

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA**

INGENIERÍA QUÍMICA



**Caracterización fisicoquímica de suelos y su  
correlación en la retención de Plomo y Cromo en  
muestras del Arroyo Alamar, Tijuana, B. C.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**Ingeniero Químico**

PRESENTA

**LIDIA GABRIELA MONTOYA VICTORIO  
MARGARITA MORALES RÁBAGO**

TIJUANA, BAJA CALIFORNIA

MARZO 2007

**Universidad Autónoma de Baja California  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS  
E INGENIERÍA**

FOLIO No. **228**

Tijuana, B.C.

C. LIDIA GABRIELA MONTOYA VICTORIO

15 DE FEBRERO DE 2007

Pasante de INGENIERO QUÍMICO

Presente

El tema de trabajo y/o tesis para su exámen profesional, en la

Opción TESIS

es propuesto, por el C. DR. FERNANDO TOYOHICO WAKIDA KUSUNOKI

quien será el responsable de la calidad de trabajo que usted presente, referido al tema

"Caracterización fisicoquímica de suelos y su correlación en la retención  
de plomo y cromo en muestras del arroyo Alamar, Tijuana B.C."

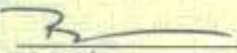
el cual deberá usted desarrollar, de acuerdo con el siguiente orden:

- I.- INTRODUCCIÓN
- II.- ANTECEDENTES
- III.- MÉTODOS
- IV.- RESULTADOS
- V.- CONCLUSIONES
- VI.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE BAJA CALIFORNIA




FACULTAD DE CIENCIAS  
QUÍMICAS E INGENIERÍA

  
M.C. RUBÉN GUILLERMO SEPÚLVEDA  
MARQUÉS

Sub-Director Secretario

  
DR. FERNANDO TOYOHICO WAKIDA  
KUSUNOKI

Asesor

  
M.C. MARÍA EUGENIA PÉREZ MORALES

Directora

**Universidad Autónoma de Baja California  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS  
E INGENIERÍA**

FOLIO No. **229**

Tijuana, B.C.

C. MARGARITA MORALES RABAGO

15 DE FEBRERO DE 2007

Pasante de INGENIERO QUÍMICO

Presente

El tema de trabajo y/o tesis para su examen profesional, en la

Opción TESIS

es propuesto, por el C. DR. FERNANDO TOYOHICO WAKIDA KUSUNOKI

quien será el responsable de la calidad de trabajo que usted presente, referido al tema

"Caracterización fisicoquímica de suelos y su correlación en la retención  
de plomo y cromo en muestras del arroyo Alamar, Tijuana B.C."


el cual deberá usted desarrollar, de acuerdo con el siguiente orden:

- I.- INTRODUCCIÓN
- II.- ANTECEDENTES
- III.- MÉTODOS
- IV.- RESULTADOS
- V.- CONCLUSIONES
- VI.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

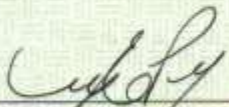
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE CIENCIAS  
QUÍMICAS E INGENIERÍA

  
M.C. RUBÉN GUILLERMO SEPÚLVEDA  
MARQUÉS  
Sub-Director Secretario

  
DR. FERNANDO TOYOHICO WAKIDA  
KUSUNOKI  
Asesor

  
M.C. MARÍA EUGENIA PÉREZ MORALES

Directora

# INDICE GENERAL

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Justificación</b> .....	<b>2</b>
<b>1.2 Objetivo</b> .....	<b>3</b>
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1 Composición del suelo</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1.1 Fracción Mineral</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1.2 Metales Pesados</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1.2.1 Cromo</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1.2.2 Plomo</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1.3 Materia Orgánica</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1.3.1 Funciones de la materia orgánica en el</b> <b>suelo</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1.4 Potencial de Hidrógeno (pH)</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2 Clasificación del suelo</b> .....	<b>17</b>
<b>2.3 Estructura y agregación</b> .....	<b>18</b>
<b>2.4 Capacidad del intercambio catiónico</b> .....	<b>20</b>
<b>2.4.1 Complejo Arcilla – Humus</b> .....	<b>20</b>
<b>3. MÉTODOS</b> .....	<b>24</b>
<b>3.1 Métodos de muestreo</b> .....	<b>24</b>



3.1.1 Técnica de recolección de muestras . . . . .	24
3.1.2 Conservación y pretratamiento de muestras . . . . .	24
3.2 Métodos de laboratorio . . . . .	25
3.2.1 Determinación del contenido en materia orgánica de los suelos . . . . .	25
3.2.2 Determinación de pH del suelo . . . . .	26
3.2.3 Determinación de la capacidad de cambio catiónico de los suelos y textura del suelo . . . . .	27
3.2.4 Preparación de muestras para el análisis de metales pesados . . . . .	29
3.3 Descripción del lugar de estudio . . . . .	30
4. RESULTADOS . . . . .	33
5. CONCLUSIONES . . . . .	47
6. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA . . . . .	49

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Niveles Promedio (mg/kg) de metales traza en suelos naturales .....	10
Tabla 2.2 Tamaños de partículas en suelos .....	14
Tabla 2.4 Niveles de capacidad de capacidad de cambio catiónico .	23
Tabla 3.3.1 Ubicación de puntos de muestreo .....	32
Tabla 4.1 Resultados a profundidad de 0 - 20cm .....	33
Tabla 4.2 Resultados a profundidad de 20 - 40cm .....	34
Tabla 4.3 Resultados de textura a profundidad de 0 - 20cm .....	35
Tabla 4.4 Resultados de textura a profundidad de 20 - 40cm .....	36
Tabla 4.5 Resultados de concentración de Plomo .	43
Tabla 4.6 Resultados de concentración de Cromo .....	45

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.3 Triángulo de textura de suelos . . . . .	17
Figura 3.1 Zona del Arroyo Alamar . . . . .	31
Figura 3.2 Zona de estudio Arroyo Alamar . . . . .	31
Figura 4.1 Potencial de hidrógeno (pH) a profundidad de 0 - 20cm . . .	37
Figura 4.2 Potencial de hidrógeno (pH) a profundidad de 20 - 40cm . .	38
Figura 4.3 Materia orgánica a profundidad de 0 - 20cm . . . . .	39
Figura 4.4 Materia orgánica a profundidad de 20 - 40cm . . . . .	40
Figura 4.5 Capacidad de cambio catiónico a profundidad 0 - 20cm .	41
Figura 4.6 Capacidad de cambio catiónico a profundidad 20 - 40cm .	42
Figura 4.7 Gráfica de Concentración de Plomo . . . . .	44
Figura 4.8 Gráfica de Concentración de Cromo . . . . .	46

## 1. INTRODUCCIÓN

Los suelos son una mezcla de material complejo formado por una variedad de material rocoso y de residuos orgánicos. Los suelos se identifican por ciertas propiedades físicas y químicas definidas que son determinadas por el clima (viento, temperatura y lluvia) y el material geológico (McBride. 1994).

Entre los componentes primarios de los suelos están las sustancias inorgánicas; como son los nutrientes solubles utilizados por las plantas; la materia orgánica, los gases y el agua. El humus formado por ácidos húmicos y fúlvicos. Los componentes líquidos están constituidos por una solución de minerales y agua. Entre los principales gases se encuentran el oxígeno, el nitrógeno y el dióxido de carbono.

Los suelos se componen también de silicatos complejos que comprenden desde el óxido de silicio (cuarzo) hasta los silicatos de aluminio hidratados. Para el desarrollo de las plantas se requiere de fósforo, azufre, nitrógeno, calcio, hierro y magnesio.



## 1.1 JUSTIFICACIÓN

La evaluación y/o caracterización de propiedades fisicoquímicas del suelo como son: El contenido de materia orgánica, la textura, el potencial redox, la capacidad de intercambio iónico, están relacionados con los procesos de transporte y distribución de contaminantes.

Por ejemplo la materia orgánica del suelo, como: la mineralización de nutrientes permite la estabilidad de los agregados, la captación favorable de agua y propiedades de retención.

La zona del arroyo Alamar ha sido identificada como una zona de recarga al acuífero del río Tijuana, por lo tanto, cualquier actividad potencialmente contaminante afectará la calidad del recurso hídrico.

Este estudio proporciona un diagnóstico de la capacidad de retención de metales contaminantes como plomo y cromo contaminantes, además de los porcentajes de materia orgánica, textura, pH y capacidad de intercambio iónico.

## **1.2 OBJETIVO**

El objetivo de este trabajo es evaluar las características fisicoquímicas de muestras de suelos de la zona del arroyo alamar y sus correlaciones con la concentración de metales como cromo y plomo.

## **2. ANTECEDENTES**

El termino *suelo* se refiere al material suelto de la superficie de la tierra. Los suelos proporcionan soportes físicos y nutrientes para el crecimiento de las plantas y los microorganismos. Los suelos fértiles, aquellos que dan lugar a una abundante producción de alimentos y fibra, se caracterizan tanto por la presencia de nutrientes como por una estructura física adaptable a los organismos vivos. Existe una gran variedad de microorganismos (bacterias, actinomicetos, hongos, algas y protozoos) que casi siempre están presentes en los suelos, aunque las densidades de población de las mismas varían ampliamente. La superficie de los gránulos de un suelo constituye el lugar donde se producen la mayoría de las reacciones bioquímicas pertenecientes al ciclo de la materia orgánica, el nitrógeno y otros minerales, a la meteorización de las rocas y a la absorción de nutrientes por parte de las plantas.

Las propiedades fisicoquímicas de los suelos influyen en gran manera sobre la aireación, la disponibilidad de nutrientes y la retención de agua y, por lo tanto, en la actividad biológica. Las propiedades más importantes de las que engloban estos grupos son el tamaño de partícula, la porosidad, la humedad, estado de aireación, composición química, fracción de arcilla, capacidad de intercambio de cationes y fracción orgánica. El tamaño de partícula afecta a la química de la superficie de los suelos y al tamaño de los poros. La cantidad de poros depende de la textura, estructura y contenido de materia orgánica del suelo. En suelos arcillosos, donde el tamaño de partícula es del orden de micrómetros, predominan los tamaños de poro más pequeños, mientras que en suelos arenosos, los poros de un suelo son mayores, siendo menor la cantidad total de poros. El agua se mueve más rápido a través de poros de gran tamaño y retienen muy poca agua, por lo tanto, los suelos de grano grueso drenan rápidamente. Se necesita agua para el crecimiento de las plantas y microorganismos y, por lo tanto, existe una estructura de poros óptima tal que retiene agua, al tiempo que una fracción importante de poros permanece rellena de aire.

