



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL**  
**MEDIO AMBIENTE**

PROYECTO DE TESIS DE GRADO PREVIO A LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA

“DETERMINACIÓN DE LOS CONTENIDOS DE  
ARSÉNICO EN AGUAS SUPERFICIALES,  
SEDIMENTOS Y SUELOS DEL VALLE DE LOS  
CHILLOS”

MARÍA JOSÉ VIZCAÍNO GUERRA

SANGOLQUÍ- ECUADOR

JUNIO 2009

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente proyecto fue realizado en su totalidad por la señorita: **María José Vizcaíno Guerra**, como requerimiento parcial a la obtención del título de Ingeniero Geógrafo y del Medio Ambiente.

Sangolquí, 4 de Junio de 2009

DIRECTOR

CODIRECTOR

---

Sr. Ing. Luis Cumbal Ph.D

---

Sra. Ing. Paulina Guevara

## **DEDICATORIA**

A quienes, no se rinden, creen en sí, luchan por alcanzar sus metas; hacen de su herramienta de trabajo la disciplina y la constancia y su victoria más grande es vencerse a sí mismos.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios que es uno en esencia e infinito en vida presente en todo y en todos.

A los ángeles que con sus grandes y fuertes alas me protegen y conducen por caminos de luz, seguros y derechos.

A aquellos que siempre han creído en mí, que están aquí o en el otro lado de la vida porque han sido la fuerza para alcanzar mis metas, y enseñarme lo valioso de cada día, aprovechar cada segundo de la vida.

A mis padres por ser los guías y amigos más sinceros.

A mi hermana Andrea por ser y existir.

A mis maestros y guías en este trabajo Dr. Cumbal e Ing. Guevara que con paciencia y gran calidez humana me han apoyado con sus conocimientos para poder culminar esta meta.

A mis amigos de siempre Vero, Carlos, Pablo, Alex, Sandrita, Baby y Fer, porque estuvieron ahí con sus consejos, preocupación y afecto.

A mis compañeros del CEINCI, en especial manera a Miki, Erika y Ma.José, que con generosidad y buena voluntad me apoyaron y acompañaron en la trayectoria de este trabajo.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>Listado de Tablas .....</b>	<b>VII</b>
<b>Listado de Figuras.....</b>	<b>VIII</b>
<b>Listado de Anexos.....</b>	<b>IX</b>
<b>Nomenclatura utilizada .....</b>	<b>X</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>XII</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>XIII</b>
<b>CAPITULO I .....</b>	<b>14</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>14</b>
1.1 Introducción al Proyecto .....	14
1.2 Objetivo General .....	14
1.3 Objetivos Específicos .....	15
1.4 Metas .....	15
1.5 Localización Geográfica .....	16
1.6 La contaminación ambiental con elementos traza .....	17
1.7 La problemática mundial sobre la contaminación con arsénico. ....	18
1.1.1 Arsénico en Aguas Superficiales.....	20
1.7.1 Arsénico en Aguas Subterráneas.....	20
1.7.3 Arsénico en Sedimentos.....	21
1.7.4 Arsénico en Suelos.....	21
1.8 Implicaciones del As en la salud de los humanos .....	22
1.9 Regulaciones Ambientales .....	23
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>25</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>25</b>
2.1 El Arsénico .....	25
2.2 Especies arsenicales.....	26
2.2.1 Compuestos de arsénico orgánico.....	27
2.2.2 Compuestos de arsénico inorgánico .....	28
2.2.3 Gas arsina y arsinas sustituidas.....	30
2.3 Movilidad y Transporte del Arsénico en el agua .....	30
2.3.1 Movilidad .....	31
a.- Adsorción/Desorción.....	32
b.- Precipitación/Disolución .....	33
2.3.2 Transporte.....	34
2.4 Toxicidad.....	34
2.4.1 Toxicidad Aguda.....	35
2.4.2 Toxicidad Crónica.....	36
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>38</b>
<b>MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS.....</b>	<b>38</b>
3.1 Métodos .....	38
3.1.1 Plan de toma de muestras .....	38

3.1.2 Toma de muestras.....	39
3.1.3 Análisis “in situ” .....	41
3.1.4 Análisis en el laboratorio.....	43
a.- Análisis de Sulfatos.....	43
b.- Análisis de Fosfatos.....	43
3.1.5 Análisis químico de As.....	44
3.1.6 Análisis químico de metales.....	45
3.2 Procedimientos.....	47
3.2.1 Separación de Especies Arsenicales .....	47
3.2.2 Extracción de Arsénico de Sedimentos y Suelos.....	47
3.3 Procesamiento de los datos obtenidos en el laboratorio. ....	49
3.4 Modelamiento de datos mediante el uso de un SIG.....	50
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>52</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>52</b>
4.1 Análisis comparativo de los resultados de As. ....	52
4.1.1 Concentraciones de Arsénico en Aguas Superficiales.....	52
4.1.2 Concentraciones de Arsénico en Sedimentos .....	56
4.1.3 Concentraciones de Arsénico en el Suelo.....	61
4.1.4 Resultados de parámetros “in situ” .....	65
4.1.5 Resultados de otros parámetros analizados.....	70
4.2 Mapas con concentraciones de arsénico.....	77
<b>CAPITULO V .....</b>	<b>84</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>84</b>
5.1 Conclusiones.....	84
5.2 Recomendaciones.....	86
<b>ANEXOS .....</b>	<b>87</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>95</b>
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS .....</b>	<b>100</b>

## Listado de Tablas

<b>Tabla 1.1</b>	Valores guía para arsénico establecido por varias agencias Reguladoras.....	24
<b>Tabla 2.1</b>	Especies Arsenicales orgánicas (Litter, 2008).....	27
<b>Tabla 2.2</b>	Estabilidad y predominio de las especies de arsénico variando los rangos de pH en el medio acuático.....	29
<b>Tabla 3.1</b>	Parámetros in situ.....	42
<b>Tabla 3.2</b>	Parámetros tomados en cuenta para medición de Ca.....	45
<b>Tabla 3.3</b>	Parámetros tomados en cuenta para medición de Mg.....	46
<b>Tabla 3.4</b>	Parámetros tomados en cuenta para medición de Fe.....	46
<b>Tabla 3.5</b>	Comprobación de Ensayo de M.O.....	49
<b>Tabla 4.1</b>	Datos de concentraciones de As ( $\mu\text{g/L}$ ) en aguas superficiales del Valle de Los Chillos.....	54
<b>Tabla 4.2</b>	Resultados determinación de As(V) en muestras de aguas superficiales.....	56
<b>Tabla 4.3</b>	Datos de concentraciones de As en sedimentos del Valle de Los Chillos.....	58
<b>Tabla 4.4</b>	Resultados de Ensayo de extracción de MO.....	60
<b>Tabla 4.5</b>	Datos de concentraciones de As ( $\mu\text{g/g}$ ) en suelos del Valle de Los Chillos.....	62
<b>Tabla 4.6</b>	Resultados de Ensayo 3. – Extracción de Humedad.....	65
<b>Tabla 4.7</b>	Resultados de Ensayo 5- Comprobación de Ensayo 3.....	65
<b>Tabla 4.8</b>	Ubicación Geográfica e identificación de Pts. de toma de Muestras.....	66
<b>Tabla 4.9</b>	Parámetros in situ de Pts. de toma de Muestras.....	67
<b>Tabla 4.10</b>	Otros parámetros analizados en campo y laboratorio.....	70
<b>Tabla 4.11</b>	Concentración de los iones, en ppm, de algunos ríos (Krauskopf, 1967).....	72
<b>Tabla 4.12</b>	Resultado de Cálculos de Dureza ( $\text{mg/L}$ ).....	72
<b>Tabla 4.13</b>	Análisis comparativo de As con niveles de dureza alcalinidad y pH.....	73
<b>Tabla 4.14</b>	Concentración de metales analizados en el laboratorio en muestras de agua.....	74
<b>Tabla 4.15</b>	Análisis comparativo de As con niveles de Fe.....	75
<b>Tabla 4.16</b>	Concentración de metales analizados en el laboratorio en muestras de suelo.....	76
<b>Tabla 4.18</b>	Porcentaje de Ca, Mg, Fe en las muestras analizadas.....	77
<b>Tabla 4.17</b>	Porcentaje de cationes en la corteza terrestre y en muestras de suelo.....	77

## Listado de Figuras

<b>Figura 1.1</b> Ubicación del Valle de los Chillos (Autora 2009) .....	16
<b>Figura 2.1</b> As Elemento de la tabla periódica de elementos químicos .....	25
<b>Figura 2.2</b> As en estado natural en rocas sedimentarias (www.miliarium.com).....	26
<b>Figura 2.3</b> Estado de oxidación del arsénico en función del pH y Eh. (Lillo J; 2005) .....	29
<b>Figura 2.4</b> Transporte del Arsénico al Ambiente.....	31
<b>Figura 2.5</b> Escala de Toxicidad del Arsénico (Autora 2009) .....	35
<b>Figura 2.6</b> toxicidad As. Abomasitis y úlceras hemorrágicas, (Biswas, 1998). .....	37
<b>Figura 3.1</b> Fuentes hídricas superficiales (Autora 2009).....	39
<b>Figura 3.2</b> Recolección de muestras de agua (Autora 2009) .....	40
<b>Figura 3.3</b> Recolección de muestras de sedimentos (Autora 2009) .....	40
<b>Figura 3.4</b> Medición de parámetros in situ (Autora 2009) .....	41
<b>Figura 3.5</b> Determinación de Cloruros(A); y Alcalinidad(B) (Autora 2009).....	43
<b>Figura 3.6</b> Extracción de sedimentos y suelos (Autora 2009) .....	48
<b>Figura 3.7</b> Geodatabase (Autora 2009).....	50
<b>Figura 3.8</b> Creación del SIG (Autora 2009). .....	51
<b>Figura 4.1</b> Puntos de toma de muestras de agua Superficial (Autora 2009) .....	52
<b>Figura 4.2</b> Puntos con valores “altos” de As <sub>T</sub> temporada Invernal (Autora 2009) .....	53
<b>Figura 4.3</b> Puntos con valores “altos” de As <sub>T</sub> temporada verano (Autora 2009) .....	53
<b>Figura 4.4</b> Puntos con valores “altos” de As <sub>T</sub> Promedio (Autora 2009) .....	55
<b>Figura 4.5</b> Puntos de toma de muestras de Sedimentos .....	57
<b>Figura 4.6</b> Puntos con valores “altos” de As <sub>T</sub> en sedimento época Invernal.....	59
<b>Figura 4.7</b> Puntos con valores “altos” de As <sub>T</sub> en sedimentos época Verano .....	59
<b>Figura 4.8</b> Puntos con valores “altos” de As <sub>T</sub> promedio en sedimentos .....	60
<b>Figura 4.9</b> Puntos de toma de muestras de suelos.....	61
<b>Figura 4.10</b> Puntos con valores “altos” de As <sub>T</sub> en suelos época Invierno.....	63
<b>Figura 4.11</b> Puntos con valores “altos” de As <sub>T</sub> en suelos época Verano .....	64
<b>Figura 4.12</b> Promedio de concentraciones “altas” de As <sub>T</sub> . .....	64

## Listado de Anexos

<b>ANEXO 1a:</b> Fotografías de recolección de muestras.....	88
<b>ANEXO 1b:</b> Fotografías de recolección de muestras.....	89
<b>ANEXO 2a:</b> Fotografías de Equipos, materiales y reactivos .....	90
<b>ANEXO 2b:</b> Fotografías de Equipos, materiales y reactivos .....	91
<b>ANEXO 3:</b> Reporte de análisis de $As_7$ efectuado en la CEEA.....	92
<b>ANEXO 4:</b> Reporte de análisis de Fosfatos efectuado por la CEEA.....	93
<b>ANEXO 5:</b> Cronograma de Actividades.....	94

## Nomenclatura utilizada

<b>As</b>	Arsénico
<b>As III</b>	Arsénico Trivalente ó Arsenito
<b>As IV</b>	Arsénico Pentavalente o Arseniato
<b>As<sub>T</sub></b>	Arsénico Total
<b>ASTDR</b>	Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades
<b>ASTM</b>	American Standard Methods
<b>Ca</b>	Calcio
<b>CEEA</b>	Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica
<b>EMAAP-Q</b>	Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Quito
<b>EPA</b>	Environmental Protection Agency
<b>Fe</b>	Hierro
<b>Fe(OH)</b>	Hidróxidos de Hierro
<b>GH-AA</b>	Generación de Hidruros -Absorción Atómica
<b>GPS</b>	Sistema de Posicionamiento Global
<b>HCl</b>	Ácido Clorhídrico
<b>INEN</b>	Instituto Ecuatoriano de Normas
<b>KI</b>	Ioduro de Potasio
<b>Mg</b>	Magnesio
<b>M</b>	Molar
<b>M.O.</b>	Materia Orgánica
<b>pH</b>	Potencial Hidrógeno
<b>Eh</b>	Potencial Redox
<b>OD</b>	Oxígeno Disuelto
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud
<b>PSAD-56</b>	Provisional South American Datum de 1956
<b>SIG</b>	Sistema de información Geográfica
<b>R.</b>	río
<b>RCA</b>	río Cachaco
<b>RPI</b>	río Pita

<b>RSC</b>	río Santa Clara
<b>RSP</b>	río San Pedro
<b>TDS</b>	Sólidos disueltos totales
<b>TULAS</b>	Texto Unificado de Legislación Única
<b>USEPA</b>	United States Environmental Protection Agency

## RESUMEN

En los valles de Guayllabamba y Tumbaco se detectaron significativas concentraciones de As en aguas de pozos y vertientes, a pesar de que el Valle de los Chillos tiene características geográficas similares a estos valles, no dispone información referente a la potencial contaminación de arsénico en aguas superficiales, sedimentos y suelos.

