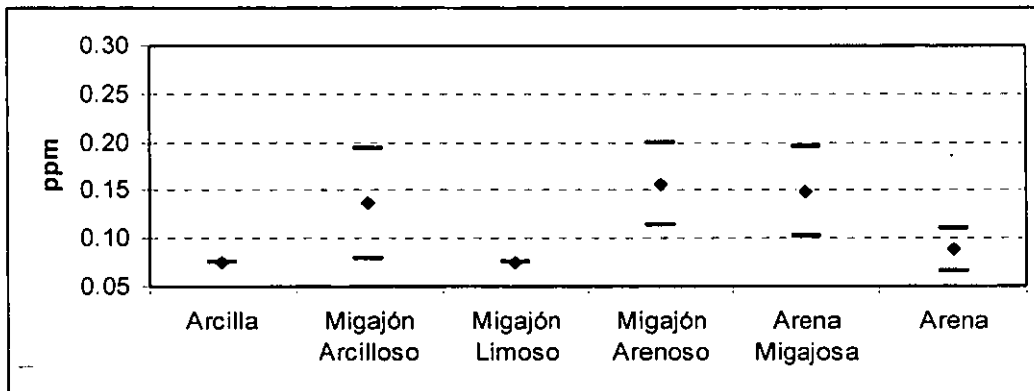
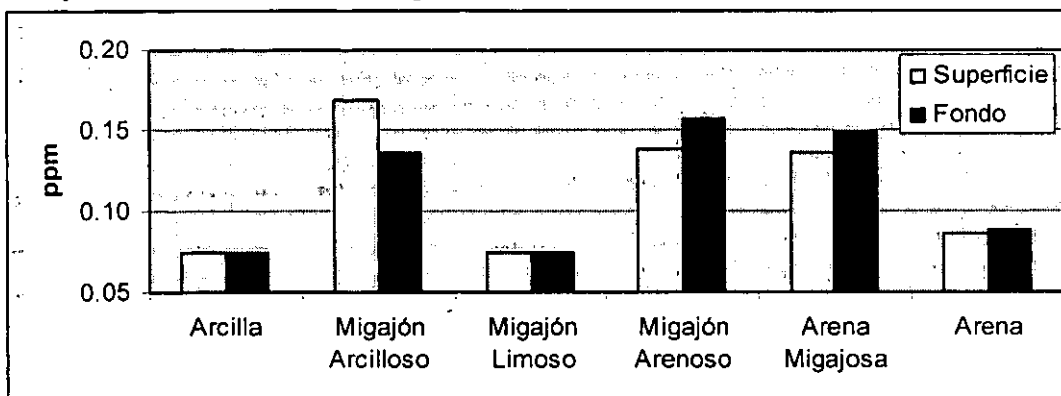


Figura IV.114 Comparación de los promedios de plomo en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Textura de horizontes superficiales.



Discusión de la variable Textura en horizontes superficiales

La textura en el caso de los suelos relacionados con contaminantes juega un papel muy importante debido a los procesos físicos y químicos que se realizan en el suelo, la lixiviación, iluviación y eluviación o la simple percolación de líquidos a través de un medio sólido esta influenciada directamente por el tamaño de las partículas que lo forman:

Es así como, en el caso de este estudio, la textura en los horizontes superficiales puede estar influyendo directamente en el paso de contaminantes hacia mayores profundidades y finalmente en el transporte al manto freático y a través de este. Algunas de las causas más importantes de esta condición son las continuas inundaciones (West, *et al.*, 1987) de gran parte de la llanura aluvial alta, baja y zona costera del Estado de Tabasco, así mismo las depositaciones aéreas provocadas por los quemadores cerca de las zonas petroleras pueden estar influyendo en la composición química de los suelos.

La zona de estudio se ha caracterizado por tener una gran precipitación pluvial por lo que las inundaciones se convierten en medios de transporte de la contaminación. En el caso del pH se observó que en el agua freática las condiciones de pHs menores se relacionan con los mayores tamaños de partícula, es decir que las arenas en los horizontes superficiales pueden influir en la acidez del agua freática. Por lo contrario en cuanto a las concentraciones de benceno y tolueno, a mayor tamaño de partícula menor concentración de estos parámetros.

En las texturas con arenas se demuestra una ligera tendencia hacia menores concentraciones hidrocarburos totales del petróleo, este comportamiento puede estar relacionado directamente con la permeabilidad de la arena. En cuanto a los metales en agua freática se observaron diferentes comportamientos, el vanadio solo se presenta cuando la textura de los horizontes superficiales contiene arenas, en el plomo no se observa ninguna tendencia, la concentración de Cr y Ni es mayor en los menores tamaños de partícula (arcillas).

En cuanto a los parámetros analizados en suelos, no se observan tendencias claras como en el agua freática, algunos parámetros como los hidrocarburos totales del petróleo y el bario se presentan concentraciones muy constantes tanto en los horizontes superficiales como del subsuelo, en los otros parámetros cabe destacar las diferencias significativas en las concentraciones de los horizontes superficiales y de los horizontes del subsuelo en el migajón arcilloso.

Categoría 7: Textura en horizontes del subsuelo

VARIABLES PARA ESTA CATEGORÍA: **Arcilla, Arena, Arena Migajosa, Migajón arcilloso, Migajón arenoso, Migajón limoso.**

La posición de esta categoría con respecto a todas las categorías y sus variables categóricas se esquematiza en el Cuadro Guía, mientras que los resultados de los datos agrupados por las diferentes variables se pueden consultar en el Cuadro IV.7.

Cuadro Guía: Categorías, variables y parámetros analizados

Categorías	Variables Categóricas	Parámetros Analizados	
Etapa	Local Intermedia Regional	Agua Freática	Suelos
Tipo de muestreo	Noria Pozo	Salinidad	Porosidad
Zona Ecogeográfica	Barra Costera Llanura Aluvial Alta Llanura Aluvial Baja Terrazas Miocénicas	pH Benceno Tolueno	HTP Bario Níquel Plomo
Taxonomía de suelos	Alisol Antrosol Arenosol Cambisol Fluvisol Gleysol Histosol Vertisol	HTP Vanadio Plomo Cromo Cadmio Níquel	
Tipo de influencia	Derrame Doméstico Ganado Pantano Presa Río sin influencia	Bario	
Textura en horizontes superficiales	Arcilla Arena Arena Migajosa Migajón arcilloso Migajón arenoso Migajón limoso		
Textura en horizontes del subsuelo	Arcilla Arena Arena Migajosa Migajón arcilloso Migajón arenoso Migajón limoso		

Cuadro IV.7 Datos agrupados por textura en horizontes del subsuelo

REFERENCIA*	1	6 a 7.9	5	24	0.2	0.1	0.05	0.05	0.01	0.2	1	40	200	20	25	40	200	20	25			
	pp mil		ppb	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm			
	Salinidad	pH	Benceno	Tolueno	HTP	Vanadio	Plomo	Cromo	Cadmio	Niquel	Bario	Porosidad (S)	TPH (S)	Ba (S)	NI (S)	Pb (S)	Porosidad (F)	TPH (F)	Ba (F)	NI (F)	Pb (F)	
Arcilla																						
Media	0.58	6.27	1.45	1.57	0.39	0.063	0.0562	0.0312	0.0137	0.2562	2.455	SR	360.49	SR	0.01	0.075	SR	195.34	SR	0.01	0.075	
Des. Est.	0.70	0.56	0.47	0.51	0.38	0.129	0.0275	0.0285	0.0099	0.2246	2.660	SR	205.95	SR	0.00	0.000	SR	135.29	SR	0.00	0.000	
Varianza	0.49	0.31	0.22	0.26	0.15	0.017	0.0008	0.0008	0.0001	0.0504	7.076	SR	42414.02	SR	0.00	0.000	SR	18303.44	SR	0.00	0.000	
Maximo	2.23	6.90	2.34	2.26	1.57	0.350	0.0900	0.0880	0.0340	0.6900	7.570	SR	652.00	SR	0.01	0.075	SR	517.30	SR	0.01	0.075	
Minimo	0.01	5.30	0.25	0.25	0.05	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	SR	138.00	SR	0.01	0.075	SR	44.11	SR	0.01	0.075	
N	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	SR	8	SR	4	4	SR	12	SR	4	4	
Migajón Arcilloso																						
Media	1.08	6.26	1.08	1.58	0.51	0.035	0.0637	0.0216	0.0091	0.1792	1.307	53.96	420.40	1.80	0.06	0.150	51.63	343.67	1.88	0.06	0.141	
Des. Est.	2.15	0.74	0.71	2.30	0.94	0.084	0.0814	0.0242	0.0092	0.3648	3.328	1.91	323.34	0.53	0.10	0.169	2.21	421.32	0.38	0.10	0.147	
Varianza	4.61	0.55	0.50	5.29	0.88	0.007	0.0066	0.0006	0.0001	0.1331	11.074	3.66	104546.53	0.29	0.01	0.029	4.90	177510.74	0.14	0.01	0.022	
Maximo	10.55	7.31	2.48	12.61	3.84	0.350	0.3500	0.1050	0.0340	1.8370	17.120	56.36	1236.70	2.58	0.30	0.580	54.43	2127.00	2.58	0.30	0.470	
Minimo	0.02	3.80	0.25	0.25	0.05	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	51.52	63.00	1.08	0.01	0.075	48.27	17.46	1.47	0.01	0.075	
N	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	4	19	4	12	12	4	26	5	12	12	
Migajón Limoso																						
Media	0.49	7.05	1.15	1.39	0.13	0.005	0.0239	0.0068	0.0046	0.0378	0.175	SR	171.23	SR	0.01	0.075	SR	64.22	SR	0.04	0.075	
Des. Est.	0.21	0.54	0.57	0.45	0.06	0.000	0.0343	0.0112	0.0057	0.0562	0.264	SR	1.36	SR	0.00	0.000	SR	55.11	SR	0.08	0.000	
Varianza	0.04	0.29	0.33	0.20	0.00	0.000	0.0012	0.0001	0.0000	0.0032	0.070	SR	1.84	SR	0.00	0.000	SR	3037.20	SR	0.01	0.000	
Maximo	1.06	8.29	1.72	2.07	0.25	0.005	0.1200	0.0500	0.0260	0.1970	1.160	SR	173.00	SR	0.01	0.075	SR	186.00	SR	0.24	0.075	
Minimo	0.17	5.94	0.25	0.25	0.04	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	SR	169.70	SR	0.01	0.075	SR	5.00	SR	0.01	0.075	
N	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	SR	3	SR	13	17	SR	20	SR	13	17	
Migajón Arenoso																						
Media	3.60	5.82	41.89	0.56	0.47	0.015	0.0522	0.0131	0.0071	0.0602	0.184	53.71	723.47	1.26	0.03	0.151	54.23	729.53	1.48	0.05	0.170	
Des. Est.	10.52	1.04	230.45	0.62	0.56	0.025	0.0727	0.0128	0.0112	0.0699	0.269	6.01	1281.76	0.68	0.06	0.162	6.68	1833.66	0.71	0.13	0.173	
Varianza	110.59	1.08	53107.15	0.39	0.31	0.001	0.0053	0.0002	0.0001	0.0049	0.072	36.15	1642906.60	0.46	0.00	0.026	44.61	3362303.14	0.51	0.02	0.030	
Maximo	56.27	7.87	1694.73	2.46	2.87	0.170	0.2750	0.0600	0.0520	0.3440	1.560	71.87	6746.00	3.18	0.29	0.830	69.66	12611.00	3.69	0.66	0.890	
Minimo	0.00	3.13	0.25	0.25	0.04	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	35.39	43.00	0.19	0.01	0.075	40.00	3.90	0.52	0.01	0.075	
N	60	60	58	58	59	59	60	60	60	60	60	44	51	45	54	56	44	61	45	54	56	
Arena Migajosa																						
Media	2.13	4.51	257.93	371.51	175.99	0.021	0.0491	0.0120	0.0060	0.0499	0.711	53.12	2955.51	1.11	0.05	0.129	53.47	2674.32	1.19	0.04	0.139	
Des. Est.	5.28	1.59	1007.52	1313.25	938.64	0.019	0.0682	0.0159	0.0088	0.0823	1.276	9.55	4808.32	0.55	0.11	0.135	7.67	5696.41	0.71	0.10	0.143	
Varianza	27.83	2.52	1015089.38	1724823.79	881043.80	0.000	0.0047	0.0003	0.0001	0.0068	1.628	91.28	23119943.22	0.31	0.01	0.018	58.89	32449137.13	0.50	0.01	0.021	
Maximo	23.39	7.88	6000.00	6000.00	6000.00	0.070	0.3000	0.0860	0.0390	0.3800	6.000	78.69	16660.00	2.87	0.48	0.610	78.69	29813.00	2.95	0.48	0.610	
Minimo	0.00	1.57	0.25	0.25	0.06	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	30.33	37.00	0.21	0.01	0.075	37.83	16.43	0.21	0.01	0.075	
N	39	39	41	41	41	39	39	39	39	39	39	32	35	32	42	42	31	42	29	42	42	
Arena																						
Media	0.66	5.32	0.55	0.80	10.68	0.040	0.0412	0.0124	0.0039	0.0375	1.601	50.13	2286.14	1.48	0.05	0.093	50.93	2140.65	1.51	0.05	0.092	
Des. Est.	1.21	1.19	0.69	0.77	79.13	0.062	0.0544	0.0121	0.0051	0.0610	3.278	6.93	8534.39	0.93	0.10	0.104	7.82	7873.48	0.91	0.11	0.097	
Varianza	1.46	1.42	0.47	0.59	6262.33	0.004	0.0030	0.0001	0.0000	0.0037	10.745	48.08	72835863.48	0.87	0.01	0.011	61.19	61991683.71	0.82	0.01	0.009	
Maximo	7.80	7.91	4.09	2.61	657.00	0.350	0.3370	0.0530	0.0340	0.2800	23.260	68.28	58440.00	3.52	0.60	0.810	79.96	58440.00	3.52	0.62	0.810	
Minimo	0.01	2.77	0.25	0.25	0.04	0.005	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.025	29.50	27.00	0.27	0.01	0.075	34.37	6.60	0.21	0.01	0.075	
N	65	68	68	68	68	67	68	68	68	68	68	42	56	47	60	60	43	68	47	60	60	

* Los valores de referencia fueron tomados de diferentes fuentes mostradas en el inciso III.8 del capítulo "Desarrollo Metodológico"
 SR= Sin resultados al agrupar los datos. pp mil= partes por mil. ppm= partes por millón. (S)= Horizonte superficial. (F)= Horizontes del subsuelo.

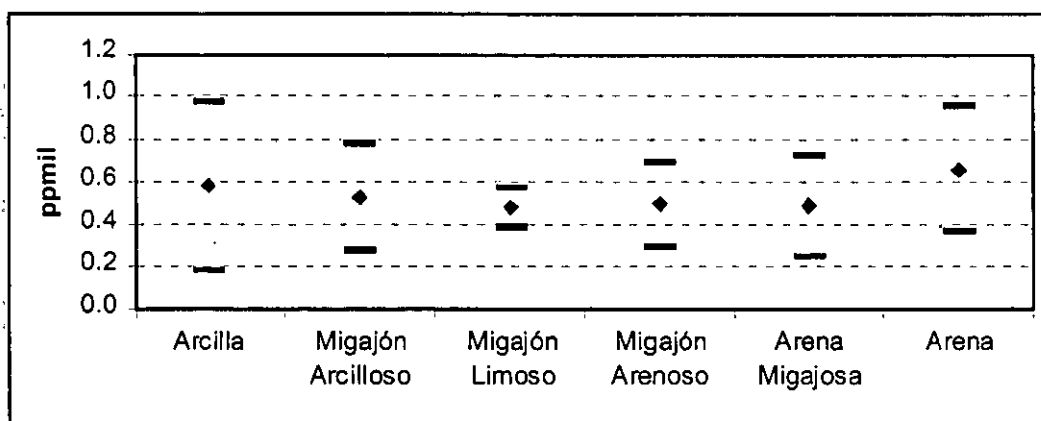
En la categoría "Textura en horizontes del subsuelo" al igual que en la categoría "Textura de horizontes superficiales" se agrupan seis diferentes características de textura, incorporando los tamaños de las partículas de suelos encontrados inmediatamente superiores al nivel freático de los muestreos realizados en este estudio. Los datos fueron agrupados de acuerdo con la textura encontrada en este nivel de muestreo y se analizaron los parámetros en cada característica de textura.

