

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA**  
**ESCUELA DE BIOLOGÍA**



**“DETERMINACIÓN DE CONTAMINACIÓN TOXICOLÓGICA DE SEIS FUENTES SUB-  
SUPERFICIALES (MANANTIALES) PRESENTES EN EL COMPLEJO LOS VOLCANES”  
DEPARTAMENTOS DE SANTA ANA Y SONSONATE, EL SALVADOR.**

**TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR:**

**BR. ULISES WILFREDO JUÁREZ BONIFACIO.**

**PARA OPTAR AL GRADO DE:**

**LICENCIADO EN BIOLOGIA.**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE DEL 2009**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA**  
**ESCUELA DE BIOLOGÍA**



**“DETERMINACIÓN DE CONTAMINACIÓN TOXICOLÓGICA DE SEIS FUENTES SUB-SUPERFICIALES (MANANTIALES) PRESENTES EN EL COMPLEJO LOS VOLCANES”  
DEPARTAMENTOS DE SANTA ANA Y SONSONATE, EL SALVADOR.**

**TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR:**

**BR. ULISES WILFREDO JUÁREZ BONIFACIO.**

**PARA OPTAR AL GRADO DE:**

**LICENCIADO EN BIOLOGIA.**

**Asesor: \_\_\_\_\_**

**Dr. Rigoberto Ayala.**

**Asesor: \_\_\_\_\_**

**Lic. Francisco Antonio Barahona.**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE DEL 2009**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA**  
**ESCUELA DE BIOLOGÍA**



**“DETERMINACIÓN DE CONTAMINACIÓN TOXICOLÓGICA DE SEIS FUENTES SUB-SUPERFICIALES (MANANTIALES) PRESENTES EN EL COMPLEJO LOS VOLCANES”  
DEPARTAMENTOS DE SANTA ANA Y SONSONATE, EL SALVADOR.**

**TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR:**

**BR. ULISES WILFREDO JUÁREZ BONIFACIO.**

**PARA OPTAR AL GRADO DE:**

**LICENCIADO EN BIOLOGIA.**

**Jurado: \_\_\_\_\_**

**MSc. Jorge Santamaría**

**Jurado: \_\_\_\_\_**

**MSc. Guillermo Ernesto Martínez Espinoza.**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE DEL 2009**

**AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**RECTOR:**

**ING. RUFINO ANTONIO QUEZADA SÁNCHEZ**

**SECRETARIO GENERAL:**

**LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHÁVEZ**

**FISCAL:**

**DR. RENÉ MADECADEL PERLA JIMÉNEZ**

**DECANO:**

**DR. RAFAEL ANTONIO GÓMEZ ESCOTO**

**DIRECTORA DE LA ESCUELA DE BIOLOGÍA:**

**MSc. NOEMY ELIZABETH VENTURA CENTENO.**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE 2009.**

**ASESORES Y JURADOS.**

**ASESOR:**

**DR. RIGOBERTO AYALA**

**ASESOR:**

**LIC. FRANCISCO ANTONIO BARAHONA**

**JURADO EVALUADOR:**

**MSC. GUILLERMO ERNESTO MARTÍNEZ ESPINOZA.**

**JURADO EVALUADOR:**

**MSC. JORGE SANTAMARIA**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE 2009.**

## **AGRADECIMIENTOS.**

A Dios por brindarme la sabiduría a lo largo de los años de estudio, permitiéndome culminar una meta más en mi vida.

A mis apreciables asesores Dr. Rigoberto Ayala y Lic. Francisco Barahona, por el valioso aporte de sus conocimientos, junto a su apoyo incondicional y orientación en el desarrollo de este trabajo.

A los jurados MSc. Jorge Santamaría y MSc. Guillermo Espinoza por su valiosa colaboración en la revisión y evaluación de el presente trabajo de graduación.

A los maestros que contribuyeron en mi desarrollo profesional brindándome sus conocimientos y experiencias. A nuestra respetable Directora MSc. Noemy Ventura, por brindarme su apoyo en los momento que lo he necesitado tanto moral como académicamente.

Le agradezco a Lic. Renan Funes por su apoyo incondicional durante el desarrollo de este trabajo de investigación, al igual que Lic. Arturo Aguilar, y Lic. Esther, Lic. Olmos, Lic. Venancio y todos las demás personas que conforman el equipo de Vulcanología, a la Dra. Dina Iarios de la Universidad de Ohio por facilitarme los análisis de sedimentos, a la Ing. Vilma de Caballero de el INAGUA de Santa Ana, a todos mis amigos que hicieron posible y me ayudaron en más de una ocasión con mis muestreos Guillermo (pipo), Mackenzy, Geraldo (pepe), Oscar (pájaro), Buiza, Bernardo, Elisa, Laura, Georgina, Kenny Cañas, mi primo Guille de química, Natalia, a los Ex guarda recursos del CATIE (Andrés, Leonel y Juan) y los otros guardas del Complejo Los Volcanes, la gente de el CATIE que me ha ayudado tanto y a todos mis demás amigos que me han hecho amena la estancia en Biología.

## DEDICATORIA

A mis queridos abuelos Santos Juárez (Q.E.P.D) y Fidelia Vásquez (Q.E.P.D); Dolores Bonifacio (Q.E.P.D) quienes me apoyaron en todo momento.

A mis padres Modesto Antonio Juárez Vásquez y Petrona Silvia Bonifacio de Juárez, sin los cuales no hubiera logrado mi superación universitaria.

A mi hija Melanie Susana Juárez Grande por ser el motivo principal por el cual logre esta meta.

A mi novia Norma Evelyn Morán, por apoyarme y comprenderme en todo momento del desarrollo de mis estudios.

A mi hermano Carlos Juárez y su esposa Elsí de Juárez junto a mi amadísima sobrina María Fernanda.

A mi otra familia Morán por apoyarme durante mi desarrollo profesional.

A mi primo Oscar y mis sobrinas Claudia y Cristina, quienes me han acompañado y brindado apoyo en mi carrera.

A todos les agradezco su amor, apoyo y comprensión

Ulises Wilfredo Juárez Bonifacio.

## INDICE

I. Introducción	
II. Fundamento Teórico.....	1
II.1 Aguas Subterráneas.....	1
II.2 Formacion, Elementos Y Tipos De Acuíferos.....	1
II.2.1 Acuíferos. ....	1
II.2.2 Formación De Acuíferos. ....	2
II.2.3 Elementos Constituyentes.....	2
II.2.4 Tipos De Acuíferos.....	3
II.2.4.1 Acuíferos No Confinados (Libres).....	3
II.2.4.2 Acuíferos Confinados.....	3
II.2.4.3 Acuíferos Semi-Confinados.....	3
II.2.4.4 Acuíferos Colgados. ....	3
II.3 Recarga Y Descarga. ....	4
II.3.1 Área De Recarga.....	4
II.3.2 Área De Descarga. ....	4
II.4 Importancia De Las Aguas Subterranas Y Su Protección. ....	4
II.5 Extracción Por Manatales.....	5
II.5.1 Manantiales.....	5
II.6 Calidad Del Agua. ....	5
II.6.1 calidad biológica.....	6

II.6.2 Calidad Quimica. ....	6
II.7 Contaminantes. ....	6
II.7.1 Contaminantes De Agua De Consumo. ....	6
II.7.1.2 Naturaleza Mineral.....	7
II.8 Parametros Fisico-Quimicos Del Agua. ....	7
II.8.1 Oxigeno Disuelto .....	7
II.8.2 Conductividad .....	8
II.8.3 pH (Potencial de Hidrogeno).....	8
II.9 Intoxicacion Por Ingesta De Metales Pesados.....	9
II.9.1 Cobre (Cu). ....	9
II.9.2 Cadmio (Cd).....	10
II.9.3 Mercurio (Hg). ....	11
II.9.4 Niquel (Ni). ....	12
II.9.5 Plomo (Pb).....	12
II.9.6 Zinc (Zn).....	13
II.10 Uso De Filtros Como Purificadores De Agua. ....	13
II.10.1 Porosidad De Cascara De Huevo.....	14
II.10.2 Cascara De Huevo Para Eliminar Residuos Toxicos Del Agua. ....	14
II.10.3 Hidroxido De Calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ O Cal, Para Eliminar Residuos Toxicos Del Agua.....	15
III. Metodologia.....	16
III.1 Área De Interes .....	16

III.1.1 Volcán De Izalco .....	17
III.1.2 Volcán De Santa Ana O Ilamatepec (Ilamatepec = Cerro Madre) .....	17
III.2 Fase De Campo.....	18
III.2.1 Ubicación Y Descripción De Las Zonas De Estudio. ....	21
III.2.2 Material Experimental.....	27
III.2.2.1 Colecta Del Material Experimental. ....	27
III.2.2.1.1 Aniones.....	28
III.2.2.1.2 Cationes.....	28
III.2.2.1.3 Sedimentos.....	28
III.3 Fase De Laboratorio.....	29
III.3.1 Técnicas Estándar .....	30
III.3.1.2 Absorción Atómica. ....	30
III.3.1.3 Colorimetría. ....	30
III.3.1.4 Electrodo Selectivo De Iones Nitrato. ....	30
III.3.1.5 Método Turbidimétrico. ....	30
III.3.1.6 Sedimentos.....	31
III.3.1.7 Análisis Estadístico. ....	31
IV. Resultados.....	32
IV.1 Comparación de contaminación de níquel, mercurio y plomo entre los cinco puntos de muestreo (a nivel de manto sub superficial).....	34
IV.1.2 Análisis estadístico de contaminación de níquel, mercurio y plomo entre los cinco puntos de muestreo (a nivel de manto sub superficial). ....	35

IV.1.3 Análisis grafico de contaminación de níquel, mercurio y plomo entre los cinco puntos de muestreo (a nivel de manto sub superficial). .....	40
IV.2 Análisis estadístico de contaminación de níquel, mercurio y plomo entre los tres niveles de Altura (a nivel de manto sub superficial). .....	43
IV.2.1 Análisis grafico de contaminación de níquel, mercurio y plomo entre los tres niveles de altura (a nivel de manto sub superficial).....	45
IV.3 Comparación de contaminación de cobre, cadmio, mercurio, plomo y zinc.....	48
IV.3.1 Análisis grafico de contaminación de cobre, cadmio, mercurio, plomo y zinc entre los cuatro puntos de muestreo (a nivel desedimentos). .....	53
V. Discusion De Resultados.....	59
VI. Conclusiones. ....	62
VII. Recomendaciones. ....	64
VIII. Literatura Consultada.....	65

## INDICE DE CUADROS

Cuadro #1 Ubicación de Áreas de Muestreo.....	19
Cuadro#2. Resultados de metales encontrados en muestras de agua, en los puntos de muestreo por fecha, cantidad (ppm) y precipitación pluvial promedio. ....	32
Cuadro#3. Resultados de metales encontrados en muestras de sedimentos, en los puntos de muestreo por fecha y cantidad (mg/kg) .....	33
Cuadro#4. Resultados de pH encontrados en los puntos de muestreo por fecha .....	58

## INDICE DE TABLAS

Tabla#1 Rangos asignados para cada uno de los metales, basándose en un código descriptivo para mejor comprensión de cuadros y mapas. ....	34
Tabla#2 Frecuencias de 25 muestras agua con análisis de Níquel (Ni) y su respectivo porcentaje para el año 2008. ....	35
Tabla#3 Frecuencias de 25 muestras agua con análisis de Mercurio (Hg) con su respectivo porcentaje para el año 2008. ....	36
Tabla#4 Frecuencias de 25 muestras agua con análisis de Plomo (pb) con su respectivo porcentaje para el año 2008. ....	37
Tabla#5 Tabla con estadísticos descriptivos para los 5 puntos de muestreo con base en los diferentes metales analizados. ....	38
Tabla#6 Tabla con resultado de la Prueba de Homogeneidad de varianzas (en este caso Prueba de Levene) de los 2 metales pesados y el metaloide con nivel de significancia de 0.5. ....	39
Tabla#7 Análisis de Varianza de una sola vía. ....	39
Tabla#8 Estadístico descriptivo para metales pesados y estratos de altura...	43
Tabla#9 Tabla con resultado de la Prueba de Homogeneidad de varianzas (en este caso Prueba de Levene) de los 2 metales pesados y el metaloide con nivel de significancia de 0.5. ....	44
Tabla#10 Análisis de Varianza de una sola vía. ....	44
Tabla# 11 Rangos asignados para cada uno de los metales y metaloide, basándose en un código descriptivo para mejor comprensión de cuadros y mapas. ....	48
Tabla# 12 Medias de los diferentes metales y metaloide, por punto de muestreo. ....	49

Tabla# 13	Medias de los diferentes metales y metaloide, por estrato de altura.....	49
Tabla# 14	Tabla de frecuencias de cobre mg/kg (Cu) en sedimentos .....	50
Tabla# 15	Tabla de frecuencias de cadmio mg/kg (Cd) en sedimentos .....	50
Tabla# 16	Tabla de frecuencias de mercurio mg/kg (Hg) en sedimentos .....	51
Tabla# 17	Tabla de frecuencias de plomo mg/kg (Pb) en sedimentos .....	51
Tabla# 18	Tabla de frecuencias de zinc mg/kg (Zn) en sedimentos .....	52

## INDICE DE FIGURAS Y GRAFICOS

Figura 1 Ubicación De Los Cinco Sitios De Muestreo .....	20
Figura 2 y 3 Atecozol. ....	21
Figura 4 y 5 El Arenal.....	22
Figura 6 Las Piletas. ....	23
Figura 7 Ojo de Agua el Venado. ....	24
Figura 8 El Limbo. ....	25
Figura 9 y 10 Tanque Arriba de Niña Nicha.....	26
Grafico#1 Representación grafica de las Medias de Níquel (Ni) .....	40
Grafico#2 Representación grafica de las Medias de mercurio (Hg).....	41
Grafico#3 Representación grafica de las Medias de plomo (Pb) .....	42
Grafico#4 Representación grafica de las Medias de níquel (Ni) en los tres estratos.....	45
Grafico#5 Representación grafica de las Medias de mercurio (Hg) en los tres estratos.....	46
Grafico#6 Representación grafica de las Medias de Plomo (Pb) en los tres estratos.....	47
Grafico#7 Representación grafica de las Medias de cobre (Cu) en sitios de muestreo.....	53
Grafico#8 Representación grafica de las Medias de cadmio (Cd) en sitios de muestreo.....	54

Grafico#9 Representación grafica de las Medias de Mercurio (Hg) en sitios de muestreo.....	55
Grafico#10 Representación grafica de las Medias de Plomo (Pb) en sitios de muestreo.....	56
Grafico#11 Representación grafica de las Medias de Zinc (Zn) en sitios de muestreo.....	57
Grafico#12 Representación grafica de pH contra precipitación pluvial (mm). .....	58

## INDICE DE ANEXOS.

ANEXO 1 Componentes De Un Acuífero.....	71
ANEXO 2 Mapa Edafológico De Los Mantos Subsuperficiales Del Complejo Los Volcanes.....	72
ANEXO 3 Tipos De Acuífero Según Geometría E Hidráulica.....	73
ANEXO 4 Cuadro De Norma De Agua Potable De El Salvador.....	74
ANEXO 5 Filtro Artesanal.....	75
ANEXO 6 Mapa De Agua Subterránea Presente En El ANP Parque Los Volcanes.....	76
ANEXO 7 Sensor Usado Para Toma De Muestras In Situ.....	77
ANEXO 8 Mapa De Cobre En Sedimento.....	78
ANEXO 9 Mapa De Mercurio En Sedimento.....	79
ANEXO 10 Mapa De Zinc En Sedimento.....	80
ANEXO 11 Mapa De Níquel En Agua.....	81
ANEXO 12 Mapa De Plomo En Agua.....	83
ANEXO 13 Mapa De Mercurio En Agua.....	85

## RESUMEN

Con el objetivo de conocer los niveles de toxicidad de metales pesados a nivel de mantos sub-superficiales, se llevo a cabo el presentes trabajo de investigación en el ANP Complejo los volcanes comprendiendo los departamentos de Santa Ana y Sonsonate; el trabajo consistió en realizar un monitoreo comprendido a partir de abril del 2008, hasta octubre del 2008; a nivel de seis fuentes sub-superficiales, pero en el proceso se termino descartando uno de los afluentes debido a que disminuyo la cantidad de agua producida. Las muestras tomadas fueron analizadas en el Laboratorio del INAGUA (Instituto Nacional del Agua) de Santa Ana, y las de sedimento se enviaron hacia la Universidad de Ohio donde se les realizaron sus respectivos análisis.

Obteniéndose como resultado niveles de contaminación arriba de lo permitido por la Normativa de Agua de El Salvador, mas no así, los resultados de sedimentos donde la mayoría están por debajo de los niveles bajos permisibles, teniendo como factor principal de influencia los niveles de precipitación que a su vez modifican el pH de los puntos de muestreo facilitando la solubilidad, comprobando que en los sitios de muestreo existe contaminación por metales pesados.

## I. INTRODUCCIÓN

América Latina y el Caribe es una región rica en agua: con solo un 15 por ciento del territorio y un 8.4 por ciento de la población mundial, recibe el 29 por ciento de la precipitación y tiene una tercera parte de los recursos hídricos renovables del mundo ([http//1](http://1)).

Del total de agua en el mundo sólo un 2.5 por ciento o 35 millones de kilómetros cúbicos, es de agua dulce en su mayor parte (casi el 70 por ciento en forma de hielos polares); del agua restante, la mayor parte se encuentra como humedad en el suelo o en depósitos acuíferos tan profundos que no resultan accesibles al consumo humano (algunos hasta 2 kilómetros bajo el nivel del mar (SAMTAC, 2000).

La renovación del agua dulce depende de su evaporación y posterior precipitación. El 80 por ciento de la evaporación mundial proviene de los océanos, y sólo un 20 por ciento de la precipitación cae en áreas terrestres. El agua utilizable se encuentra en lagos, ríos, humedad del suelo y depósitos subterráneos relativamente poco profundos, cuya renovación es producto de esorrentía o la infiltración. Estos recursos hídricos utilizables representan, en total, menos del 1 por ciento del agua dulce existente en el planeta. Mucha de esta agua teóricamente utilizable se encuentra lejos de las zonas pobladas lo cual dificulta o vuelve imposible su utilización efectiva (GEO 2003).

Considerando la oferta hídrica que se recibe a través de la lluvia en El Salvador, la cual tiene un promedio de 1,823 mm anuales; si se relaciona este promedio con el territorio nacional de 20,742Km.<sup>2</sup>, se obtiene una oferta hídrica de 37,826 millones de m<sup>3</sup> de agua al año.

Si se toma en cuenta el agua que se evapora y la que utiliza la vegetación, fenómeno conocido como evapotranspiración, que es del 67 por ciento, dejaría una disponibilidad potencial de 12,482 millones de m<sup>3</sup> al año en forma de aguas superficiales y subterráneas.

La cantidad de agua necesaria para fines de abastecimiento poblacional total del país, considerando 5.744.113 de habitantes para el año 2007 y una dotación diaria de 250 litros por persona, se requieren un millón cuatrocientos treinta y seis mil veintiocho punto

veinticinco de m<sup>3</sup> anuales (Multimedia 1), lo que representa solo un 4.4 por ciento de la disponibilidad hídrica potencial, quedando un 95.6 por ciento que pudiera ser utilizado para otros usos, según las demandas y prioridades nacionales. (Informe Nacional del Estado del Medio Ambiente, 2000).

Con el 61 por ciento del sistema de abastecimiento del servicio de agua potable se atiende una cobertura del 85 por ciento en las áreas urbanas y 35 por ciento en el área rural; sumando las fugas en el sistema de abastecimiento que se estiman en el orden del 39 por ciento y al desperdicio de muchos usuarios, se genera escasez en la disponibilidad de agua (ANDA, 1998), sumado a esto el agua carece de valor económico real, lo que incentiva su uso inadecuado y fomenta su desperdicio.

No todos cuentan con servicio de abastecimiento de agua potable, tal es el caso, de la mayor parte de población residente dentro del Complejo Los Volcanes el cual se encuentra entre los departamentos de Santa Ana y Sonsonate, El Complejo Los Volcanes corresponde al gran paisaje de la Cadena Volcánica Reciente y posee aproximadamente 4,500 hectáreas de extensión, de las cuales 2,000 son de tenencia estatal y 2500 de tenencia privada. El área se integra por el Cerro Verde y los Volcanes de Santa Ana e Izalco y cuenta con altitudes que van desde los 600 hasta los 2,300 metros sobre el nivel del mar(m.s.n.m); donde el consumo de agua es muy limitado; debido a la forma de obtención del vital líquido que puede ser comprada en pipas, a través de recolectores de agua ubicados dentro de las comunidades, o extrayéndolas desde distintos ojos de agua o nacimientos naturales dispersos dentro del Complejo Los Volcanes (CATIE-FIAES, 2004).

Por lo antes mencionado se procedió a conocer cuáles son las fuentes que presentan mayor índice de contaminación por metales pesados, dentro del ANP Complejo Los Volcanes y en su zona de amortiguamiento, seguido se procedió a la construcción de un filtro artesanal teniendo como resultados los datos plasmados en este presente trabajo.

## **II. FUNDAMENTO TEÓRICO.**

### **II.1 AGUAS SUBTERRÁNEAS.**

Son fuente de captación y un recurso hídrico fundamental.

Las aguas subterráneas al igual que las superficiales están en continuo movimiento, pero mucho más lento. Este movimiento depende de las características geológicas del terreno.

Las aguas pluviales alcanzan a penetrar el subsuelo y se infiltran hacia abajo primero pasando por la zona no-saturada del subsuelo; la capa donde están las raíces de las plantas y los poros del suelo llenos de aire. Cuando el agua infiltrada llega hacia la zona saturada, forma parte del agua subterránea. Produciendo lo que se conoce como recarga acuífera (FORGAES, 2006) (Anexo 1).

### **II.2 FORMACION, ELEMENTOS Y TIPOS DE ACUIFEROS.**

Las aguas subterráneas están contenidas en reservorios subterráneos conocidos como acuíferos.

#### **II.2.1 ACUÍFEROS.**

Depósito subterráneo de agua que se forma donde las condiciones geológicas son favorables (FORGAES, 2006).

Un acuífero es una formación geológica subterránea capaz de almacenar y conducir agua. El factor más importante que permite la ocurrencia de acuíferos es la característica geológica. Un acuífero para poder ser aprovechable debe estar constituido por un área de recarga, un depósito de aguas subterráneas y un área de descarga (Multimedia 1).

### **II.2.2 FORMACIÓN DE ACUIFEROS.**

Depende de la infiltración de las aguas superficiales.

Influyen diferentes factores:

Permeabilidad o porosidad del terreno: la porosidad del terreno puede producirse de tres formas o mecanismos diferentes:

Porosidad ínter granular: el agua penetra entre las partículas que forman el terreno.

Porosidad por fisuración: el agua se introduce en las fisuras del terreno (que es compacto)

Porosidad por disolución: el agua disuelve partes de ese terreno en circunstancias especiales (Http//5).

Suelos volcánicos: Los Latosoles Arcillosos Ácidos son, más profundos, antiguos y de mayor acidez por lo que presentan menor contenido en nutrientes. En El Salvador se extienden en las cotas más altas de la Cordillera Fronteriza sobre aproximadamente un 3.9 % de la superficie del país (Multimedia 2) (Anexo2).

### **II.2.3 ELEMENTOS CONSTITUYENTES.**

La base principal, sobre la que descansa un acuífero, está formado por una zona impermeable de: arcillas y granito.

Se distinguen dos zonas en el acuífero: zona de aireación y zona de saturación.

