



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**“ANÁLISIS GEOQUÍMICO EN ZONA DE AMORTIGUAMIENTO EN SANTA  
ROSA XOCHIA, MÉXICO, D. F.”**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

**INGENIERO CIVIL**

PRESENTA

**ALFREDO GONZÁLEZ MEDINA**

DIRECTOR DE TESIS

M. en I. FERNANDO JESÚS DE LOREZ SANTOS



Ciudad Universitaria D.F., mayo de 2010



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.

## **AGRADECIMIENTOS**

Doy gracias a dios por darme la visión y un alma la cual cultivar, a la universidad y a todos los profesores por motivarme a continuar cada día, a la vida por enseñarme las maravillas que en ella existe, a mi hermana por estar conmigo y hacerme compañía en los momentos difíciles, a los amigos por ayudarme a aprender y a disfrutar la vida en su compañía, pero principalmente le doy las gracias a mi madre por darme la vida, por enseñarme a ser un hombre honorable, honesto, trabajador y amoroso de mis seres queridos, porque ese es el reflejo y aprendizaje que en ella encontré y la propiedad más valiosa que en mi vida tendré... ¡Gracias madre!.

### **Agradecimiento especial:**

#### **A M.I. Fernando Jesús de Lorenz Santos**

Gracias por la gran oportunidad de formar parte de este maravilloso proyecto, por la paciencia y su apoyo en los momentos en que dudé, por los conocimientos vertidos en mí; por de mostrarme una nueva forma de ver el mundo, por brindarme su apoyo en todas las pruebas que se realizaron en la investigación, por enseñarme e incentivar a llegar más lejos cada día.

### **Agradecimiento especial:**

#### **A Dra. Georgina Fernández Villagómez.**

Gracias por todos los grandes momentos donde siempre estuvo ahí para mí, por escucharme y apoyarme, por instruirme en los muchos momentos en los que no sabía qué hacer, por la paciencia cuando dudé, por darme su confianza y dejarme formar parte de un nuevo mundo, por motivarme a superarme cada día más, por ello y todo lo que me ha dado, muchas gracias.

### **Agradecimiento especial:**

#### **A mi sobrina Adriana Elizabeth**

Gracia mi princesa, por haber llegado a mi vida y haber cambiado mi forma de pensar, mi forma de ser y mi forma de actuar, por hacerme sentir amado y hacerme superara para brindarte la vida que te mereces, gracias de todo corazón.

### **Agradecimiento especial:**

A la O.N.U. por dar el apoyo brindado para la realización de este proyecto así como a los vecinos de Santa Rosa y a todos lo que me brindaron su apoyo para llevar a buen término mi carrera profesional así como el presente proyecto ¡gracias!.

***“El trabajo nos libera de tres grandes males:  
el aburrimiento, el vicio y la pobreza.”***

*Voltaire*

***“La perfección es una pulida colección de errores.”***

*Mario Satz*

***La inteligencia no se mide por cuantas operaciones o cálculos  
puedo hacer, la inteligencia se mide por la creatividad y la  
imaginación de cada persona, lo demás solo es memoria.***

# ANÁLISIS GEOQUÍMICO EN ZONA DE AMORTIGUAMIENTO EN SANTA ROSA XOCHIAC

## Contenido:

1.-Introducción:	
1.1.-Antecedentes	5
1.2.- Objetivos	26
1.2.1.- General	26
1.2.2.- Específicos	26
1.2.3.-Alcances	26
1.2.4.-Limitantes	26
2.-Características generales del medio físico	
2.1.- Área de estudio	30
2.2- Características físicas	35
3.-Metodología	
3.1.-Trabajo de Campo	44
3.2.- Trabajo de laboratorio	51
4.- Resultados y su evaluación	
4.1.- Contenido de humedad	72
4.2- pH y Potencial redox	
4.2.1.- pH	73
4.2.2.- Potencial redox	74
4.3 Granulometría	76
4.4.- Materia orgánica	80
4.5.-Sales y metales	
4.5.1.- Sales	82
4.5.2.-Metales	84
5.- Conclusiones y recomendaciones	
5.1.- Conclusiones	99
5.2.- Recomendaciones	100
Referencias	102

# Capítulo 1

Antecedentes

## **1.1 Antecedentes**

### **GEOQUÍMICA**

La geoquímica es una especialidad de las ciencias naturales, que sobre la base de la geología y de la química estudia la composición y dinámica de los elementos químicos en la Tierra, determinando la abundancia absoluta y relativa, distribución y migración de los elementos entre las diferentes partes que conforman la Tierra (hidrosfera, atmósfera, biósfera y geósfera), utilizando como principales testimonios las transformaciones los minerales y rocas componentes de la corteza terrestre, con el propósito de establecer leyes o principios en las cuales se basa tal distribución. Los elementos geoquímicos son en una escala de mayor a menor abundancia: oxígeno, silicio, aluminio, hierro, calcio, sodio, potasio y magnesio. (Diccionario ambiental Sarmiento 2010).

Los objetivos de la geoquímica son:

Determinar la abundancia absoluta y relativa de los elementos y sus especies químicas en los diferentes sistemas naturales de la Tierra y establecer la distribución y migración de los elementos en las diferentes partes que conforman la Tierra (litosfera, atmósfera, hidrosfera, biosfera), con el objeto de obtener información sobre los principios que gobiernan la migración y distribución de los elementos (entre los diferentes sistemas naturales) (Alonso de Val y Herrero, 2001).

Su aprovechamiento para el bienestar social es:

Prospección de los recursos naturales para el beneficio de la humanidad, (plata, oro, aluminio, petróleo) y la determinación de la calidad del ambiente y reconocer los principales procesos para intervenir en la reducción, atenuación y mitigación del impacto ambiental en beneficio de la humanidad

### **Áreas de investigación**

Las áreas de investigación son:

Geoquímica orgánica: Dedicada al estudio de la distribución de la materia orgánica en la tierra y de los procesos que la controlan.

Otra aplicación es la distribución y transformación de la materia orgánica y elementos asociados en los ambientes naturales. Por ejemplo en la Geoquímica del petróleo, Prospección geoquímica, Geoquímica de reservorio, Geoquímica de elementos traza, Geoquímica isotópica: La cual está dedicada al estudio de la variación de la composición isotópica en materiales naturales. Las líneas de investigación en esta área son las siguientes:

Geoquímica isotópica en la datación radiométrica de minerales y rocas.

Finalmente la Geoquímica ambiental donde se realizan estudios de la distribución de elementos químicos y de compuestos inorgánicos y orgánicos naturales y antropogénicos potencialmente nocivos en el ciclo exógeno, sus transformaciones en ambientes naturales, así como los procesos que regulan su comportamiento y sus posibles cambios como consecuencia de la influencia antropogénica. Las líneas de investigación en esta área son: Geoquímica de contaminación de aguas, Geoquímica de contaminación de suelos y sedimentos, Geoquímica de contaminación atmosférica, Geoquímica forense, Biogeoquímica (Alonso del Val y Herrero, 2001)

### **POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)**

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución. Indica la concentración de iones hidronio [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>] presentes en determinadas sustancias. La sigla significa "potencial de hidrógeno" (pondus Hydrogenii o potentia Hydrogenii; del latín *pondus*, n. = peso; *potentia*, f. = potencia; *hydrogenium*, n. = hidrógeno). Siendo el logaritmo negativo de base 10 de la actividad de los iones hidrógeno. Esto es:

$$\text{pH} = -\log_{10} [a_{\text{H}_3\text{O}^+}]$$

$$\text{pH} = -\log[H^+]$$

El pH típicamente va de 0 a 14 en disolución acuosa, siendo ácidas las disoluciones con pH menores a 7 (el valor del exponente de la concentración es mayor, porque hay más protones en la disolución), y alcalinas las que tienen pH mayores a 7. El pH = 7 indica la neutralidad de la disolución (donde el disolvente es agua). (CHANG, 1992).

El valor del pH mide de forma precisa mediante un potenciómetro, el cual es un instrumento que mide la diferencia de potencial entre dos electrodos: un electrodo de referencia (generalmente de plata/cloruro de plata) y un electrodo de vidrio que es sensible al ión hidrógeno. (CHANG, 1992).

También se mide de forma aproximada empleando *indicadores*, ácidos o bases débiles que presentan diferente color según el pH. Generalmente se emplea *papel indicador*, que se trata de papel impregnado de una mezcla de indicadores cualitativos para la determinación del pH. El papel de litmus o papel tornasol es el indicador mejor conocido. Otros indicadores usuales son la fenolftaleína y el naranja de metilo. (CHANG, 1992).

### **LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO**

Dentro de los componentes que integran e interactúan dinámicamente en el suelo, la materia orgánica (MO), ocupa un lugar muy importante, por tener propiedades especiales tanto de carácter físico, como químico y por ende nutricional. (Quiminet, 2010).

La materia orgánica junto con las arcillas por su tamaño (<2mm), son consideradas coloides y poseen cargas negativas que se generan por sus raciales orgánicos, también

tienen la capacidad de atraer cationes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ), retener agua y oxígeno en el suelo y mejorar la rizófora para un mayor, mejor desarrollo y nutrición vegetal. (Quiminet, 2010).

Los diferentes orígenes y climas de suelos determinan el tipo de materia orgánica presente en ellos y su cantidad. Las condiciones edafoclimáticas frías, tienden a conservar mayores concentraciones de material orgánico por su lenta tasa de mineralización, mientras que en condiciones templadas a cálidas, éstas tasas de mineralización se incrementan disminuyendo el contenido de materia orgánica sobre todo en ecosistemas de producción agrícola intensiva en donde se requieren prácticas de incorporación de residuos de cosecha y suministro de fertilizantes nitrogenados entre otros para obtener óptimas productividades. (Quiminet, 2010).

La materia orgánica sólo se genera dentro del suelo mediante complejos procesos bioquímicos (humificación), controlados principalmente por humedad, temperatura y requiere de microorganismos que contribuyen a su descomposición. La diversidad y cantidad de microorganismos se ve afectada por el manejo físico que el agricultor realice, tipo de cultivo, controles fitosanitarios, manejo de residuos de cosecha y prácticas culturales y de fertilización. (Quiminet, 2010).

Los contenidos adecuados de materia orgánica mejoran la estructura del suelo, optimizando la entrada y el almacenamiento de agua, brindando mayor estabilidad a los agregados del suelo ofreciendo resistencia a la erosión y mejoran la nutrición de las plantas. (Quiminet, 2010).

Es importante considerar el factor orgánico dentro de un Plan Integral de Nutrición Vegetal, debido a que éste contribuye a mejorar propiedades físicas, químicas y biológicas en los suelos, disminuyendo considerablemente efectos negativos de pHs bajos, toxicidades por iones tóxicos ( $\text{Al}^{3+}$ ), excesos de agua y ausencia de oxígeno. (Quiminet, 2010).

La materia orgánica del suelo presenta un comportamiento similar al de las arcillas en la capacidad de intercambio catiónico (CIC), por retener e intercambiar cationes. Gracias a esta propiedad los nutrientes tanto naturales como los aplicados mediante Planes Integrales de Fertilización no se lavan fácilmente o lixivian para luego gradualmente ser liberados a la solución del suelo y absorbidos por las raíces de las plantas. La unidad de medición de la materia orgánica es en porcentaje (%) y su método analítico de extracción en laboratorio es Walkley-Black. (Quiminet, 2010).

Es importante tener en cuenta que al suministrar materiales de origen orgánico como gallinazas, bovinazas, porquinazas etc, usadas como correctivos orgánicos en los suelos, se requiere de un previo análisis bioquímico, debido a que de no presentar un óptimo grado de humedad y madurez de estos materiales (microorganismos), en lugar de contribuir a un mejoramiento de las condiciones orgánicas del suelo, se genera un problema fitosanitario muy delicado y se disminuye la eficiencia de la fertilización mineral por ser

consumida por los materiales orgánicos (N, P) en mal estado de descomposición. (Quiminet, 2010).

## **CONTENIDO DE HUMEDAD**

Es la cantidad de agua que el suelo contiene en el momento de ser extraído. Una forma de conocer el contenido de humedad es pesar la muestra cuando se acaba de extraer y después de haberla mantenido durante 24 horas en un horno a una temperatura de 110 °C (Frederick S. M. 2007).

Donde se obtiene la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de Humedad} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100$$

Donde:

$m_1$  = Masa de la muestra recién extraída.

$m_2$  = Masa de la muestra después de estar en el horno

## **HUMEDAD**

Un termohigrógrafo utilizado para medir sobre una banda de papel la temperatura de bulbo seco y la humedad relativa. (Frederick S. M. 2007).

Se denomina humedad ambiental a la cantidad de vapor de agua presente en el aire. Se expresa de forma absoluta mediante la humedad absoluta, o de forma relativa mediante la humedad relativa o grado de humedad. La humedad relativa es la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua real que contiene el aire y la que necesitaría contener para saturarse a idéntica temperatura, por ejemplo, una humedad relativa del 70% quiere decir que de la totalidad de vapor de agua (el 100%) que podría contener el aire a esta temperatura, solo tiene el 70%. (Frederick S. M. 2007).

## **METALES PESADOS**

Los metales pesados que analizamos son dañinos al ser humano en concentraciones y condiciones diversas, según de la manera en la que sean absorbidos por el ser humano. Estos elementos son los siguientes: Arsénico "As", Níquel "Ni", Cadmio "Cd", Plomo "Pb", Aluminio "Al", Cobre "Cu", Hierro "Fe", Manganeseo "Mn" así como el Sodio "Na" y el Potasio "K".

### **As, Arsénico**

Está presente de manera natural en el ambiente, pues es un constituyente de los compuestos orgánicos e inorgánicos, es un elemento carcinógeno cuando es ingerido, causando tumores en la piel y cuando es inhalado tumores en los pulmones. Es un elemento teratogénico y tiene efectos de poli neuropatía y lesiones en la piel. A niveles inferiores de 40 µg es un toxico crítico para algunos organismos acuáticos (Arcos et al., 1994).

Formula química: As

Nombre IUPAC: Arsénico

Propiedades Físicas y químicas:

Peso atómico: 74.91 g/gmol

Punto de fusión: 817°C

Punto de ebullición: 613°C

Gravedad específica: 5.72 a 20 °C

Solubilidad den el agua: Insoluble; algunas sales son solubles

Transporte y destino:

En la naturaleza hay 4 estados de oxidación y para determinar la distribución de su movilidad es necesario conocer su especie química, pues en un medio acuático es importante considerarla volatilización con la actividad biológica, pues producen arsinas o metilarsenicos. Los procesos sedimentarios influyen en el destino de la sustancia. Cierta número de micro organismos metabolizan el As incrementan su movilidad debido a esto su destino final por lo general es el fondo del océano (Arcos et al., 1994).

Efectos sobre la salud

Se relaciona con el cáncer de piel y hay evidencia que en la inhalación de este metal causa cáncer en los pulmones, además existe evidencia de malformaciones múltiples en niños de mujeres expuestas ocupacionalmente a este elemento, también hay cambios no cancerosos sino precancerosos con poli neuropatías progresivas, afectando las extremidades en individuos expuestos a compuestos introducidos por la ingesta de alimentos contaminados (Arcos et al., 1994).

Toxicidad en animales domésticos o silvestres

Varias formas muy similares de toxicidad; aparecen en los animales a niveles tan bajos como son los 40 µg /L en aguas frescas causando daños ala vida acuática y siendo letal para peces de agua salada a los 15 µg/L, para el trióxido de As alrededor de 812 µg/l, algunos invertebrados se afectan más con niveles más altos de 508 µg/L. La concentración alterara con la exposición crónica y se bioconcentran en un mayor grado (Arcos et al., 1994).

Reglamentación y normas:

Criterios de calidad del agua (USEPA)

Vida acuática.

Agua dulce

Toxicidad crítica: 440 µg/L  
Toxicidad crónica: Dato no disponible  
Agua salada:

Toxicidad crítica: 508 µg/L  
Toxicidad Crónica: Dato no disponible  
Salud Humana:

Se estima que los riesgos asociados con la exposición del As son:

Riesgo

$10^{-5}$	22 ng/L
$10^{-6}$	2.2 ng/L
$10^{-7}$	0.22 ng/L

Unidades de riesgo CAG, (USEPA):  $15 (\mu\text{g}/\text{kg}/\text{día})^{-1}$

Norma nacional primaria de agua potable (USEPA): 50 µg/L

Norma recomendada por la NIOSH (aire)  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (nivel máximo)

Norma técnica Ecológica mexicana: 5 mg/L

Norma técnica ecológica mexicana para agua potable: 0.05 mg/L

## **Ni, Níquel**

Es un elemento que se presenta en el ambiente sólo en muy pequeños niveles. Los humanos lo usan para muchas aplicaciones diferentes. La aplicación más común del níquel es el uso como ingrediente del acero y otros productos metálicos. Este se encuentra en productos metálicos comunes como es la joyería (Arcos et al., 1994).

Los alimentos naturalmente contienen pequeñas cantidades de níquel. El chocolate y las grasas son conocidos por contener altas cantidades. El níquel es tomado y este aumentará cuando la gente come grandes cantidades de vegetales procedentes de suelos contaminados. Es conocido que las plantas acumulan níquel y como resultado la toma de níquel de los vegetales será eminente. Los fumadores tienen un alto grado de exposición al níquel a través de sus pulmones. Finalmente, el níquel se encuentra en detergentes. Los humanos pueden ser expuestos al níquel al respirar el aire, beber agua, comer comida o fumar cigarrillos. El contacto de la piel con suelo contaminado por níquel o agua puede también resultar en la exposición al níquel. En pequeñas cantidades el níquel es esencial, pero cuando es tomado en muy altas cantidades es peligroso para la salud humana (Arcos et al., 1994).

Causa Elevadas probabilidades de desarrollar cáncer de pulmón, nariz, laringe y próstata, enfermedades y mareos después de la exposición al gas de níquel. Embolia de pulmón, Fallos respiratorios. Es un elemento Teratogenico. Problemas de Asma y bronquitis crónica, reacciones alérgicas (dermatitis) como son erupciones cutáneas, mayormente de las joyas, desordenes del corazón (Arcos et al., 1994).

Propiedades físicas y químicas:

Peso atómico: 518.71 g/gmol  
Punto de fusión: 1453 °C  
Punto de ebullición: 2732 °C  
Gravedad específica: 5.8.902 a 25 °C  
Solubilidad den el agua: Insoluble; algunas sales son solubles  
Solubilidad en orgánicos. Depende de las propiedades e la sal de níquel especifica  
Presión de vapor: 1mm de HG a 1818 °C

#### Transporte y destino

Este metal es altamente móvil al frio es muy soluble en agua, en pH mayores de 9 se precipita como carbonato y a pH menores sus compuestos forman hidróxidos, sulfatos y están ligadnos orgánicos (Arcos et al., 1994).

En la naturaleza los procesos de sorción y co-precipitación involucran óxidos de hierro y manganesos hidratados, que son moderadamente limitantes de su movilidad debido a su consideración de movilidad con el agua, su depósito final tiende a ser lo océanos (Arcos et al., 1994).

#### Efectos a la salud

La exposición al níquel metal y sus compuestos solubles no debe superar los 0,05 mg/cm<sup>3</sup> medidos en niveles de níquel equivalente para una exposición laboral de 8 horas diarias y 40 semanales. Los vapores y el polvo de sulfuro de níquel se sospecha que son cancerígenos (Arcos et al., 1994).

El carbonilo de níquel (Ni (CO)<sub>4</sub>), generado durante el proceso de obtención del metal, es un gas extremadamente tóxico (Arcos et al., 1994).

Las personas sensibilizadas manifiestan alergias al níquel. La cantidad de níquel admisible en productos que entran en contacto con la piel está regulada en la Unión Europea a pesar de ello, la revista *Nature* publicó en 2002 un artículo en el que investigadores afirmaban haber encontrado en monedas de 1 y 2 euros niveles superiores a los permitidos, se cree que debido a una reacción galvánica

#### Reglamentación y normas:

Criterios de calidad del agua (USEPA)

Vida acuática.

Agua dulce

Toxicidad crítica:  $e^{(.76 \cdot \ln(\text{dureza}) + 4.02)}$  µg/L

Toxicidad crónica:  $e^{(.76 \cdot \ln(\text{dureza}) + 1.06)}$  µg/L

Agua salada:

Toxicidad crítica: 140 µg/L

Toxicidad Crónica: 7.1 µg/L

Salud Humana:

Criterio: 13.4 µg/L

Unidades de riesgo CAG, (USEPA): 1.15 (µg/kg/día)<sup>-1</sup>

Norma recomendada por la NIOSH: 15 µg/m<sup>3</sup> TWA (Ni orgánico)

NOM. 021 SEMARNAT 2000, normal: 50 mg/kg

NOM. 021 SEMARNAT 2000, peligroso: 100 mg/kg

Norma técnica ecológica mexicana para agua potable: 5 mg/l

## **Cd, Cadmio**

Es un metal en una variedad de formas que están móviles en el ambiente acuático es carcinógeno por inhalación. Es incierto si es carcinógeno en animales y humanos por vía de ingestión. Se conoce que es teratogénico y es una toxina que produce problemas crónicos en el riñón a una baja exposición (Arcos et al., 1994).

Propiedades Físicas y químicas:

Peso atómico: 112.41 g/gmol

Punto de fusión: 321°C

Punto de ebullición: 765°C

Gravedad específica: 8.642

Solubilidad en el agua: Insoluble; algunas sales son solubles

Solubilidad en orgánicos: variables según el compuesto

Presión de vapor 1mm Hg a 394 °C

Trasporte y destino

Relativamente móvil, se transporta en el medio acuático, hay evidencias que se mueve lentamente en el suelo.

Efectos sobre la salud.

Este metal puede causar cáncer de próstata, y cuando es inhalado causa tumores pulmonares, y si es inyectado produce sarcomas en el sitio de la inyección y/o tumores de células, no es mutagénico pero impide la restauración celular.

Es una toxina teratogénica con efectos en riñones en humanos y animales, causa inmunosupresión, anemia, afección pulmonar, daños al sistema endocrino, así como efectos en la función sensorial y daños a los huesos.

El LD<sub>50</sub> oral es de 225 mg/kg la intoxicación aguda causa disnea, edemas, fatiga anorexia, severas alteraciones apáticas, renales, vomito diarrea, náuseas dolores abdominales. Y en una intoxicación por inhalación, produce enfisema y fibrosis, alteraciones renales con proteinuria causando un mayor problema con la exposición prolongada (Arcos et al., 1994).

Reglamentación y normas:

Criterios de calidad del agua (USEPA)

Vida acuática.

Agua dulce

Toxicidad aguda:  $e^{(1.3 \cdot \ln(\text{dureza}) - 3.92)}$   $\mu\text{g/L}$

Toxicidad crónica:  $e^{(0.75 \cdot \ln(\text{dureza}) - 4.38)}$   $\mu\text{g/L}$

Agua salada:

Toxicidad aguda: 38  $\mu\text{g/L}$

Toxicidad Crónica: 12  $\mu\text{g/L}$

Salud Humana:

Criterio: 10  $\mu\text{g/L}$

Unidades de riesgo CAG, (inhalación) (USEPA):  $6.1 (\mu\text{g/kg/día})^{-1}$

Norma nacional primaria de agua potable (USEPA): 10  $\mu\text{g/L}$

Norma recomendada por la NIOSH: 40  $\mu\text{g/m}^3$  TWA 200  $\mu\text{g/m}^3$  por cada 15 min (máximo)

Valor del límite umbral ACGIH: 50 40  $\mu\text{g/m}^3$

Norma técnica Ecológica mexicana: 1.0 mg/L

Norma técnica ecológica mexicana para agua potable: 0.005 mg/L

NOM. 021 SEMARNAT 2000, normal: 0.35 mg/kg

NOM. 021 SEMARNAT 2000, peligroso: 4 mg/kg

## **Pb, Plomo**

El Plomo es un metal blando que ha sido conocido a través de los años por muchas aplicaciones. Este ha sido usado ampliamente desde 5000 A.C. para aplicaciones en productos metálicos, cables y tuberías, pero también en pinturas y pesticidas. El plomo es uno de los cuatro metales que tienen un mayor efecto dañino sobre la salud humana. Este puede entrar en el cuerpo humano a través de la comida (65%), agua (20%) y aire (15%). Las comidas como fruta, vegetales, carnes, granos, mariscos, refrescos y vino pueden contener cantidades significantes de Plomo. El humo de los cigarrillos también contiene pequeñas cantidades de plomo (Arcos et al., 1994).

Este elemento se encuentra en la naturaleza en 3 diferentes estados de oxidación, causando principalmente daños al cerebro y sistema nervioso central, causando encefalopatías y neuropatías periféricas. La exposición crónica a bajos niveles causa en niños problemas de aprendizaje, así como daño en los riñones, anemia y cambios severos en el sistema inmune (Arcos et al., 1994).

Propiedades Físicas y químicas:

Peso atómico: 207.19 g/gmol

Punto de fusión: 327.502°C

Punto de ebullición: 1740 °C

Gravedad específica: 11.35 a 20 °C

Solubilidad en el agua: Insoluble; algunos compuestos orgánicos son solubles

Solubilidad en compuestos orgánicos: soluble en HNO<sub>3</sub> y en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> caliente.

### Transporte y destino

El plomo metálico y los minerales de plomo comunes son solubles en agua. Generalmente los compuestos naturales no son móviles en superficies normales o en aguas subterráneas, ya que el lixiviado de plomo procedente de las minas se absorbe por el hidróxido férrico o se combina con los iones de carbonato o sulfato para formar compuestos insolubles (Arcos et al., 1994).

El plomo en la atmósfera se mueve a través de la humedad, por ello hay un transporte en el medio acuático muy rápido si se encuentra en forma de ion. La bioacumulación se presenta en los organismos a través de la cadena alimenticia, la biometilación por los micro organismos remueve el plomo de la atmósfera, dejando como última disposición del plomo los océanos profundos (Arcos et al., 1994).

### Efectos sobre la salud

El Plomo entra en el agua potable a través de la corrosión de las tuberías. Esto es más común que ocurra cuando el agua es ligeramente ácida. Esto es el porqué de los sistemas de tratamiento de aguas públicas, es requerido llevar a cabo un ajuste de pH en el agua que sirve para el uso del agua potable. Que nosotros sepamos, El plomo no cumple ninguna función esencial en el cuerpo humano, este puede principalmente hacer daño después de ser tomado en la comida, aire o agua (Arcos et al., 1994).

El plomo causa varios efectos no deseados, como son: Perturbación de la biosíntesis de hemoglobina y anemia, incremento de la presión sanguínea, daño a los riñones abortos y abortos sutiles perturbación del sistema nervioso, daño al cerebro, disminución de la fertilidad del hombre a través del daño en el esperma, disminución de las habilidades de aprendizaje de los niños, perturbación en el comportamiento de los niños, como es agresión, comportamiento impulsivo e hipersensibilidad. Es teratogénico y causa serios daños al sistema nervioso y al cerebro de los niños por nacer (Arcos et al., 1994).

### Reglamentación y normas:

Criterios de calidad del agua (USEPA)

Vida acuática. (Criterio propuesto)

Las bajas concentraciones de plomo activo se definían como el que pasa por un filtro de membrana de 0.45 µm después de que la muestra se ha acidificado a un pH de 4 con ácido nítrico

Agua dulce

Toxicidad crítica:  $e^{(1.34 \cdot \ln(\text{dureza}) - 2.014)}$  µg/L

Toxicidad crónica:  $e^{(.34 \cdot \ln(\text{dureza}) - 5.245)}$  µg/L

Agua salada:

Toxicidad aguda: 220 µg/L

Toxicidad Crónica: 8.6 µg/L

Salud humana:

Criterio: 50 µg/l

Norma primaria de agua potable: 50 µg/l

Norma recomendada por la NIOSH: 0.1 µg/m<sup>3</sup> TWA 200 µg/m<sup>3</sup> (plomo orgánico)

Norma OSHA: 50 µg/ m<sup>3</sup>

Valor del límite umbral ACGIH:

0.15µg/m<sup>3</sup> TWA (polvos y humos inorgánicos)

0.45µg/m<sup>3</sup> TWA (polvos y humos inorgánicos)

Norma técnica ecológica mexicana para agua potable: 0.005 mg/l

NOM. 021 SEMARNAT 2000, normal: 35 mg/kg

NOM. 021 SEMARNAT 2000, peligroso: 200 mg/kg

## **Al, Aluminio**

Este metal es muy utilizado debido a que sus aleaciones son ligeras, fuertes, y de fácil formación para muchos procesos de metalistería; son fáciles de ensamblar, fundir o maquinar y aceptan gran variedad de acabados. Por sus propiedades físicas, químicas y metalúrgicas, el aluminio se ha convertido en el metal no ferroso de mayor uso (Arcos et al., 1994).

El aluminio es el elemento metálico más abundante en la Tierra y en la Luna, pero nunca se encuentra en forma libre en la naturaleza. Se halla ampliamente distribuido en las plantas y en casi todas las rocas, sobre todo en las ígneas, que contienen aluminio en forma de minerales de Al silicato. Cuando estos minerales se disuelven, según las condiciones químicas, es posible precipitar el aluminio en forma de arcillas minerales, hidróxidos de aluminio o ambos. En esas condiciones se forman las bauxitas que sirven de materia prima fundamental.

## Propiedades Físicas y químicas:

Peso atómico: 26.981 g/gmol

Punto de fusión: 660 °C

Punto de ebullición: 2450°C

Gravedad específica: 2.7 a 20 °C

Solubilidad en el agua: Insoluble; algunas sales son solubles

## Efectos sobre la salud

El Al es uno de los metales más ampliamente usados y también uno de los más frecuentemente encontrados en los compuestos de la corteza terrestre. Debido a este hecho, el Al es comúnmente conocido como un compuesto inocente. Pero todavía, cuando uno es expuesto a altas concentraciones, este puede causar problemas de salud. La forma soluble en agua del Al causa efectos perjudiciales, estas partículas son llamadas iones. Son usualmente encontradas en soluciones de Al combinadas con otros iones, por ejemplo cloruro de Al (Arcos et al., 1994).

La toma de Aluminio puede tener lugar a través de la comida, respirarlo y por contacto en la piel. La toma de concentraciones significantes de Al causa un efecto serio en la salud como: Daño al sistema nervioso central, Demencia, Pérdida de la memoria, Apatía, Temblores, severos (Arcos et al., 1994).

El Al es un riesgo para ciertos ambientes de trabajo, como son las minas, donde se encuentra en el agua. La gente que trabaja en fabricas donde el Al es aplicado durante el proceso de producción puede aumentar los problemas de pulmón cuando ellos respiran el polvo de Al. El Al puede causar problemas en los riñones de los pacientes, cuando entra en el cuerpo durante el proceso de diálisis (Arcos et al., 1994).