- Agua Freática

Salinidad. La mayor salinidad en agua freática se presentó en horizontes del subsuelo caracterizados por tener migajón arenoso seguidos por la arena migajosa y el migajón arcilloso, estos grupos de datos son superiores a los valores de referencia, mientras que la arcilla presentó la menor salinidad en agua freática.

En las texturas de arcilla, arena y migajón limoso los resultados fueron semejantes. El migajón arenoso presentó el intervalo más amplio, siendo tres valores (36.40, 49.44 y 56.27 partes por mil) los que determinan la tendencia de este parámetro en el agua freática (cuadro IV.7). Para una interpretación más objetiva de los resultados, como en algunas categorías anteriores se eliminaron los resultados extremos de sitios con problemas de salinización en suelos. Los resultados del análisis gráfico se muestran en la figura IV.115.

Figura IV.115 Intervalos de confianza del parámetro Salinidad en agua freática de la categoría Textura en horizontes del subsuelo.

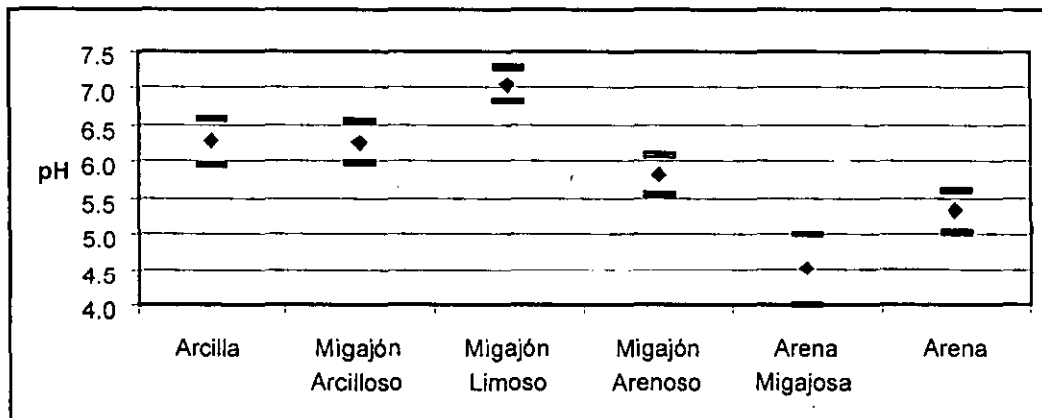


Al eliminar los datos extremos en el análisis anterior puede observarse como los seis tamaños de partícula no presentan diferencias significativas, aún los intervalos de confianza al 95% de confiabilidad se encuentran por debajo del valor considerado como

referencia (1 partes por mil), por lo que a partir de estos resultados, se considera que no existe relación entre el tamaño de partícula de los horizontes del subsuelo con la salinidad del manto freático.

pH. Las condiciones de pH en agua freática fueron más neutras en el migajón limoso. La mayor acidez en agua freática esta asociada a horizontes del subsuelo con una textura de arena migajosa. La variación entre datos es muy semejante en todos los grupos mostrándose la misma amplitud en los intervalos de confianza con una pequeña diferencia en el caso de la arena migajosa cuyos resultados presentan las peores condiciones de este parámetro (ver figura IV.116).

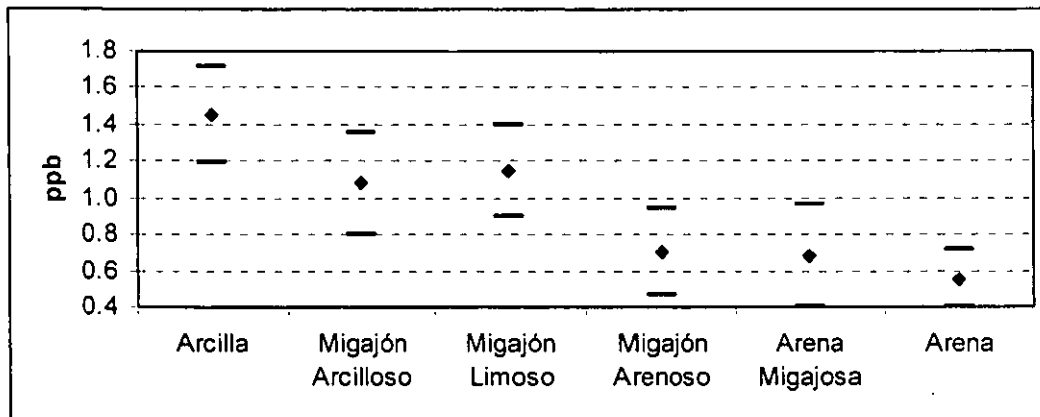
Figura IV.116 Intervalos de confianza del parámetro pH en agua freática de la categoría Textura en horizontes del subsuelo.



En la figura anterior la arcilla y el migajón arcilloso no presentan diferencias significativas, se mantienen estables en con un pH en el agua freática cercano al neutro, la variación en este parámetro se presentó en las arenas sin hacer una distinción que pueda ser perceptible al tamaño de partícula.

Benceno. El benceno presenta concentraciones muy bajas en general, sin embargo existen valores muy altos asociados a problemas de contaminación ocasionales sobretodo en el caso de la arena migajosa, donde originalmente se registró un promedio de 257.93 ppb pero si se eliminan los datos que corresponden a un derrame en la Batería Giraldas tenemos que el promedio en este tipo de textura baja a 0.68 ppb. Por otra parte en el migajón arenoso el promedio de benceno en agua freática fue de 41.89 ppb y si se eliminan los datos que se consideran ocasionales tenemos que el promedio de esta textura baja a 0.70 ppm con lo que en ninguna de estas dos texturas se sobrepasaría el valor de referencia. Para la discusión, en el análisis gráfico en la figura IV.117 se tomarán los promedios modificados haciendo más objetivo el resultado.

Figura IV.117 Intervalos de confianza del parámetro benceno en agua freática de la categoría Textura en horizontes del subsuelo.

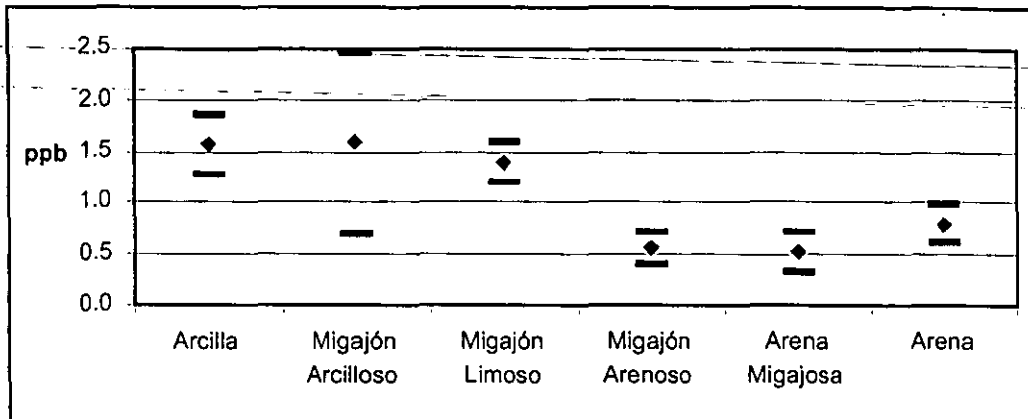


Con la condición de eliminar los valores extremos de todo el muestreo, los promedios e intervalos de confianza quedan situados por debajo de las 1.8 ppb (menos de la mitad del valor de referencia). Con esta modificación, el mayor promedio con el intervalo de confianza más amplio corresponde ahora a las arcillas, mientras que la menor concentración de este parámetro se presenta en las arenas. Este resultado aún en bajas concentraciones nos muestra una tendencia donde los mayores tamaños de partícula presentan las menores concentraciones de benceno en agua freática.

Tolueno. Como el benceno, este compuesto derivado del petróleo presenta concentraciones muy bajas para agua freática en todas las texturas de los horizontes del subsuelo, la excepción en este caso es para la arena migajosa con un promedio de 371.51 ppb, donde nuevamente un derrame ocasional en la batería giraldas, arroja resultados excesivos que ocasionan la elevación del promedio, si estos datos se omiten del análisis, el promedio baja hasta 0.52 ppb con lo que se puede discutir mejor el comportamiento del tolueno en agua freática.

Con esta modificación hecha, el análisis gráfico en la figura IV.118 muestra como la arena migajosa pasa a ser el tipo de textura con menor concentración de tolueno en agua freática, mientras que el migajón arcilloso presenta el mayor promedio y el intervalo de confianza más amplio. Tomando en cuenta que el límite permisible es de 24 ppb todos los promedios encontrados son bajos con poca variabilidad en sus datos.

Figura IV.118 Intervalos de confianza del parámetro tolueno en agua freática de la categoría Textura en horizontes del subsuelo.

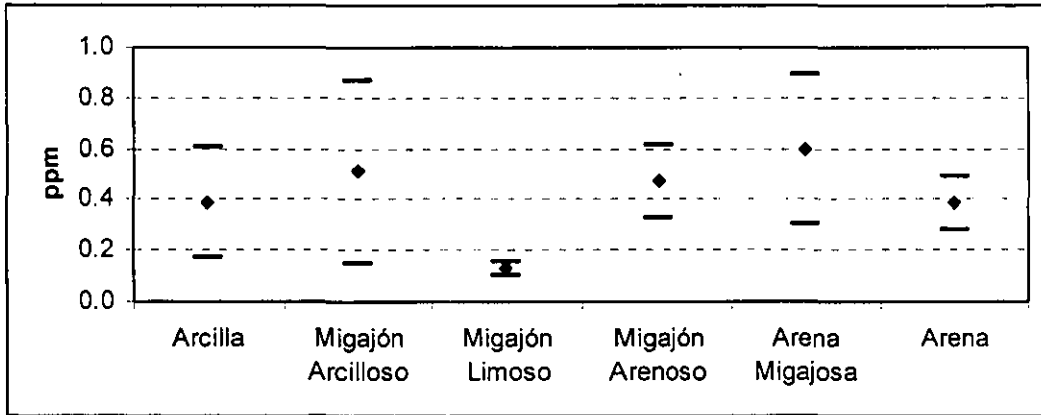


En la figura anterior puede observarse como texturas que contienen arena presentan concentraciones más bajas de tolueno en agua freática, esta condición puede estar relacionada con la permeabilidad de las arenas, contrariamente con lo que sucede con las arcillas.

HTP. Con excepción del Migajón limoso, todos los promedios de hidrocarburos totales del petróleo en agua freática fueron superiores al valor de referencia, los mayores promedios de este parámetro fueron encontrados en texturas de arena y arena migajosa, para las primeras, esta condición esta motivada por las concentraciones encontradas en dos estaciones de la batería 5 del campo petrolero Cinco Presidentes y para la arena migajosa por el derrame de la batería Giraldas. Si se omiten los valores más altos obtenemos un promedio de 0.39 ppm para las arenas y de 0.60 ppm para las arenas migajosas. Esta modificación permite un análisis más objetivo de los resultados, el cual se presenta a continuación en la figura IV.119.

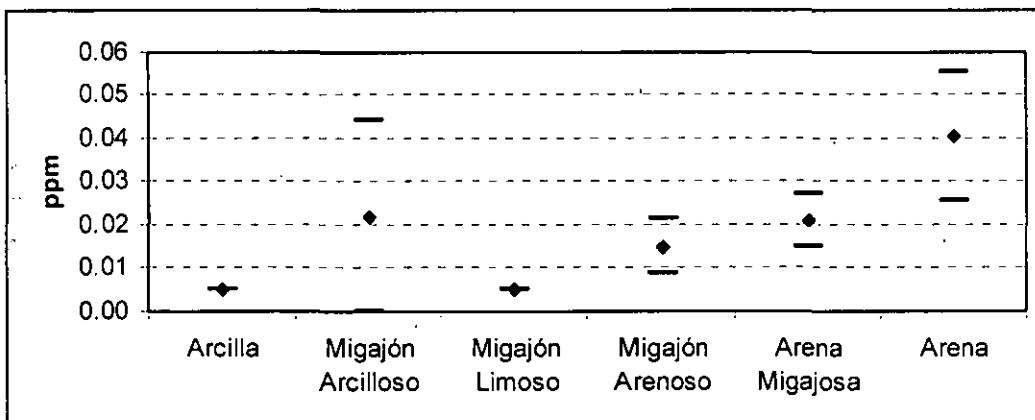
Si se toma en cuenta que la concentración de referencia utilizada para este estudio es muy estricta, tenemos que las concentraciones encontradas son en general bajas, en especial en el migajón limoso. El mayor promedio encontrado correspondió a la arena migajosa, la mayor variabilidad de los datos se encontró en el migajón arcilloso seguida por la arena migajosa y la arcilla. Estos resultados excluyendo al migajón limoso no presentan diferencias significativas, se considera que los promedios de los cinco grupos de texturas se encuentran entre las 0.4 y las 0.6 ppm.

Figura IV.119 Intervalos de confianza del parámetro HTP en agua freática de la categoría Textura en horizontes del subsuelo.



Vanadio. Este metal se registró en concentraciones inferiores al valor de referencia en todos los agrupamientos de datos de acuerdo con el tipo de textura encontrada en los horizontes del subsuelo. El mayor promedio se encontró en las arcillas mientras el menor correspondió al migajón limoso. También son, las arcillas las que presentan la mayor variabilidad en sus 10 datos en comparación con la arena migajosa con un intervalo cerrado representando a 39 datos, o con el migajón arenoso con 59. El intervalo del migajón limoso no es comparado puesto que los veinte datos registrados fueron menores al límite de detección.

Figura IV.120 Intervalos de confianza del parámetro vanadio en agua freática de la categoría Textura en horizontes del subsuelo.



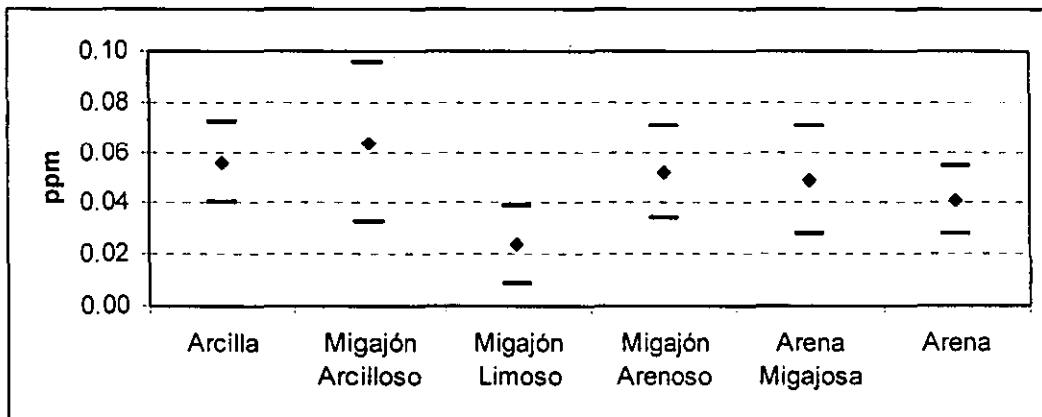
En la figura IV.120 se omitieron los datos extremos en las arcillas debido a que solo dos datos modifican totalmente el comportamiento del vanadio en agua freática presentando un resultado aberrante, en el migajón arcilloso ocurre algo muy semejante, solo 4 de 26

datos son detectables por lo que se considera que los datos más contundentes o mayores al nivel de detección se registraron en las texturas que contienen arena.

Plomo. El Pb se presentó en tres ocasiones fuera de los límites normativos es decir que solo la arena, la arena migajosa y el migajón limoso presentaron promedios de plomo en agua freática menores a 0.05 ppm. La mayor concentración en este parámetro la presenta el migajón arcilloso mientras que la menor corresponde al migajón limoso.

Pese a que los registros de plomo en agua freática son muy semejantes, la mayor variación la presenta el migajón arcilloso mientras que la menor variación se presentó en las arenas y el migajón limoso, el análisis gráfico se muestra en la figura IV.121 a continuación.