En consecuencia el presente estudio tiene por objetivo cuantificar los contenidos de  $As_T$  en muestras de aguas superficiales, sedimentos y suelos del Valle de los Chillos para dos temporadas climáticas similares a invierno y verano, encontrándose que los niveles de  $As_T$  en las fuentes hídricas superficiales oscilan entre 0.53 y 2.67  $\mu\text{g/L}$ , los niveles de  $As_T$  en sedimentos de los ríos fluctúan entre (0.15 y 1.63)  $\mu\text{g/g}$ . En muestras de suelo aledañas a los ríos los niveles de  $As_T$  oscilan entre (0.15 y 1.66)  $\mu\text{g/g}$ , Los niveles más altos de  $As_T$  se encuentran en el río san Pedro.

Pese a que las concentraciones de  $As_T$  presentes en aguas superficiales, sedimentos y suelos no sobrepasan la normativa ambiental, esta información es un gran aporte a la actualización de datos del Valle de los Chillos, información valiosa para futuros proyectos que busquen mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

## **ABSTRACT**

In Tumbaco and Guallabamba valleys, has been detected significant arsenic concentrations in water wells and springs, Chillós valley have similar geographic characteristics with these, but don't have information about the potential arsenic contamination in superficial water, sediments and soils.

Consequently this study has as purpose quantify arsenic contains in samples of superficial water, sediments and soils of the Chillós Valley for two weather seasons similar to winter and spring. Finding arsenic levels in the rivers oscillate between (0.53 - 2.67)  $\mu\text{g/L}$ . Arsenic levels in river sediments oscillate between (0.15 y 1.63)  $\mu\text{g/g}$ . In soil samples the arsenic levels oscillate between (0.15 y 1.66)  $\mu\text{g/g}$ . The highest arsenic levels are presents in San Pedro River.

So if the arsenic concentrations in superficial water, sediments and soils don't exceed the national norm. This is a great contribution for the actualization of Chillós valley information, and really valuable for future projects that find improve the life quality of Chillós valley habitants.

# **CAPITULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Introducción al Proyecto**

El Arsénico (As) es un elemento tóxico, presente en la naturaleza, especialmente en aguas subterráneas. (Nahar et al., 2000). En 1995 la OMS establece que la ingestión de agua contaminada con arsénico es un problema de salud pública a nivel mundial.

En nuestro país, según el informe de Monitoreo Espacial de Arsénico de las Fuentes Rurales del Distrito Sur y Centro Oriental presentado por la EMAAP-Q en Marzo de 2005; se detecta concentraciones mayores a 50 µg/L. en fuentes de agua subterránea y geotermal de los Valles de Tumbaco y Guayllabamba.

Las condiciones geográficas del Valle de los Chillos son similares a estos valles, pero no se dispone de ninguna información referente a la contaminación con Arsénico.

### **1.2 Objetivo General**

- Cuantificar los contenidos de arsénico en aguas superficiales, sedimentos y suelos del Valle de los Chillos y elaborar mapas temáticos destacando las zonas de riesgo por presencia de elevadas concentraciones de As.

### 1.3 Objetivos Específicos

- Efectuar una caracterización físico química de las aguas superficiales del Valle de los Chillos.
- Determinar los contenidos de arsénico total en suelos y sedimentos del Valle de los Chillos.
- Determinar los contenidos de metales (Ca, Mg, Fe) en muestras de aguas superficiales del Valle de los Chillos.
- Generar un SIG para identificar las concentraciones de As.

### 1.4 Metas

- Toma de muestras de aguas superficiales y sedimentos en puntos estratégicos considerando la accesibilidad del lugar, así como medición “in situ” de pH, temperatura, conductividad, alcalinidad, oxígeno disuelto, potencial redox, sólidos disueltos totales y análisis en laboratorio de cloruros, sulfatos, y fosfatos.
- Toma de muestras de suelos de zonas agrícolas o aledañas a los ríos.
- Analizar As en el laboratorio en muestras de agua, sedimentos y suelos del Valle de los Chillos.
- Analizar metales (Ca, Mg, Fe) en el laboratorio en muestras de agua, y suelos del Valle de los Chillos.
- Desarrollar un SIG e incluir en el mismo, los resultados de los análisis de As para una mejor visualización e interpretación.

## 1.5 Localización Geográfica

La presente investigación se ha desarrollado en el Valle de los Chillos, el mismo que comprende una amplia hondonada al sureste de la provincia de Pichincha, a veinte minutos de Quito; ubicada entre los paralelos  $0^{\circ} 25' 00''$  y  $0^{\circ} 20' 00''$  latitud sur y entre  $78^{\circ} 30' 00''$  y  $78^{\circ} 22' 30''$ ; a una altura promedio de 2.500 mts sobre el nivel del mar. Tiene un clima agradable todo el año y su temperatura es de  $17^{\circ}$  grados centígrados Abarca las parroquias de: Amaguaña, Alangasí, Conocoto, Guangopolo, La Merced y Pintag (*pertenecientes al Distrito Metropolitano de Quito*); Sangolquí, San Rafael, San Pedro de Taboada, Cotogchoa y Rumipamba, (*pertenecientes al cantón Rumiñahui*).

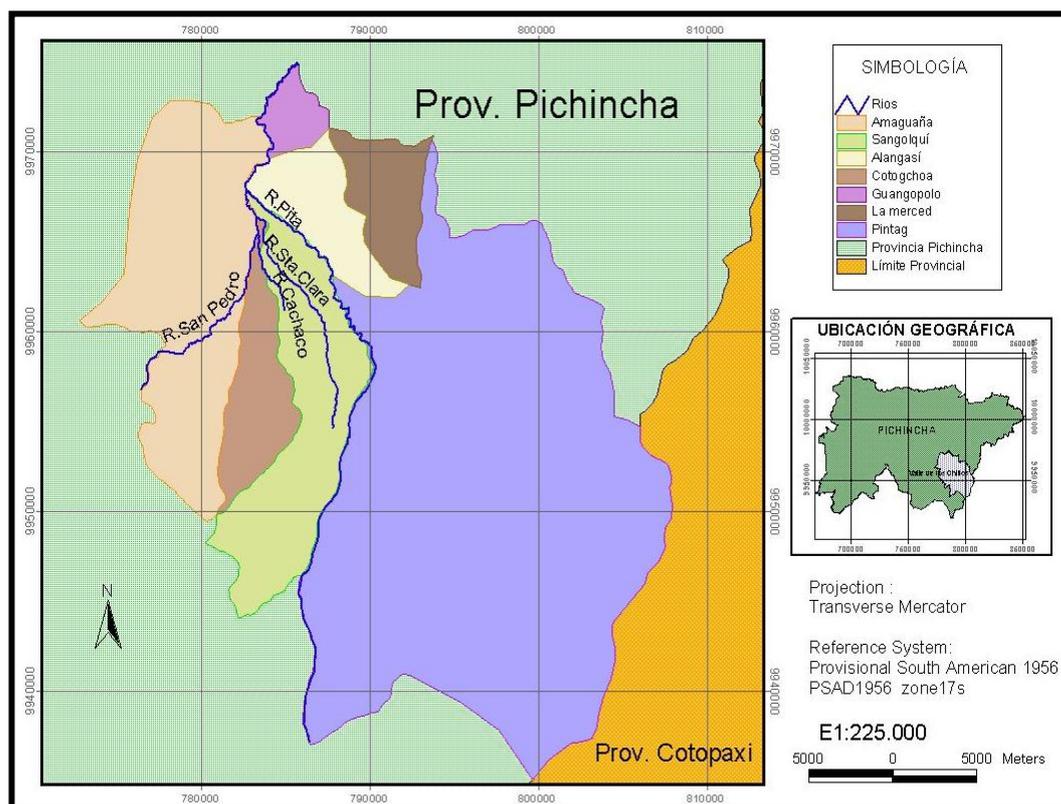


Figura 1.1 Ubicación del Valle de los Chillos (Autora 2009)

El clima del Valle de los Chillos tiene dos temporadas climáticas similares a verano e invierno. Los meses de Junio a Septiembre están caracterizados por

una sequía algo prolongada con fuertes vientos, mientras que los meses de mayor lluvia torrencial son Abril y Mayo. ([www.ruminahui.gov.ec](http://www.ruminahui.gov.ec)).

## **1.6 La contaminación ambiental con elementos traza**

Se denominan "elementos traza" a aquellos elementos químicos que tienen una concentración baja (inferior al 0,1 %), independientemente de que sean esenciales para su metabolismo o tengan efectos tóxicos. ([www.ciencia.glosario.net/medio-ambiente-acuatico/elementos-traza-10.html](http://www.ciencia.glosario.net/medio-ambiente-acuatico/elementos-traza-10.html)).

Algunos elementos traza son esenciales para los seres humanos, plantas y animales. Cierta cantidad de estos elementos químicos con frecuencia se los respira y se los ingiere en la comida y el agua. Las concentraciones son naturalmente bajas y generalmente no presentan peligro en zonas no urbanas con poco o ningún disturbio ambiental o presencia humana presente o pasada. Sin embargo, las actividades industriales y mineras pueden originar una contaminación por estos elementos, los que se incorporarían a las plantas y animales donde se pueden concentrar y causar efectos tóxicos. (Madejón, 2004).

Existen elementos traza potencialmente dañinos, especialmente los metales pesados, que pueden presentar un peligro potencial para los individuos que respiran y sobre todo ingieren suelos contaminados o comen vegetales contaminados. (Morales et al., 2007).

Elementos como el arsénico, el mercurio, el selenio, el cadmio y el plomo presentes en el carbón, son considerados de gran preocupación e importancia ambiental y están incluidos en la lista de sustancias identificadas como contaminantes peligrosas del aire.

El arsénico (As) es el elemento traza que más preocupa, sobre todo en el agua subterránea ya que en concentraciones bajas es tanto tóxico como carcinógeno (González et al., 2000), y de ahí que la toxicidad de un elemento traza no depende únicamente de la concentración total si no también de su movilidad y biodisponibilidad.

### **1.7 La problemática mundial sobre la contaminación con arsénico.**

El estudio más actual sobre contaminación de agua con arsénico elaborado por la Organización Mundial de la Salud, el UNICEF y otros organismos de las Naciones Unidas; indica que en varios países como China, Pakistán, Vietnam, Nepal y América Latina (Argentina, Chile, Perú, México, El Salvador) por lo menos cuatro millones de personas beben en forma permanente agua con niveles de arsénico que ponen en riesgo su salud (por encima de 1 mg/l).

En Taiwán el problema es aún mayor; en un estudio efectuado por la USEPA se observaron más de 40.000 personas que consumían agua proveniente de pozos artesianos con altos contenidos de arsénico, en un rango de 10 a 1820  $\mu$  g/l, estando los valores más frecuentes entre 400 a 600  $\mu$  g/l.

Un estudio presentado en la reunión anual de la Real Sociedad Geográfica del Reino Unido en Londres, advierte que el problema es mayor de lo que se pensaba, ya que la contaminación acuática por arsénico afecta a 137 millones de personas en más de 70 países.

El consumo prolongado de agua rica en arsénico es peligroso para la salud. En poblaciones que ingieren agua potable contaminada por este elemento se han observado patologías de la piel, pulmonares, neurológicas o vasculares, además de varios tipos de cáncer. (Biswas et al., 1998).

Los niveles de arsénico del agua potable en Bangladesh – India son tan altos que la Organización Mundial de la Salud (OMS) describe la contaminación por arsénico en el suministro de agua como "*el mayor caso de envenenamiento de una población registrado en la historia*", se estima que existen alrededor de 6 millones de personas expuestas, de las cuales más de 2 millones son niños. (UNICEF, 2002).

En el Ecuador la presencia de arsénico de origen natural ha sido recientemente encontrada en aguas geotermales de la Sierra centro Norte (La Claera, Chachimbiro Ilaló), aguas subterráneas, superficiales y sedimentos de las mismas fuentes. Un equipo de investigación de la ESPE encontró en el 2006, contenidos importantes de arsénico en fuentes de agua geotermal, en aguas de los ríos o quebradas que reciben los residuales termales y en los sedimentos de esas microcuencas, donde el nivel de As oscila entre 2 y 684  $\mu\text{g/L}$ . (Cumbal et al., 2006).

Por otra parte el derrame de crudo ocurrido en marzo del 2003, debido a una rotura del SOTE en la reserva Cayambe Coca, bajó a la laguna de Papallacta donde cubrió cerca de la mitad de su superficie, tema que causó mucha preocupación en los habitantes de los valles de Tumbaco y Guayllabamba debido a que el agua que abastece a la sexta parte de la población de Quito proviene de esta laguna. (Boletín Acción Ecológica, 2003).

En análisis químicos efectuados en muestras de agua de la laguna, se encontraron a más de hidrocarburos de petróleo totales, niveles de arsénico que oscilaban entre 390 y 670  $\mu\text{g/L}$  (De la Torre et al., 2004).

### **1.1.1 Arsénico en Aguas Superficiales**

La causa principal de la contaminación de aguas superficiales proviene de las aguas residuales industriales y de aguas negras sin tratar, muchos de estos vertidos contienen compuestos de As. ([www.ecojoven.com/tres/05/aguas.html](http://www.ecojoven.com/tres/05/aguas.html)).

Los niveles de As en aguas superficiales son bajos aunque en algunas ocasiones pueden sobrepasar los 50  $\mu\text{g/l}$ . La variación de las concentraciones de este metaloide en el agua superficial va a depender de las condiciones físico-químicas del agua. ([binational.pharmacy.arizona.edu/documents/Queeselarsenico.pdf](http://binational.pharmacy.arizona.edu/documents/Queeselarsenico.pdf)). Por ejemplo en aguas superficiales con alto contenido de oxígeno, la especie predominante es el arsénico pentavalente o arseniato ( $\text{AsV}$ ). (Sancha, 2002).

### **1.7.1 Arsénico en Aguas Subterráneas.**

El agua subterránea es la que se encuentra bajo la superficie terrestre y ocupa los poros de los suelos y las fisuras de las rocas más sólidas. Puede aparecer en la superficie en forma de manantiales, o puede ser extraída mediante pozos. ([www.galeon.com/geologiayastronomia/geo18](http://www.galeon.com/geologiayastronomia/geo18).)