## **2.1 COMPOSICIÓN DEL SUELO**

La matriz de un suelo está compuesta por cinco componentes principales: Minerales, aire, agua, materia orgánica y organismos vivos. Los materiales minerales constituyen los principales constituyentes estructurales de los suelos y suponen más del 50% del volumen total. El aire y el agua conjuntamente constituyen el volumen de poros, que, por lo general, ocupa entre el 25 y 50% del volumen total. La proporción aire-agua varía considerablemente con la humedad del suelo. La materia orgánica oscila entre el 3 y el 6% del volumen, como valor medio, mientras que los organismos vivos ocupan menos del 1%.

### **2.1.1 FRACCIÓN MINERAL**

El mineral predominante en un suelo es el dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ). También se encuentran en abundancia el aluminio y el hierro, mientras que el calcio, magnesio, potasio, titanio, manganeso, sodio, nitrógeno, fósforo y azufre están presentes en menor cuantía. La composición química varía en gran medida de un suelo a otro y, en un mismo suelo, a diferentes profundidades. Los microorganismos obtienen parte de los nutrientes que necesitan de la fracción mineral del suelo, debiendo, por lo tanto, tener en cuenta la composición del mismo.

Los suelos se clasifican según el tamaño de sus partículas, considerando tres componentes principales: arcilla, limo y arena. La arcilla pasa por un tamiz de 0.002mm, los limos quedan retenidos en el tamiz de 0.002mm pero pasa a través del tamiz de 0.05mm y las arenas quedan retenidas en el tamiz de 0.05mm aunque pasan a través del de 2mm. Aquellas partículas que quedan retenidas en el tamiz de 2mm se clasifican como grava o arena. La arcilla constituye el tipo de partícula que mayor efecto produce sobre las propiedades de un suelo, principalmente debido a la alta actividad superficial que la caracteriza. La mayor parte de las partículas de arcilla son de naturaleza coloidal, tienen una carga superficial negativa y de forma plana. Las arcillas son buenos absorbentes de agua, iones y gases. Las partículas de mayor tamaño, como la arena, no tienen el mismo nivel de actividad superficial. Los principales efectos asociados a las partículas de arena están relacionados con el tamaño de poro del suelo y, por lo tanto, con el movimiento del aire y el agua a través del mismo. Las arenas no afectan en gran medida a las propiedades químicas y biológicas del suelo.

## **2.1.2 METALES PESADOS**

### **2.1.2.1 CROMO:**

El cromo se encuentra en el suelo en cantidades de 5 a 1500 mg/Kg siendo el promedio de 100mg/Kg. En agua dulce de 0.1 a 6 µg/L, en agua de mar 0.2 a 50µg/L, en aire de 11 a 300ng/m<sup>3</sup>. El mineral cromita Cr<sub>2</sub>FeO<sub>4</sub> contiene de 13 a 65% de óxido de cromo (Weast et al. 1988).

#### **a) Usos industriales**

Las industrias en donde se utiliza el cromo son la metalurgia, aceros inoxidables, cemento, pegamentos, plásticos y pigmentos e industria de galvanoplastia. Los compuestos de cromo son usados en platinados, fábrica de vidrios, litografía y purificación de aceites (WHO, 1988; IARC, 1990).

#### **b) Contaminación natural y antropogénica**

Existe la liberación de cromo VI por la incineración de basureros municipales y en la eliminación de aguas negras. Los desechos sólidos de cromo VI pueden representar un riesgo al disponerse en basureros, debido a que esta forma del cromo contamina con facilidad las aguas subterráneas, a diferencia de la variedad del cromo III (Harte et al., 1991).

Las zonas adjuntas a cualquiera de las industrias anteriormente mencionadas son puntos de contaminación por cromo que van desde concentraciones leves hasta elevadas, esto se debe al grado de solubilidad del cromo sobre atmósfera y suelo. Se han encontrado concentraciones de cromo III entre 10 y 50 mg m<sup>-3</sup> en talleres de curtidos de pieles. En otras industrias, las concentraciones están entre 5 a 1,000 mg m<sup>-3</sup> (Stern, 1982).

Se ha estimado que a nivel mundial, la incineración de combustibles fósiles (carbón y aceites) aportan al ambiente de 50 a 1,400 toneladas de **Cr<sup>+6</sup>** por año y las descargas al agua comprenden entre 45 y 239 x10<sup>3</sup> toneladas métricas al año. También se estima que el 41% de las emisiones de cromo en la atmósfera son causadas por actividades humanas (Nriagu y Pacyna, 1988).

### **c) Efectos sobre la salud humana**

Los peligros del cromo en el cuerpo humano pueden ser ulceración e irritación dérmica. La exposición al cromo por largos periodos puede causar problemas al hígado y riñones. El cromo III es necesario en el cuerpo humano porque al combinarse con la insulina ayuda a conservar los niveles adecuados de glucosa en la sangre (Harte et al., 1991). Los daños de cromo VI pueden ser problemas de hígado, riñones, hemorragias internas, dermatitis, problemas respiratorios y cáncer



pulmonar. Los niveles de ingestión diaria para la población está en 50-200  $\mu\text{g}/\text{día}$  y el valor permitido para agua potable es de  $50 \mu\text{g L}^{-1}$ . El cromo también es importante en el metabolismo del colesterol aunque no se conoce su mecanismo, los complejos orgánicos del cromo III pueden facilitar la interacción de la insulina con receptores celulares (Evans, 1989).

### **2.1.2.2 PLOMO**

El plomo es relativamente abundante. Sus fuentes naturales son el desgaste de depósitos minerales, la erosión del suelo y las emanaciones volcánicas. Los minerales de más importancia son galena ( $\text{PbS}$ ), cerusita ( $\text{PbCO}_3$ ) y anglesita ( $\text{PbSO}_4$ ) (Lenttech, 2005).

Albert L. (1990) ha publicado que la concentración promedio de plomo en la corteza terrestre es de 15 ppm y la cantidad total se estima en  $3.8 \times 10^{14}$  toneladas y las fuentes naturales emiten anualmente 200 mil toneladas de este metal.

**Tabla 2.1** Niveles promedio (mg/Kg) de metales traza en suelos naturales  
(Temores Juan, 1995).

<b>Elemento</b>	<b>Arcilla</b>	<b>Limo</b>	<b>Arena</b>
<b>Arsénico</b>	-----	<b>1.7</b>	<b>2</b>
<b>Bario</b>	<b>700</b>	- - - - -	<b>20</b>
<b>Cadmio</b>	<b>1.4</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>
<b>Cromo</b>	<b>120</b>	<b>10</b>	<b>35</b>
<b>Cobalto</b>	<b>20</b>	<b>0.1</b>	<b>0.3</b>
<b>Cobre</b>	<b>50</b>	<b>4</b>	<b>2</b>
<b>Fierro</b>	<b>47200</b>	<b>3800</b>	<b>9800</b>
<b>Plomo</b>	<b>20</b>	<b>9</b>	<b>12</b>
<b>Níquel</b>	<b>68</b>	<b>20</b>	<b>2</b>
<b>Zinc</b>	<b>90</b>	<b>20</b>	<b>16</b>

### **a) Usos industriales**

Los usos del plomo comprenden una gran variedad, latas de alimentos, soldaduras, insecticidas, explosivos, producción de acumuladores, pinturas, fabricación de balas y municiones, baterías alcalinas, alfarería vidriada, cubiertas para los rayos X, aleaciones con otros metales, pesas para la pesca. Actualmente se han investigado otros usos del plomo como en la fabricación de puntillas o minas para lapiceras (Harrison, 1985).

### **b) Contaminación natural y antropogénica**

Se estima en  $2 \times 10^5$  toneladas las emisiones naturales de plomo (Albert, 1990). El plomo llega a la atmósfera por las emisiones de gasolinas y desechos sólidos que posteriormente se depositan en agua y suelos.

El cuatro por ciento de plomo emitido es producto de fuentes naturales y el resto por factores antropogénicos. El promedio anual de plomo en el aire en ciudades es de  $2 \mu\text{g m}^{-3}$ , en zonas rurales es de  $0.25 \mu\text{g m}^{-3}$  y en lugares remotos se encontraron concentraciones de  $0.1 \mu\text{g m}^{-3}$  (Temores, 1995). El plomo es uno de los seis elementos más contaminantes en la atmósfera según la Agencia de Protección al ambiente de Estados Unidos (EPA).

### **c) Efectos sobre la salud humana**

La intoxicación por plomo está asociada con la enfermedad llamada saturnismo (Whitfield et al.1972). Cuando el plomo entra en el cuerpo humano se acumula en los huesos y tiende a metabolizarse sustituyendo al calcio en la sangre; las intoxicaciones por el plomo dañan al sistema nervioso, al sistema reproductivo y a los riñones. En la intoxicación por plomo los síntomas se presenta como vómitos, dolores de cabeza y abdominales, pérdida de apetito, bajo rendimiento intelectual y falta de coordinación muscular. (Harte et al., 1991).

Se han reportado concentraciones de plomo en la sangre arriba de  $0.3 \mu\text{g ml}^{-1}$  en niños, y esto se asocia con el deficiente funcionamiento del sistema nervioso central el cual persiste hasta la edad adolescente (Needleman et al. 1990). Las enfermedades renales como la neuropatía se desarrollo por la exposición prolongada al plomo (Landrigan, 1990), también se ha encontrado plomo en riñones cancerosos en trabajadores de fundidoras. Goyer (1993) encontró altas concentraciones de plomo en personas con cáncer de pulmón.

### 2.1.3 MATERIA ORGÁNICA

La fracción orgánica del suelo esta compuesta por residuos de plantas y animales, células microbianas y productos resultantes del metabolismo microbiano y que, a menudo, se conoce por el nombre de *humus*. El termino humus se refiere a la materia orgánica que ha sufrido las suficientes degradaciones y transformaciones como para que la materia original no sea reconocible. El humus esta compuesto en su mayor parte por sustancias polimerizadas: compuestos aromáticos, polisacáridos aminoácidos, polímeros del ácido urocanico y compuestos que contienen fósforo. La cantidad de humus en un suelo se ve afectada en gran medida por las actividades agrícolas. El humus rara vez supera el 10% en peso en suelos minerales. Sin embargo, en suelos con un alto contenido orgánico, como la turba, el humus puede alcanzar el 90% del peso del suelo.

**Tabla 2.2** Tamaños de Partículas en Suelos (Eweis Juana,1999)

<b>Tipo de partícula</b>	<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Área (m<sup>3</sup>/kg)</b>
<b>Arena</b>		
<b>Gravilla</b>	<b>1.0-2.0</b>	<b>1.1</b>
<b>Arena gruesa</b>	<b>0.5-1.0</b>	<b>2.3</b>
<b>Arena media</b>	<b>0.25-0.5</b>	<b>4.5</b>
<b>Arena fina</b>	<b>0.1-0.25</b>	<b>9.1</b>
<b>Arena muy fina</b>	<b>0.05-0.1</b>	<b>22.7</b>
<b>Limo</b>	<b>0.002-0.05</b>	<b>45.4</b>
<b>Arcilla</b>	<b>&lt;0.002</b>	<b>1.130</b>

### **2.1.3.1 FUNCIONES DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO**

La importancia de agregar materia orgánica para mejorar la fertilidad del suelo la conocen los agricultores desde hace miles de años. Generalmente, la materia orgánica del suelo regula los procesos químicos, biológicos y físicos que en él ocurren.