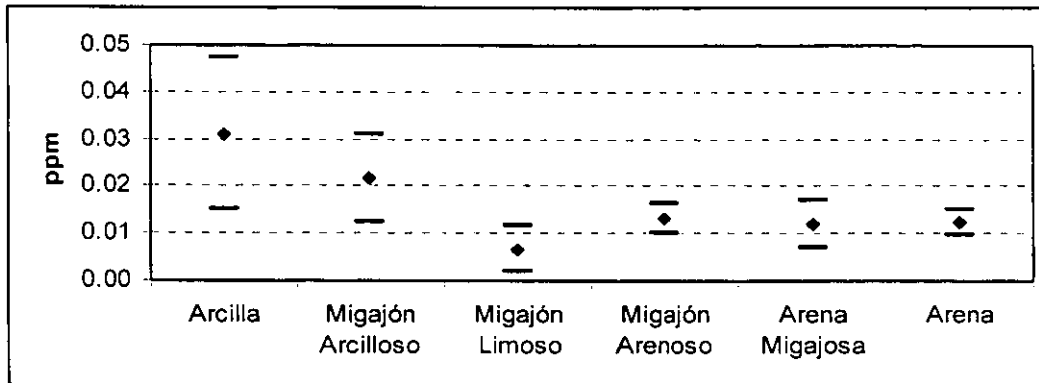
Figura IV.121 Intervalos de confianza del parámetro plomo en agua freática de la categoría Textura en horizontes del subsuelo.



El análisis anterior muestra que a excepción del migajón limoso no hay diferencias significativas entre los diferentes tamaños de partículas encontrados en este muestreo, el hecho de que el migajón limoso se presente en otra dimensión de intervalo se puede fundamentar en la escasez de datos de esta textura.

Cromo. El Cr en agua freática presenta concentraciones menores al valor de referencia en todos los promedios de las agrupaciones por tipo de textura de los horizontes del subsuelo. El mayor promedio encontrado se registró en las arcillas mientras que las menores concentraciones correspondieron al migajón limoso.

Figura IV.122 Intervalos de confianza del parámetro cromo en agua freática de la categoría Textura en horizontes del subsuelo.

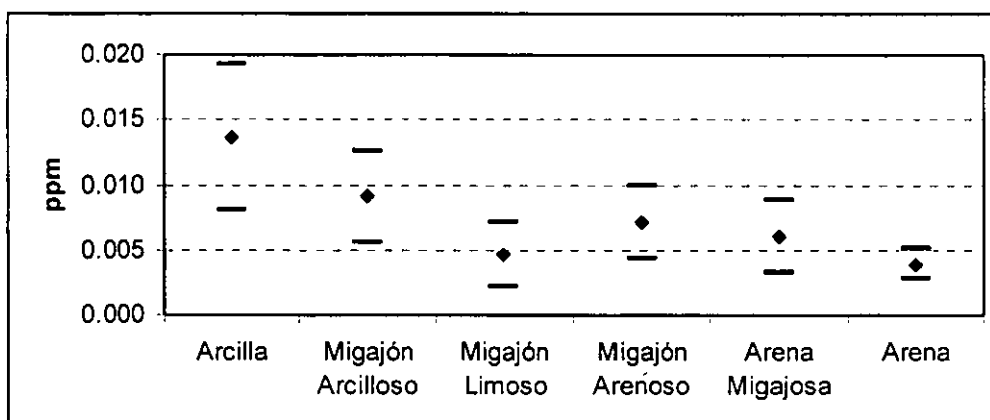


El análisis gráfico en la figura IV.122 muestra como las mayores concentraciones y la mayor variabilidad se encuentra en las arcillas y el migajón arcilloso, estos resultados muestran que el contenido de cromo en agua freática, cuando los horizontes del subsuelo contienen arenas es constante y no mayor a 0.015 partes por millón.

Cadmio. El Cd en agua freática también se presentó en concentraciones muy bajas, se sobrepasa el valor de referencia (0.01 ppm), cuando la textura de los horizontes del subsuelo esta representada por arcillas. Las menores concentraciones en este parámetro corresponden a las arenas.

En la figura IV.123 puede observarse como nuevamente las concentraciones más elevadas de este metal, así como la mayor variación en los datos se relacionan con los menores tamaños de partícula (arcillas y migajón arcilloso). El efecto contrario se observa en el migajón arenoso, la arena migajosa y en las arenas, por lo que se puede decir que a mayor porcentaje de arena menor concentración de cadmio en agua freática.

Figura IV.123 Intervalos de confianza del parámetro cadmio en agua freática de la categoría Textura en horizontes del subsuelo.

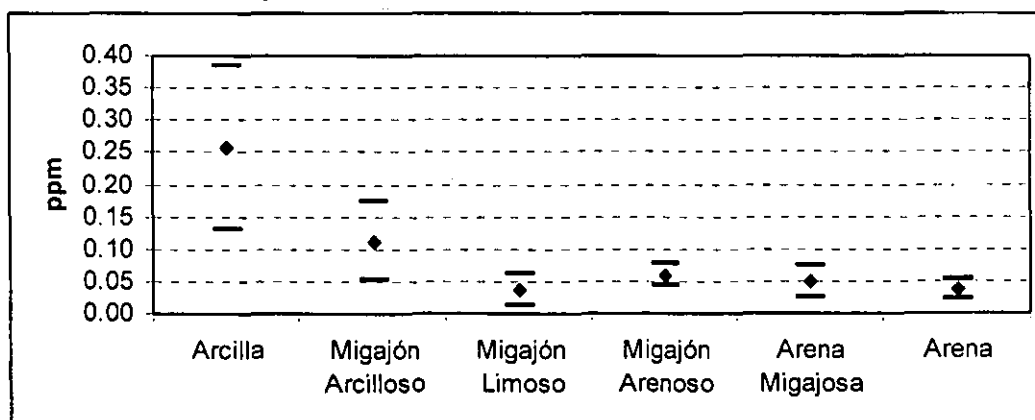


Níquel. Este metal en agua freática se presentó en concentraciones superiores a los valores de referencia, solo cuando la textura en los horizontes del subsuelo estuvo compuesta por arcillas. Las menores concentraciones de níquel están asociadas a las arenas y los migajones limosos.

Las diferencias de los resultados de níquel en agua freática entre texturas son marcadas, pudiendo establecerse dos grupos significativos, uno, con las arenas, las arenas migajosas, el migajón arenoso y el migajón limoso, con concentraciones menores a 0.1 ppm e intervalos de confianza muy estrechos. Por el otro lado están las arcillas y los migajones arcillosos, con intervalos amplios y promedios de concentración entre 0.2 y 0.3 ppm.

Para el análisis gráfico, se omitió un dato aberrante en el migajón arcilloso pasando de un promedio de 0.1779 a 0.1128 con lo que su análisis se facilita y su intervalo se reduce. Estos resultados se pueden observar en la figura IV.124, donde se muestra como los mayores promedios están relacionados con los tamaños de partícula más pequeños, así mismo el mayor intervalo de confianza, se presentó en las arcillas debido a la variación y poco número de datos. Tomando en cuenta que el límite de detección para níquel es de 0.0025 partes por millón (ppm) cabe señalar que el migajón limoso, el migajón arenoso, la arena migajosa y las arenas registraron concentraciones de este metal superiores la limite de detección sin sobrepasar las 0.075 ppm, por lo que el contenido de níquel en agua freática pudiera estar relacionado con la baja permeabilidad de las arcillas o tamaños de partícula semejantes.

Figura IV.124 Intervalos de confianza del parámetro níquel en agua freática de la categoría Textura en horizontes del subsuelo.



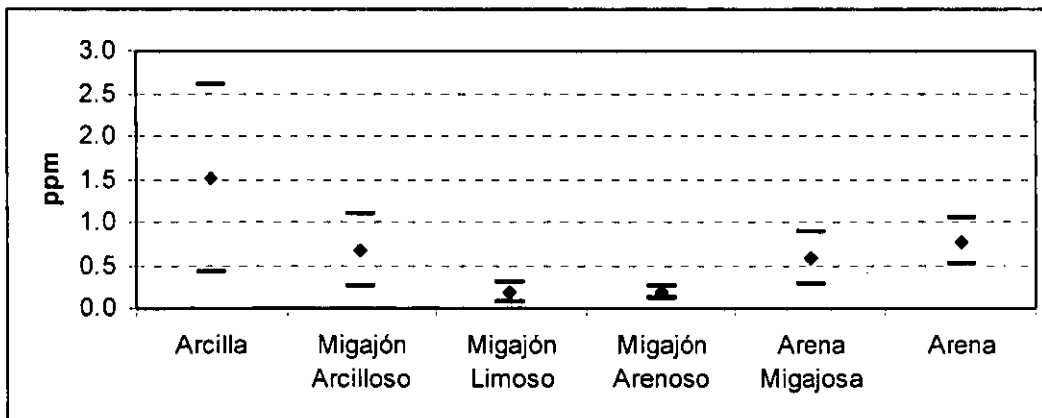
Bario. Como se puede observar en el cuadro IV.7, a diferencia de lo encontrado en otros metales en agua freática, cuando la textura en los horizontes del subsuelo estuvo compuesta por arcillas, el bario se presentó con un promedio que es casi tres veces

mayor al valor de referencia, en menor grado las arenas y el migajón arcilloso también sobrepasan este límite. Por lo contrario las menores concentraciones están representadas por el migajón limoso.

Para que el análisis de los datos tenga una base objetiva fue necesario eliminar algunos datos, por lo que se omitieron los siguientes datos: 17.12 ppm en el migajón arcilloso, 6.77 y 7.57 ppm de las arcillas, 6.0 ppm en la arena migajosa y 7 datos superiores a 6 ppm de las arenas.

Como se puede observar en la figura IV.125, aún después de haber omitido los datos anteriormente mencionados, el comportamiento del bario en agua freática conserva las mismas características aunque en diferentes magnitudes, presentándose en mayores concentraciones cuando los horizontes del subsuelo están compuestos por arcillas. Por el contrario cuando la textura que caracteriza a los horizontes del subsuelo está representada por migajones arenosos y limosos, las concentraciones de este metal fueron menores. En los resultados obtenidos no se observa ninguna tendencia que relacione el tamaño de partícula en los horizontes del subsuelo con el contenido de bario en agua freática.

Figura IV.125 Intervalos de confianza del parámetro bario en agua freática de la categoría Textura en horizontes del subsuelo.



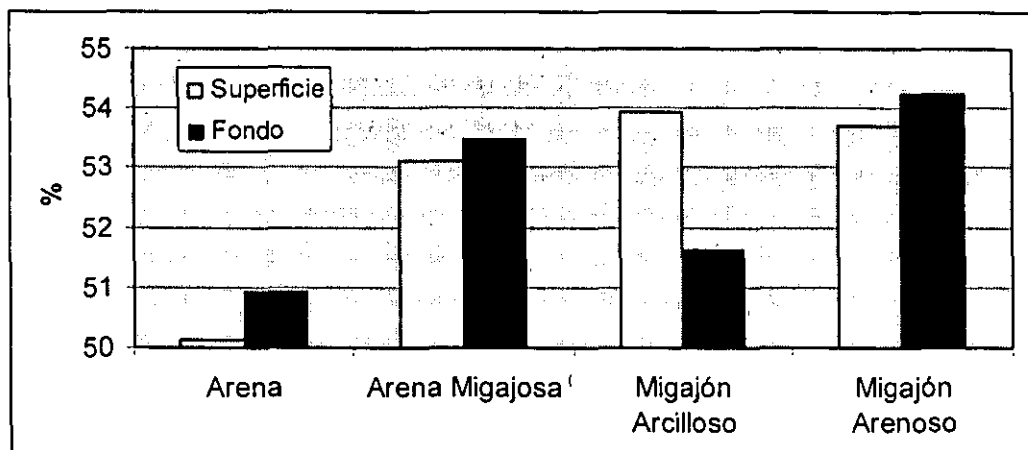
- Suelo

Porosidad. La porosidad en arreglo de datos por Textura de horizontes del subsuelo solo tuvo resultados en las arenas, arenas migajosas, migajones arcillosos y migajones arenosos tanto en horizontes superficiales como en horizontes del subsuelo (Cuadro IV.7). En los horizontes superficiales la mayor porosidad se observó en el migajón

arcilloso mientras que en el subsuelo fue en el migajón arenoso. La menor porosidad se correspondió a las arenas en ambos niveles de muestreo.

La diferencia entre los niveles está bien representada en la figura IV.126 donde se observa como en el migajón arcilloso el porcentaje de poros es mayor en el horizonte superficial que en el subsuelo.

Figura IV.126 Comparación de los promedios de porosidad en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Textura de horizontes del subsuelo.



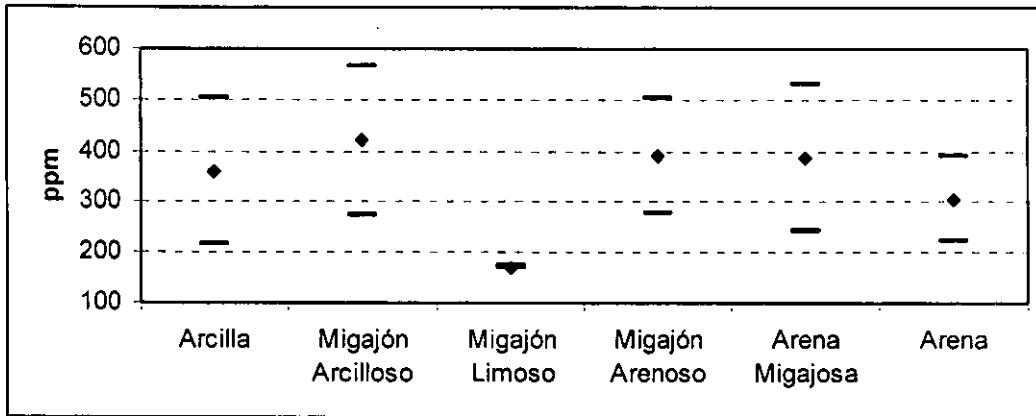
HTP. El contenido de hidrocarburos totales del petróleo en los suelos tanto del horizonte superficial como del subsuelo fue mayor al valor de referencia en todos los promedios de datos agrupados por tipo de textura en horizontes del subsuelo. Las mayores concentraciones de este parámetro, se observan en texturas compuestas por arenas y arenas migajosas mientras que los menores promedios se presentan en el migajón limoso para ambos niveles.

En los horizontes superficiales se omitieron algunos valores para poder hacer comparable el análisis de datos, en las arenas después de omitir los cuatro valores más altos el promedio se modifica de 2286.14 a 306.82 ppm, en la arena migajosa de 2955.51 a 385.63 ppm y en el migajón arenoso de 723.47 a 391.98 ppm.

El análisis de los datos de los hidrocarburos totales del petróleo en horizontes superficiales agrupado de acuerdo con la textura encontrada en los horizontes del subsuelo, mostró que al eliminar los valores extremos de sitios con problemas de contaminación conocidos y con excepción del migajón limoso, el comportamiento de este parámetro en las texturas encontradas en los horizontes del subsuelo, no presenta diferencias significativas, por lo que se deduce que no se guarda relación entre los hidrocarburos totales del petróleo en horizontes superficiales y las texturas encontradas

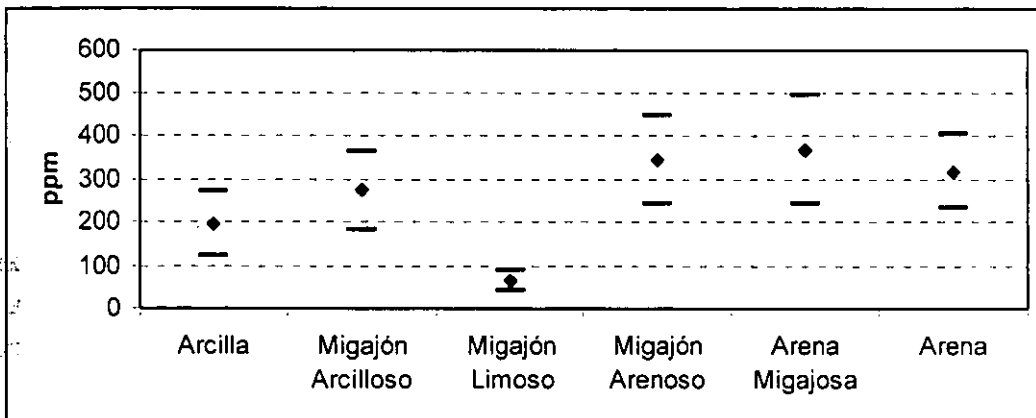
en el subsuelo, (ver figura IV.127). La excepción que constituye el migajón limoso esta fundamentada solo en tres datos por lo que su promedio es bajo y su intervalo de confianza muy estrecho.

Figura IV.127 Intervalos de confianza del parámetro HTP en horizontes superficiales de la categoría Textura en horizontes del subsuelo.