Zona de aireación: el agua no llena todos sus poros (es la capa más superficial del acuífero)

El agua está bajo la acción de dos fuerzas:

-Gravedad: provoca el descenso del agua.

-Capilaridad: fuerza que retiene al agua por atracción con las partículas del suelo.

-Zona de saturación: que es la situada encima de la capa impermeable, donde el agua rellena completamente los poros de las rocas. El límite superior de esta zona, que lo separa de la zona vadosa o de aireación, es el nivel freático y varía según las circunstancias: descendiendo en épocas secas, cuando el acuífero no se recarga o lo hace a un ritmo más lento que su descarga; y ascendiendo, en épocas húmedas.

La menor o mayor intensidad de cada una depende del diámetro de poro: diámetro < 0,06mm, predomina la capilaridad (FORGAES, 2006).

#### **II.2.4 TIPOS DE ACUIFEROS.**

Se clasifican los acuíferos según su geometría e hidráulica en cuatro tipos (Anexo3):

##### ***II.2.4.1 ACUIFEROS NO CONFINADOS (LIBRES).***

Su porción superior cubierto con materiales permeables. En caso de perforación, el nivel del agua de pozo no sube y está en equilibrio con la presión atmosférica (FORGAES, 2006).

##### ***II.2.4.2 ACUIFEROS CONFINADOS.***

Presentan una capa de menor permeabilidad encima del acuífero, que somete las aguas a una presión superior a la atmosférica, la cual sube mucho el nivel del agua dentro de un pozo (FORGAES, 2006).

##### ***II.2.4.3 ACUIFEROS SEMI-CONFINADOS.***

Se encuentran en una situación intermedia entre los dos anteriores (FORGAES, 2006).

##### ***II.2.4.4 ACUIFEROS COLGADOS.***

Una lente (formación rocosa dentro del acuífero, donde se acumula una parte de agua) menos permeable sustenta una “bolsa de agua”, que en muchos casos es espacialmente limitado. Este acuífero no tiene flujo horizontal de agua subterránea y se recarga solo por infiltración en épocas lluviosas de zonas muy cercanas. Se vacía rápido debido a su uso (FORGAES, 2006).

## **II.3 RECARGA Y DESCARGA.**

Un depósito de agua subterránea es aquel que contiene grandes cantidades de agua almacenada y donde se construyen pozos para poder obtener y aprovechar estas aguas.

### **II.3.1 ÁREA DE RECARGA.**

Es aquella en donde la lluvia se infiltra en grandes cantidades en el suelo, profundizándose por gravedad hasta alimentar los niveles del agua subterránea. Por tanto su función principal es captar agua lluvia (Multimedia 1).

### **II.3.2 ÁREA DE DESCARGA.**

Es aquella por donde el depósito dejar salir el agua que ya no puede almacenar (Multimedia 1). Cuando un acuífero no tiene un área de recarga se considera que prácticamente no es aprovechable, ya que sus reservas se terminan cuando se le explota por medio de pozos.

## **II.4 IMPORTANCIA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS Y SU PROTECCIÓN.**

Generalmente el agua subterránea está protegida de la contaminación directa debido a su cobertura y está libre de sustancias que perjudican la salud. Por eso se debería dar prioridad al suministro del agua potable, a través del agua subterránea, ante todos los demás recursos hídricos.

El agua subterránea debe de ser un bien público y requiere en todo el país una protección adecuada contra la contaminación y otros agentes negativos, en el interés de la salud pública y como parte de un equilibrio natural.

La protección del agua subterránea es de gran importancia, de manera que cuando existen diferentes demandas de uso (riego, consumo humano, usos múltiples, entre otros) que compiten entre ellas; por principio se debe dar prioridad al suministro de agua potable,

efectuándose los análisis pertinentes al agua subterránea, con el fin de determinar su potabilidad. (FORGAES, 2006).

## **II.5 EXTRACCIÓN POR MANANTIALES.**

Hay tres sistemas utilizados: la característica principal de todos ellos es la protección de la fuente de abastecimiento, en nuestro caso solo tomaremos los manantiales.

### **II.5.1 MANANTIALES.**

Son afloramientos naturales de las aguas subterráneas al exterior. Lo fundamental es evitar la contaminación del agua en su recogida. (Multimedia 4).

## **II.6 CALIDAD DEL AGUA.**

La percepción que tienen las personas del agua que van a tomar es totalmente sensorial. Pueden observar el color, la turbidez, sentir el sabor, el olor y la temperatura (todas características físicas) (Anexo 4).

El sabor tal vez dé una pista sobre sustancias disueltas tales como zinc o cloro, pero los usuarios dependen totalmente de los análisis de laboratorio y del control de tratamiento para conocer las características del agua.

Aunque ciertos olores y sabores detectados se deban a acciones biológicas, todavía depende de análisis (en este caso de tipo biológicos), para juzgar la calidad biológica del agua por tomar, con el menor riesgo posible de enfermedad (Http//6).

### **II.6.1 CALIDAD BIOLÓGICA.**

El agua debe de estar libre de cualquier tipo de microorganismos, como bacterias, protozoarios, helmintos y virus, que pueden dañar su salud y/ o causar enfermedades graves al consumidor, como el cólera, la disentería, la hepatitis y otras (Http//7).

### **II.6.2 CALIDAD QUIMICA.**

La propiedad solvente del agua resulta, en muchas formas, de los elementos que están presentes, en el estado disuelto, en el agua.

Los metales pesados, llamados así por tener mayor peso, al ser asimilados por el organismo del hombre le ocasionan graves consecuencias. Son pocas las sustancias tóxicas, que pueden estar en el agua, de las cuales se tiene información (Http//7).

## **II.7 CONTAMINANTES.**

Es cualquier sustancia o forma de energía que puede provocar algún daño o desequilibrio (irreversible o no) en un ecosistema, medio físico o un ser vivo. Es siempre una alteración negativa del estado natural del medio ambiente.

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 (Multimedia 4).

### **II.7.1 CONTAMINANTES DE AGUA DE CONSUMO.**

Son sustancias que hay que eliminar durante el tratamiento del agua. En nuestro caso de naturaleza mineral.

### **II.7.1.2 NATURALEZA MINERAL:**

Principales elementos que alteran las propiedades organolépticas del agua: Cu, Zn, Fe, Mn y Na (Anexo 4).

Elementos tóxicos más importantes: metales pesados (Hg, Cd, Pb), otros (As, Cr<sup>6+</sup>, CN<sup>-</sup>)

Eutrofización: debida a compuestos de P y N.

Elementos radiactivos (Multimedia 4).

## **II.8 PARAMETROS FISICO-QUIMICOS DEL AGUA.**

Los parámetros físico-químicos del agua, a investigar en este Trabajo de Graduación son los siguientes:

### **II.8.1 OXIGENO DISUELTO**

El Oxígeno Disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua y que es esencial para los riachuelos y lagos saludables. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua y cuán bien puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir.

Gran parte del oxígeno disuelto en el agua proviene del oxígeno en el aire que se ha disuelto en el agua. Parte del oxígeno disuelto en el agua es el resultado de la fotosíntesis de las plantas acuáticas.

La turbulencia de la corriente también puede aumentar los niveles de OD debido a que el aire queda atrapado bajo el agua que se mueve rápidamente y el oxígeno del aire se disolverá en el agua.

Además, la cantidad de oxígeno que puede disolverse en el agua (OD) depende de la temperatura. El agua más fría puede guardar más oxígeno en ella que el agua más caliente.

Los niveles de oxígeno disuelto típicamente pueden variar de 0 - 18 partes por millón (ppm) aunque la mayoría de los ríos y riachuelos requieren un mínimo de 5 - 6 ppm para soportar una diversidad de vida acuática. Además, los niveles de OD a veces se expresan en términos de Porcentaje de Saturación. (Ministerio de Salud, CONACYT, COSUDE, 1999).

## **II.8.2 CONDUCTIVIDAD**

La cantidad de electricidad que un agua puede conducir. Esta expresada en magnitudes químicas milivoltios (*mv*).([Http://:4](#))

La conductividad, es una medida que determina la habilidad de una solución acuosa de pasar la corriente eléctrica. Esta habilidad depende de la presencia de iones; concentración total, movilidad, y balance; en compuestos que son relativamente buenos conductores. De manera inversamente, las moléculas de compuestos orgánicos que no se disocian en solución acuosa conducen la corriente escasamente (Estándar Methods, 2005)

## **II.8.3 pH=Potencial de Hidrogeno.**

En 1909 el químico danés Sørensen definió el potencial hidrógeno (pH) como el logaritmo negativo de la actividad de los iones hidrógeno. Esto es:

$$\text{pH} = -\log_{10} [\text{aH}^+]$$

El pH típicamente va de 0 a 14 en disolución acuosa, siendo ácidas las disoluciones con pH menores a 7, y básicas las que tienen pH mayores a 7. El pH = 7 indica la neutralidad de la disolución (siendo el disolvente agua). Se considera que p es un operador logarítmico sobre la concentración de una solución:  $p = -\log [\dots]$ , también se define el **pOH**, que mide la concentración de iones OH<sup>-</sup>. ([Http//3](#))

## **II.9 INTOXICACION POR INGESTA DE METALES PESADOS.**

Metales de elevada densidad, tales como el cadmio, plomo, cobre, mercurio y cromo. En lenguaje coloquial, los metales pesados son los metales tóxicos, que tienen un efecto muy negativo sobre el medioambiente. Los principales autores clásicos que se ocuparon de temas toxicológicos describieron ya intoxicaciones crónicas por metales relacionados con la minería de los elementos más tóxicos como el mercurio o el plomo.

Entre los elementos metálicos intrínsecamente más tóxicos se encuentran los metales pesados Pb, Hg y el metaloide As (Htp//8).

Los valores permisibles de estos metales se encuentran en los anexos - y -, tomados de Norma Salvadoreña Obligatoria para la Calidad del Agua Potable. El Salvador.

### **II.9.1 COBRE (Cu).**

El cobre es un elemento natural, un metal que ha sido uno de los más valiosos y útiles materiales para la humanidad desde tiempos inmemoriales. Se representa mediante el símbolo químico Cu y el número atómico 29 (Cu29). Como elemento de origen natural, el cobre está presente, en diversas formas y concentraciones, en la corteza terrestre, océanos, lagos y ríos, como oligoelemento, en minúsculas cantidades, hasta en ricos yacimientos mineros. La vida animal, vegetal y humana ha evolucionado en esta presencia natural y la mayoría de los organismos disponen de mecanismos integrados para su utilización.

En todo el mundo, podemos encontrar cobre en los suelos. Aún así, en muchas ocasiones, el nivel de cobre es insuficiente para mantener prácticas agrícolas intensivas.

La falta de cobre es una cuestión muy importante en la producción alimenticia mundial, y tiene como consecuencia costosas pérdidas de producción y menor calidad de los productos. Los dos cultivos alimenticios más importantes del mundo, el arroz y el trigo, son muy sensibles a los suelos con bajo nivel de Cu29. En Europa se considera que 18 millones

de hectáreas cultivadas (equivalentes al 19% del terreno cultivable) tienen una biodisponibilidad deficiente en cobre. Para compensar el descenso de producción, es una práctica común en Europa Occidental y en otros lugares abonar los terrenos con fertilizantes ricos en Cu<sup>2+</sup> y con mejoras de sulfato de cobre ([http:12](http://12)).

### **II.9.2 CADMIO (Cd).**

El cadmio es un elemento químico de número atómico 48 situado en el grupo 12 de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es Cd. Es un metal pesado, blanco azulado, relativamente poco abundante. Es uno de los metales más tóxicos, aunque podría ser un elemento químico esencial, necesario en muy pequeñas cantidades, pero esto no está claro. Normalmente se encuentra en menas de zinc y se emplea especialmente en pilas.

El Cadmio puede ser encontrado mayoritariamente en la corteza terrestre. Este siempre ocurre en combinación con el Zinc. El cadmio es absorbido muy fácilmente por el cuerpo y especialmente por el hígado y los riñones. La acidificación aumenta la lixiviación del cadmio en mares y lagos. En el futuro, se espera que la contaminación por cadmio sea considerable, principalmente debido a su uso en fertilizantes artificiales. El cadmio desplaza al zinc, que es necesario para el organismo humano. Dada su toxicidad, es importante que el uso del cadmio cese totalmente. Los alimentos que son ricos en Cadmio pueden en gran medida incrementar la concentración de Cadmio en los humanos. Ejemplos son patés, champiñones, mariscos, mejillones, cacao y algas secas. Otros efectos sobre la salud que pueden ser causados por el Cadmio son:

- Diarreas, dolor de estómago y vómitos severos
- Fractura de huesos
- Fallos en la reproducción y posibilidad incluso de infertilidad
- Daño al sistema nervioso central
- Daño al sistema inmune
- Desordenes psicológicos
- Posible daño en el ADN o desarrollo de cáncer. ([http//11](http://11))

### II.9.3 MERCURIO (Hg).

Es un miembro del grupo II de los elementos metálicos con un Pm de 200,6. Su símbolo químico procede del latín hydrargyros que significa plata líquida, lo que indica su aspecto.

Es movilizado o liberado a la atmosfera o al suelo, por una serie de procesos naturales, incluyendo la desgasificación y erosión de la corteza terrestre, erupciones volcánicas, evaporación en hidrosfera e incendios forestales. La mayor parte aparece como Hg<sup>0</sup> debido a los procesos que se dan a nivel del suelo por efectos de la luz y diversas sustancias químicas, en suelos de tipo volcánico se encuentra en forma de sulfuro de mercurio HgS.

Se consideran niveles normales de Hg en sangre los inferiores a 10 µg/l y en orina de 20 µg/l. La dosis letal oral humana de cloruro mercúrico es de 30-50 mg/kg.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), considera aceptable una concentración en el agua de 0,001 mg/L y una ingesta semanal tolerable de 5 µg/kg de Hg total y 3,3 µg/kg de metil mercurio.

El cuadro clínico, que aparece a lo largo de semanas, meses o años, se caracteriza por un temblor involuntario de extremidades y lengua que aumenta con los movimientos voluntarios y desaparece durante el sueño. Se acompaña de alteraciones de conducta y estado de ánimo (ansiedad, irritabilidad, depresión) que se han descrito como una mezcla de neurastenia y eretismo, y de alteraciones mucosas (estomatitis y gingivitis con pérdida de piezas dentarias). Otros síntomas neurológicos son una poli neuropatía mixta sensitivo motora, anosmia, constricción del campo visual y ataxia.

La intoxicación crónica termina cursando con alteraciones renales que van desde la proteinuria al síndrome nefrótico; en fetos y en recién nacidos, la intoxicación por mercurio se cree, es causante del Síndrome Autista o conocido como Síndrome del Desarrollo y del Síndrome de Asperger (Multimedia 8).

#### **II.9.4 NIQUEL (Ni).**

El níquel es un nutriente esencial en muchas especies y en cantidades mínimas tiene funciones esenciales en humanos. Lo que afecta la salud es la exposición a elevadas cantidades y por tiempos prolongados al metal, produciendo comúnmente en el cuerpo humano, cáncer de las vías respiratorias, eczemas y dermatitis (Http//13).

#### **II.9.5 PLOMO (Pb).**

El plomo es un metal pesado, gris y blando muy difundido en la corteza terrestre. Se encuentra en la naturaleza como mezcla de 3 isótopos (206, 207 y 208). Su forma más abundante es el sulfuro de plomo (PbS), formando las menas de galena

Partiendo de que la exposición a una cierta concentración de plomo es inevitable, se considera que la concentración sanguínea de plomo normal en la población no especialmente expuesta es de 10  $\mu\text{g}/\text{dl}$  como máximo y que el nivel a partir del cual hay que tomar medidas en los niños es de 10-14  $\mu\text{g}/\text{dl}$ . (Http//9).

El Pb penetra en el organismo por todas las vías. La eliminación se produce sobre todo por orina y heces. La eliminación urinaria normal es de 30  $\mu\text{g}/24$  h. Los excesos pueden producir una alteración similar en la musculatura lisa intestinal produce el típico cuadro gastrointestinal, con dolor cólico, anorexia, vómitos y estreñimiento. Así mismo, se han descrito alteraciones endocrinas y reproductivas con infertilidad en ambos sexos, abortos, prematuridad y anomalías congénitas. Aunque se comporta como carcinógeno en modelos experimentales, no hay evidencia de carcinogenicidad humana, pero puede causar en niños problemas de aprendizaje y trastornos neurológicos que pueden llegar a la esquizofrenia (Http//9).

### **II.9.6 ZINC (Zn).**

El zinc o cinc es un elemento químico de número atómico 30 y símbolo Zn situado en el grupo 12 de la tabla periódica de los elementos. La etimología de zinc parece que viene del alemán, Zincken o Zacken, para indicar el aspecto con filos dentados del mineral calamina, luego fue asumido para el metal obtenido a partir de él ([http://14](#)).

### **II.10 USO DE FILTROS COMO PURIFICADORES DE AGUA.**

Una de las primeras técnicas aplicadas para la depuración de las aguas fue la de filtros lentos de arena. Por medio de su utilización, fue posible eliminar impurezas existentes y reducir drásticamente la cantidad de personas padeciendo enfermedades como el cólera.

Este principio para el tratamiento de aguas ha sido adaptado para dar soluciones a pequeña escala, y de uso unifamiliar.

De esta forma, aquellas aguas que tengan un aspecto turbio, podrán ser pasadas por materiales filtrantes y lograr mediante ese proceso mejores condiciones. En estos filtros, se desarrollan bacterias colaboradoras útiles para la eliminación de parásitos causantes de enfermedades que podrían tener las aguas turbias a filtrar (Anexo #5).

La filtración lenta es uno de los procesos de tratamiento de agua más efectivos, simples y económicos. Es apropiado para áreas rurales. Su diseño sencillo facilita el uso de materiales y mano de obra locales. Requiere poco o ningún equipo especial.

Este proceso difiere de la filtración rápida en arena, en su naturaleza biológica, su alta eficiencia y su facilidad de operación y mantenimiento para pequeñas comunidades.

Debido al movimiento lento del agua y al alto tiempo de retención, este proceso se asemeja a la percolación del agua a través del subsuelo ([http://:15](#)).

### **II.10.1 POROSIDAD DE CASCARA DE HUEVO**

La cáscara de huevo de gallina está compuesta por una matriz de fibras proteicas entrelazadas y cristales de calcita, en una proporción aproximada 1:50. La matriz fibrosa, compuesta por complejos proteína-mucopolisacáridos, rodea a la calcita e influye notablemente sobre la dureza mecánica de la cáscara. La capa calcárea contiene poros ubicados perpendicularmente a la superficie de la cáscara (10.000 a 50.000 por huevo), que permiten el intercambio gaseoso entre el interior y el exterior; formando canales que la atraviesan completamente. Tapizan las paredes interiores de la cáscara dos membranas, compuestas por fibras de complejos proteína-polisacáridos (Anexo 6) (<http://16>).

### **II.10.2 CASCARA DE HUEVO PARA ELIMINAR RESIDUOS TOXICOS DEL AGUA.**

El proyecto, llamado Eliminación del Pb(II) del agua por bioabsorción utilizando el cascarón de huevo, "usa el cascarón de huevo para eliminar de las efluentes líquidas residuos altamente tóxicos como el plomo", describió la Academia Mexicana de Ciencias (AMC) cuando en junio otorgó a los estudiantes el Premio Nacional Juvenil del Agua 2007.

Los jóvenes mezclaron cascarón de huevo molido en una solución líquida de plomo, y lograron remover más de 90 por ciento de los residuos del metal.

Se trata de un método bajo en costos y eficiente en tiempo. Además, el proceso puede ser usado en industrias pequeñas y grandes.

El plomo, altamente tóxico, es uno de los principales contaminantes de las aguas negras y México, según la AMC, es el principal consumidor de huevo del mundo (<Http//17>).

### **II.10.3 HIDROXIDO DE CALCIO $\text{Ca}(\text{OH})_2$ O CAL, PARA ELIMINAR RESIDUOS TOXICOS DEL AGUA.**

Eliminación de metales pesados haciéndolos insolubles con la adición de cal, de tal manera que aumente el nivel de pH, hasta volverlo más básico que ácido; teniendo como resultado la precipitación de un buen porcentaje de los metales pesados en el agua, de donde se puede extraer el sobrenadante como agua para consumo y el lodo formado por la adición, se agrega al suelo para ayudar a su recuperación, permitiendo un mejor uso de este a nivel de cultivos ([http//17](http://17)).

### **III. METODOLOGIA.**

El desarrollo de esta investigación consistió en dos fases: Fase de Campo y Fase de Laboratorio.

#### **III.1 ÁREA DE INTERES**

El parque Nacional Los Volcanes es una importante área de conservación natural de 4,500 hectáreas de extensión, integradas por tierras estatales, municipales y privadas que conforman los volcanes de Santa Ana, Izalco y Cerro Verde.

Se ubica en el extremo oriental de la Cordillera Apaneca-Ilamatepec, formada por unos 14 volcanes geológicamente jóvenes (entre 2 millones y 250 años), que van desde el volcán Cerro Grande de Apaneca hasta la Caldera del Lago de Coatepeque, en la región centro-occidente de El Salvador, entre los departamentos de Santa Ana y Sonsonate.

Este parque es un rico escenario de diversidad natural, pues cuenta con bosques nebulosos, donde el clima es muy fresco, lo que beneficia los cultivos de café, las plantaciones forestales y el crecimiento de una inmensa variedad de brómelias, orquídeas, aráceas, musgos, helechos y cactus.

Entre los árboles del Parque Los Volcanes habitan diferentes especies de animales como zorras, coyotes, venados de cola blanca, ardillas, pezotes, charas, águilas crestadas negras, tucanes verdes, serpientes timbo y ojos de gato, talconetes, bebeleches o anolis, ranas maki y ranitas cavernícolas; entre otras (CATIE-FIAES, 2004).

### **III.1.1 VOLCAN DE IZALCO**

El volcán de Izalco tiene una altura de 1,910 m.s.n.m, y representa un duro reto para los amantes de la aventura extrema, pues carece de vegetación y posee pendientes de hasta 45 grados.

Se sitúa a 8 ½ kilómetros al noroeste de la ciudad de Izalco y se puede ingresar a él a través de la Carretera a Sonsonate o bien desde El Congo, bordeando el Lago de Coatepeque (CATIE-FIAES, 2004).

### **III.1.2 VOLCÁN DE SANTA ANA O ILAMATEPEC (ILAMATEPEC = CERRO MADRE)**

El mayor de los volcanes y tercer punto más alto de El Salvador alcanza una elevación de 2,381 m.s.n.m. Su historia geológica se remonta a la época pleistocena, entre 22 y 1 millón de años atrás, erupcionando a intervalos irregulares aún en tiempos históricos recientes (su última erupción fue en 2004). Hace unos 50 mil años el volcán era mucho más alto, pero sufrió una avalancha de proporciones catastróficas que llegó hasta el océano, formando lo que actualmente conocemos como la península de Acajutla. Posteriormente se formaron dos cráteres, pero avalanchas internas provocaron una migración del cráter hacia el sureste, formando las mesetas internas que hoy día le caracterizan. El cráter actual tiene 1 km de diámetro y unos 300 m de profundidad, con una laguna sulfurosa en el fondo y activas fumarolas (CATIE-FIAES, 2004).