En los procesos químicos la materia orgánica interviene en:

- a)** El suministro de elementos químicos (mediante la mineralización) como el nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, calcio y magnesio y

micronutrientes disponibles para las plantas.

**b)** La estabilización de la acidez del suelo.

**c)** La capacidad de cambio catiónico de los suelos. La capacidad de intercambio de la materia orgánica es alta, varía entre 100 y 400 cmol(+)/kg. (centimoles de carga positiva por kilogramo de suelo).

**d)** La capacidad de intercambio aniónico, donde se acumulan nitratos, fosfatos y sulfatos.

**e)** La regularización de los niveles de disponibilidad de nutrimentos principales y de elementos químicos menores.

**f)** Los fenómenos de adsorción que inactivan a los plaguicidas.

La materia orgánica también afecta propiedades físicas del suelo como:

**a)** En la estructura del suelo, favorece la formación de agregados, disminuye la plasticidad y la agregación global del suelo.

**b)** En el uso del agua mejora la infiltración, reduce la evaporación, mejora el drenaje y la estructura lo que favorece la aireación, favorece el calentamiento y a través de los coloides orgánicos ayuda a retener el agua.

**c)** En el color del suelo favorece o dificulta la absorción de la energía solar.



#### 2.1.4 POTENCIAL HIDRÓGENO (pH)

Los suelos presentan distinta capacidad de cambio en función del pH. A pH bajos los hidrogeniones están fuertemente retenidos en las superficies de las partículas, pero a pH altos los H<sup>+</sup> (Hidrógenos) de los grupos carboxílicos primero y de los OH<sup>-</sup> después, se disocian y los H<sup>+</sup> pueden ser intercambiados por cationes.

Esto es la consecuencia de que la capacidad de cambio de cationes aumente con el pH.

Los cationes que frecuentemente ocupan las posiciones de cambio en los suelos son: Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, H<sup>+</sup>, Al<sup>+3</sup>, Fe<sup>+3</sup>, Fe<sup>+2</sup>, NH<sup>+4</sup>, Mn<sup>+2</sup>, Cu<sup>+2</sup> y Zn<sup>+2</sup>.

En los suelo **ácidos** predominan H<sup>+</sup> y Al<sup>+3</sup>, en los suelos **alcalinos** predominan las bases fundamentalmente el Na<sup>+</sup> y en los neutros el Ca<sup>+2</sup>.

## 2.2 CLASIFICACIÓN DEL SUELO

Las proporciones de arena, limos y arcilla en un suelo determinado definen el grupo que pertenece dicho suelo (fig. 2.3). La categoría de textura denominada Magra, se refiere a suelos en los que no predomina ninguno de los tamaños o tipos de partículas (arena, limo, arcilla). Se hace hincapié sobre la importancia del contenido de arcilla de un suelo en el triángulo de texturas a través de denominar suelos “arcillo-arenosos” a aquellos que contienen menos del 40% de arcilla.

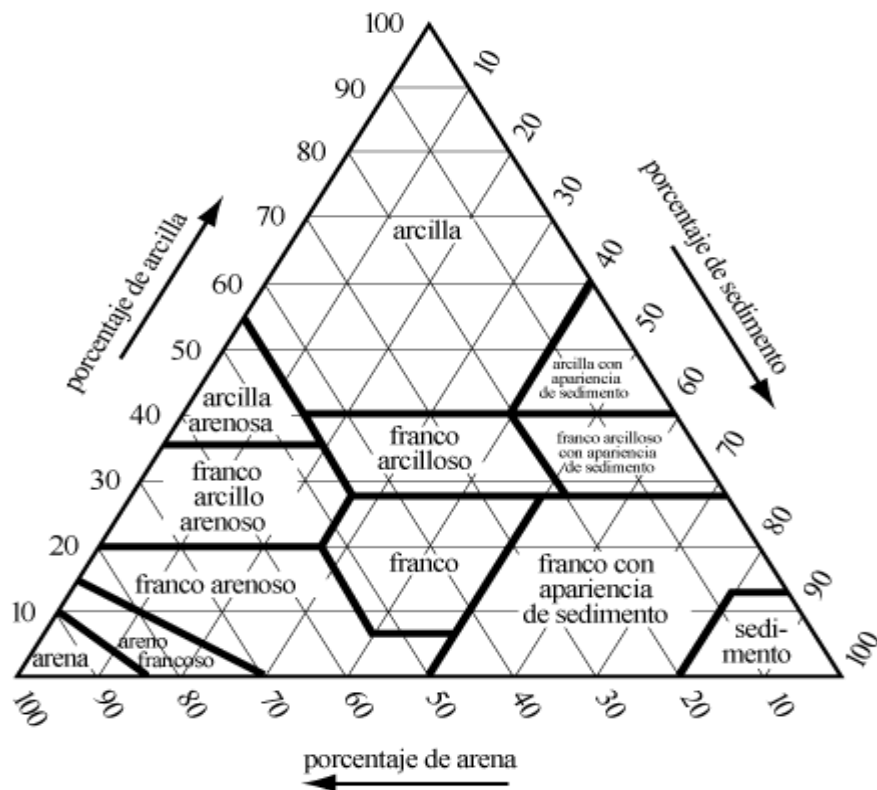


Figura 2.3 Triángulo de textura de suelos. (Johnson L.J., 1979)

En general, tanto arena como grava son consideradas como partículas gruesas en comparación con limos y arcillas, las cuales se clasifican como partículas finas. Los suelos con predominio del contenido de arena suelen tener una capacidad de retención de agua baja y una permeabilidad alta; en general, tienen una buena aireación y drenan bien. Los suelos con altos contenidos en limos suelen tener problemas de formación de costras, lo cual resulta en escorrentía superficial. En general, aquellos suelos con predominio del contenido de limo y arcillas suelen ser cohesivos y tener una capacidad de retención de agua alta y baja permeabilidad, lo que supone velocidades de infiltración y aireaciones bajas.

### **2.3 ESTRUCTURA Y AGREGACIÓN**

La estructura de un suelo es la disposición y organización de las diferentes partículas de un suelo. Como tal, la estructura de un suelo constituye una propiedad cualitativa del mismo antes que de una propiedad cuantitativa. Esta estructura depende de la porosidad total de un volumen de suelo, de la forma de cada poro y de la distribución global de los tamaños de los poros. La estructura de un suelo afecta en gran medida a las propiedades mecánicas del suelo, principalmente al movimiento de fluidos, incluidas la infiltración, la retención de agua y la aireación. Aquellos suelos en los que las partículas están sueltas y no

adheridas entre si, tales como los depósitos no consolidados de polvo del desierto, se definen bien como carentes de estructura o bien como poseedores de una estructura de grano simple. Por otro lado, los suelos con partículas estrechamente unidas, como por ejemplo, en una arcilla seca, a menudo se definen como poseedores de una estructura en masa. Los suelos con una estructura intermedia entre las dos descritas, se definen *agregados*.

La agregación de un suelo consiste en la estabilización de la arena, limos y arcilla, mediante la formación de complejos de materia arcillosa-orgánica en agregados. En comparación con las partículas minerales, los agregados constituyen unidades estructurales temporales. Su estabilidad se ve afectada en gran medida por la actividad microbiana, los cambios climáticos y por las prácticas agrícolas, tales como la preparación del terreno para su sembrado. Las arcillas, debido a su gran superficie neta negativa, son imprescindibles en la formación de agregados. Los microorganismos y algunos componentes orgánicos de un suelo también están cargados negativamente para valores de pH neutros. La formación de agregados se produce como resultado de los enlaces iónicos originados entre arcillas y materia orgánica a través de los cationes polivalentes presentes en el suelo.

## 2.4 CAPACIDAD DEL INTERCAMBIO CATIONICO

### 2.4.1 Complejo Arcilla-Humus

Los coloides inorgánicos abundan frente a los orgánicos en los suelos agrícolas. Los coloides orgánicos se encuentran adsorbidos sobre los inorgánicos formando el complejo arcilla-humus, que es el complejo activo del suelo. Este complejo explica las propiedades del suelo, justifica la estabilidad de los agregados y la dinámica de los nutrientes.

Las uniones arcilla-humus pueden ser de varios tipos:

- a) Unión química (cargas)
- b) Unión por puentes de cationes ( $\text{Ca}^{+2}$ )
- c) Filamentos del micelio de hongos
- d) Exudados gelatinosos de bacterias

La fase sólida del suelo controla a la fase líquida o suministradora de nutrientes. De toda la fase sólida el componente que en mayor medida interviene en este proceso es el complejo arcilla-humus, cuyo reducido tamaño le permite una gran superficie de contacto con el agua y los nutrientes, al tiempo que sus características físico-químicas le confieren una actividad que repercute en la dinámica de nutrientes.

El suelo tiene **poder adsorbente**, que es la capacidad del mismo para retener iones (cationes o aniones) de la solución del suelo de una forma cambiable o reversible, acción que se justifica por la presencia de partículas con carga eléctrica, fundamentalmente, en el complejo arcilla-humus, y en una menor proporción por mecanismos electrostáticos débiles en limos y arenas.

Este poder de almacenar iones puede ser de dos tipos: **Cambio Catiónico** o **Cambio Aniónico**.

Cuantitativamente es el cambio más importante en los suelos es el cambio catiónico porque el complejo está saturado, principalmente, con cargas negativas. Para un suelo concreto la capacidad de cambio catiónico depende de 2 tipos de factores:

- a) Factor interno:** Tipo de arcilla y compuestos húmicos del suelo.
- b) Factor externo:** Potencial Hidrogeno (pH), el cual influye en la disociación de grupos funcionales.

El complejo arcilla humus se representa con un círculo con la superficie rodeada de cargas negativas, las cuales necesitan para neutralizarse almacenar cationes que quedan cogidos de forma reversible. Estos cationes adsorbidos sobre la superficie del complejo de

cambio pueden ser sustituidos por otros que liberan al suelo a los primeros.

La causa de estas sustituciones es que los iones están en movimiento en la solución del suelo, de esta forma se puede hablar de:

**a) Factor capacidad:** Representa los iones adsorbidos por el complejo.

**b) Factor intensidad:** Muestra los iones que hay en la solución del suelo.

Los **factores que influyen en el cambio catiónico** (eficiencia por la cual unos iones reemplazan a otros) son:

**a) Concentración relativa de un catión (ley de acción de masas):** Si en el complejo de cambio se encuentra adsorbido un catión A y en la solución del suelo hay un catión B, éste último sustituirá al primero siempre que la concentración de B sea superior a la de A.