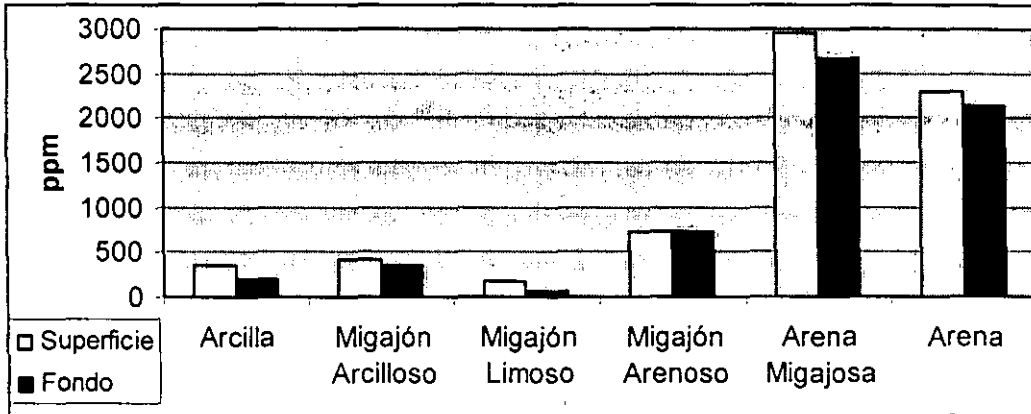
Para los horizontes del subsuelo en el caso de las arenas, después de omitir los valores más altos, el promedio se modifica de 2140.65 a 317.18 ppm, en la arena migajosa de 2674.32 a 368.94 ppm y el migajón arcilloso de 343.67 a 272.34. El análisis del contenido de HTP en horizontes del subsuelo en datos agrupados de acuerdo con la textura subsuperficial, mostró casi el mismo comportamiento que los horizontes superficiales aunque en menor concentración. (figura IV.128). En este caso se podrían distinguir dos grupos, el de las texturas con contenidos de arena que presentan concentraciones mayores y estables por un lado y por el otro, el de las arcillas representados por tamaños menores de partícula con contenidos un tanto menores de HTP.

Figura IV.128 Intervalos de confianza del parámetro HTP en horizontes del subsuelo de la categoría Textura en horizontes del subsuelo.



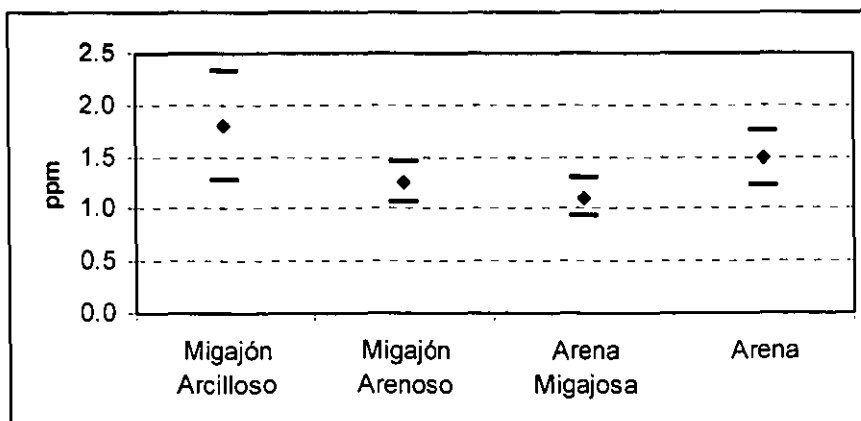
La diferencia entre los niveles de muestreo es mucho más clara en la figura IV.129 donde no se omitieron datos y se puede observar como en todos los casos las concentraciones del horizonte superficial son mayores a las de los horizontes del subsuelo, además de las magnitudes en los promedios de arenas y arenas migajosas al compararlos con el resto de los grupos.

Figura IV.129 Comparación de los promedios de HTP en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Textura en horizontes del subsuelo.



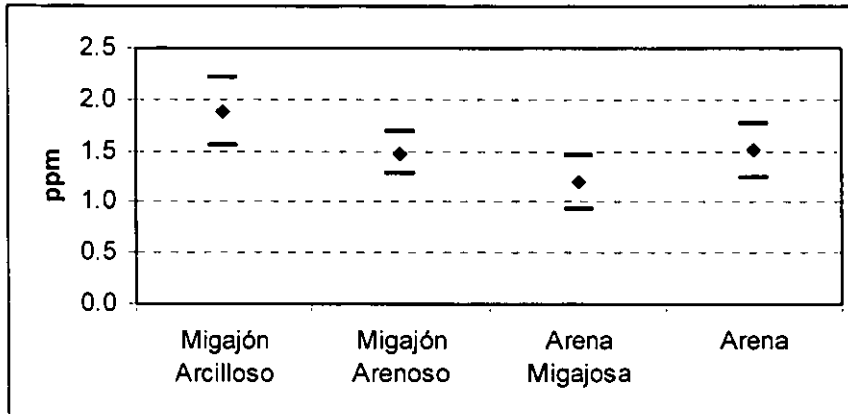
Bario. El análisis de este metal no se realizó en todas las estaciones de muestreo por lo que la agrupación de datos de acuerdo con la textura encontrada en los horizontes del subsuelo solo arroja resultados para las arenas, arena migajosa, migajón arcilloso y migajón arenoso. En estos tipos de textura se encontró que el mayor contenido de bario en suelos lo presenta el migajón arcilloso mientras que la menor concentración esta representada por la arena migajosa.

Figura IV.130 Intervalos de confianza del parámetro bario en horizontes superficiales de la categoría Textura en horizontes del subsuelo.



Como puede observarse en la figura IV.130, las variaciones de este metal en los horizontes superficiales, en diferentes texturas de horizontes del subsuelo son mínimas, al ser solo cuatro texturas y haber variación en los promedios, no se observa una tendencia que pueda relacionar la textura de los horizontes del subsuelo con el contenido de bario en los horizontes superficiales.

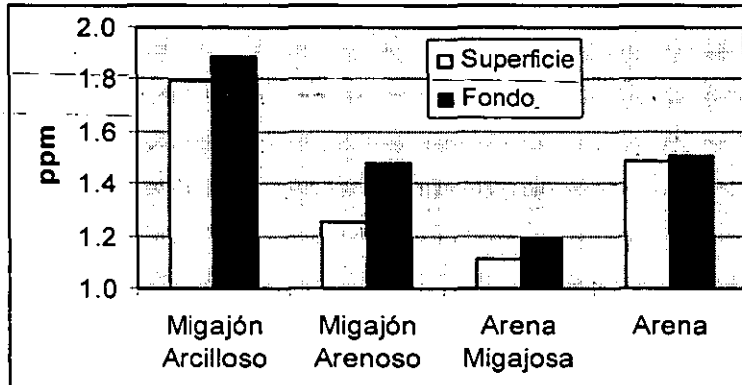
Figura IV.131 Intervalos de confianza del parámetro bario en horizontes del subsuelo de la categoría Textura en Horizontes del subsuelo.



En la figura anterior se muestran los resultados de la concentración de bario en los horizontes del subsuelo, dependiendo de la textura encontrada en los horizontes de este mismo nivel, se observa que los intervalos son más cerrados lo cual implica menor variabilidad con respecto de las concentraciones encontradas en los horizontes superficiales, se conserva el mismo comportamiento con cierta tendencia de mayores concentraciones a menor tamaño de partícula, aunque las concentraciones encontradas en las arenas, tanto en el horizonte superficial como en los horizontes del subsuelo rompen con esta tendencia.

Las diferencias entre los niveles de muestreo se pueden observar más claramente en la figura IV.132 donde se observa como en los horizontes superficiales la presencia de este metal es menor que en los horizontes del subsuelo, este tipo de comportamiento puede estar más relacionado al transporte de metales a través del manto freático que algún otro tipo de mecanismo de contaminación superficial.

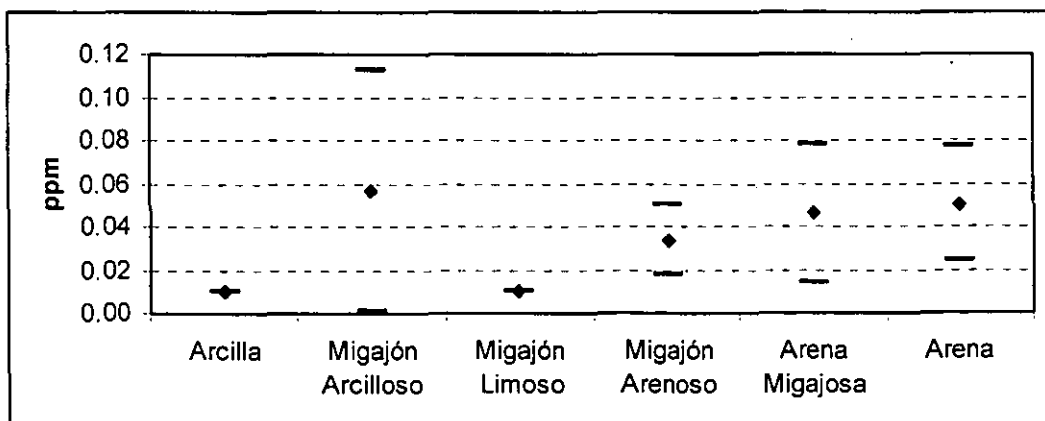
Figura IV.132 Comparación de los promedios de bario en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Textura en horizontes del subsuelo.



Níquel. El Ni a diferencia del bario, aunque se presenta en concentraciones muy bajas, ofrece resultados en todos los tipos de textura, las menores concentraciones de este metal se presentaron en las Arcillas y el Migajón limoso aunque sus registros están por debajo del límite de detección. Por otro lado el mayor contenido de níquel se observa en el migajón arcilloso.

Para el horizonte superficial se presentaron los grupos con datos por debajo del límite de detección (Arcillas y Migajón limoso). Las arenas, las arenas migajosas y el migajón arenoso con intervalos de confianza semejantes y promedios entre 0.03 y 0.05. El grupo de datos asociados al migajón arcilloso en los horizontes del subsuelo presentan un intervalo muy abierto con el mayor promedio de los grupos analizados (0.07 ppm), estos resultados son más evidentes en la figura IV.133 donde puede observarse que la textura de los horizontes del subsuelo no guarda relación con el contenido de níquel en los horizontes superficiales.

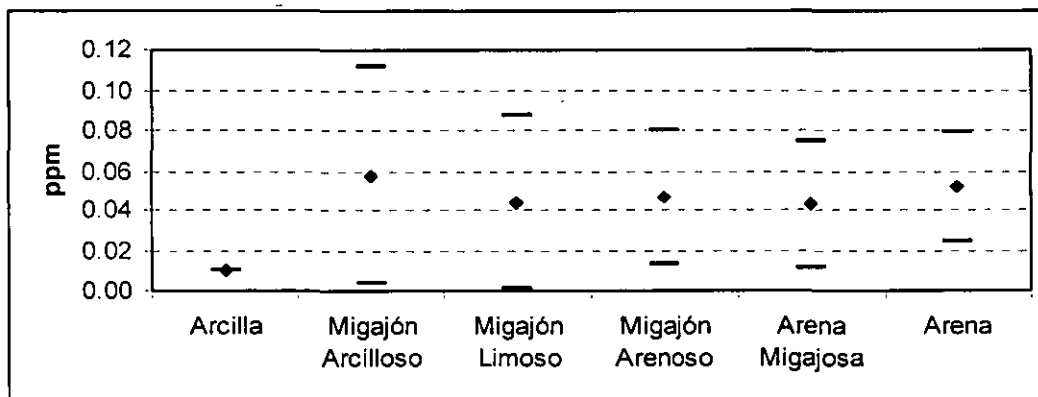
Figura IV.133 Intervalos de confianza del parámetro níquel en horizontes superficiales de la categoría Textura en horizontes del subsuelo.



En cuanto a los resultados del análisis de datos en horizontes del subsuelo se observa que la tendencia es muy similar a la del horizonte superficial con más semejanza entre los grupos arena, arena migajosa, migajón arenoso y migajón limoso, este ultimo grupo con mayor concentración que en el horizonte superficial como se observa en la figura IV.134.

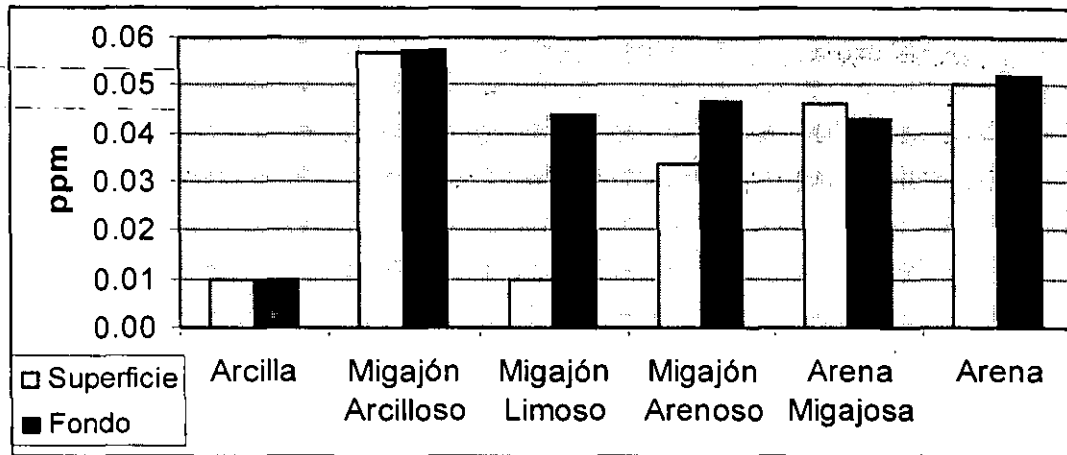
Las concentraciones de níquel en el subsuelo, con excepción de la arcilla, no presentan diferencias significativas entre las diferentes texturas. Cabe señalar que hay un gradiente de variabilidad en los datos, es decir que a mayor tamaño de partícula las concentraciones de níquel son más constantes hacia el valor promedio, sin embargo no se puede asegurar que exista una relación entre la textura encontrada en los horizontes del subsuelo y las concentraciones de níquel en este mismo nivel.

Figura IV.134 Intervalos de confianza del parámetro níquel en horizontes del subsuelo de la categoría Textura en Horizontes del subsuelo.



Las diferencias entre los niveles de muestreo se hacen más evidentes en la figura IV.135 donde se observa como en el migajón arenoso y en el migajón limoso es mucho mayor el contenido de níquel en los horizontes del subsuelo con respecto a la capa superficial, incluso en el migajón arcilloso donde las concentraciones fueron mayores, esta diferencia no es tan marcada.

Figura IV.135 Comparación de los promedios de níquel en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Textura en horizontes del subsuelo.



Plomo. Los promedios de plomo en los horizontes superficiales agrupados según su tipo de textura en los horizontes del subsuelo se presenta en bajas concentraciones, incluso en las arcillas y el migajón limoso se registraron todos los datos por debajo del límite de detección en ambos niveles de muestreo.

El contenido de plomo en horizontes superficiales presenta un comportamiento semejante al del níquel; con un intervalo menor en el grupo de las arenas y el mayor en el migajón arcilloso. En la figura IV.136 puede observarse como los pocos valores mayores al límite de detección, están determinando cierta tendencia con menores concentraciones de plomo, cuando el tamaño de partícula es mayor, sin embargo se debe de tomar en cuenta que estos resultados se encontraron solo en la Batería Cactus II, en la Batería Iride II y en el pozo Cactus 11; por lo que se consideran eventos localizados en sitios contaminados. Si se omitieran estos resultados se obtendría que la mayor parte de los datos esta por debajo del límite de detección, por lo que se considera que los datos mayores a este límite, no son representativos de un análisis que pudiera evidenciar una tendencia que relacionara a la textura de los horizontes del subsuelo, con la concentración de plomo en horizontes superficiales.

En los horizontes del subsuelo, se mantienen las mismas condiciones que en los horizontes superficiales (figura IV.137), las concentraciones de plomo mayores al límite de detección se hacen evidentes en los mismos sitios: Batería Cactus II, en la Batería Iride II y en el pozo Cactus 11, por lo que, como se mencionó anteriormente, estos datos no son representativos de un análisis que pudiera evidenciar una tendencia que relacione a la textura de los horizontes del subsuelo, con la concentración de plomo en horizontes del mismo nivel.

Figura IV.136 Intervalos de confianza del parámetro plomo en horizontes superficiales de la categoría Textura en horizontes del subsuelo.