### **III.2 FASE DE CAMPO.**

El material usado para el análisis de los mantos sub-superficiales del complejo Los Volcanes y sus alrededores, fue colectado en suelos de origen volcánico, localizados en los departamentos de Santa Ana y Sonsonate; en un principio se tenían considerados 6 fuentes de consumo humano, pero al momento de toma de muestras se descalifican dos de las fuentes por tener una baja en la producción del vital líquido, quedando casi seco el afluyente durante casi 10 meses en el año 2008 y el otro prácticamente seco, siendo respectivamente el ojo de agua de El Limbo y el ojo de agua de Gross; por lo que se tomo al final un afluyente que no estaba establecido y que representa a Izalco, las demás muestras se tomaron en dos etapas que corresponden a una muestra líquida en frascos de polietileno de alta densidad y la otra muestra en forma de sedimento, descartando el afluyente llamado niña nicha en este proceso debido a que es de difícil acceso llegar hasta el fondo de su área de colecta, con el propósito de tomar la muestra de sedimento.

Las áreas de donde se colectaron las muestras a analizar, fueron las siguientes:

- Atecozol.
- El Arenal.
- Ojo de Agua Las Piletas.
- Ojo de Agua El Venado.
- Tanque Niña Nicha.
- El Limbo (desechado).

**Cuadro #1 Ubicación de Áreas de Muestreo**

<b>Nombre del lugar.</b>	<b>Ubicación geo-referencial.</b>	<b>Altura (m.s.n.m.).</b>	<b>Sesgo (mts).</b>	<b>Lugares a los que sirve agua.</b>
(*)Atecozol	N 13.746027 W -89.665813	427 mts.	6 mts.	Balneario Atecozol y zonas aledañas
(*)El Arenal	N 13.841613 W -89.687330	1121 mts	7 mts.	Cuyagualo Chaparrón Los Naranjos Finca Buenos Aires Parte de Santa Ana (alrededor de volcán)
(+)Las piletas (los Andes)	N 13.866012 W -89.626920	1945 mts.	7 mts.	Palo de Campana
(+)Ojo de agua el venado	N 13.866474 W -89.628290	1985 mts.	9 mts.	Tanques del Parque Potrero Grande Arriba Potrero Grande Abajo
(+)Tanque arriba de niña Nicha	N 13.869619 W -89.646401	1890 mts.	10 mts.	Buenos Aires
[+] El Limbo	N 13.865130 W -89.638780	2046 mts.	11 mts.	Buenos Aires

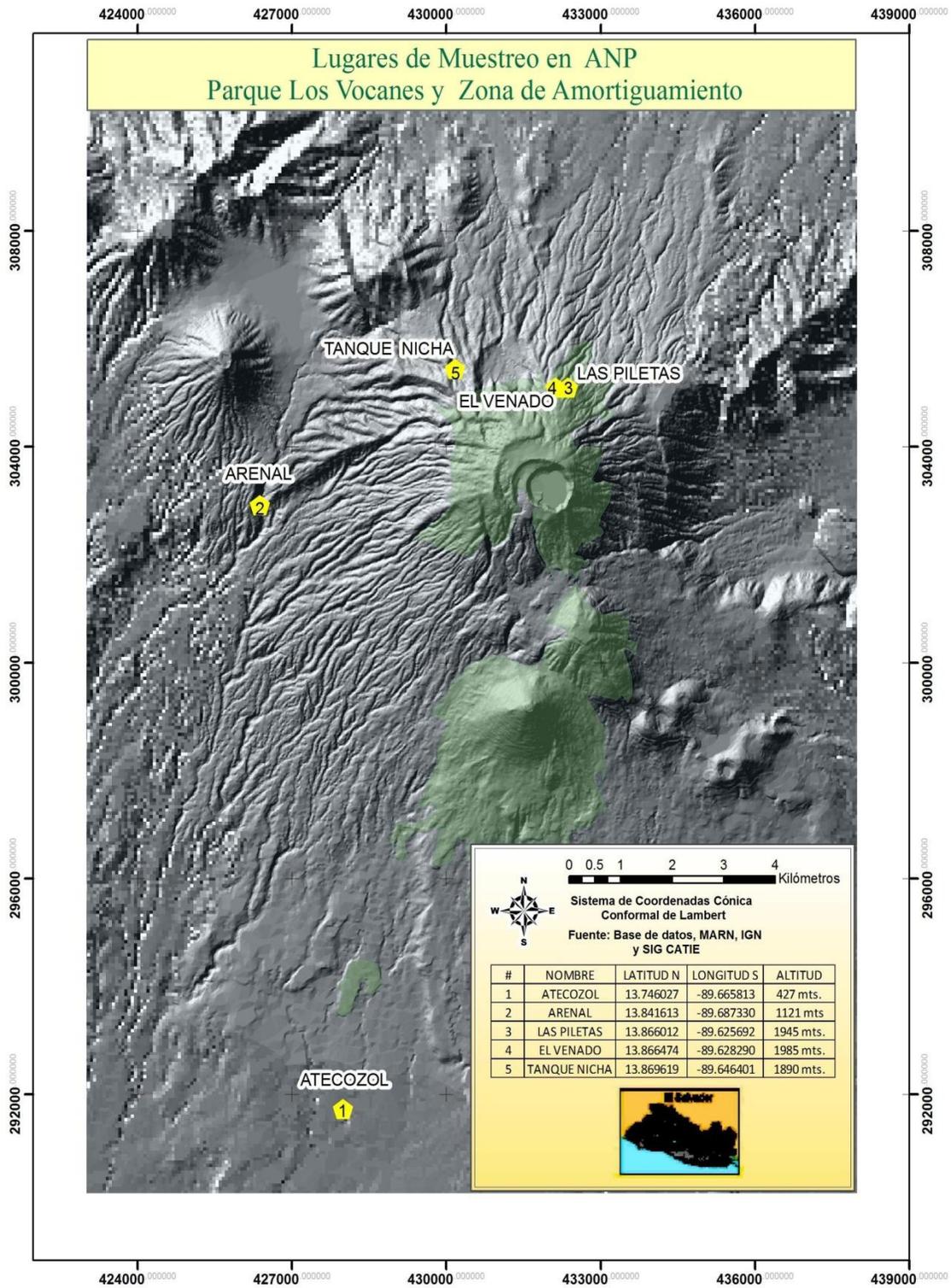
Datos tomados con GPS etrex marca Garmin;(puede tomar datos con 5 satélites).

(+) Corresponden al sector del Volcán de Santa Ana.

(\*) Corresponden al sector del Volcán de Izalco.

[+] Punto de Muestreo desechado por carencia de Agua.

**FIGURA 1: UBICACIÓN DE LOS CINCO SITIOS DE MUESTREO**



### III.2.1 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO.



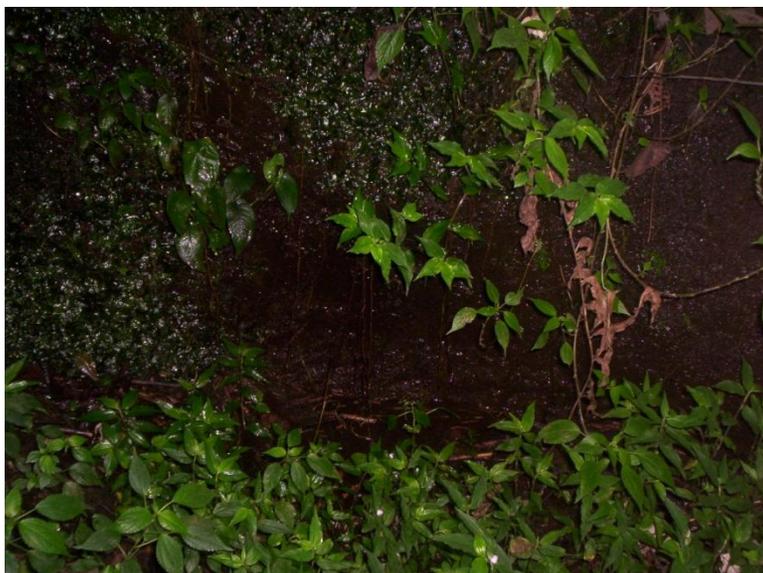
**Figura 2 y 3 Atecozol.**

a) Atecozol se ubica a 58 kilómetros de San Salvador, en el municipio de Izalco del Departamento de Sonsonate, en la carretera CA-8W. Con georeferencia de LN 13.746027 y LWG -89.665813, con elevación de 427 m.s.n.m., con un promedio de lluvia mensual en época lluviosa de 10.965 mm (SNET, Licda. Rosa María Araujo). Con suelo volcánico de tipo efusivas, andesítica y basáltica: piroclastitas (Multimedia 2) (Anexo2). Proporciona agua a fincas adyacentes, a casas aledañas y al turicentro en sí.



**Figura 4 y 5 El Arenal**

b) El Arenal situado en el cantón El Arenal, está localizado a unos 400 metros del desvío del cantón Arenal, Departamento de Sonsonate. Con georeferencia de LN 13.841613 y LWG -89.687330 elevación de 1121 m.s.n.m., con un promedio de lluvia mensual en época lluviosa de 11.022 mm (SNET, Licda. Rosa María Araujo). Abundante cantidad de gramíneas y vegetación riparia, con árboles de nance, pepetos entre otros. Zona de nacimiento del río del mismo nombre. Posee suelo volcánico de tipo efusivas, andesítica y basáltica: piroclastitas (Multimedia 2) (Anexo2). Posee dos estaciones de bombeo una de ANDA (Asociación Nacional de Acueductos y Alcantarillados) y otra de ONG CARE; proporciona agua población adyacente al nacimiento del río; a Cuyagualo, Chaparrón, Los Naranjos, Buenos Aires, parte de María Auxiliadora y alrededores del Volcán de Izalco, además de proporcionar agua a una parte de los Municipios de Nahuizalco y Juayua.



**Figura: 6 Las Piletas.**

c) Las Piletas, sector Los Andes, Volcán de Santa Ana o Ilamatepec, Departamento de Santa Ana, situado a 65 kilómetros al oeste de la capital. Con georeferencia de LN 13.866012 y LWG -89.626920 con una elevación de 1945 m.s.n.m., con un promedio de lluvia mensual en época lluviosa de 9.45 mm (SNET, Licda. Rosa María Araujo), con abundante gramíneas, arbustos como el pan caliente, helechos, musgos y líquenes, y rodeado por un bosque nebuloso; con suelo volcánico de tipo Latosol Arcillosos Ácidos (Multimedia 2) (Anexo2). Proporciona agua a la Comunidad Palo de Campana, aunque por el momento se encuentra fuera de uso, debido a la sustracción de parte de la cañería por personas inescrupulosas.



**Figura 7 Ojo de Agua el Venado.**

d) Ojo de Agua El Venado, sector Los Andes, Volcán de Santa Ana o Ilamatepec, Departamento de Santa Ana, situado a 65 kilómetros al oeste de la capital. Con georeferencia de LN 13.866474 y LWG -89.628290 con una elevación de 1985 m.s.n.m., con un promedio de lluvia mensual en época lluviosa de 9.45 mm (SNET, Licda. Rosa María Araujo). Posee una abundante vegetación en sus alrededores donde se pueden observar: gramíneas, arbustos, helechos de diferentes tamaños siendo el más grande el helecho arborescente, musgos, líquenes, orquídeas de suelo y arborícolas; y rodeado por un bosque nebuloso; con suelo volcánico de tipo Latosol Arcillosos Ácidos (Multimedia 2) (Anexo2). Cuenta con una estructura de recolección desde donde se proporciona agua a los Tanques del Parque Los volcanes Sector los Andes, Comunidad Potrero Grande Arriba y Comunidad Potrero Grande Abajo.



**Figura 8 El Limbo.**

e) El Limbo, Sector Buenos Aires, Volcán de Santa Ana o Ilamatepec, Departamento de Santa Ana, situado a 65 kilómetros al oeste de la capital. Con georeferencia de LN 13.865130 y LWG -89.638780 elevación de 2046 m.s.n.m., con un promedio de lluvia mensual en época lluviosa de 9.45 mm (SNET, Licda. Rosa María Araujo). Abundante gramíneas, cultivos de cartucho, arbustos como el pan caliente, helechos, musgos y líquenes; rodeado por una parte de bosque nebuloso y bosque artificial plantado; y otra parte compuesta por abundante roca y con suelo casi descubierto, situado en una de las cárcavas del volcán; Con suelo volcánico de tipo Latosol Arcillosos Ácidos (Multimedia 2) (Anexo2). Cuenta con su propia estructura de recolección desde donde se proporciona agua a la Comunidad Buenos Aires. (Solo se da descripción del lugar debido a que la cantidad de agua observada en los primeros dos muestreos fue escasa, tanto así, que se terminó descartando; los motivos de la falta de agua en este manantial están fuera del objeto de estudio de este trabajo de graduación).



**Figura 9 y 10 Tanque Arriba de Niña Nicha.**

f) Tanque Arriba de Niña Nicha, Volcán de Santa Ana o Ilamatepec, Departamento de Santa Ana, situado a 65 kilómetros al oeste de la capital. Con georeferencia de LN 13.869619 y LWG -89.646401 elevación de 1890 m.s.n.m., con abundante gramíneas, arbustos como el pan caliente, helechos, musgos, líquenes, brómelas, situado entre un bosque nebuloso y un bosque plantado artificial; con un promedio de lluvia mensual en época lluviosa de 9.45 mm (SNET, Licda. Rosa María Araujo). Con suelo volcánico de tipo Latosol Arcillosos Ácidos (Multimedia 2) (Anexo2). Cuenta con tres diferentes estructuras de recolección en forma de tanques desde donde se distribuye agua a las diferentes cantareras de la Comunidad Buenos Aires.

### **III.2.2 MATERIAL EXPERIMENTAL.**

El material utilizado para análisis, consistió en muestras agua y sedimento proveniente de las fuentes que poseen importancia de consumo en las diferentes comunidades que se encuentran dentro del ANP Complejo los Volcanes y sus alrededores.

Cada muestra se tomo tratando de evitar la menor contaminación de sobrenadantes posibles; y en el caso de las muestras de sedimento con pequeño excedente acuoso.

#### **III.2.2.1 COLECTA DEL MATERIAL EXPERIMENTAL.**

Para poder realizar la colecta de cada muestra, se realizo una visita de reconocimiento de cada uno de los lugares, de donde procede cada muestra recolectada, teniendo en cuenta la importancia de uso de cada uno de ellos y de la disponibilidad de agua en cada área de muestreo; seguido se envió carta al Ministerio de Medio Ambiente con la finalidad de solicitar el permiso correspondiente, de entrada al Área Protegida donde se encuentran la mayoría de los puntos de muestreo y para realizar las extracciones de cada muestra de agua; en el caso de Atecozol se solicito entrada a los Guarda recursos del Parque Turístico.

Antes de cada colecta se sometían los frascos estériles a un enjuagatorio previo con el agua a muestrear (un promedio de 3 enjuagues antes de tomar la muestra).

Dependiendo de lo que se quiere investigar, se utilizan dos métodos uno para aniones y otro para cationes.

#### ***III.2.2.1.1 Aniones.***

Se sumerge el frasco tomando la muestra desde el interior de los pequeños redictos formados en cada lugar y cerrando cada uno de los frascos dentro del agua, de esta forma se logra evitar la mayor cantidad de aire en el frasco. Seguido se le colocó la debida rotulación correspondiente y guardándolos en hielera para mantener un promedio de 4 °C. para ser trasportados al Laboratorio de Aguas en Santa Ana, donde fueron analizados.

#### ***III.2.2.1.2 Cationes.***

Se sumerge el frasco tomando la muestra desde el interior de los pequeños redictos, luego se les agrega 20 gotas de acido nítrico concentrado para evitar que los cationes de interés reaccionen al estar en el frasco, seguido se agrega un exceso de agua aforando hasta crear un pequeño exceso que se aprovecha para cerrar el frasco tratando de evitar la menor cantidad de aire posible el frasco colocándoles la debida rotulación correspondiente y guardándolos en hielera para mantener un promedio de 4 °C. para ser trasportados al Laboratorio de Aguas en Santa Ana, donde fueron analizados.

#### ***III.2.2.1.3 Sedimentos.***

En el caso de las muestras de sedimento, se recolectaba una pequeña cantidad de lodo directamente de las áreas de desagüe del manantial con una cuchilla que se limpiaba con el agua del lugar con el fin de aclimatarla y eliminar residuos anteriores que puedan interferir con la muestra. Seguido se colocaba lo recolectado en pequeños frascos, los que se empaquetaron y se enviaron con la debida rotulación a la Universidad de Ohio, donde la Doctora Dina Larios les realizo el análisis correspondiente.

### III.3 FASE DE LABORATORIO.

Se llevaron las muestras al INAGUA (instituto Nacional del Agua) donde se obtuvo la presencia de:

<u>Metal:</u>	<u>Técnicas estándar usadas en laboratorios:</u>
-Arsénico	- Absorción atómica. (No encontrado)
-Mercurio	- Absorción atómica.
-Níquel	- Absorción atómica.
-Nitratos	- Electrodo selectivo de iones nitrato. (No encontrado)
-Plomo	- Colorimetría.
-Silicio	- Colorimetría. (No encontrado)
-Sulfatos.	- Método turbidimétrico. (No encontrado)
-pH	- Sondas YSI 556MP de 3 sensores
-Análisis de sedimentos provenientes de cada uno de los manantiales.	

### **III.3.1 TÉCNICAS ESTÁNDAR**

#### **III.3.1.2 ABSORCIÓN ATÓMICA.**

En esta técnica se generan hidruros, reduciendo la muestra hasta la especie más oxidada, en el caso del arsénico a arsenito  $\text{As}^-$ , usando una lámpara especial con una selección de onda, con el propósito de determinar la presencia de los elementos; en este caso arsénico mercurio y níquel.

#### **III.3.1.3 COLORIMETRIA.**

Formación de complejo coloreado usando como agente complejante ditizona para plomo, y molibdato de amonio para silicio; a un pH determinado.

#### **III.3.1.4 ELECTRODO SELECTIVO DE IONES NITRATO.**

Medido a través de un espectrofotómetro, donde a la muestra se le agrega un complejo selectivo a un determinado pH, donde se lee la absorbancia a una determinada longitud de onda, para la especie de interés.

#### **III.3.1.5 MÉTODO TURBIDIMETRICO.**

A través de las propiedades ópticas del agua, utilizando un agente precipitante de cloruro de bario, tornándose la muestra de color lechosa, indicando la presencia de sulfatos.

### **III.3.1.6 SEDIMENTOS.**

Tratamiento de digestión ácida, que se le da a muestras sólidas, para luego correrlas a través de absorción atómica.

### **III.3.1.7 ANALISIS ESTADISTICO.**

Para el análisis estadístico se uso la tabla de frecuencias y el análisis de varianza o ANOVA, dando como resultado la comparación entre las variables a estudiar que son: cantidad de metales en partes por millón (ppm), sitio de muestreo, Altitud y sedimentos.

Todos los procesos estadísticos se realizaron con el programa SPSS vr. 18 (Editor de datos estadísticos).

## IV. RESULTADOS.

### IV.1 Presentación de resultados obtenidos en cuadros.

Cuadro#2. Resultados de metales encontrados en muestras de agua, en los puntos de muestreo por fecha, cantidad (ppm) y precipitación pluvial promedio.

Muestras de agua								
Sitio de Muestreo	Fecha	Georeferencia	Ni ppm	Hg ppm	Pb ppm	Precipitación Promedio mm	Altura Mts.	Estrato
El Arenal	30/04/2008	N 13.8416130 W -89.687330	0.06	0.002	0.00	1.42	1121	Medio
El Arenal	05/05/2008		0.07	0.002	0.00	6.68	1121	Medio
El Arenal	06/06/2008		0.08	0.003	0.00	21.85	1121	Medio
El Arenal	09/09/2008		0.22	0.002	0.01	24.12	1121	Medio
El Arenal	07/10/2008		0.23	0.003	0.02	11.21	1121	Medio
Atecozol	30/04/2008	N 13.746027 W -89.665813	0.14	0.003	0.05	4.85	427	bajo
Atecozol	05/05/2008		0.09	0.002	0.20	3.32	427	bajo
Atecozol	06/06/2008		0.09	0.002	0.09	18.2	427	bajo
Atecozol	09/09/2008		0.16	0.003	0.00	12.08	427	bajo
Atecozol	07/10/2008		0.24	0.003	0.00	10.95	427	bajo
Las Piletas	30/04/2008	N 13.866012 W - 89.626920	0.06	0.007	0.21	1.89	1945	Alto
Las Piletas	05/05/2008		0.05	0.006	0.22	4.76	1945	Alto
Las Piletas	06/06/2008		0.03	0.006	0.15	15.11	1945	Alto
Las Piletas	09/09/2008		0.16	0.003	0.13	11.37	1945	Alto
Las Piletas	07/10/2008		0.21	0.003	0.15	9.45	1945	Alto
El Venado	30/04/2008	N 13.866474 W -89.628290	0.06	0.003	0.02	1.89	1985	Alto
El Venado	05/05/2008		0.08	0.005	0.03	4.76	1985	Alto
El Venado	06/06/2008		0.10	0.003	0.00	15.11	1985	Alto
El Venado	09/09/2008		0.06	0.005	0.00	11.37	1985	Alto
El Venado	07/10/2008		0.10	0.003	0.05	9.45	1985	Alto
Nicha	30/04/2008	N 13.869619 W -89.646401	0.00	0.000	0.00	1.89	1871	Alto
Nicha	05/05/2008		0.09	0.004	0.06	4.76	1871	Alto
Nicha	06/06/2008		0.05	0.003	0.05	15.11	1871	Alto
Nicha	09/09/2008		0.09	0.006	0.09	11.37	1871	Alto
Nicha	07/10/2008		0.10	0.006	0.10	9.45	1871	Alto

Atraves de estos resultados se realizaron los análisis estadísticos correspondientes; cabe mencionar que a nivel de aguas existen más metales pesados diluidos pero sus concentraciones pueden ser demasiado bajas como para ser medidas por los aparatos de laboratorio como en el caso de arsénico donde se detecto presencia al titularse pero al medirse en aparato no se tubo lectura por estar en forma de trazas.

**Cuadro#3. Resultados de metales encontrados en muestras de sedimentos, en los puntos de muestreo por fecha y cantidad (mg/kg)**

<b>Muestras de sedimentos</b>							
Sitio de Muestreo	Fecha	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn	Estrato
		LEL=0.6	LEL=16	LEL=0.2	LEL=31	LEL=120	
		SEL=10	SEL=110	SEL=2.0	SEL=250	SEL=820	
N 13.8416130 W -89.687330							
El Arenal	05/05/2008	3.7	15.1	1.6	0.0	91.3	Medio
El Arenal	10/07/2008	6.3	70.9	0.0	49.5	177.3	Medio
El Arenal	09/09/2008	0.0	73.2	0.0	122.2	55.4	Medio
N 13.746027 W -89.665813							
Atecozol	05/05/2008	9.8	15.7	1.9	8.8	44.6	bajo
Atecozol	10/07/2008	7.8	108.8	1.0	216.8	169.2	bajo
Atecozol	09/09/2008	7.4	125.9	0.0	53.1	150.1	bajo
N 13.866012 W -89.626920							
Las Piletas	05/05/2008	9.5	17.6	2.1	97.4	146.8	Alto
Las Piletas	10/07/2008	2.3	117.4	0.0	27.9	225.9	Alto
Las Piletas	09/09/2008	5.8	141.2	0.0	353.0	85.0	Alto
N 13.866474 W -89.628290							
El Venado	10/07/2008	7.9	341.6	0.0	140.4	94.2	Alto
El Venado	09/09/2008	2.5	108.2	0.0	57.4	191.1	Alto

LEL: Nivel de Exposición más bajo  
 SEL: Nivel de Exposición severo  
 Según Norma de Sedimentos de New Jersey

A partir de los resultados obtenidos tanto en sedimento como en agua, se saca su tabla de frecuencias y su anova comparativa entre puntos de muestreo y altura.