## Efectos ambientales del Al

Los efectos del Al han atraído la atención, mayormente debido a los problemas de acidificación. El Al puede acumularse en las plantas y causar problemas de salud a animales que consumen esas plantas. Las concentraciones de Al parecen ser muy altas en lagos acidificados. En estos lagos un número de peces y anfibios están disminuyendo debido a las reacciones de los iones de Al con las proteínas de las agallas de los peces y los embriones de las ranas (Arcos et al., 1994).

El Al puede afectar a la captación del fósforo a través de la precipitación del fosfato de Al en la superficie de la raíz y/o en el espacio libre, aunque el complejo formado puede interferir simultáneamente estimulando la captación de fósforo. La inhibición de la captación del calcio y el magnesio es a menudo observada y es posiblemente el resultado de la competencia de cationes para bloquear la zona dañada (Arcos et al., 1994).

Una conclusión de las relaciones existentes, por ejemplo en la avena, entre el Al concentrado en el suelo y la concentración de magnesio requerido en el mismo, es que el

Al disminuye drásticamente, mientras que el contenido de magnesio se dispara, los niveles de calcio son ligeramente más bajos y los de potasio no afectan (Arcos et al., 1994).

Elevadas concentraciones de Al no sólo causan efectos sobre los peces, pero también sobre los pájaros y otros animales que consumen peces contaminados e insectos y sobre animales que respiran el Al a través del aire.

Las consecuencias para los pájaros que consumen peces contaminados es que la cáscara de los huevos es más fina y los pollitos nacen con bajo peso. Las consecuencias para los animales que respiran el Al a través del aire son problemas de pulmones, pérdida de peso y declinación de la actividad. Otro efecto negativo en el ambiente del Al es que estos iones pueden reaccionar con los fosfatos, los cuales causan que el fosfato no esté disponible para los organismos acuáticos.

Altas concentraciones de Al no sólo pueden ser encontrados en lagos ácidos y aire, también en aguas subterráneas y suelos ácidos. Hay fuertes indicadores de que el Al puede dañar las raíces de los árboles cuando estas están localizadas en las aguas subterráneas. (Arcos et al., 1994).

#### Niveles normales

Los alimentos no procesados tales como frutas frescas, hortalizas y la carne contienen muy poco Al. Compuestos de Al se agregan durante el procesamiento de algunos alimentos tales como: harina, polvo para hornear, colorantes, agentes para prevenir, aglutinación. Una persona adulta promedio consume aproximadamente 7 a 9 mg de Al al día en los alimentos. La mayoría de la gente absorbe muy poco Al a través de la respiración. Los niveles de Al en el aire generalmente oscilan entre 0.005 y 0.18 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de aire, dependiendo de la localidad, las condiciones climáticas y del tipo y nivel de actividad industrial en el área. La mayor parte del Al en el aire se encuentra suspendido en forma de pequeñas partículas de polvo (Arcos et al., 1994).

Los niveles de Al en áreas urbanas e industriales son más altos y oscilan entre 0.4 y 8.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . La concentración de Al en aguas naturales (por ejemplo, lagunas, lagos, arroyos) generalmente es menor de 0.1 (mg/L) de agua. La ingesta de Al a través del agua potable generalmente es baja. A veces el agua es tratada con sales de Al durante el proceso de producción de agua potable. Aun así, los niveles de Al generalmente no exceden 0.1 mg/L. En varias ciudades se han detectado concentraciones de Al en el agua potable de 0.4 a 1 mg/L (Arcos et al., 1994).

La población general está expuesta al Al en algunos cosméticos, desodorantes, y medicamentos tales como aspirina con cubierta entérica.

Los antiácidos tienen 300 a 600 mg de hidróxido de Al (aproximadamente 104 a 208 mg de Al) por tableta, cápsula, ó 5 (mL) de dosis líquida. Muy poco de esta forma de Al entra a la corriente sanguínea.

Las aspirinas con cubierta entérica pueden contener 10 a 20 mg de Al por tableta.

Las vacunas pueden contener pequeñas cantidades de compuestos de Al, no más de 0.85 mg/dosis (Arcos et al., 1994).

## **Cu, Cobre**

Es un metal de transición e importante metal no ferroso. Su utilidad se debe a la combinación de sus propiedades químicas, físicas y mecánicas, así como a sus propiedades eléctricas y su abundancia.

De los cientos de compuestos de cobre, sólo unos cuantos son fabricados de manera industrial en gran escala. El más importante es el sulfato de cobre (II) pentahidratado, el agente más ampliamente utilizado en la prevención de la putrefacción de la madera, telas, cuerdas y redes de pesca. Las principales aplicaciones de los compuestos de cobre las encontramos en la agricultura, en especial como fungicidas e insecticidas; como pigmentos; en soluciones galvanoplásticas; en celdas primarias; como mordentes en teñido, y como catalizadores (Arcos et al., 1994).

Propiedades Físicas y químicas:

Peso atómico: 63.54 g/gmol

Punto de fusión: 1083 °C

Punto de ebullición: 2595°C

Gravedad específica: 8.96 a 20 °C

Solubilidad den el agua: Insoluble; algunas sales son solubles

Solubilidad en compuestos: solo a pH entre 5 a 6; algunas siendo absorbidas en el suelo por las arcillas.

Efectos sobre la salud

Es una sustancia muy común que se encuentra naturalmente y se extiende a través de ambiente a través de fenómenos naturales; los humanos usan ampliamente el cobre. Por ejemplo este es aplicado en industrias y en agricultura. La producción de cobre se ha incrementado en las últimas décadas y debido a esto las cantidades de cobre en el ambiente se ha expandido. Crecimiento, reducción del florecimiento, cosechas

El Cobre es encontrado en muchas clases de comidas, en el agua potable y en el aire, debido a que absorbemos una cantidad eminente de cobre cada día por la comida, bebiendo y respirando. La absorción del Cobre es necesaria, porque el cobre es un

elemento traza que es esencial para la salud de los humanos. Aunque los humanos pueden manejar concentraciones de (Arcos et al., 1994).

La exposición al largo periodo al cobre irrita la nariz, la boca y los ojos y causa dolor de cabeza, de estómago, mareos, vómitos y diarreas. Una toma grande de cobre puede causar daño al hígado y los riñones e incluso la muerte. Si el cobre es cancerígeno no ha sido determinado aún (Arcos et al., 1994).

Hay artículos científicos que indican una unión entre exposiciones de largo término a elevadas concentraciones de Cobre y una disminución de la inteligencia en adolescentes. (Socializando todas las voces, 2008)

### Efectos ambientales del Cobre

La producción mundial de cobre está todavía creciendo. Esto básicamente significa que más y más cobre termina en el medio ambiente. El cobre es liberado en el medio ambiente tanto por actividades humanas como por procesos naturales. Ejemplo de fuentes naturales son las tormentas de polvo, descomposición de la vegetación, incendios forestales y aerosoles marinos. Unos pocos de ejemplos de actividades humanas que contribuyen a la liberación del cobre han sido ya nombrados. Otros ejemplos son la minería, la producción de metal, la producción de madera y la producción de fertilizantes fosfatados (Arcos et al., 1994).

El cobre es a menudo encontrado cerca de minas, asentamientos industriales, vertederos y lugares de residuos.

Cuando el cobre termina en el suelo éste es fuertemente atado a la materia orgánica y minerales. Como resultado éste no viaja muy lejos antes de ser liberado y es difícil que entre en el agua subterránea. En el agua superficial el cobre viaja largas distancias, tanto suspendido sobre las partículas de lodos como iones libres (Arcos et al., 1994).

El cobre no se degrada en el ambiente y por eso se acumula en plantas y animales cuando este es encontrado en suelos. En suelos ricos en cobre sólo un número pequeño de plantas pueden vivir. Por esta razón no hay diversidad de plantas cerca de las fábricas de Cobres, debido a su efecto sobre las plantas, es una seria amenaza para la producción en las granjas. El Cobre puede seriamente influir en el proceso de ciertas tierras agrícolas, dependiendo de la acidez del suelo y la presencia de materia orgánica. A pesar de esto el estiércol que contiene cobre es todavía usado (Arcos et al., 1994).

El Cobre puede interrumpir la actividad en el suelo, su influencia negativa en la actividad de microorganismos y lombrices de tierra. La descomposición de la materia orgánica puede disminuir debido a esto.

Cuando los suelos de las granjas están contaminados con Cobre, los animales pueden absorber concentraciones de Cobre que dañan su salud. Principalmente las ovejas sufren

un gran efecto por envenenamiento con cobre, debido a que sus efectos del Cobre se manifiestan a bajas concentraciones (Arcos et al., 1994).

Su método de prueba para aguas es: Norma Mexicana NMX-AA-066-1981, Análisis de Agua para determinación de cobre por el método colorimétrico de la neocuproína.

#### Normatividad

NOM. 021 SEMARNAT 2000, como micronutrientes, deficiente: menor de 0.2 mg/kg

NOM. 021 SEMARNAT 2000, como micronutrientes, adecuado: mayor de 0.2 mg/kg

### **Fe, Hierro**

Es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre (5%). Es un metal maleable, tenaz, de color gris plateado y magnético. El hierro se encuentra en muchos otros minerales y está presente en las aguas freáticas y en la hemoglobina roja de la sangre. (Arcos et al., 1994).

La presencia del hierro en el agua provoca precipitación y coloración no deseada. Existen técnicas de separación del hierro del agua. El uso más extenso del hierro es para la obtención de aceros estructurales; también se producen grandes cantidades de hierro fundido y de hierro forjado. Entre otros usos del hierro y de sus compuestos se tienen la fabricación de imanes, tintes (tintas, papel para heliográficas, pigmentos pulidores) y abrasivos (colcótar). (Arcos et al., 1994).

#### Propiedades físicas y químicas:

Peso atómico: 55.847 g/gmol

Punto de fusión: 1537 °C

Punto de ebullición: 3000°C

Gravedad específica: 7.87 a 20 °C

Solubilidad den el agua: Insoluble; algunas sales son solubles

#### Efectos sobre la salud

El hierro es encontrado en carne, productos integrales, patatas y vegetales. El cuerpo humano absorbe hierro de animales más rápido que el hierro de las plantas. El hierro es una parte esencial de la hemoglobina: el agente colorante rojo de la sangre que transporta el oxígeno a través de nuestros cuerpos (Arcos et al., 1994).

Provocan conjuntivitis, coriorretinitis, y retinitis si contacta con los tejidos y permanece en ellos. La inhalación crónica de concentraciones excesivas de vapores o polvos de óxido de hierro resultan en el desarrollo de una neumoconiosis benigna, llamada sideriosis, que es

observable como un cambio en los rayos X. Ningún daño físico de la función pulmonar se ha asociado con la siderosis. La inhalación de concentraciones excesivas de óxido de hierro incrementan el riesgo de desarrollar cáncer de pulmón en trabajadores expuestos a carcinógenos pulmonares. LD50 (oral, rata) =30 mg/kg. (LD50: Dosis Letal 50. Dosis individual de una sustancia que provoca la muerte del 50% de la población animal debido a la exposición a la sustancia por cualquier vía distinta a la inhalación. Normalmente expresada como miligramos o gramos de material por kilogramo de peso del animal) (Arcos et al., 1994).

#### Efectos ambientales del Hierro

El hierro (III)-O-arsenito, pentahidratado es peligroso para el medio ambiente; se presta especial atención en las plantas, el aire y el agua. Se recomienda encarecidamente que no se permita que el producto entre en el medio ambiente porque persiste en éste. (Arcos et al., 1994).

#### Normatividad

NOM. 021 SEMARNAT 2000, como micronutrientes, deficiente: menor de 2.5 mg/kg

NOM. 021 SEMARNAT 2000, como micronutrientes, adecuado: mayor de 4.5 mg/kg

#### **Mn, Manganese**

Se encuentra entre el cromo y el hierro. Tiene propiedades en común con ambos metales. Aunque poco conocido o usado en su forma pura, reviste gran importancia práctica en la fabricación de acero (Arcos et al., 1994).

El manganeso se oxida con facilidad con el aire para formar una capa castaña de óxido. También lo hace a temperaturas elevadas. A este respecto su comportamiento es más parecido a su vecino de mayor número atómico en la tabla periódica (el hierro), que al de menor número atómico, (el cromo) (Arcos et al., 1994).

El manganeso es un metal bastante reactivo aunque el metal sólido reacciona lentamente, el polvo metálico reacciona con facilidad y en algunos casos, muy vigorosamente. Cuando se calienta en presencia de aire u oxígeno, el manganeso en polvo forma un óxido rojo,  $Mn_3O_4$ . Con agua a temperatura ambiente se forman hidrógeno e hidróxido de manganeso (II),  $Mn(OH)_2$ . En el caso de ácidos, y a causa de que el manganeso es un metal reactivo, se libera hidrógeno y se forma una sal de manganeso (II). El manganeso reacciona a temperaturas elevadas con los halógenos, azufre, nitrógeno, carbono, silicio, fósforo y boro (Arcos et al., 1994).

Los compuestos de manganeso tienen muchas aplicaciones en la industria. El dióxido de manganeso se usa como un agente desecante o catalizador en pinturas y barnices y como decolorante en la fabricación de vidrio y en pilas secas. El permanganato de potasio se

emplea como blanqueador para decoloración de aceites y como un agente oxidante en química analítica y preparativa (Arcos et al., 1994).

### Efectos del Manganeso sobre la salud

El Manganeso es un compuesto muy común que se encuentra en todas partes en la tierra. El manganeso es uno de los tres elementos trazas tóxicos esenciales, lo cual significa que no es sólo necesario para la supervivencia de los humanos, pero que es también tóxico cuando está presente en elevadas concentraciones en los humanos. Cuando la gente no cumple con la ración diaria recomendada su salud disminuirá. Pero cuando la toma es demasiado alta problemas de salud aparecerán (Arcos et al., 1994).

La toma de manganeso por los humanos mayoritariamente tiene lugar a través de la comida, como son las espinacas, el té y las hierbas. Las comidas que contienen las más altas concentraciones son los granos y arroz, las semillas de soja, huevos, frutos secos, aceite de oliva, judías verdes y ostras. Después de ser absorbido en el cuerpo humano, el manganeso es transportado a través de la sangre al hígado, los riñones, el páncreas y las glándulas endocrinas.

Los efectos del manganeso mayormente ocurren en el tracto respiratorio y el cerebro. Los síntomas por envenenamiento con Manganeso son alucinaciones, olvidos y daños en los nervios. El Manganeso causa párkinson, embolia de los pulmones y bronquitis (Arcos et al., 1994).

Cuando los hombres se exponen al manganeso por un largo periodo de tiempo el daño puede llegar a ser importante.

Un síndrome que es causado por el manganeso tiene los siguientes síntomas: esquizofrenia, depresión, debilidad de músculos, dolor de cabeza e insomnio (Arcos et al., 1994).

Porque el Manganeso es un elemento esencial para la salud de los humanos la falta de este puede causar efectos sobre la salud. Estos son los siguientes efectos: Engordar, Intolerancia a la glucosa, coágulos de sangre, problemas de la piel, bajos niveles de colesterol, desorden del esqueleto, defectos de nacimiento, cambios en el color del pelo, síntomas neurológicos (Arcos et al., 1994).

### Efectos ambientales del Manganeso

Los compuestos del manganeso existen de forma natural en el ambiente como sólidos en suelos y pequeñas partículas en el agua. Las partículas de manganeso en el aire están

presentes en las partículas de polvo. Estas usualmente se depositan en la tierra en unos pocos días (Cañadas, 2004).

Los humanos aumentan las concentraciones de manganeso en el aire por las actividades industriales y a través de la quema de productos fósiles. El manganeso que deriva de las fuentes humanas entra en la superficie del agua, aguas subterráneas y aguas residuales. A través de la aplicación del Manganeso como pesticida el manganeso entra en el suelo (Cañadas, 2004).

Para los animales el manganeso es un componente esencial sobre unas 36 enzimas que son usadas para el metabolismo de carbohidratos, proteínas y grasas.

Con los animales que comen muy poco manganeso influyen en su crecimiento normal, la formación de huesos y en la reproducción. Para algunos animales la dosis letal es bastante baja, lo cual significa que tienen pocas posibilidades de supervivencia incluso a pequeñas dosis de manganeso cuando éste excede la dosis esencial. El manganeso causa problemas en los pulmones, hígado y vasculares, decremento de la presión sanguínea, fallos en el desarrollo de fetos de animales y daños cerebrales (Cañadas, 2004).

Cuando el manganeso es tomado a través de la piel este causa temblores y fallos en la coordinación. Finalmente, las pruebas de laboratorio con animales han mostrado que diversos envenenamientos con manganeso deberían incluso causar el desarrollo de tumores en animales (Cañadas, 2004).

En plantas los iones del Manganeso son transportados hacia las hojas después de ser tomados en el suelo. Cuando muy poco manganeso puede ser absorbido desde el suelo esto causa perturbaciones en los mecanismos de las plantas. Por ejemplo perturbaciones en la división del agua en hidrógeno y oxígeno, en lo cual el manganeso juega un papel importante.

El manganeso causa síntomas de toxicidad y deficiencia en plantas. Cuando el pH del suelo es bajo las deficiencias de manganeso son más comunes. Concentraciones altamente tóxicas de manganeso en suelo causan inflamación de la pared celular, abrasamiento de las hojas y puntos marrones en las mismas. (Cañadas, 2004).

#### Normatividad

NOM. 021 SEMARNAT 2000, como micronutrientes, deficiente: menor de 1.0 mg/kg

NOM. 021 SEMARNAT 2000, como micronutrientes, adecuado: mayor de 1.0 mg/kg

#### **Na, Sodio**

Se emplea en síntesis orgánica como agente reductor. Siendo además componente del cloruro de sodio necesario para la vida. Otros usos son: En aleaciones antifricción (oro), en la purificación de metales fundidos. La aleación Na K, es un material empleado para la

transferencia de calor además de desecante para disolventes orgánicos y como reductor. A temperatura ambiente es líquida. El sodio también se emplea como refrigerante. (Quiminet, 2010).

Cuenta con una gran importancia biológica fundamentalmente en el metabolismo celular, por ejemplo, en la transmisión del impulso nervioso (mediante el mecanismo de bomba de sodio-potasio). Mantiene el volumen y la osmolaridad. Participa, además del impulso nervioso, en la contracción muscular, el equilibrio ácido-base y la absorción de nutrientes por las membranas. La concentración plasmática de sodio es en condiciones normales de 137-145  $\mu\text{mol/L}$ . El aumento de sodio en la sangre se conoce como hipernatremia y su disminución hiponatremia (Quiminet 2010).

Propiedades físicas:

Peso atómico 11

Masa atómica 22.98 g/mol

Densidad 0.97 g/ml

Punto de ebullición 892 °C

Punto de fusión 97.8 °C

Efectos del Sodio sobre la salud

El sodio es un componente de muchas comidas, por ejemplo la sal común. Es necesario para los humanos para mantener el balance de los sistemas de fluidos físicos. El sodio es también requerido para el funcionamiento de nervios y músculos. Un exceso de sodio puede dañar nuestros riñones e incrementa las posibilidades de hipertensión.

En contacto el sodio con agua, incluyendo transpiración provoca la formación de los humos de hidróxido de sodio que son altamente irritante para la piel, ojos, nariz y garganta. Esto puede causar estornudos y tos. Las exposiciones muy severas pueden resultar en la respiración difícil, bronquitis de tos y químicos. Contacto con la piel puede causar picazón, hormigueo, térmicas y cáusticas quemaduras y daño permanente. Contacto con los ojos puede resultar en daño permanente y pérdida de la vista. (Environmental Chemistry, 2003).

Efectos ambientales del Sodio

Ecotoxicidad: Límite Medio de Tolerancia (LMT) para el pez mosquito, 125 ppm/96hr (agua dulce); Límite Medio de Tolerancia (LMT) para el pez sol (*Lepomis macrochirus*), 88 mg/48hr (agua del grifo) (Environmental Chemistry, 2003).

Destino ambiental: Este compuesto químico no es móvil en su forma sólida, aunque absorbe la humedad muy fácilmente. Una vez líquido, el hidróxido de sodio se filtra rápidamente en el suelo, con la posibilidad de contaminar las reservas de agua. (Environmental Chemistry, 2003).

## **K, Potasio**

Es el quinto metal más ligero de la tierra; es un sólido blando que de corte fácil, tiene un punto de fusión muy bajo, arde con llama violeta y presenta un color plateado en las superficies no expuestas al aire, en cuyo contacto se oxida con rapidez, lo que obliga a almacenarlo recubierto de aceite. Reacciona violentamente con el agua desprendiendo hidrógeno, incluso puede inflamarse espontáneamente en presencia de agua, es utilizado en la industria para hacer células fotoeléctricas, fertilizantes, sus derivados se usan en la fabricación de la pirotecnia (Environmental Chemistry, 2003).

### Efectos del Potasio sobre la salud

El potasio puede ser encontrado en vegetales, frutas, papas, carne, pan, leche y frutos secos. Juega un importante papel en los sistemas de fluidos físicos de los humanos y asiste en las funciones de los nervios. Cuando nuestros riñones no funcionan bien se puede dar la acumulación de potasio. Esto puede llevar a cabo una perturbación en el ritmo cardíaco. (Environmental Chemistry, 2003).

### Efectos ambientales del Potasio

Junto con el nitrógeno y el fósforo, el potasio es uno de los macro nutrientes esenciales para la supervivencia de las plantas. Su presencia es de gran importancia para la salud del suelo, el crecimiento de las plantas y la nutrición animal. Su función primaria en las plantas es su papel en el mantenimiento de la presión osmótica y el tamaño de la célula, influyendo de esta forma en la fotosíntesis y en la producción de energía, así como en la apertura de los estomas y el aporte de dióxido de carbono, la turgencia de la planta y la translocación de los nutrientes. Como tal, el elemento es requerido en proporciones relativamente elevadas por las plantas en desarrollo. Las consecuencias de niveles bajos de potasio se muestran por variedad de síntomas: restricción del crecimiento, reducción del florecimiento, cosechas de enos abundantes y menor calidad de producción. Elevados niveles de potasio soluble en el agua pueden causar daños a las semillas en germinación, inhiben la toma de otros minerales y reducen la calidad del cultivo (Environmental Chemistry, 2003).

## 1.2 OBJETIVO

### 1.2.1 Objetivo General:

Determinar la Composición Geoquímica en suelos de amortiguamiento de Santa Rosa Xochiac, analizando muestras de suelo superficiales tomando los límites máximos permisibles que la normatividad ambiental sugiere

### 1.2.2 Objetivos Específicos

1. Realizar una inspección que permita la identificación de los puntos que serán muestreados
2. Analizar los metales totales, utilizando la técnica analítica de espectro fotometría de absorción atómica que sugiere la normatividad mexicana.
3. Conocer el tipo de suelo y sus características del mismo, mediante pruebas de granulometría.
4. Se propondrán alternativas de solución a las alteraciones de los suelos de la poligonal, tomando como punto de partida la materia orgánica como carbono orgánico, pH, contenido de humedad, granulometría y la concentración de metales.
5. Analizar las posibles consecuencias que generan las alteraciones geoquímicas en la zona de estudio, así como su origen.

### 1.2.3 Alcances:

Se propondrán alternativas de solución para el mejoramiento de la composición de los suelos del sitio de estudio así como identificando el origen de los mismos, realizando una comparación con los límites máximos permisibles que la norma NOM-004-SERMANAT-2002 y NOM-021-SEMARNAT propone.

### 1.2.4 Limitantes:

Solo se tomaran 50 muestras de suelo superficial en una parte de la poligonal no analizada geoquímicamente en estudios previos.

Los metales que se determinarán son Al, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd y Pb.

### 1.2.5 Justificación

Contaminación del suelo

Un suelo se degrada al acumularse en él sustancias a unos niveles tales que repercuten negativamente en el comportamiento del mismo. A ciertos niveles de concentración se vuelven tóxicas para los organismos del suelo. Se trata pues, de una degradación química

que provoca la pérdida parcial o total de la productividad del suelo. (Unidad docente e investigadora de la Facultad de Ciencias, 2010).

Se han de distinguir entre contaminación natural o endógena y contaminación antrópica o exógena. Un ejemplo de contaminación natural es el proceso de concentración y toxicidad que muestran determinados elementos metálicos, presentes en los minerales originales de algunas rocas a medida que el suelo evoluciona. Un caso significativo se produce sobre rocas serpentizadas con altos contenidos de elementos como Cr, Ni, Cu, Mn..., cuya edafogénesis en suelos con fuertes lavados, origina la pérdida de los elementos más móviles, prácticamente todo el Mg, Ca, ..., en ocasiones hasta gran parte del Si, con lo que los suelos residuales fuertemente evolucionados presentan elevadísimas concentraciones de aquellos elementos, que los hacen susceptibles de ser utilizados como menas metálicas. Obviamente a medida que avanza el proceso de concentración residual de los metales pesados se produce el paso de estos elementos desde los minerales primarios, es decir desde formas no asimilables a especies de mayor actividad e influencia sobre los vegetales y el entorno. De esta forma, la presencia de una fuerte toxicidad para muchas plantas sólo se manifiesta a partir de un cierto grado de evolución edáfica, y por tanto es máxima en condiciones tropicales húmedas. (Unidad docente e investigadora de la Facultad de Ciencias, 2010).

Otro ejemplo de aparición natural de una anomalía de concentración de una forma tóxica se produce en la evolución acidificante de los suelos, por la acción conjunta de la hidrólisis, lavado de cationes, presión de CO<sub>2</sub> y ácidos orgánicos que progresivamente, conducen a una mayor concentración de Al disuelto y a un predominio de especies nocivas como Al<sup>+3</sup> o las formas Al-OH escasamente polimerizadas. (Macías, 1993).

Los fenómenos naturales pueden ser causas de importantes contaminaciones en el suelo. Así es bien conocido el hecho de que un solo volcán activo puede aportar mayores cantidades de sustancias externas y contaminantes, como cenizas, metales pesados, H<sup>+</sup> y SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, que varias centrales térmicas de carbón. Pero las causas más frecuentes de contaminación son debidas a la actuación antrópica, que al desarrollarse sin la necesaria planificación producen un cambio negativo de las propiedades del suelo. (Macías, 1993).

En los estudios de contaminación no basta con detectar la presencia de contaminantes sino que se han de definir los máximos niveles admisibles y además se han de analizar posibles factores que influyen en la respuesta del suelo a los agentes contaminantes, como son: vulnerabilidad, poder de amortiguación, movilidad, biodisponibilidad, persistencia y carga crítica, que modifican los denominados "umbrales generales de la toxicidad" para la estimación de los impactos potenciales y la planificación de las actividades permitidas y prohibidas en cada tipo de medio. (Unidad docente e investigadora de la Facultad de Ciencias, 2010).

Vulnerabilidad.- Representa el grado de sensibilidad (o debilidad) del suelo frente a la agresión de los agentes contaminantes. Este concepto está relacionado con la capacidad de amortiguación. A mayor capacidad de amortiguación, menor vulnerabilidad. El grado

de vulnerabilidad de un suelo frente a la contaminación, depende de la intensidad de afectación, del tiempo que transcurre para que los efectos indeseables se manifiesten en las propiedades físicas y químicas de un suelo y de la velocidad con que se producen los cambios secuenciales en las propiedades de los suelos en respuesta al impacto de los contaminantes. Permite diferenciar los riesgos potenciales de diferentes actividades o predecir las consecuencias de la continuación en las condiciones actuales. En muchas ocasiones, resulta difícil obtener los grados de sensibilidad de los suelos frente a un determinado tipo de impacto, debido a la fuerte heterogeneidad de los suelos, incluso para suelos muy próximos. (Unidad docente e investigadora de la Facultad de Ciencias, 2010).

Poder de amortiguación. Es el conjunto de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo que lo hacen un sistema clave, especialmente importante en los ciclos biogeoquímicos superficiales, en los que actúa como un reactor complejo, capaz de realizar funciones de filtración, descomposición, neutralización, inactivación, almacenamiento, etc. Por todo ello, el suelo actúa como barrera protectora de otros medios más sensibles, como los hidrológicos y los biológicos. La mayoría de los suelos presentan una elevada capacidad de depuración. Esta capacidad de depuración tiene un límite diferente para cada situación y para cada suelo. Cuando se alcanza ese límite el suelo deja de ser eficaz e incluso puede funcionar como una "fuente" de sustancias peligrosas para los organismos que viven en él o de otros medios relacionados. . (Unidad docente e investigadora de la Facultad de Ciencias, 2010).

Un suelo contaminado es aquél que ha superado su capacidad de amortiguación para una o varias sustancias y como consecuencia, pasa de actuar como un sistema protector a ser un problema para el agua, la atmósfera y los organismos. Al mismo tiempo se modifican sus equilibrios biogeoquímicos y aparecen cantidades anómalas de determinados componentes que originan modificaciones importantes en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. (Unidad docente e investigadora de la Facultad de Ciencias, 2010).

El grado de contaminación de un suelo no puede ser estimado exclusivamente a partir de los valores totales de los contaminantes frente a determinados valores guía, sino que se hace necesario considerar la biodisponibilidad, movilidad y persistencia (Calvo de Anta, 1997). Por biodisponibilidad se entiende la asimilación del contaminante por los organismos, y en consecuencia la posibilidad de causar algún efecto, negativo o positivo.

La movilidad regulará la distribución del contaminante y por tanto su posible transporte a otros sistemas. La persistencia regulará el periodo de actividad de la sustancia y por tanto es otra medida de su peligrosidad. (Unidad docente e investigadora de la Facultad de Ciencias, 2010).

Carga crítica. Representa la cantidad máxima de un determinado componente que puede ser aportado a un suelo sin que se produzcan efectos nocivos. (Unidad docente e investigadora de la Facultad de Ciencias, 2010).

# Capítulo 2

**Características generales del medio físico**

## 2.-Características generales del medio físico

### 2.1 Área de estudio

Esta área se encuentra dentro de la cuenca del río Magdalena se localiza al límite sur occidental del Distrito Federal (figura. 2.1).