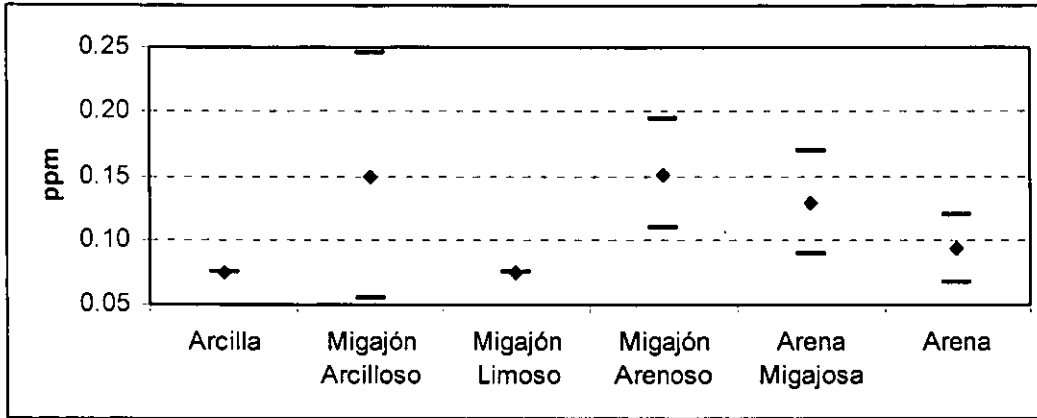
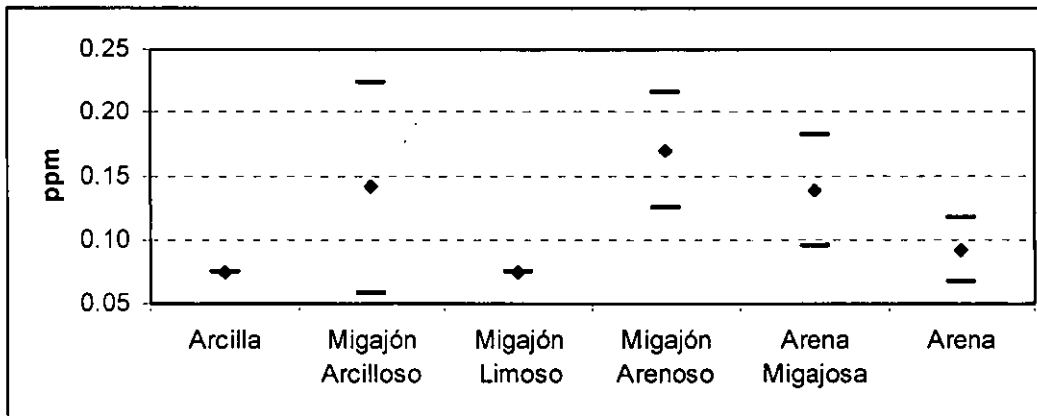
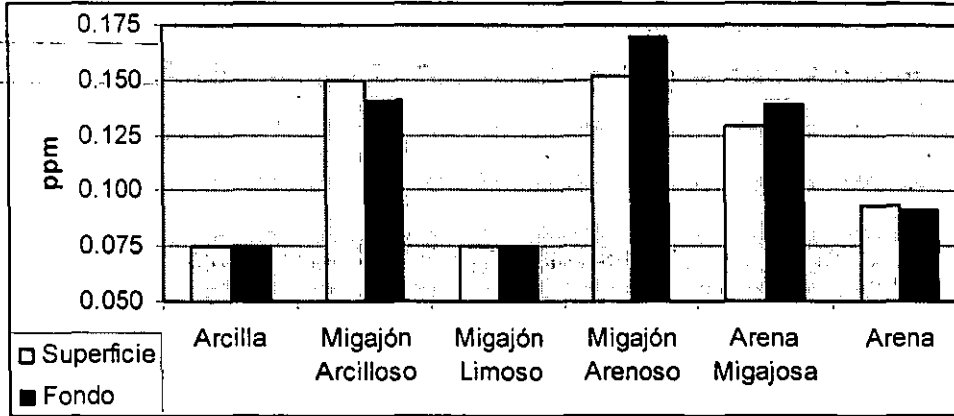


Figura IV.137 Intervalos de confianza del parámetro plomo en horizontes del subsuelo de la categoría Textura en horizontes del subsuelo.



Las diferencias entre los niveles de muestreo se presentan en la figura IV.138.

Figura IV.138 Comparación de los promedios de plomo en horizontes superficiales y del subsuelo en la categoría Textura en horizontes del subsuelo.



Las diferencias encontradas entre los niveles de muestreo son poco significativas al tomar en cuenta que las concentraciones encontradas son muy bajas y que en tres de los 6 grupos de datos establecidos para la textura de los horizontes del subsuelo, las concentraciones de plomo son menores a lo que un análisis puede detectar. No se hace evidente ninguna tendencia de mayores concentraciones en el horizonte superficial o en el subsuelo y solo se refleja un comportamiento inverso en los migajones arcillosos con respecto de los migajones arenosos.

Discusión de la variable Textura en horizontes del subsuelo

Como se mencionó en la categoría anterior, la textura en el caso de los suelos relacionados con contaminantes juega un papel muy importante debido a los procesos físicos y químicos que se realizan en el suelo, la lixiviación, eluviación e iluviación o la simple percolación de líquidos a través de un medio sólido esta influenciada directamente por el tamaño de las partículas que forman el sólido.

A diferencia de los horizontes superficiales, en los horizontes del subsuelo exhiben influencia directa a través del manto freático, tomando en cuenta que para el presente estudio se consideraron "horizontes del subsuelo" aquellos inmediatamente superiores al manto freático por lo que en muchas ocasiones los efectos de lixiviación hasta estos niveles fueron nulos.

En cuanto a las texturas de los horizontes del subsuelo, se puede decir que algunos parámetros estuvieron influidos directamente por los tamaños de partícula y al observar el comportamiento de los datos se observa que las diferencias entre estos tamaños se hace en dos grupos, los que contienen un porcentaje significativo de arenas y los que casi no las contienen (arcilla, migajón arcilloso y migajón limoso), se encontraron parámetros en agua freática como la salinidad, los HTP, el plomo y el bario, donde no se observa ninguna diferencia entre los grupos texturales, lo cual nos indica que las diferencias entre los tamaños de partícula encontrados en los horizontes del subsuelo no esta relacionada a la concentración de estos parámetros.

Por otra parte la condición del contenido de arenas en los horizontes del subsuelo promueve pHs bajos, concentraciones más altas de vanadio y por el contrario en este tipo de horizontes arenosos se encontraron los menores registros de benceno, tolueno, cadmio y cromo. Estas condiciones pueden estar relacionadas con la permeabilidad de las arenas a diferencia de las arcillas, en donde los menores tamaños de partícula impiden el paso de algunos contaminantes o interactúan reteniéndolos.

Capítulo V. Discusión

Como se mencionó al principio de este trabajo de tesis, el constante quehacer ambiental en diferentes zonas con sus características independientes comienza siempre con un diseño de un muestreo de acuerdo con la problemática específica de cada lugar. Los campos de producción no son la excepción y su relación estrecha con ambientes inalterados constituyen un patrón de fragilidad ambiental muy diferente al que pueden constituir otro tipo de instalaciones petroleras. El presente estudio señala a través de la estadística las características particulares que se deben tomar en cuenta para un diagnóstico o un análisis ambiental, es tomar toda la experiencia del trabajo y volcarlo en observaciones de campo y un nuevo arreglo de datos mediante los cuales se evidencian las tendencias o comportamientos de los contaminantes en diferentes formas de análisis. Las preguntas planteadas en la introducción de esta tesis se responden categoría por categoría en esta discusión.

Una parte de los objetivos planteados en esta tesis fue el de establecer ¿cuáles de los parámetros muestreados sirvieron para analizar de manera integral un problema de contaminación? y ¿cuáles parámetros son poco útiles? Como se mencionó anteriormente para el agua freática se eliminaron el Etilbenceno y los Xilenos, lo cual podría pensarse que no es lógico tratándose del diagnóstico de algunos de los campos petroleros más importantes de nuestro país, sin embargo se debe tomar en cuenta que se trata de dos compuestos derivados de productos refinados del petróleo y que en teoría se deberían encontrar, pero como se observó durante este proyecto estos dos parámetros no resultan ser eficientes en la búsqueda de contaminación por hidrocarburos **en un campo de producción** y cabe señalar esto último ya que es diferente cuando se trata de Refinerías o Terminales de Almacenamiento y Distribución donde la contaminación puede ser causada por Gasolinas, Diesel o cualquier otro producto refinado.

Por otra parte, en los **suelos** fue evidente que el análisis de algunos metales como el arsénico, mercurio, plata, selenio, cadmio y el cromo, han contaminado los suelos de otros tipos de instalaciones petroleras donde se utilizan como catalizadores o con productos anticorrosivos y hasta antidetonantes, más no están relacionados con la explotación y producción de petróleo. En este estudio se comprobó que en tres escalas de muestreo estos metales presentaron concentraciones residuales que no son detectables aún por técnicas de alta sensibilidad como las utilizadas en este estudio.

Por lo que toca al análisis de variables, en la categoría Etapa los resultados a nivel local muestran parámetros indicativos de un mayor deterioro o mayor concentración en los parámetros, es decir que se realizó un muestreo de modo muy próximo al lugar donde está la contaminación que para este caso era el objetivo de la etapa. A diferencia del nivel

intermedio y regional que abarca el entorno de estos sitios contaminados. En esta categoría se esperaría observar un gradiente donde a nivel local fueran mayores las concentraciones y disminuyeran hacia el nivel intermedio y más aún hacia el nivel regional. Sin embargo este comportamiento sólo fue observado para los parámetros pH, benceno, HTP y plomo en aguas freáticas y HTP para horizontes del subsuelo como superficiales que son los que están directamente relacionados con la industria petrolera.

En cuanto al tipo de muestreo, en los resultados puede observarse la diferencia que hay entre las concentraciones de las aguas freáticas, las cuales son por mucho más contundentes a lo encontrado en los suelos, sobre todo en algunos metales. Los registros observados en los pozos involucran cercanía de un problema de contaminación en la mayoría de los casos, no así con las norias, donde se eligió el sitio de muestreo con base en la existencia y ubicación de cada noria. Esto se ve reflejado en los resultados de los pozos en los cuales las concentraciones son más altas, sin embargo no se debe dejar de tomar en cuenta los valores encontrados en las norias, que en ocasiones no están exentas de la influencia de algún contaminante.

El análisis de datos con respecto a la zona ecogeográfica en la que se encuentran los puntos de muestreo, ya sean norias, pozos, del nivel local, intermedio o regional, muestra que existen diferencias marcadas en cuanto a algunos parámetros analizados, es decir que para los parámetros involucrados directamente con el petróleo (Benceno, Tolueno y HTP en agua freática y HTP en suelo) la zona con mayores problemas fue la denominada Terrazas Miocénicas.

Los metales en agua freática son mayores e incluso fuera de los valores de referencia en la llanura aluvial alta. Cabe señalar que en muchas ocasiones es un solo valor el que provoca la variación de los promedios, sin embargo debe de tomarse en cuenta que ese valor se encontró en esa zona y no fue casualidad sino el efecto de algún problema puntual de contaminación, que en la mayoría de los casos fue a nivel muy localizado.

El párrafo anterior es importante partiendo de la idea de un análisis ambiental, sin embargo si se toma la hipótesis de que la variable zona ecogeográfica influye en los resultados de los parámetros, contra una hipótesis en la que la industria petrolera es la causa que determinan estos resultados, se tiene que más que de las características ecogeográficas, estas dos hipótesis dependen directamente de los parámetros evaluados, por lo que esta variable resalta la ubicación de instalaciones petroleras dentro de algunas zonas ecogeográficas, sin que sean las características de esta zona las que determinen los resultados. El uso de esta variable se hace necesario cuando intervienen más

características específicas involucradas en la zona ecogeográfica, como serían vegetación, uso de suelo, temperatura, humedad relativa y precipitación entre otros.

Cuando se agruparon los resultados de acuerdo con la taxonomía de los suelos se observó que los Alisoles presentan el mayor número de promedios con concentraciones superiores a los niveles de referencia, es decir que en este grupo taxonómico de suelos la salinidad, el pH, los HTP, el plomo, el cadmio y el bario en aguas freáticas así como los HTP en suelos (tanto en el horizonte superficial como del subsuelo) estuvieron fuera de los valores de referencia. Este comportamiento se hace evidente debido a que los Alisoles se caracterizaron por presentarse en estaciones ubicadas en la zona Samaria-Iride en un 88% del total de los datos. En contraste con los Alisoles, los Vertisoles fueron los que menos problemas tuvieron en cuanto a los valores de referencia. Estos solo se presentaron en 8 registros dentro de la zona del Distrito Aguadulce

En cuanto a esta categoría, los resultados obtenidos nos hablan de una influencia en los suelos determinada por la ubicación de las instalaciones petroleras, el caso de los Alisoles en el área de Samaria-Iride fue determinante en los resultados de cada parámetro. La taxonomía de suelos pese a que involucra las propiedades específicas de éstos, no relaciona los parámetros de la calidad del agua freática y los suelos evaluados con su taxonomía.

La categoría tipo de Influencia basó su importancia en las observaciones de campo agrupando los datos dependiendo de la influencia que fuera más evidente al momento del muestreo. Para esta categoría hubo resultados importantes tomando en cuenta que se esperaba otro comportamiento en los parámetros. Por ejemplo en el benceno solo en casos particulares se encontraron concentraciones altas, se puede considerar que las aguas de uso doméstico tienen más influencia de benceno por otro tipo de productos utilizados que por la producción de petróleo. Así mismo, el tolueno presenta el mismo comportamiento que puede ser propiciado más por el uso de agroquímicos que por la extracción de hidrocarburos (IMP, 1999c). Este tipo de condiciones denota que solo bajo condiciones drásticas de contaminación los orgánicos volátiles pueden ser muy útiles en el diagnóstico de sitios contaminados en campos de producción.

En el caso de los suelos, las condiciones físicas y químicas de los contaminantes en suelos de presas y derrames fueron dominantes en los parámetros evaluados, a diferencia de las aguas freáticas donde estas condiciones varían de acuerdo con la permeabilidad, temperatura, pH etc. Por lo que los comportamientos observados entre ambos fueron significativamente diferentes.

Cuando se eligió esta categoría, se aislaron 18 puntos de muestreo en los cuales no había algo en especial que los caracterizara, algún punto en común o alguna característica propia, estos datos fueron agrupados como "Sin influencia aparente" y resultó ser que esta agrupación, presentó los niveles más altos de metales en agua freática, incluso en el plomo, cadmio, níquel y bario los resultados encontrados fueron mayores al nivel de referencia. Este comportamiento o este resultado específico sugiere que el término sin influencia estuvo mal manejado, o que la característica que los definía no fue evidente al momento del muestreo, por lo que se supone que existe un proceso o un tipo de influencia que está determinando este resultado y que por el momento pasó inadvertido.

Después de las principales influencias (Derrames y Presas) y aunque es mucho menos tangible, los pantanos son los que mayor deterioro ambiental presentan sobretodo relacionados a hidrocarburos. En metales, los muestreos asociados a ganado podrían tener influencia por los agroquímicos que se agregan a los pastos para engorda.

Es evidente que la variable tipo de influencia, a diferencia de otras variables, está relacionada directamente por las actividades petroleras, los resultados obtenidos en esta categoría mostraron la influencia que pueden tener otro tipo de actividades que interactúen con la zona de estudio; de lo que deriva la importancia de las observaciones de campo en las cuales podemos encontrar las respuestas que muchas veces parecen ilógicas, pero que al agruparlas arrojan un resultado objetivo y claro.

En la variable Textura en horizontes superficiales las continuas inundaciones de gran parte de la llanura aluvial alta, baja y zona costera del Estado de Tabasco, así como las depositaciones aéreas provocadas por los quemadores cerca de las zonas petroleras pueden estar influyendo en la composición química de los suelos superficiales. Así mismo en el caso del pH se observó que en el agua freática las condiciones de pHs menores se relacionan con las arenas de horizontes superficiales. Por lo contrario, para el benceno y tolueno, a mayor tamaño de partícula es significativa la menor concentración de estos parámetros.

En las texturas de arenas se presenta una ligera tendencia hacia menores concentraciones de hidrocarburos totales del petróleo, este comportamiento puede estar relacionado directamente con la permeabilidad de las arenas. En cuanto a los metales en agua freática, el vanadio solo se presenta cuando la textura en el horizonte superficial contiene arenas, mientras que las concentraciones de cromo y níquel son mayores en los menores tamaños de partícula (arcillas).