#### **IV.1 Comparación de contaminación de níquel, mercurio y plomo entre los cinco puntos de muestreo (a nivel de manto sub superficial).**

Partiendo de estos resultados obtenidos se hace la tabla de frecuencias, donde se puede observar los porcentajes totales en los que se distribuye cada uno de los metales encontrados en las muestras de agua y sedimento en el ANP Complejo Los Volcanes y sus Zonas de Amortiguamiento.

#### **IV.1 Comparación de contaminación de níquel, mercurio y plomo entre los cinco puntos de muestreo**

La clasificación se realizó con la asignación de un código descriptivo visual (basado en color), así como en estratos; tomando en cuenta la Norma de Aguas de El Salvador, donde se menciona el nivel máximo permitido en el agua de consumo siendo este dato la base para colocar los diferentes rangos que se mencionan a continuación en la tabla #1 para cada metal y metaloide estudiado.

**Tabla#1 Rangos asignados para cada uno de los metales, basándose en un código descriptivo para mejor comprensión de cuadros y mapas.**

<b>Metal/Código</b>	<b>Sin contaminante</b>	<b>Máximo</b>	<b>Alto</b>	<b>Muy Alto</b>	<b>Extremo</b>
<b>Ni ppm</b>	0.00	<b>≤0.02</b>	<b>0.03-0.05</b>	<b>0.06-0.08</b>	<b>≥0.09</b>
<b>Hg ppm</b>	0.00	<b>≤0.001</b>	<b>0.002-0.004</b>	<b>0.005-0.007</b>	<b>≥0.008</b>
<b>Pb ppm</b>	0.00	<b>≤0.010</b>	<b>0.02-0.05</b>	<b>0.06-0.09</b>	<b>≥0.10</b>

Teniendo en cuenta que cada código representa diferentes rangos de contaminación en partes por millón, se procede a la obtención de la tabla de Frecuencias de cada uno de los contaminantes junto a su interpretación.

#### IV.1.2 Análisis estadístico de contaminación de níquel, mercurio y plomo entre los cinco puntos de muestreo (a nivel de manto sub superficial).

Tabla#2 Frecuencias de 25 muestras agua con análisis de Níquel (Ni) y su respectivo porcentaje para el año 2008.

Rango		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Válidos	sin contaminante	1	4.0	4.0
	alto	1	4.0	8.0
	alto	2	8.0	16.0
	muy alto	4	16.0	32.0
	muy alto	1	4.0	36.0
	muy alto	2	8.0	44.0
	extremo	4	16.0	60.0
	extremo	3	12.0	72.0
	extremo	1	4.0	76.0
	extremo	2	8.0	84.0
	extremo	1	4.0	88.0
	extremo	1	4.0	92.0
	extremo	1	4.0	96.0
	extremo	1	4.0	100.0
	Total	25	100.0	

De la Tabla #2 se obtienen los siguientes datos: que del 100% de muestras tomadas en el año 2008; el 56% de los casos obtenidos son extremos ( $\geq 0.09$  ppm), el 28% es muy alto (entre 0.06 y 0.08 ppm), el 12% es alto (entre 0.03-0.05 ppm) y el 4% no presento contaminación (0.00 ppm)

**Tabla#3 Frecuencias de 25 muestras agua con análisis de Mercurio (Hg) con su respectivo porcentaje para el año 2008.**

Rango		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Válidos	sin contaminante	1	4.0	4.0
	alto	5	20.0	24.0
	alto	11	44.0	68.0
	alto	1	4.0	72.0
	muy alto	2	8.0	80.0
	muy alto	4	16.0	96.0
	muy alto	1	4.0	100.0
	Total	25	100.0	

De la Tabla #3 se obtienen los siguientes datos: que del 100% de muestras tomadas en el año 2008; el 68% es alto (entre 0.002-0.004 ppm), el 28% es muy alto (entre 0.005-0.007 ppm) y el 4% no presento contaminación (0.00 ppm)

**Tabla#4 Frecuencias de 25 muestras agua con análisis de Plomo (Pb) con su respectivo porcentaje para el año 2008.**

Rango		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Válidos	sin contaminante	8	32.0	32.0
	máximo	1	4.0	36.0
	alto	2	8.0	44.0
	alto	1	4.0	48.0
	alto	3	12.0	60.0
	muy alto	1	4.0	64.0
	muy alto	2	8.0	72.0
	extremo	1	4.0	76.0
	extremo	1	4.0	80.0
	extremo	2	8.0	88.0
	extremo	1	4.0	92.0
	extremo	1	4.0	96.0
	extremo	1	4.0	100.0
	Total	25	100.0	

De la Tabla #4 se obtienen los siguientes datos: que del 100% de muestras tomadas en el año 2008; el 28% de los casos obtenidos son extremos ( $\geq 0.10$  ppm), el 12% es muy alto (entre 0.06-0.09 ppm), el 24% es alto (entre 0.02-0.05 ppm), el 4% de los casos tiene rango máximo ( $\leq 0.010$  ppm) y el 32% no presento contaminación (0.00 ppm).

**Tabla#5** Tabla con estadísticos descriptivos para los 5 puntos de muestreo con base en los diferentes metales analizados.

Metal	Sitio	N	Media	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
				Límite inferior	Límite superior		
Ni ppm	Arenal	5	.1320	.0261	.2379	.06	.23
	Atecozotl	5	.1440	.0672	.2208	.09	.24
	Piletas	5	.1020	.0045	.1995	.03	.21
	Venado	5	.0800	.0552	.1048	.06	.10
	Nicha	5	.0660	.0144	.1176	.00	.10
	Total	25	.1048	.0782	.1314	.00	.24
Hg ppm	Arenal	5	.00240	.00172	.00308	.002	.003
	Atecozotl	5	.00260	.00192	.00328	.002	.003
	Piletas	5	.00500	.00268	.00732	.003	.007
	Venado	5	.00380	.00244	.00516	.003	.005
	Nicha	5	.00380	.00071	.00689	.000	.006
	Total	25	.00352	.00282	.00422	.000	.007
Pb ppm	Arenal	5	.00600	-.00511	.01711	.000	.020
	Atecozotl	5	.06800	-.03492	.17092	.000	.200
	Piletas	5	.17200	.12202	.22198	.130	.220
	Venado	5	.02000	-.00634	.04634	.000	.050
	Nicha	5	.06000	.01112	.10888	.000	.100
	Total	25	.06520	.03515	.09525	.000	.220

En la tabla #5 se pueden observar los límites mínimos y máximos de los diferentes metales y metaloides encontrados en cada sitio de muestreo, junto con la media la cual nos servirá para realizar el análisis de varianza o ANOVA, pero para determinar si se puede realizar la ANOVA se realiza un análisis previo llamado Prueba de homogeneidad de varianzas (en este caso se usa la Prueba de Levene) si el valor de significancia es igual a 0.5 o menor significa que se puede realizar la ANOVA debido a que sus varianzas son homogéneas.

**Tabla#6** Tabla con resultado de la Prueba de Homogeneidad de varianzas (en este caso Prueba de Levene) de los 2 metales pesados y el metaloide con nivel de significancia de 0.05.

Metal	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Ni ppm	5.129	4	20	.005
Hg ppm	4.226	4	20	.012
Pb ppm	3.638	4	20	.022

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos donde el nivel de significancia es menor de 0.05 se procede a hacer el análisis de Varianza o ANOVA.

**Tabla#7** Análisis de Varianza de una sola vía.

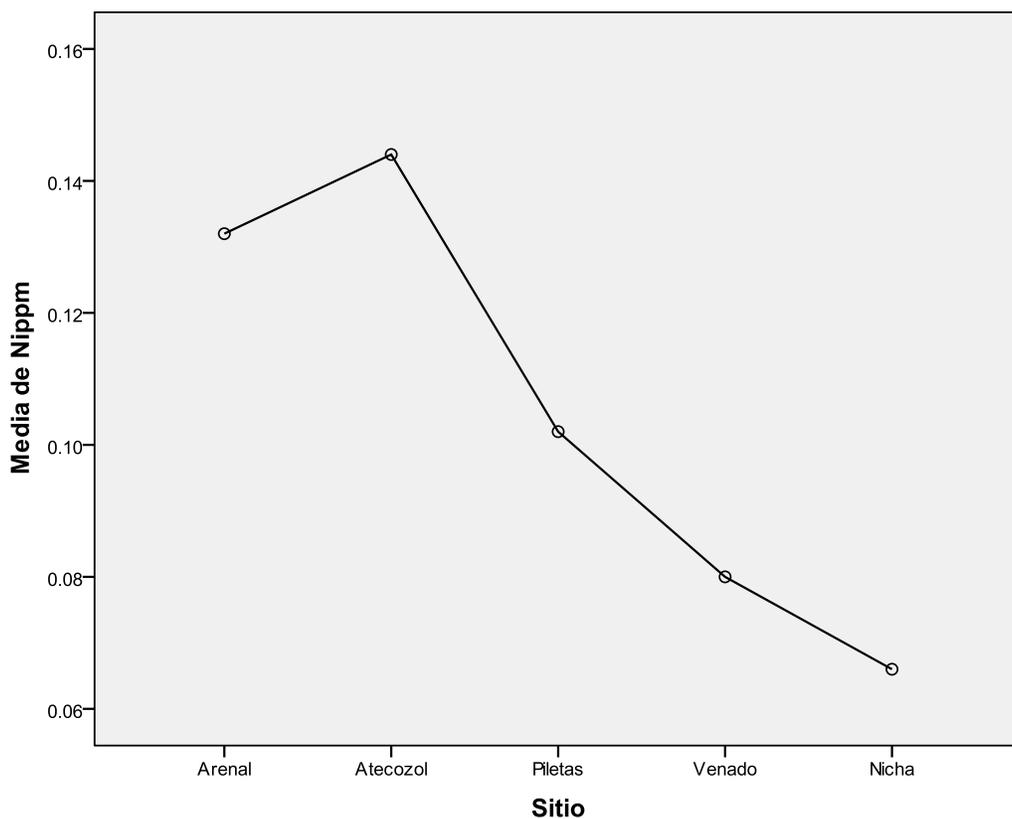
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Ni ppm	Inter-grupos	.022	4	.006	1.419	.264
	Intra-grupos	.078	20	.004		
	Total	.100	24			
Hg ppm	Inter-grupos	.000	4	.000	2.417	.083
	Intra-grupos	.000	20	.000		
	Total	.000	24			
Pb ppm	Inter-grupos	.085	4	.021	10.045	.000
	Intra-grupos	.042	20	.002		
	Total	.127	24			

Según los resultados de la tabla #7 los niveles de significancia observados en la tabla de ANOVA son mayores que 0.05 lo que representa las diferentes variaciones que existen de cada metal y metaloide, con respecto a los puntos de muestreo, rechazando por ende la hipótesis nula de ausencia o igualdad de metales pesados y metaloides en los puntos de muestreo.

### IV.1.3 Análisis grafico de contaminación de níquel, mercurio y plomo entre los cinco puntos de muestreo (a nivel de manto sub superficial).

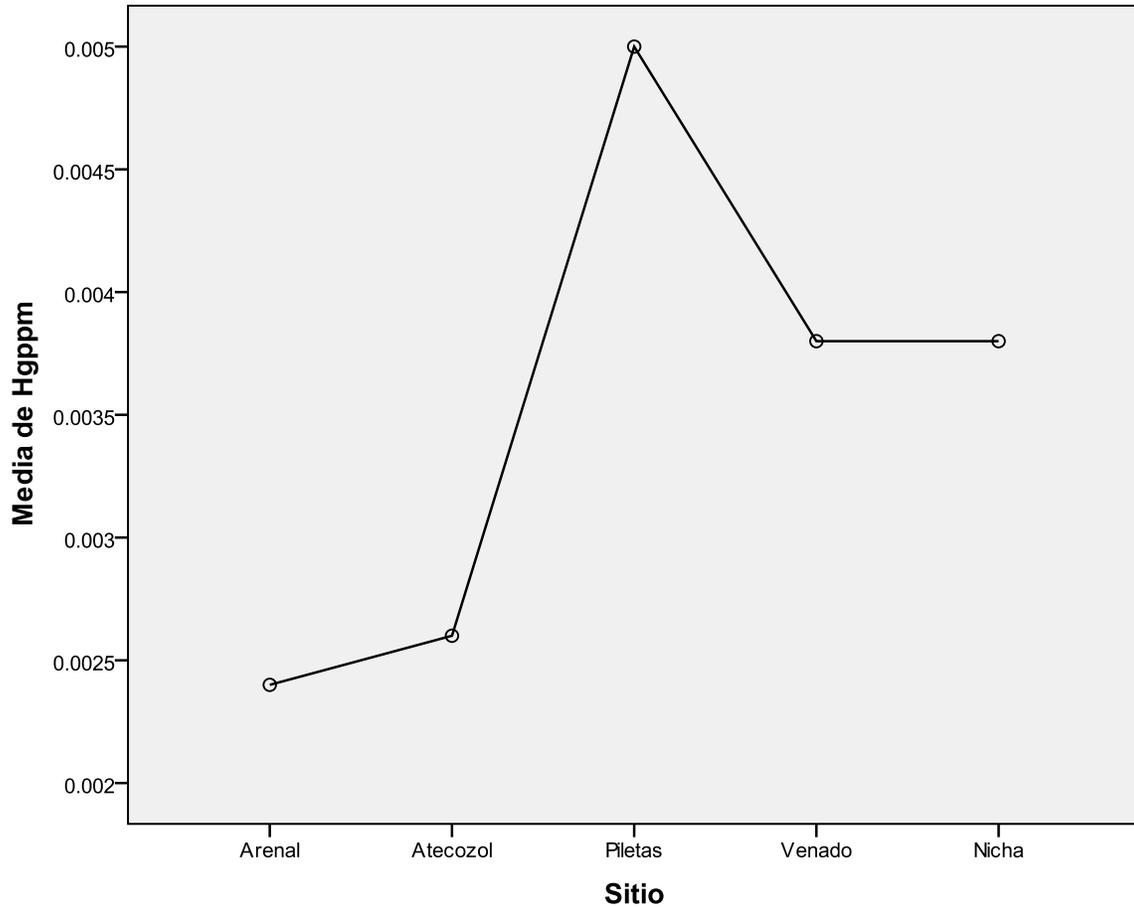
Representando de manera grafica el comportamiento de los contaminantes antes mencionado en relación a los puntos de muestreo tenemos:

**Grafico#1 Representación grafica de las Medias de Níquel (Ni)**



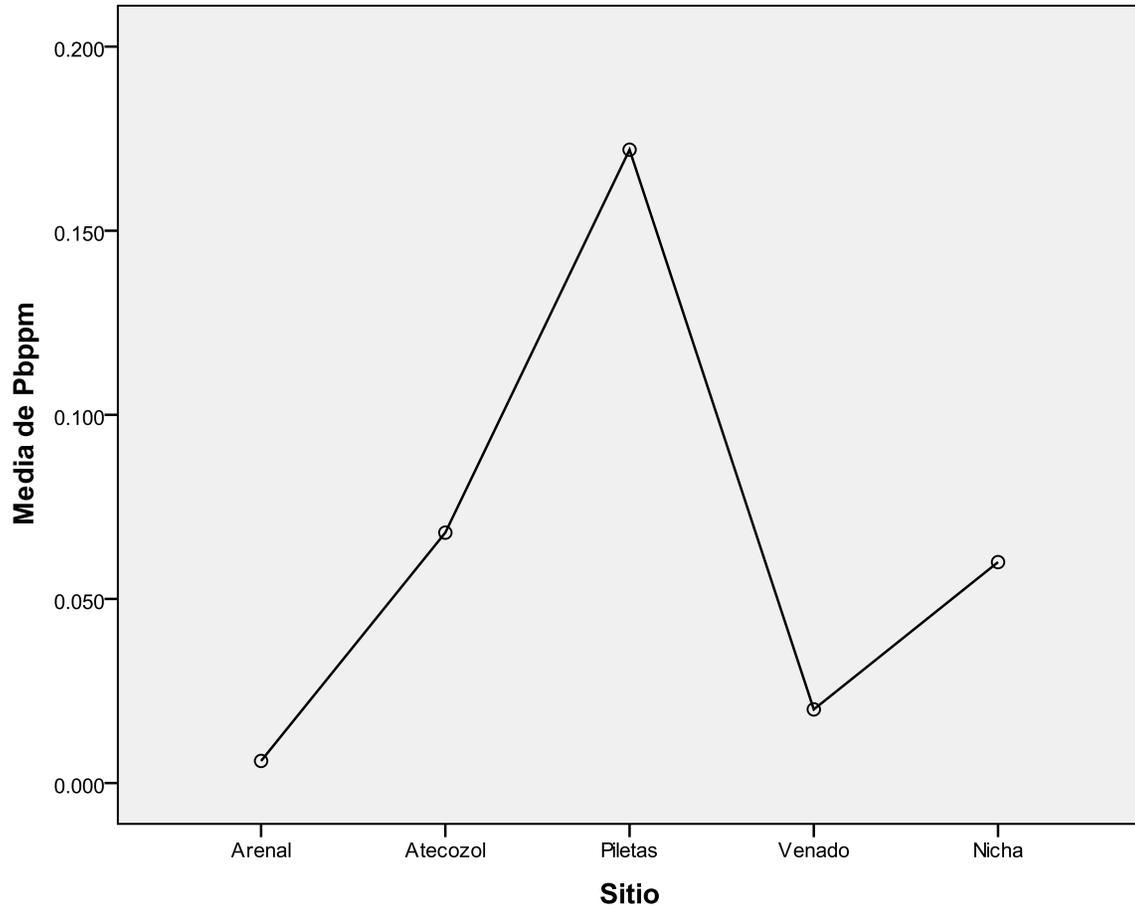
En el Grafico#1 se puede apreciar que el metal pesado níquel (Ni) tiene mayor presencia contaminante y por ende toxicológica a nivel de Atecozol, seguido en forma descendente por el punto de El arenal, Las piletas, El venado y Nicha.

**Grafico#2 Representación grafica de las Medias de mercurio (Hg)**



En el Grafico#2 se aprecia que el metaloide mercurio (Hg) tiene mayor presencia contaminante y toxicológica a nivel de Las piletas, seguido por el punto de El venado, Nicha, Atecozol, teniendo menor presencia en el punto de muestreo de El arenal.

**Grafico#3 Representación grafica de las Medias de plomo (Pb)**



En el Grafico#3 se puede apreciar que el metaloide plomo (Pb) tiene mayor presencia contaminante a nivel de Las piletas, seguido por Atecozol , Nicha, El venado y El arenal que es donde se encontraron los niveles más bajos.

## IV.2 Análisis estadístico de contaminación de níquel, mercurio y plomo entre los tres niveles de Altura (a nivel de manto sub superficial).

Para poder ser procesados en el software estadístico SPSS vr 18, se procedió a clasificar las alturas en tres estratos que son bajo, medio y alto; en la parte alta se representa la media de Las piletas, El venado y Niña Nicha; dando así la representatividad requerida para efectuar los análisis.

Como ya se conoce los porcentajes en los diferentes metales (ver tablas 2, 3 y 4), solo se procede a realizar la comparación de medias y el análisis de varianza.

**Tabla#8 Estadístico descriptivo para metales pesados y estratos de altura**

Metal	Altura	N	Media	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
				Límite inferior	Límite superior		
Ni ppm	bajo	5	.1440	.0672	.2208	.09	.24
	medio	5	.1320	.0261	.2379	.06	.23
	alto	15	.0827	.0544	.1109	.00	.21
	Total	25	.1048	.0782	.1314	.00	.24
Hg ppm	bajo	5	.00260	.00192	.00328	.002	.003
	medio	5	.00240	.00172	.00308	.002	.003
	alto	15	.00420	.00317	.00523	.000	.007
	Total	25	.00352	.00282	.00422	.000	.007
Pb ppm	bajo	5	.06800	-.03492	.17092	.000	.200
	medio	5	.00600	-.00511	.01711	.000	.020
	alto	15	.08400	.04305	.12495	.000	.220
	Total	25	.06520	.03515	.09525	.000	.220

En la tabla #8 se pueden observar los límites mínimos y máximos de los diferentes metales y metaloides encontrados por cada estrato, junto con la media la cual nos servirá para realizar el análisis de varianza o ANOVA.

**Tabla#9** Tabla con resultado de la Prueba de Homogeneidad de varianzas (en este caso Prueba de Levene) de los 2 metales pesados y el metaloide con nivel de significancia de 0.5.

**Prueba de homogeneidad de varianzas**

Metal	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Ni ppm	2.561	2	22	.100
Hg ppm	5.953	2	22	.009
Pb ppm	4.616	2	22	.021

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos donde el nivel de significancia es menor de 0.5 se procede a hacer el análisis de Varianza o ANOVA.

**Tabla#10** Análisis de Varianza de una sola vía.

**ANOVA**

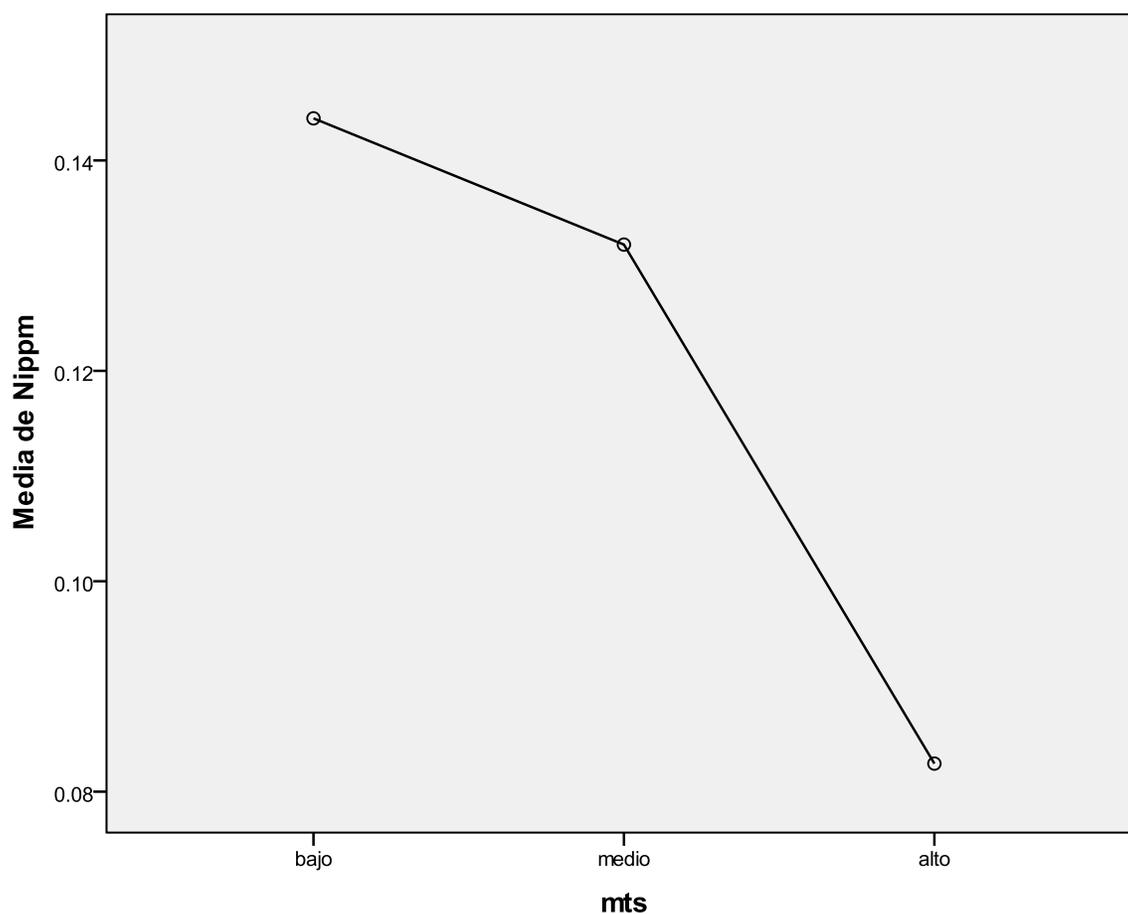
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	.019	2	.009	2.547	.101
Ni ppm Intra-grupos	.081	22	.004		
Total	.100	24			
Inter-grupos	.000	2	.000	3.776	.039
Hg ppm Intra-grupos	.000	22	.000		
Total	.000	24			
Inter-grupos	.023	2	.011	2.410	.113
Pb ppm Intra-grupos	.104	22	.005		
Total	.127	24			

Según los resultados de la tabla #10 los niveles de significancia observados en la tabla de ANOVA son menores que 0.5 lo que representa las diferentes variaciones que existen de cada metal y metaloide, con respecto a los estratos de muestreo, rechazando por ende la hipótesis nula de ausencia o igualdad de metales pesados y metaloides en los tres estratos presentes.