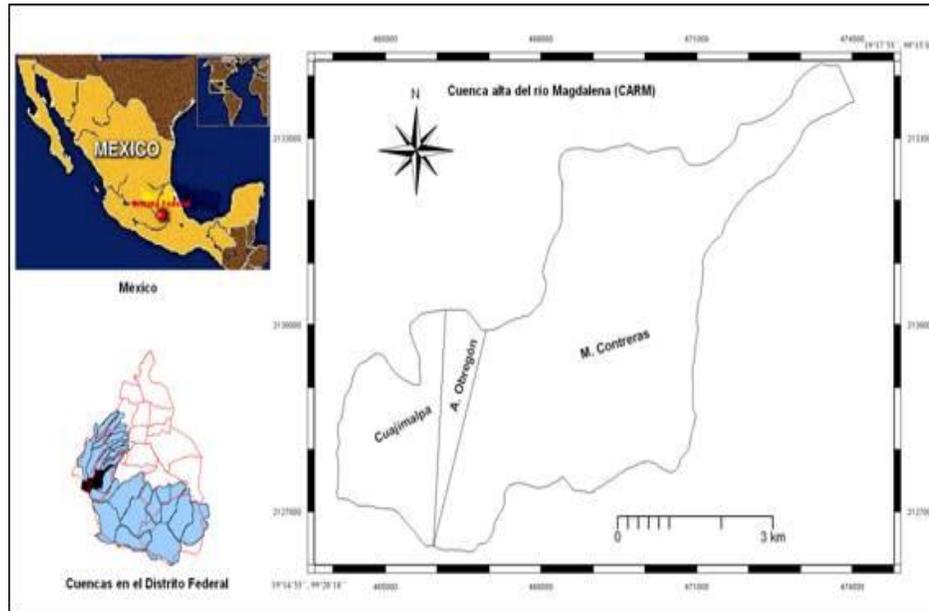


Figura 2.1. Localización de la cuenca del río Magdalena en México, D.F. (Rea, 2008).

Esta zona colinda al norte con la Delegación Miguel Hidalgo, al oriente con las delegaciones Benito Juárez y Coyoacán, al sur con las delegaciones Magdalena Contreras y Tlalpan y el Municipio de Jalatlaco, Estado de México, y al poniente con la Delegación Cuajimalpa de Morelos, Geográficamente está situada entre los paralelos 19°14'N y 19°25'S, y los meridianos 99°10'E y 99°20'O, ubicada al suroeste de la Cuenca de México, en la imagen inferior de la Sierra y de manera más detallada quedando ubicada dentro de la región de Santa Rosa Xochiac. (Programa Delegacional de Desarrollo Urbano de Álvaro Obregón).

#### Santa Rosa Xochiac

En esta zona se realizó el estudio con el apoyo de los vecinos y comuneros para realizar los estudios necesarios. La zona de estudio comprende un área de 215 Ha donde se encuentran zona forestal protegida y el área que analizamos en el lindera con la urbanización. Esta zona es a la que se llama "zona de amortiguamiento". La zona se encuentra ubicada entre las coordenadas 2135800 - 2135700 en  $y$ , y 469100 - 469200 (UTM) y altitudes de 2,970 a 3,150 msnm. (Delegación Obregón 2010).

El pueblo se encuentra al poniente de la Ciudad de México, sobre la Calzada al Desierto de los Leones. Colinda con los Pueblos de San Bartolo Ameyalco y de San Mateo Tlaltenango. Este último pertenece a la delegación Cuajimalpa de Morelos. (Delegación Obregón 2010).

La gente de Santa Rosa Xochiac tradicionalmente se ha dedicado a la agricultura y a la explotación forestal, y a partir de los años 60's, las opciones como empleado de gobierno, jardinería y servicio doméstico aparecieron también. (Delegación Obregón 2010).

La poligonal cuenta con área de 296,679.9871 m<sup>2</sup> (29.7 ha) y una altitud entre 2,570 a 3,850 msnm. Donde se incluye el área de la reserva ecológica, la zona habitacional y el área de estudio (zona de amortiguamiento), la cual se presenta en la figura 2.2. Se encuentra en la región suroeste del pueblo de Santa Rosa Xochiac, dentro la delegación Álvaro Obregón, en el Distrito Federal. (De Lorenz y Luna, 2008).

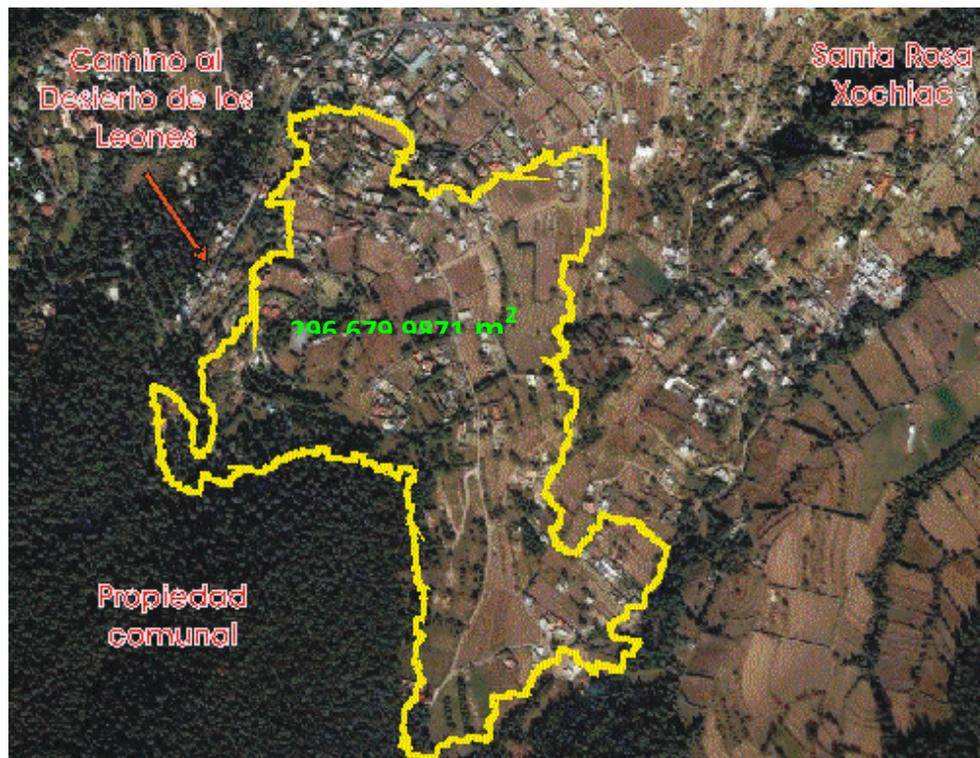


Figura 2.2 Poligonal, (Google Earth 2010)

En el año 2000, el Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal estableció como área natural protegida una superficie de 215 ha, con categoría de zona protectora forestal, mientras que el resto de la cuenca se designa como Forestal de Conservación y Forestal de Conservación Especial. (De Lorenz y Luna, 2008).

#### Uso de suelo en la poligonal

Hace tiempo la zona rural se regulaba por criterios de desarrollo urbano, los cuales no consideraban aspectos ambientales, ecológicos y sustentables (Gobierno del D. F., 1997). Por la falta de legalidad y sustentabilidad del uso de suelo, mismas que propiciaban la venta ilegal de las tierras, invasiones y el crecimiento de la mancha urbana. Este problema

actualmente causa severos problemas sobre el suelo de conservación, los cuales afectan la calidad de vida de la población del Distrito Federal y la Zona Metropolitana, entre los cuales se encuentran (Gobierno del D. F., 1997):

- Pérdida de vegetación natural indispensables para la infiltración y recarga del acuífero del subsuelo,
- Asentamientos humanos con problemas de seguridad habitacional y de servicios,
- Impactos a la biodiversidad,
- Pérdida de superficie de Áreas Naturales Protegidas (ANP),
- Cambio de uso de suelo,
- Deforestación.
- Contaminación de mantos acuíferos.
- Pérdida del paisaje endémico y no del país.
- Aumento de los niveles de contaminantes de gases de efecto invernadero.
- Disminución en la calidad del aire (IMECA).

El Distrito Federal se divide en suelo urbano y suelo de conservación. El suelo de conservación tiene un área de 88, 442 ha, las cuales representan el 59 % del D. F. (Gobierno del D. F., 1997) (figura 2.3). Dentro de la delegación Álvaro Obregón se localizan 5,052 ha en suelo urbano y 2,668 en suelo de conservación, las cuales representan el 66.1 % y el 33.66 % respectivamente (PROGRAMA GENERAL DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO, D. F., 1997).



**Figura 2.3 Clasificación del uso de suelo en el D. F.**  
**FUENTE: PROGRAMA GENERAL DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO, D. F., 1997.**

En la tabla 1 Se presentan los usos de suelo, su extensión y porcentaje del área de conservación del Distrito Federal.

**Tabla 2.1 Uso de suelo de la Ciudad de México.**

VEGETACIÓN Y USO DE SUELO	EXTENSIÓN (Ha)	SUELO DE CONSERVACIÓN (%)
Coníferas y latifoliadas	38,252	43.3
Matorrales	500	0.6
Pastizales	10,937	12.4
Agrícola	28,599	32.3
Urbano	10,154	11.4
TOTAL	88,442	100

**FUENTE: PROGRAMA GENERAL DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO, D. F., 1997.**

Esto se dio con base en el documento expedido por el Tribunal Agrario del Octavo Distrito el 29 de marzo de 1994, con número de expediente D8/R196/93, promovido en la vía de Reconocimiento y Titulación de Bienes Comunes, por el pueblo de Santa Rosa Xochiac, el

cual se encuentra dentro de la Delegación Álvaro Obregón, donde se pide la acreditación de la propiedad comunal, considerando el escrito del 19 de octubre de 1974, el cual fue declarado auténtico según el dictamen paleográfico realizado el 30 de octubre de 1975, dándole el número de registro 276.1/3563 y considerando la convocatoria publicada en el Diario Oficial de la Federación el 9 de julio de 1976 y la Gaceta Oficial del Departamento del distrito Federal el 1 de agosto de 1976, para realizar los trámites del Reconocimiento de Titulación de uso de suelos se concluye lo siguiente:

La comisión encargada de llevar a cabo los trabajos técnicos en el sitio de interés, con base en los artículos 366 y 371 de la Ley Federal de Reforma Agraria, asíntalo siguiente:

1. Se consta que dentro del área que corresponde a los Bienes Comunales, no se encuentra enclavada ninguna pequeña propiedad o propiedad privada así como tampoco dentro de la pequeña propiedad y ejido existe alguna área que corresponda a la Propiedad Comunal.
2. Manifiestan que no existe ningún conflicto con los límites registrados de sus colindantes naturales.
3. Reconocen que en Santa Rosa Xochiac le corresponde a los Bienes Comunales un área de 343.00 ha, dictaminado el 20 de enero de 1993, por el Cuerpo Consultivo Agrario, lo cual beneficia a 692 comuneros. Todo esto con base en el artículo 267 de la Ley Federal de la Reforma Agraria.

#### Obras de Rehabilitación con Eco – Técnicas dentro de la poligonal en estudio

Este poblado presenta dispersión de construcción fuera de sus límites que ha llevado a presentarse una conurbación entre las localidades así como la dispersión de construcciones hacia la Delegación de Cuajimalpa y Delegación Álvaro Obregón. Por ello es necesario que se lleve a cabo un cambio de uso de suelo de tipo “Asentamiento humano sustentable”, permitiendo que se desarrollen actividades para un manejo sustentable de los recursos naturales que se encuentran dentro de Santa Rosa Xochiac y principalmente dentro de la poligonal en estudio. Además permitirá llevar a cabo cursos y programas ambientales que proporcionen a los habitantes del sitio de interés, adquirir conocimientos para producir una convivencia en armonía con el medio que los rodea, sin alterar sus condiciones naturales Finalmente creará una cultura ambiental y una actitud de obligación – derecho, la cual permitirá que cada habitante de esta zona cuide y se responsabilice de los recursos naturales y así no sean explotados masivamente, generando al final un impacto irreversible en el medio ambiente. (De Lorenz y Luna, 2008; Rea, 2008; Santillán, 2009).

Dentro de la poligonal en estudio, existe una Asociación Civil llamada Vecinos Organizados por un Futuro Verde, la cual se encargado de llevar a cabo difusión a los vecinos para que la poligonal en estudio se convierta en una Eco - Barrio, donde la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial, Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, Secretaría de Desarrollo Rural, la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito

Federal y la O.N.U. - Hábitat participarán. (De Lorenz y Luna, 2008; Rea, 2008; Santillán, 2009).

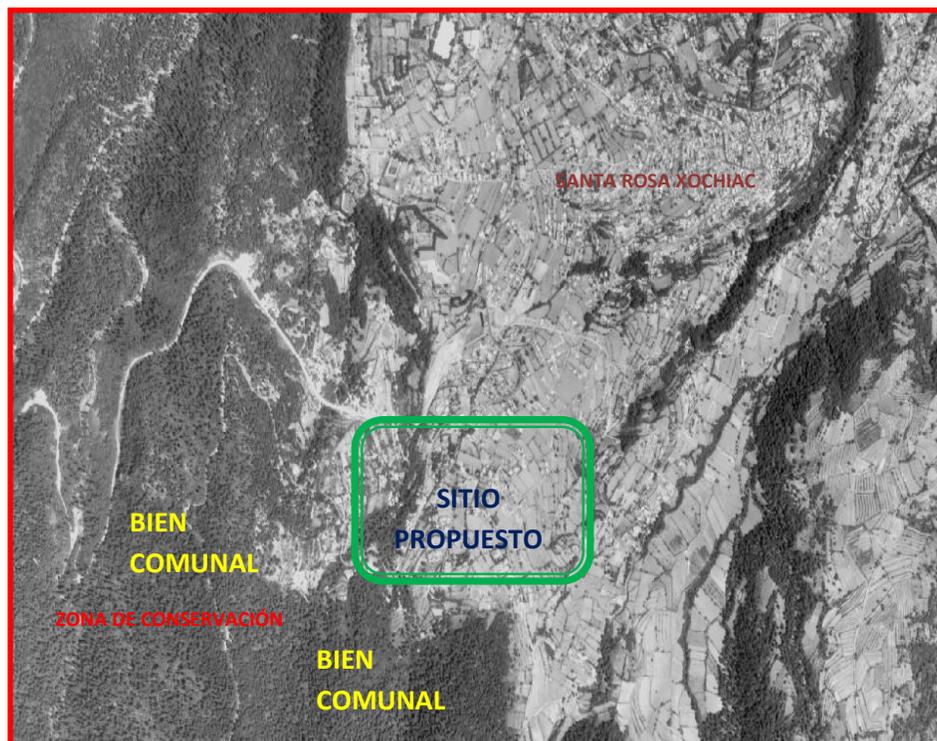


Figura 2.4 Lugar propuesto para el Eco- barrio.

### Características físicas:

#### Topografía

El Parque Nacional del Desierto de los Leones y la poligonal de interés forman parte del Eje Neo volcánico Transversal, la poligonal tiene una forma alargada de norte a sur, alcanzando 8.2 km., mientras que su anchura media es de 3.5 km, se encuentra en la vertiente oriental de la Sierra de “Las Cruces”. El Parque está constituido por dos ramales montañosos de dirección norte y noroeste, cuyo vértice es el Cerro de San Miguel. El primer ramal está conformado por los Cerros Caballete, Los Hongos y Colorado; el ramal del noroeste, por el Cerro Cruz de Colica, Xometla y Ocotal; además de otros localizados fuera del Parque. Ambos ramales se encuentran separados por tres cañadas: San Miguel, Palomas y Trozal, que confluyen en el arroyo Santo Desierto (De Lorenz y Luna, 2008) Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional Desierto de los Leones. Marzo, 2006). (De Lorenz y Luna, 2008;Rea, 2008; Santillán, 2009).

El terreno del Desierto desciende de forma altitudinal de sur a norte, desde la cima del cerro San Miguel con una elevación de 3,790 msnm., hasta la zona situada al norte del Convento con una elevación de 2,700 msnm. La altitud media es de 3,500 msnm. (De

Lorenz y Luna, 2008; Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional Desierto de los Leones. Marzo, 2006).

## Geología

El origen geológico del área donde se ubica el Parque y la poligonal de interés se remota al Cenozoico, en el periodo Terciario Superior (Mioceno – Plioceno), el cual se caracterizó por una extraordinaria actividad volcánica, misma que representa una estrecha relación con el movimiento de las placas tectónicas que convergen en la llamada Trinchera Mesoamericana, dando lugar a la formación del eje Neo volcánico Transversal (Rea, 2008; Santillán, 2009).

Las emisiones que constituyen la superficie del Desierto de los Leones son rocas de tipo volcánicas extrusivas; rocas efusivas terciarias y pos - terciarias. Tales emisiones estuvieron constituidas por derrames que corrieron en dirección norte y noreste en dos épocas diferentes, las cuales fueron caracterizadas mitológicamente. En la primera época, fueron emitidas andesitas de hornablenda e hiperstena, rocas que actualmente constituyen a los Cerros San Miguel y La Palma. En la segunda época se presentaron emisiones de andesitas y piroclastos, formados por brechas, cenizas y arenas volcánicas, que en el presente constituyen bancos de gran espesor (Rea, 2008).

En la zona de estudio se localizan dos unidades estratigráficas:

Formación Las Cruces. Se relaciona con la andesita Ajusco, y es considerada posterior al Plioceno Inferior. Comprende las rocas volcánicas que forman la Sierra de las Cruces, provienen de centros eruptivos interrelacionados y alineados de sur – sureste y norte – noreste. Está constituida en su parte inferior por brechas volcánicas epiclásticas de composición andesita, con interrelaciones de derrames porfídicos de composición riodacítica (Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional Desierto de los Leones. Marzo, 2006).

Formación Tarango. Cubre la formación anterior y la del Ajusco, es una secuencia no estratificada, sin orden de tamaño y con espesor de 200 a 300 m. de tobas, aglomerados, grava volcánica de origen fluvial de capas delgadas de piedra pómez. Se caracteriza por el estado caótico en el cual aparecen depositadas las series clásticas, ya que los fragmentos grandes y chicos están juntos en una matriz de arena, grava y suelo (Rea, 2008).

## Fisiografía

Como ya se mencionó la poligonal se ubica en la zona central del Eje Neo volcánico Transversal, dentro de esta cordillera se encuentra la vertiente original de la Serranía de Las Cruces (Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional Desierto de los Leones. Marzo, 2006). La poligonal está definida como parte de una zona tectónica activa; en su

límite occidental se observa un sistema de fallas principales en dirección este – oeste. La dinámica actual está representada por movimientos de ascenso y descenso de los bloques, dejando escarpes de falla y a su vez provocando una aceleración de los procesos dinámicos del área. Estos procesos están representados por erosión hídrica y deposición intensa, hundimiento y deslizamiento de suelo en masa (Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional Desierto de los Leones. Marzo, 2006).

### Edafología

El Desierto de los Leones y la poligonal en estudio se conforman por suelos de origen volcánico, profundos, abundantes, bien drenados y fértiles, húmedos la mayor parte del año, predominando las andesitas. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2000; De Lorenz y Luna, 2008), en la totalidad del Parque Nacional y la poligonal, el tipo de suelo se clasifica como podzólico y corresponde al tipo café vegetal con textura arcillo – arenosa.

### Hidrología

El Parque Nacional el Desierto de los Leones y la poligonal evaluada, se localiza dentro de la Cuenca de México, la cual es una cuenca hidrográfica endorreica (cerrada, sin salida), que incluye toda la superficie del Distrito Federal, cerca de la cuarta parte del Estado de México y aproximadamente, el 7% del Estado de Hidalgo, además de pequeñas extensiones de los estados de Tlaxcala, Puebla y Morelos. (De Lorenz y Luna, 2008; Rea, 2008; Santillán, 2009).

Dentro del Parque Nacional, se tiene origen el arroyo Agua de Leones y el Río Santo Desierto, que son los afluentes de los Ríos Hondo y Mixcoac, respectivamente. El arroyo Agua de Leones pierde su nombre al unirse con el Río Borracho, continúa hasta después de confluir con el Río Ajolotes para formar el Río Hondo. La mayor parte del Desierto está cubierta por vertientes abruptas, cuyo parteaguas oriental y sur funcionan como referencias naturales del Parque, en el sector occidental las escorrentías de una angosta ladera de pendiente moderada como nivel de base de tres corrientes, que sirven de referencia de los límites del Parque. Estas características afectan directamente a la poligonal. (De Lorenz y Luna, 2008; Rea, 2008; Santillán, 2009).

Los cerros El Caballete, Los Hongos, San Miguel, Cruz de Colica y Xometla; se encuentran al sur del área, formando un macizo montañoso de altitud mayor a los 3,500 msnm dando origen a la cabecera de la red fluvial. Esta cabecera fluvial se inicia con tres corrientes. La corriente principal nace del Cerro San Miguel, a una altura de 3,700 msnm. aproximadamente; desciende por la cañada del mismo nombre y en su trayecto se alimenta de una serie de manantiales que se forman en el alineamiento cerril del Caballete y Los Hongos (De Lorenz y Luna, 2008).

Las corrientes restantes se originan en los Cerros Cruz de Colica y Xometla, a una elevación de 3,500 msnm y fluyen por las cañadas de las Palomas y el Trozal, respectivamente (De Lorenz y Luna, 2008).

De acuerdo a su ubicación, los manantiales se dividen en tres agregados:

El primero, denominado Taza Vieja; se localiza en la porción central del Parque, formado por 13 afloramientos: Piletas, San Miguel, Zorrillas, Lagunillas, Lobos, Ruedas, Palmas, Llorona, La Portería, Monarcas, Otates, Arce y Capulines. El segundo, Presa de los Leones; se encuentra al oeste del Parque y está constituido por tres manantiales: Agua de Leones, De la Cruz y Llano Grande. El tercero, conocido como Chorro de Agua; se encuentra al este del Parque y está conformado por tres manantiales: Ajolotes, Agua de Pena y Agua de Gallinas. (Rea, 2008).

La zona de la poligonal está sobre una zona de recarga de acuíferos, el cual comparte con el Desierto de los Leones. Sin embargo, no existe ningún cuerpo de agua cerca al sitio de interés. Existe un cauce de agua de lluvia (Figura 2.5).



Figura 2.5 Mapa de la hidrografía del Distrito Federal.

Fuente: CNA. Hidrología superficial del DF.

## Climatología

Con base en la clasificación de Köppen modificada por García en 1988, el tipo de clima para el Desierto de los Leones y la poligonal, corresponde a C(W<sub>2</sub>) W (b')ig, que equivalen a:

- Templado, con lluvias en verano
- Precipitación invernal, con respecto al total es menor de 5%
- Forma parte del grupo más húmedo de los sub – húmedos
- Isotermal (la diferencia de temperatura entre el mes más cálido y el mes más frío es menor a 5°C).

Fuente: (INEGI, 2000)

Para el caso particular del sitio del proyecto las condiciones climáticas corresponden a zonas sub - húmedas con lluvias en verano lluvias [C (w)] (Figura 2.6.).

### DISTRIBUCIÓN DE CLIMAS EN EL DISTRITO FEDERAL

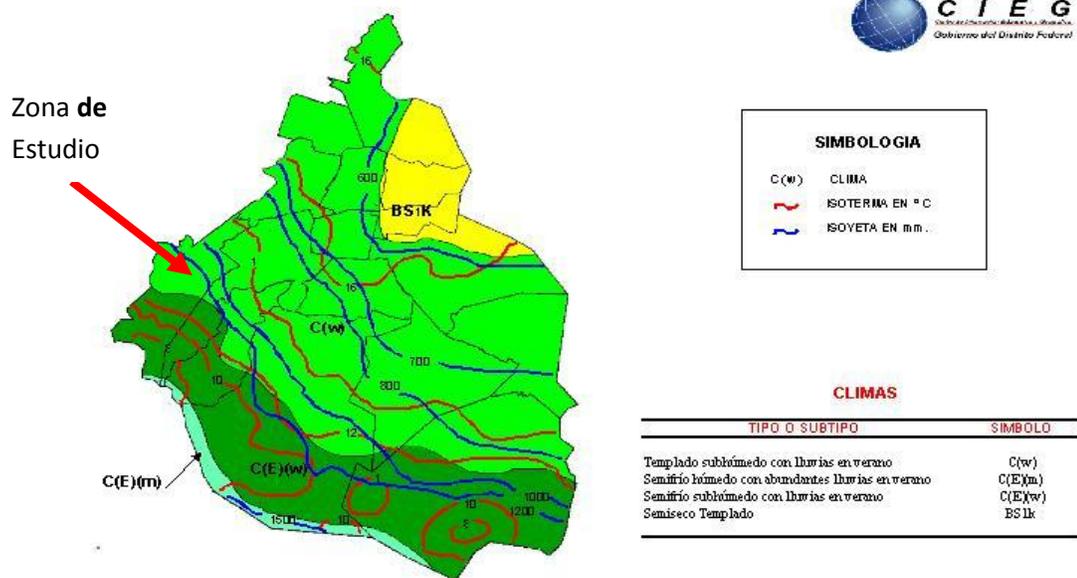


Figura 2.6 Mapa de Distribución de climas en el Distrito Federal

Fuente: CNA. Carta climática del DF.

De acuerdo al INEGI (1993), en el Parque y la poligonal, atraviesan dos isotermas: una en la porción norte de 10AC; y la otra en la porción centro-sur de 8AC. En la porción sur del Parque pasa una isoyeta de 1,500 mm.

El Servicio Meteorológico Nacional de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH, 1982) reporta ocho ambientes climáticos en el Parque Nacional, los cuales se enlistan en la tabla 2.2, 2.3 y 2.4.



Desierto de los Leones														
Promedio	1951	a	8.3	9.4	11.5	12.6	12.9	12.5	11.5	11.6	11.3	10.5	9.7	8.5
	1988													
Precipitación total mensual														
Desierto de los Leones														
Promedio	1951	a	12.8	34.2	23.2	38.3	97.4	241.2	275.8	275.9	218.8	96.2	16.5	10.3
	1988													

### Ecosistemas y paisaje

El Desierto de los Leones y la poligonal en estudio presentan un severo deterioro de sus recursos naturales, debido a factores relacionados a su colindancia con la zona urbana del Distrito Federal, así como la falta de políticas claras y sustentables de protección, y de atención por los vecinos y los visitantes de no talar o extraer flora y fauna de la zona, lo que impide una restauración de la zona en estudio. Todo ello es consecuencia de la falta de un programa de manejo sustentable que de la solución a los conflictos sobre la tenencia legal de la tierra (Reglas de Operación del Parque Nacional Desierto de los Leones, Junio, 2006). Algunos de los factores pueden ser los siguientes:

- Efectos por contaminación provenientes de la zona urbana
- Falta de manejo de la vegetación forestal, causado por la presencia de un arbolado viejo y sin regeneración
- Presencia de incendios forestales
- Extracción desordenada de agua en las partes altas
- Falta de atención de procesos erosivos
- Presencia e incremento de fauna feral
- Recreación desordenada y creciente práctica de deportes extremos de alto impacto en áreas frágiles del Parque
- Introducción de especies de plantas no adecuadas para la zona
- Indefinición de procesos legales respecto a la tenencia de la tierra
- Inoportuna resolución de los trámites legales para la atención de contingencias, entre otros.

### Ambiental

Debido a que no se cuenta con un Programa integrador con directrices ambientales para su uso y conservación del Parque Nacional y la poligonal, se han realizado actividades de protección, fomento y de recreación, diferentes a su condición de Área Natural Protegida; lo cual ha causado la introducción de especies vegetales, la construcción de una gran cantidad de caminos, una adecuada apertura de brechas cortafuego, la entrada de fauna

feral y la realización de actividades recreativas en áreas no adecuadas. (De Lorenz y Luna, 2008; Rea 2008).

Sin embargo, las distintas disposiciones legales y de regulación, control y administración, que se han dado en el tiempo, han permitido la conservación del Parque Nacional Desierto de los Leones, el cual presenta fortalezas para su restauración y conservación. Este no es el caso de la poligonal en estudio, comienzan a realizar un reglamento para un manejo sustentable.

Actualmente, no presenta daños por asentamientos irregulares, las actividades intensivas de recreación se concentran alrededor del Ex Monasterio; se cuenta con la presencia de la mayoría de especies de fauna y flora importantes para la región; se ha generado una importante infraestructura que facilita su protección; la población, incluyendo las comunidades vecinas que actualmente han promovido amparos por la tenencia de la tierra, reconoce al Desierto de los Leones como un área de protección especial (De Lorenz y Luna, 2008; Rea,2008).

#### Flora

En cuanto a la flora existente en el Desierto de los Leones y la poligonal de interés, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2004), realizó una búsqueda bibliográfica, cuyo resultado fue la localización de seis documentos con información sobre la flora del área de estudio además se obtuvieron los registros de colectas en este sitio de la base de datos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, así como de la base de datos AMO-DATA de la Asociación Mexicana de Orquideología, de los cuales se obtuvo una lista florística que se sometió a una revisión taxonómica rigurosa para no incluir la sinonimia ni especies que no estuvieran reportadas para el Valle de México; esta revisión taxonómica se realizó basándose en Rzedowski (*Rea, 2008*).

La Comisión Natural de Áreas Naturales Protegidas (2004) realizó 269 colectas botánicas en el área de estudio a lo largo de cinco recorridos realizados entre octubre de 2001 y junio de 2002 y entre mayo y julio de 2003, logrando acumular 223 colectas determinadas, que representan 129 especies, las cuales fueron sumadas a la lista florística final.

Con lo anterior, se reportan 392 especies para el Parque Nacional Desierto de los Leones, repartidas entre 204 géneros y 74 familias, siendo la familia Asterácea la mejor representada con 33 géneros y 87 especies como no existen estudios específicos en la poligonal, se consideran de gran influencia las especies del Desierto de los Leones.(Rea, 2008).

# Capítulo 3

**Metodología**

## 3. Metodología

### 3.1 Trabajo de campo

En este Trabajo se encontró una disposición del suelo bastante heterogénea, es decir, suelo de conservación, hasta suelo de relleno.

El suelo presenta en algunas zonas erosión, así como partes de zona de agricultura y bosque. Por ello se tomó la decisión de considerar 50 muestras, las mismas que están dispersas para ser representativas del área de estudio. Así mismo se sacaron muestras superficiales y no profundas a unos 15 cm de profundidad y en un área de aproximadamente 10 X 10 cm tomando en promedio entre 1.5 y 2 kg de suelo.

Se extrajo el suelo con ayuda de cucharones de plástico para evitar que algún mineral entrara en contacto con el suelo y alterara la muestra.

Este fue empacado en bolsas y colocado a la sombra y posteriormente transportado para su almacenaje.

#### 3.1.1. Delimitación de la poligonal

La poligonal en estudio se ubica al suroeste del pueblo de Santa Rosa Xochiac, dentro de la Delegación Álvaro Obregón, Distrito Federal. (Rea, 2008).

Para la delimitación de la poligonal se utilizó un GPS MAP 60CX (Sistema de Posicionamiento Global) Garmin, con un alcance de 15 satélites a campo abierto (figura 3.1).