En cuanto a los parámetros analizados en suelos, no se observan tendencias claras como en el agua freática; algunos parámetros como los hidrocarburos totales del petróleo y el bario presentan concentraciones muy constantes tanto en horizontes superficiales como del subsuelo, en los otros parámetros cabe destacar las diferencias significativas en las concentraciones de los horizontes superficiales y del subsuelo en migajones arcillosos.

En esta variable se propone que la textura de los horizontes superficiales influye en los resultados de la calidad de agua y suelos evaluados, contra una hipótesis alternativa en la que puede ser la actividad petrolera o cualquier otro tipo de influencia la que determina estos resultados. Después de haber analizado la información se observa que la textura en el horizonte superficial esta estrechamente relacionada con contenido de benceno, tolueno, vanadio, cromo, cadmio y níquel en agua freática, mientras que la hipótesis alternativa se aplica para salinidad, pH, HTP, plomo y bario en agua freática, así como todos los parámetros evaluados en los suelos.

A diferencia de los horizontes superficiales, en el subsuelo la influencia directa es a través del manto freático, tomando en cuenta que para el presente estudio se consideraron "horizontes del subsuelo" aquellos inmediatamente superiores al manto freático por lo que en muchas ocasiones los efectos de lixiviación hasta estos niveles fueron nulos.

En cuanto a las texturas del subsuelo se puede decir que algunos parámetros estuvieron influidos directamente por los tamaños de partícula, en el comportamiento de los datos se observa que las diferencias entre estos tamaños se hace en dos grupos, los que contienen arenas y los que no las contienen (arcilla, migajón arcilloso y migajón limoso), se encontraron parámetros en agua freática como la salinidad, los HTP, el plomo, el bario donde no se observa ninguna diferencia entre los grupos texturales lo cual nos indica que las diferencias entre los tamaños de partícula encontrados en los horizontes del subsuelo no esta relacionada a la concentración de estos parámetros.

Por otra parte la condición del contenido de arenas en los horizontes del subsuelo promueve pHs bajos, concentraciones más altas de vanadio; y por el contrario en estos horizontes arenosos se encontraron los menores registros de benceno, tolueno, cadmio y cromo. Estas condiciones pueden estar relacionadas con la permeabilidad de las arenas a diferencia de las arcillas, en donde los menores tamaños de partícula impiden el paso de algunos contaminantes o interactúan reteniéndolos.

La propuesta realizada para los horizontes superficiales es aplicable también para los horizontes del subsuelo, sin embargo en esta categoría, los resultados con más tendencia sugieren algo más específico, enfocando este resultado hacia el contenido de arenas en los horizontes del subsuelo, esta propuesta sugiere que el contenido de arena en los

horizontes del subsuelo influye en los resultados de los parámetros evaluados en agua freática, contra una hipótesis alternativa en la cual cualquier otro tipo de influencia es la que determina este cambio. Como puede observarse en el capítulo IV categorías 6 y 7 el resultado es el mismo para horizontes superficiales y del subsuelo, la diferencia radica en la magnitud de los resultados.

Al realizar un balance de los resultados obtenidos, se hace patente la influencia de algunos de los parámetros analizados antes que otros, y eso es uno de los objetivos de esta tesis, el establecer como desde diferentes puntos de vista o diferentes maneras de agrupar datos tenemos un común denominador, de lo que debe o no analizarse en un estudio de contaminación asociada a campos productores de petróleo crudo. Es así como la salinidad, el pH, los Hidrocarburos Totales del Petróleo en agua freática y los Hidrocarburos Totales del Petróleo en suelos son parámetros obligados en un estudio de este tipo. El benceno, tolueno, plomo, cadmio, níquel y bario en agua freática dependerán de las observaciones del equipo que haga los muestreos, pues en muchas ocasiones estos parámetros no presentan ningún resultado y en muchas otras son la clave para encontrar las causas y soluciones a un problema de contaminación. El analizar bario, níquel y plomo en suelos, a menos de que se tenga evidencia de su presencia, no son parámetros de los cuales se obtenga un resultado tangible. Así mismo ocurre con el etilbenceno y xilenos en agua freática y con arsénico, mercurio, plata, selenio, cadmio y cromo en suelos, que desde un principio en este estudio fueron eliminados por su carencia de resultados.

Dentro de las estrategias de muestreo que se utilizaron en este estudio se observó como de manera local los resultados de contaminación fueron encontrados cerca de las fuentes emisoras, no así cuando se buscaba un patrón de contaminación o una traza en lugares más alejados (5 o 10 Kilómetros), en los cuales en muchas ocasiones eran otros los problemas que influenciaban los resultados de esos puntos de muestreo, y las trazas buscadas quedaban ocultas tras otros problemas. De la misma forma ocurre con la diferencia de los muestreos en pozos y los muestreos en norias, en los primeros la ventaja es que los puede uno hacer casi en cualquier parte dependiendo del nivel freático, no así en las norias las cuales hay que buscar entre los pobladores del área de estudio. Como parte de los resultados cabe mencionar que el uso de pozos debe estar restringido a muestreos locales como una estrategia encaminada a delimitar un problema de contaminación y en determinados casos como punto de referencia o muestra testigo. El uso de norias para la evaluación de la contaminación en agua freática atiende más a mostrar problemas de largo alcance donde lo que se busca son tendencias en los resultados con base a una estrategia de muestreo a gran escala. Para este caso las norias ofrecieron información de otro tipo, como los hábitos domésticos del uso del agua y

los problemas de tipo bacteriológico que se tienen (IMP,1999c), lo cual sale de los objetivos de esta tesis pero queda como un ejemplo dentro de esta discusión.

Quando se habló de establecer relaciones en el comportamiento de los contaminantes entre diferentes suelos y el manto freático, se pensaba en averiguar si alguna unidad taxonómica de suelos estaba asociado a algún tipo de contaminante en el manto freático, para este punto se encontraron resultados parciales que podrían estar a discusión como la presencia de mayores concentraciones de HTP en la base de los Histosoles en contacto con el manto freático y cuando los muestreos se asociaron a pantanos, en ambos casos las características de los Histosoles y de los pantanos coinciden en la cantidad de materia orgánica que pudiera estar reteniendo a los hidrocarburos en el subsuelo y no en el horizonte superficial por las constantes lluvias que caracterizan esta zona del país. Otro más podría ser la asociación entre algunos metales en agua (cadmio, níquel y bario) con las arcillas, o la influencia de las arenas en algunos de los parámetros y algunos otros resultados interesantes presentados en esta tesis a través del manejo de datos, sin embargo en otras ocasiones fueron los resultados de los muestreos locales los que influenciaron la respuesta del análisis de datos, por lo que en el mejor de los casos se omitieron algunos de ellos tratado de hacer más imparcial el resultado obtenido. Así mismo el resultado de encontrar los Alisoles como el grupo taxonómico con más problemas de contaminación podría estar más asociado a la mecánica de suelos aplicada en la construcción de instalaciones petroleras por la estabilidad que estos suelos ofrece y que los Histosoles o los Gleysoles carecen. Todo este tipo de detalles deben tomarse en cuenta para establecer los puntos de partida en un análisis de la contaminación.

El realizar un proyecto de esta magnitud no es fácil y de igual manera no es fácil establecer los criterios uniformemente para realizar un muestreo, siendo que hay más de cinco instituciones involucradas, más de 10 grupos de trabajo y muchísima gente con diferentes puntos de vista. Solo queda después de este universo de datos tratar de poner orden de alguna forma y esta tesis propone una de las formas para aprovechar las opciones realizadas en tres años de trabajo y obtener resultados más objetivos desde otro punto de vista. Se desearía ahondar mucho más en el estudio de cada uno de los comportamientos encontrados, pero sería imposible terminar, pues cada parámetro en cada categoría y en cada variable categórica ofrece una alternativa de estudio, sin embargo estas alternativas salen de los objetivos planteados para esta tesis de maestría por lo cual en algunos casos solo se hace la referencia de lo encontrado como una propuesta y una base para futuros estudios.

Capítulo VI. Conclusiones

La parte más importante de cada trabajo es la evaluación del grado de cumplimiento de los objetivos, y generalmente esta evaluación está generada por el producto de la discusión de los resultados, al fin al cabo: las conclusiones. Antes de tomar de lleno esta evaluación de los objetivos me gustaría mencionar que esta tesis de maestría sale de los parámetros convencionales de la escritura de un documento para la obtención de un grado, trata de ser por sí mismo una referencia objetiva que servirá de base para el diagnóstico de suelos y agua freática en campos productores de petróleo. En conclusión, es un documento de utilidad práctica.

Después de haber discutido los resultados obtenidos en estas diferentes formas de agrupar los datos, las conclusiones requieren un orden, para lo cual se mencionan los objetivos con la intención de evaluar en qué grado se ha cumplido con estos.

Objetivo General:

Contribuir al conocimiento del comportamiento de los contaminantes en los suelos.

Objetivos específicos:

1. Determinar los parámetros necesarios a analizar en suelo y manto freático, para evaluar la contaminación asociada a la producción de petróleo crudo.
2. Evaluar estrategias de muestreo para el análisis de la contaminación asociada a la producción de petróleo crudo en suelos y agua freática.
3. Establecer relaciones en el comportamiento de los contaminantes asociados a la producción de petróleo crudo entre diferentes suelos y el manto freático.

Se analizarán las conclusiones de acuerdo con el tópico evaluado en cada uno de los objetivos específicos para finalmente establecer una conclusión final basada en el Objetivo General.

VI.1 De los parámetros

- De acuerdo con los resultados encontrados en los diferentes tipos de agrupaciones de datos se hace evidente que en los estudios de contaminación por hidrocarburos en campos de producción petrolera, deben analizarse los siguientes parámetros:

salinidad en agua freática

pH en agua freática

Hidrocarburos Totales del Petróleo en agua freática

Hidrocarburos Totales del Petróleo en suelos

- Existen otros parámetros como el benceno, tolueno, plomo, cadmio, níquel y bario en agua freática, así como el bario en los suelos, que no están asociados directamente a la producción de petróleo pero son la causa y efecto de actividades petroleras, por lo cual es necesario la evaluación crítica del equipo de trabajo para determinar si estos parámetros son evaluados, ya que al no existir actividades de refinación no se van a encontrar.
- Para el análisis de agua freática en un campo de producción petrolera no es necesario evaluar etilbenceno y xilenos.
- Para el análisis de suelo en un campo de producción petrolera no es necesario evaluar arsénico, mercurio, plata, selenio, cadmio y cromo.

VI.2 De las estrategias de muestreo

- Debido a las diferencias encontradas en partículas suspendidas del agua freática, las estrategias utilizadas para los muestreos y las interferencias que pueden causar agentes externos a un problema de contaminación, los resultados de un muestreo en pozos y un muestreo en norias no son comparables para un análisis de la contaminación de aguas freáticas.
- En todos los parámetros analizados, las norias presentaron concentraciones mucho más bajas a lo registrado en los pozos, con lo que los muestreos a nivel regional tienen un sesgo con respecto del resto de los datos.

- Mediante el uso de norias para el muestreo de agua freática se obtuvo información de otro tipo, como los hábitos domésticos del uso del agua y los problemas de tipo bacteriológico que se tienen.
- Si se analizan los muestreos realizados sólo en pozos, a nivel local se obtuvieron resultados de problemas de contaminación específicos, a diferencia del nivel intermedio donde las concentraciones de los diferentes contaminantes se ven reducidas.
- Dentro de las estrategias de muestreo utilizadas se observó como de manera local los resultados de contaminación fueron encontrados cerca de las fuentes emisoras, no así cuando se buscaba un patrón de contaminación o una traza en lugares más alejados (5 o 10 Kilómetros), en los cuales en muchas ocasiones eran otros los problemas que influenciaban los resultados de esos puntos de muestreo.

VI.3 Del comportamiento de los contaminantes en los diferentes suelos y el manto freático

- El análisis de datos por medio de zonas ecogeográficas muestra que en cuanto a los parámetros involucrados directamente con el petróleo (Benceno, Tolueno y HTP en agua freática y HTP en suelo) la zona con mayores problemas fue la denominada Terrazas Miocénicas mientras que los metales en agua freática fueron superiores a los valores de referencia en la Llanura Aluvial Alta.
- Cuando los datos se agrupan por unidades taxonómicas, se observa que en los Alisoles se presentan características de baja calidad ambiental, tomando en cuenta que parámetros como la salinidad, pH, HTP, plomo, cadmio y bario en aguas freáticas así como los HTP en horizontes superficiales y del subsuelo presentan concentraciones que difieren de los valores de referencia.
- Las concentraciones de HTP en agua freática encontradas en los Antrosoles no se consideran representativas para este estudio, pues estos suelos son introducidos y se desconoce su uso y procedencia.

- De acuerdo con el análisis de los suelos encontrados, la zona de estudio con mayores problemas de contaminación fue Samaria-Iride, donde del total de los Alisoles el 82.2% fue muestreado en esa zona.
- Mediante el análisis de datos se aislaron 18 puntos de muestreo donde no había algo en especial que los caracterizara, algún punto en común o alguna característica única, estos datos fueron agrupados como “sin influencia aparente”. Después de someterlos al mismo manejo de datos que los otros grupos se observó que esta agrupación presentó los niveles más altos de metales en agua freática. Este comportamiento o este resultado específico sugiere que el término sin influencia estuvo mal manejado, o que la característica que los definía no fue evidente al momento del muestreo, por lo que se supone que existe un proceso o un tipo de influencia que está determinando este resultado y que por el momento pasó inadvertido.
- Dentro del análisis de datos por tipo de influencia se puede concluir que después de los derrames y las presas que son los casos extremos de contaminación, los pantanos son los que mayor deterioro ambiental presentan, sobre todo relacionados con hidrocarburos.
- En general, las mejores condiciones en cuanto a los parámetros analizados fueron encontradas en las norias relacionadas con el uso doméstico, lo cual es un buen indicador de la calidad del agua utilizada. Aunque cabe señalar que en los análisis de benceno y tolueno, si se omiten los datos extremos en las presas, derrames y pantanos; las concentraciones más altas se asocian con las aguas de uso doméstico.
- Se observó que el tamaño de partícula de las texturas encontradas tanto en horizontes superficiales como del subsuelo, está asociada con las concentraciones encontradas en agua freática de Benceno, Tolueno, Vanadio, Cromo, Cadmio y Níquel. Esta tendencia puede estar determinada por la permeabilidad de cada tamaño textural..
- Por lo contrario en los parámetros salinidad, plomo y bario en agua freática, así como el níquel en suelos no hay diferencias significativas que puedan estar relacionadas con el tamaño de partícula de las texturas encontradas tanto en los horizontes de superficie como en los del subsuelo.

Capítulo VII. Comentarios Finales

Como parte de un ciclo y a manera de retroalimentación, se aprovecha este último capítulo para describir algunas recomendaciones específicas, con el fin de hacer una contribución, proponiendo estrategias complementarias que podrían en un futuro incrementar los beneficios técnicos y económicos de estudios similares.

Dentro de los puntos mas importantes de este trabajo están las estrategias utilizadas para el muestreo. Estas fueron analizadas en cada variable, sin embargo cabe señalar algunos problemas que se enfrentaron por ser un análisis alternativo con diferentes objetivos al planteamiento original.

A continuación se hace una serie de consideraciones observadas y de gran importancia, que aterrizan las ideas básicas en las recomendaciones para trabajos posteriores:

- Al analizar la categoría "Etapa" se hace incompatible el análisis de las diferentes variables categóricas (Local, Intermedio y Regional) debido a la inconsistencia en la medición de los parámetros de una etapa a otra.
- El análisis del muestreo hecho en Norias o en Pozos muestra tendencias donde los resultados podrían no ser comparables, tomando en cuenta que debe existir un periodo de sedimentación antes del muestreo de los pozos.
- En el análisis de la categoría "Zona Ecogeográfica" se observó que para un análisis mas objetivo de los resultados debió haberse tomado un mismo número de muestras en cada zona ecogeográfica.
- En el caso de la taxonomía de los suelos, las condiciones particulares de cada sitio pueden ser localmente específicas y diferentes de los resultados obtenidos en un levantamiento de suelos, por lo que la situación ideal es la clasificación del suelo en el punto de muestreo.
- En cuanto al tipo de influencia existen características que pasan desapercibidas en primera instancia, por lo que en el caso de esta variable se encontraron datos agrupados como "sin influencia aparente" con resultados que forman una tendencia tangible y en la cual pudo haber alguna característica que paso desapercibida.