**b) El número de cargas del ión:** A mayor número de cargas más eficaz es ese ión para el cambio. Por ejemplo  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  desplazan a  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{NH}_4^+$ .

**c) Hidratación:** Los iones débilmente hidratados ( $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$ ) son mejor fijados que los fuertemente hidratados ( $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$ ).



**d) Cuanto menos tamaño (hidratado) más actividad hay para el cambio:**

Tamaño hidratado:  $\text{Li}^{+1} > \text{Na}^{+1} > \text{K}^{+1} > \text{Rb}^{+1}$

Eficiencia:  $\text{Li}^{+1} < \text{Na}^{+1} < \text{K}^{+1} < \text{Rb}^{+1}$

**e) Estado de saturación del complejo:** Está probado que dependiendo del tipo de cationes que haya sobre el complejo va a haber una tendencia del complejo a fijar otros.

La capacidad de cambio catiónico es la expresión del número de sitios de absorción de cationes por unidad de peso del suelo (cationes intercambiables adsorbidos expresados en meq/100 g de suelo seco).

**Tabla 2.4 Niveles de capacidad de cambio catiónico (Temores, J., 1995)**

<b>C.C (meq./100 g)</b>	<b>Diagnóstico</b>
> 40	Muy alto
25-40	Alto
12-25	Medio
6-12	Bajo
< 6	Muy bajo

DONDE:

**C.C.** = Capacidad de cambio catiónico.

### **3. MÉTODOS**

#### **3.1 MÉTODOS DE MUESTREO**

##### **3.1.1 TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS**

Las muestras de suelo fueron recolectadas en Julio y Agosto de 2004, se tomaron 11 muestras en distintos puntos del arroyo Alamar. Las muestras fueron recogidas a diferentes profundidades de: 0-20cm. y de 20-40 cm., recogiendo aproximadamente 100g de suelo en cada punto de muestreo. Las muestras fueron recolectadas en bolsas de polietileno y etiquetadas con los datos de la localización del punto de muestreo (la clave, número de muestra y fecha).

##### **3.1.2 CONSERVACIÓN Y PRETRATAMIENTO DE MUESTRAS**

Las muestras de suelo se secaron en una estufa a 60°C por 24 horas. Posteriormente fueron trituradas en un mortero de porcelana y se hicieron pasar por una malla de acero inoxidable de 2 mm. y en el caso de los metales, se hicieron pasar por una malla de plástico de 2mm., con el propósito de tener homogeneizados el tamaño de partícula. Después las muestras fueron colocadas en bolsas de polietileno, debidamente etiquetadas y almacenadas a temperatura ambiente hasta su análisis.

## **3.2 MÉTODOS DE LABORATORIO**

### **3.2.1 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO EN MATERIA ORGÁNICA DE LOS SUELOS.**

1. Se peso 0.5g aproximadamente de cada una de las muestras de suelo.
2. A cada una de las muestras de suelo previamente pesadas, se les añadió lo siguiente: 10ml  $K_2Cr_2O_7$  + 20ml  $H_2SO_4$  y las dejamos reposar 30min.
3. Transcurridos los 30 min. Se les añadió a cada muestra de suelo, lo siguiente: 200ml. Agua + 10ml  $H_3PO_4$  + 1ml de difenilamina, agregamos el agitador magnético y titulamos con sulfato ferroso amónico 0.5N, hasta que el color vire a verde manzana, también se realizo un blanco.
4. Realizar un blanco y valorar.

## **CÁLCULOS:**

### **a) % DE CARBONO FÁCILMENTE OXIDABLE (%C):**

$$\% C = (10 - 0.5F_sV_s) 0.003 \times 100/P$$

DONDE:

**%C**= Porcentaje de carbono fácilmente oxidable.

**F<sub>s</sub>**= factor de la solución de sulfato ferroso amónico, se calcula en base al blanco realizado.

**V<sub>s</sub>**= Volumen de sulfato ferroso amónico empleado en la valoración del dicromato potásico que no ha reaccionado con el suelo.

**P**= Peso de muestra utilizado.

**0.003** = es el peso miliequivalente del carbono en gramos.

### **b) MATERIA ORGÁNICA FÁCILMENTE OXIDABLE (%M.O):**

$$\% M.O = (10 - 0.5F_sV_s) (0.3/P) 1.72$$

El cálculo del contenido de en materia orgánica fácilmente oxidable es aproximado y empírico, se basa en el supuesto de que la materia orgánica del suelo tiene el 58% de carbono y que todo el dicromato es consumido por este.

**c) % MATERIA ORGÁNICA TOTAL (%M.O.T):**

$$\% \text{ M. O. T} = \% \text{ M. O} / 0.77$$

Este cálculo es basado en que la materia orgánica valorada por el método, o fácilmente oxidable, es el 77 por 100 de la materia orgánica total.

**3.2.2 DETERMINACIÓN DE pH DEL SUELO:**

1. Se utilizó el potenciómetro previamente calibrado.
2. Se pesaron 25g de suelo aproximadamente, y se le agrego 50ml de agua
3. Se introdujo el electrodo, cuidando de no tocar las paredes ni el fondo del vaso.
4. Una vez que se estabilizo se tomó la lectura, posteriormente se lavó el electrodo y así sucesivamente.

### **3.2.3 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CAMBIO CATIONICO DE LOS SUELOS Y TEXTURA DEL SUELO.**

1. Se peso aproximadamente 0.5g de cada suelo y se colocaron en tubos de ensaye.
2. Se le añadió 25 ml de solución de cambio A y se agitaron por 2 min.
3. Después los tubos se introdujeron a la centrífuga por 7 minutos. Transcurrido ese tiempo se le extrajo el líquido restante, y nos quedamos sólo con el precipitado.
4. Se le añadió 25ml Solución de cambio B ( $MgSO_4$ ) 0.1N, agitamos por 2 minutos, y se introdujeron de nuevo a la centrífuga.
5. Posteriormente se pesaron de 10 a 25 de cada muestra de suelo, dependiendo de la cantidad de arcilla que tuvieran. Después se les añadió 30 ml aproximadamente de  $H_2O_2$  esto es para eliminar la materia orgánica, se dejaron reposar toda la noche. Posteriormente se le añadió 10 ml de  $H_2O_2$  y cubrir con un vidrio de reloj. Calentamos hasta que aclare la muestra de suelo que indica que la materia orgánica ha desaparecido. Posteriormente se le añadió 15 ml de  $Na_2C_2O_4$  y se dejó reposar.
6. Después las muestras de suelo se pasaron a una probeta, aforamos con agua, se agitaron y se dejó reposar 40 segundos.

7. Transcurrido ese tiempo, se tomo una alícuota a 25 ml a 10 cm de profundidad, a las 6 hrs. se tomo otra alícuota de 25 ml pero esta, a 9cm de profundidad.

8. Se secaron y pesaron las muestras, la primera alícuota que se tomó y pesó indica el peso de limo + arcilla; la segunda alícuota indica el peso de arcilla. Posteriormente se calculó el % de arena, limo y arcilla y la textura se determinó mediante el uso el triángulo de texturas (figura 2.3).

9. Transcurrido ese tiempo, tomamos 10ml de cada tubo, se les agregó 100 ml de agua + 10ml de solución amortiguadora + 6 gotas de indicador negro eriocromo y se valora el magnesio hasta aparición azul.

### **CÁLCULOS:**

$$\mathbf{C.C = [(M-N) 12.5 ]/P}$$

DONDE:

**C.C=** Capacidad de cambio en miliequivalentes por 100g.

**M=** Mililitros de solución complejante empleados en valorar 10ml de solución B (solución de sulfato magnésico).

**P=** Peso en gramos de la muestra.

**N=** Mililitros de Muestra.



### 3.2.4 PREPARACIÓN DE MUESTRAS PARA ANÁLISIS DE METALES PESADOS

Las muestras de suelos que se colectaron se conservaron a 4°C. Para el tratamiento de los suelos se utilizó el método de la digestión con agua regia descrito por Binning y Baird (2001) y se describe a continuación:

1. Se puso a secar las muestras en un horno a una temperatura de 60 °C por 48 horas.
2. Se pesó 2g de muestra y se depositaron en un vaso de precipitados de 250 ml.
3. Agregamos al vaso 20 ml de solución concentrada de ácido nítrico/ácido clorhídrico de 1:3 respectivamente (agua regia) y se dejó reposar toda la noche.
4. Calentamos la muestra para evaporar aproximadamente el 80% de la solución.
5. Se dejó enfriar la solución y agregamos 20 ml de solución de ácido nítrico al 5 M y se dejó reposar toda la noche.
6. Filtramos a través de un papel filtro Whatman No. 41 y el filtrado se transfirió a un matraz volumétrico de 100 ml.
7. Se aforó a 100 ml con la solución de ácido nítrico al 0.5 M.
8. Se preparó el equipo de absorción atómica para los análisis de los metales: Cromo y Plomo.

### 3.3 DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO

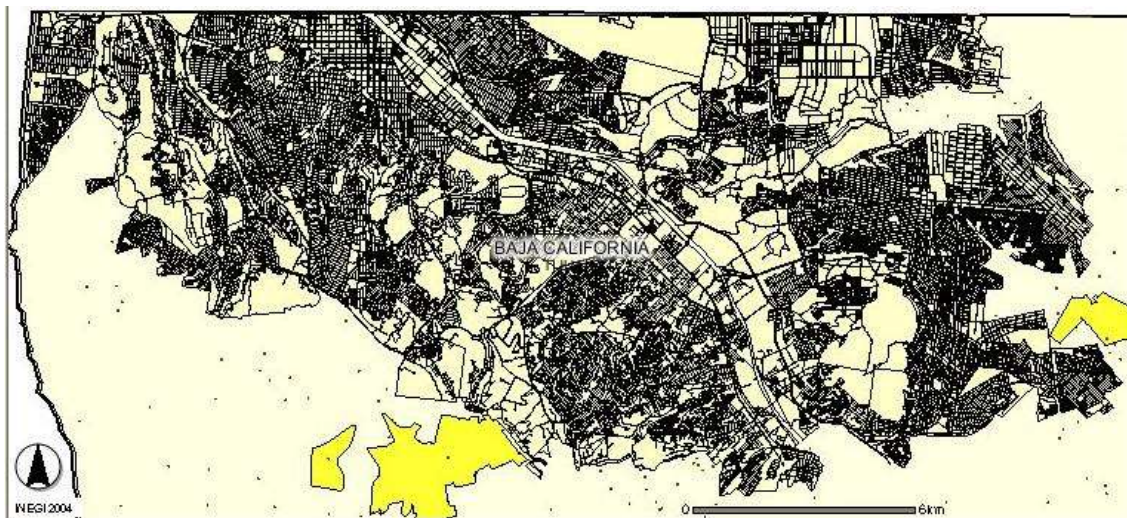
El Arroyo Alamar forma parte de la cuenca del Río Tijuana, el cual desemboca al Océano Pacífico en Imperial Beach, en el condado de San Diego California. La cuenca del Río Tijuana esta comprendida en el condado de San Diego y los municipios de Tijuana, Rosarito y Tecate, en Baja California.