El origen de la presencia de As en aguas subterráneas puede estar asociado con ambientes geoquímicos que contienen pirita y arsenopirita entre sus constituyentes minerales y medios reductores. (Callejas, 2007).

En general las aguas subterráneas poseen en forma natural concentraciones de arsénico mayores a 50  $\mu\text{g/l}$ , las que provienen de la disolución de minerales, principalmente sulfuros de arsénico (arsenopirita:  $\text{FeAsS}$ ), andesita y dacitas que se encuentran en mayor proporción en depósitos volcánicos presentes en algunos suelos. (Vazquez et al., 2001).

La presencia de niveles elevados de As en aguas subterráneas constituye un problema de alta prioridad a escala internacional en concentraciones perjudiciales para la salud. (Boletín URJC; 2006).

### **1.7.3 Arsénico en Sedimentos.**

Los sedimentos son los asentamientos de partículas sólidas como: arena, y minerales. Estos materiales finos son incorporados a través de toda la red de escurrimiento, debido tanto a procesos naturales como inducidos por actividad antrópica. (Sartirana et al., 2006).

Generalmente los niveles de Arsénico presentes en sedimentos suelen ser inferiores a 0.8µg/l (Lillo, 2005), esta concentración puede variar dependiendo de factores como recarga y litología de la cuenca, drenaje de zonas mineralizadas, clima, actividad minera y vertidos urbanos o industriales. En consecuencia de estos factores en los sedimentos de los lagos, ríos o aguas subterráneas, predomina el arsénico trivalente o arsenito (As III). (Lillo, 2005).

### **1.7.4 Arsénico en Suelos.**

El suelo es una parte fundamental de los ecosistemas terrestres. El arsénico se encuentra muy distribuido en el medio ambiente, las concentraciones naturales de arsénico en la tierra son típicamente de 0.1 a 40 partes por millón (ppm), con una concentración media de 5 a 6 ppm. (Lesikar et al., 2004).

Por medio de la erosión, la disolución y el desgaste por el clima, el arsénico se puede liberar de la corteza terrestre y ser transportada al agua subterránea o superficial. El uso de arsénico en algunos pesticidas agrícolas y en algunos productos químicos que sirven para conservar la madera, también

pueden ser responsables del incremento de niveles de As en el suelo. (IPCS, 2001).

Por su recalcitrancia los pesticidas arsenicales agrícolas se adhieren al suelo y pueden permanecer sin cambio o sufrir degradación química, fotoquímica o biológica total o parcial, produciendo en ocasiones metabolitos igual o mas tóxicos que el compuesto original." (Del Real, 1994).

## **1.8 Implicaciones del As en la salud de los humanos**

Los efectos resultantes de la exposición al arsénico pueden depender del sexo de la persona, origen étnico, edad, salud y estado nutricional, y especialmente de la concentración en el agua y la duración de la exposición. Cuando niveles altos de arsénico (concentraciones mayores a 60 miligramos/litro) son ingeridos durante un período corto de tiempo, ocurre un envenenamiento agudo. (ATSDR, 2007).

El envenenamiento agudo puede causar la muerte (ATSDR, 1993) mientras que los síntomas no letales del envenenamiento agudo incluyen:

- Efectos gastrointestinales tales como náusea, vómitos, dolor abdominal y diarrea severa
- Hinchazón del tejido alrededor de los ojos
- Reducción en la producción de glóbulos blancos y rojos
- Ritmos cardíacos anormales
- Daño a los vasos sanguíneos
- Hormigueo en las manos y pies (“dormidos o entumidos”)

No obstante los niveles de arsénico son raramente lo suficientemente altos en los suministros de agua potable para causar el envenenamiento agudo. (Department of Health and Senior Services NJ, 1998).

La ingestión crónica de niveles bajos de arsénico inorgánico puede causar que la piel oscurezca y que se formen pequeños “callos” o “agua” en las palmas de las manos y pies, y en el torso. (Arguello, 2007).

La exposición a largo plazo puede conllevar también a adquirir síntomas gastrointestinales, diabetes, anemia, efectos cardiovasculares, pulmonares y neurológicos, así como enfermedad hepática. (Lesikar et al., 2004).

La teratogenicidad, mutagenicidad y carcinogénesis pueden ser los efectos más nocivos. La mutagenicidad se refiere a las malformaciones fetales microscópicas que se producen por efectos de la exposición a los plaguicidas y otras contaminantes durante los primeros meses de vida intrauterina (Tchernitchin, 1999) El arsénico es, por lo general un veneno acumulativo. Casi todos los órganos o sistemas son afectados. (Lapin, 1999)

## **1.9 Regulaciones Ambientales**

La calidad de vida del ser humano depende de la calidad de su medio ambiente; desgraciadamente la negligencia humana ha creado procesos tecnológicos que contaminan a gran escala en los diferentes medios. (Ofelia Morton Bermea).

Aproximadamente una de cada 100 personas que beben durante largo tiempo agua con una concentración de arsénico superior a 0,05 mg/l posiblemente muera de un cáncer asociado al arsénico. La proporción asciende a un 10% si las concentraciones rebasan 0,5 mg/l. (Smith et al., 2000).

Organismos internacionales han evaluado los efectos negativos del As en la salud; es así, que en 1958 la OMS enuncia su posición sobre los riesgos sanitarios asociados a la presencia de arsénico en el agua de bebida. El valor

guía de la OMS vigente respecto de la presencia de arsénico en el agua de bebida (0,01 mg/l) es provisional porque hay incertidumbres no resueltas científicamente.

La Agencia de Protección Ambiental de los EEUU (USEPA) al clasificar al arsénico como cancerígeno, debido a la evidencia de sus efectos adversos sobre la salud, establece como límite máximo permisible de arsénico el de 10mg/l.

En el Ecuador mediante Acuerdo Ministerial No. 06 094, publicado en el R.O. No. 231 de 17 de marzo de 2006, se oficializó con el carácter de obligatorio la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108 (Agua Potable, Requisitos – Segunda Revisión), ratificando como límite máximo de arsénico permisible el de 0,01 mg/l.

**Tabla 1.1** Valores guía para arsénico establecido por varias agencias Reguladoras.

<b>País/ Organización</b>	<b>Nivel de Contaminación máximo (µg/l)</b>
USA USEPA,	10
OMS	10
Unión Europea	10
Ecuador (INEN)	(1982 - 2005) 50 (INEN 1108) 10

Los límites permisibles establecidos por diferentes organismos (Tabla 1.1) se basan en la capacidad de detección analítica del As en el Agua. (Calvo et al., 2003).

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 El Arsénico

Es un elemento químico cuyo símbolo en la tabla periódica de elementos químicos es (As) se encuentra en el quinto grupo principal y el número atómico es 33. ([www.wikipedia.org/wiki/Arsénico](http://www.wikipedia.org/wiki/Arsénico)).

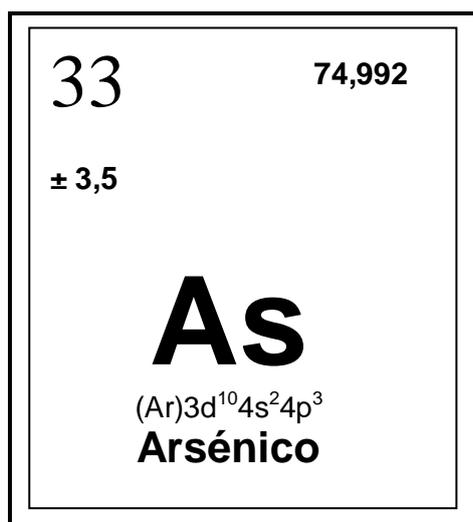


Figura 2.1 As Elemento de la tabla periódica de elementos químicos

Ha sido clasificado químicamente como un metaloide, por tener propiedades tanto de metal como de elemento no-metálico. (Calvo et al., 2003). El Arsénico se encuentra ampliamente distribuido en la corteza terrestre, por lo que en el ambiente, se combina con oxígeno, cloro y azufre para formar compuestos inorgánicos de arsénico.

En animales y en plantas se combina con carbono e hidrógeno para formar compuestos orgánicos de arsénico. (ATSDR, 1993).

Todos los compuestos de As tienen un efecto tóxico, pudiendo además experimentar fenómenos de bioacumulación que potencian su efecto negativo, razón por la que se lo incluye como carcinógeno para el ser humano. (ATSDR, 2007). El arsénico posee una gran solubilidad en el agua por lo que es naturalmente un compuesto móvil, es decir se esparce fácilmente.

## 2.2 Especies arsenicales

En la naturaleza el Arsénico (As) se encuentra presente, en aguas geotermales, en rocas sedimentarias y volcánicas con frecuencia como sulfuro de arsénico; y arsenopirita en las impurezas de los depósitos mineros, incluso como arseniato y arsenito en las aguas superficiales y subterráneas. (Lillo, 2005). Existen tres grandes grupos de compuestos de arsénico (As):



**Figura 2.2 As en estado natural en rocas sedimentarias (www.miliarium.com)**

### 2.2.1 Compuestos de arsénico orgánico

Estos compuestos se encuentran principalmente en alimentos de origen marino, como camarones, cangrejos y peces, están en forma de arsinocolina y arsenobetaina, aunque algunos también se han localizado en especies terrestres. Por lo general los compuestos de arsénico orgánico contienen carbono como el salvarsán ( $C_{12}H_{14}As_2Cl_2N_2O_2$ ), la trimetilarsina ( $As(CH_3)_3$ ), los ácidos monometilarsónico y dimetilarsínico [DMA:  $(CH_3)_2AsO(OH)$ ]. (IPCS, 2001).

Tabla 2.1 Especies Arsenicales orgánicas (Litter, 2008)

ESPECIES ORGÁNICAS	
$(CH_3)_4As^+$	Ion tetrametilarsonio ( $TMA^+$ )
$(CH_3)_3AsO$	Óxido de trimetilarsina (TMAO)
$(CH_3)_3As$	Trimetilarsina
$(CH_3)_2AsO(OH)$	Ácido dimetilarsínico (DAMA)
$(CH_3)_2AsH$	Dimetilarsina (DMA)
$(CH_3)_2AsO(OH)_2$	Acido monometilarsónico (MMAA)
$(CH_3)_2AsH_2$	Metilarsina
arsenoazúcares	AsAz
$(CH_3)_2As(O)CH_2CH_2OH$	Dimetilarsinoiletanol
$(CH_3)_3As^+ CH_2CH_2OH$	Arsenocolina (AC)
$(CH_3)_3As^+ CH_2COO^-$	Arsenobetaina (AB)

Por otra parte el ácido arsánico, el ácido fenilarsónico y sus sales tienen amplio uso como promotores de crecimiento y tratamiento de enfermedades entéricas en cerdos y aves. (Biswas, 1998).

## 2.2.2 Compuestos de arsénico inorgánico

Los compuestos inorgánicos son principalmente de origen geológico y pueden encontrarse en el agua subterránea que se emplea para el agua de bebida en algunas partes del mundo, además de contener arsénico (As), tienen por lo menos otro elemento, pero no carbono (C). (IPCS, 2001).

Las formas dominantes de arsénico inorgánico que se conocen por valencias o estados de oxidación son:

- Arsenito, con valencia 3, también se denomina trivalente arsénico; (AsIII).
- Arseniato, con valencia 5, también se denomina pentavalente arsénico; (AsV).

En aguas superficiales el (As) se presenta, predominantemente, en forma pentavalente As (V) mientras que en aguas subterráneas el (As) puede estar presente en forma trivalente As (III) y As (V). (Lillo, 2005). El As (III) corresponde a especies ácido arsenioso ( $\text{H}_3\text{AsO}_3$ ) y sus bases conjugadas. El As (V) está asociado con las especies: ácido arsénico ( $\text{H}_2\text{AsO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{AsO}_4^-$ ,  $\text{HAsO}_4^{2-}$ ,  $\text{AsO}_4^{3-}$ ) y sus bases conjugadas. (Hasegawa et al., 1999).

Las formas trivalentes son más solubles y 10 veces más tóxicas que las formas penta o cero-valentes, esto se debe a su capacidad de interactuar con grupos sulfhidrilos en las proteínas, lo que afecta a la funcionalidad de numerosas enzimas. (Routt et al., 1999).

El pH y el Potencial Redox juegan un papel importante en la distribución de especies arsenicales e influyen en su estado de oxidación y su movilidad (Calvo et al., 2003). Por ejemplo en aguas naturales con pH de 5 a 9 predominan las especies: ( $\text{H}_2\text{AsO}_4^-$ ,  $\text{HAsO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_3\text{AsO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{AsO}_3^-$ ).

Tabla 2.2 Estabilidad y predominio de las especies de arsénico variando los rangos de pH en el medio acuático.

pH	0 – 9	10 – 12	13	14
<b>As<sup>+3</sup></b>	H <sub>3</sub> AsO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> AsO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>3</sub> AsO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	AsO <sub>3</sub> <sup>-3</sup>
pH	0 - 2	3 – 6	7 - 11	12 – 14
<b>As<sup>+5</sup></b>	H <sub>3</sub> AsO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> AsO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	H <sub>3</sub> AsO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	AsO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>

En condiciones oxidantes, los arseniatos As(V) predominan sobre arsenitos o As(III), encontrándose fundamentalmente como H<sub>2</sub>AsO<sub>4</sub><sup>-</sup> (pH bajos inferiores a 6,9), mientras que a pH más alto, la especie dominante es HAsO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, en condiciones de extrema acidez, la especie dominante es el H<sub>3</sub>AsO<sub>4</sub>, mientras que en condiciones de extrema basicidad, la especie dominante es el AsO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (Figs. 2.3). En condiciones reductoras y pH inferior a 9,2, predominará la especie neutra (Fig. 2.3) (Brookins, 1988; Yan et al., 2000).