### IV.2.1 Análisis gráfico de contaminación de níquel, mercurio y plomo entre los tres niveles de altura (a nivel de manto sub superficial).

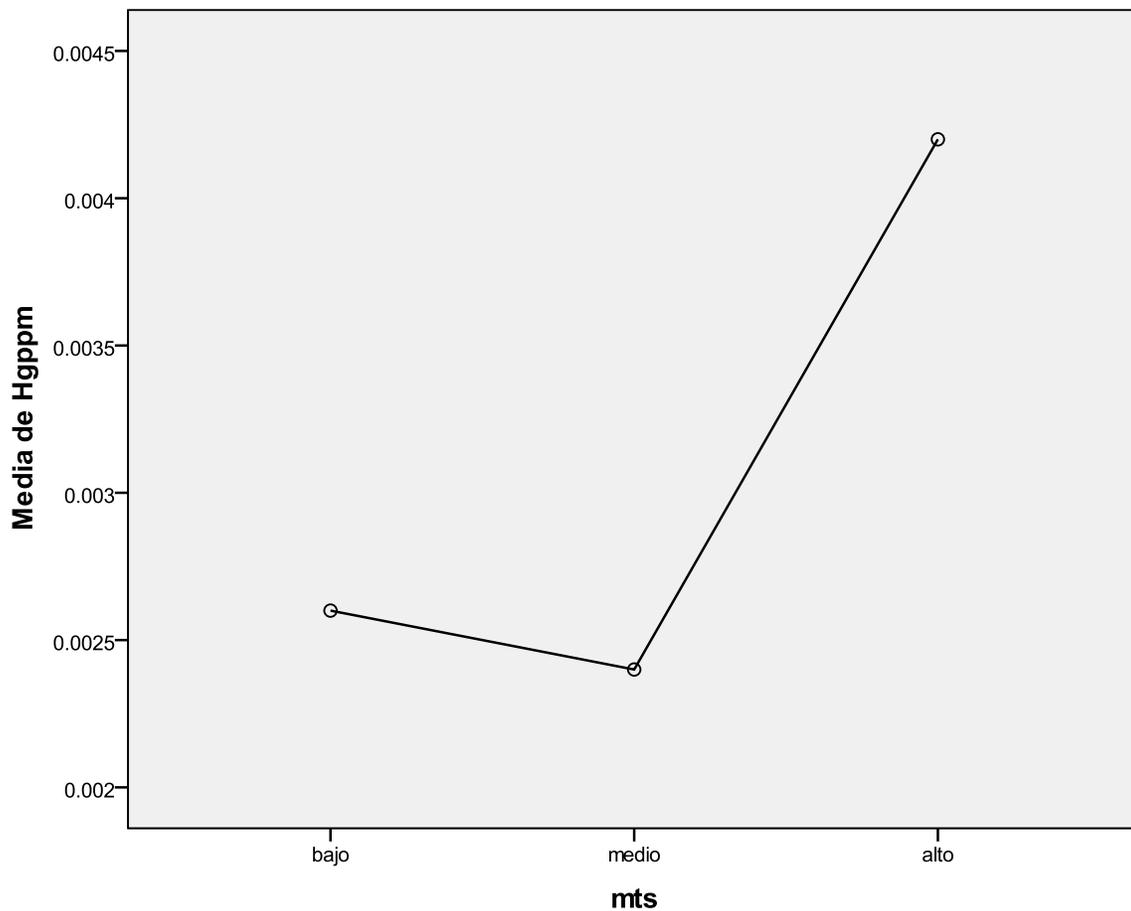
Representando de manera grafica el comportamiento de los contaminantes antes mencionado en relación a los puntos de muestreo a nivel de tres estratos de altura tenemos:

**Grafico#4 Representación grafica de las Medias de níquel (Ni) en los tres estratos.**



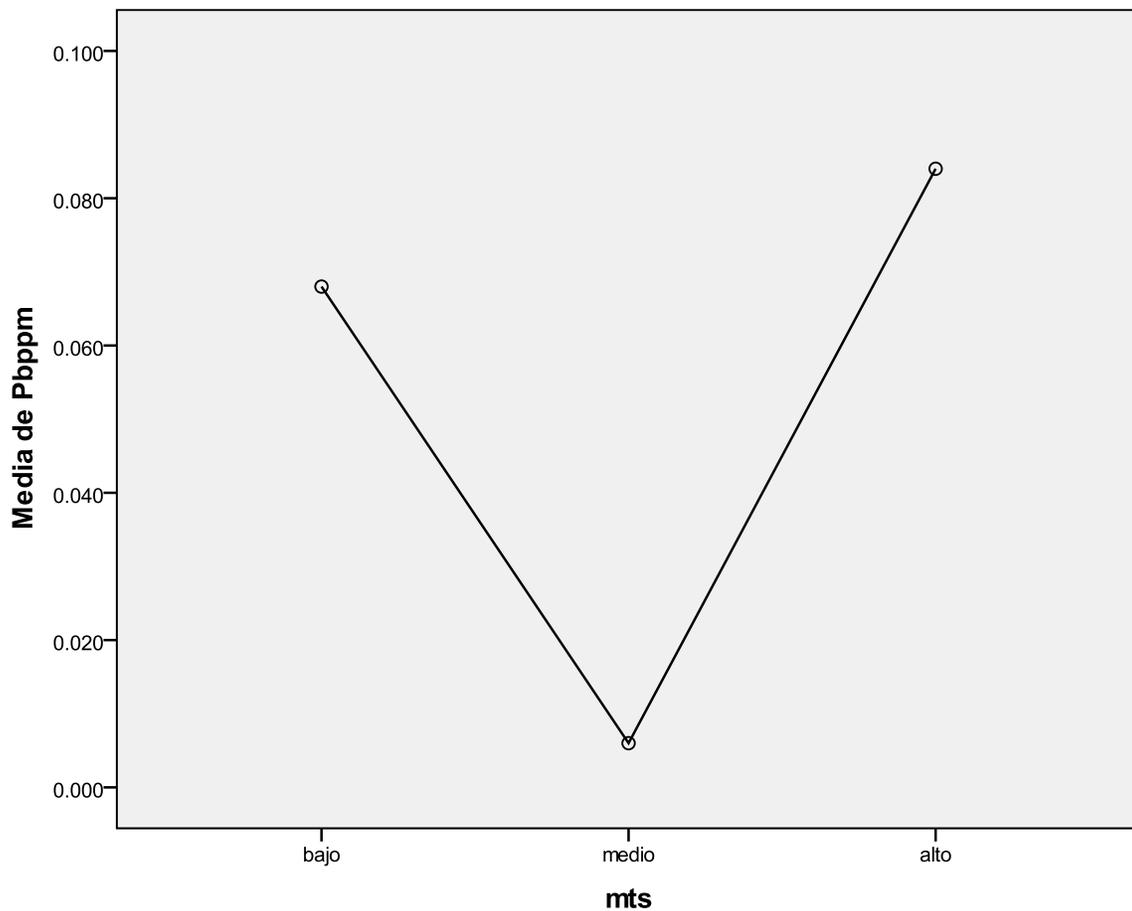
En el Grafico#4 se puede apreciar que el metal pesado níquel (Ni) tiene mayor presencia contaminante en la zona baja seguido de en disminución por la zona media y la zona alta.

**Grafico#5 Representación grafica de las Medias de mercurio (Hg) en los tres estratos.**



En el Grafico#5 se puede apreciar que el metaloide mercurio (Hg) tiene mayor presencia contaminante en la zona alta seguido en disminución por la zona baja y la zona media.

**Grafico#6 Representación grafica de las Medias de Plomo (Pb) en los tres estratos.**



En el Grafico#6 se puede apreciar que el metal plomo (Pb) tiene mayor presencia contaminante en la zona alta seguido de en disminución por la zona baja y la zona media.

### IV.3 Comparación de contaminación de cobre, cadmio, mercurio, plomo y zinc; entre los cinco puntos de muestreo (a nivel sedimento).

Tabla# 11 Rangos asignados para cada uno de los metales y metaloide, basándose en un código descriptivo para mejor comprensión de cuadros y mapas.

Metal	Norma de Sedimentos de New Jersey			
Cu mg/kg	≤16	17-65	66-109	≥110
Cd mg/kg	≤0.6	0.7-5.0	5.01-9.9	≥10
Hg mg/kg	≤0.2	0.03-1.00	1.0-1.9	≥2.0
Pb mg/kg	≤31	32-125	126-249	≥250
Zn mg/kg	≤120	121-425	426-819	≥820
niveles	LEL	ALTO	MUY ALTO	SEL

LEL: Nivel de Exposición más bajo (Low Exposition Level)

SEL: Nivel de exposición severo (Several Exposition Level)

Según Norma de Sedimentos de New Jersey ()

Partiendo del cuadro#3 se pueden obtener los siguientes datos: su respectiva tabla de frecuencias, y la tabla de medias, pero análisis de varianza no se puede realizar porque la muestra es demasiado pequeña, por lo tanto los niveles de significancia tienden a ser mayores del 0.5; por ello solo se graficaran las medias obtenidas con el propósito de visualizar el comportamiento de los metales en sedimentos por punto de muestreo como por altura.

**Tabla# 12 Medias de los diferentes metales y metaloide, por punto de muestreo.**

Cu mg/kg Cd mg/kg Hg mg/kg Pb mg/kg Zn mg/kg * Sitio						
Sitio		Cu mg/kg	Cd mg/kg	Hg mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
El Arenal	Media	52.2767	2.6800	.3467	33.0267	78.6867
Atecozol	Media	67.7667	5.7700	.6933	72.6067	112.7333
Las Piletas	Media	84.1000	4.6033	.7133	28.7600	112.7333
El Venado	Media	62.7500	2.6800	.0000	63.3000	63.8067
Total	Media	66.7233	3.9333	.4383	49.4233	91.9900

Con las medias obtenidas se realizaron los diferentes gráficos de comparación de medias para cada metal y metaloide con respecto a cada sitio.

**Tabla# 13 Medias de los diferentes metales y metaloide, por estrato de altura.**

Altura		Cu mg/kg	Cd mg/kg	Hg mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
bajo	Media	67.7667	5.7700	.6933	72.6067	112.7333
medio	Media	52.2767	2.6800	.3467	33.0267	78.6867
alto	Media	73.4250	3.6417	.3567	46.0300	88.2700
Total	Media	66.7233	3.9333	.4383	49.4233	91.9900

Con las medias obtenidas se realizaron los diferentes gráficos de comparación de medias para cada metal y metaloide con respecto las alturas.

**Tabla# 14 Tabla de frecuencias de cobre mg/kg (Cu) en sedimentos**

Nivel	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
SIN CONTAMINACION	1	8.3	8.3
LEL	2	16.7	25.0
ALTO	1	8.3	33.3
MUY ALTO	4	33.3	66.7
SEL	4	33.3	100.0
Total	12	100.0	

En la tabla# 14 se puede observar que del 100% de las muestras de sedimentos tomada en el año 2008, en 4 manantiales; el 8.3% no presento contaminación por cobre, el 16.7% se encuentra en los niveles bajos de exposición, el 8.3% tiene niveles altos, el 33.3% tiene niveles muy altos de exposición y el restante 33.3% tiene niveles de exposición.

**Tabla# 15 Tabla de frecuencias de cadmio mg/kg (Cd) en sedimentos**

Nivel	Frecuencia	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
SIN CONTAMINACION	2	16.7	16.7
ALTO	3	25.0	41.7
MUY ALTO	7	58.3	100.0
Total	12	100.0	

En la tabla# 15 se puede observar que del 100% de las muestras de sedimentos tomada en el año 2008, en 4 manantiales; el 16.7% no presento contaminación por cadmio, el 25.0% tiene niveles altos, el 58.3% tiene niveles muy altos de exposición.

**Tabla# 16 Tabla de frecuencias de mercurio mg/kg (Hg) en sedimentos**

Nivel	Frecuencia	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
SIN CONTAMINACION	8	66.7	66.7
MUY ALTO	3	25.0	91.7
SEL	1	8.3	100.0
Total	12	100.0	

En la tabla# 16 se puede observar que del 100% de las muestras de sedimentos tomada en el año 2008, en 4 manantiales; el 66.7% no presento contaminación por mercurio, 25.0% tiene niveles muy altos de exposición y el restante 8.3% tiene niveles de exposición severos.

**Tabla# 17 Tabla de frecuencias de plomo mg/kg (Pb) en sedimentos**

Nivel	Frecuencia	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
SIN CONTAMINACION	2	16.7	16.7
SEL	1	8.3	25.0
LEL	2	16.7	41.7
ALTO	5	41.7	83.3
MUY ALTO	2	16.7	100.0
Total	12	100.0	

En la tabla# 17 se puede observar que del 100% de las muestras de sedimentos tomada en el año 2008, en 4 manantiales; el 16.7% no presento contaminación por plomo, el 8.3% tiene niveles de exposición severos, el 16.7% se encuentra en los niveles bajos de exposición, el 41.7% tiene niveles altos, el 16.7% tiene niveles muy altos de exposición.

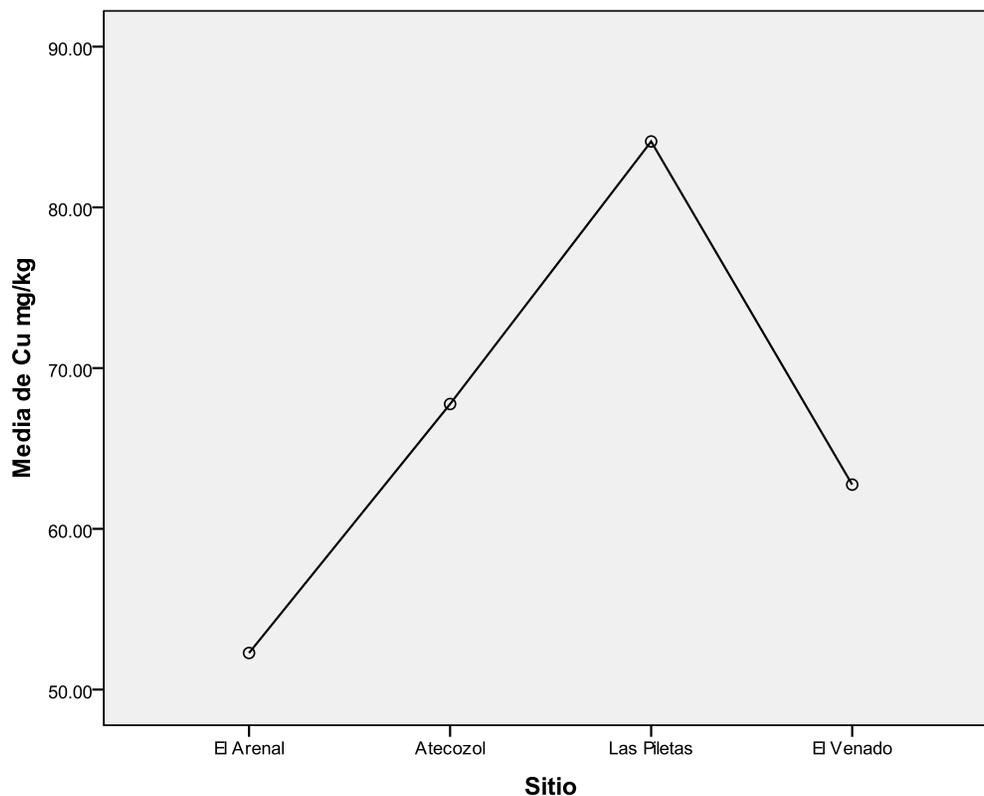
**Tabla# 18** Tabla de frecuencias de zinc mg/kg (Zn) en sedimentos

Nivel	Frecuencia	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
SIN CONTAMINACION	1	8.3	8.3
LEL	5	41.7	50.0
ALTO	6	50.0	100.0
Total	12	100.0	

En la tabla# 18 se puede observar que del 100% de las muestras de sedimentos tomada en el año 2008, en 4 manantiales; el 8.3% no presento contaminación por zinc, el 41.7% se encuentra en los niveles bajos de exposición y el 50% tiene niveles altos.

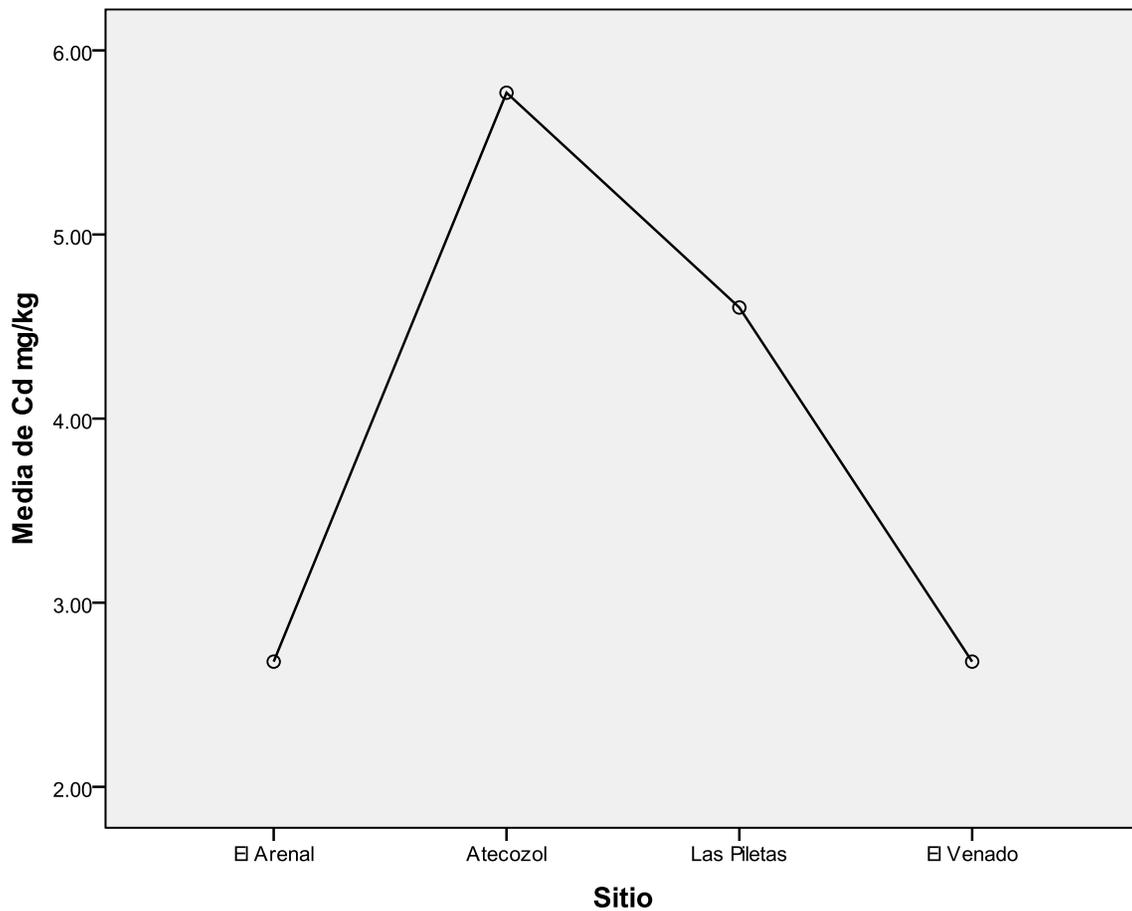
### IV.3.1 Análisis gráfico de contaminación de cobre, cadmio, mercurio, plomo y zinc entre los cuatro puntos de muestreo (a nivel de sedimentos).

Grafico#7 Representación grafica de las Medias de cobre (Cu) en sitios de muestreo.



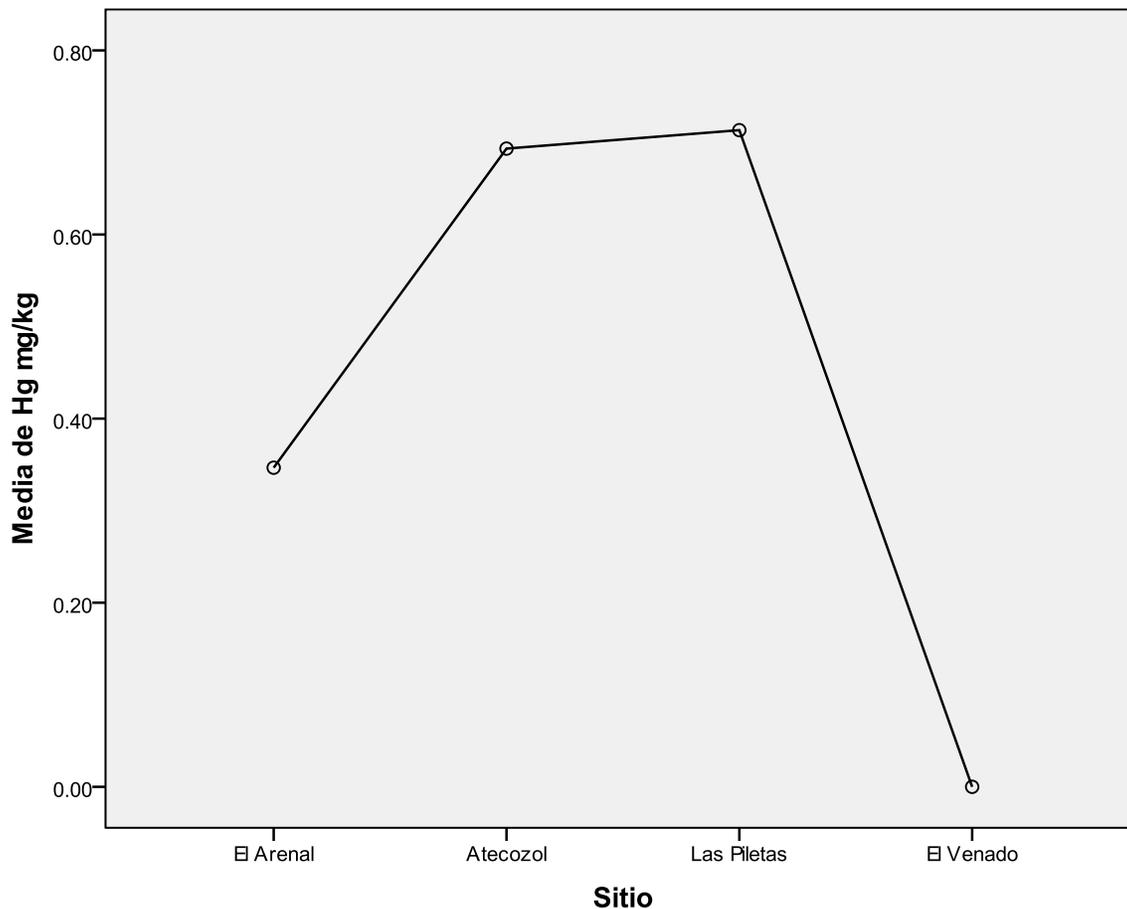
En el grafico #7 se puede observar que la mayor presencia de cobre en los 4 sitios de muestreo se da a nivel de las piletas, seguido por Atecozotl, el venado y el arenal.