La Cuenca libre del Arroyo Alamar se localiza entre las coordenadas  $32^{\circ} 30' 00''$  y  $32^{\circ} 43' 30''$  de latitud norte y entre los  $117^{\circ} 00' 00''$  y  $116^{\circ} 19' 00''$  de longitud Oeste, cruzando a la ciudad de Tijuana, B.C. en su parte noreste hasta su confluencia con Río Tijuana, descargando finalmente en el Océano Pacifico dentro de los Estados Unidos de América.

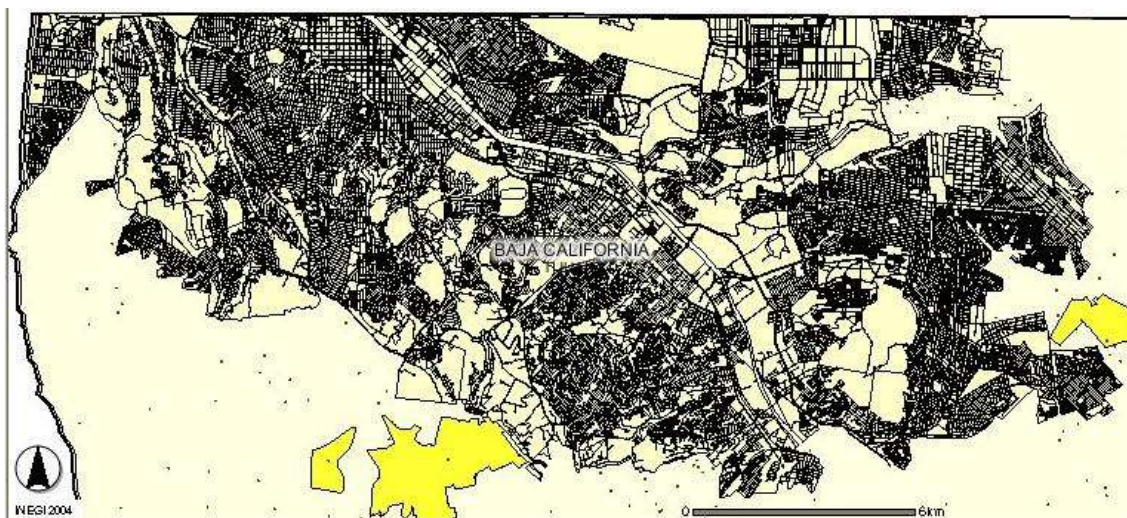
Limita al Norte con las presas "La Morena y Barret" de los E.U.A., cuyas descargas al Arroyo Cottonwood son formadoras del cauce principal del Arroyo Alamar, al Este limita con las estribaciones de la sierra de Juárez, al Sur colinda con la cuenca principal del Río Tijuana y al Oeste con la zona urbana de Tijuana, B.C. (CNA, 1993).

Los constituyentes del acuífero son grava y arena seguido en importancia por limos y arcilla, esta sedimentación es de origen aluvial y forma parte de un relleno intermontano.

## ZONA DEL ARROYO ALAMAR



**Figura 3.1 Zona del Arroyo Alamar. Tijuana, B. C. INEGI México 2004**



**Figura 3.2 Zona de estudio del Arroyo Alamar**

**Tabla 3.3.1 Ubicación de puntos de muestreo.**

<b>Punto de Muestreo</b>	<b>Coordenadas Norte</b>	<b>Coordenadas Oeste</b>	<b>Elevación (ft)</b>
<b>1</b>	32° 32' 18.51"	116° 52' 01.99"	307
<b>2</b>	32° 32' 18.40"	116° 52' 04.91"	306
<b>3</b>	32° 32' 19.40"	116° 53' 15.29"	311
<b>4</b>	32° 31' 44.17"	116° 53' 55.65"	247
<b>5</b>	32° 31' 39.11"	116° 54' 36.44"	222
<b>6</b>	32° 31' 25.35"	116° 54' 51.02"	190
<b>7</b>	32° 31' 13.64"	116° 55' 04.5"	188
<b>8</b>	32° 31' 06.39"	116° 55' 08.97"	195
<b>9</b>	32° 30' 58.09"	116° 55' 21.16"	190
<b>10</b>	32° 30' 36.70"	116° 56' 34.97"	164
<b>11</b>	32° 30' 36.40"	116° 56' 42.29"	161

#### 4. RESULTADOS

Se analizaron suelos a profundidades de 0-20 cm. y de 20-40 cm. en diferentes sitios de la zona río Alamar.

**Tabla 4.1 Resultados a profundidad de 0-20 Cm.**

<b>Muestra</b>	<b>pH</b>	<b>% C</b>	<b>%M. O</b>	<b>% M. O. T</b>	<b>C.C</b>
<b>S1</b>	6.31	0.0897	0.1543	0.2003	25.339
<b>S2</b>	7.93	3.5464	6.0999	7.922	40.3731
<b>S3</b>	7.45	2.7098	4.6609	6.0531	44.8182
<b>S4</b>	7.94	1.2547	2.1582	2.8029	46.6143
<b>S5</b>	7.70	1.3533	2.3277	3.0230	86.048
<b>S6</b>	7.82	3.3856	5.8233	7.5627	88.011
<b>S7</b>	6.78	4.3985	7.5654	9.8253	27.914
<b>S8</b>	7.89	2.5416	4.3717	5.6775	42.837
<b>S9</b>	6.80	1.0476	1.8018	2.3401	33.396
<b>S10</b>	7.00	0.7494	1.2891	1.6741	12.891
<b>S11</b>	5.90	3.1209	5.3679	6.9714	16.594

**Tabla 4.2 Resultados a profundidad de 20-40 Cm.**

<b>Muestra</b>	<b>pH</b>	<b>% C</b>	<b>%M. O</b>	<b>% M. O. T</b>	<b>C.C</b>
<b>S1</b>	7.38	0.6268	1.0781	1.4001	19.655
<b>S2</b>	7.64	0.4649	0.7997	1.0385	21.0115
<b>S3</b>	7.66	1.3502	2.3224	3.0164	30.0186
<b>S4</b>	7.7	1.3139	2.26	2.935	50.1345
<b>S5</b>	7.80	1.2076	2.0771	2.6975	31.917
<b>S6</b>	8.00	6.9069	1.5598	2.0258	23.13
<b>S7</b>	6.90	3.5187	6.0523	7.8601	42.372
<b>S8</b>	7.90	2.9873	5.1382	6.6731	31.442
<b>S9</b>	6.76	0.3194	0.5494	0.7136	10.892
<b>S10</b>	7.02	0.6948	1.1952	1.5522	21.359
<b>S11</b>	6.35	1.6054	2.7613	3.5861	28.426

Donde:

**S**= número de muestra de suelo.

**% C**= porcentaje de Carbono fácilmente oxidable.

**% M.O.** = Porcentaje de materia orgánica fácilmente oxidable.

**% M. O. T.** = Porcentaje de materia orgánica total.

**C.C.** = Capacidad de cambio en miliequivalentes por 100g.

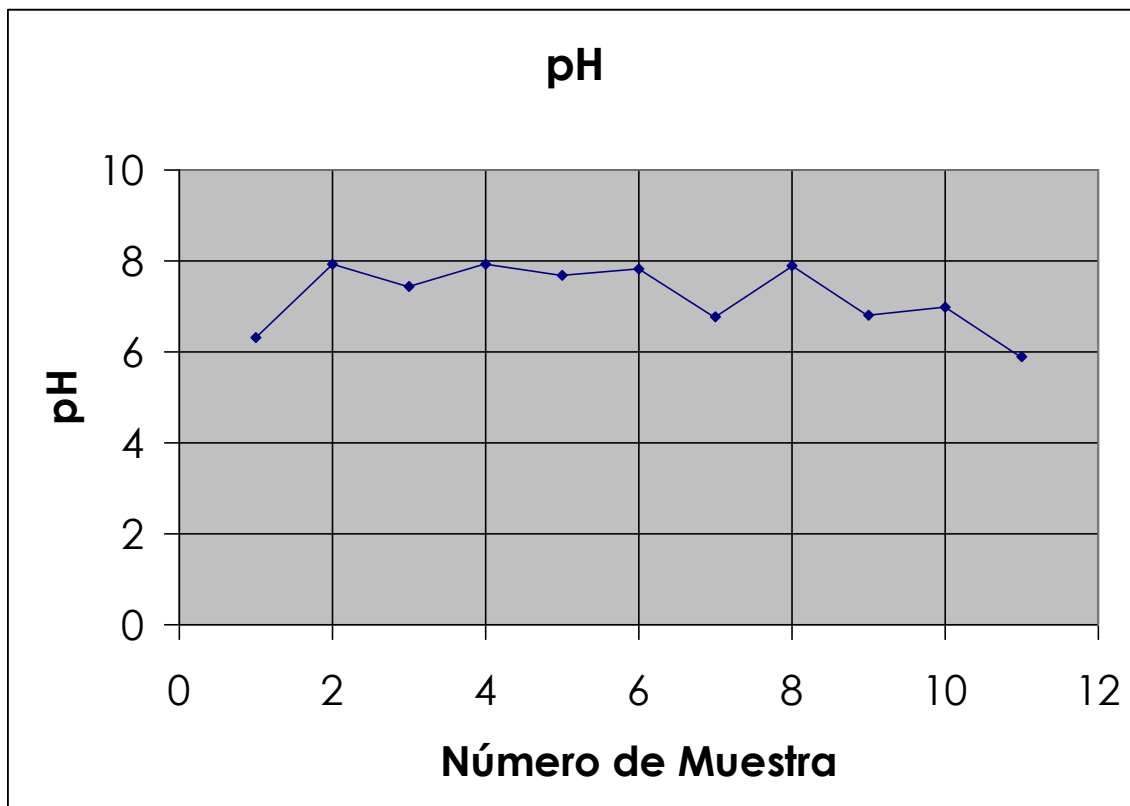
**Tabla 4.3 Resultados de textura a profundidad de 0-20 Cm.**