Fig. 3.1 Toma de las referencias con el GPS

El área de estudio cuenta con 296,679.9871 m<sup>2</sup> (29.7 h.), esta área se encuentra entre las casas, zona de agricultores y el bosque como se muestra en la figura 3.1. La poligonal abarca las siguientes calles: Texcaltitla, Aucaltitla, Cacaloac y el Bosque Desierto de los Leones. (De Lorenz y Luna, 2008; Rea, 2008) (Figura 3.2).



Figura 3.2 Límite de Casas y bosque.

El área de estudio cuenta previamente con una poligonal realizada por un trabajo previo de la Ing. FABIOLA LAN DAI REA ORTEGA misma que se ocupará en la Tesis para este y futuros proyectos en la zona. Esta área contempla los linderos físicos y delegacionales que a la zona le corresponden (Figura 3.3).

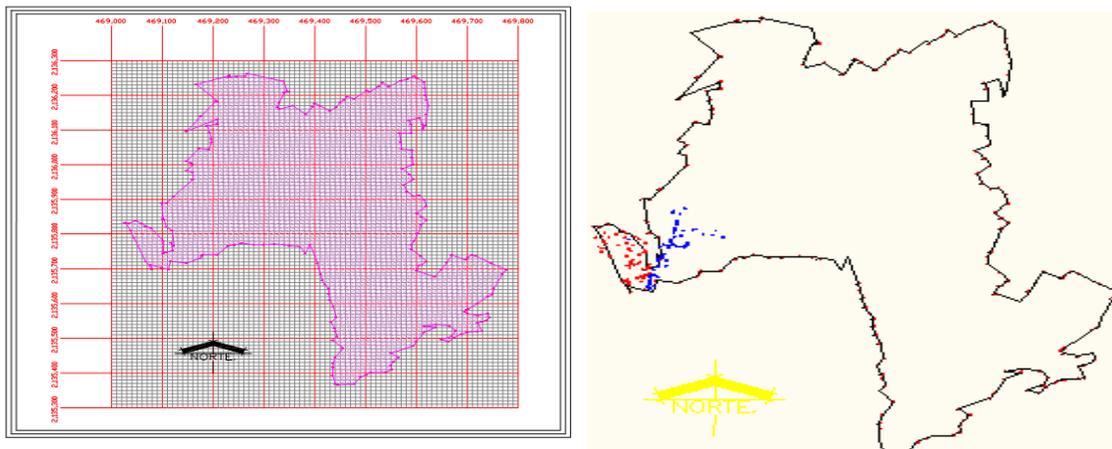


Fig. 3.3 Poligonal de estudio. Puntos rojos estudio Santillán 2009; azules Estudio actual.

### Muestreo con propósitos de clasificación de suelos

El suelo es subdivido en estratos y horizontes que evidencian la naturaleza de su desarrollo. Para estudiar sus atributos, es necesario obtener muestras lo más representativas posible, tanto de cada sitio de muestreo como del área a estudio. El muestreo para clasificación y levantamientos de suelos involucra una gran simplificación de la realidad, ya que por razones prácticas incluye la toma de unas muestras sumamente pequeñas y la obtención de datos de análisis de suelos, requiere de una muestra todavía más pequeña. (Santillán, 2009).

Este muestreo se realizó después de que se hayan hecho los análisis de parámetros detallados en material cartográfico, como fotografías aéreas y/o imágenes de satélite, etc., y que mediante técnicas fotogramétricas y ahora computacionales, se ubican áreas con el mismo patrón de distribución de suelos a mayor o menor escala, en las que se precisan puntos de muestreo representativos. En el sitio de colecta de muestras, después de la apertura del perfil representativo, se obtuvieron muestras de cada uno de los estratos u horizontes que lo constituyen.

## **Material y equipo**

El material necesario requerido para realizar el muestreo se señala a continuación:

1. Previo a la toma de muestra es necesario la apertura del perfil del suelo, para lo que se requiere una pala recta y una pala curva, para excavar y extraer el suelo más o menos suelto (estos deberán de ser de plástico y estar limpios para evitar contaminar la muestra). (NMX-AA-132-SCFI-2006; NOM-021-SEMARNAT-2000).
2. Una vez hecho el pozo se requerirá de un martillo pedológico, una espátula o cuchillo de acero inoxidable para marcar la separación de límites y transición de estratos u horizontes y facilitar la colecta de la muestra de cada capa, conjuntamente con la pala recta. (NMX-AA-132-SCFI-2006).
3. También se requiere de bolsas de plástico con capacidad aproximada de 2 kg para depositar las muestras. (NMX-AA-132-SCFI-2006).
4. Otros materiales necesarios que deben tenerse son: mochila pedológica, etiquetas, marcadores, libretas de notas, mapas, planos y fotografías aéreas del área de estudio, cámara fotográfica o video, geoposicionador y formatos de campo. (NMX-AA-132-SCFI-2006; NOM-021-SEMARNAT-2000).

## **Procedimiento**

### **1. Ubicación de puntos de muestreo.**

1. Se establecerán los criterios para definir los puntos de muestreo representativos (perfil típico).
2. El punto de muestreo debe ser lo más representativo posible del área, tomando como base los perfiles y barrenaciones que se han realizado previamente en la etapa de reconocimiento del patrón naturaleza y desarrollo de los suelos.

### **2. Toma de muestra.**

1. De cada perfil representativo de muestreo se toman tantas muestras como horizontes comprende el perfil, siempre en orden de abajo hacia arriba.
2. La muestra se colecta de aproximadamente 1 kg de peso seco o cuando éste se encuentre húmedo deberá ser de 2 kg.
3. La muestra se toma de todo el espesor de la capa (horizonte) y a la misma profundidad.

4. Ocasionalmente dentro de un horizonte o varios del perfil del suelo, se presentan variantes como motas, manchas, etc., mismas que son muestreadas por separado y además de los análisis generales, para estas muestras se solicitará análisis especiales.

5. Obtenida la muestra, se registra la misma con los datos siguientes: lugar, número de perfil, profundidad o espesor de la capa y fecha de muestreo.

Parámetros que deberán analizarse en cada muestra.

1. Los análisis de las muestras de suelo con fines de clasificación serán aquellos parámetros que sirven para definir las unidades de clasificación, así como a las subunidades de las mismas, cuando éstos sean distintivos de naturaleza química o física, ya que ocasionalmente las subunidades de clasificación se definen por otros parámetros que no son analíticos como: color, etc.

2. Una vez obtenidos los resultados de los análisis de las muestras de cada perfil y específicamente para cada uno de los horizontes de suelo, se analizaron conjuntamente con otros parámetros que se anotan en la descripción del perfil (color, estructura, consistencia, porosidad, etc.), asignando los horizontes genéticos del perfil del suelo y subdivisiones (nomenclatura FAO), posteriormente, se definieron los horizontes de diagnóstico tanto superficiales como subsuperficiales con propósito de diagnóstico (Mólico, Umbrico, Hístico, Ocrico o Argílico, Nátrico, Cámbico, Espódico, Gypsico, etc.), presentes en el mismo y así, clasificar el suelo.

(NMX-AA-132-SCFI-2006).

Antes de describir los resultados obtenidos en las diferentes pruebas a las que fueron sometidas las muestras de suelo de la zona alta de la poligonal, es necesario describir cómo se realizó dicho muestreo. Las muestras se obtuvieron de diferentes lugares, estos lugares son llamados puntos de muestreo a continuación se visualiza en la (figura 3.4).



**Figura 3.4 Puntos de muestreo**

Es necesario mantener un orden, es decir, el muestreo se realizó en ZIGZAG con el objetivo de abarcar más terreno y no caer en el error de encasillar la investigación en una sola área tal como lo muestra la (figura 3.5), ya que esto lleva a la obtención de resultados poco confiables y obviamente una geoquímica mal realizada, más adelante se detalla la ubicación exacta de cada punto mediante el uso del un GPS mencionado. (Santillán 2009).



**Fig. 3.5 Muestreo en zigzag**  
**Fuente: Santillán, 2009.**

La obtención de muestras de suelo se llevó a cabo con el uso de una cucharilla de plástico a una profundidad de entre 10 y 15 cm (figura 3.6) con el fin de evitar contaminar las muestras con metales.



**Figura 3.6 Muestreo con cucharilla de plástico**

Una vez que se limpió el terreno y se cavó para la extracción del suelo (figura 3.6), se procedió a colocar dicha muestra en bolsas de plástico las cuales son resistentes para evitar el rompimiento de estas ya que el desgaste de alguna bolsa provocaría la combinación de las muestras y esto daría paso a la obtención de resultados erróneos véase (figura 3.7).



**Figura 3.7 Limpia del terreno.**



**Figura 3.8 Uso de bolsas de plástico resistentes.**

Las bolsas fueron etiquetadas para llevar un orden en el muestreo, a su vez con el número asignado a cada muestra se podía determinar su ubicación, coordenadas, altitud entre otros datos (figura 3.8).

Los puntos obtenidos del muestreo son los presentados en tabla 3.1, en estos datos cabe mencionar la precisión del GPS, pues aunque no estaba en un terreno plano se tuvo una precisión adecuada para el tipo de zona. Estos puntos fueron ubicados en la poligonal para su valoración. Y su posterior documentación en el proyecto.

**Tabla 3.1 Datos GPS de los puntos muestreados.**

Punto	UTM				Altura	Precisión
1	14469108	E	2135705	N	3007	12
2	14469114	E	2135709	N	3001	10
3	14469104	E	2135708	N	3005	8
4	14469107	E	2135715	N	3000	7
5	14469108	E	2135721	N	2989	9
6	14469109	E	2135725	N	2984	15
7	14469107	E	2135729	N	2980	5
8	14469119	E	2135728	N	2978	1
9	14469115	E	2135732	N	2971	4
10	14469112	E	2135732	N	2966	6
11	14469112	E	2135744	N	2993	5
12	14469120	E	2135750	N	2991	8
13	14469130	E	2135752	N	2978	7
14	14469119	E	2135763	N	2966	5
15	14469131	E	2135762	N	2972	5
16	14469116	E	2135766	N	2945	5
17	14469123	E	2135769	N	2966	5
18	14469114	E	2135772	N	2978	9
19	14469128	E	2135774	N	2973	3
20	14469123	E	2135791	N	2967	8
21	14469127	E	21357295	N	2966	7
22	14469134	E	2135789	N	2957	1
23	14469135	E	2135794	N	2958	3
24	14469138	E	2135795	N	2911	1
25	14469144	E	2135793	N	2964	7
26	14469159	E	2135793	N	2967	3
27	14469148	E	2135791	N	2965	13
28	14469156	E	2135790	N	2962	9
29	14469161	E	2135796	N	2966	6
30	14469161	E	2135800	N	2968	2
31	14469152	E	2135800	N	2963	5
32	14469169	E	2135826	N	2969	5
33	14469174	E	2135827	N	2960	6
34	14469183	E	2135816	N	2967	4
35	14469196	E	2135815	N	2968	6
36	14469212	E	2135811	N	2970	60
37	14469201	E	2135824	N	2967	1
38	14469136	E	2135805	N	2965	3
39	14469142	E	2135812	N	2964	2
40	14469143	E	2135813	N	2961	6
41	14469141	E	2135819	N	2960	8
42	14469140	E	2135824	N	2955	6
43	14469141	E	2135826	N	2955	6
44	14469144	E	2135829	N	2959	6
45	14469145	E	2135838	N	2957	7
46	14469146	E	2135843	N	2955	5
47	14469150	E	2135857	N	2956	6
48	14469157	E	2135870	N	2955	6
49	14469141	E	2135865	N	2957	5
50	14469139	E	2135861	N	2953	1

### 3.2 Trabajo de laboratorio

En el laboratorio se realizaron los estudios de contenido de humedad, granulometría, materia orgánica, pH, potencial redox, metales pesados (por flamometría y absorción atómica).

### **3.2.1 Contenido de humedad**

El método se basa en la medición o determinación de la cantidad de agua expresada en gramos que contiene una muestra de suelo. Esta masa de agua se referencia de la masa de suelo seco de la muestra. La determinación de la masa de agua se realiza por la diferencia en peso entre la masa de suelo húmedo y la masa de suelo seco. Se considera como suelo seco aquél secado a la estufa a 105°C hasta obtener un peso constante (NOM-021-SEMARNAT-2000).

#### **Material y equipo**

Botes de aluminio para humedad

Estufa con circulación forzada de aire y temperatura controlada

Balanza con aproximación de 0.01 g

Pinzas

Desecador

#### **Procedimiento**

1. Lavar y limpiar perfectamente e identificar los botes de aluminio a utilizar.
2. Los botes con todo y tapa introducirán a la estufa durante 8 horas como mínimo a una temperatura de 105°C posteriormente registrar el peso y volver a introducir los botes a la estufa hasta lograr un peso constante en las muestras, todo este procedimiento previo al enfriamiento de los botes que se colocaran en un desecador.
3. Utilizar las pinzas y saque los botes del desecador de vacío hasta que se enfríen y pesarlos con todo y tapa, éste será el peso del bote (PB).
4. Obtener la muestra deseada, se recomienda sean de 30 a 50 gramos, aproximadamente, y colocar en el bote de aluminio, en caso de que la muestra vaya a ser transportada es necesario tapar y sellar herméticamente el bote con parafilm.
5. Pesar el bote con el suelo húmedo, este peso deberá ser el peso del bote más el suelo húmedo (PB + Psh).
6. Destapar el bote con el suelo húmedo, colar la tapa en la parte inferior e introducir a la estufa a una temperatura de 105°C.
7. Después de 24 horas sacare el bote de la estufa taparlo y colocarlo en el desecador de vacío hasta que se enfríe, posteriormente pesar el bote con la muestra seca, este peso será el peso del bote más el peso del suelo seco (PB + Pss).
8. Volver a introducir el bote a la estufa y una hora después sacarlo, enfríe en un desecador y pese; repetir este procedimiento hasta obtener el peso constante (NOM-021-SEMARNAT-2000).

Cálculos

Con los datos obtenidos en el procedimiento, aplicar la siguiente ecuación:

$$\theta = \frac{(PB + Psh) - (PB + Pss)}{(PB + Pss) - PB} \times 100$$

Donde:

$\theta$  = Contenido de humedad gravimétrica expresado en porcentaje (%).

PB = Peso del bote con tapa (g).

Psh = Peso de suelo húmedo (g).

PB+Psh = Peso del bote más peso del suelo húmedo (g).

PB + Pss = Peso del bote más peso del suelo seco (g).

### Comentarios

En muestras de suelos orgánicos, el secado a 105°C produce pérdida de masa por oxidación y volatilización de componentes orgánicos. Sin embargo bajo este método esto es inevitable. El método gravimétrico tiene la ventaja de ser simple y no utilizar equipo sofisticado. La desventaja es que las mediciones no son "in situ" y el muestreo es destructivo al sitio (NOM-021-SEMARNAT-2000).

En la figuras 3.9 se pueden observar mas detalles de algunos procedimientos realizados para la obtención de Contenido de Humedad.



Figura 3.9 a) Registro de peso inicial.



Figura 3.9 b) Secado en mofla a 105 °



Figura 3.9 c) Peso constante por muestra.

Figuras 3.9.1 proceso de contenido de humedad

### 3.2.2 DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE LOS SUELOS (GRANULOMETRIA)

Para la realización de este procedimiento se usará el método de laboratorio de Terzaghi y así determinar la cantidad de gruesos y finos en la muestra. Para clasificar el suelo por medio del triángulo de texturas (Frederick, 2007).

### **Material y equipo**

1. Espátula de plástico
2. Prensa con agitador
3. Tamices de 200 mallas.
4. Botes de plástico.
5. Cápsulas de porcelana.
6. Estufa de aire forzado.
7. Balanza analítica.
8. Suelo alterado

### **Pre tratamiento de la muestra**

La muestra debe estar seca y libre de humedad a peso constante. Retirar la materia orgánica presente que sea visible (ramas animales hojas). Separada en botes etiquetados con aproximadamente 500 g.

### **Procedimiento**

1. Tomar una muestra representativa del total.
2. Pesar previamente el total de muestra colocado.
3. Verter en el tamiz y cerrar perfectamente.
4. Colocar y en la prensa y fijarlo bien a los soportes.
5. Agitar por un periodo de 2 a 3 min ininterrumpidos.
6. Separar los tamices con ayuda de un desarmador procurando no tirar muestra fuera del tamiz.
7. Pesar por separado cada contenido desde el contenido más grueso al más fino.
8. Reportar cada medición de cada muestra en una tabla con la indicación del peso inicial antes del cernido y el final con la suma de las parciales de cada tamiz
9. Si el peso varía considerablemente volver a realizar la prueba.
10. Tapar y almacenar la muestra evitando que se contamine lejos de la humedad.
11. Determinar el tipo de suelo ocupando el triángulo de texturas.
12. Elaborar una tabla de reporte de material pasado en promedio del total de las muestras. (Figura 3.10).



Figura 3.10 a) Extracción y secado previo de la muestra



Figura 3.10 b) cernido de la muestra



Figura 3.10 c) Separación de las charolas



Figura 3.10 d) recolección de la muestra



Figura 3.10 e) Pesado de la muestra



Figura 3.10 f) separación por numero de charola

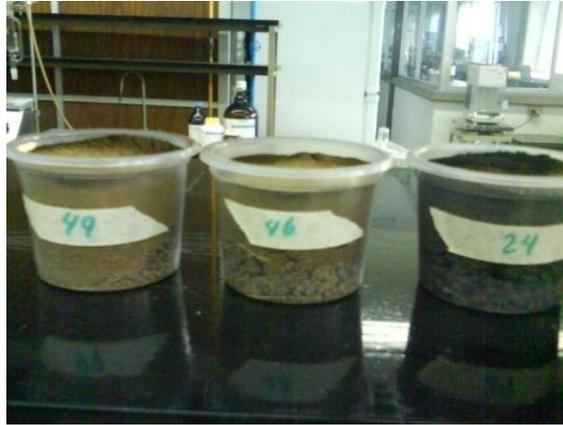


Figura 3.10 g) Etiquetado de charolas  
Figura 3.10. Prueba de Granulometría.

### 3.2.3 DETERMINACIÓN DE pH

El Método electrométrico para la determinación del pH en muestras de suelo en una solución de agua pura. La evaluación electrométrica del pH se basa en la determinación de la actividad del ion H mediante el uso de un electrodo cuya membrana es sensitiva al pH. En el caso de los suelos el pH se mide potenciométricamente en la suspensión sobrenadante de una mezcla de relación suelo: agua 1:2. (Método estándar).

El pH es una de las mediciones más comunes e importantes en los análisis químicos rutinarios de suelo, ya que controla reacciones químicas y biológicas en el suelo. La determinación del pH es afectada por varios factores tales como: el tipo y cantidad de constituyentes orgánicos e inorgánicos que contribuyen a la acidez del suelo, la concentración de sales en la solución, la relación suelo: solución, la presión parcial de bióxido de carbono y el efecto de la suspensión asociado con el potencial de unión, etc. (NOM-021-SEMARNAT-2000).

#### Reactivos

Los reactivos utilizados en esta determinación deben ser grado analítico y el agua utilizada en la preparación de las soluciones debe ser destilada o desionizada.

1. Agua destilada o desionizada.
2. Soluciones reguladoras de referencia, pH 4.00, 7.00 y 10.00, las cuales se adquieren preparadas o concentradas para diluirse de acuerdo a la instrucción. Estas soluciones deben estar a temperatura ambiente al momento de calibrar el medidor de pH.

#### Material y equipo

1. Potenciómetro o medidor de pH equipado con electrodo de vidrio en combinación con electrodo de referencia.
2. Balanza con 0.1 g de sensibilidad.

3. Frascos de vidrio o plástico transparente de boca ancha con capacidad de 50 a 100 ml.
4. Pipeta volumétrica de 20 ml.
5. Varilla de vidrio que sirva como agitador manual.
6. Piceta.
7. Cinta métrica.

### **Procedimiento**

1. Pesar 10 g de suelo en un frasco de vidrio o plástico de boca ancha.
2. Adicionar 20 ml. de agua destilada al frasco conteniendo el suelo.
3. Con una varilla de vidrio, agitar manualmente la mezcla de suelo: agua a intervalos de 5 minutos, durante 30 minutos.
4. Dejar reposar durante 15 minutos.
5. Calibrar el medidor de pH con las soluciones reguladores pH 4.00 y 7.00 o 7.00 y 10.00 según el suelo, enjuagando con agua destilada los electrodos antes de iniciar las lecturas de las muestras.
6. Agite nuevamente la suspensión e introduzca el electrodo en la suspensión.
7. Registre el pH al momento en que la lectura se haya estabilizado.  
(NOM-021-SEMARNAT-2000).

### **Informe de la prueba**

Debe incluir la información que a continuación se indica:

1. Datos completos de identificación de la muestra.
2. Reportar el valor con número entero y una cifra decimal.
3. Fecha de realización de la prueba.

### **Comentarios**

1. Previo a la lectura calibrar el potenciómetro de pH con solución amortiguadora de referencia para los intervalos dentro de los cuales se va a medir.
2. Las soluciones amortiguadoras de referencia deben conservarse en refrigeración y colocarlas a temperatura ambiente al momento de la calibración del equipo.
3. No se deberá almacenar las soluciones amortiguadoras por mucho tiempo.
4. Muestras de suelo conteniendo una alta concentración de materia orgánica tiende a formar gruesos grumos cuando la relación suelo: solución es similar a la de un suelo mineral, en este caso se deberán de utilizar relaciones más amplias. (NOM-021-SEMARNAT-2000).

### **Interpretación de resultados**

Para la clasificación del suelo en cuanto a su valor de pH se presenta el cuadro siguiente:

Clasificación	pH
Fuertemente ácido	< 5.0
Moderadamente ácido	5.1 - 6.5
Neutro	6.6 - 7.3

Medianamente alcalino                      7.4 - 8.5  
Fuertemente alcalino                      > 8.5

En la figura 3.11 se presentan algunas imágenes obtenidas durante la prueba de pH de las 50 muestras sometidas a este procedimiento.



Figura 3.11 a) Pesado de la muestra

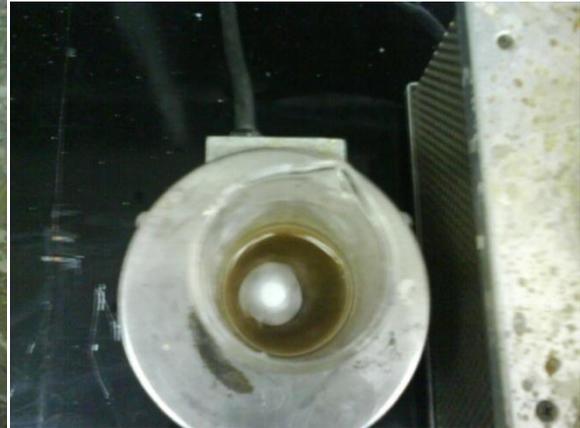


Figura 3.11 b) Dilución 3:1 con agua destilada



Figura 3.11 c) Agitación por aprox. 5 min



Figura 3.11 d) Toma de la lectura

### Figura 3.11 Procedimiento para la toma del pH

#### Cálculos

A = Peso de la muestra

B = Peso de arenas

% de arena =  $(B / A) \times 100$

C = Peso de arcilla + limo =  $(A - B)$

D = Peso del suelo en la alícuota (partículas < 0.002 mm)

E = Peso de arcilla =  $D \times 8$

% de arcilla =  $(E / A) \times 100$

$F = \text{Peso del limo} = A - B - E$

$\% \text{ de limo} = (F / A) \times 100$

Con los porcentajes de arena, limo y arcilla y mediante el uso del triángulo de textura se determina la clasificación textural del suelo. (NOM-021-SEMARNAT-2000).

### 3.2.4 DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

La determinación de materia orgánica del suelo se evaluó a través del contenido de carbono orgánico con el método de Walkley y Black. Este método se basa en la oxidación del carbono orgánico del suelo por medio de una disolución de dicromato de potasio y el calor de reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico concentrado. Después de un cierto tiempo de espera la mezcla se diluye, se adiciona ácido fosfórico para evitar interferencias de  $\text{Fe}^{3+}$  y el dicromato de potasio residual es valorado con sulfato ferroso. Con este procedimiento se detecta entre un 70 y 84% del carbón orgánico total por lo que es necesario introducir un factor de corrección, el cual puede variar entre suelo y suelo. En los suelos de México se recomienda utilizar el factor 1.298 (1/0.77) (NOM-021-SEMARNAT-2000).

#### Reactivos

Los reactivos que a continuación se mencionan deben ser grado analítico a menos que se indique otra cosa.

1. Dicromato de potasio 0.166 M o 1N.- Disolver 48.82 g de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  en agua destilada aforar a 1000 ml en un matraz volumétrico.
2. Acido sulfúrico concentrado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).
3. Acido fosfórico concentrado ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ).
4. Indicador de difenilamina. Disolver 0.5 g de difenilamina en 20 ml de agua y añadir 100 ml de ácido sulfúrico concentrado.
5. Sulfato ferroso 1.0 M (aproximadamente). Disolver 278 g de  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  en agua a la que previamente se le añadieron 80 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado, enfriar y diluir a un litro. Esta solución debe ser valorada con  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  1 N antes de realizar la determinación. (NOM-021-SEMARNAT-2000).

#### Material

Matraces Erlenmeyer de 500 ml.  
Bureta para  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  (50 ml).  
Bureta para de  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (50 ml).  
Pipeta volumétrica (10 ml).  
Probeta de vidrio (25 ml).

#### Procedimiento

1. Pesar 0.5 g de suelo seco y pasado por un tamiz de 0.5 mm y colocarlo en un matraz Erlenmeyer de 500 mL. Procesar un blanco con reactivos por triplicado.
2. Adicionar exactamente 10 ml de dicromato de potasio 1 N girando el matraz cuidadosamente para que entre en contacto con todo el suelo.

3. Agregar cuidadosamente con una bureta 20 ml de  $H_2SO_4$  concentrado a la suspensión, girar nuevamente el matraz y agitar de esa forma durante un minuto.
4. Dejar reposar durante 30 minutos sobre una lámina de asbesto o sobre una mesa de madera, evitando las mesas de acero o cemento.
5. Añadir 200 mL de agua destilada.
6. Añadir 5 mL de  $H_3PO_4$  concentrado.
7. Adicionar de 5 a 10 gotas del indicador de difenilamina.
8. Titular con la disolución de sulfato ferroso gota a gota hasta un punto final verde claro.

En la figura 3.12, 3.13 y 3.14 se muestran las imágenes obtenidas durante el proceso, cabe mencionar que las imágenes son solo representativas, pues los cambios durante el proceso fueron demasiados para ejemplificarlos. (NOM-021-SEMARNAT-2000).

#### Cálculos

$$\% \text{ C Orgánico} = [B - T / g] (N) (0.39) \text{ mcf}$$

Donde:

B = Volumen de sulfato ferroso gastado para valorar el blanco de reactivos (ml).

T = Volumen de sulfato ferroso gastado para valorar la muestra (ml).

N = Normalidad exacta del sulfato ferroso (valorar por separado al momento de analizar las muestras).

g = Peso de la muestra empleada (g).

mcf = factor de corrección de humedad.

$$\% \text{ Materia orgánica} = \% \text{ C Orgánico} \times 1.724$$

#### Observaciones

Si al añadir el dicromato de potasio al suelo la solución se torna verdosa o si se gastan menos de dos ml de sulfato ferroso al titular la muestra, se debe reducir el peso de la muestra a la mitad (NOM-021-SEMARNAT-2000).

#### Interpretación de Resultados de Materia Orgánica

Los valores de referencia para clasificar la concentración de la materia orgánica en los suelos minerales y volcánicos se presenta en el cuadro siguiente: (NOM-021-SEMARNAT-2000).

Clase	Materia orgánica (%)	Suelos no volcánicos
	Suelos volcánicos	
Muy bajo	< 4.0	< 0.5
Bajo	4.1 - 6.0	0.6 - 1.5
Medio	6.1 - 10.9	1.6 - 3.5
Alto	11.0 - 16.0	3.6 - 6.0
Muy Alto	> 16.1	> 6.0



Figura 3.12.a) Material necesario



Figura 3.1.2 .b) Secado de las sales



Figura 3.12.c) Sales a temp. Ambiente



Figura 3.12.d) Pesado de las sales



Figura 3.12 Preparación del material (sulfato ferroso y dicromato)



Figura 3.13.a) Preparación de la difenilamina



Figura 3.13.b) Pesado de la muestra



Figura 3.13.c) Adición del sulfato ferroso

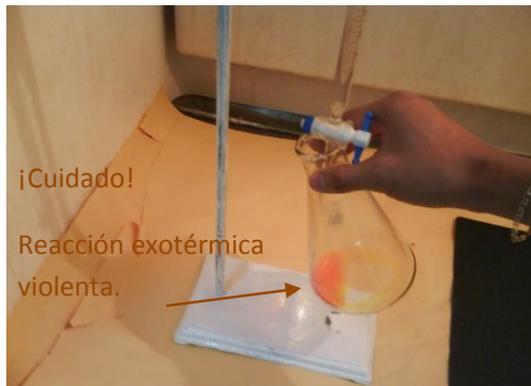


Figura 3.13.d) Adicción del  $H_2SO_4$



Figura 3.13.e) Reposo de 30 min.

Figuras 3.13 Preparacion de reactivos y Proceso de materia organica



**Figura 3.14.a) Agregando agua destilada y ácido fosfórico**



**Figura 3.14. b) Difelinamina y agitación para producir la coloración para la titulación**



**Figura 3.14.c) Titulación**

**Figura 3.14.d) Color final**

**Figuras 3.14 Proceso de materia organica**

### 3.2.5 Determinación de Na y K por el método de espectrofotómetro de flama

Este método sirve para poder medir directamente la cantidad de cada micro nutriente en el suelo aunque no puede ser medido "in situ" es posible saber lo que había originalmente pues el metal no se degrada tan rápido como para no registrarlo.