**Grafico#8 Representación grafica de las Medias de cadmio (Cd) en sitios de muestreo.**



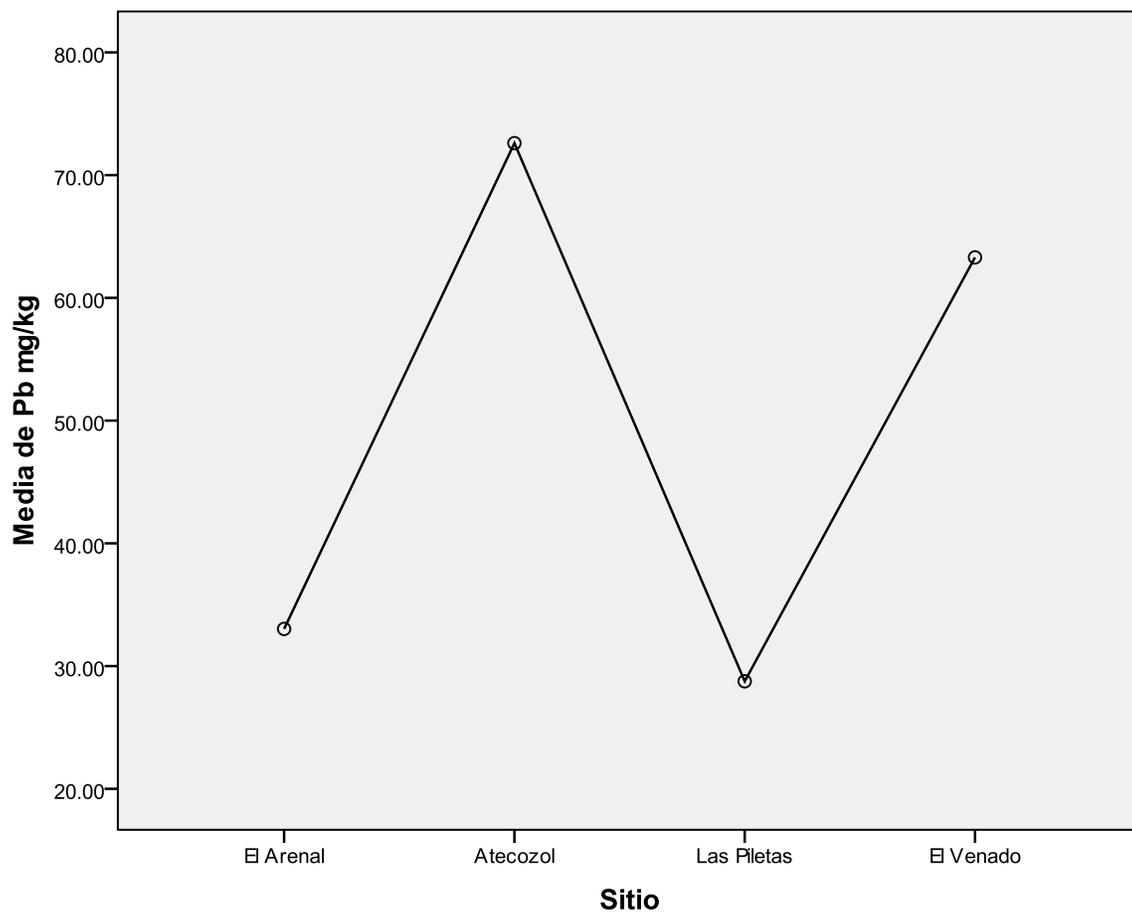
En el grafico #8 la mayor concentración de cadmio se da a nivel de Atecozol, seguido por las piletas, el venado y el arenal.

**Grafico#9 Representación grafica de las Medias de Mercurio (Hg) en sitios de muestreo.**



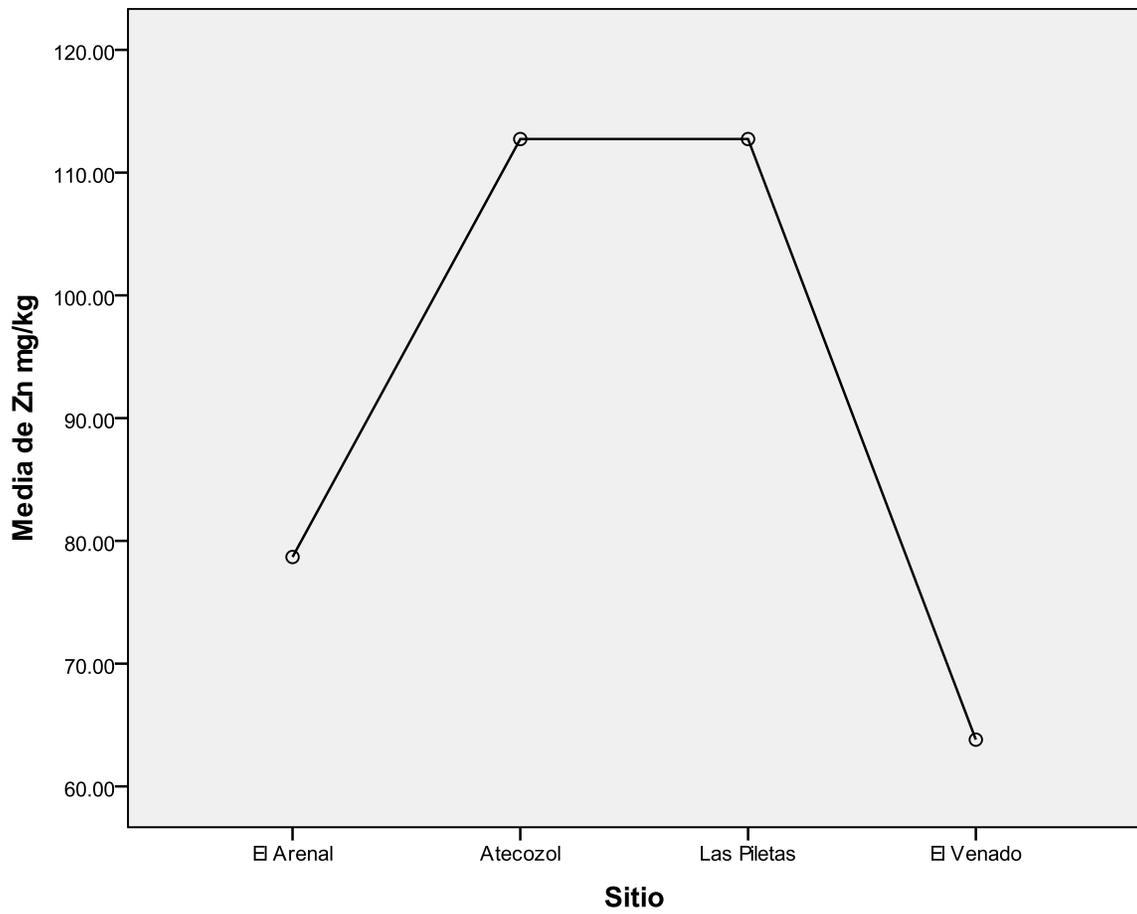
Se aprecia en el grafico #9 que la mayor concentración de mercurio en los 4 puntos muestreados fue a nivel de Las piletas, seguido por Atecozol, El arenal y por último El venado

**Grafico#10 Representación grafica de las Medias de Plomo (Pb) en sitios de muestreo.**



La mayor presencia de plomo a nivel de sedimentos se obtiene en Atecozotl, seguido de El venado, El arenal y Las piletas

**Grafico#11 Representación grafica de las Medias de Zinc (Zn) en sitios de muestreo.**



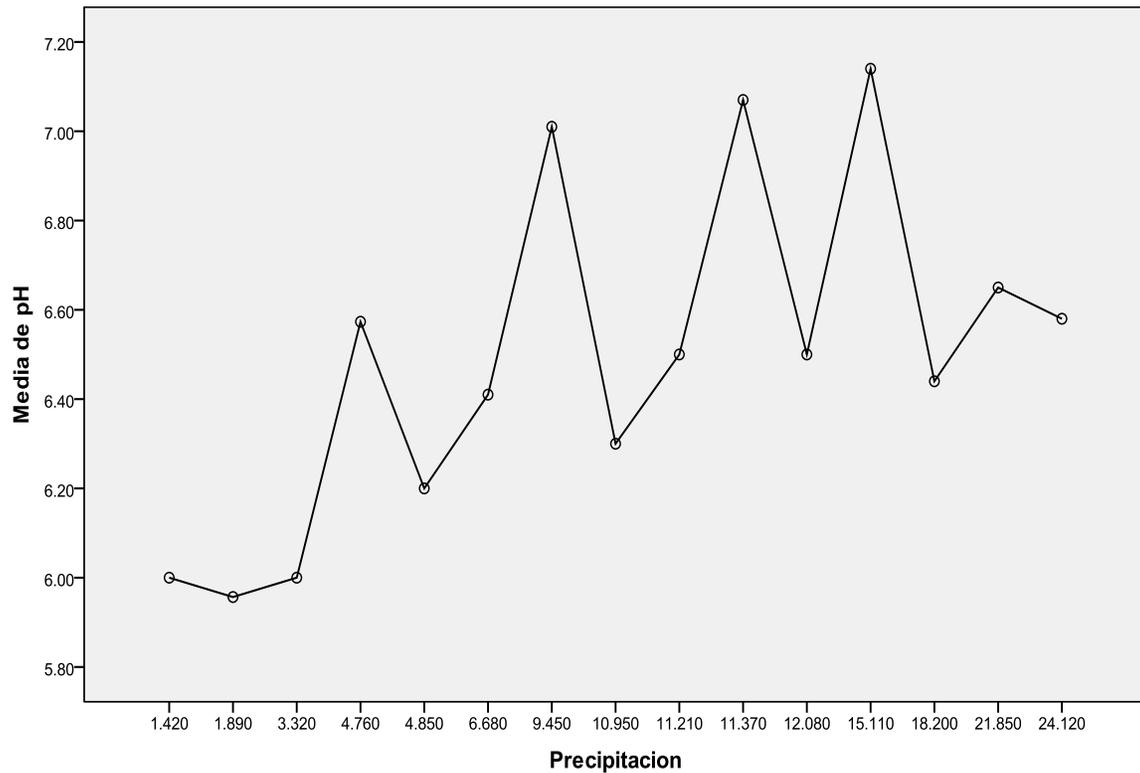
A nivel de Atecozol y Las piletas hay mucha semejanza en las concentraciones de zinc encontradas, seguido por El arenal y el venado donde se encuentra la menor cantidad de zinc en sedimento.

**Cuadro#4. Resultados de pH encontrados en los puntos de muestreo por fecha**

pH EN PUNTOS DE MUESTREO							
#	NOMBRE	30/04/2008	05/05/2008	06/06/2008	09/09/2008	07/10/2008	PROMEDIO
1	ATECOZOL	6.2	6	6.44	6.5	6.3	6.28
2	ARENAL	6	6.41	6.65	6.58	6.5	6.42
3	LAS PILETAS	5.6	7.11	7.27	7.15	7.08	6.84
4	EL VENADO	5.2	5.47	6.93	6.86	6.8	6.25
5	TANQUE NICHA	7.07	7.14	7.22	7.17	7.15	7.15

A nivel de Atecozol se obtiene un promedio de pH de 6.28, El arenal 6.42, Las piletas de 6.84, El venado 6.25 y Tanque Nicha 7.15.

**Grafico#12 Representación grafica de pH contra precipitación pluvial (mm).**



Al comparar pH vs precipitación, en el grafico se obtiene que a mayor cantidad de lluvia, el pH aumenta, lo que permite solubilidad de algunos metales pesados en el agua.

## V. DISCUSION DE RESULTADOS.

Los resultados obtenidos durante el proceso de muestreo, realizado en los meses de abril a octubre (con excepción de julio y agosto), se encontraron altos índices de contaminación en los manantiales, tomando como referencia la Norma Salvadoreña Obligatoria para la Calidad del Agua Potable (1999), en la cual se indican los valores máximos permitidos en agua de consumo, dando como resultado valores muy por arriba de lo establecido en el documento.

Cabe recalcar que de los metales propuestos a investigar como indicadores de contaminación de cuerpos de agua de origen volcánico, que fueron proporcionados por el Doctor Barraza (Técnico de Aguas de Ministerio Medio Ambiente y Recursos Naturales), solo se encontraron níquel, mercurio y plomo. Uno de los factores principales para encontrar solamente estos tres metales puede ser el factor físico de pH que se mantuvo en un promedio de 6 lo que permite que estos metales encontrados sean más solubles en agua, caso contrario los 4 metales restantes que necesitan pH más ácidos para poder ser solubles, según Navarro et al (2006).

Esto puede deberse a que la precipitación pluvial en los puntos de muestreo fue en la mayoría de los casos en aumento, lo que permite el arrastre de las partículas suspendidas en la atmosfera por el factor antropogenico; así como las presentes en la superficie del suelo, producto de las más recientes erupciones volcánicas siendo arrastradas a través de la infiltración hacia los mantos acuíferos.

Por ello si comparamos la precipitación pluvial contra pH, tal como se representa en el grafico número doce, da como resultado un aumento notable de pH, lo que facilita la

disolución de los metales pesados en el vital líquido, así como el afloramiento de bacterias que se encargan de oxidar o degradar los metales a nivel de manto freático.

Si se comparan los cinco puntos tomados para realizar el muestreo, el que resulta con mayor índice de contaminación es el de Las piletas tanto a nivel de agua como en sedimento, ubicado en el estrato alto a 1945 m.s.n.m., donde el efecto de las cenizas y gases expulsados por el volcán en las más recientes erupciones pueden haber comenzado a surtir efecto, ya que en sus alrededores aun se encuentran capas de ceniza volcánicas, posiblemente por estar ubicado en una pendiente menor, en comparación a El venado.

En segundo lugar tenemos a Atecozol donde la contaminación por níquel y plomo es mayor que la de mercurio a nivel de agua, pero a nivel de sedimentos Atecozol con una altura de 427 m.s.n.m., tiene un mayor rango de metales pesados, posiblemente por el arrastre de material a través del caudal subterráneo a lo que le sumamos el efecto de la acción de la gravedad, ya que este se encuentra en la zona más baja de muestreo, agregando que su zona de recarga acuífera comprende todo el área de las lavas del volcán de Izalco.

De las zonas de muestreo que poseen menor índice de contaminación tenemos a El arenal, que se encuentra alojado en el estrato medio con una altura de 1121 m.s.n.m., el cual está compuesto por múltiples manantiales conformando una micro cuenca de donde se obtiene la mayor cantidad de agua, característica que permite que surta hacia Cuyagualo, Chaparrón, Los Naranjos, Finca Buenos Aires, y zonas aledañas de la ciudad de Santa Ana.

Al realizar los análisis de Varianza (ANAVA) a las muestras de agua, nos da como resultado que si hay diferencias significativas de contaminación tanto entre cada uno de los puntos muestreados así como a nivel de estratos. Caso contrario en sedimentos donde los niveles de significancia obtenidos son mayores que el 0.05% de la F de snedecor, lo que

nos indica que no hay cambios significativos a nivel de contaminación, debido a que sus varianzas y medias no se comportan homogéneamente.

Con los resultados obtenidos se plantea la propuesta de la fabricación de un filtro artesanal basado en cascara de huevo, el cual funciona en el proceso de retención, pero aun necesita realizarse más pruebas con el propósito de generar mayor conocimiento que permita determinar un rango promedio de durabilidad, entre otros factores.

Otro método que se puede aplicar a nivel de campo y que ha dado resultados fuera del país, es el uso de hidróxido de calcio mejor conocida como cal,  $\text{Ca (OH)}_2$  que es capaz de sedimentar los diferentes metales pesados, dejando un sobrenadante con una mejor pureza de agua; además de que el lodo resultante puede ser aplicado a la recuperación de suelos ([http:17](http://17)).

## VI. CONCLUSIONES.

- Existe dependencia en el aumento de pH con respecto a la precipitación pluvial, lo que permite la solubilidad del mercurio, plomo y níquel en agua.
- Los niveles de metales pesados encontrados en sedimento están por debajo de los permitidos en la Normativa de Sedimentos de New Jersey, lo que indica que a pesar de estar presentes en los manantiales, no representan mayores riesgos a la población.
- De los cinco puntos de muestreo monitoreado, el orden en nivel de contaminación de mayor a menor es: Las piletas, Atecozol, Nicha, El venado y El arenal.
- Al comparar los sitios de muestreo por estrato de altura tenemos que la parte alta y la parte baja poseen mayor nivel de contaminación, mientras la parte media presenta los niveles más bajos.
- Con respecto a contaminación de sedimento el orden en descenso de contaminación es el siguiente Atecozol, Las piletas, El venado y El arenal.
- Entre los posibles motivos que afecten la ausencia de los otros metales pesados propuestos, puede ser por los diferentes procesos a nivel bacteriológico de oxidación-reducción, el nivel de pH promedio que no permite que la mayoría de metales se solubilicen permitiendo el enmascaramiento a través de sales u otros compuestos que solo pueden ser medidos a nivel de trazas.

- La tendencia de los metales pesados encontrados a nivel de de agua con respecto a los promedios de precipitación y pH, van de menor a mayor; por lo que se concluye que a mayor precipitación habrá mayor concentración de metales en agua, lo que a largo plazo puede causar daños a la salud de las personas que consumen agua de estos manantiales.
- Las zonas de protección para evitar focos de contaminación antropogenica, en los diferentes manantiales con excepción de Atecozol, resultan ser toda la ladera colindante en cada uno de los puntos de muestreo, según el manual FORGAES (2006), en el caso de Atecozol está muy difícil que se realicen las zonas de protección debido a que ya existen construcciones en los alrededores del manantial.
- Datos de oxígeno disuelto, sulfatos y nitratos no se colocaron debido a problemas a nivel de Facultad con Vulcanología, donde la maquina en la que se encontraban los resultados ya no pudo ser utilizada, resultando la perdida de vital información.

## VII. RECOMENDACIONES.

- Realizar estudios más puntuales, con el propósito de determinar los focos de contaminación de cada una de las fuentes, ya que se carece por completo de estudios a nivel nacional del estado de los mantos acuíferos para el ANP complejo los volcanes.
- Realizar trabajos similares para poder construir una base de datos, que permita ver el comportamiento de los metales pesados en el transcurso del tiempo.
- Contar con financiamiento, debido a que los análisis que se realizan en este tipo de estudios son costosos.
- Con el propósito de mejorar la calidad de agua en cada fuente es necesario la implementación de técnicas de depuración, mediante la gestión de recursos y ayuda técnica que provengan de ONG's, o de cualquier organismo nacional o internacional.
- Verificar a través de estudios las zonas exactas de recarga y cuantificar la capacidad de uso o explotación de cada manantial con el propósito de aumentar la cantidad de agua disponible para la parte alta muestreada.

## IX. LITERATURA CONSULTADA.

- ANDA, 1998, Informe de Labores 1998. El Salvador.
  
- AWA, APHA; WEF; 19<sup>th</sup> edition 1993, 2005, Standard Methods for the examination of water and wastewater.
  
- CATIE-FIAES, 2004. Proyecto “Monitoreo y Evaluación de Indicadores de la Biodiversidad del Complejo Los Volcanes y los Fenómenos Naturales y Antropicos que la afectan”. El Salvador.
  
- FORGAES Unión Europea, Método par Zonificaciones de Protección de fuentes de agua. El Salvador, 2006.
  
- GEO 2002, El Salvador, Centro América.
  
- GEO 2003. América Latina y el Caribe. Perspectivas del Medio Ambiente 2003. El Salvador.
  
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Informe Nacional del Estado del Medio Ambiente 2000. El Salvador
  
- Ministerio de Salud, CONACYT, COSUDE. Enero 1999, Norma Salvadoreña Obligatoria para la Calidad del Agua Potable. El Salvador.
  
- SAMTAC (South American Technical Advisory Committee – Global Water Partnership), 2000:  
*Agua para el siglo XXI, de la visión a la acción. América del Sur,*

SAMTAC, Estocolmo, Suecia y Buenos Aires, Argentina.

-Luis Echarri. , *Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente*, 1998 Ed. Teide, España.

## **Multimedia**

- 1- Diagnóstico \ primer Informe Parcial \Biofísico \Hidrología.
- 2- Diagnóstico \ primer Informe Parcial \Biofísico \Suelos.
- 3- Documento electrónico de Suelos.
- 4- Documento electrónico Aguas de Consumo Público.
- 5- Análisis Fagioli.
- 6- Manual sobre recolección de datos de calidad de aguas.
- 7- Programa Google Earth v.4.0
- 8-Documento electrónico Tesis Doctorado acumulación de mercurio y selenio en tejidos animales.
- 9-shapes de ANP Complejo Los Volcanes, trabajadas en ARC GIS 9.3
- 10-Documeto electrónico El Salvador Overview

## Páginas Web.

Http//1: AQUASTAT General summary Latin America and the Caribbean, FAO Agriculture, Land and Water Service, FAO, Roma, Italia

<http://www.fao.org/ag/agl/aglw/aquastat/regions/lac/index3.stm> Consultado el 12 de febrero del 2007 a las 10:30 p.m.

Http//2: Contaminación y purificación del agua

-<http://contaminación-purificación-agua.blogspot.com/> 12-12-06. 11:29 a.m.

Http//3: Ph

-<http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/agua.html#ELAGUA> 11:50pm 16-2-07

Http//4: Conductividad

-<http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/agua.html#ELAGUA> 11:50pm 16-2-07

Http//5 Formación acuíferos

<http://ingeodav.fcen.uba.ar/aula-gea/subsiste.html> 11:31pm 23-04-2007

Http//6: Calidad del agua

[http://www.fortunecity.es/felices/andorra/51/calidad\\_del\\_agua.htm](http://www.fortunecity.es/felices/andorra/51/calidad_del_agua.htm) 1:09pm 24-04-2007

Http//7: Calidad del agua

<http://www.monografias.com/trabajos24/agua/agua.shtml>

Http//8: Intoxicaciones.

<http://www.alexanderbonilla.com/files/agua/archivo9.htm>

Http//9: Plomo

<http://www.sagan-gea.org/hojared/Hoja19.htm>

Http//10: Metales pesados

<http://www.cfnavarra.es/salud/anales/textos/vol26/sup1/suple8a.html>

Http//11: Cadmio

-[http://www.uclm.es/users/higuera/MGA/Tema08/Minerales\\_salud\\_0.htm](http://www.uclm.es/users/higuera/MGA/Tema08/Minerales_salud_0.htm) 11:31PM 23-11-09

Http//12: Cobre

- [http://www.elcobre.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=79&Itemid=93](http://www.elcobre.com/index.php?option=com_content&view=article&id=79&Itemid=93)

Http//13: Níquel

<http://www.greenpeace.org/espana/contaminaci-n/contaminantes-mas-peligrosos/metales-pesados>

Http//14: Zinc o Cinc

[http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts60.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts60.html)

Http//15: Filtros

[http://www.col.ops-oms.org/saludambiente/guiafiltros.htm#Filtro%20casero%20\\_CARPOM](http://www.col.ops-oms.org/saludambiente/guiafiltros.htm#Filtro%20casero%20_CARPOM)

Http//16: Uso de cáscara de huevo

[http://www1.unne.edu.ar/cyt/2000/8\\_exactas/e\\_pdf/e\\_053.pdf](http://www1.unne.edu.ar/cyt/2000/8_exactas/e_pdf/e_053.pdf) jueves26 de agosto2007

Http//17: Huevo para eliminar metales pesados en aguas.