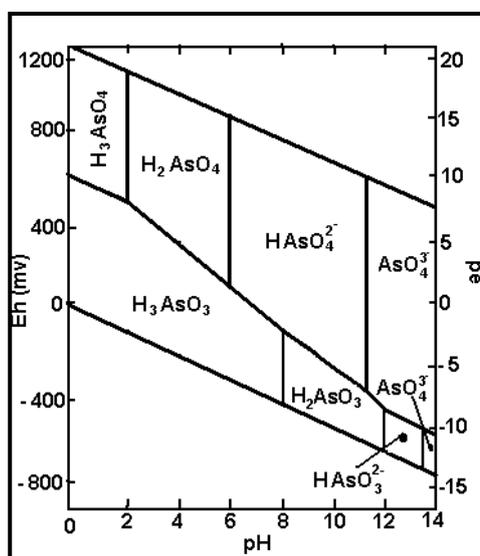


Figura 2.3 Estado de oxidación del arsénico en función del pH y Eh. (Lillo J; 2005)

La especiación del As inorgánico es de gran importancia en la eficiencia que presentan los procesos de remoción de As. El As pentavalente As (V) es removido en forma más efectiva que el As trivalente. (Lillo, 2005).

### **2.2.3 Gas arsina y arsinas sustituidas.**

El gas arsina es considerada la forma más tóxica, seguida del arsenito, y arseniatos. Dependiendo de la dosis, se pueden presentar diversos síntomas y si ésta es excesiva puede resultar fatal. (Albores et al., 2007), se puede generar inadvertidamente en procesos industriales en los que se forma hidrógeno naciente en presencia de arsénico.

Las arsinas sustituidas son compuestos arsenicales orgánicos trivalentes que, dependiendo del número de grupos alquilos o fenilos que tengan unidos al núcleo de arsénico, se conocen como arsinas mono, bi o tri sustituidas. (Department of Health and Senior Services NJ; 1998).

La dicloroetilarsina ( $C_2H_5AsCl_2$ ) o etildicloroarsina es un líquido incoloro de olor irritante. Este compuesto, al igual que el dicloro (2-clorovinil) arsina ( $ClCH:CHAsCl_2$ ) o clorovinildicloroarsina (lewisita), se desarrolló como posible arma química, aunque nunca llegó a utilizarse. (Arguello et al., 2007).

## **2.3 Movilidad y Transporte del Arsénico en el agua**

El arsénico es un elemento habitual en la atmósfera, hidrósfera y biósfera (rocas, suelos, aguas naturales y organismos vivos).

Su movilidad en el ambiente se debe a procesos naturales como la desintegración y lixiviación de rocas, procesos geoquímicos naturales, emisiones volcánicas; y actividades humanas como son la minería, el uso de

plaguicidas, la fabricación y uso de preservantes de madera, el uso de fertilizantes y herbicidas en actividades agrícolas, o el uso de aditivos arsenicales en animales etc.



**Figura 2.4 Transporte del Arsénico al Ambiente**

El contenido de altas concentraciones de arsénico de origen natural en las aguas está controlado por tres factores: la fuente primaria de arsénico (geosfera y atmósfera), los procesos de movilización/retención de arsénico en la interacción entre la fase sólida y la fase líquida, y el transporte de arsénico como especie acuosa en el seno del agua. (Lillo, 2005).

### **2.3.1 Movilidad**

Existen dos procesos geoquímicos que controlan la movilización de arsénico al agua; las reacciones de adsorción-desorción, y las reacciones de coprecipitación-codisolución.

### **a.- Adsorción/Desorción**

Las reacciones de adsorción consisten en la unión parcial de arsénico a una superficie; mientras que un proceso inverso a este es la desorción. Estas reacciones están descritas mediante isoterma. Una isoterma de adsorción o intercambio es aquella que relaciona la concentración de un determinado componente en solución con su concentración en la superficie de la partícula. Esta concentración en la superficie dependerá del componente implicado, de la carga de superficie, y de otros iones en solución y su concentración, ya que competirán a su vez para ocupar lugares en la superficie, el fosfato por ejemplo tiene un comportamiento geoquímico similar al arseniato y ambos competirán por los lugares de sorción.

Tanto arsenito como arseniato pueden ser adsorbidos en la superficie de varios materiales presentes en el medio como son óxidos de metales, sobre todo de hierro, manganeso y aluminio, materia orgánica y arcillas. La adsorción de arseniato por oxihidróxidos de hierro es particularmente fuerte y las cantidades adsorbidas pueden ser apreciables incluso a bajas concentraciones de arsénico en la solución. El arsénico también es adsorbido en los bordes de las arcillas como As(III) y As(V) (Manning and Goldberg, 1997b), y en la superficie de carbonatos como la calcita, aunque la cantidad adsorbida es mucho menor que en el caso de los óxidos e oxihidróxidos de hierro (Goldberg y Glaubig, 1988).

Las reacciones de adsorción y desorción entre arseniato y superficies en óxidos de hierro son particularmente importantes ya que el arseniato se adsorbe fuertemente sobre las superficies de los óxidos de hierro en condiciones ácidas o con pH próximos a los valores neutros. Sin embargo, la desorción de arseniato de dichas superficies ocurrirá en el caso de pH con valores alcalinos.

### **b.- Precipitación/Disolución**

Estas reacciones tienen que ver con la formación y crecimiento de una fase mineral y su destrucción; es decir que están controladas por la fisicoquímica de la solución, fundamentalmente pH, temperatura, estado redox y concentración de especies acuosas.

La coprecipitación es un proceso natural donde constituyentes menores o accesorios se incorporan a la estructura mineral que se forma, como es el caso de arsénico que coprecipita con la pirita. De la misma manera, fósforo y arsénico son coprecipitados con los óxidos de hierro.

El proceso inverso a la coprecipitación es la codisolución, que en el caso de arsénico dará lugar a su movilización al agua, los procesos de disolución/codisolución más importantes en cuanto a movilización de arsénico en las aguas son la oxidación de sulfuros, fundamentalmente pirita; y la disolución reductiva de óxidos.

• **Oxidación de sulfuros.**-Es un mecanismo importante en áreas mineras con abundancia de sulfuros, aunque también puede involucrar pirita autigénica en sucesiones sedimentarias. La oxidación de sulfuros tiene lugar cuando el medio se halla en condiciones oxidantes. El Fe disuelto tiende a precipitar en sulfato de Fe (jarosita) y óxidos y oxihidróxido de Fe, con readsorción y coprecipitación de arsénico.

• **Disolución de óxidos e oxihidróxidos de Fe y Mn en condiciones ácidas.**- En condiciones fuertemente ácidas Los óxidos y oxihidróxidos de Fe y Mn se disuelven. El arsénico presente en ellos, tanto adsorbido como coprecipitado, será movilizado durante la disolución. A diferencia de la desorción, la disolución es eficaz en la movilización de arsénico no lábil, incorporado en la red estructural del mineral.

### 2.3.2 Transporte

Desde el punto de vista geoquímico, el transporte de arsénico en el agua está condicionado por la adsorción, ya que esta produce un retardo en el transporte del arsénico en comparación con el propio flujo del agua.

Una alta concentración de arsénico en las aguas dependerá de la transferencia (flujo) o dilución, lo que involucra al factor tiempo en el hecho; en consecuencia en acuíferos profundos y “antiguos” será mucho más difícil encontrar altas concentraciones de arsénico, requiriéndose en estos casos flujos muy lentos.

Las aguas superficiales constituyen sistemas abiertos donde los factores ambientales están continuamente variando (Smedley y Kinniburgh, 2000); por consiguiente los contenidos de arsénico son relativamente bajos, en general inferiores a  $0,8 \mu\text{g l}^{-1}$  (Galindo et., al 2005). Es decir que esta concentración variará dependiendo de factores como recarga (superficial y subterránea), litología de la cuenca, drenaje de zonas mineralizadas, clima, actividad minera y vertidos urbanos o industriales.

Por otro lado, las aguas subterráneas se pueden considerar, en la mayoría de los casos, sistemas semicerrados, donde las condiciones pueden variar, pero de forma discontinua en el tiempo.

### 2.4 Toxicidad

La toxicidad de los compuestos del arsénico varía considerablemente. Los compuestos inorgánicos generalmente son más tóxicos que los compuestos orgánicos y muchos de ellos son carcinogénicos.

La toxicidad del arsénico va a depender del estado de oxidación, la estructura química y la solubilidad en el medio biológico. La escala de toxicidad del arsénico decrece en el siguiente orden:

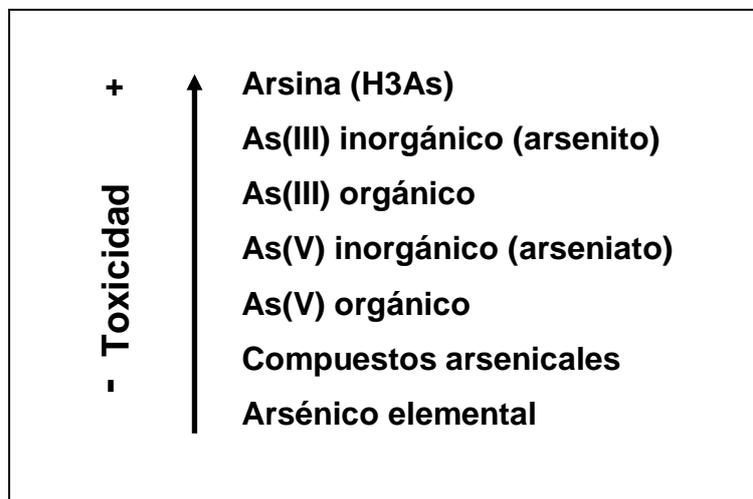


Figura 2.5 Escala de Toxicidad del Arsénico (Autora 2009)

Las principales vías de entrada del As al organismo son el tracto gastrointestinal y el respiratorio. La absorción por vía dérmica es baja. (Albores et., al 2007).

Los cuadros tóxicos causados por arsénico orgánico afectan especialmente al sistema nervioso, produciendo desmielinización de nervios periféricos, ceguera y otros fenómenos de origen central. La toxicidad por arsénico puede ocurrir en dos formas: toxicidad aguda y toxicidad crónica.

### 2.4.1 Toxicidad Aguda

Es la consecuencia de la ingesta de alto contenido de arsénico en un tiempo corto. La toxicidad aguda de compuestos de arsénico en el ser humano está en función de la capacidad de asimilación del cuerpo humano.

La toxicidad aguda varía notablemente según el compuesto, dependiendo de su valencia y solubilidad en los medios biológicos. La toxicidad del arsenito es 10 veces superior a la del arseniato. (Albores, 2007).

Es así que la arsina es considerada la forma más tóxica, seguida del arsenito, de arseniatos y los compuestos orgánicos de arsénico. La dosis letal para adultos está en el rango de 1-4 mg /kg del peso corporal (trióxido de diarsénico). La captación tras la inhalación es también casi completa, ya que incluso el material menos soluble depositado sobre la mucosa respiratoria se transfiere al tracto gastrointestinal, donde se absorbe. (ATSDR, 2007).

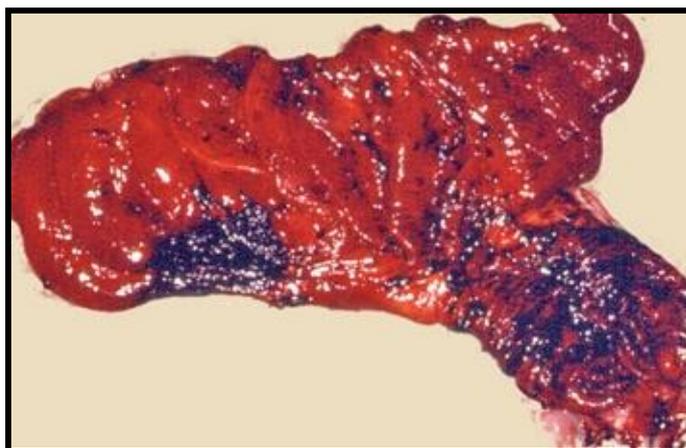
La captación de compuestos de arsénico inorgánico en el tracto gastrointestinal es casi completa, aunque puede ser más lenta en las formas menos solubles (Biswas, 1998), como el trióxido de arsénico en forma particulada.

La exposición profesional a los compuestos de arsénico inorgánico puede producirse por inhalación, ingestión o contacto con la piel. Se pueden observar efectos agudos en la vía de entrada si la exposición es excesiva. (Arguello et al., 2007).

#### **2.4.2 Toxicidad Crónica**

Se entiende como toxicidad crónica, al resultado de la ingesta de pequeñas cantidades de arsénico en un largo periodo de tiempo. Este tipo de toxicidad puede presentarse por lo general en trabajadores expuestos durante un tiempo prolongado a concentraciones excesivas de compuestos de arsénico en suspensión aérea.

Las manifestaciones clínicas ocasionadas por la exposición crónica a compuestos arsenicales son multisistémicas. Los rasgos más sobresalientes son los efectos locales sobre la mucosa del tracto respiratorio y la piel. (Biswas; 1998), se afecta el hígado, los sistemas nervioso y circulatorio, y puede incluso llegar a producir cáncer del tracto respiratorio. (Arguello et al., 2007).



**Figura 2.6 toxicidad As. Abomasitis y úlceras hemorrágicas, (Biswas, 1998).**

Es importante indicar que a consecuencia de la toxicidad crónica con arsénico se producen lesiones cardíacas y vasculopatías periféricas (de tipo gangrenoso); también pueden ocasionar una hipoplasia de tipo medular, causando disminución de glóbulos rojos y blancos. (Biswas, 1998).

Los estudios asociados a las consecuencias producidas por la ingesta, inhalación o contacto con agua contaminada con arsénico son preocupantes, es así que la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norte América, USEPA, clasifica al arsénico como cancerígeno en el grupo A debido a la evidencia de sus efectos adversos sobre la salud, mientras que el Centro Internacional de Investigaciones sobre cáncer lo ha clasificado en el grupo I porque tienen pruebas suficientes de la carcinogenicidad para seres humanos.