<b>Muestra</b>	<b>%Limo</b>	<b>% Arcilla</b>	<b>% Arena</b>	<b>Textura</b>
<b>S1</b>	7.34	8.00	91.86	Arena
<b>S2</b>	48.25	2.87	48.88	Migajón arenoso
<b>S3</b>	71.94	3.84	24.22	Migajón limoso
<b>S4</b>	25.69	39.02	35.28	Migajón arcilloso
<b>S5</b>	35.12	21.32	43.56	Migajón
<b>S6</b>	77.14	2.66	20.2	Migajón limoso
<b>S7</b>	59.30	31.68	9.02	Migajón limoso
<b>S8</b>	49.24	36.56	14.2	Migajón
<b>S9</b>	38.82	14.76	46.42	Arena
<b>S10</b>	15.36	3.54	81.1	Arena migajosa
<b>S11</b>	36.78	19.26	49.96	Migajón

**Tabla 4.4 Resultados de textura a profundidad 20-40 Cm.**

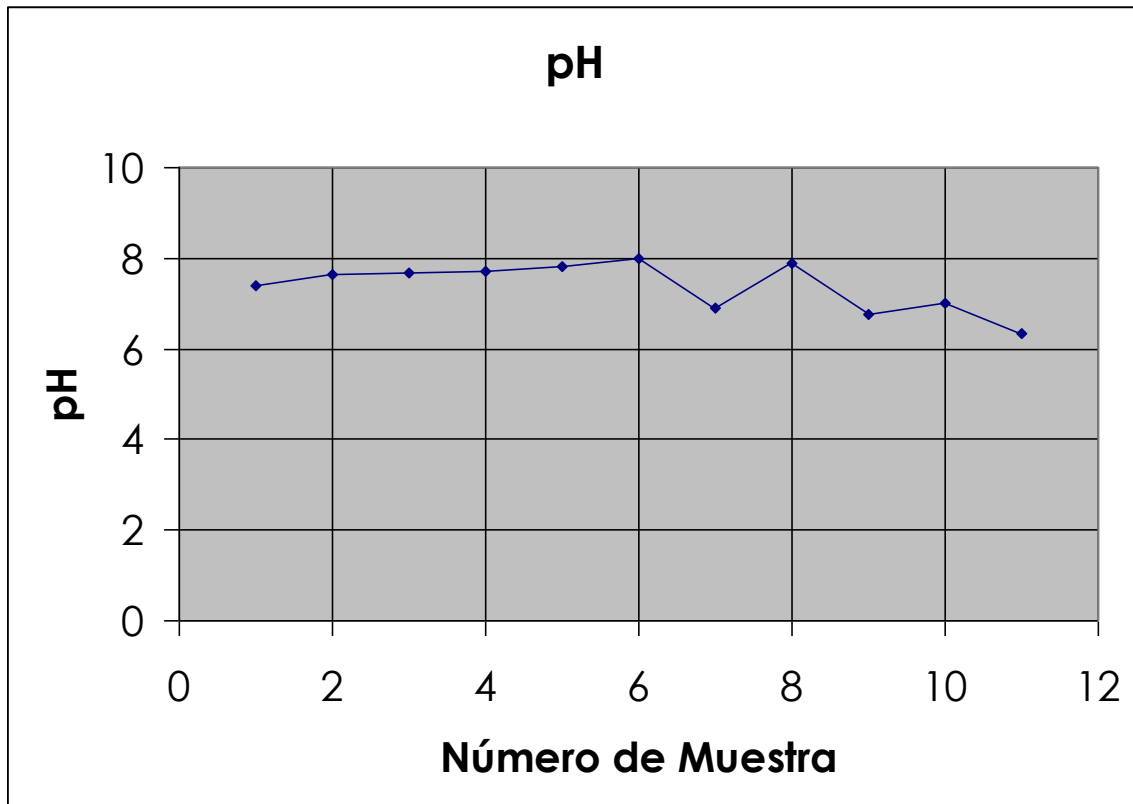
<b>Muestra</b>	<b>%Limo</b>	<b>% Arcilla</b>	<b>% Arena</b>	<b>Textura</b>
<b>S1</b>	4.49	16.9	78.6	Migajón arenoso
<b>S2</b>	11.87	9.00	87.23	Arena
<b>S3</b>	25.66	8.52	65.82	Mijagón arenoso
<b>S4</b>	31.94	46.43	21.63	Arcilla
<b>S5</b>	15.1	7.88	77.02	Arena migajosa
<b>S6</b>	40.38	10.96	48.66	Migajón
<b>S7</b>	49.67	37.27	13.06	Migajón
<b>S8</b>	38.54	34.26	27.2	Migajón arenoso
<b>S9</b>	52.12	1.88	46.00	Migajón limoso
<b>S10</b>	32.5	18.5	49.00	Migajón
<b>S11</b>	16.62	3.2	80.12	Arena migajosa





**Figura 4.1** Potencial Hidrógeno (pH) a profundidad de 0-20 cm.

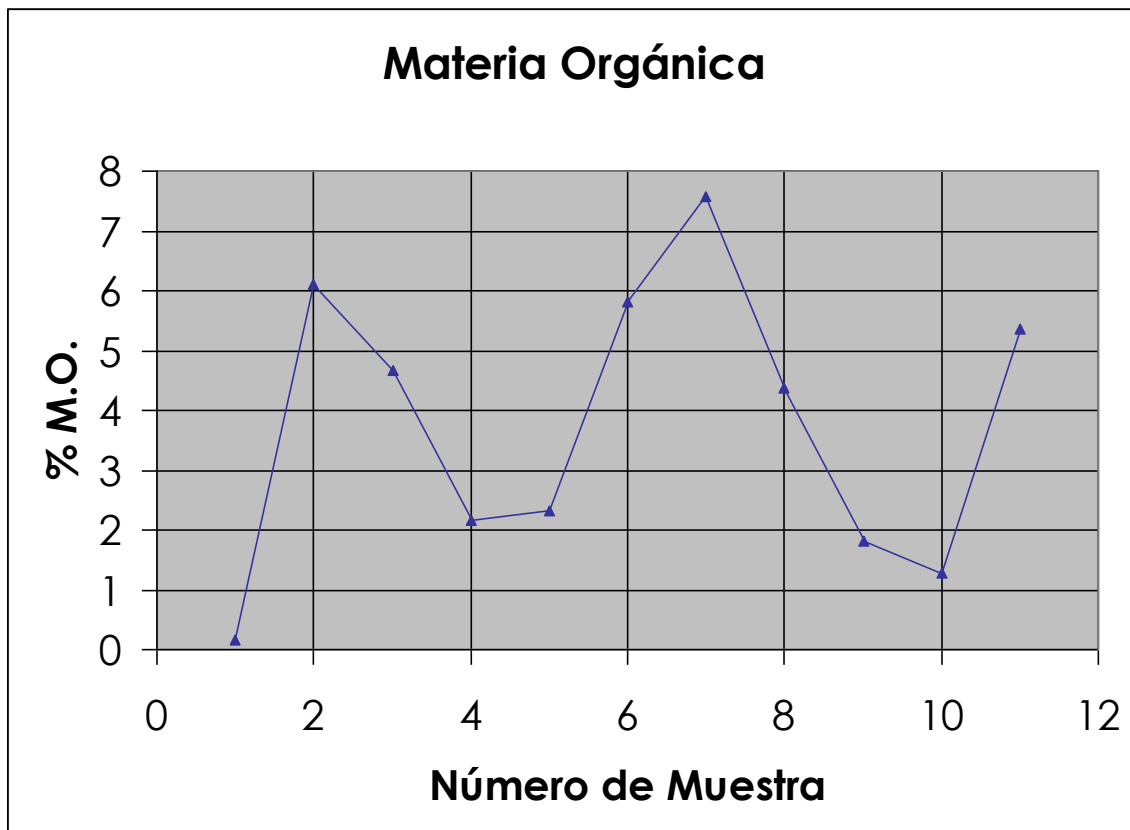
En esta gráfica se muestran el pH de las muestras a profundidad de 0-20 cm. La mayoría de los suelos presentaron un pH alcalino.



**Figura 4.2 Potencial Hidrógeno (pH) a profundidad de 20-40 cm.**

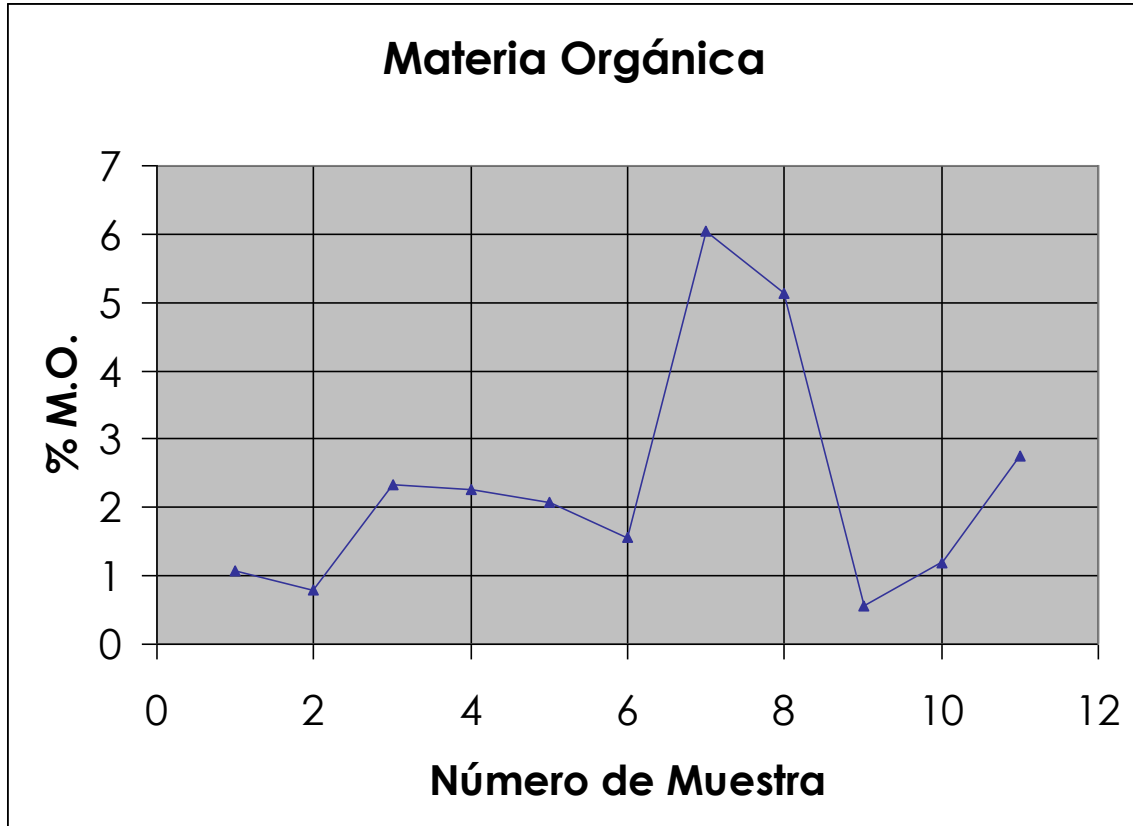
Se observa en la gráfica que la mayoría de los suelos analizados presentaron un pH alcalino.