- La textura tanto en horizontes superficiales como en el subsuelo presentó características muy semejantes debido a las condiciones geomorfológicas de la zona de estudio, estos resultados representaron un punto de discusión debido a que en algunas ocasiones no se encontraron diferencias significativas entre ambos horizontes.

De acuerdo con las consideraciones anteriores, de manera general se hacen las siguientes recomendaciones:

- Del muestreo

Los muestreos tanto de suelos como de agua freática deben estar siempre en común acuerdo para los parámetros que deben realizarse, uniformidad en las técnicas tanto de muestreo como de análisis, así como la planeación en el número de muestras.

Para los muestreos de hidrocarburos en suelos se recomienda el uso de muestreadores sin pérdida de volátiles (El tubo Shelby es una buena opción).

A través de este trabajo de tesis se valoró la importancia de las observaciones de campo. En este sentido se recomienda hacer una video grabación a 360 grados en torno a cada punto de muestreo, así cuando se busque algún detalle, solo se tiene que recurrir al videocasete.

- De los parámetros

Es necesario el estudio de contaminantes y parámetros que no están relacionados con la Industria Petrolera y que desgraciadamente interactúan con los suelos y con la calidad del agua freática en la vertiente Sur del Golfo de México.

Para un mayor conocimiento de los procesos que se llevan a cabo en el perfil edáfico de cada sitio es necesaria la evaluación de la Materia Orgánica y la capacidad de Intercambio Catiónico de los suelos.

- De los trabajos a futuro

En esta tesis se hicieron evidentes las relaciones entre los tamaños de partícula de algunas texturas y los gradientes de concentración en algunos parámetros evaluados por lo que estos resultados se proponen como temas para futuros trabajos de investigación.

A manera de un epílogo y como conclusión final se ha pensado que este trabajo pretende servir como un apoyo para la evaluación del comportamiento de los contaminantes, es decir que aquellas personas interesadas en hacer un diagnóstico ambiental de suelos y agua freática en zonas productoras de petróleo puedan utilizar este trabajo como referencia y puedan encausar la dirección de su investigación adecuadamente. Como se mencionó en los primeros capítulos, el estudio de la contaminación en suelos y manto freático, es un campo sin trabajar en muchos aspectos, por lo que es necesario documentar todos los resultados encontrados. La última década tiene una significancia particular en el estudio del medio ambiente pero en especial de los suelos que no tenían la importancia que ahora se les da. Anteriormente la perforación de pozos petroleros y todo el trabajo de extracción se enfocaba a producir lo más que se pudiera sin menoscabo del deterioro del suelo. Hoy en día, los mecanismos de producción petrolera están ligados a un programa de "Industria Limpia" tratando de mejorar al máximo las técnicas usadas y con lo cual no solo se protege al medio ambiente sino que se eficientiza el proceso.

Cabe señalar que trabajar en un proyecto de esta magnitud fue de gran aprendizaje en diferentes aspectos: académico, laboral, político y sobretodo por la experiencia que brinda el estar en contacto con la problemática real de nuestro país y me refiero no solo a la contaminación sino a la gente misma y su actitud.

Meses después de la conclusión del PARS, el proyecto fue premiado con el Premio Institucional IMP-2000 entregado de manos del Presidente de la República.

Literatura citada

ARPEL, 1992. Guía para el Manejo de Residuos Sólidos de Refinerías de Petróleo. ALCONSULT International, Canadá, 249 pp.

Baver, L.D. y Gardner, W.H. 1980. Física de Suelos. Unión Tipográfica. Editorial Hispano-Americana, S.A. 429 pp.

Boulding J.R. 1994 "Description and Sampling of contaminated Soils." Lewis Publishers, USA, 3-78 pp.

Buol, S.W.; Hole, F.D. y McCracken, R.J. 1981 "Génesis y clasificación de suelos" Ed. Trillas, México. 417 pp.

Cavazos, T. , y Rodríguez, O. 1992, Manual de prácticas de física de suelos. Ed. Trillas, México. 153 pp.

De la Lanza, E.G.; Cáceres, M.C.; Adame, M.S. y Hernández P.S. 1999 "Diccionario de Hidrología y Ciencias afines" Coedición entre el Instituto de Biología de la UNAM y la Editorial Plaza y Valdés. México 287 pp..

Domínguez R. V. 1998, "Relación entre la migración de hidrocarburos del petróleo y la geomorfología en la zona lacustre Julivá-Santa Anita, Tabasco, México." Tesis para obtener el título de Licenciado en Ingeniería Ambiental, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México. 106 pp.

FAO, 1988, "Soil Map of the World" (Technical Paper 20) ISRIC Publisher. Wageningen 140 pp.

Gaucher, G. 1971. Tratado de Pedología Agrícola. El suelo y sus características agronómicas. Ed. Omega, Barcelona. 647 pp.

Gavande, S.A. 1982. Física de Suelos. Principios y Aplicaciones. Ed. Limusa. México. 351 pp.

IMP, 1993. Estudio de la Calidad del Subsuelo y Aguas Subterráneas en la Zona Sur de la Ex-refinería 18 de marzo. Informe Final. Depto. de Estudios Ecológicos, Gerencia de Protección Ambiental y Control Energético. México, D.F. 115 pp.

IMP, 1995. Evaluación de la presencia y distribución de hidrocarburos en el subsuelo de la Superintendencia Local de Ventas de Arriaga, Chis. Informe Final. Depto. de Estudios Ecológicos, Gerencia de Protección Ambiental y Control Energético. México, D.F. 135 pp.

IMP, 1999a. Diagnóstico de los Efectos Ambientales de la Industria Petrolera Asociados a la Región Sur de PEP. Informe Final, Sistemas Terrestres, Tomo 6 "Estudios Edafoecológicos". Gerencia de Control Ambiental y Sustentabilidad, México, D.F. 374 pp.

IMP, 1999b. Diagnóstico de los Efectos Ambientales de la Industria Petrolera Asociados a la Región sur de PEP. Informe Final, Sistemas Terrestres, Tomo 9 "Suelo y su capacidad de uso". Gerencia de Control Ambiental y Sustentabilidad, México, D.F. 193 pp.

IMP, 1999c. Diagnóstico de los Efectos Ambientales de la Industria Petrolera Asociados a la Región sur de PEP. Informe Final, Sistemas Terrestres, Tomo 8 "Contaminación en aguas subterráneas". Gerencia de Control Ambiental y Sustentabilidad, México, D.F. 325 pp.

IMP, 1999d. Diagnóstico de los Efectos Ambientales de la Industria Petrolera Asociados a la Región sur de PEP. Informe Final, Sistemas Terrestres, Tomo 7 "Contaminación en zona no saturada". Gerencia de Control Ambiental y Sustentabilidad, México, D.F. 232 pp.

INEGI, 1986. Síntesis geográfica y anexo cartográfico del estado de Tabasco. México, D.F. 118 pp.

Juárez, B.E. y Rico, R.A. 1975 Mecánica de Suelos. Tomo I. Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Ed. Limusa. México. 642 pp.

LaGrega D, M.; Buckingham L. P. y Evans, J.C. 1996, Gestión de Residuos Tóxicos, tratamiento, eliminación y recuperación de suelos. McGraw-Hill, México. 328 pp.

Lugo, H.J. 1989, "Diccionario Geomorfológico" Instituto de Geografía, Coordinación de Ciencias, U.N.A.M. México. 337 pp.

Ochoa, V.J., 1995, "Sistema de Información para estudios ecológicos de industria petrolera" Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en computación. Centro Nacional de Cálculo del Instituto Politécnico Nacional, México. 205 pp.

PEMEX, 1992. Informe de Actividades Desarrolladas por el Grupo Técnico, durante los meses de mayo y junio de 1992, en la Terminal de Ventas y la Ex-refinería 18 de marzo, Azcapotzalco, D.F. Subdirección Técnica Administrativa. Coordinación Ejecutiva de Servicios Generales y Seguridad Industrial. 163 pp.

PEMEX, 1999. Informe de Labores 1998, Petróleos Mexicanos, México, D.F. 297 pp.

Ruymbeke D. C., 1996. "Criterios de evaluación de suelos y aguas subterráneas". Curso Bioremediación de suelos y acuíferos. 30 de septiembre. Instituto de Ingeniería, UNAM. México.

Salgado, S.G.; Palma L.D.; Cisneros, D.J., 1999, Manual de procedimientos para el muestreo de suelos plantas y aguas, e interpretación en cultivos tropicales" Colegio de Postgraduados – Gobierno del Estado de Tabasco, México. 76 pp.

Scheafer, L.R. y Mc Clave, T.J. 1993 "Probabilidad y Estadística para Ingeniería" Ed. Iberoamericana, México. 683 pp..

West, R.C.; Psuty, R.P. Thom, B.G. 1987 "Las tierras bajas de Tabasco en el sureste de México. Gobierno del Estado de Tabasco, México. 85 pp.

Zavala, J. 1988, "Regionalización natural de la zona petrolera de Tabasco." INIREB - Div. Reg. Tabasco, México. 182 pp.

Anexos

A1.- Mapa de unidades ecogeográficas

A2.- Taxonomía de suelos en el campo petrolero Cinco Presidentes

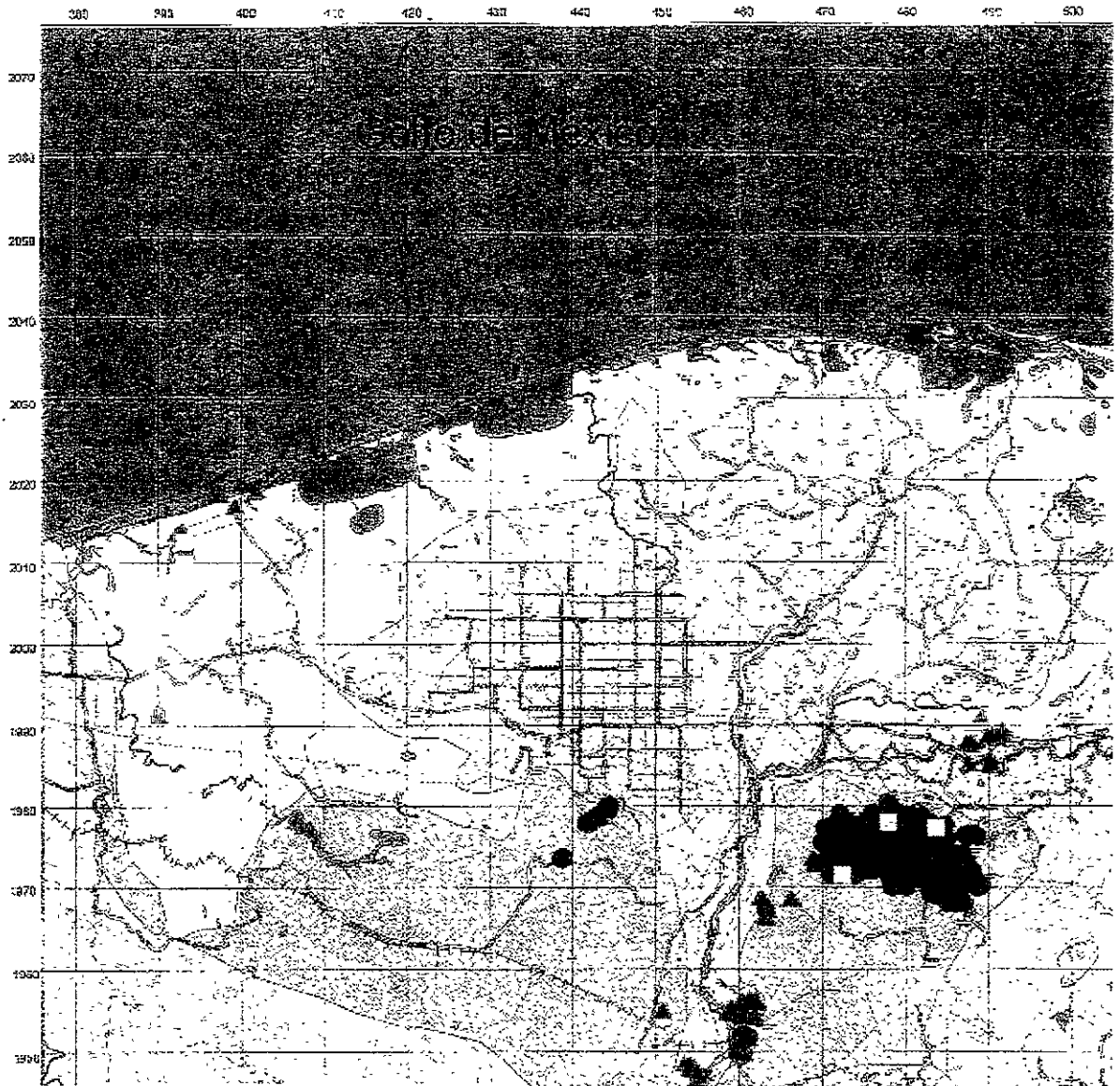
A3.- Taxonomía de suelos en el área Samaria - Iride

A4.- Taxonomía de suelos en el campo Giraldas

A5.- Taxonomía de suelos en el área Cactus – Nuevo PEMEX

A6.- Triángulo de Texturas

A1. Mapa de unidades Ecogeográficas



SIMBOLOGÍA

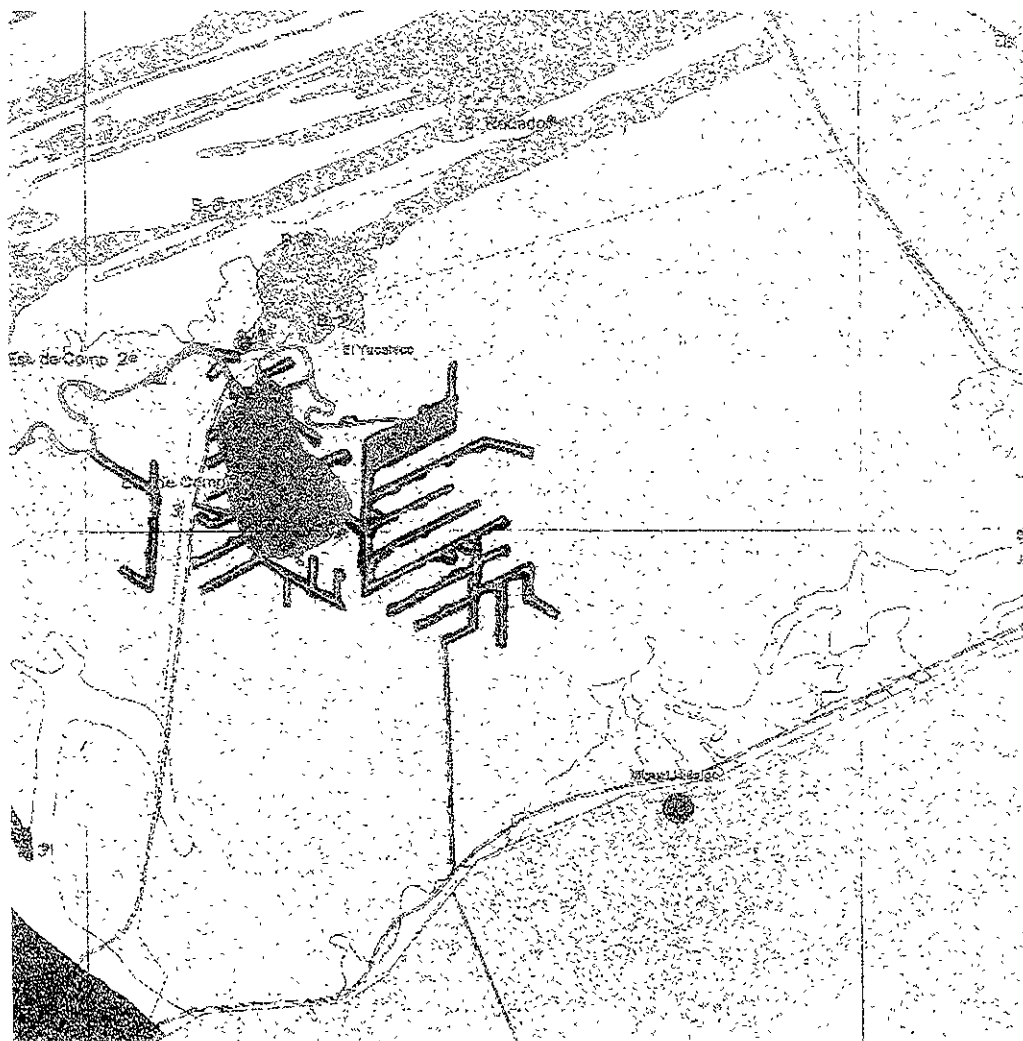
- Instalaciones petroleras
- Localidades
- Terracedos
- Cam pavimentados
- Vías de Tren
- Islas
- Canales
- Red Hidrológica
- Cuerpos de Agua
- Volcán Chichónal