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS**

#### **3.1 Métodos**

##### **3.1.1 Plan de toma de muestras**

Esta fase del proceso de investigación se enfoca en determinar las zonas y fuentes hídricas que van a ser seleccionadas para la toma de muestras de aguas superficiales; recolección de sedimentos y suelos en el Valle de los Chillos.

Para ello se usó cartas topográficas correspondientes a la zona del Valle de los Chillos, y se ha revisado la normativa ambiental, y estudios anteriores con temas relacionados a este trabajo de investigación.

Para un desempeño efectivo de las actividades planteadas ha sido necesaria la calibración de equipos a utilizarse previo a la toma de muestras y mediciones.

La elaboración de un cronograma de toma de muestras y la obtención de permisos municipales otorgados por las autoridades encargadas del manejo del recurso agua del cantón Rumiñahui para acceder libremente a las fuentes hídricas superficiales han facilitado el desarrollo ordenado y seguro de la investigación. El detalle del cronograma se incluye en el Anexo 5.

### 3.1.2 Toma de muestras

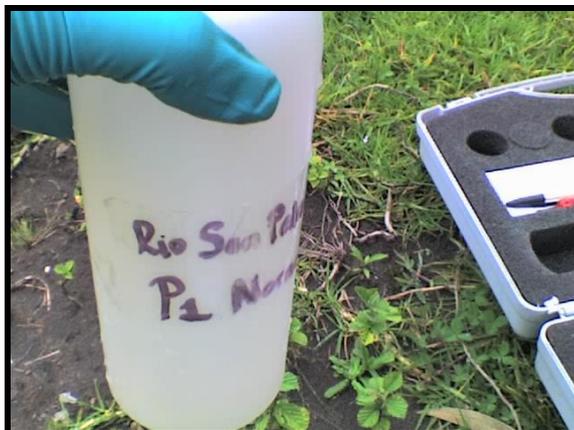
La recolección de muestras en el campo se realizó en dos temporadas climáticas, existentes en nuestro país similar a invierno y verano. Las fuentes hídricas superficiales seleccionadas para la recolección de muestras de agua y sedimentos fueron: Río San Pedro, Sta. Clara, Pita y Cachaco, en razón de que estos ríos atraviesan los principales poblados del Valle de los Chillos.



**Figura 3.1 Fuentes hídricas superficiales (Autora 2009).**

En cada punto de toma de muestra, se registró la ubicación geográfica con geoposicionador. (GPS Magellan Explorist 600), y se tomó muestras por duplicado cada una de 500 mL; la primera fue preservada con ácido clorhídrico

(HCl) con la finalidad de evitar reacciones; la segunda sin adición de ningún reactivo.



**Figura 3.2** Recolección de muestras de agua (Autora 2009)

Para coleccionar la muestra de sedimentos, se procedió a excavar 5 cm y recoger medio kilogramo de sedimentos en recipientes de plástico. Para la recolección de muestras de suelo, se utilizó la misma metodología, con la diferencia de que estas muestras fueron recolectadas de terrenos de uso agrícola ó aledaños al sector de estudio. (Fig. 3.3)



**Figura 3.3** Recolección de muestras de sedimentos (Autora 2009)

Posteriormente, todas las muestras recolectadas en campo fueron almacenadas y transportadas en cadena de frío (4°C.) al laboratorio hasta su procesamiento.

### 3.1.3 Análisis “in situ”

La palabra “In situ” proviene de la locución latina que significa en el sitio o en el mismo lugar, por consiguiente la medición de parámetros in situ, se refiere a las mediciones que se realizó en el mismo lugar que ha sido establecido para la recolección de muestras.



**Figura 3.4** Medición de parámetros in situ (Autora 2009)

El análisis de estos parámetros es importante para la caracterización físico-química de las aguas superficiales; parámetros in situ como pH; Eh (Potencial Redox); sólidos disueltos influyen en la movilidad del arsénico y su especiación.

Tabla 3.1 Parámetros in situ.

Parámetro	Objetivo	Método / Instrumento
pH	Alcalinidad o acidez del agua Determinar posibles especies arsenicales presentes en las muestras recolectadas.	Multiparamétrico
Temperatura	Solubilidad de sales y gases. Condiciona la medida de pH y conductividad.	Multiparamétrico
Sólidos disueltos totales	Turbidez del agua	Multiparamétrico
Conductividad eléctrica	Capacidad del agua de transportar la corriente eléctrica	Multiparamétrico
OD	Cantidad de oxígeno que está disuelto en el agua. Indicador de cuán contaminada está el agua y cuán bien puede dar soporte a la vida vegetal y animal.	Multiparamétrico
Eh (Potencial Redox)	Está relacionado con el contenido de oxígeno. Es análogo al pH ya que mide la actividad de los electrones.	Multiparamétrico
Alcalinidad	Presencia de iones ( $\text{CO}_3^-$ ) y ( $\text{HCO}_3^-$ )	M.Argentométrico ASTM D1067-92 APHA 2320 B <sup>-</sup> 1995
Cloruros	Contenido de sales en el agua.	M.Argentométrico ASTM D1125-91 APHA 4500 Cl <sup>-</sup> B1995

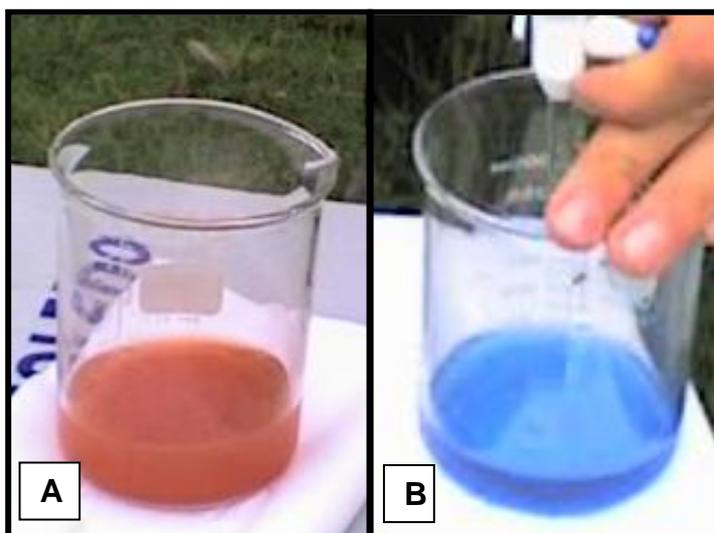


Figura 3.5 Determinación de Cloruros(A); y Alcalinidad(B) (Autora 2009).

### 3.1.4 Análisis en el laboratorio

#### a.- Análisis de Sulfatos

Para determinar sulfatos en las muestras de agua se procedió a utilizar una variación del método Turbidimétrico 4500-  $\text{SO}_4^{2-}$  Standard Methods (APHA 1992), Para el efecto se utilizó un solvente acondicionador, Tween 20, con la finalidad de modificar la viscosidad de la muestra y así permitir que el precipitado de  $\text{BaSO}_4$  se mantenga en suspensión.

#### b.- Análisis de Fosfatos

Los análisis de fosfatos fueron realizados mediante el método 4500- PC. Vanadomolybdophosphoric Acid, Colorimetric Method del Standard Methods for the examination of water and wastewater.

### 3.1.5 Análisis químico de As

- **Principio:**

El análisis químico para determinar arsénico total, se realiza utilizando un generador de hidruros conectado a un espectrómetro de absorción atómica, Perkin Elmer AA100.

- **Materiales, Equipos y reactivos:**

- ✓ Celda de cuarzo
- ✓ Lámpara de As
- ✓ Acetileno extrapuro
- ✓ Argon extrapuro
- ✓ Equipo de Absorción atómica
- ✓ Generador de hidruros
- ✓ Borohidruro (NaBH<sub>4</sub>) 3%
- ✓ HCl 1.5%
- ✓ Estándar As (1ppm)
- ✓ Agua desionizada

- **Procedimiento:**

Siguiendo el método APHA 3500-As B; se utiliza 1 mL de muestra, el cual se agrega a 10 mL de HCl 0,1 N. Después de 10 segundos, se deja pasar una solución de borohidruro de sodio a un reactor, para reducir todo al arsénico y posteriormente generar el hidruro de arsénico. El gas hidruro es transportado hacia una celda de cuarzo ayudado por un gas de transporte inerte (argón). La celda es mantenida a alta temperatura mediante la combustión de acetileno y el arsénico se cuantifica usando una lámpara de descarga de electrones (e-) que trabaja con 180 voltios y con una longitud de onda de 193.7nm. La sensibilidad del equipo es de 0,5 a 2 ng As.

- **Expresión de resultados**

Los valores proporcionados por lectura del equipo son en ng por cada 0.011L de muestra (0.010 L HCl + 0.001 L de muestra utilizada); a fin de proporcionar valores en unidades que puedan ser comparadas con valores guía (límites permisibles del metaloide)  $\mu\text{g/L}$ ; se debe realizar los siguientes cálculos:

✓ **Transformación de ng/L a  $\mu\text{g/L}$  (Aguas)**

$$X \frac{\text{ng}}{0.011\text{L}} * \frac{\mu\text{g}}{10^3 \text{ng}} = X \frac{\mu\text{g}}{\text{L}}$$

✓ **Transformación de ng/L a  $\mu\text{g/g}$  (Suelos y Sedimentos)**

$$q = \frac{V}{m} [C_f - C_i] \quad q = \frac{0,05\text{L} \left[ \frac{\text{m.aforada}}{\text{m.utilizada}} \right] * X \mu\text{g}}{0,5\text{g}} \quad q = X \frac{\mu\text{g}}{\text{g}}$$

### 3.1.6 Análisis químico de metales

Para la determinación de metales en agua se utiliza el método EPA 3010 de 1986, (espectrometría de absorción atómica). Para el efecto se utiliza un espectrómetro de Absorción atómica de rayo simple con resolución espectral menor de 1nm. En cada análisis se usa soluciones estándar y lámparas de cátodo hueco para cada metal (Ca, Mg; Fe).

**Tabla 3.2 Parámetros tomados en cuenta para medición de Ca.**

<b>Standard</b>	100 ppm (mg/l)
<b>Soluciones de Calibración</b>	2,4,6 ppm
<b>Longitud de Onda para Ca</b>	422.7 nm.
<b>Concentración Check</b>	4mg Ca/L (4ppm)

Tabla 3.3 Parámetros tomados en cuenta para medición de Mg.

<b>Standard</b>	100 ppm (mg/l)
<b>Soluciones de Calibración</b>	2,5,9 ppm
<b>Longitud de Onda para Mg</b>	202,6 nm.
<b>Concentración Check</b>	9mg Mg/L (9ppm)

Tabla 3.4 Parámetros tomados en cuenta para medición de Fe.

<b>Standard</b>	1000 ppm (mg/l)
<b>Soluciones de Calibración</b>	2,5,9 ppm
<b>Longitud de Onda para Cu</b>	nm.
<b>Concentración Check</b>	mg Fe/L (9ppm)

#### a.- Cálculos de Dureza a partir de los cationes Ca y Mg

Se efectúa los siguientes cálculos para obtener la dureza como CaCO<sub>3</sub> (mg/L) a partir de los resultados de Ca y Mg.

**Ca mg/L → CaCO<sub>3</sub> mg/L**

$$X \frac{\text{mg Ca}}{\text{L}} \left| \frac{1 \text{ g Ca}}{1000 \text{ mg Ca}} \right| \frac{1 \text{ mol Ca}}{40 \text{ g Ca}} \left| \frac{1 \text{ mol CaCO}_3}{1 \text{ mol Ca}} \right| \frac{100 \text{ g CaCO}_3}{1 \text{ mol CaCO}_3} \left| \frac{1000 \text{ mg CaCO}_3}{1 \text{ g CaCO}_3} \right|$$

**Mg mg/L → CaCO<sub>3</sub> mg/L**

$$X \frac{\text{mg Mg}}{\text{L}} \left| \frac{1 \text{ g Mg}}{1000 \text{ mg Mg}} \right| \frac{1 \text{ mol Ca}}{24 \text{ g Ca}} \left| \frac{1 \text{ mol CaCO}_3}{1 \text{ mol Mg}} \right| \frac{100 \text{ g CaCO}_3}{1 \text{ mol CaCO}_3} \left| \frac{1000 \text{ mg CaCO}_3}{1 \text{ g CaCO}_3} \right|$$

**Donde:**

$$\text{CaCO}_3_{\text{Ca}} + \text{CaCO}_3_{\text{Mg}} = \text{CaCO}_3_{\text{Total}} \text{ (Dureza total)}$$

## 3.2 Procedimientos

### 3.2.1 Separación de Especies Arsenicales

Este procedimiento se realiza usando una mini-columna empacada con resina de intercambio aniónico. Para esto se debe ajustar el pH de las muestras entre 4 y 5 a fin de que las especies arsenicales del As(V) se conviertan en aniones, los cuales serán retenidos por la resina; mientras que los arsenitos o especies As(III) permanecerán neutros y atravesarán la columna sin ser capturados.

Para ajustar el pH se utiliza soluciones de NaOH 0.1N y HNO<sub>3</sub> 0.1N. El caudal con el que se inyecta el agua a la columna es de alrededor de 0,1 mL/min. Con la finalidad de disponer suficiente muestra para la cuantificación y para que exista una homogenización de ésta, por la columna se hacen pasar al menos 30 ml de agua pretratada. El líquido saliente de la columna se recoge en un matraz para cuantificarse. Al final las muestras son analizadas usando GH-AA.

### 3.2.2 Extracción de Arsénico de Sedimentos y Suelos.

Las muestras de sedimentos y suelos se secan a temperatura ambiente para luego ser molidas y tamizadas (0,2 mm de diámetro). A continuación se utiliza 0,5 g de la muestra cernida, a la que se añade una solución 1M Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, 1M HCl y 1M KI con una razón volumétrica de 2:10:10, respectivamente. Las muestras se calientan en un horno por 12 horas a 450°C.