En un suelo alcalino se forman hidróxidos con los metales, por lo que se mantienen inmóviles y es difícil que se transporten a través del subsuelo.



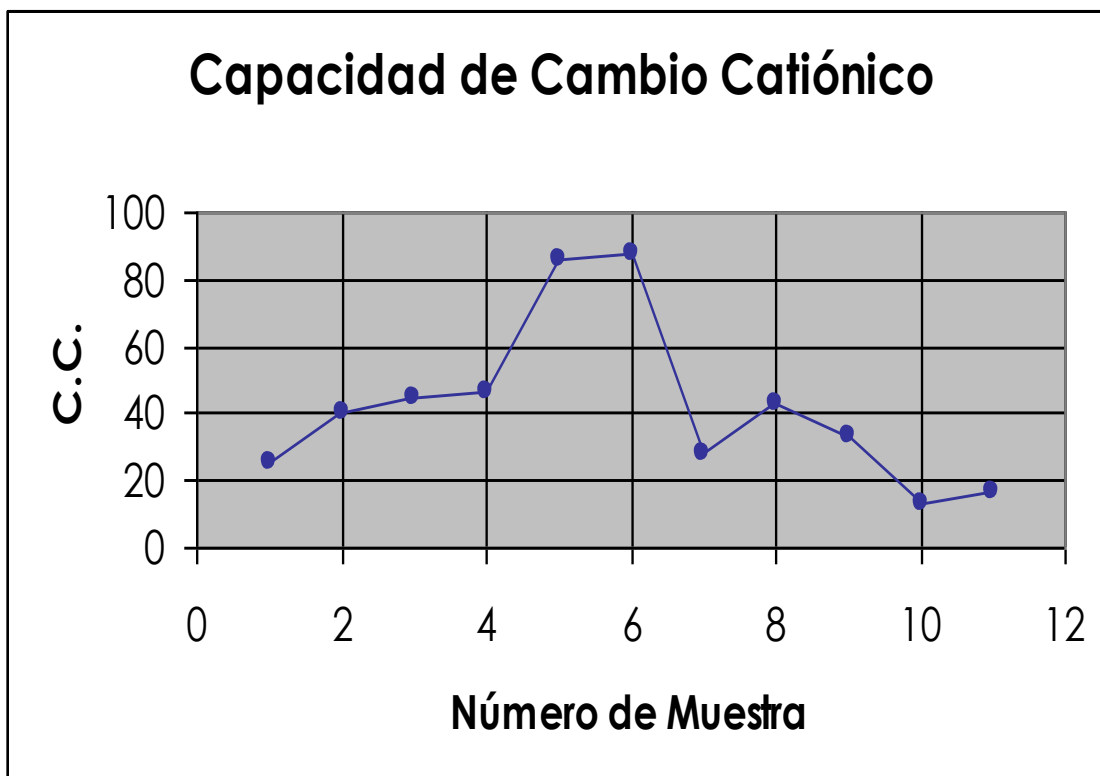
**Figura 4.3 Materia orgánica a profundidad de 0-20 cm.**

En la gráfica se puede observar que la cantidad de materia orgánica fue alta en la mayoría de las muestras, excepto en la muestra S1 y S10 (< 2%). Siendo la de más alto contenido los sitios 7, 6, 2 (6-7%).



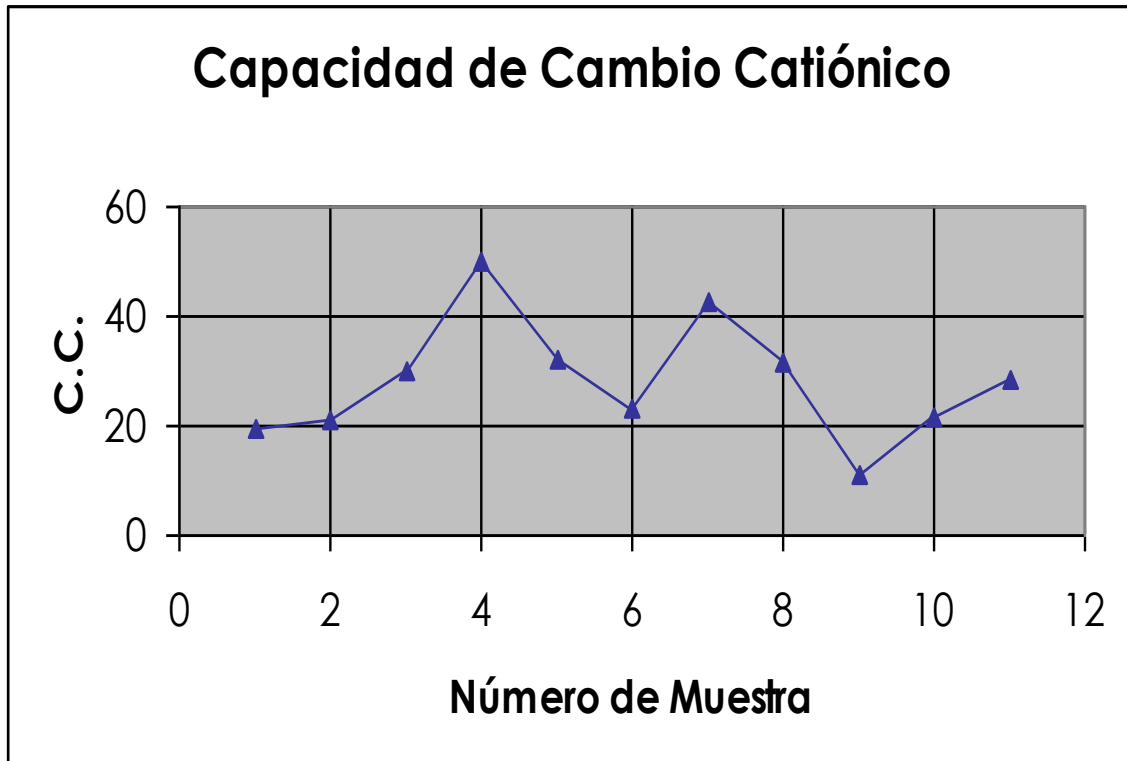
**Figura 4.4 Materia orgánica a profundidad de 20-40 cm.**

La cantidad de materia orgánica fue muy variable (entre 1 y 6%). Los suelos que presentaron un menor porcentaje de materia orgánica fueron S1, S2, S6, S9, S10. Sin embargo, como era de esperarse en general el contenido de materia orgánica fue menor a la de la capa superficial de 0-20 cm. A mayor porcentaje de materia orgánica presente en un suelo, los metales se encuentran más inmóviles, debido a que son adsorbidos por la materia orgánica, entonces se tiene un suelo con capacidad de retención de contaminantes, pero el porcentaje varía de un suelo a otro, incluso en un mismo suelo a diferentes profundidades.



**Figura 4.5 Capacidad de Cambio Catiónico a profundidad 0-20 cm**

Más de la mitad de las muestras de suelos presentaron un cambio catiónico muy alto (>40 ), por lo tanto, tienen mayor capacidad de retención de contaminantes. Esta comparación es en base a la tabla 2.4.

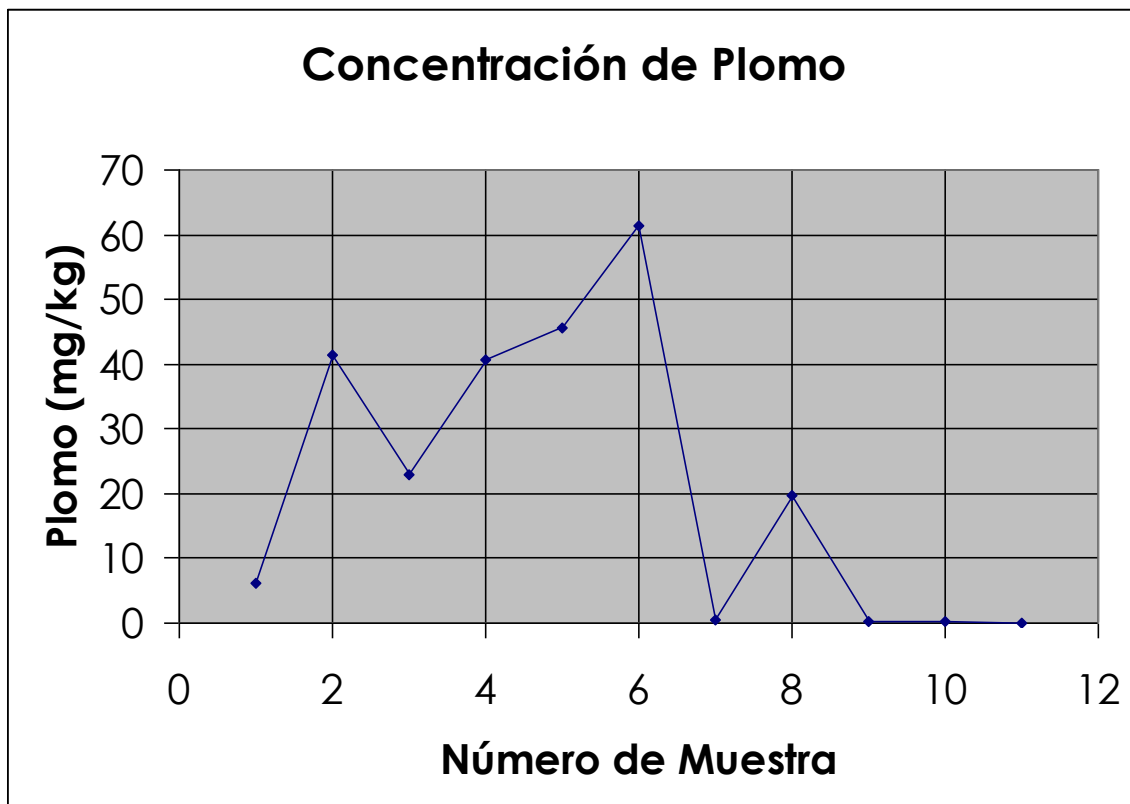


**Figura 4.6 Capacidad de Cambio Catiónico a profundidad 20-40 cm**

De acuerdo a la tabla 2.4 la capacidad de cambio catiónico fue muy variable, fue desde un cambio catiónico bajo de 10.892 para S9 hasta un valor muy alto de 50.1345 para S4. En general el 75% de las muestras obtenidas a esta profundidad tienen una capacidad intercambio catiónico considerado medio y solo una muestra de las analizadas tuvo un intercambio catiónico bajo.