<http://www.jornada.unam.mx/2007/08/16/index.php?section=ciencias> 16-08-2007

Http//18: Metales pesados en aguas residuales.

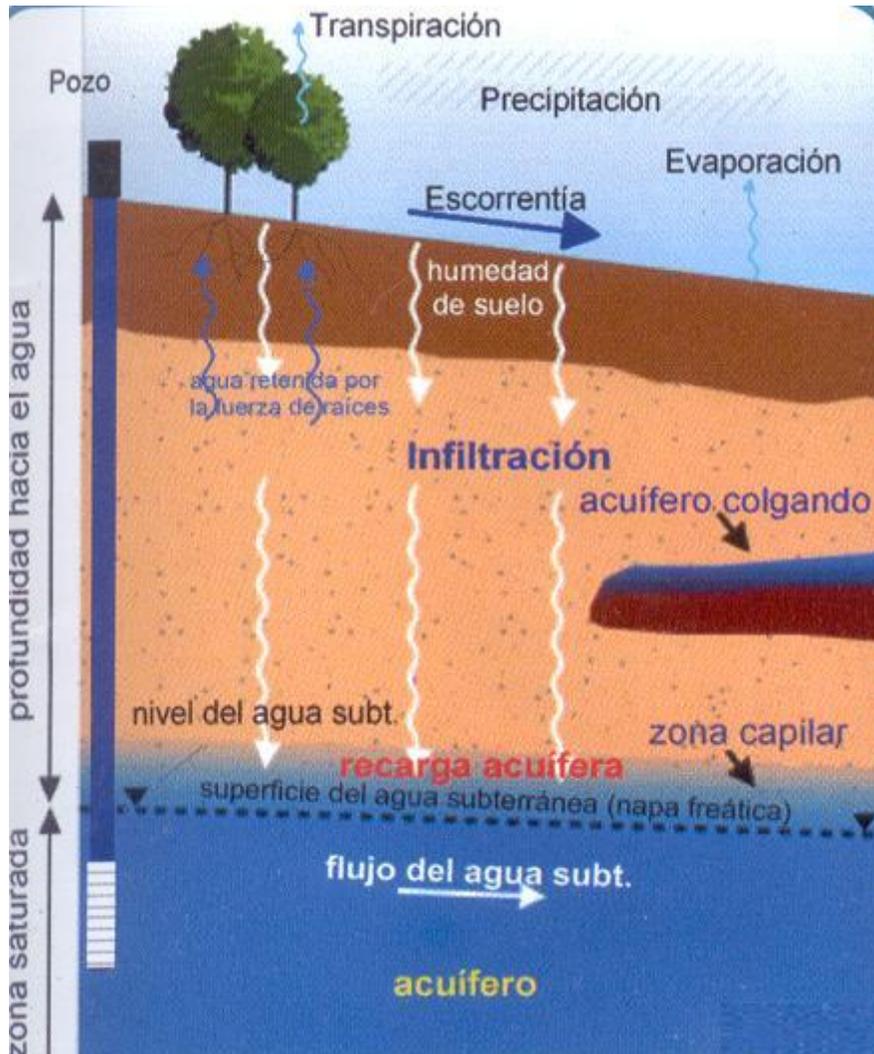
<http://weblogs.madrimasd.org/remtavares/archive/2008/02/02/83698.aspx> 02-02-2008 7:28 pm

## **Entrevista**

Datos de Lluvia proporcionados por Licda. Rosa María Araujo, SNET

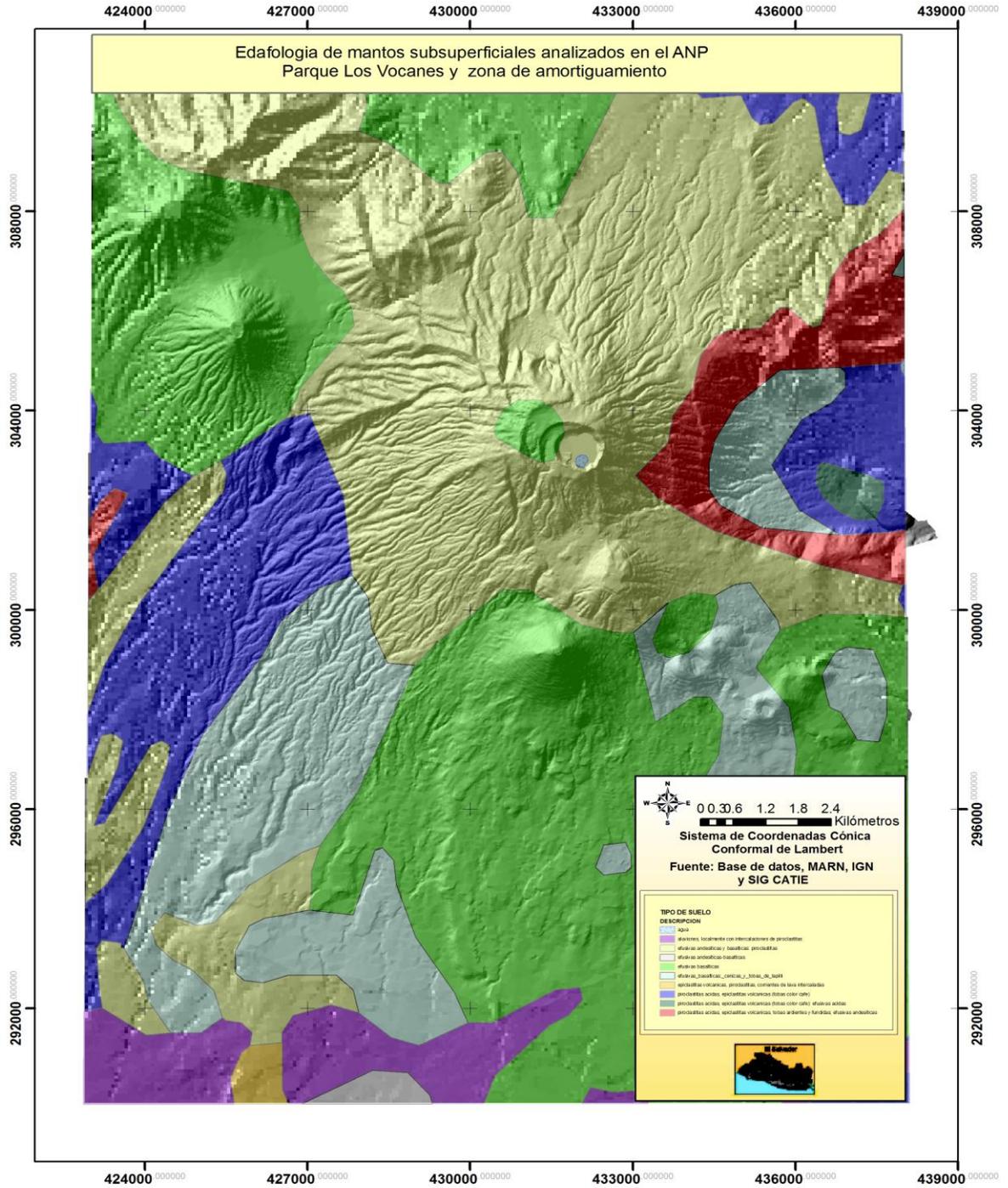
# ANEXOS

# ANEXO 1

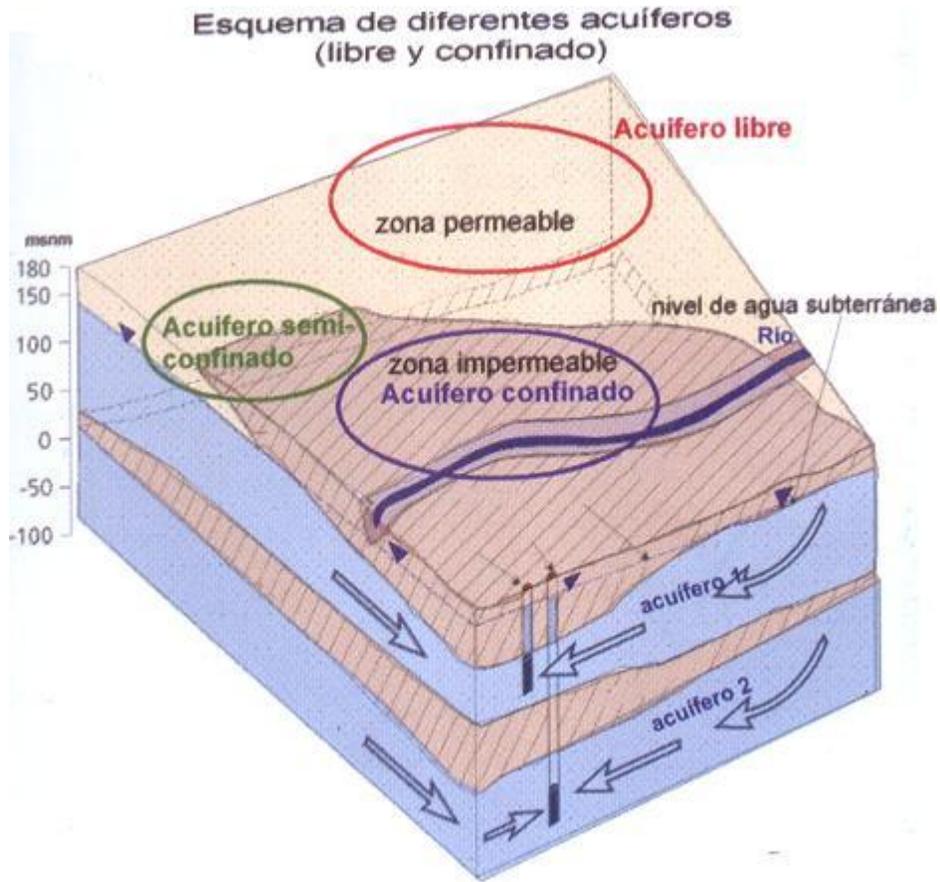


Componentes de un acuífero, FORGAES 2006

# ANEXO 2



# ANEXO 3



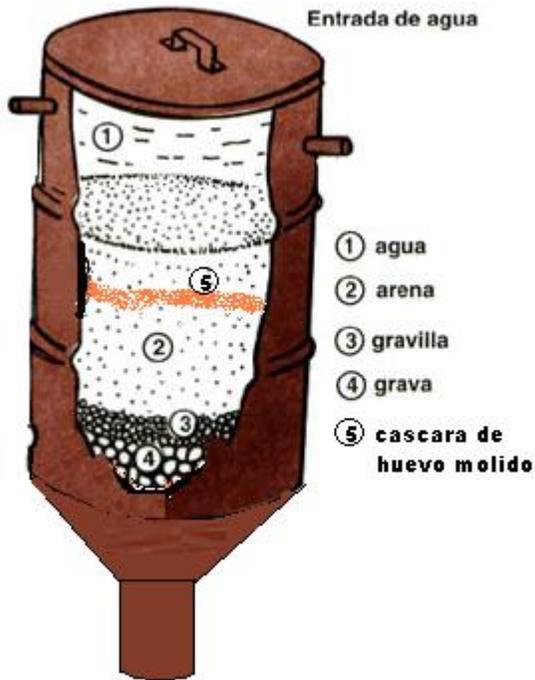
Tipos de acuífero según geometría e hidráulica, FORGAES 2006.

## ANEXO 4

Valores de sustancias químicas de alto riesgo para la salud	
PARAMETRO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE mg/L
ALUMINIO	0.050
Arsénico	0.010
Bario	0.700
Boro	0.300
Cadmio	0.003
Cianuros	0.050
Cromo Cr	0.050
Mercurio	0.001
Níquel	0.020
Nitrato (NO <sub>3</sub> )	45.00
Nitrato (N)	10.00
Nitrito (N)	1.000
Plomo	0.010
Selenio	0.010
Zinc	5.000

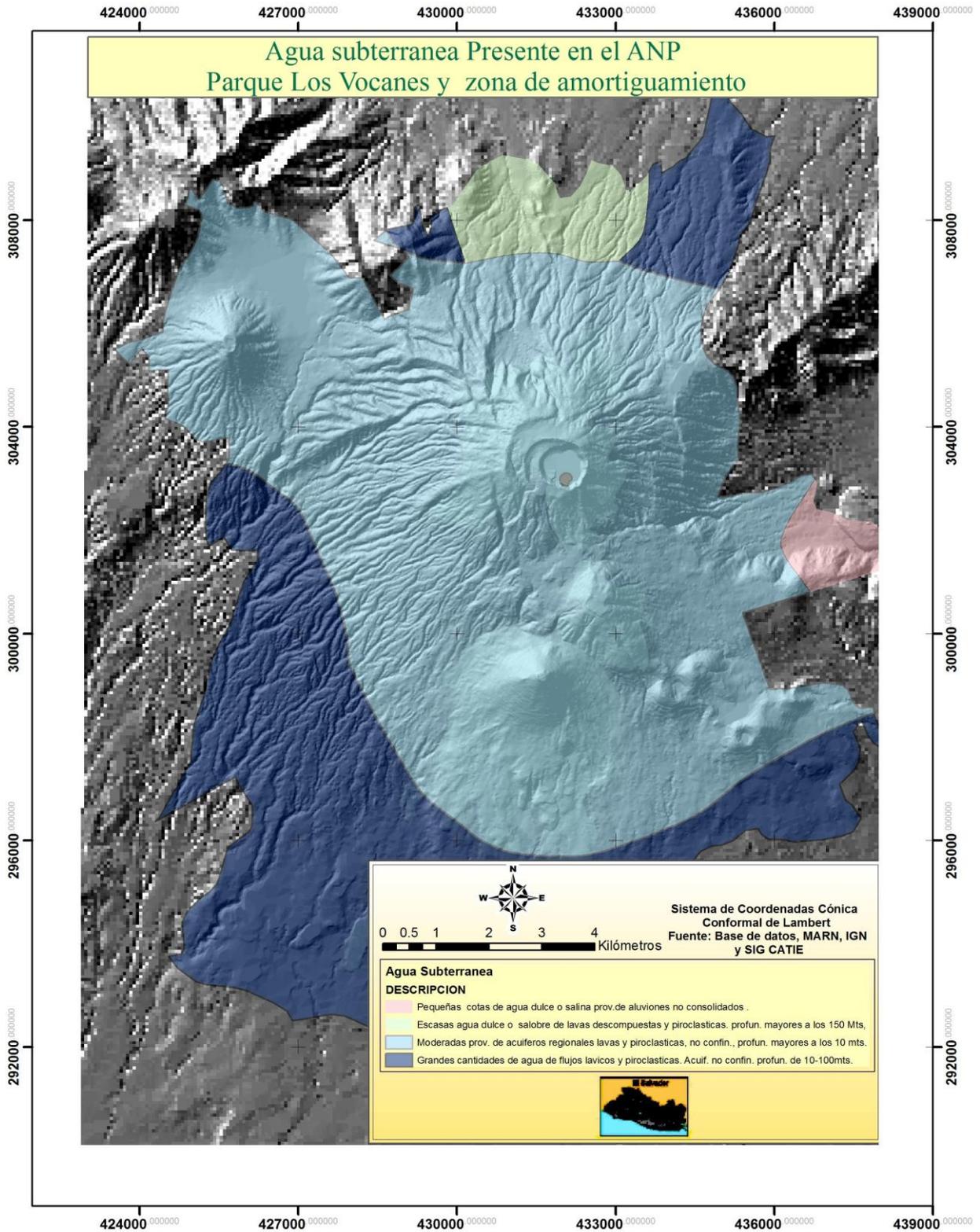
Cuadro tomado de la Norma de Agua Potable de El Salvador.

## ANEXO 5



Filtro artesanal con capa de huevo molido para filtrar metales pesados, a la derecha filtro a escala basado en el mismo sistema.

# ANEXO 6

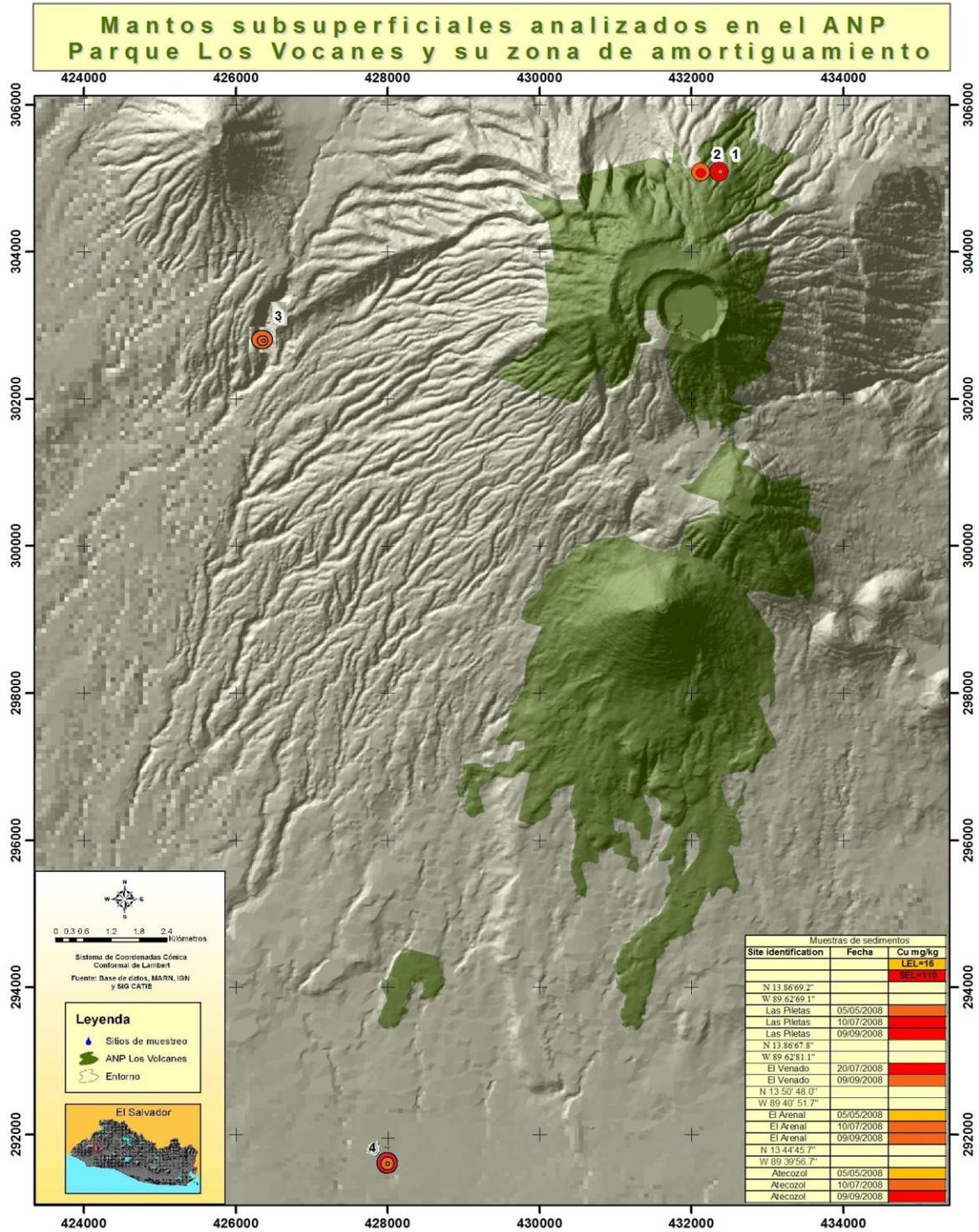


## ANEXO 7

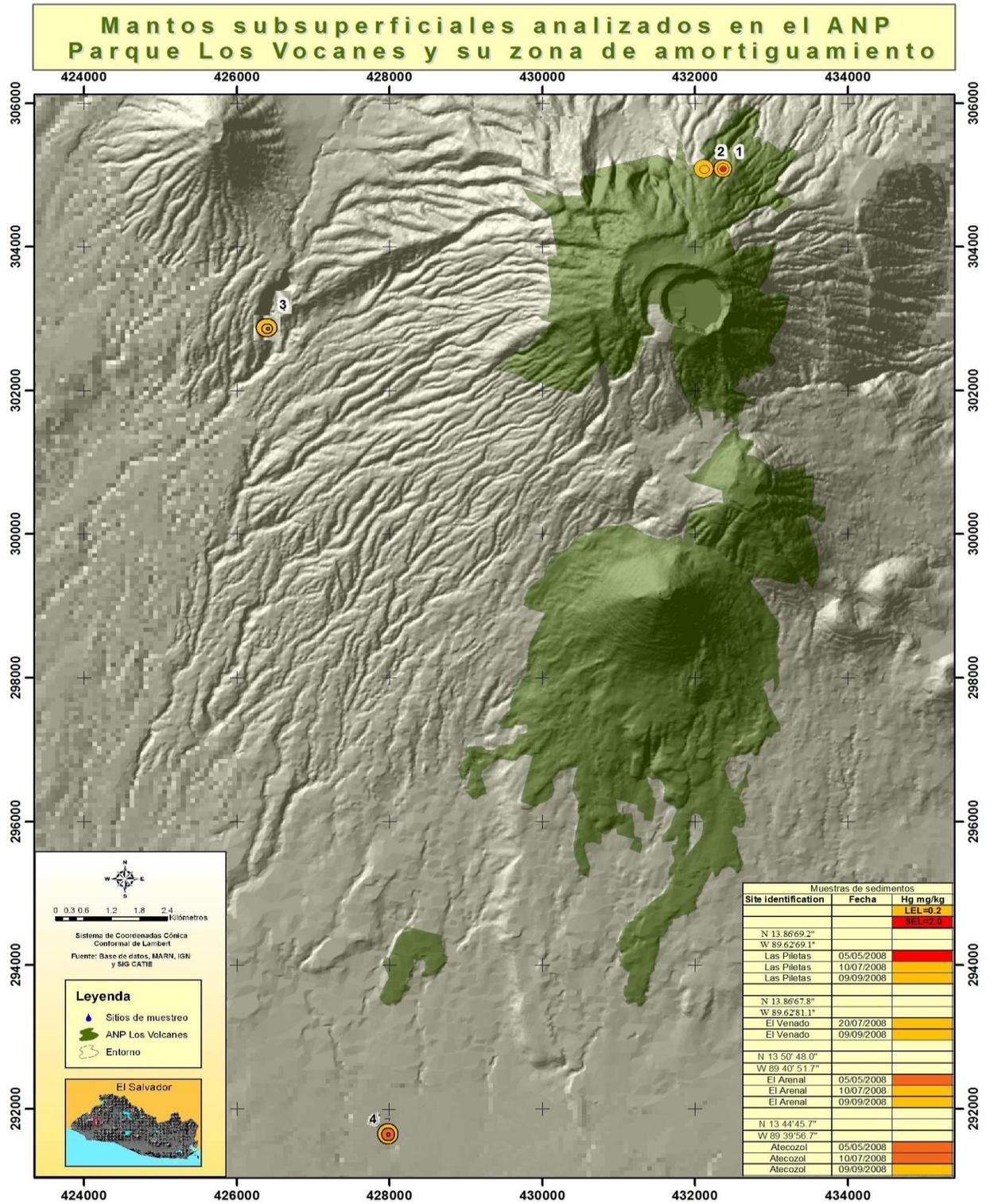


De izq. A derecha YSI 556MP de 3 sensores lista para usar;  
sensores de la sonda con los que se tomaron datos de pH.