#### Material

Filtros del número 4

Matraz de precipitados

Recipientes de plástico

Acido nítrico 1N

Espectrofotómetro de emisión de flama CORNING M400 (EF)

#### Procedimiento

1. Colocar 10 g de suelo en cada recipiente previamente marcado. Añadir 30 mL. De agua destilada y mezclar uniformemente.
2. Filtrar la muestra hasta que no quede ninguna partícula en el fondo o suspendida, si es necesario ocupar fibra de vidrio para retirar todo el residuo.
3. Tapar cada muestra con tapas de plástico para evitar su contaminación hasta la hora de la medición.
4. Preparar una solución estándar de cada micro nutriente con a 1000 ppm (sol A) Preparar curva de calibración de de cada micro nutriente a partir de A con escalas de 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 20, 50, 70, 90, 100 ppm.
5. Preparar una solución de ácido nítrico concentrado y diluir a una muestra de 1N etiquetar y dejar reposar.
6. Preparar el espectrofotómetro de flama abriendo previamente el gas y dejando que este sea liberado por un minuto mientras se ventila el gas al mismo tiempo. iniciar la llama y esperar a que se estabilice y se pueda apreciar valles y crestas estables y azules.
7. Hacer pasar la solución de ácido nítrico por 5 minutos en el EF y posteriormente realizar las mediciones, limpiar la toma haciendo pasar el ácido entre lecturas.

Nota: expresar en mol/ kg o mg /L según sea el caso y no en me /100 g se debe de limpiar continuamente el aparato pues podría contaminar fácilmente errando los resultados y obstruir el equipo, ser muy cuidadoso en la preparación de los blancos, debido a que nos darán el nivel de confianza de la medición.

En las figuras 3.15, 3.16 y 3.17 se muestran el procedimiento mencionado.

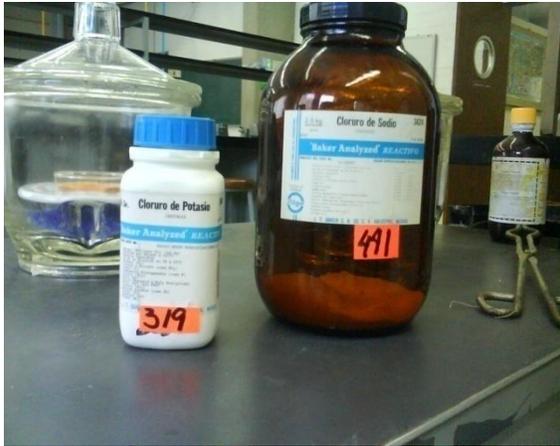


Figura 3.15.a) sales para curva de calibración



Figura 3.15.b) secado de las sales

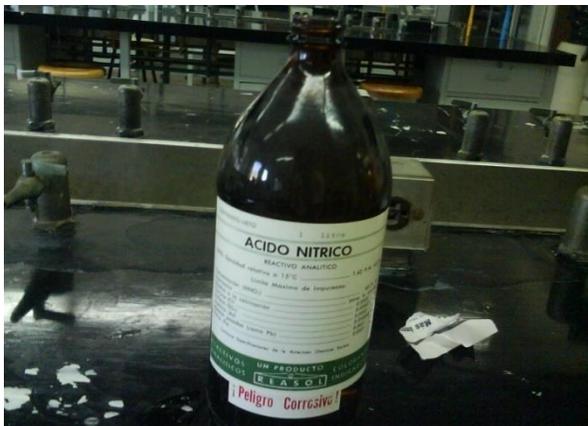


Figura 3.15.c) Acido para limpieza del equipo



Figura 3.15.d) Pesado de las sales



Figura 3.15.e) Dilucion 3:1

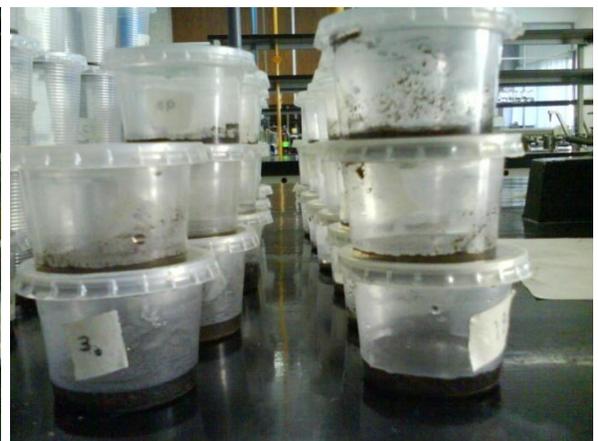


Figura 3.15.f) Agitacion y almacenaje

Figuras 3.15 Preparacion de reactivos y Proceso de determinación de Na y K

WATKINS FILTER PAPER CHART

Filter Speed	Qualitative	Quantitative (No. 1)	Quantitative (No. 2)	Quantitative (No. 3)	Retention
Fast	4	114 113	41	54 541	Course and Gelatinous Phosphates
Medium Fast	1		43		Medium Crystalline
Medium	2		40	52 540	Crystalline
Slow	5		44 42	50 542	Fine Crystalline
Typical Ash	0.06%	NA	0.007%	0.015% 0.008%	

No. 2 Thick, medium speed paper with high retention.  
 No. 4 Higher flow rate version of grade 5.  
 GF/A Standard laboratory glass microfibre paper.  
 GF/B Thicker, stronger version of GF/A.  
 GF/C Very fine glass microfibre paper.  
 GF/D Thick glass microfibre paper ideal for membrane filtration.  
 GF/F Ultra-fine filter with retention down to 0.7 µm in liquids.

Figura 3.16.a) Selección de filtro por tipo de suelo



Figura 3.16.b) Filtrado de la muestra



Figura 3.16.c) Muestras limpias de solidos



Figura 3.16.d). Equipo limpio y listo par usarse



Figura 3.16.e) Encendido y estabilización de flama



Figura 3.16.f) Limpieza con ácido nítrico

Figuras 3.16 Filtrado y preparación del de espectrofotómetro de emisión de flama para determinación de micronutrientes (Na y K)



Figura 3.17.a) Toma de lecturas



Figura 3.17.b) limpieza periódica con ácido entre lecturas

**Figuras 3.17 Procedimiento de toma de lecturas en el espectrofotómetro de emisión de flama para determinación de micronutrientes (Na y K)**

### **3.2.6 Determinación de metales contaminantes (Aluminio, Hierro, Manganeso, Zinc, Cobre, Plomo, Cadmio y Níquel).**

El Método para la determinación de metales contaminantes (hierro, manganeso, zinc, cobre, plomo, cadmio y níquel) del suelo. Los procedimientos analíticos tendientes a evaluar la disponibilidad de algún metal, tal como zinc, cobre, hierro, manganeso, plomo, cadmio o níquel, fundamentalmente se asocian a su capacidad para disolver o extraer alguna forma química del metal presente en el suelo. (NOM-021-SEMARNAT-2000).

La eficiencia de extracción dependerá de la capacidad de cada solución para poder recuperar parte de aquellas formas de metales presentes en el suelo, las cuales generalmente se asocian a la cantidad de metal que es absorbido por los cultivos. (NOM-021-SEMARNAT-2000).

Entre las sustancias utilizadas para recuperar a los metales del suelo, destacan aquellas que emplean a compuestos orgánicos con la capacidad para formar complejos estables, tal es el caso del DTPA (ácido del dietilen-triamino-pentaacético) y del EDTA (ácido dietilen-diamino-tetraacético). Las soluciones complejantes, como el DTPA y el EDTA, tienen como finalidad el recuperar elementos metálicos que se encuentran en forma intercambiable, ligados a la materia orgánica y disolver formas precipitadas. (NOM-021-SEMARNAT-2000).

#### **Reactivos**

1. Los reactivos requeridos para cada una de las determinaciones deben ser de grado analítico. El agua utilizada en la preparación de las soluciones debe ser destilada y desionizada. Las soluciones estándares se deben almacenar en botellas de polietileno y en condiciones de refrigeración.

2. DTPA (ácido del dietilen-triamino-pentaacético), ácido clorhídrico HCl 1+1 (un volumen de ácido + un volumen de agua), trietanolamina, cloruro de calcio dihidratado ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Acido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), 1:1 ácido clorhídrico (HCl) 1:1 (1 mL de ácido en 1 mL de agua). Soluciones amortiguadas a pH 4, 7 y 10.
3. Para la cuantificación de metales. A partir de soluciones estándares de 1000 mg L<sup>-1</sup>, que se pueden adquirir en forma comercial, se prepara la curva de calibración de cada metal. Es posible preparar las soluciones estándares empleando para ello la forma metálica, óxidos, o sales solubles del metal.
4. Solución patrón de cobre. Disolver 1.0 g de cobre metálico en 50 ml de ácido nítrico 1:1, y diluir a un litro. Un mililitro de esta solución contiene un mg de cobre.
5. Solución estándar de zinc. Disolver 1.0 g de zinc metálico en 50 ml de ácido clorhídrico 1:1 y aforar a un litro con agua. La concentración de la solución es 1 mg de Zn por cada mL.
6. Solución estándar de cadmio. Disolver 1.0 g de metal cadmio en 50 mL de ácido clorhídrico 1:1 y diluir a un litro con agua. Un ml de esta solución contiene un mg de cadmio.
7. Solución estándar de níquel. Disolver 1.0 g de metal níquel en 50 mL de ácido nítrico 1:1 y aforar a un litro con agua. Un ml de la solución contiene un mg de níquel.
8. Solución estándar de plomo. Disolver 0.1 g plomo metálico en 10 mL de ácido nítrico 1:1 y aforar a un litro. Un ml de la solución contiene 0.1 mg de plomo.
9. Solución estándar de hierro. Disolver 1.0 g de alambre de hierro en ácido nítrico 1:1 y aforar a un litro con agua. 1 mL de solución contiene un mg de hierro.
10. Solución estándar de manganeso. Disolver 0.1 g de manganeso metálico en 10 mL de ácido clorhídrico concentrado, mezclar con un ml de ácido nítrico concentrado y aforar a 1 litro con agua. 1 ml de la solución contiene 0.1 mg de manganeso.
11. Acetileno ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) para absorción atómica. (NOM-021-SEMARNAT-2000).

### **Material y equipo**

1. Diferente material de vidrio.
2. Tamiz de 2 mm de diámetro de apertura y malla de nylon.
3. Agitador eléctrico de acción recíproca.
4. Balanza analítica y granataria.
5. Potenciómetro.
6. Espectrofotómetro de absorción atómica.
7. Lámparas de cátodo hueco para cada elemento a determinar.

### **Interferencias**

El proceso de cuantificación de los metales puede ser interferido por efecto de viscosidad de la muestra, alto contenido de sales, ionización del elemento de interés, formación de compuestos refractarios. Esos efectos pueden ser atenuados o disminuidos a un mínimo, cuando se diluye la muestra, se adicionan elementos con mayor capacidad de ionización, agentes liberadores o a través del control de la temperatura de la flama. (NOM-021-SEMARNAT-2000).

## Extracción con DTPA

### Reactivos

Solución de DTPA 0.005 M. Para preparar un litro, disuelva 14.9 g de trietanolamina (TEA), 1.97 g de reactivo DTPA y 1.47 g de  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  en aproximadamente 300 ml de agua desionizada, agitar hasta disolver los reactivos, llevar a un volumen de 900 ml y ajustar el pH a 7.3 con ácido clorhídrico 1:1. Finalmente completar a un volumen de un litro con agua.

### Extracción

1. Colocar 10.0 g de suelo seco y tamizado en malla de 2 mm de apertura, en un matraz Erlenmeyer de 125 ml y adicionar 20 ml de solución DTPA.
2. Tapar el matraz con papel parafilm o con plástico asegurándolo con una liga. Agitar horizontalmente a 120 oscilaciones por minuto durante dos horas exactamente.
3. Terminado el agitado separar la solución del suelo, mediante un filtrado con papel Whatman No. 42, si existe paso de suelo se debe refiltrar la solución.
4. De igual manera conduzca un blanco, para lo cual se procede en forma similar a la muestra problema, pero sin suelo.
5. En el extracto obtenido, es posible cuantificar a los micronutrientes; hierro, cobre, zinc, y manganeso, así como a los metales tóxicos; plomo, cadmio y níquel. (NOM-021-SEMARNAT-2000).

### Cálculos

Los resultados de absorbancia o concentración en  $\text{mg L}^{-1}$  de cada metal se deben expresar en  $\text{mg}$  del metal en un kilogramo de suelo. Para el caso de la extracción con DTPA la fórmula de cálculo es:

$$\text{mg kg}^{-1} (\text{metal}) = \left[ \frac{(M-b)(L)(F.D.)}{\text{peso del suelo}} \right]$$

Donde:

M = concentración del metal en el extracto del suelo ( $\text{mg L}^{-1}$ )

b = concentración del metal en el blanco ( $\text{mg L}^{-1}$ )

Peso del suelo expresado en Kg (0.01 Kg)

F.D. = factor de dilución (Vt/A)

Vt = volumen total de dilución de alícuota

A = alícuota del extracto de suelo diluida

L = volumen del extracto expresado en litros

Si las lecturas obtenidas para cada metal se expresan en  $\text{mg L}^{-1}$  y no se realiza alguna dilución, la fórmula de cálculo se simplifica a:

$$\text{mg/kg (metal)} = [(2)(M - b)].$$

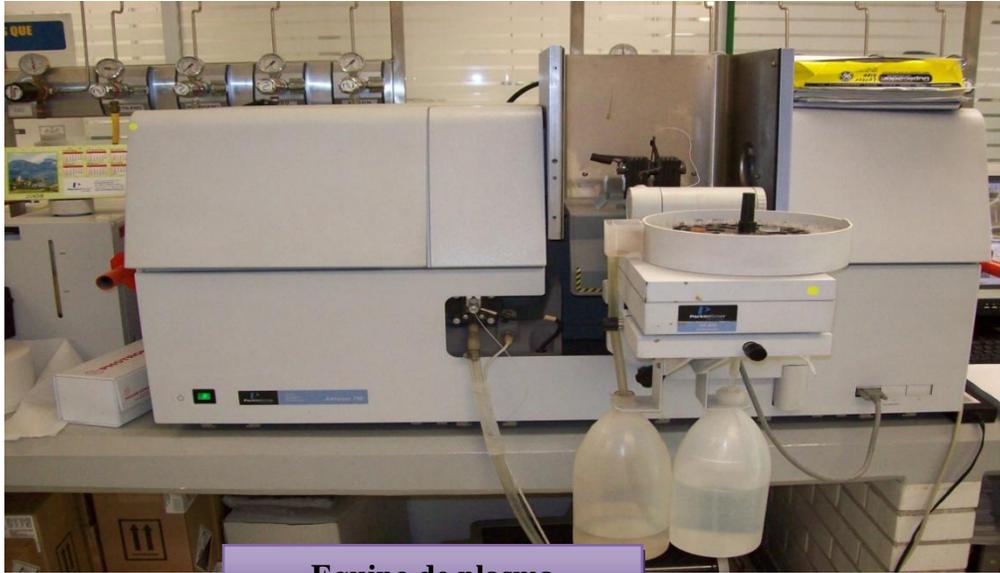
## Comentarios

1. La cantidad de metal recuperada con el DTPA, depende del tiempo de contacto suelo-solución y de la forma de agitar, por lo que alguna variación en estas variables influye en la magnitud del resultado final.
2. El filtrar directamente con el papel, por ser un proceso lento, prolonga el tiempo de contacto suelo-solución, por lo cual se debe modificar el proceso de extracción a través del uso de tubos de polipropileno de 100 ml para sustituir los matraces Erlenmeyer, al final del periodo de agitado, es posible centrifugar las muestras y separar más rápidamente a la solución del suelo. Una ventaja adicional de la modificación es el de poder manejar un número mayor de muestras debido al menor espacio que ocupan en el agitador.
3. Esta opción, antes de utilizarse en cualquier análisis, debe calibrarse respecto al procedimiento original, para obtener un factor de conversión respecto a los resultados obtenidos con el procedimiento original. (NOM-021-SEMARNAT-2000).

En las figuras 3.18 y 3.19 se muestran algunos equipos empleados para la obtención de metales contaminantes en las 50 muestras.



Figura 3.18 Equipos empleados para la determinación de metales contaminantes.



**Equipo de plasma**

**Figura 3.19 Equipos empleados para**

# Capítulo 4

**Resultados y su evaluación**

## 4. Resultados y su evaluación

Los resultados obtenidos durante la investigación fueron variados, debido a que el suelo dentro de la poligonal es parte suelo de relleno, a si mismo se relacionaran los resultados obtenidos y verificamos al azar algunos puntos para tener un control de calidad en el proceso de medición en el laboratorio. Las pruebas fueron realizadas en los primeros 30 días a excepción de metales pesados. Estos resultados se reflejan el graficas que representan el valor obtenido en cada punto analizado, siendo los siguientes parámetros:

### 4.1 Contenido de humedad

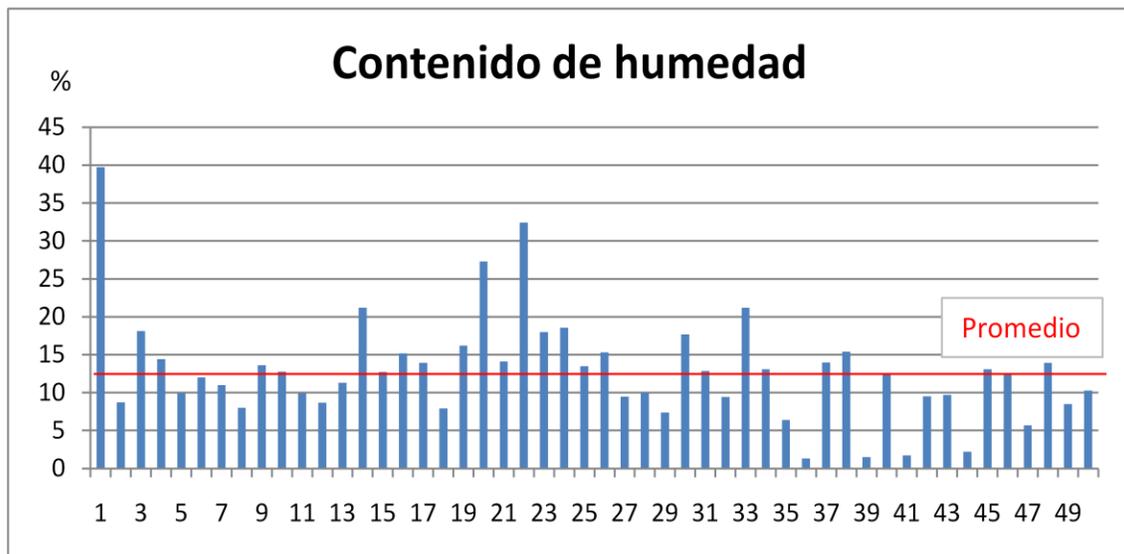


Figura 4.1. Grafica de contenido de Humedad.

Debido a la zona que es boscosa se determinó que el contenido de humedad es consistente con los datos obtenidos, se tiene una media de 12.8 % de contenido de humedad y una saturación mayor en el centro del área de la poligonal; en el área más cercana al bosque el contenido de humedad es muy bajo y entre más se alejan los puntos del contenido disminuye con excepción de la zona central. En la figura 4.1 se representa el contenido de humedad (figura 4.1).

## 4.2 pH y Potencial Redox

### 4.2.1 pH

Este valor fue obtenido y clasificado según la norma 021-SEMARNAT-2001 y se encontró una media de 6.5 unidades de pH, lo que lo vuelve un suelo con potencial moderadamente ácido, lo que indica que se tiene un foco rojo para esta zona. En la figura 4.2 se representa la grafica de pH.

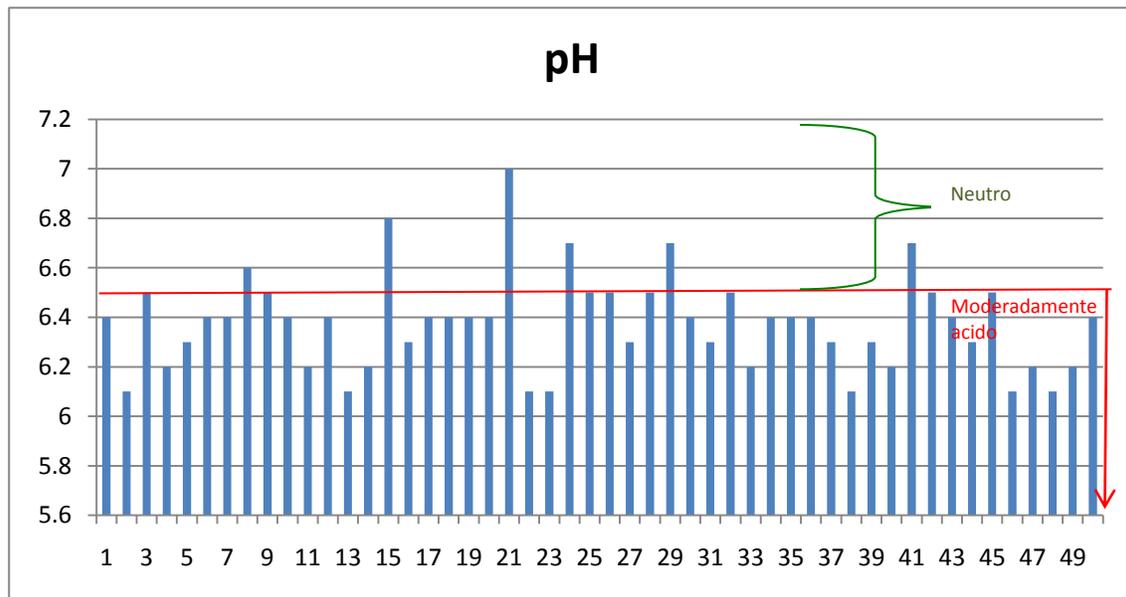


Figura 4.2. Grafica de pH y su clasificación según la norma 021-SEMARNAT-2001.

El pH tiene una función importante en los procesos biológicos de las plantas ya que en la mayoría de los casos las plantas prefieren pHs cercanos al valor neutro, aunque existen algunas que son idóneas para suelos ácidos. En este caso los árboles y algunas plantas del sitio de estudio las cuales soportan pHs entre 5 a 7, proporcionando una calidad indicada para este tipo de plantas pues sería ligeramente amortiguador hacia pHs ácidos.

Los potenciales encontrados en el sitio de estudio indican que los suelos del sitio de estudio son ligeramente ácidos, siendo éstos resultados los que se esperaban debido a la flora y fauna del lugar.

#### 4.2.2 Potencial Redox

El potencial redox tiene la función primordial en la asimilación de metales pues interactúa entre los iones de los metales y a las moléculas, dándoles oportunidad de degradarse y consecutivamente de integrarse a la molécula por medio de la adsorción (Santillán, 2009).

En el caso de la zona de estudio se obtuvieron valores que indican que la capacidad de interacción entre el suelo y los metales es buena, pues los potenciales permiten que el suelo se favorezca de los micro-nutrientes presentes.

Los valores promedio dicen que existe un potencia redox de 0.35, el cual está ligado a un pH ácido y una materia orgánica baja. Lo anterior permite una capacidad al suelo de agregar materia orgánica para un mejoramiento de la estabilidad del suelo. Esto se presenta en la figura 4.3.

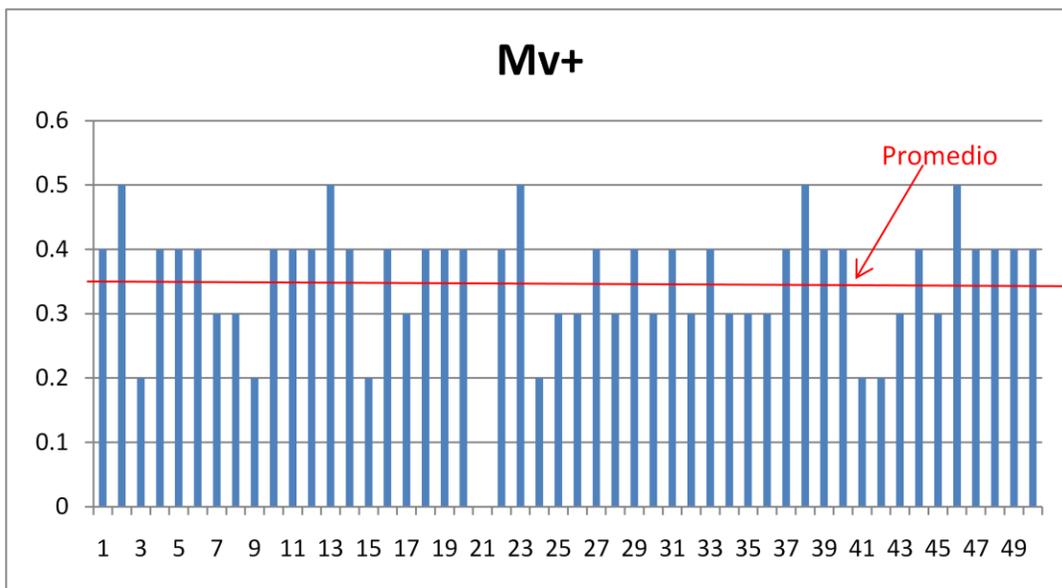
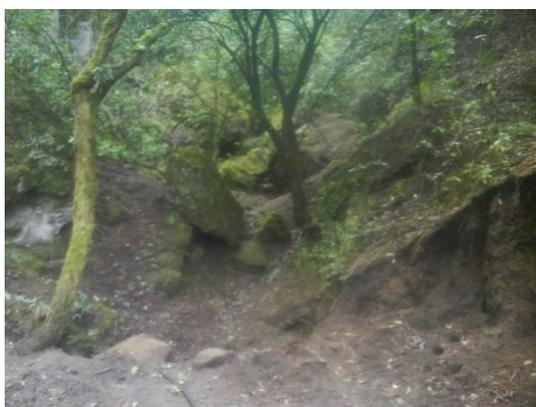


Figura 4.3. Grafica de potencial redox.

Estos últimos análisis están ligados con la materia orgánica directamente, pues los valores mayores de pH están al centro del área de estudio y el potencial redox indica que los valores de materia orgánica obtenidos al centro de la poligonal son consistentes, sin embargo la capacidad de asimilación del pH en toda la zona es muy baja, ya que es muy ácida, debido a la tala de árboles en la zona y a los deslaves que hacen que en periodos de lluvia laven el suelo y dejen un suelo ácido.

Si no se corrige este parámetro, la vida vegetal se verá limitada muy pronto. Las áreas más afectadas según la geo-referencia corresponden a zonas donde la gente tira basura y cascajo que es una parte cerca del camino hacia el bosque y arriba de las casas (figura 4.4).



**Figura 4.4 a) Deslaves en la zona cercana al bosque**



**Figura 4.4 b) áreas lavadas por erosión**



**Figura 4.4 c) Tiraderos clandestinos de basura.**

**Figuras 4.4. Lavado de los suelos en el área dentro de la poligonal.**

### 4.3 Granulometría:

Dentro de la poligonal se encuentran diferentes tipos de materiales por lo que su composición es variada, esto mismo se observa en el tamaño de partícula que se obtuvieron en el laboratorio, observándose una variación de suelo en el área de estudio. En la tabla 4.1 se presentan los resultados de granulometría.

**Tabla 4.1 Resultados de granulometría y contenido de humedad.**

Muestra	Ww	Ws	mallas								charola	C. de humedad
			10	18	30	40	50	70	120			
1	91.7	51.96	23.9	8.7	16.1	13.5	28.4	0.7	0.2	0.2	39.74	
2	59	50.28	10.1	7	7.5	9.2	11.4	4.7	4.3	4.8	8.72	
3	67.5	49.37	42.5	16	8	0.4	0.1	0.1	0.2	0.2	18.13	
4	70.2	55.77	41.4	13.1	12.8	2.5	0.1	0.1	0.1	0.1	14.43	
5	75.2	65.3	27.9	11.3	13.4	12.8	7.8	1.4	0.4	0.2	9.9	
6	74.8	62.8	36	11.5	12.2	11	3.3	0.3	0.3	0.2	12	
7	75.5	64.5	33.3	11.5	13.8	12	2.2	2.4	0.2	0.1	11	
8	67	58.98	27.1	17.6	6.9	3.4	4.5	2.9	2.8	1.8	8.02	
9	61.4	47.8	25	11.5	14.5	7.9	1.8	0.4	0.2	0.1	13.6	
10	81.4	68.62	42.1	13.4	15.3	8.7	1.6	0.1	0.1	0.1	12.78	
11	46.4	36.53	19.6	5.9	7.7	7.2	4	1.1	0.7	0.2	9.87	
12	59.4	50.72	26.8	7	6.6	10.6	6	1.7	0.6	0.1	8.68	
13	54.4	43.1	17	6	11.4	13.7	4.7	1.1	0.3	0.2	11.3	
14	78	56.8	39.9	11	14.9	9.4	2.2	0.3	0.2	0.1	21.2	
15	66.8	54.07	28.6	9.1	12.6	11.5	4.1	0.5	0.3	0.1	12.73	
16	78.4	63.21	35.3	7.9	15	14.6	4.4	0.6	0.5	0.1	15.19	
17	69.1	55.17	32.6	10	14.5	9.5	1.6	0.5	0.3	0.1	13.93	
18	52.9	45	11.9	8.6	18	11.3	2.2	0.4	0.4	0.1	7.9	
19	76.8	60.59	25.9	11.4	17	16.4	3.8	1.7	0.4	0.2	16.21	
20	53.6	26.3	23.6	9	7	4	5.2	3.1	1.5	0.2	27.3	
21	53.9	39.8	19.9	14.4	2.5	2.4	1.5	1.5	0.8	10.9	14.1	
22	79.9	47.48	36.6	11.4	10.1	12.8	8.3	0.3	0.2	0.2	32.42	
23	70	52	36.2	9.9	11	8.5	3.5	0.6	0.2	0.1	18	
24	72.8	54.22	45	11.4	10.5	4.9	0.1	0.1	0.7	0.1	18.58	
25	59.9	46.43	32.7	10.4	10	4.9	1.4	0.2	0.1	0.2	13.47	
26	79.8	64.47	48.4	7.5	6	6.9	2.5	6.5	1.3	0.7	15.33	
27	65	55.52	17.4	5	11.8	14.7	9.7	4.6	1.2	0.6	9.48	
28	71	61	22.8	7.8	9.2	8.1	10.2	8.9	3.2	0.8	10	
29	66.7	59.34	13.3	13.3	10.9	4.5	12.9	9.3	2	0.5	7.36	
30	81.51	63.83	56	13.9	10.1	1.2	0.1	0.1	0.01	0.1	17.68	
31	57.4	44.56	18.9	9.9	15.5	10.4	2.2	0.3	0.1	0.1	12.84	
32	59.7	50.27	18.8	10.8	16	10	2.8	0.7	0.5	0.1	9.43	
33	76.6	55.43	30.8	9.3	10.5	12.5	6.3	1.5	5.6	0.1	21.17	
34	71.3	58.24	36.4	12	11.2	8.2	2.7	0.3	0.4	0.1	13.06	
35	60.5	54.1	35.3	10.8	4.9	5.9	2.6	0.5	0.3	0.2	6.4	
36	44.51	43.2	21.6	6.2	4.9	2.9	2.8	1.9	1.5	1.4	1.31	
37	69	55.03	34.8	12.1	13.2	6.9	1.5	0.3	0.1	0.1	13.97	
38	63.9	48.48	38	9	6.9	6.2	2.6	0.7	0.4	0.1	15.42	
39	41.71	40.2	18	5.6	4.1	2.6	3	2.1	2.9	1.9	1.51	
40	72.27	59.8	14.7	9.17	7.2	13.4	15.5	7.5	3.6	1.2	12.47	
41	61.1	59.38	2.9	3	6.9	10	12.2	12.6	10.7	2.8	1.72	
42	64.2	54.69	15.8	6	9.8	18.6	7.3	4.6	1.5	0.6	9.51	
43	62.5	52.8	16	11.5	14.5	11.8	5.7	1.7	0.8	0.5	9.7	
44	41.17	38.97	10.06	11.1	10.21	5.5	2.1	1.4	0.6	0.2	2.2	
45	70.9	57.84	30	10	11.5	11.9	5.4	1.7	0.3	0.1	13.06	
46	75.5	63.13	30.7	6.9	11.2	8.1	8.2	7.2	2.5	0.7	12.37	
47	73.6	67.91	39.9	8.7	5.1	3.5	5.1	4.1	4.3	2.9	5.69	
48	59.8	45.86	33.7	8.7	7.5	6.4	2.4	0.8	0.2	0.1	13.94	
49	73.5	65	18.1	6.6	8.7	8.3	11.7	9.6	7.5	3	8.5	
50	55	44.74	32.3	7.2	4.9	3.4	2.4	1.9	2	0.9	10.26	

En la figura 4.5 se representa la grafica de los resultados granulométricos.