**Tabla 4.5 Resultados de Concentración de plomo.**

<b>Muestra</b>	<b>Lectura (ppb)</b>	<b>Concentración de Plomo(mg/kg)</b>
S1 (0-20)	124	6.2
S2 (0-20)	207	41.4
S3 (0-20)	115	23
S4 (0-20)	203	40.6
S5 (0-20)	228	45.6
S6 (0-20)	307	61.4
S7 (0-20)	9	0.45
S8 (0-20)	98	19.6
S9 (0-20)	5.5	0.275
S10 (0-20)	5.6	0.28
S11 (0-20)	1.5	0.075



**Figura 4.7 Gráfica de concentración de Plomo**

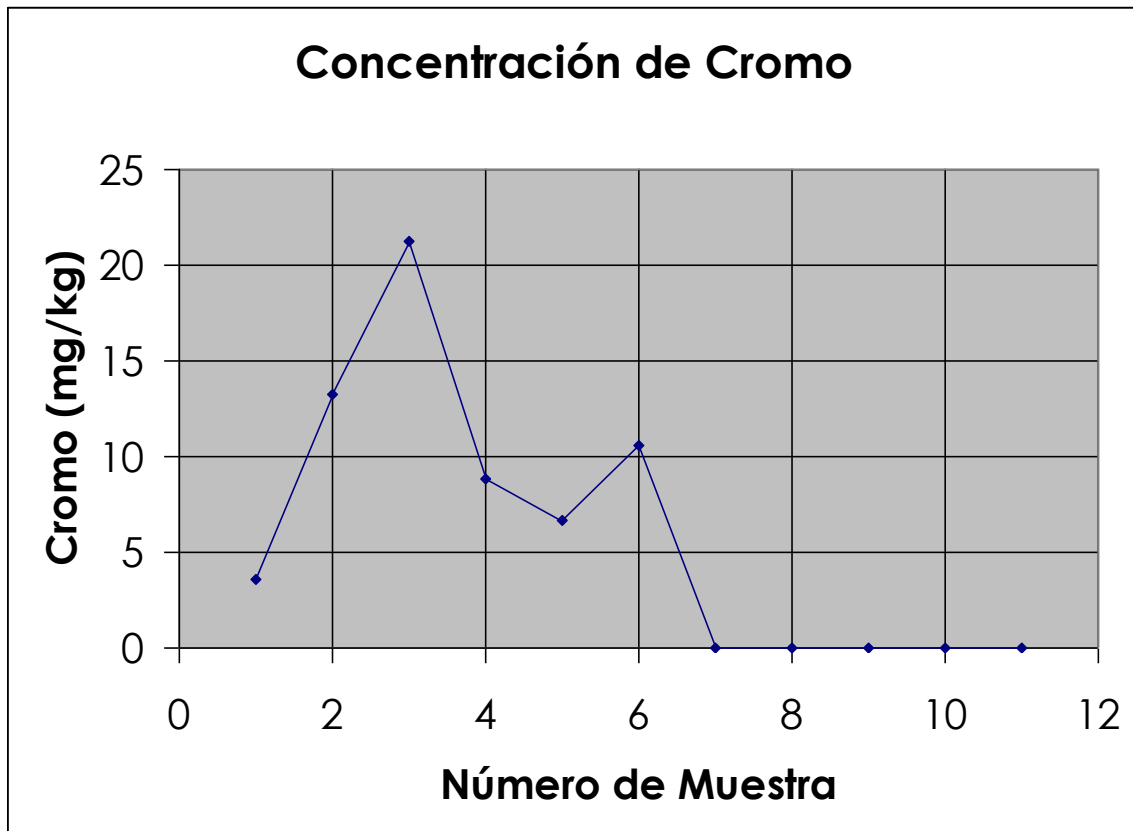
En esta gráfica se puede apreciar que la mayoría e los suelos sobrepasan el nivel promedio de concentración de Plomo a excepción del S1, S7, S10 y S11, esto es comparación con la tabla 2.1



**Tabla 4.6 Resultados de concentración de Cromo.**

<b>Muestra</b>	<b>Lectura (ppb)</b>	<b>Concentración de Cromo(mg/kg)</b>
S1 (0-20)	71.2	3.56
S2 (0-20)	265	13.25
S3 (0-20)	425.6	21.28
S4 (0-20)	177.1	8.855
S5 (0-20)	133.3	6.665
S6 (0-20)	211.3	10.565
S7 (0-20)	ND	ND
S8 (0-20)	ND	ND
S9 (0-20)	ND	ND
S10 (0-20)	ND	ND
S11 (0-20)	ND	ND

**ND=** No detectable



**Figura 4.8 Gráfica de concentración de Cromo**

Se observa en la gráfica que sólo dos muestras (S3 y S6) pasan el nivel promedio de concentración de cromo en suelos naturales.

## 5. CONCLUSIONES

La mayoría de los suelos presentaron un pH alcalino. La cantidad de materia orgánica no sobrepasa el 10%. La cantidad de materia orgánica promedio fue de 3.98% con un rango de 0.2003% a 9.8253%.

De acuerdo con las muestras de suelos analizadas con el espectrofotómetro de absorción atómica se encontró que la mayoría de muestras sobre pasan el nivel promedio de plomo en suelos naturales, el cual fue de: 21.7163 mg/kg, siendo que el nivel promedio para Arcilla es de 20 mg/kg, 9 mg/kg para Limo, y 12 mg/kg para Arena, a excepción de las muestras S1, S7, S10 Y S11. Respecto a la cantidad de cromo, la mayoría de las muestras de suelos tuvieron se encontraron debajo del nivel promedio que fue 5.8340 mg/kg, siendo que para Arcillas el nivel promedio es de 120 mg/kg, para Limo 10 mg/kg y para Arena 35 mg/kg.

En cuatro sitios los niveles de plomo en las muestras de suelo excedieron los niveles promedio para suelos de la tabla 2, lo cual indica una posible contaminación por ese metal en esos sitios. Estos sitios se encuentran en la parte baja aledaña al parque industrial de la Mesa Otay, por lo que hay una posibilidad de que los escurrimientos de lluvia arrastren contaminantes a estos sitios.

La concentración de cromo fueron menores al promedio de suelos naturales. A excepción de dos sitios (S3 y S6), esto podría ser el resultado de sedimentos transportados por el río Tecate que subsecuentemente terminan en la parte este del arroyo Alamar.

Con base a los resultados podemos concluir que el suelo en la zona del arroyo Alamar tiene una alta capacidad de retención de contaminantes por su contenido de materia orgánica en la capa de superficial de 0-20 cm. Esto es muy importante debido a que la zona del arroyo Alamar es considerada como una zona de recarga al acuífero del Río Tijuana y todo lo relacionado con retención de contaminantes afectará la calidad del recurso hídrico.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albert, A. L. 1990. Curso Básico de Toxicología Ambiental. Ed. Limusa. Primera edición. México. Páginas: 101, 105, 123, 171.

Binning, K. y D. Baird. 2001. Survey of heavy metals in the sediments of the Swartkops River Estuary, Port Elizabeth South Africa. *Water SA*. 27(4):461-66.

Brady Nyle C., Weil Ray R. 2002. The nature and properties of soils, 13 edición. Editorial Prentice Hall. Estados Unidos. Pág. 340.

CNA Comisión Nacional del Agua. 1993. Cuenca Arroyo el Alamar, Tijuana, B. C., estudio hidrológico. Ensenada, B. C.

De la Fuente Silva Leopoldo. Introducción de suelos. Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Evans, G.W. 1989. The effects of Chromium picolinate on insulin controlled parameters in humans. *International Journal of Biosocial Medicine Research*. 11: 163 - 180.

Eweis Juana, Ergas Sarina, Chang Daniel, Schroeder Edward. Principios de Biorrecuperacion (Bioremediation). 1999. Editorial Mc Graw Hill. España. Pag. 27-37

Goyer RA. 1993. Lead toxicity: current concerns. *Environ Health Perspective*. 100: 177 – 187.

Hans, G.S., Sigel, H. 1988. Handbook of Toxicity of inorganic compounds. Marcel Dekker, Inc. New York.

Harrison, R.M. y S.J. Wilson 1985. The chemical composition of highway drainage waters. III Chemical associations of metals in the suspended sediments. *Science of the total environment*. 43(1):79.

Harte, J., Ch. Holdren, R. Schneider y C. Shirley. 1995. Guía de las sustancias contaminantes. Ed. Grijalbo. México.

Johnson, M. J. et al. 1987. Trace elements loading to sediments of fourteen Notario lakes and correlations with concentrations in fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. Vol. 44: 3 – 13

Landrigan P.J. 1990. Lead in the modern workplace. *American Journal of Public Health*. Vol. 80: 907 – 908.

Johnson L.J., 1979. *Introductory Soil Science: A Study Guide and Laboratory Manual* (Introducción a la Ciencia de los Suelos: Una Guía de Estudio y Manual de Laboratorio) MacMillan Pub. Co., Inc., N.Y

Landrigan P.J. 1990. Lead in the modern workplace. *American Journal of Public Health*. Vol. 80: 907 – 908.

Lenntech. Water Treatment and air purification. 2005.  
<http://www.lenntech.com/heavy-metals.htm>

McBride, Murria B. 1994. *Environmental Chemistry of Soils*. Oxford University Press. New York. U.S.A.

Needleman, H.L., A. Schell, D. Bellinger, A. Leviton A. y E.N. Allred. 1990. Long-term effects of childhood exposure to Lead at low dose: an eleven-year follow-up report. *New England Journal of Medicine*. 322: 82-88.

Nriagu, J. O., Pacyna, J.M. 1988. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature*. 333:134-39

Palmer, R.; Troeh, F.R. Introducción a la química de suelos. AGT Editor, S.A. México, 1971. Pag. 27-39

Primo Yúfera E. Carrasco Dorrién J. M., Química Agrícola, 1era Edición. 1973. Editorial Alambra. Pág.: 262-276

Stern, R. M. 1982. Chromium compounds: production and occupational exposure. In Langard S., editor: Biological and environmental aspects of chromium. New York. Elsevier.

Temores, Juan. 1995. Acumulación de metales traza en suelos de la Ciudad Industrial Otay Nueva Tijuana y regiones aledañas. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería. Universidad Autónoma de Baja California

Universidad de Granada, España. Formación y Degradación del suelo. [www.edafologia.org.es](http://www.edafologia.org.es). Consultada en Junio 2006.

Weast, R.C., 1988-1989. CRC Handbook of Chemistry and Physics, ed. 69. Boca Raton, Fla. CRC Press.



Whitfield CL, Chen LT, Whitehead JD, 1972. Lead encephalopathy in adults, *American Journal of Medicine*. 52:289 – 297.

WHO, 1988. World Health Organization (Organización Mundial de la Salud).

Fase sólida del suelo, [www.sagan-gea.org](http://www.sagan-gea.org). Consultada en Junio 2006.