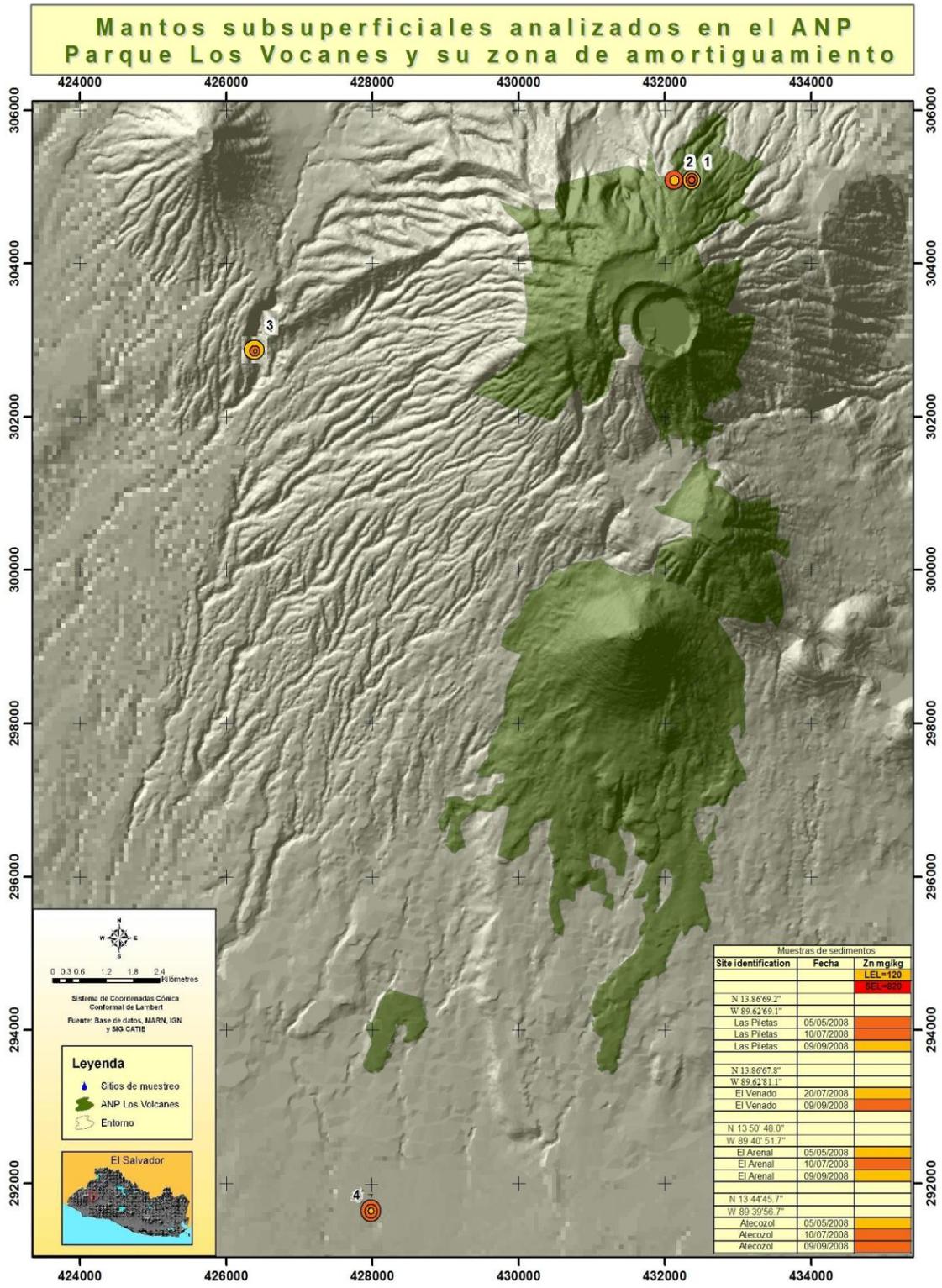
# ANEXO 8 COBRE EN SEDIMENTOS



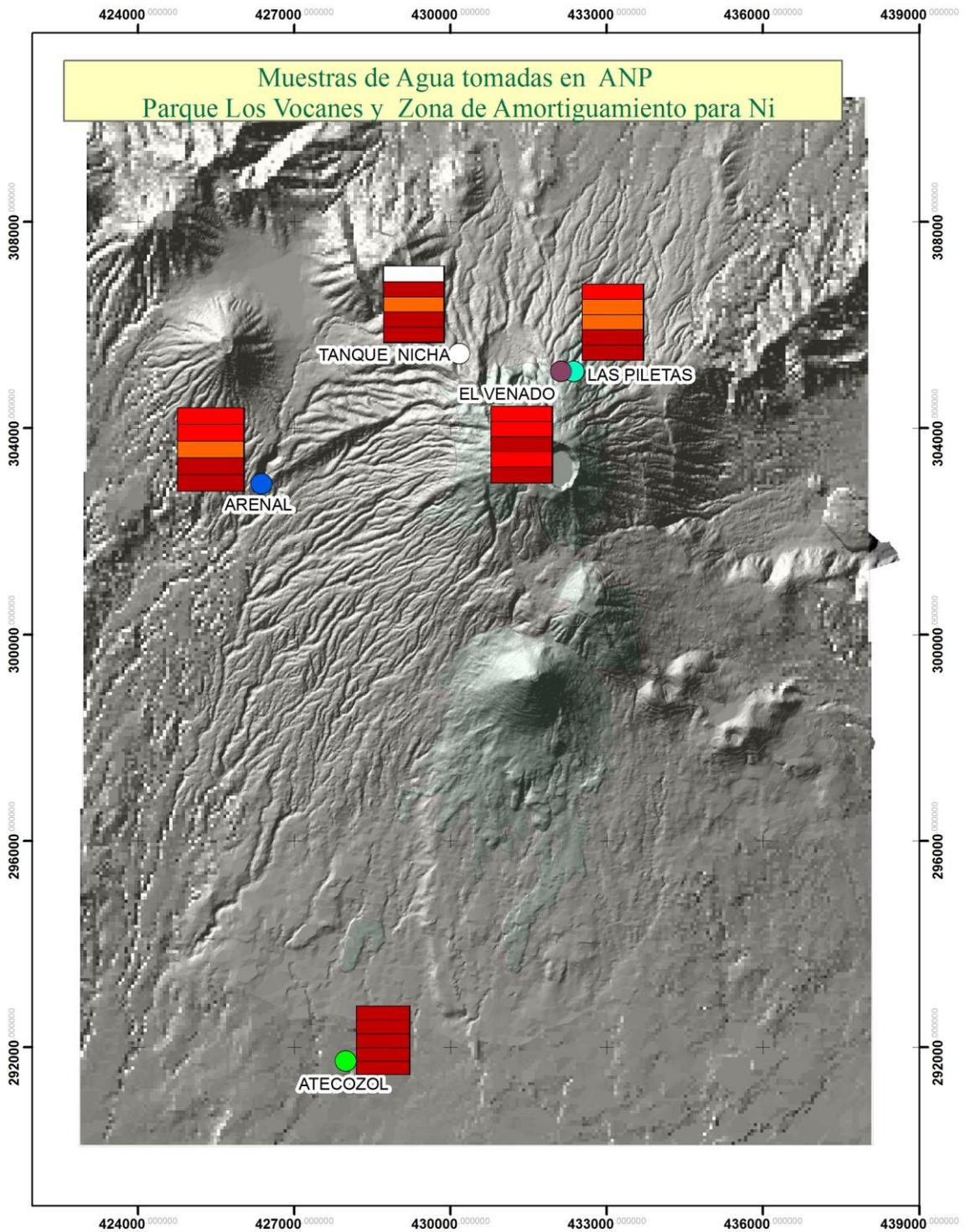
# ANEXO 9 MERCURIO SEDIMENTO



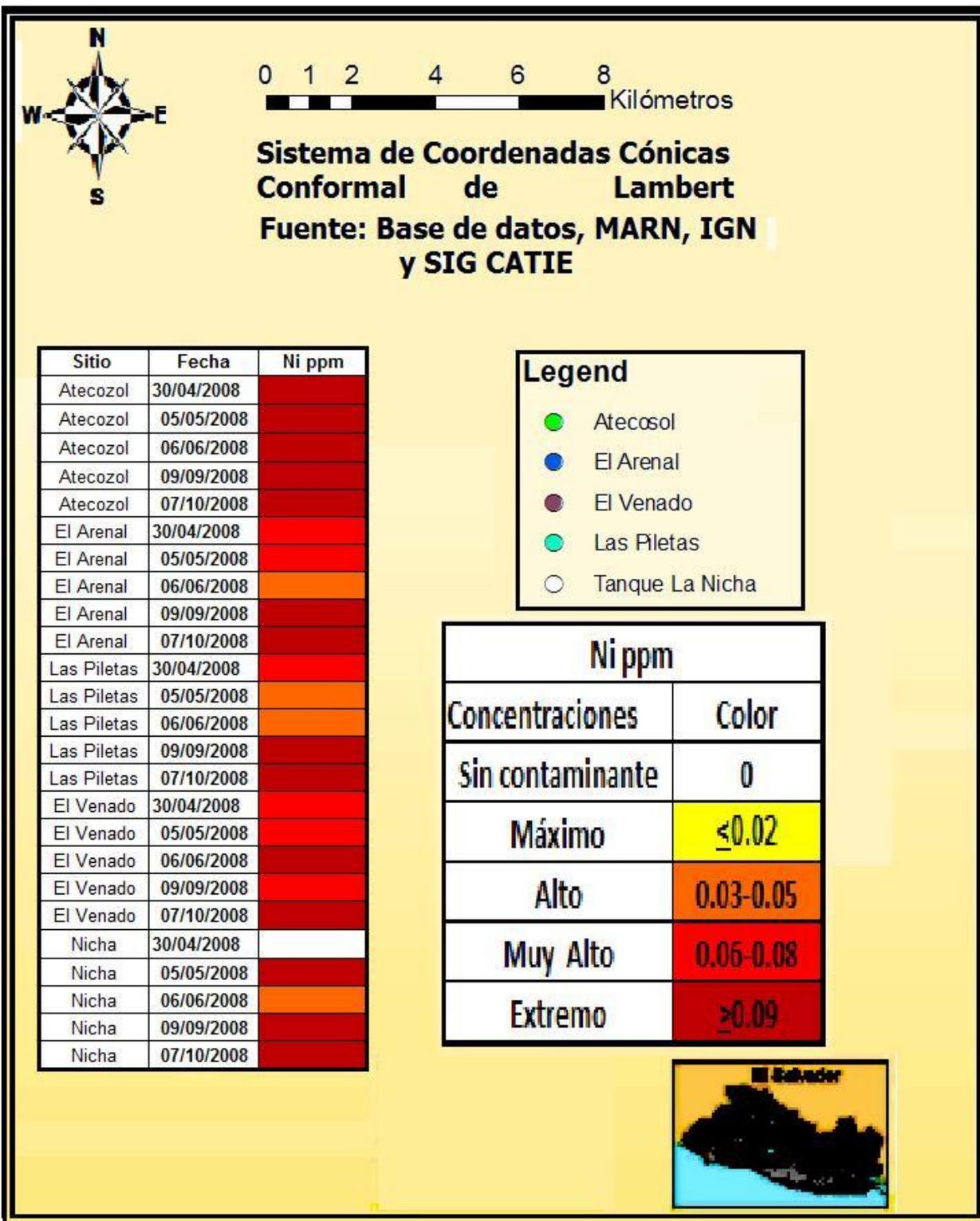
# ANEXO 10 ZINC SEDIMENTO



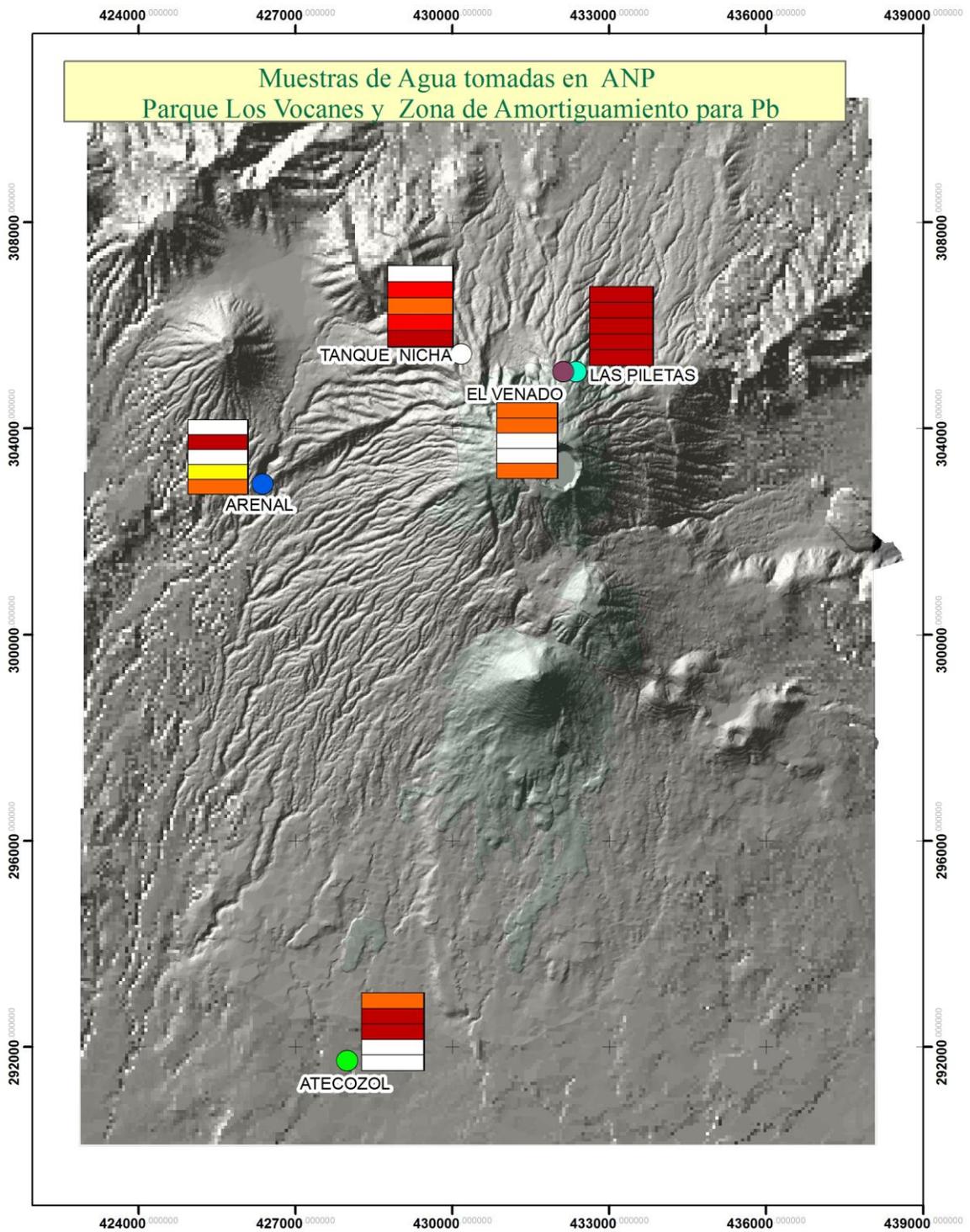
# ANEXO 11 NIQUEL EN AGUA



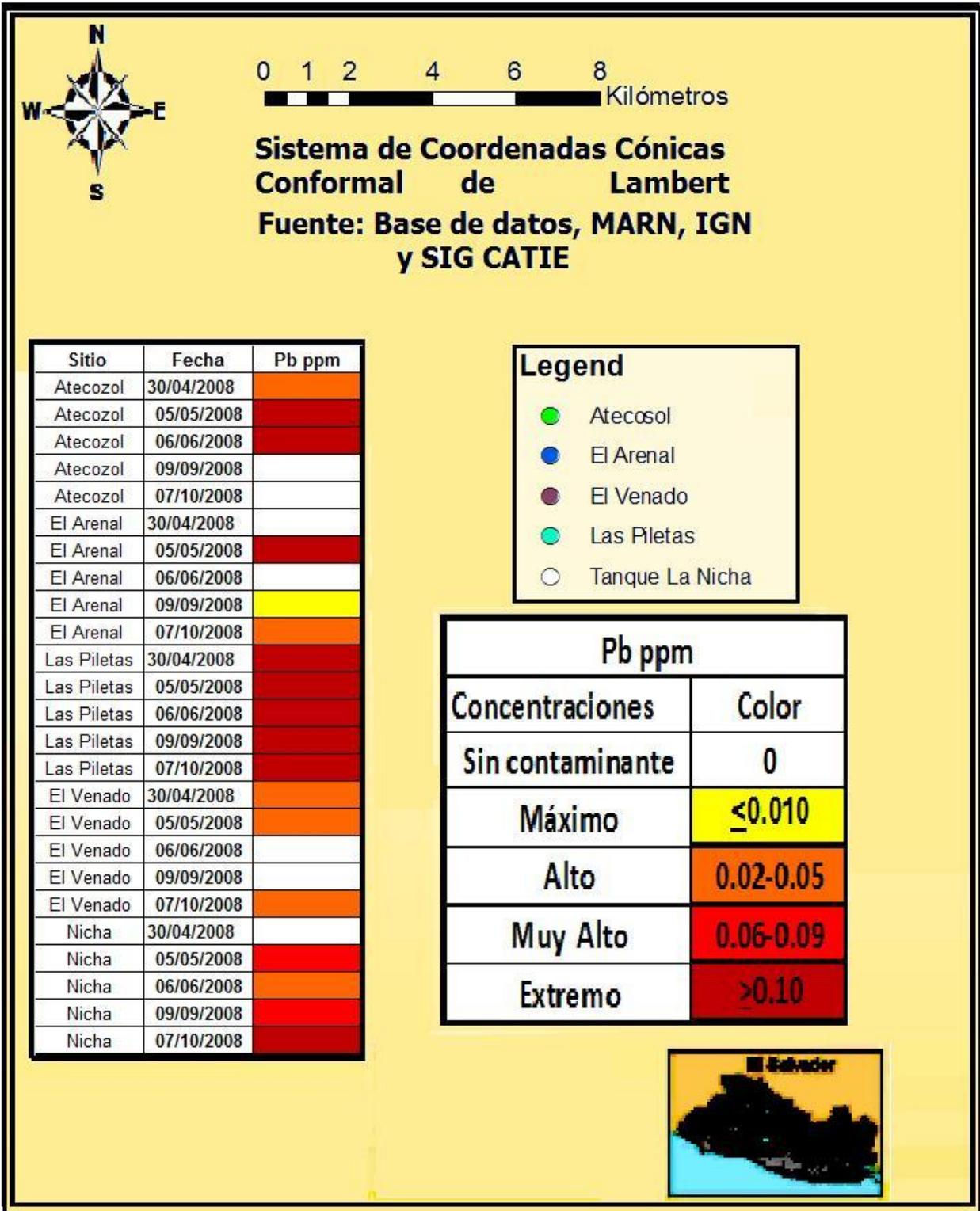
## LEYENDA DE MAPA NIQUEL EN AGUA



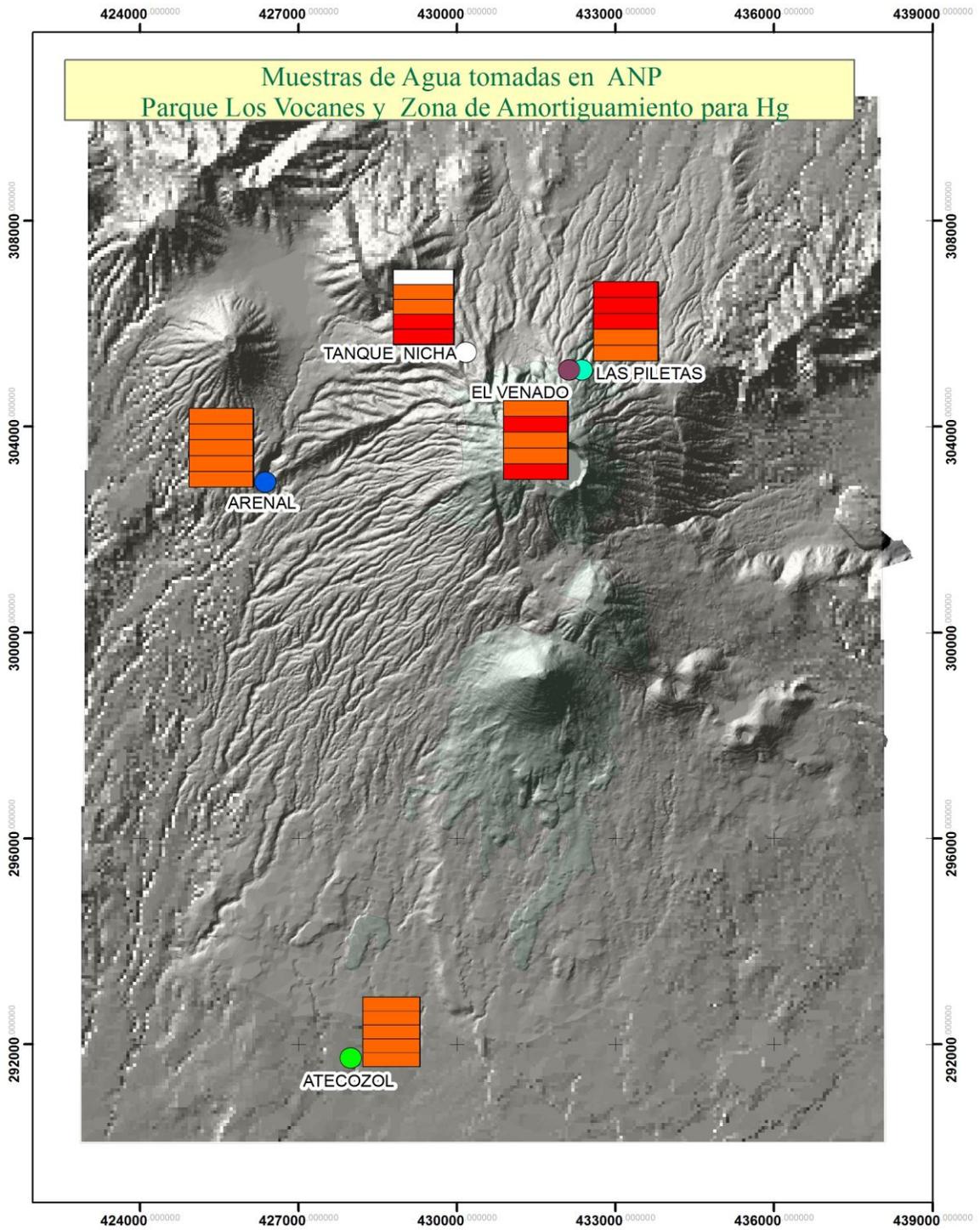
# ANEXO 12 PLOMO EN AGUA



## LEYENDA DE MAPA PLOMO EN AGUA



# ANEXO 13 MERCURIO EN AGUA



## LEYENDA DE MAPA MERCURIO EN AGUA