El residuo sólido remanente se disuelve con 5 mL 6N HCL y se reduce con 5 mL de una solución de KI al 5% (p/v). La solución se deja reposar por 30

minutos, se filtra y se afora a 50 mL con agua desmineralizada. Finalmente el contenido se analiza con GH-AA.

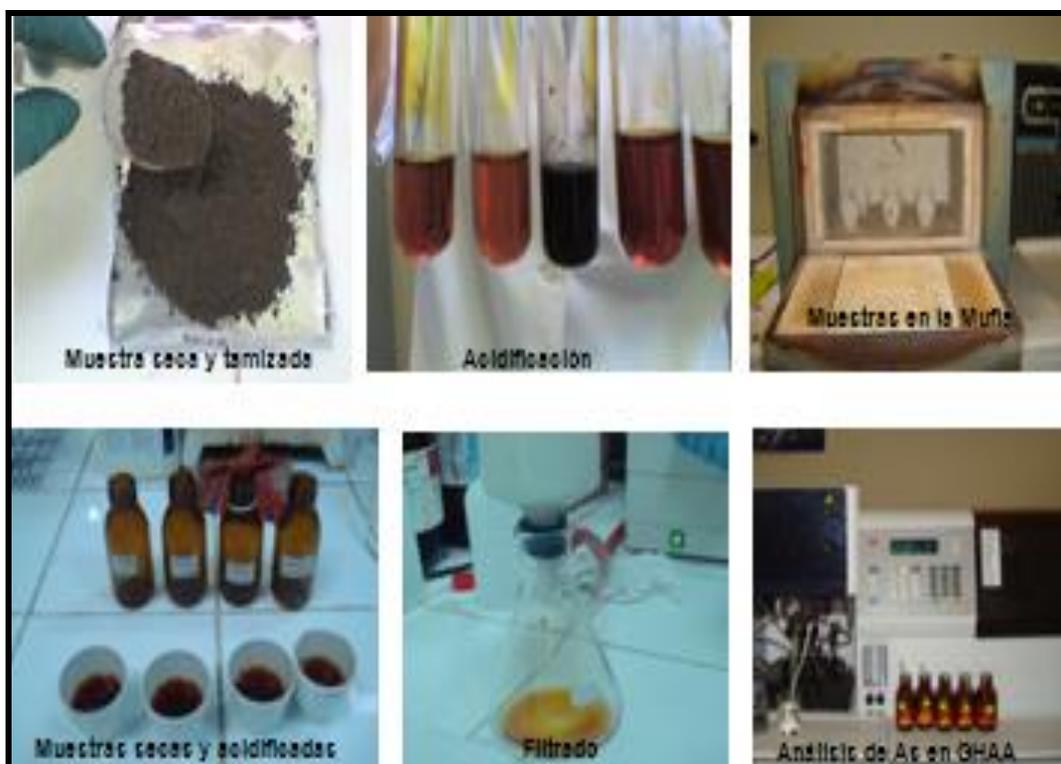


Figura 3.6 Extracción de sedimentos y suelos (Autora 2009)

### 3.2.3 Extracción de Materia Orgánica de Sedimentos y Suelos.

Se procede a colocar 2g de la muestra de sedimentos ó suelos (previamente seca al ambiente y tamizada) en el crisol enumerado e identificado, a continuación se deja en la estufa durante 3 horas a 150°C, después se deja enfriar 30 minutos a temperatura ambiente con la finalidad de que se estabilice, a continuación volvemos a elevar la temperatura a 150°C durante una hora, después se deja enfriar y se pesa el contenido; entendiéndose que la resta de este resultado es únicamente el contenido de humedad.

$$(P_i \text{ Cresol} + P. \text{ Muestra}) - (P. \text{ Muestra Estufa}) = H \text{ (Humedad)}$$

$$(H*100) / 2 = \%HUMEDAD$$

De la muestra obtenida se coloca un gramo en los crisoles, y se deja en la mufla de 4 a 5 horas a 600°C, después de enfriarse las muestras se pesa el contenido y por diferencia se obtiene el contenido de M.O.

$$(P_i \text{ Cresol} + P. \text{ Muestra}) - (P. \text{ Muestra Estufa}) = M.O$$

$$(M.O. * 100) = \%M.O.$$

Para comprobar la eficiencia de este método se procede a realizar el mismo ensayo por triplicado en una muestra cuyo contenido de M.O se presume es baja, consecuentemente los valores en porcentaje de M.O deben ser similares es decir que la primera cifra decimal no varíe, mientras que la segunda cifra decimal varíe muy poco de esta manera el método aplicado en la muestras es válido.

**Tabla 3.5 Comprobación de Ensayo de M.O.**

<b>ID Muestra</b>	<b>M.O. (g)</b>	<b>M.O. (%)</b>
Mx1	0,0173	1,73
Mx2	0,0174	1,74
Mx3	0,0176	1,76

### **3.3 Procesamiento de los datos obtenidos en el laboratorio.**

Los datos de concentraciones que se obtuvieron en las diferentes mediciones ya sean in situ o en el laboratorio, fueron registrados en una geodatabase, que consiste en una base de datos, diseñada para almacenar,

consultar y manipular información y/o datos, dentro de un sistema de ficheros o en una colección de tablas en un Sistema Gestor de Base de Datos en este caso ha sido almacenada en Microsoft Excel, con formato (DBF IV).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2	Río	Id. Muestra	Coord X (m)	Coord Y (m)	Altura Z (m)	Descripción	Unidad	Invierno_As	Invierno_As_Acidificada	Verano_As
3	San Pedro	RSP1	777922,00	9958893,00	2565	Parque Ecologico cachaco	ppb (µg/l)	0,73	0,76	1,1
4	San Pedro	RSP2	782636,00	9962834,00	2494	Puente Valvina	ppb (µg/l)	0,46	0,59	2,1
5	San Pedro	RSP3	782922,00	9964440,00	2497	B. Cementerio	ppb (µg/l)	0,61	0,73	2,2
6	San Pedro	RSP4	783268,00	9965897,00	2476	Complejo Deportivo	ppb (µg/l)	0,32	0,39	2,2
7	San Pedro	RSP5	783645,00	9966080,00	2475	Capelo	ppb (µg/l)	0,50	0,85	1,1
8	San Pedro	RSP6	782656,00	9968175,00	2437	Farina	ppb (µg/l)	0,68	0,75	1,1
9	San Pedro	RSP7	783605,00	9969370,00	2439	Armenia	ppb (µg/l)	0,36	0,45	1,1
10	San Pedro	RSP8	784183,00	9970530,00	2404	Reservorio Guangopolo	ppb (µg/l)	2,18	2,25	3,1
11	Sta Clara	RSC1	787536,00	9958139,00	2695	IASA_Cerdos	ppb (µg/l)	0,37	0,37	0,1
12	Sta Clara	RSC2	787450,00	9958559,00	2661	Central Hidroeléctrica	ppb (µg/l)	0,61	0,65	0,1
13	Sta Clara	RSC3	787143,00	9960709,00	2630	ENKADOR	ppb (µg/l)	0,14	0,22	0,1
14	Sta Clara	RSC4	786480,00	9961419,00	2555	Selva Alegre	ppb (µg/l)	0,38	0,43	0,1
15	Sta Clara	RSC5	784827,00	9963204,00	2526	Parque Sta Clara	ppb (µg/l)	0,24	0,41	0,1
16	Sta Clara	RSC6	783956,00	9964724,00	2497	Fabrica de Municiones Sta Ana	ppb (µg/l)	0,75	0,84	1,1
17	Sta Clara	RSC7	783669,00	9965711,00	2501	San Luis	ppb (µg/l)	0,31	0,37	0,1
18	Sta Clara	RSC8	783103,00	9966450,00	2474	San Rafael Iglesia Mormones	ppb (µg/l)	0,65	0,76	1,1
19	Pita	RPI1	788818,00	9954323,00	2836	Molinuco	ppb (µg/l)	1,48	1,59	1,1
20	Pita	RPI2	788710,00	9960715,00	2615	Minas	ppb (µg/l)	1,16	1,24	1,1
21	Pita	RPI3	787968,00	9962312,00	2570	Minas	ppb (µg/l)	0,75	1,00	1,1
22	Pita	RPI4	787458,00	9963880,00	2543	Cashapamba	ppb (µg/l)	1,22	1,29	1,1
23	Pita	RPI5	784839,00	9966148,00	2487	ESPE	ppb (µg/l)	0,65	0,80	0,1
24	Pita	RPI6	782656,00	9968175,00	2437	Farina	ppb (µg/l)	1,54	1,63	2,1

Figura 3.7 Geodatabase (Autora 2009).

### 3.4 Modelamiento de datos mediante el uso de un SIG

La geodatabase es exportada a ArcGis con la finalidad de construir el sistema de información geográfica (SIG), donde la información anteriormente almacenada, se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital.

De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía.

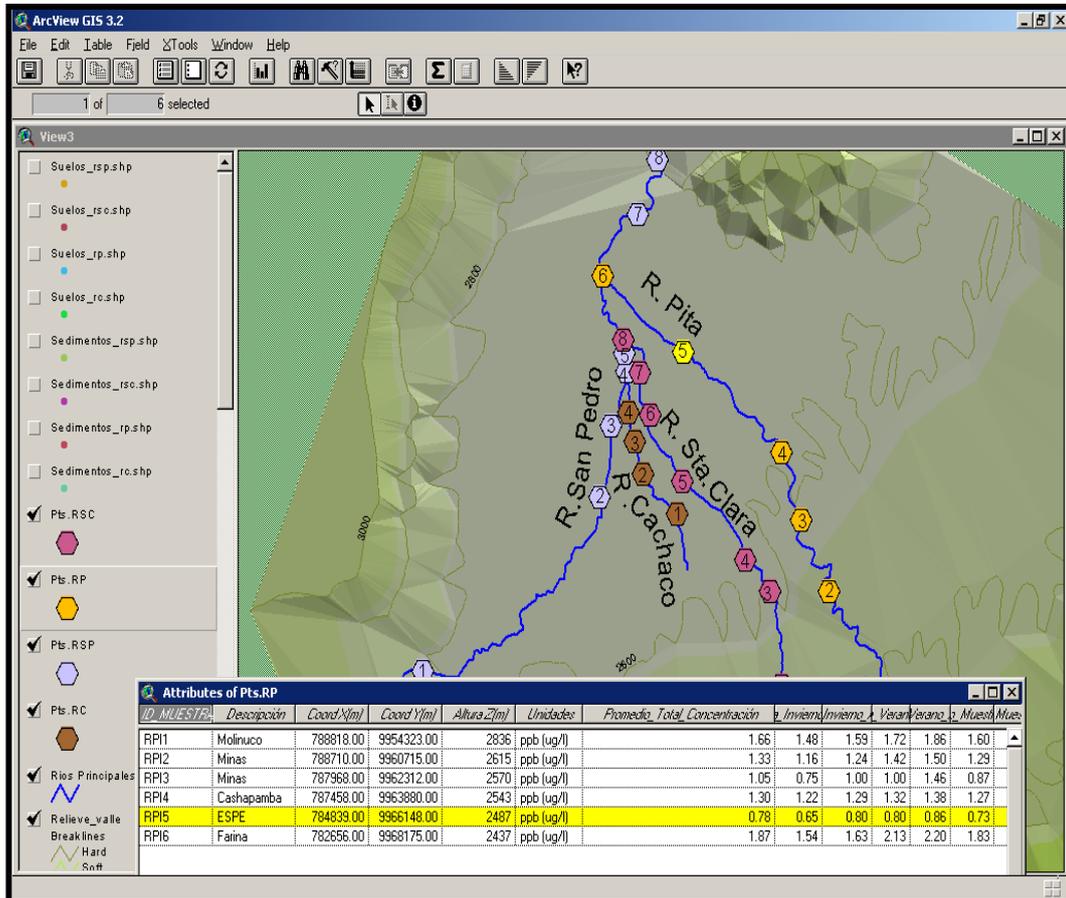


Figura 3.8 Creación del SIG (Autora 2009).

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Análisis comparativo de los resultados de As.

##### 4.1.1 Concentraciones de Arsénico en Aguas Superficiales.

Para cuantificar las concentraciones de  $As_T$  en aguas superficiales se recolectó 2 muestras en cada punto de los ríos. (R. San Pedro 8 pts., R. Pita 6 pts., R. Santa Clara 7pts. y R. Cachaco 4pts). Para establecer los puntos de muestreo se ha considerado la ubicación geográfica; es decir puntos cercanos a lugares o poblados de gran importancia donde la cercanía a estos ríos pueda interferir o perjudicar la calidad del agua.

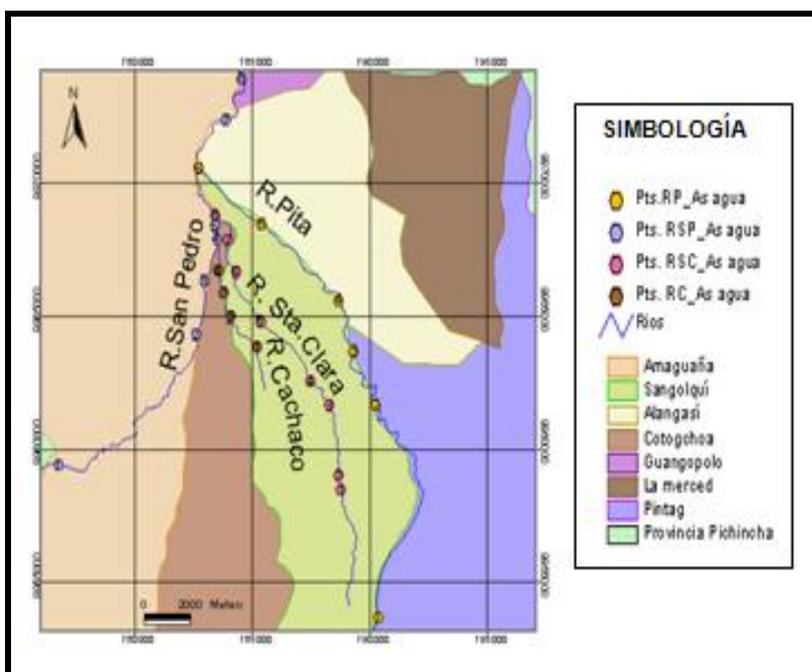


Figura 4.1 Puntos de toma de muestras de agua Superficial (Autora 2009)

En la época invernal los niveles de arsénico presentes en aguas superficiales oscilan entre 0.74 y 2.22 $\mu\text{g/L}$ , mientras que en la época verano entre 1.32 y 3.12 $\mu\text{g/L}$ . (Fig. 4.2 y Fig. 4.3).