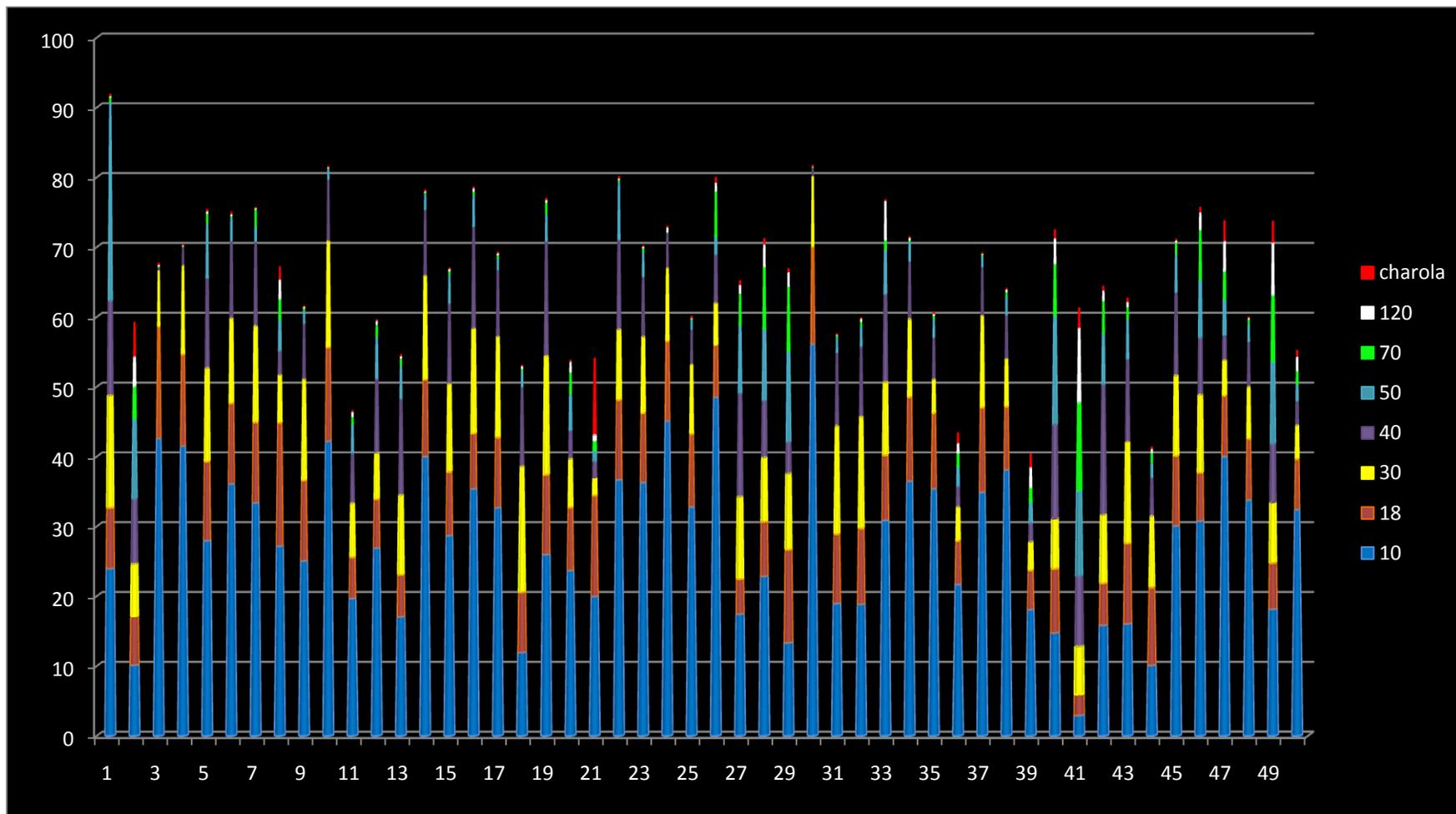


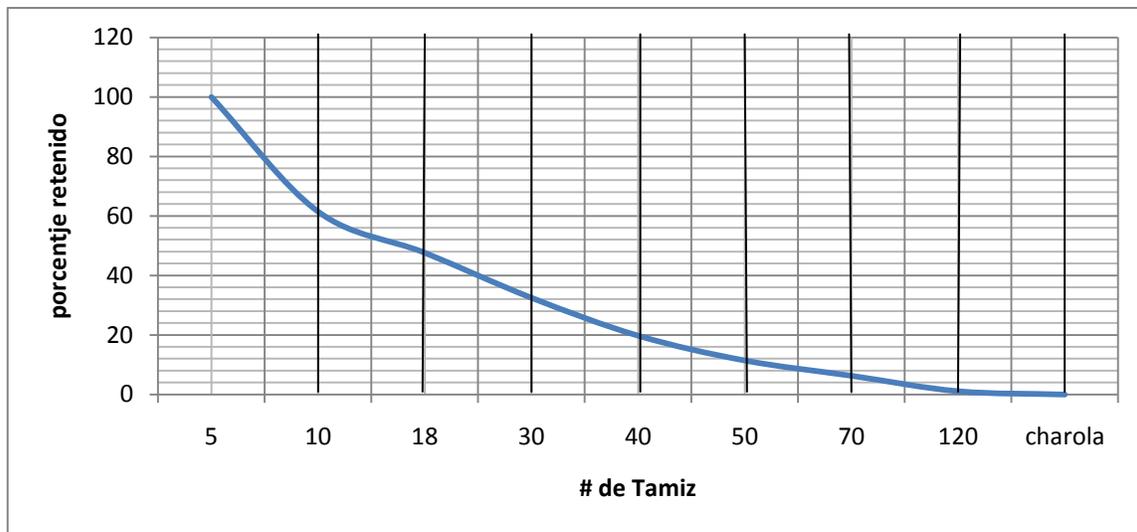
Figura 4.5. Grafica de granulometría en cada punto dentro de la poligonal.

Estos resultados son similares al compararse con la edafología presentada por algunos autores en estudios previos de la zona, debido a su gran heterogeneidad de compuestos y de edafogénesis del suelo por lo que se encuentran diferentes suelos y una característica común de los suelos bien graduados. En la tabla 4.2 se presentan los porcentajes de retención de cada malla de los tamices.

**Tabla4.2. pesos retenidos.**

Tamiz	W retenido en la maya	% retenido	% retenido acumulado	% Que pasa
10	28.11	38.5	38.52	61.5
18	10.1	13.8	52.36	47.6
30	11.04	15.1	67.48	32.5
40	9.3	12.7	80.22	19.8
50	6.082	8.33	88.56	11.4
70	3.752	5.14	93.7	6.3
12	3.79	5.19	98.89	1.11
charola	0.81	1.11	100	0
W total=.	72.99			

En la figura 4.6 se representa al grafica de lo retenido contra el número de malla.



**Figura 4.6. Grafica de Granulometría.**

Debido a que el material que se obtuvo después de la malla 120 es muy poco y siempre pasaba la malla 200, todo el material que se encontró en la tapa se le consideró arcilla, para las arenas a partir de la 10 hasta lo que retuvo la 30 y por último para los limos de la 40 a lo retenido por la maya 120, por lo tanto el porcentaje es el siguiente

Arena	67.48%
Limos	31.41%
Arcillas	1.11%

Por lo tanto entrando al triangulo de texturas se tiene que: con la composición del suelo es de un suelo franco arenoso, en la figura 4.7 se representa el triangulo de texturas donde se deduce el criterio anterior.

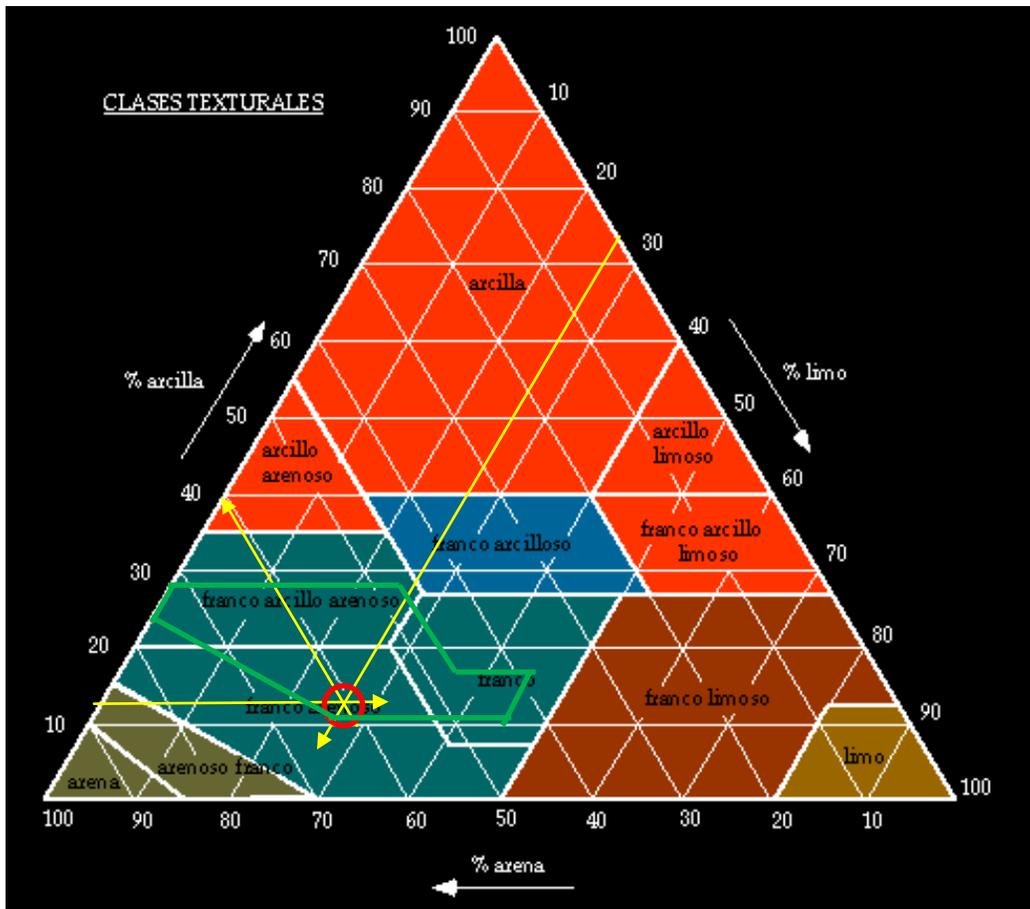


Figura 4.7. Triangulo de texturas.

Esto le da propiedades equilibradas, esto quiere decir que es inerte a efectos químicos, pose por otro lado buena aeración, permeabilidad, está bien estructurado y puede retener buena cantidad de agua y nutrientes.

Una buena granulometría, es decir un suelo bien graduado, permite que la humedad en el suelo sea mejor y que los nutrientes en el suelo ingresen fácilmente, así mismo permite a la materia orgánica descomponerse de una manera más rápida y eficiente.

#### 4.4 Materia orgánica

La materia orgánica es la cantidad de elementos de carbono que hay presentes en el suelo, estos son elementos como hojas de los arboles, animales muertos que han regresado al medio, etc. Por ello la importancia de este elemento, sin embargo no se encontraron los valores necesarisos o esperados dentro del area de estudio. En la figura 4.8 se presenta la gráfica de Materia organia.

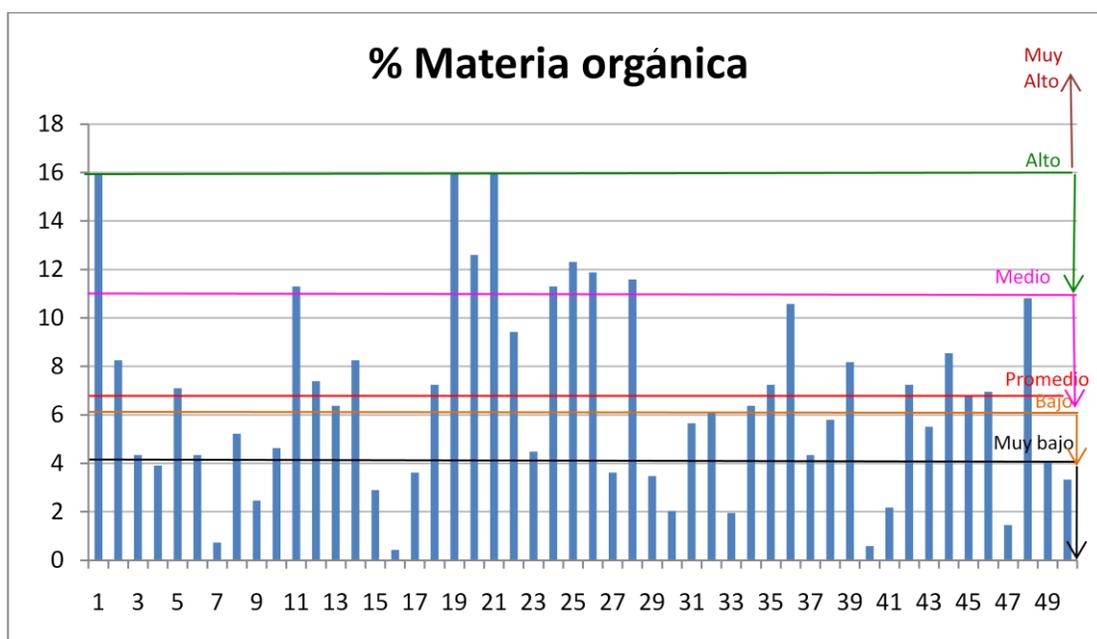


Figura 4.8 Grafica de materia orgánica dividida según la norma 021-SEMARNAT-2001.

En la tabla 4.3 se presentan los parámetros previos para la determinación de la materia orgánica.

Tabla 4.3. Valores parámetros para el análisis para M.O.

Promedio de blancos	11	mL
Peso de la muestras	0.5	g
N del sulfato	0.68	
M F C	1.298	
Promedio=	6.65397	M.O. Baja

El MFC es el valor parámetro ocupado para el D.F., el factor de corrección de humedad para los suelos de México es de 1.298 (1/0.77) (NOM 021-SEMARNAT-2001).

Para el cálculo de la materia orgánica se multiplica el factor de corrección por el % de carbono orgánico, es decir:

$$\% \text{ Materia orgánica} = \% \text{ C orgánico} \times 1.724.$$

Por otro lado el promedio indica que aunque en algunas zonas hay presencia de materia orgánica, en otras no lo hay tanto como se esperaba.

Cabe mencionar que la materia orgánica es importante ya que de este depende el contenido de carbono necesario para la vida, pues este es el elemento principal en todas las cadenas orgánicas, así mismo está relacionado con los metales encontrados en el suelo, pues éste inicia el principio de la degradación del suelo.

La presencia de poca materia orgánica no concuerda con el tipo de zona en las que se tomaron las muestras, pues incluso en algunas partes el nivel fue de 0, y en la zona de la concentración más alta es consistente con la de mayor contenido de humedad y el potencial redox, así como la de el pH con tendencia al valor neutro. Estos valores corresponden a una zona un poco inaccesible en el centro del área de estudio y con límite cercano a la zona forestal. En esta zona se encuentran madrigueras de animales posiblemente debido a que los habitantes no han impactado directamente en esta zona (figura 4.9).



**Figura 4.9. Zona de mayor contenido de materia orgánica.**

## 4.5 Sales y Metales

Estos elementos son lo que se conocen como Micro-nutrientes, los cuales están presentes en el suelo (NOM 021-SEMARNAT-2001).

### 4.5.1 Sales

#### 4.5.1.1 Sodio

En la figura 4.1 se presenta la Curva de calibración del equipo CORNING M400 del laboratorio para certificar el correcto funcionamiento del equipo.

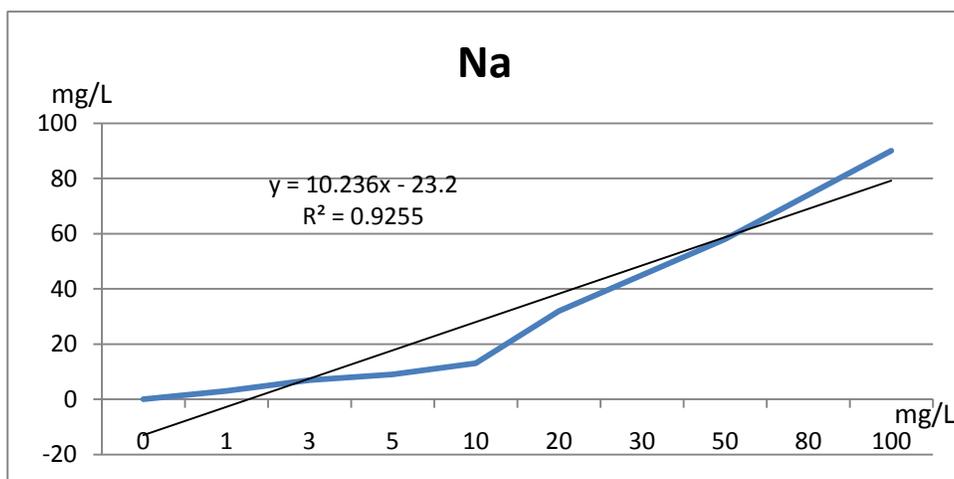


Figura 4.10. Grafica de la curva de calibración de Sodio.

En la figura 4.11 se presenta la grafica de los resultados obtenidos en el laboratorio.

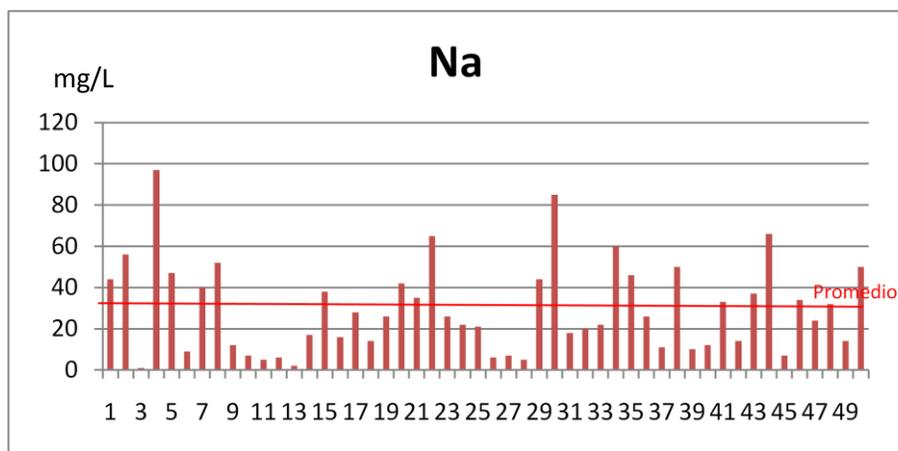


Figura 4.11. Grafica del sodio con su promedio dentro de la poligonal.

### 4.5.1.2 Potasio

En la figura 4.12 se presenta la Curva de calibración del equipo CORNING M400 del laboratorio para certificar el correcto funcionamiento del equipo.

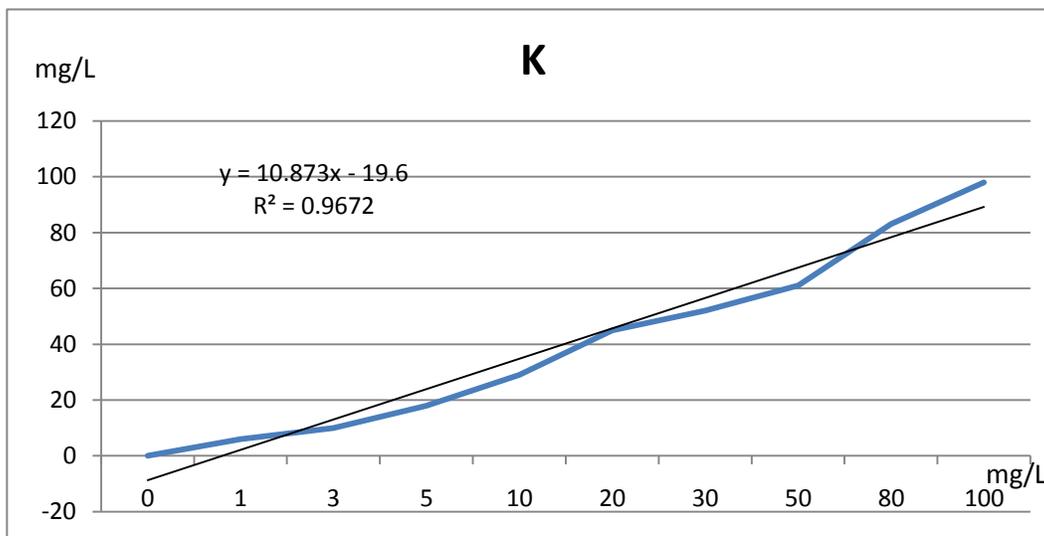


Figura 4.12. Grafica de la curva de calibración.

En la figura 4.12 se presenta la grafica de los resultados de potasio.

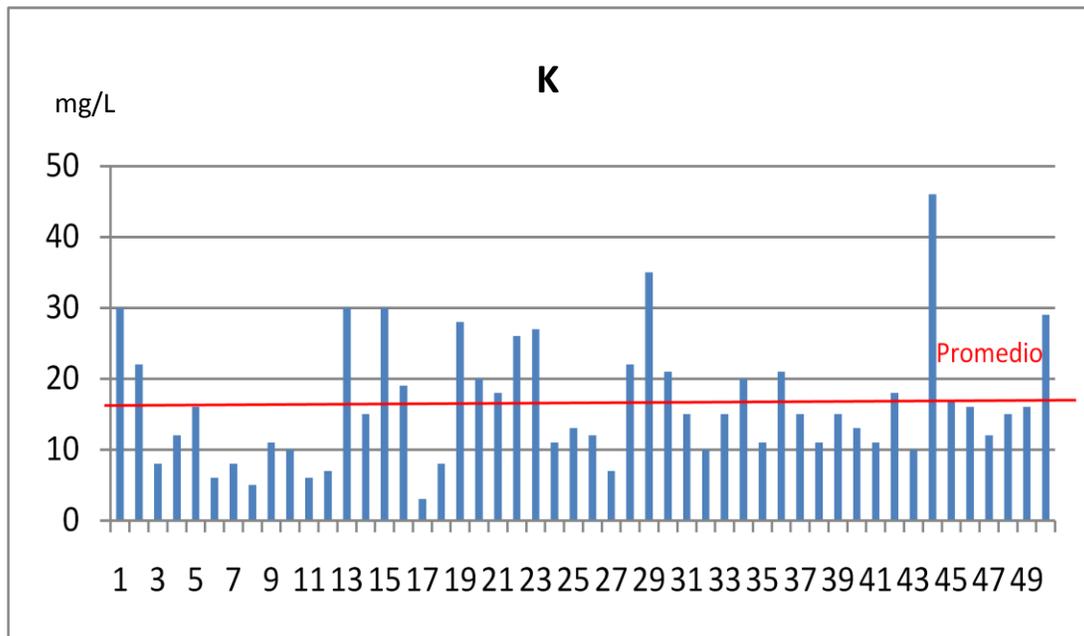


Figura 4.12. Grafica del sodio con su promedio dentro de la poligonal.

Estos parámetros fueron medidos con el flamómetro, sin embargo no se midió el litio por que en la zona no hay razón para esperar que este se encuentre, además el parámetro es muy inestable y para el tipo y la cantidad de muestras no era posible mantenerlo para realizar las lecturas.

La desviación presente en las figuras 4.10 y 4.12 es debida a que el equipo que se utilizó no había recibido el mantenimiento adecuado, sin embargo debido a ello se realizaron por duplicado las mediciones de sodio, para así poder determinar los valores correctos.

Para estimar un control de calidad en los valores obtenidos, se realizaron lecturas de blancos con concentraciones cuidadosamente elaboradas.

Estas mismas fueron valoradas en el equipo de flamometría en la Facultad de Química, UNAM, con el fin de validar la técnica analítica y que las lecturas fueran más confiables.

Los resultados obtenidos por los 3 blancos y las muestras enviados a analizar, fueron similares en las lecturas que se obtuvieron en el laboratorio para las muestras. Por lo tanto se considera que la técnica analítica es confiable.

#### **4.5.2 Metales**

En esta zona es posible encontrar presencia de varios metales en el suelo como nutrientes, por ello es claro la necesidad de evaluar estos parámetros, adicionalmente se deben de correlacionar entre sí para saber las características particulares del suelo, y definir la capacidad que tendrá para soportar la vida. Esto añadirá un valor necesario para emitir la determinación de si es o no un buen suelo, para una zona de amortiguamiento y emitir las debidas recomendaciones.

Los metales fueron relacionados inicialmente con Al y posteriormente se obtuvo el factor de enriquecimiento para saber si son nutrientes son geogénicos o antropogénicos, este último, producto posiblemente de la interacción del hombre con el medio ambiente.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 4.3 en la que se observan los análisis de cada uno de los metales analizados, por el espectrofotómetro de emisión atómica, para conocer la concentración total de metales.

Tabla 4.3 Concentraciones de metales totales (mg/kg).

Muestra	Al	Mn	Fe (%)	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
1	75636	658.46	589.65	59.59	61.05	120.2	0.146	14.123
2	52963	2453.1	602.23	58.05	42.33	256.58	0.188	52.13
3	70523	1023.6	523.2	53.98	95.62	228.34	0.264	29.22
4	52604	1002.3	589.69	46.01	63.12	340.34	0.397	60.35
5	45632	956.9	500.24	68.8	74.99	222.7	0.243	27.46
6	48649	986.36	499.95	62.99	64.05	217.78	0.255	28.59
7	67236	789.97	500.36	52.02	58.25	179.26	0.009	19.56
8	69705	999.57	452.32	44.85	94.75	248.06	0.129	24.58
9	75641	1007.4	496.59	53.28	41.52	259.75	0.189	36.84
10	33297	997.57	569.68	30.5	91.21	318.2	0.549	59.84
11	51368	1542.1	452.36	57.86	62.05	185.64	0.21	27.64
12	61897	785.42	400.26	56.77	98.22	164.95	0.188	22.35
13	56982	823.15	499.69	59.96	61.6	166.33	0.095	29.63
14	38462	978.9	485.85	40.79	75.99	156.18	0.08	21.87
15	48962	896.88	487.14	41.23	75.19	149.26	0.146	21.12
16	21965	1023.3	554.89	52.17	38.01	116.75	0.166	13.54
17	60987	1450.5	569.97	48.03	40.77	116.72	0.031	16.38
18	75903	1002.2	598.99	53.48	40.72	143.6	0.09	23.59
19	69864	1078.6	521	59.99	55.98	148.45	0.127	14.69
20	77496	999.26	452.37	83.28	64.02	147.35	0.172	21.37
21	56781	978.57	558.89	55.19	71.61	185.18	0.098	27.96
22	51763	978.99	598.99	42.2	59.84	147.13	0.038	17.51
23	64900	1007.9	506.36	39.71	59.79	117.05	0.121	16.48
24	59786	997.41	487.77	73.75	68.66	166.94	0.145	17.529
25	53962	854.01	499.87	54.31	68.25	198.16	0.099	23.75
26	49764	888.73	589.74	51.34	37.58	126.47	0.162	18.65
27	35433	784.37	554	47.28	58.93	199.46	0.02	16.52
28	55984	708.4	456.98	44.46	45.79	147.18	0.038	18.51
29	48994	837.39	400.36	35.62	127.08	228.51	0.122	66.39
30	59008	966.93	525.22	54.77	60.12	179.34	0.11	23.18
31	66390	748.28	478.88	45.98	45.5	120.02	0.075	17.08
32	58742	784.4	400.01	47.05	51.85	189.44	0.16	28.1
33	55649	924.23	452.12	51.2	92	166.85	0.114	24.4
34	60065	872.51	399.98	48.35	60.98	190.57	0.127	24.23
35	55632	895.68	405.25	39.75	141.89	381.38	0.145	26.54
36	58740	1070.9	487.88	64.57	67.08	191.06	0.169	27.01
37	48966	1315.1	457.77	51.18	55.96	187.65	0.147	22.11
38	43957	978.21	487.89	45.1	47.08	186.47	0.103	16.08
39	54099	1258.2	456.65	39.48	85.99	258.69	0.438	43.15
40	48658	1369.6	423.33	44.17	37.08	178.63	0.138	24.18
41	39856	1580.3	500.36	58.69	55.19	155.47	0.106	23.75
42	47632	1095.7	400.03	51.02	36.18	160.01	0.223	27.19
43	55248	1300.1	399.25	52.17	54	136.98	0.118	25.62
44	35214	979	423.65	58.99	66.9	180.04	0.153	41.62
45	70146	910.01	420.01	55.01	62.18	187.88	0.108	34.57
46	52369	875.26	410.89	46.03	57.22	159.99	0.079	43.05
47	59445	987.6	598.66	54.17	62.96	165.25	0.191	21.09
48	65781	912.04	523.24	50.61	60.58	184.75	0.268	28.81
49	57825	1586	458.95	49.001	38.69	188.93	0.163	60.6
50	33476	923.01	523.69	39.01	41.09	236.99	0.191	23.06

Los resultados obtenidos en el laboratorio por medio del espectrofotómetro nos refleja que los siguientes valores estadísticos (tabla 4.4).