- Barra Costera
- Llanura Aluvial Baja
- Llanura Aluvial Alta
- Sierra
- Terraza Miocénicas
- Rampa de Piedemonte del Volcán Chichónal
- No identificado














Esfera: 1896
 Proyección: Transversa de Mercator
 Datum: Heilbrunn
 Datum Horizontal: Norteamericano de 1927

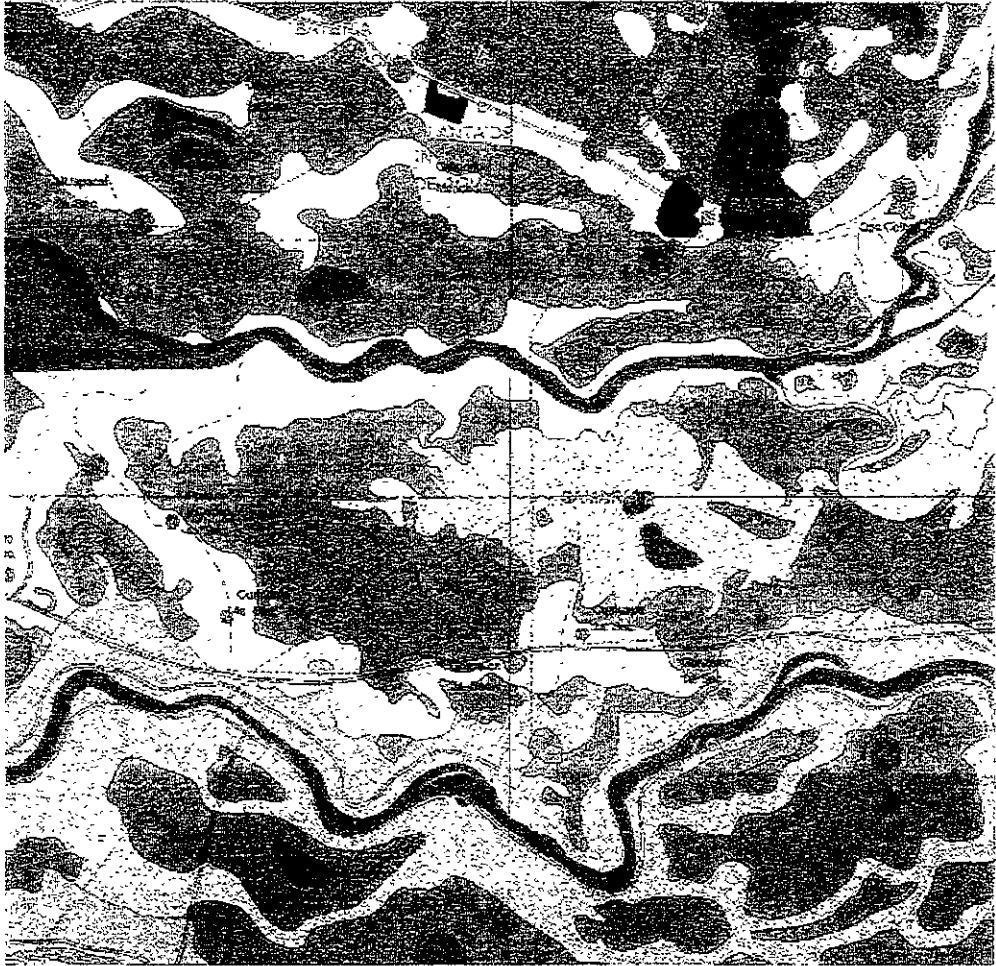
A2. Taxonomía de suelos en el campo petrolero Cinco Presidentes












-  **Antrosol úrbico**
-  **Arenosol gleyco**
-  **Arenosol háplico**
-  **Gleysol éutrico**
-  **Gleysol mólico–Histosol fibríco**
-  **Gleysol térrico–Histosol fibríco**
-  **No identificado**

-  Instalaciones Petroleras
-  Localidades
-  Terrazenas
-  Cam. pavimentados
-  Vías de Tierra
-  Islas
-  Canales
-  Red Hidrológica
-  Ríos principales
-  Lagunas
-  Golfo de México

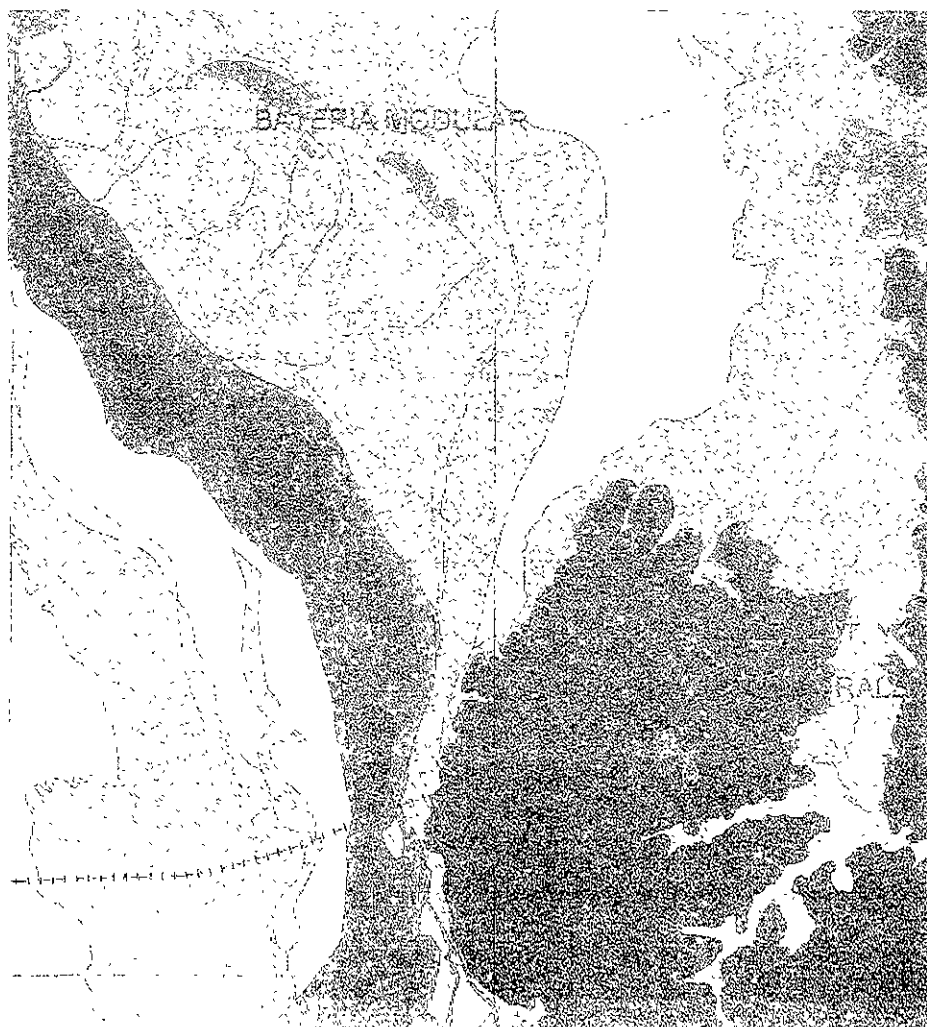
A3. Taxonomía de suelos en el área Samaria - Iride



-  Alisol gleyico
-  Alisol húmico
-  Fluvisol calcariéutrico
-  Fluvisol dístrico
-  Fluvisol
-  Fluvisol gleyi-dístrico
-  Gleysol dístrico
-  Gleysol fluviéutrico
-  Gleysol mólico
-  Gleysol vertimólico
-  Zona urbana
-  Erosionado

-  Instalaciones Pe
-  Localidades
-  Terracerias
-  Cam. pavimentada
-  Vías de Tren
-  Islas
-  Canales
-  Red Hidrológica
-  Ríos principales
-  Lagunas
-  Golfo de México

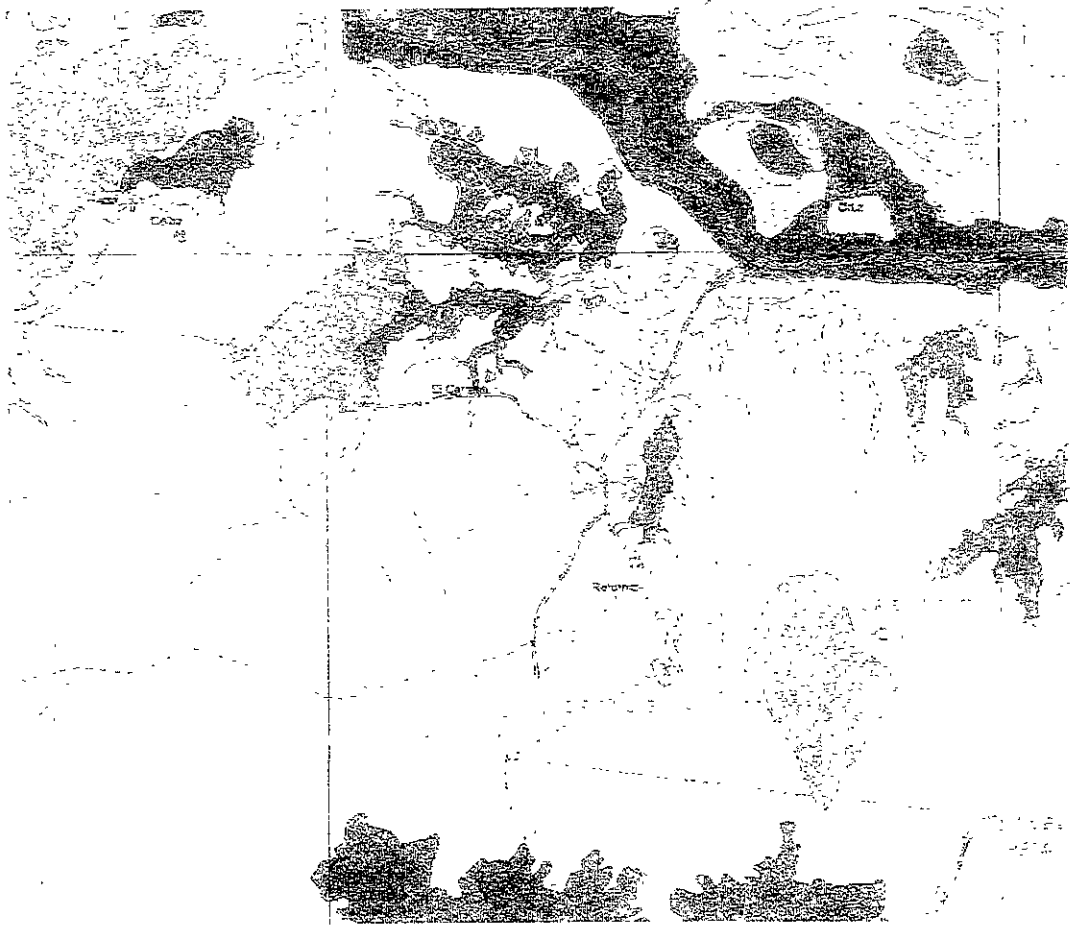
A4. Taxonomía de suelos en el campo Giraldas






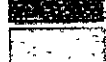







- Alisol húmico**
- Fluvisol eutrico**
- Fluvisol gley-eutrico**
- Gleysol eutrico**
- Gleysol mólico**
- Histosol mólico**

- Instalaciones Petroleras
- Localidades
- Terracerias
- Cam. pavimentados
- Vias de Tren
- Islas
- Canales
- Red Hidrológica
- Ríos principales

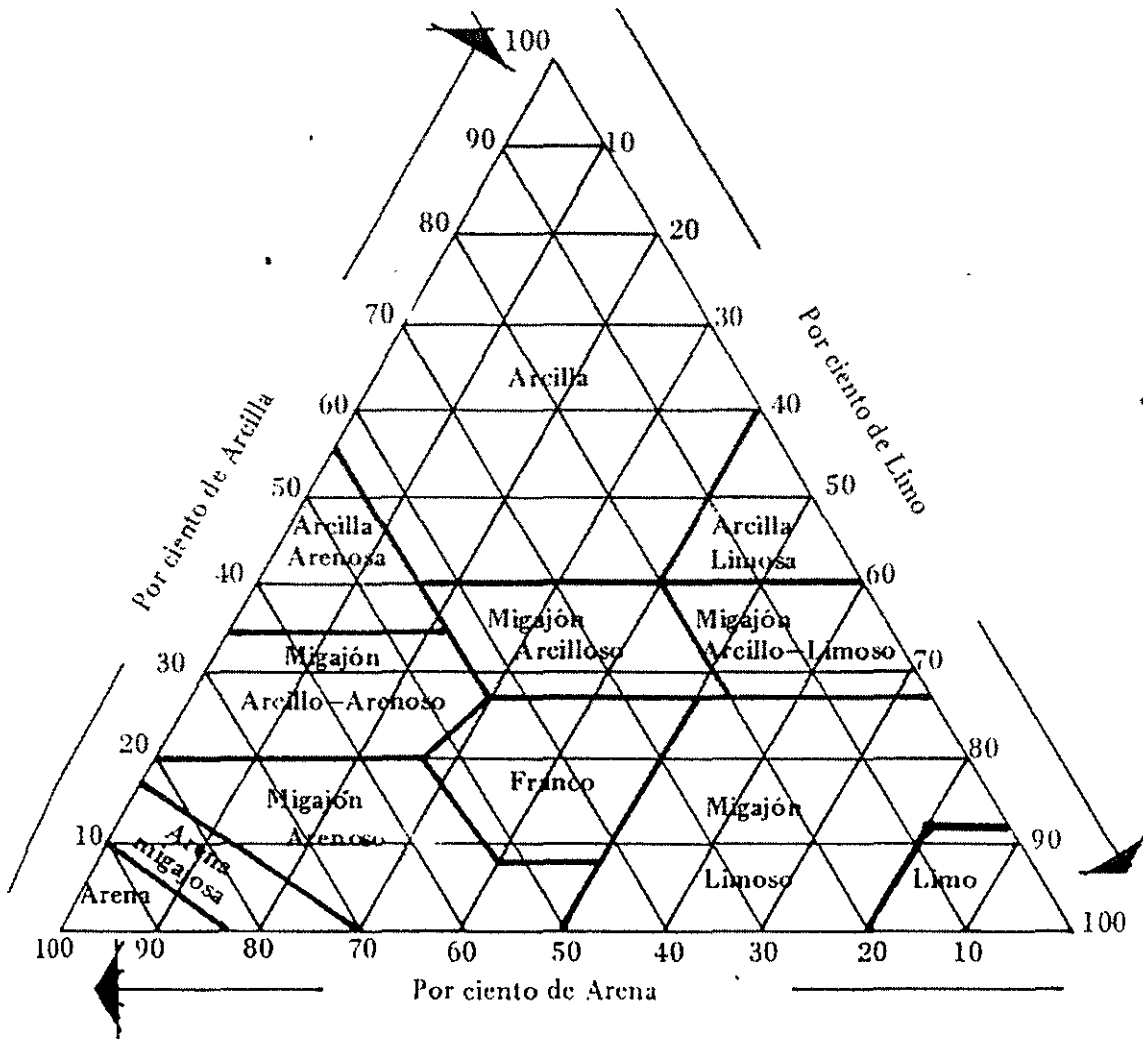
A5. Taxonomía de suelos en el área Cactus – Nuevo PEMEX



-  Alisol húmico
-  Alisol húmico, Alisol plíntico
-  Alisol plíntico
-  Fluvisol calcariéutrico
-  Fluvisol dístrico
-  Fluvisol gleyi-dístrico
-  Gleysol dístrico
-  Gleysol mólico
-  Gleysol húmico

-  Instalaciones Petroleras
-  Localidades
-  Terracerias
-  Cam. pavimentada
-  Vías de Tren
-  Islas
-  Canales
-  Red Hidrológica
-  Ríos principales

A6. Triángulo de texturas de Wiley



Tomado de Buol y McCracken, 1981