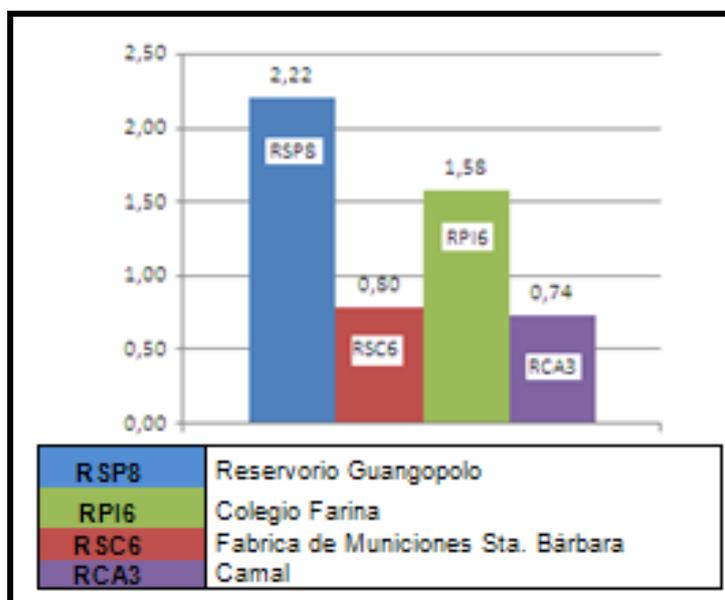


Figura 4.2 Puntos con valores “altos” de  $\text{As}_T$  temporada Invernal (Autora 2009)

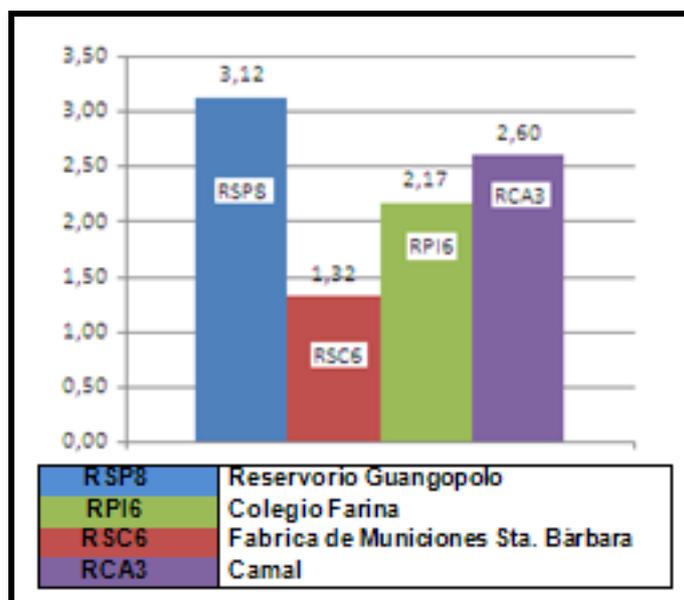


Figura 4.3 Puntos con valores “altos” de  $\text{As}_T$  temporada verano (Autora 2009)

Tabla 4.1 Datos de concentraciones de As ( $\mu\text{g/L}$ ) en aguas superficiales del Valle de Los Chillos

<b>Id. Muestra</b>	<b>Inv As</b>	<b>Inv As_Ac</b>	<b>Ve As</b>	<b>Ve As_Ac</b>	<b>Prom Inv_As</b>	<b>Prom Ve_As</b>	<b>Prom AsT</b>
RSP1	0,73	0,76	1,70	2,05	0,74	1,88	1,31
RSP2	0,46	0,59	2,22	2,41	0,53	2,31	1,42
RSP3	0,61	0,73	2,25	1,78	0,67	2,02	1,34
RSP4	0,32	0,39	2,70	0,84	0,35	1,77	1,06
RSP5	0,50	0,85	1,90	0,89	0,68	1,39	1,04
RSP6	0,68	0,75	1,15	1,20	0,72	1,18	0,95
RSP7	0,36	0,45	1,07	1,57	0,41	1,32	0,87
RSP8	2,18	2,25	3,08	3,16	2,22	3,12	2,67
RSC1	0,37	0,37	0,69	0,86	0,37	0,78	0,58
RSC2	0,61	0,65	0,84	0,89	0,63	0,87	0,75
RSC3	0,14	0,22	0,85	0,90	0,18	0,88	0,53
RSC4	0,38	0,43	0,74	0,90	0,40	0,82	0,61
RSC5	0,24	0,41	0,92	1,01	0,32	0,96	0,64
RSC6	0,75	0,84	1,31	1,33	0,80	1,32	1,06
RSC7	0,31	0,37	0,90	0,98	0,34	0,94	0,64
RSC8	0,65	0,76	1,05	1,15	0,71	1,10	0,91
RPI1	1,48	1,59	1,72	1,86	1,54	1,79	1,66
RPI2	1,16	1,24	1,42	1,50	1,20	1,46	1,33
RPI3	0,75	1,00	1,00	1,46	0,87	1,23	1,05
RPI4	1,22	1,29	1,32	1,38	1,25	1,35	1,30
RPI5	0,65	0,80	0,80	0,86	0,73	0,83	0,78
RPI6	1,54	1,63	2,13	2,20	1,58	2,17	1,87
RCA1	0,53	0,60	0,62	0,68	0,56	0,65	0,61
RCA2	0,59	0,63	0,74	1,60	0,61	1,17	0,89
RCA3	0,64	0,84	2,55	2,65	0,74	2,60	1,67
RCA4	0,48	0,52	1,22	1,33	0,50	1,27	0,89
Inv AsT	Invierno Arsénico Total		Prom. Ac	Promedio Acidificada		As Ve	Arsénico Verano

Es importante indicar que los valores de concentraciones de  $\text{As}_T$  son menores en la temporada invierno que verano, debido al incremento del caudal del agua y a la propiedad de dilución que posee (Tabla 4.1), además los valores de concentraciones de  $\text{As}_T$  en muestras acidificadas (Inv\_As\_Ac; Ve\_As\_Ac) son mayores a las no acidificadas (Inv\_As; Ve\_As), probablemente esto se debe a las pequeñas cantidades de As que el ácido clorhídrico puede contener; el propósito de la acidificación de las muestras es retardar cambios en los estados de oxidación del As; según (Esparza y Wong, 1998) el  $\text{As}_{III}$  se reduce a  $\text{As}_V$  en

condiciones oxidantes, hecho que inevitablemente pueden suscitarse después de recolectar la muestra de la fuente.

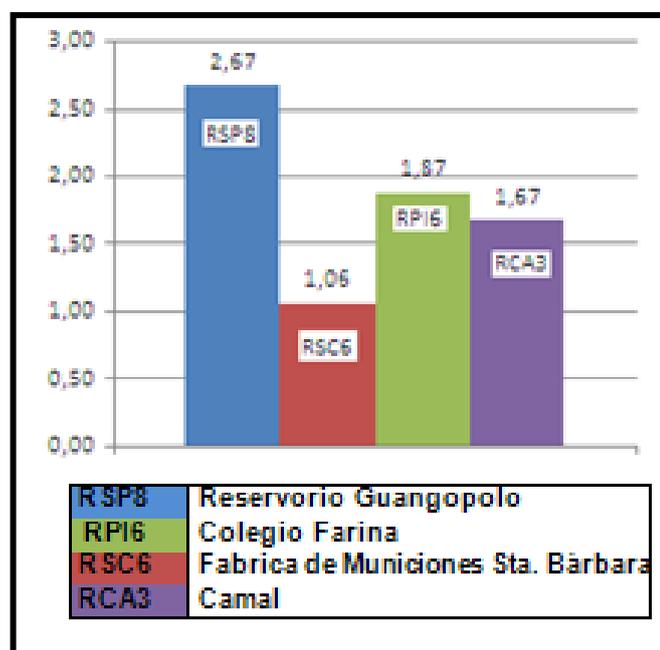


Figura 4.4 Puntos con valores “altos” de  $As_T$  Promedio (Autora 2009)

Notar en la Figura 4.2 y 4.3 que tanto en la temporada invierno como verano, los niveles más altos de  $As_T$  son los del Río San Pedro, en ambos casos el punto de muestreo corresponde al “Reservorio de Guangopolo”, según (Cumbal et al., 2007) en un estudio de concentraciones de As en aguas geotermales de la Región Interandina Centro-Norte determinaron que los niveles de As en el sector del Balneario del Tingo llegaba hasta 100  $\mu\text{g/L}$ . En consecuencia el incremento de  $As_T$  en este lugar posiblemente es ocasionado por la descarga de aguas geotermales del Tingo en esta zona del río San Pedro.

Los valores de concentración de  $As_T$  en aguas superficiales en comparación con los niveles permisibles (Tabla 1.1) son bajos, esto no implica que los valores de concentración del metaloide se mantengan, en un futuro pueden incrementarse debido a procesos geoquímicos naturales, desintegración y

lixiviación de rocas emisiones volcánicas; y actividades humanas como la minería, el uso de plaguicidas, fertilizantes y herbicidas.

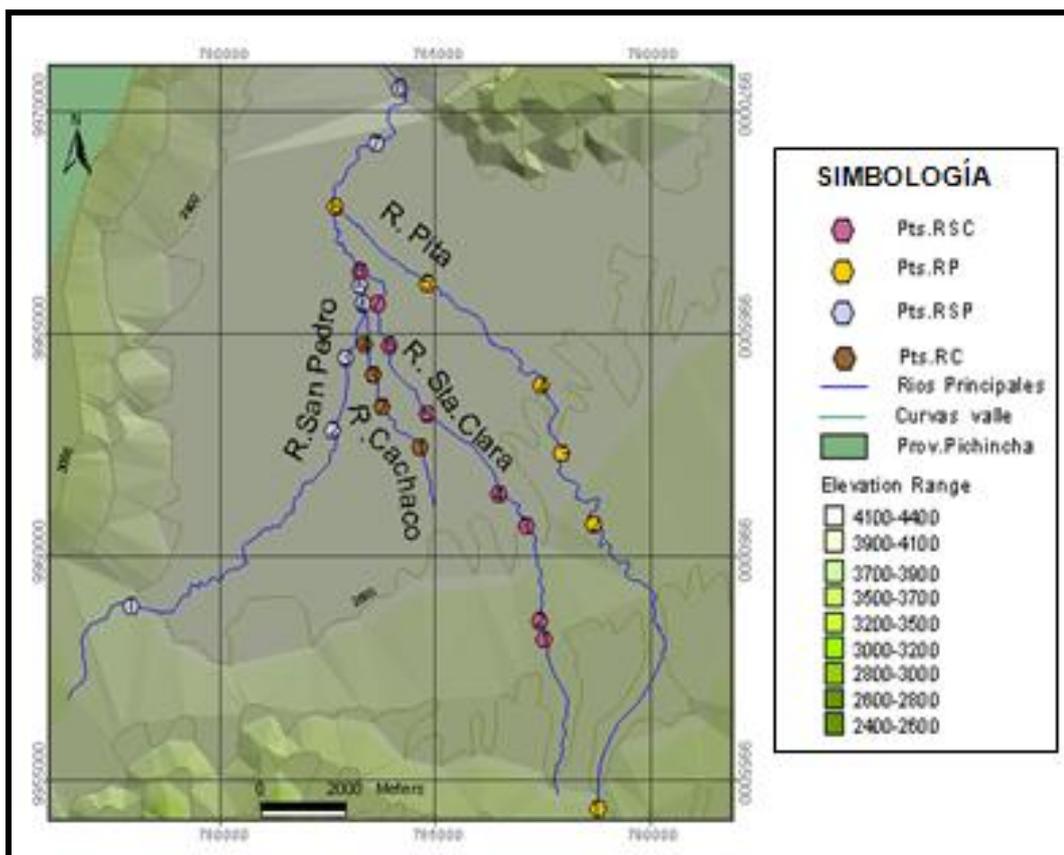
Según (Sancha, 2000) en aguas superficiales la especie arsenical predominante es el AsV, en el ensayo efectuado en el laboratorio para determinar especies arsenicales se comprobó este juicio donde el resultado de valores de AsIII son nulos, es decir que la especie arsenical presente en las muestras recolectadas son AsV. Los resultados de este ensayo son:

**Tabla4.2 Resultados determinación de As(V) en muestras de aguas superficiales.**

<b>Punto</b>	<b>pH</b>	<b>As<sub>T</sub>(μg/L)</b>	<b>As<sup>+3</sup></b>	<b>As<sup>+5</sup></b>
RSP6	6.71	2.16	No detectable	2.16
RSP8	7.38	0.80	No detectable	0.80

#### **4.1.2 Concentraciones de Arsénico en Sedimentos**

Los análisis de concentraciones de As<sub>T</sub> en sedimentos, también fueron efectuados para la temporada verano e invierno, siguiendo la metodología descrita en el capítulo III. Las muestras de sedimentos han sido recolectadas de las riveras de cada fuente hídrica superficial, en los mismos puntos de muestras de agua. (Fig.4.5)



**Figura 4.5 Puntos de toma de muestras de Sedimentos**

Notar en la tabla 4.3 que los valores más altos de concentración de  $As_T$  para la temporada invernal son los del río Cachaco con una concentración de  $0.60\mu\text{g/g}$  (SRC1; Inchalillo), mientras que los valores de concentración de  $As_T$  en sedimentos para la temporada verano se incrementan, siendo el SRSP3 (Barrio Cabre o del Cementerio en Sangolquí- río San Pedro) el punto que alcanza el valor máximo con una concentración de  $(2.76\mu\text{g/g})$ . (Fig. 4.7). Generalmente los niveles de Arsénico presentes en sedimentos suelen ser inferiores a  $0.08\mu\text{g/g}$  (Lillo, 2005); en relación a las muestras de sedimentos analizadas el incremento de arsénico en los sedimentos en comparación con los valores que Lillo, establece son mayores posiblemente por procesos naturales como inducidos por actividad antrópica. (Sartirana et al., 2006).