**Tabla 4.4. Valores estadísticos de metales totales.**

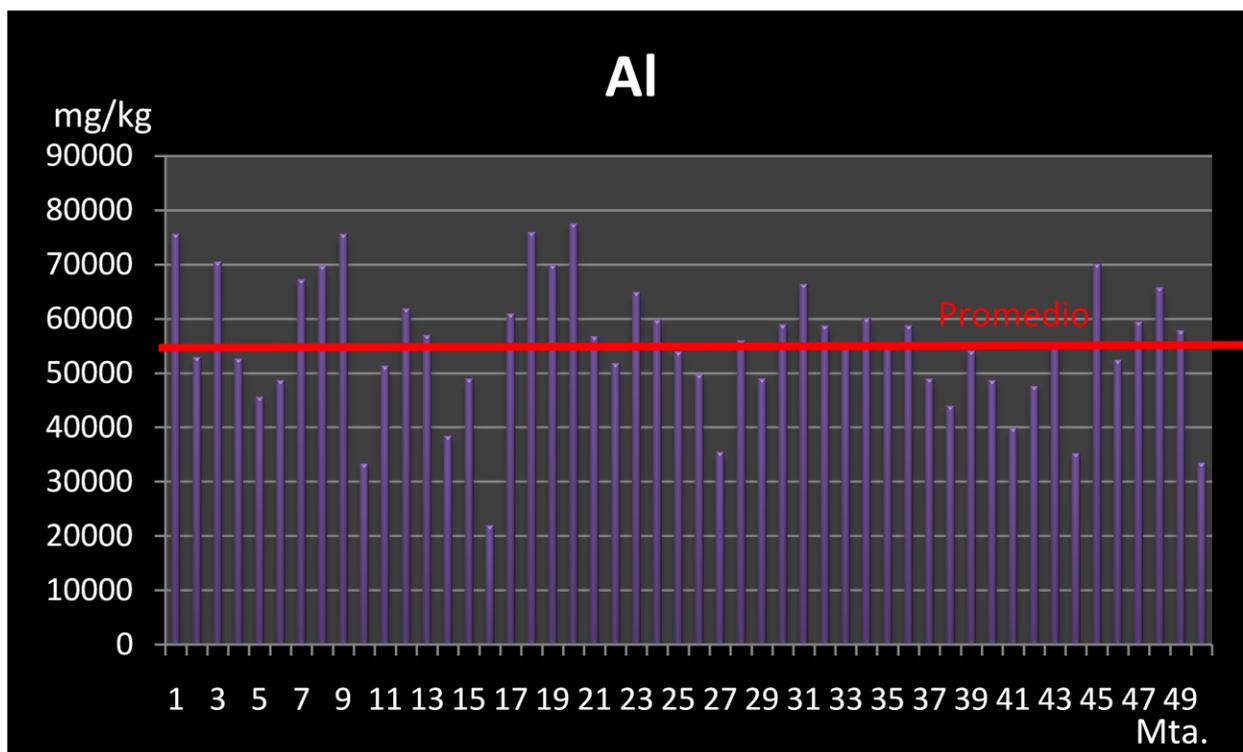
	Al	Mn	Fe (%)	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
Media	55200.74	1036.49	492.66	51.48	63.55	187.78	0.16	27.87
Valor Max.	77496.358	2453.145	602.23	83.28	141.89	381.38	0.549	66.39
Valor Min.	21964.947	658.458	399.25	30.5	36.18	116.72	0.009	13.54
S	12149.5414	294.933152	63.205	9.6094	21.84	55.553	0.0992	12.829

La correlación de los metales a través del aluminio, tomado como valor promedio como metal indicador es el siguiente:

$$\frac{\text{Concentración Promedio del Al}}{\text{Concentración del micronutriente de cada muestra}} = \text{correlacion } Xi$$

Concentración promedio de Al (55200 mg/kg)

A continuación se presenta la concentración de aluminio y su promedio en cada punto muestreado, cabe mencionar que aunque los valores son cercanos a la media, algunos varían de ella, por lo que la contaminación en la zona es un indicativo de la afectación del hombre al medio. (Figura 4.14).



**Figura 4.14. Concentraciones puntuales de Al dentro de la poligonal.**

En la tabla 4.4 Se presentan los valores de correlación de cada metal con Al

**Tabla 4.4. Correlación de metales.**

Muestra	Mn/Al	Fe (%) /Al	Ni/Al	Cu/Al	Zn/Al	Cd/Al	Pb/Al
1	0.01192843	0.0106819	0.0010795	0.0011060	0.0021775	0.0000026	0.0002558
2	0.04444044	0.0109098	0.0010516	0.0007668	0.0046481	0.0000034	0.0009444
3	0.01854267	0.0094781	0.0009779	0.0017322	0.0041365	0.0000048	0.0005293
4	0.0181574	0.0106826	0.0008335	0.0011435	0.0061655	0.0000072	0.0010933
5	0.01733489	0.0090622	0.0012464	0.0013585	0.0040344	0.0000044	0.0004975
6	0.01786857	0.0090569	0.0011411	0.0011603	0.0039452	0.0000046	0.0005179
7	0.01431084	0.0090644	0.0009424	0.0010552	0.0032474	0.0000002	0.0003543
8	0.01810787	0.0081941	0.0008125	0.0017165	0.0044938	0.0000023	0.0004453
9	0.01824912	0.0089960	0.0009652	0.0007522	0.0047056	0.0000034	0.0006674
10	0.01807164	0.0103202	0.0005525	0.0016523	0.0057644	0.0000099	0.0010840
11	0.02793667	0.0081948	0.0010482	0.0011241	0.0033630	0.0000038	0.0005007
12	0.01422845	0.0072510	0.0010284	0.0017793	0.0029882	0.0000034	0.0004049
13	0.01491185	0.0090522	0.0010862	0.0011159	0.0030132	0.0000017	0.0005368
14	0.01773348	0.0088015	0.0007389	0.0013766	0.0028293	0.0000014	0.0003962
15	0.01624752	0.0088249	0.0007469	0.0013621	0.0027039	0.0000026	0.0003826
16	0.018537	0.0100522	0.0009451	0.0006886	0.0021150	0.0000030	0.0002453
17	0.02627729	0.0103254	0.0008701	0.0007386	0.0021145	0.0000006	0.0002967
18	0.01815557	0.0108511	0.0009688	0.0007377	0.0026014	0.0000016	0.0004273
19	0.01953941	0.0094384	0.0010868	0.0010141	0.0026893	0.0000023	0.0002661
20	0.01810228	0.0081950	0.0015087	0.0011598	0.0026693	0.0000031	0.0003871
21	0.01772746	0.0101247	0.0009998	0.0012973	0.0033547	0.0000018	0.0005065
22	0.01773511	0.0108511	0.0007645	0.0010840	0.0026654	0.0000007	0.0003172
23	0.01825872	0.0091731	0.0007194	0.0010831	0.0021204	0.0000022	0.0002985
24	0.01806882	0.0088363	0.0013360	0.0012438	0.0030242	0.0000026	0.0003176
25	0.01547101	0.0090555	0.0009839	0.0012364	0.0035898	0.0000018	0.0004302
26	0.01609995	0.0106836	0.0009301	0.0006808	0.0022911	0.0000029	0.0003379
27	0.01420939	0.0100361	0.0008565	0.0010676	0.0036134	0.0000004	0.0002993
28	0.01283309	0.0082785	0.0008054	0.0008295	0.0026663	0.0000007	0.0003353
29	0.01516989	0.0072528	0.0006453	0.0023021	0.0041396	0.0000022	0.0012027
30	0.01751665	0.0095147	0.0009922	0.0010891	0.0032489	0.0000020	0.0004199
31	0.01355562	0.0086752	0.0008330	0.0008243	0.0021742	0.0000014	0.0003094
32	0.0142099	0.0072465	0.0008523	0.0009393	0.0034318	0.0000029	0.0005091
33	0.01674311	0.0081905	0.0009275	0.0016666	0.0030226	0.0000021	0.0004420
34	0.01580615	0.0072459	0.0008759	0.0011047	0.0034523	0.0000023	0.0004389
35	0.01622591	0.0073414	0.0007201	0.0025704	0.0069090	0.0000026	0.0004808
36	0.01940077	0.0088383	0.0011697	0.0012152	0.0034612	0.0000031	0.0004893
37	0.02382445	0.0082928	0.0009272	0.0010138	0.0033994	0.0000027	0.0004005
38	0.01772103	0.0088385	0.0008170	0.0008529	0.0033780	0.0000019	0.0002913
39	0.02279372	0.0082725	0.0007152	0.0015578	0.0046864	0.0000079	0.0007817
40	0.02481057	0.0076689	0.0008002	0.0006717	0.0032360	0.0000025	0.0004380
41	0.02862757	0.0090644	0.0010632	0.0009998	0.0028164	0.0000019	0.0004302
42	0.01984921	0.0072468	0.0009243	0.0006554	0.0028987	0.0000040	0.0004926
43	0.02355267	0.0072327	0.0009451	0.0009782	0.0024815	0.0000021	0.0004641
44	0.01773518	0.0076747	0.0010686	0.0012119	0.0032616	0.0000028	0.0007540
45	0.01648545	0.0076088	0.0009965	0.0011264	0.0034036	0.0000020	0.0006263
46	0.01585587	0.0074436	0.0008339	0.0010366	0.0028983	0.0000014	0.0007799
47	0.01789103	0.0108451	0.0009813	0.0011406	0.0029936	0.0000035	0.0003821
48	0.01652217	0.0094789	0.0009168	0.0010974	0.0033469	0.0000049	0.0005219
49	0.02873192	0.0083142	0.0008877	0.0007009	0.0034226	0.0000030	0.0010978
50	0.01672104	0.0094870	0.0007067	0.0007444	0.0042932	0.0000035	0.0004177

En la tabla 4.5 se presenta el Factor de enriquecimiento FE en el suelo de santa rosa Xochiac a partir de la relación con cada elemento.

**Tabla 4.5. Factor de enriquecimiento FE.**

Muestra	(Mn/Al)/0.0804	(Fe/Al)/0.0804	(Ni/Al)/0.0804	(Cu/Al)/0.0804	(Zn/Al)/0.0804	(Cd/Al)/0.0804	(Pb/Al)/0.0804
1	0.1483635	0.1328597	0.0134268	0.0137558	0.0270834	0.0000329	0.0031822
2	0.5527418	0.1356942	0.0130798	0.0095378	0.0578125	0.0000424	0.0117459
3	0.2306302	0.1178872	0.0121628	0.0215451	0.0514495	0.0000595	0.0065838
4	0.2258383	0.1328687	0.0103670	0.0142222	0.0766853	0.0000895	0.0135980
5	0.2156081	0.1127139	0.0155020	0.0168967	0.0501787	0.0000548	0.0061873
6	0.222458	0.1126486	0.0141929	0.0144317	0.0490701	0.0000575	0.0064419
7	0.1779955	0.1127409	0.0117211	0.0131249	0.0403908	0.0000020	0.0044073
8	0.2252223	0.1019166	0.0101056	0.0213490	0.0558928	0.0000291	0.0055384
9	0.2269791	0.1118910	0.0120050	0.0093553	0.0585268	0.0000426	0.0083008
10	0.2247717	0.1283601	0.0068722	0.0205514	0.0716967	0.0001237	0.0134831
11	0.3474711	0.1019256	0.0130370	0.0139811	0.0418283	0.0000473	0.0062278
12	0.1769708	0.0901864	0.0127914	0.0221309	0.0371665	0.0000424	0.0050359
13	0.1854707	0.1125900	0.0135102	0.0134797	0.0374774	0.0000214	0.0066762
14	0.2205656	0.1094715	0.0091908	0.0171220	0.0351904	0.0000180	0.0049277
15	0.2020836	0.1097622	0.0092899	0.0169418	0.0336312	0.0000329	0.0047588
16	0.2305597	0.1250276	0.0117549	0.0085644	0.0263061	0.0000374	0.0030508
17	0.3268320	0.1284254	0.0108221	0.0091863	0.0262993	0.0000070	0.0036907
18	0.2258156	0.1349642	0.0120501	0.0091750	0.0323559	0.0000203	0.0053153
19	0.2430275	0.1173924	0.0135169	0.0126134	0.0334487	0.0000286	0.0033099
20	0.2251527	0.1019276	0.0187646	0.0144250	0.0332008	0.0000388	0.0048151
21	0.2204908	0.1259289	0.0124354	0.0161351	0.0417247	0.0000221	0.0062999
22	0.2205859	0.1349642	0.0095085	0.0134831	0.0331513	0.0000086	0.0039453
23	0.2270985	0.1140929	0.0089474	0.0134719	0.0263737	0.0000273	0.0037133
24	0.2247365	0.1099042	0.0166173	0.0154704	0.0376149	0.0000327	0.0039496
25	0.1924255	0.1126305	0.0122371	0.0153781	0.0446493	0.0000223	0.0053513
26	0.2002481	0.1328800	0.0115679	0.0084675	0.0284962	0.0000365	0.0042022
27	0.1767337	0.1248275	0.0106531	0.0132781	0.0449423	0.0000045	0.0037223
28	0.1596155	0.1029666	0.0100177	0.0103174	0.0331625	0.0000086	0.0041707
29	0.1886802	0.0902090	0.0080259	0.0286336	0.0514878	0.0000275	0.0149590
30	0.2178688	0.1183424	0.0123408	0.0135462	0.0404088	0.0000248	0.0052229
31	0.1686022	0.1079011	0.0103602	0.0102520	0.0270429	0.0000169	0.0038485
32	0.1767401	0.0901301	0.0106013	0.0116828	0.0426846	0.0000361	0.0063315
33	0.2082476	0.1018715	0.0115364	0.0207294	0.0375946	0.0000257	0.0054978
34	0.1965939	0.0901234	0.0108942	0.0137400	0.0429392	0.0000286	0.0054595
35	0.2018147	0.0913108	0.0089565	0.0319706	0.0859324	0.0000327	0.0059800
36	0.2413031	0.1099289	0.0145489	0.0151144	0.0430496	0.0000381	0.0060859
37	0.2963239	0.1031446	0.0115319	0.0126089	0.0422812	0.0000331	0.0049818
38	0.2204108	0.1099312	0.0101619	0.0106080	0.0420154	0.0000232	0.0036231
39	0.2835039	0.1028922	0.0088956	0.0193752	0.0582879	0.0000987	0.0097225
40	0.3085892	0.0953846	0.0099524	0.0083549	0.0402488	0.0000311	0.0054482
41	0.3560643	0.1127409	0.0132240	0.0124354	0.0350304	0.0000239	0.0053513
42	0.2468807	0.0901346	0.0114958	0.0081521	0.0360534	0.0000502	0.0061264
43	0.2929437	0.0899589	0.0117549	0.0121673	0.0308643	0.0000266	0.0057727
44	0.2205868	0.0954567	0.0132916	0.0150739	0.0405672	0.0000345	0.0093778
45	0.2050429	0.0946365	0.0123948	0.0140104	0.0423331	0.0000243	0.0077893
46	0.1972124	0.0925816	0.0103715	0.0128928	0.0360489	0.0000178	0.0097000
47	0.2225252	0.1348899	0.0122056	0.0141861	0.0372341	0.0000430	0.0047520
48	0.2054996	0.1178963	0.0114034	0.0136499	0.0416278	0.0000604	0.0064915
49	0.3573621	0.1034105	0.0110409	0.0087176	0.0425696	0.0000367	0.0136544
50	0.2079732	0.1179976	0.0087897	0.0092584	0.0533985	0.0000430	0.0051959

En la figura 4.15 se representa: Concentración de Mn, Correlación "Mn / Al" y Factor de enriquecimiento de "(Mn / Al) / (0.0804)".

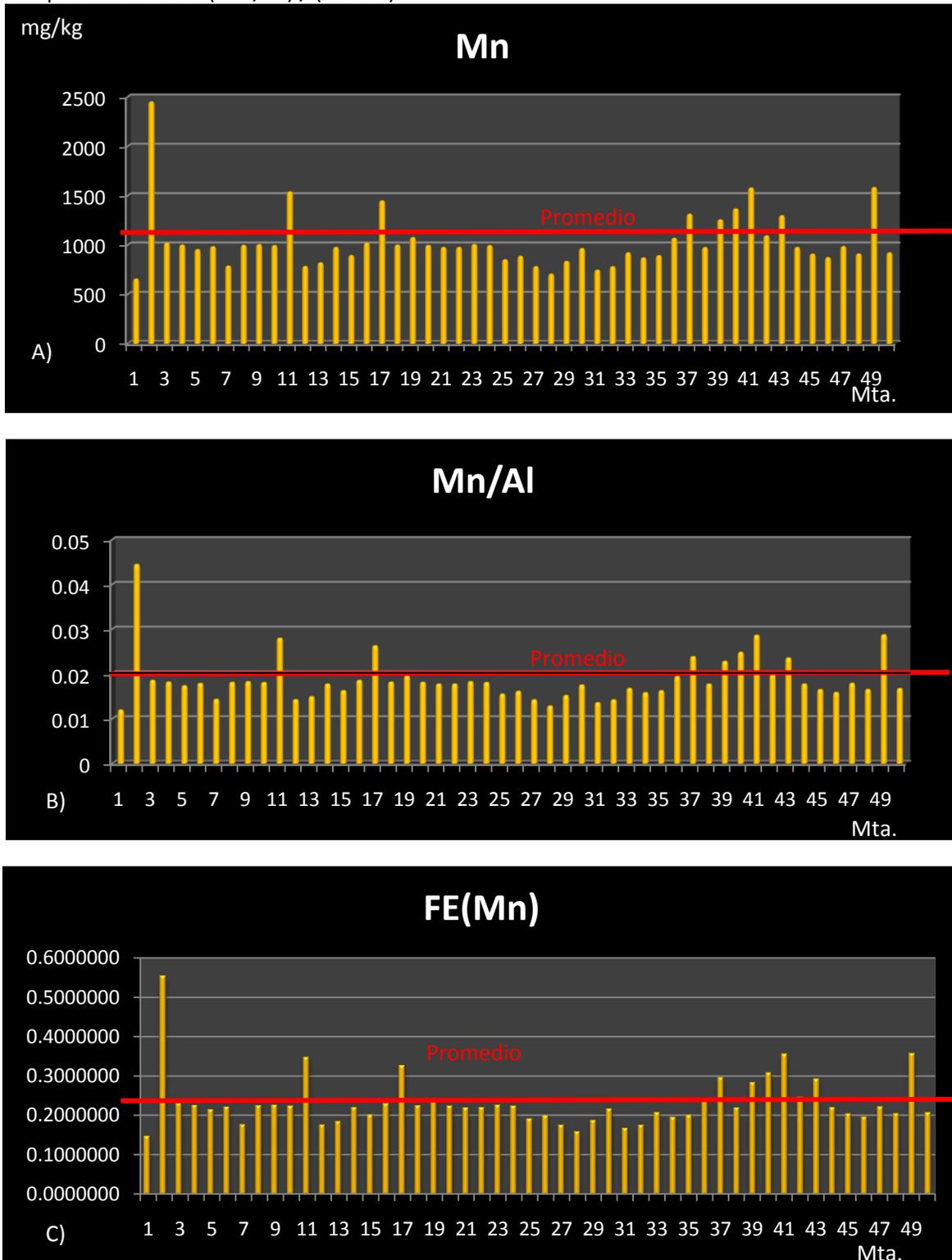


Figura 4.15. a) Gráfica de Concentración total de Mn; b) correlación "Mn / Al"; c) Factor de enriquecimiento FE del Mn.

En las figura 4.16 se presenta: Concentración de Fe (%), Correlación “Fe / Al” y Factor de enriquecimiento de “(Fe / Al) / (0.0804)”.

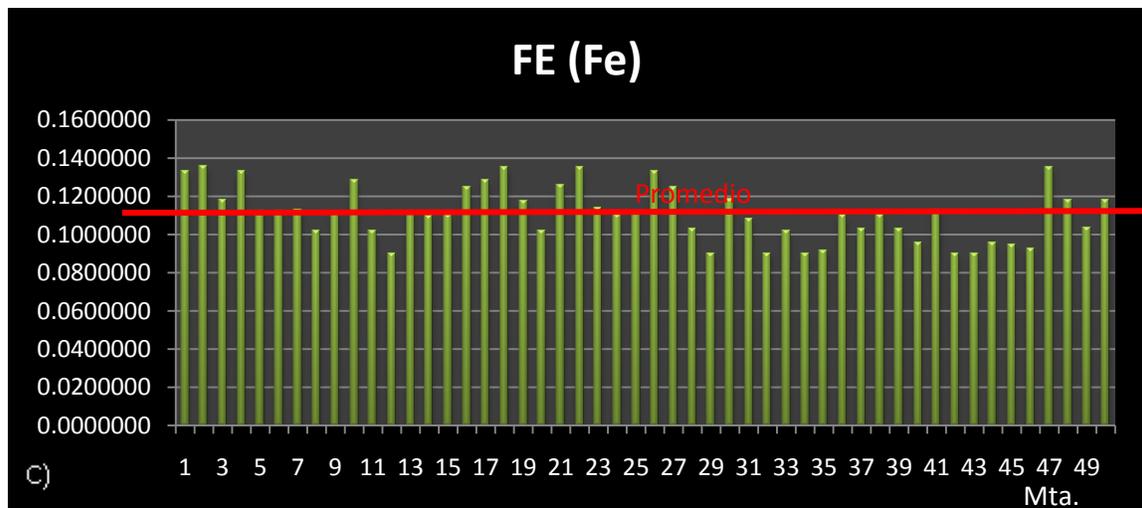
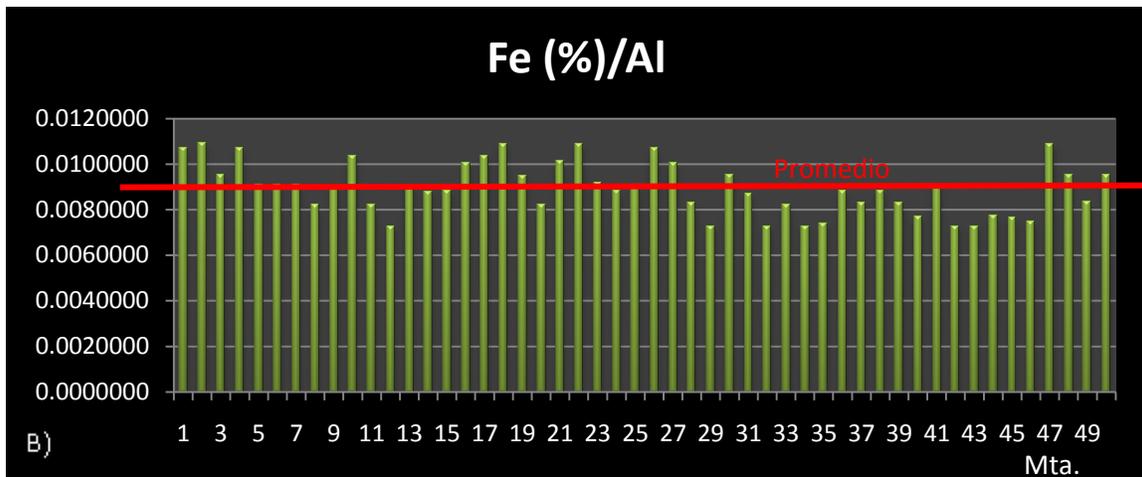
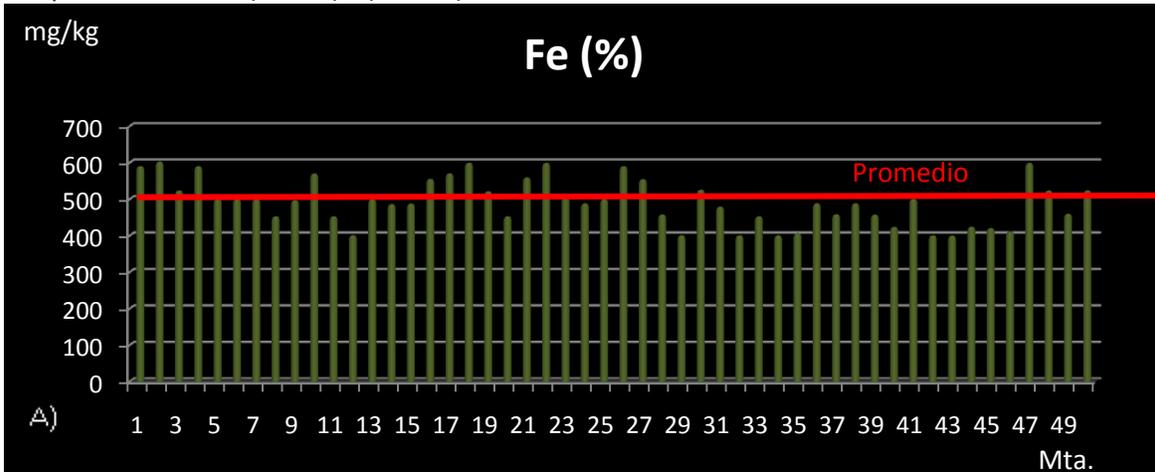


Figura 4.16. a) Gráfica de Concentración total de Fe; b) correlación “Fe / Al”; c) Factor de enriquecimiento FE del Fe.

En las figuras 4.16 se representa: Concentración de Ni, Correlación “Ni / Al” y Factor de enriquecimiento de “(Ni / Al) / (0.0804)”.

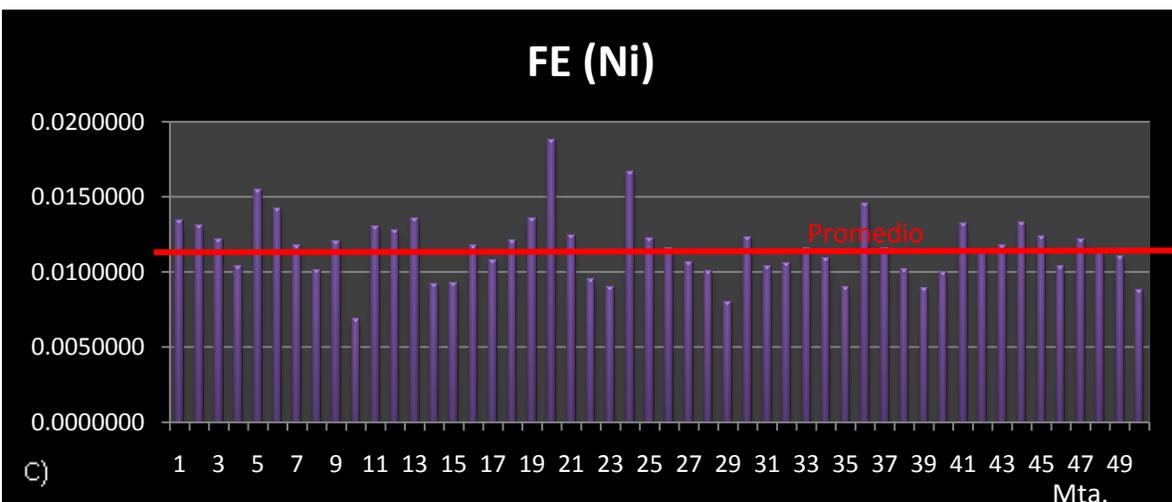
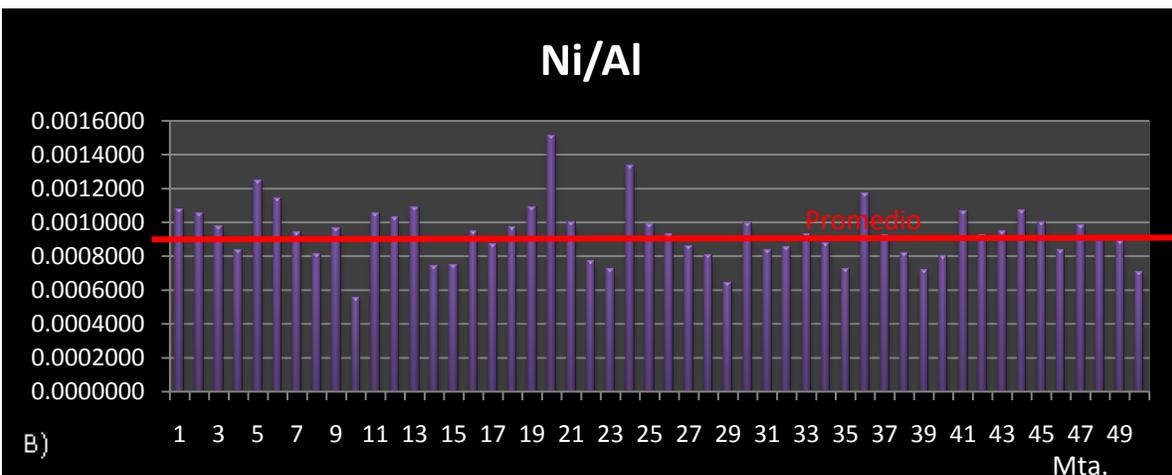
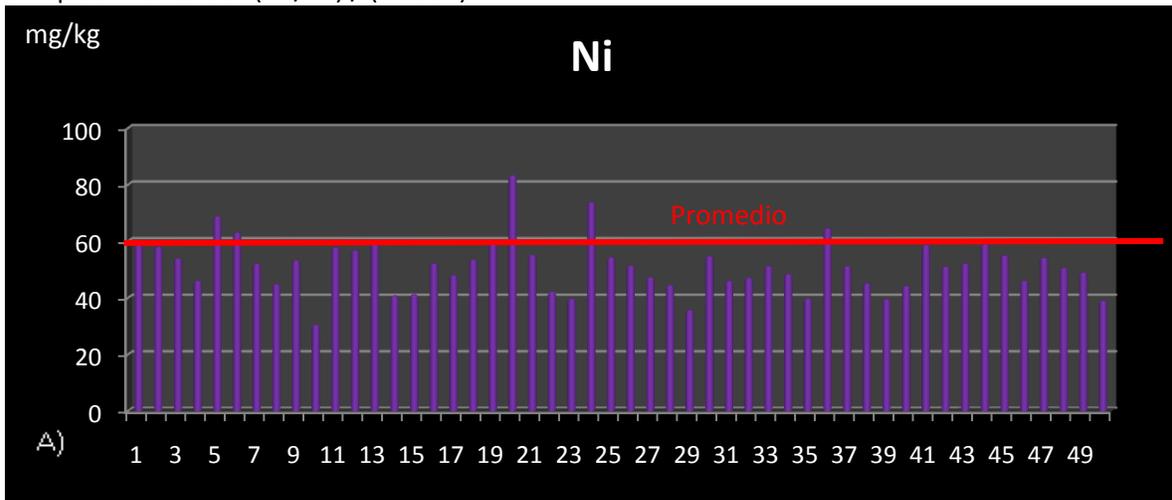


Figura 4.17. a) Gráfica de Concentración total de Ni; b) correlación “Ni / Al”; c) Factor de enriquecimiento FE del Ni.

En las Figura 4.18 se representa: Concentración de Cu, Correlación "Cu / Al" y Factor de enriquecimiento de " $(Cu / Al) / (0.0804)$ ".

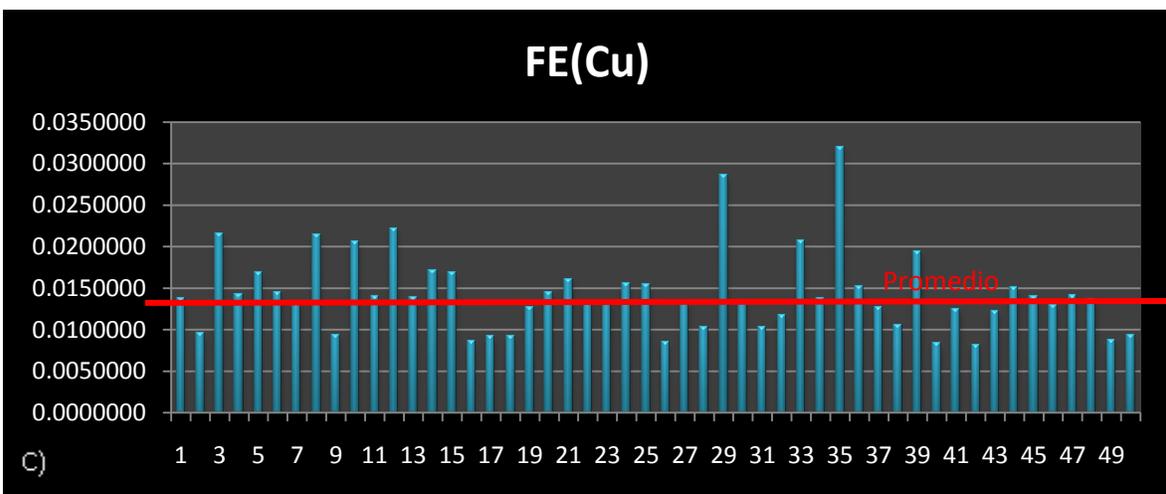
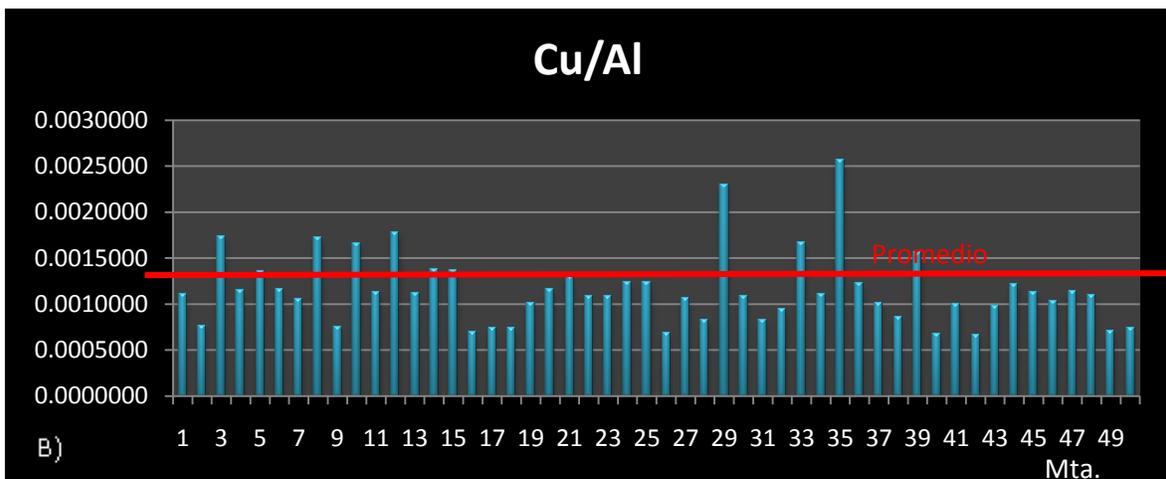
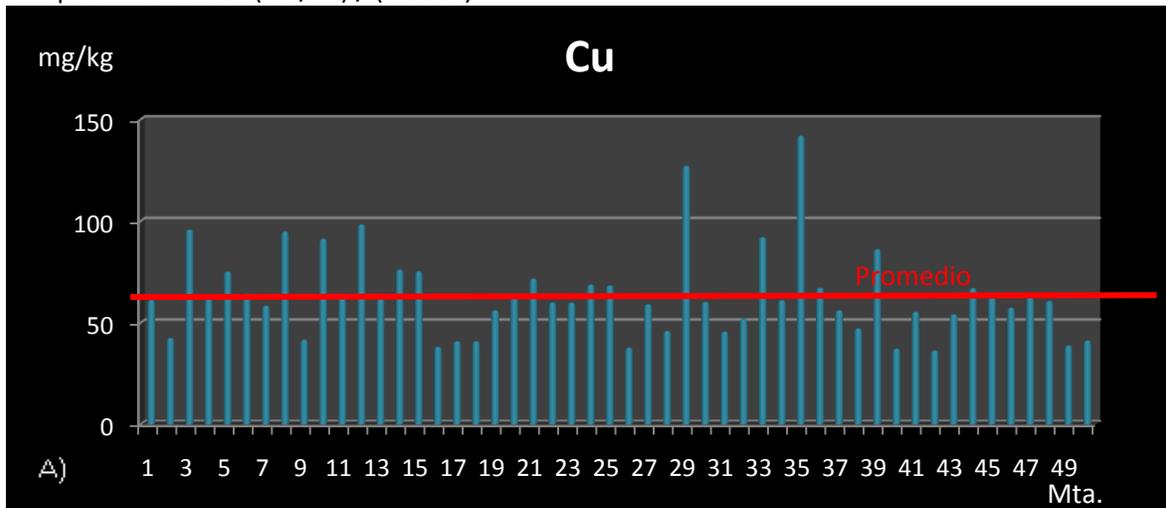


Figura 4.18. a) Gráfica de Concentración total de Cu; b) correlación "Cu / Al"; c) Factor de enriquecimiento FE del Cu

En las Figura 4.19 se representa: Concentración de Zn, Correlación “Zn / Al” y Factor de enriquecimiento de “(Zn / Al) / (0.0804)”.

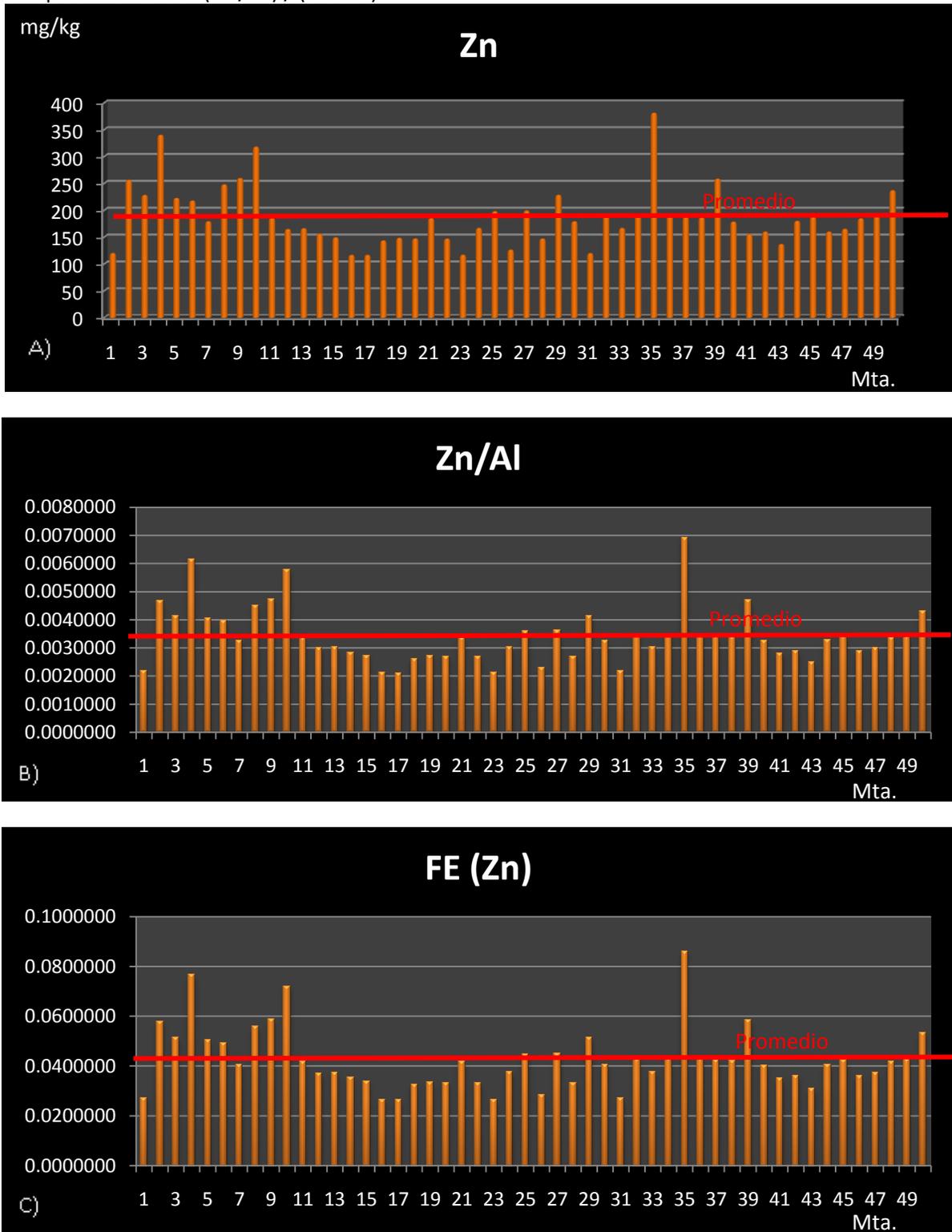


Figura 4.19. a) Gráfica de Concentración total de Zn; b) correlación “Zn / Al”; c) Factor de enriquecimiento FE del Zn

En las Figura 4.20 se representa: Concentración de Cd, Correlación "Cd / Al" y Factor de enriquecimiento de "(Cd / Al) / (0.0804)".

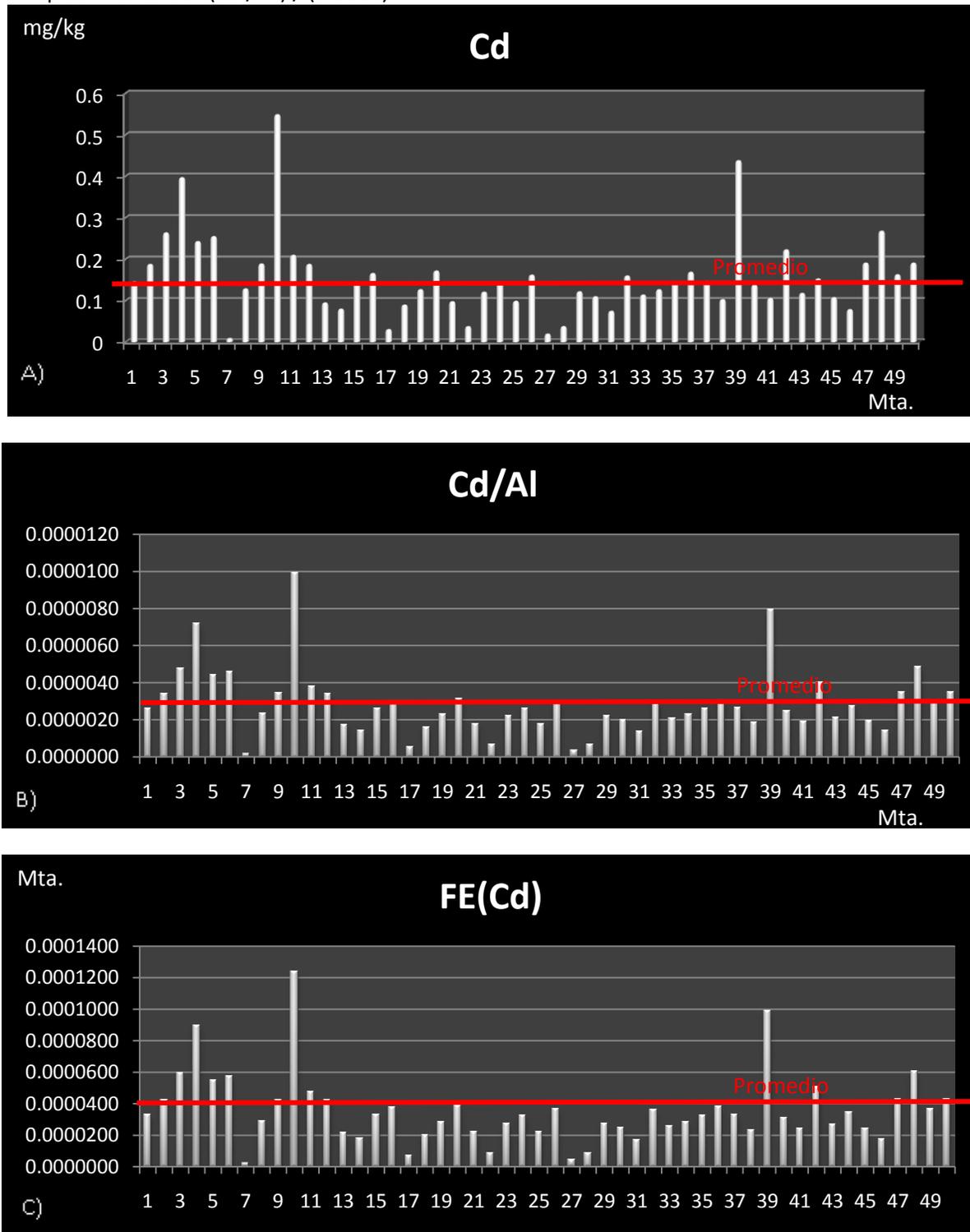


Figura 4.20. a) Gráfica de Concentración total de Cd; b) correlación "Cd / Al"; c) Factor de enriquecimiento FE del Cd.

En las figura 4.21 se representa: Concentración de Pb, Correlación "Pb / Al" y Factor de enriquecimiento de " $(Pb / Al) / (0.0804)$ ".

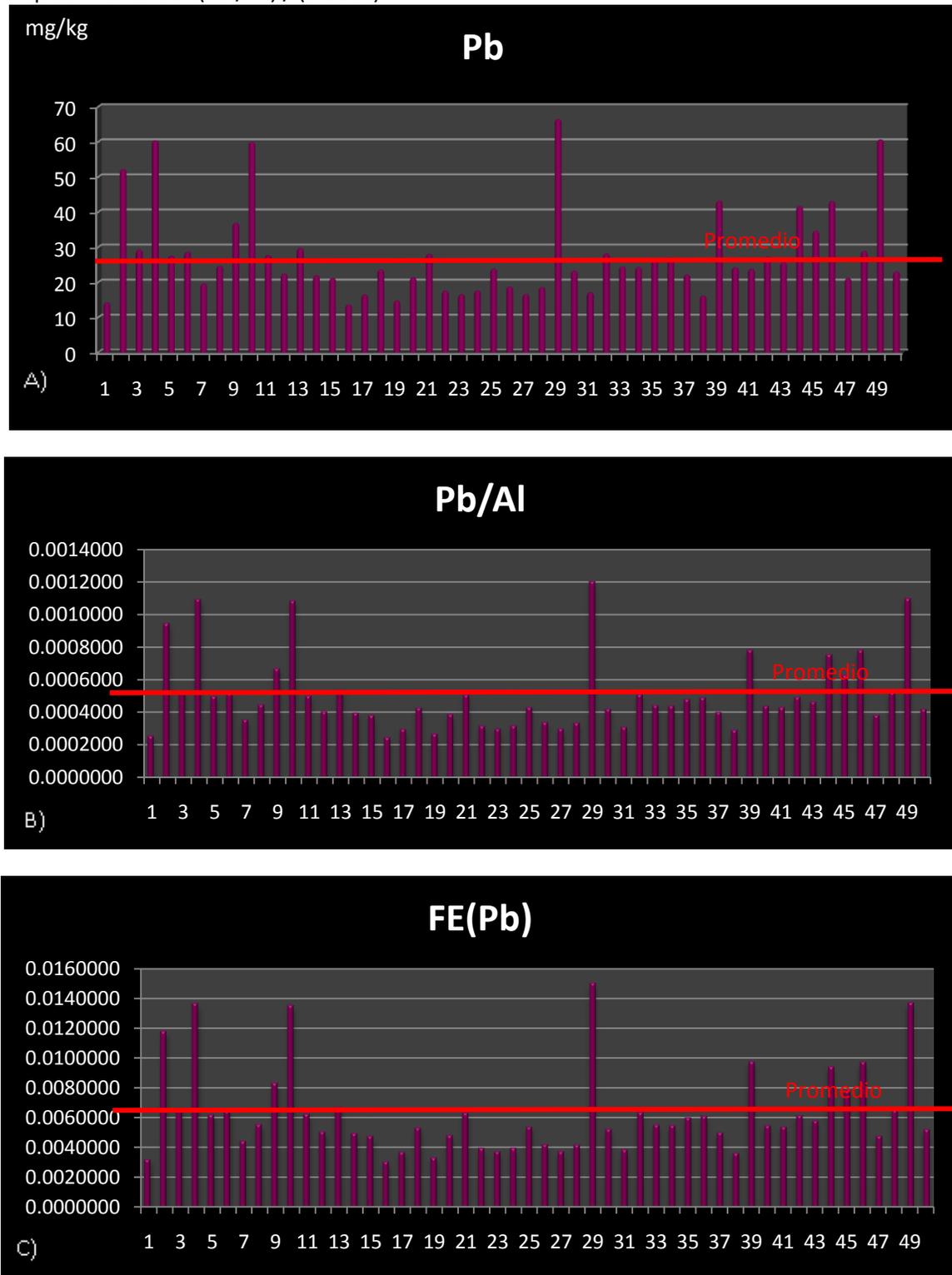


Figura 4.21. a) Gráfica de Concentración total de Pb; b) correlación "Pb / Al"; c) Factor de enriquecimiento FE del Pb.

En el suelo de estudio se encontró una cantidad de nutrientes por encima de lo que la norma oficial establece para clasificar al suelo, así mismo se tiene que los metales encontrados por la prueba de espectrofotometría de absorción atómica, es el siguiente:

El Fe, Cu, Zn, Mn se encuentran por encima de los niveles adecuados (4.5, .2, 1, 1 mg/kg respectivamente) por lo que el suelo se clasifica como muy bueno para sostener la vida en el lugar. Estos valores son consistentes con la zona en la que se encuentra la poligonal.

Así mismo, Santillán (2009) reportó valores muy similares en su tesis de licenciatura clasificando los suelos de una zona aledaña de la misma manera.

Por otro lado los valores sugeridos por la norma para elementos tóxicos en un suelo según su tolerancia para cultivos, estos son:

El Cd está en concentraciones muy por debajo del nivel normal (0.35mg/kg) ya que la concentración determinada fue de 0.16 mg/kg, lo que indica que no hay presencia de este contaminante en concentraciones peligrosas.

El Pb está en el límite de una clasificación normal (35 mg/kg) ya que la concentración determinada fue de 27 mg/kg, lo que se debe posiblemente a una depositación atmosférica (agua pluvial principalmente), por efecto de emisiones de gases contaminantes de los vehículos de transporte público y privado, que se deposita en las zonas más altas de la ciudad. También se debe a la interacción del hombre con la zona, ya que existen tiraderos clandestinos de residuos provenientes de la construcción los cuales contienen pinturas y azulejos con base de plomo.

El Ni se encuentra de la misma forma en el límite de lo normal (50 mg/kg) ya que la concentración determinada fue de 51 mg/kg; este elemento indica que la presencia del hombre en esta zona ha afectado de manera consistente, ya que se encontraron rastros de pilas alcalinas que contienen Ni y por otro lado la mala carburación del transporte público y privado generan una depositación atmosférica de este metal proveniente de las gasolinas.

Comparando la concentración de los metales contra la granulometría, se observa que la adsorción es mínima en el sitio de estudio, lo que provoca una depositación en el subsuelo o acuíferos estando encontrándose en la superficie concentraciones pequeñas.

Los factores de enriquecimiento que se obtuvieron fueron los siguientes:

El Mn se enriqueció un 55% considerando una concentración natural en la corteza terrestre.

El Fe se enriqueció un 13.5% considerando una concentración natural en la corteza terrestre.

El Ni se enriqueció un 1.8% considerando una concentración natural en la corteza terrestre.

El Cu se enriqueció un 3.19% considerando una concentración natural en la corteza terrestre.

El Zn se enriqueció un 8.6% considerando una concentración natural en la corteza terrestre.

El Cd se enriqueció un 0.012% considerando una concentración natural en la corteza terrestre.

El Pb se enriqueció un 1.5% considerando una concentración natural en la corteza terrestre.



# Capítulo 5

**Conclusiones y Recomendaciones**

## 5.- Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

1.- Se determinaron los puntos de muestreo utilizando cartografías y fotos aéreas, así como realizando una visita previa al sitio de estudio, concluyendo que las muestras no fueron alteradas y son representativas del sitio de interés.

2.- Se concluye que el contenido de humedad en el sitio de estudio es bajo comparado con otras zonas de reserva, ya que en una zona de amortiguamiento el contenido de humedad debe ser grande, evitando los efectos de erosión y disminuyendo la deforestación o algún agente externo lo afecten. Sin embargo aunque un 12% de las muestras son agua se esperaría que la cantidad de agua fuera mayor al 10%. Por lo tanto su amortiguación es mínima, pues el rango que se tiene es de escasos 2 %, mismos que podrían aumentarse si se sembraran más arboles que infiltren el agua al suelo, o se realizaran cortes a las bermas para evitar que el agua deslave tan rápido el medio físico.

3.- Se concluye que las concentraciones de los metales en el presente trabajo no se consideran peligrosas ya que están en el rango de un suelo normal.

4.- Se concluye que los suelos de esta zona, considerando la granulometría, la concentración de materia orgánica, pH y potencial redox permiten clasificarlo como un suelo franco arenoso, lo que le da propiedades equilibradas, esto quiere decir que es inerte a efectos químicos, posee por otro lado buena aeración, permeabilidad, está bien estructurado y puede retener buena cantidad de agua y nutrientes. Al tender hacia las arenas lo vuelve fácilmente erosionable, pues la parte que evita que esto suceda por su coalición de partículas son las arcillas, y en este caso la fracción es muy baja. Adicionalmente la materia orgánica permite concluir que la zona no tiene una capacidad de amortiguamiento, sin embargo, para mantener la vida está en niveles óptimos. Y al conjuntarse con otros valores en determinadas épocas del año podría aumentar su capacidad de amortiguamiento. Finalmente con pH y potencial redox se concluye que los potenciales encontrados son de un suelo ligeramente ácido, siendo consistentes y muy parecidos a lo que se esperaba debido a la flora y fauna del lugar, por otro lado el potencial redox permite concluir que la zona de estudio se tienen valores que indican capacidad de interacción buena entre el suelo y los metales, pues los potenciales permiten que el suelo se favorezca de los micro-nutrientes presentes.

## 5.2 Recomendaciones

1.- Es de vital importancia tener cuidado con el medio ambiente y los efectos que el hombre produce en el, por ello se recomienda que se realicen pruebas posteriores del suelo dentro de la poligonal a diferentes profundidades, para ver como se están transportando los metales entre los estratos inferiores y posteriormente al agua del manto freático. Adicionalmente realizar un estudio al agua pluvial y de riego para ver si estas son, o no aportadoras de estos nutrientes y metales al suelo.

2.- Difundir entre los pobladores una conciencia de cuidado y prevención, buscando limpiar la zona gradualmente, frenando los daños que el hombre ha producido en la naturaleza.

3.- En lo que respecta al contenido de humedad, se recomienda incrementar ligeramente sus valores para que funcione como zona amortiguadora, debido a que es muy bajo y requiere un aumento ligeramente para compensar la pérdida del líquido en el suelo durante el año y los periodos de secas. Esto se puede llevar a cabo aumentando la materia orgánica o colocando una capa permeable de algún pasto o helechos cerca de la carretera.

4.- También en las zonas cercanas a las casas donde el suelo se observa más erosionado se recomienda colocar un poco de aserrín u hojas para controlar la pérdida de humedad y estabilizar el suelo.

5.- Para el pH se recomienda agregar materiales orgánicos para mejorar el pH de la zona, así como cambiar las bermas de la colina evitando el lavado excesivo del suelo y las sales en él.

6.- Para la granulometría se recomienda controlar que tiren cascajo o materiales externos a las características al sitio de estudio.

7.- Se recomienda mejorar la concentración de materia orgánica con la adición de composta o cubriendo el suelo erosionado con hojas o un suelo mejorado (composta) así como adicionar algunos fertilizantes naturales en las zonas del lindero con la carretera o las casas, como la Lombricomposta.

8.- La presencia de una mayor cantidad de metales en la zona hace que se convierta en un suelo tóxico, por ello hay que hacer limpieza del suelo y buscar que no se sigan depositando en el sitio materiales peligrosos al medio ambiente que pongan en peligro la estabilidad del ecosistema.

# REFERENCIAS

- Alonso del Val F. J., Fernando Herrero Martínez, 2001. **LIBRO DE LA CTMA, CIENCIAS DE LA TIERRA Y DEL MEDIO AMBIENTE.**
- Arcos S. M. E., Becerril A. J., Espíndola Z. M., Fernández V. G., Navarrete R. M. E. (1994), Cuaderno de investigación número 2 CENAPRED, **TRASPORTE, DESTINO Y TOXIDAD DE CONSTITUYENTES QUE HACEN PELIGROSO A UN RESIDUO.**
- Cañadas S. L., 2004. **INFORME MEDIOAMBIENTAL DE NERVA**, Universidad de Sevilla y gobierno del municipio de Nerva.
- CHANG R. (2007) **Química General**, Mc Graw Hill, 7A edición.
- De Lorenz S. F. J. y Luna P. V., (2008). **“DIAGNÓSTICO DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES ACTUALES DENTRO DE LA POLIGONAL QUE HABITAN LOS VECINOS ORGANIZADOS POR UN FUTURO VERDE, SANTA ROSA XOCHIAH.”** Vecinos Organizados por un Futuro Verde A. C.
- Fausto O. Sarmiento. 2001. **DICCIONARIO DE ECOLOGÍA:** paisajes, conservación y desarrollo sustentable para Latinoamérica. Ediciones Abya-Yala, Quito: CLAC-SUGA, CEPEIGE, AMA Primera edición digital.
- Frederick S. M. (2007), **MANUAL DEL INGENIERO CIVIL**, Tomo IV, Mc. Graw Hill, 4ta edición.
- Gobierno del Distrito Federal, (2006). **PROGRAMA DE CONSERVACIÓN Y MANEJO PARQUE NACIONAL DESIERTO DE LOS LEONES.**
- Gobierno del Distrito Federal, (2000). **PROGRAMA DELEGACIONAL DE DESARROLLO URBANO DE ÁLVARO OBREGÓN.**
- Gobierno del Estado de Morelos, (2000). **PROGRAMA DELEGACIONAL DE DESARROLLO URBANO DE CUAJIMALPA DE MORELOS.**
- Instituto de Biología, UNAM, (1998). **“ESTADO NUTRIMENTAL DE ABIES RELIGIOSA EN UNA ÁREA CON PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL.”.**
- Juárez Badillo E. – Rico R., **“MECÁNICA DE SUELOS”, TOMO I**, Ed. Limusa, México Tercera Edición.

- López L. M., J. Velásquez M., A. Velásquez Martínez, & V. Cetina Alcalá, (2005). Revista Chapingo, **Acumulación de metales en suelo**.
- NORMA OFICIAL MEXICANA (2000). **NOM-021-SEMARNAT-2000**, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Diario Oficial de la Federación.
- NORMA MEXICANA (2006), **NMX-AA-132-SCFI-2006**, Que establece muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra.
- Macías C., (2003) artículo **El Suelo, Soporte de la Vida**, , Revista salvemos al mundo, Organización ambientalista.
- Rea O. F. L. D. (2008). Tesis de licenciatura, **“MANIFESTACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL PARA LOS VECINOS ORGANIZADOS DE SANTA ROSA XOCHIAC, MÉXICO, D. F.”**, Facultad de estudios superiores Aragón UNAM.
- Santillán D. J. F., (2009). Tesis de licenciatura, **EVALUACIÓN GEOQUÍMICA DE LOS SUELOS SUPERFICIALES DE LA ZONA ALTA EN LA POLIGONAL DE LOS VECINOS ORGANIZADOS DE SANTA ROSA XOCHIAC, MÉXICO, D.F.”**, Facultad de estudios superiores Aragón UNAM.

### CITAS ELECTRÓNICAS

- Delegación Obregón, Secretaria de Gobernación, (fecha de consulta 14 de febrero 2010), disponible en: <http://www.dao.gob.mx>
- Ecoportal. Software libre, disponible en: (fecha de consulta 27 de marzo 2010) disponible en: <http://www.ecoportal.net/content/view/full/169>
- Environmental Chemistry. Derechos reservados, 1995- 2010, fecha de consulta 10 de febrero 2010), disponible en : <http://environmentalchemistry.com/>
- Quiminet. Propiedad intelectual, industrias Quiminet, (fecha de consulta 23 marzo 2010) disponible en: [www.quiminet.com](http://www.quiminet.com)

- Sarmiento enciclopedia. Propiedad intelectual Ambientum Co. & sarmiento, (fecha de consulta 19 febrero 2010) , disponible en: <http://www.ambientum.com/enciclopedia/enciclopedia.asp>
- Socializando todas las voces. Difusión libre, Artículo realizado por el Dr. Jesús Marín Ruiz Centro Toxicología Nicaragua. (fecha de consulta 14 de enero 2010), disponible en: <http://socializandovoces.blogspot.com/2008/02/cobre-efectos-en-la-salud.html>
- Unidad docente e investigadora de la Facultad de Ciencias. Propiedad intelectual de García I. y Dorronsoro C. (fecha de consulta 14 de enero 2010), disponible en: <http://edafologia.ugr.es/contA/tema11/concep.htm>