Tabla 4.3 Datos de concentraciones de As ( $\mu\text{g/g}$ ) en sedimentos del Valle de Los Chillos

<b>Id.</b>	<b>Inv_As</b>	<b>Ve_As</b>	<b>Prom_As</b>
<b>Muestra</b>			
SRSP1	0,34	0,72	0,53
SRSP2	0,50	1,53	1,01
SRSP3	0,51	2,76	1,63
SRSP4	0,22	0,39	0,31
SRSP5	0,57	0,94	0,75
SRSP6	0,41	1,62	1,01
SRSP7	0,35	0,63	0,49
SRSP8	0,52	0,82	0,67
SRSC1	0,49	0,51	0,50
SRSC2	0,26	1,24	0,75
SRSC4	0,53	1,83	1,18
SRSC5	0,47	1,78	1,13
SRSC6	0,45	1,75	1,10
SRSC7	0,34	0,58	0,46
SRSC8	0,49	0,63	0,56
SRPI1	0,20	0,32	0,26
SRPI3	0,41	0,75	0,58
SRPI4	0,23	0,31	0,27
SRPI5	0,16	0,21	0,18
SRPI6	0,21	0,26	0,23
SRCA1	0,60	0,64	0,62
SRCA2	0,46	0,53	0,50
SRCA3	0,57	1,26	0,92
SRCA4	0,13	0,17	0,15
Inv	Invierno	Prom	Promedio
Ve	Verano	As	Arsénico

Además (Lillo, 2005) establece que en muestras de agua superficial la diferencia de valores de concentración de arsénico pueden variar por factores como: clima, actividad minera y vertidos urbanos o industriales. En este caso el factor clima influye en los valores de concentración de arsénico en las temporadas de recolección de muestras; siendo mayores las concentraciones en la temporada verano. (Fig. 4.6 y Fig. 4.7).

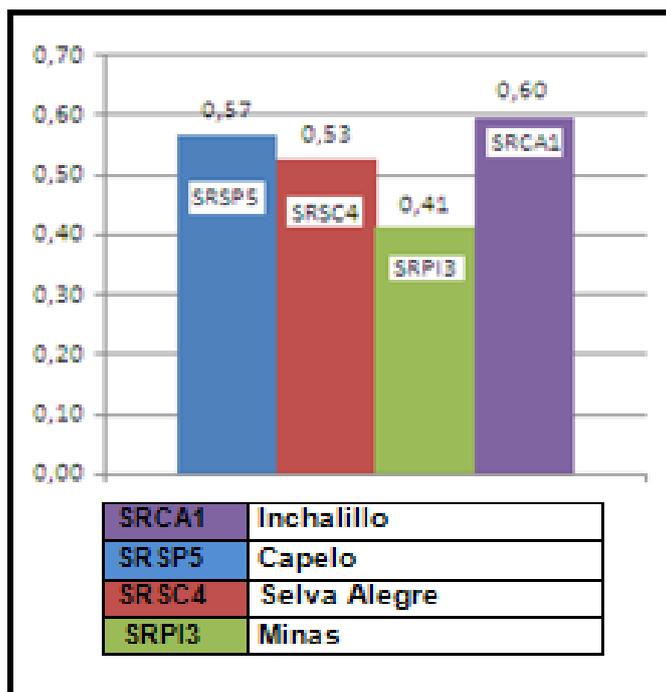


Figura 4.6 Puntos con valores “altos” de  $As_T$  en sedimento época Invernal

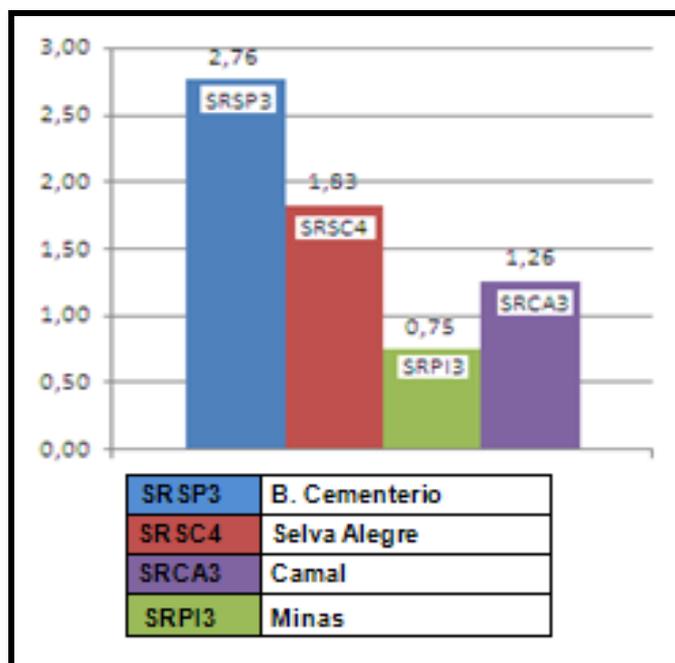


Figura 4.7 Puntos con valores “altos” de  $As_T$  en sedimentos época Verano

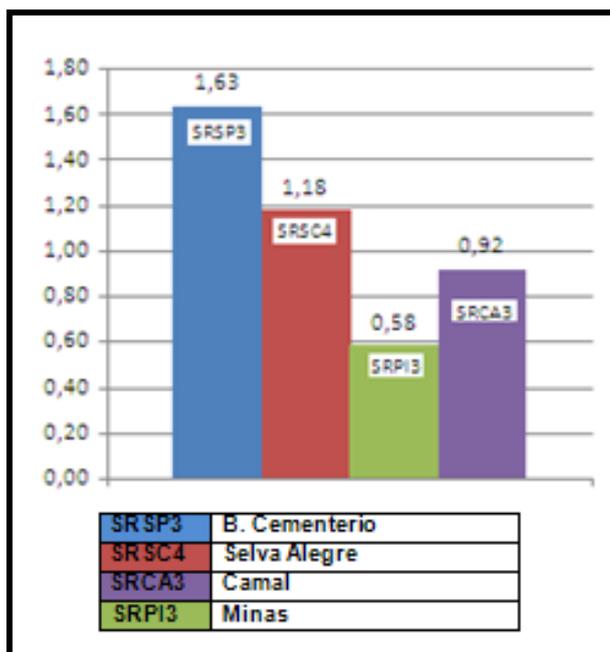


Figura 4.8 Puntos con valores “altos” de  $As_T$  promedio en sedimentos

Por otro lado (Manning y Goldberg, 1997) mencionan que tanto el arsenito como el arseniato pueden ser adsorbidos en la superficie de varios materiales como la materia orgánica, en consecuencia el proceso de adsorción de la materia orgánica con el As, puede ser responsable del incremento de la concentración de As en sedimentos, para comprobar esta hipótesis se efectuó un ensayo con muestras cuyas concentraciones de  $As_T$  sean las más altas. (Tabla 4.4)

Tabla 4.4 Resultados de Ensayo de extracción de MO.

ID Muestra	As (ug/g)	M. agregada (g)	Humedad (g)	Humedad (%)	M. agregada (g)	MO. (g)	MO. (%)
SRSP3	1,63	2,0000	0,0354	1,77	1,0000	0,0615	6,15
SRSP6	1,01	2,0000	0,0158	0,79	1,0000	0,0291	2,91
SRSP2	1,01	2,0000	0,0322	1,61	1,0000	0,0436	4,36
SRSC5	1,13	2,0000	0,0833	4,17	1,0000	0,2159	21,59
SRSC6	1,10	2,0000	0,0228	1,14	1,0000	0,0468	4,68
SRCA3	0,92	2,0001	0,0063	0,32	1,0000	0,0297	2,97
SRPI3	0,58	2,0005	0,0057	0,29	1,0000	0,0186	1,86

Notar en la tabla 4.4 que en las muestras cuyo contenido de materia orgánica (MO) es elevado la concentración de arsénico también, por consiguiente la (MO) presente en las muestras recolectadas influye en los resultados de concentraciones de  $As_T$  en sedimentos.

#### 4.1.3 Concentraciones de Arsénico en el Suelo

Las muestras de suelo han sido recolectadas en zonas aledañas a las fuentes hídricas preferentemente de zonas con fines agrícolas ya que en estas zonas niveles elevados de arsénico generalmente se deben al uso de, pesticidas, fungicidas y otros productos similares como mencionan (Smedley y Kinniburgh, 2002). Para el efecto se recolectaron 8 muestras en el sector del río San Pedro, 8 en el río Santa Clara, 6 en el río Pita y 4 en el río Cachaco. (Fig.4.9).

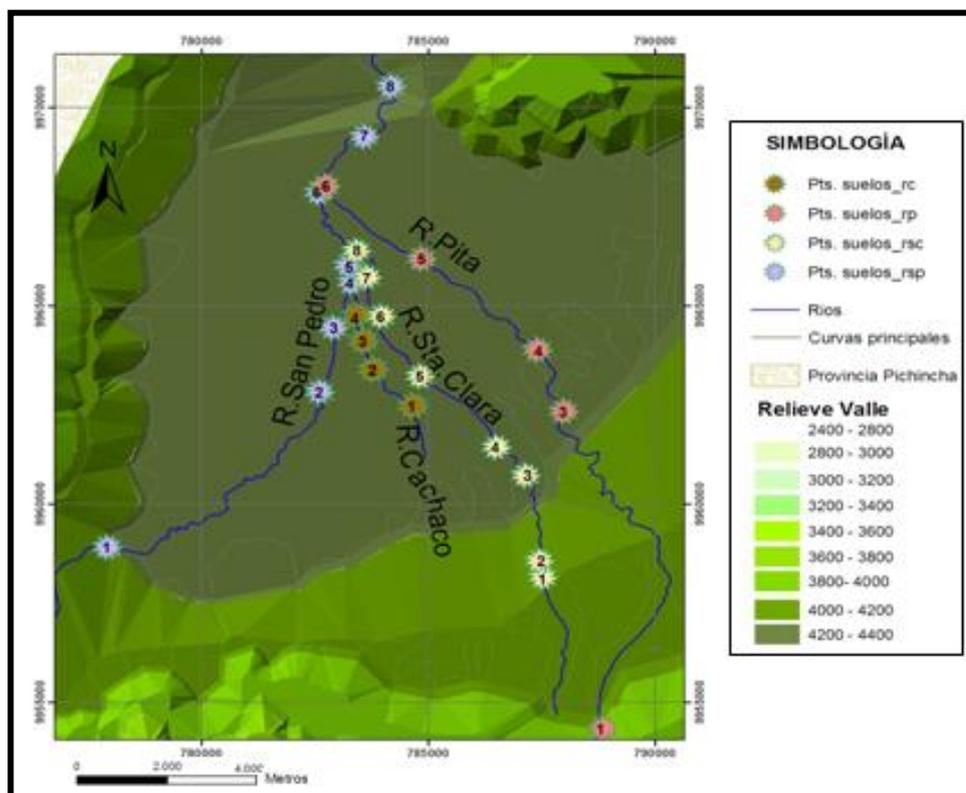


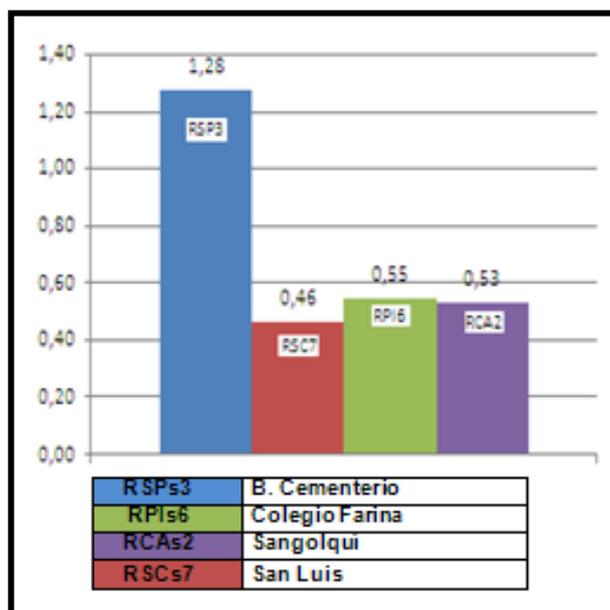
Figura 4.9 Puntos de toma de muestras de suelos.

**Tabla4.5 Datos de concentraciones de As ( $\mu\text{g/g}$ ) en suelos del Valle de Los Chillos**

<b>Id. Muestra</b>	<b>Inv_As</b>	<b>Ve_As</b>	<b>Prom_As</b>
RSP1	0,42	0,86	0,64
RSP2	0,58	1,00	0,79
RSP3	1,28	2,04	1,66
RSP4	0,40	0,72	0,56
RSP5	0,56	0,90	0,73
RSP6	0,35	0,60	0,48
RSP7	0,31	1,05	0,68
RSP8	0,37	0,97	0,67
RSC1	0,30	1,84	1,07
RSC2	0,34	0,75	0,54
RSC3	0,44	0,86	0,65
RSC4	0,44	0,88	0,66
RSC5	0,34	0,74	0,54
RSC6	0,32	1,26	0,79
RSC7	0,46	2,51	1,49
RSC8	0,36	0,62	0,49
RPI1	0,31	0,41	0,36
RPI3	0,42	0,55	0,49
RPI4	0,42	0,58	0,50
RPI5	0,33	0,53	0,43
RPI6	0,55	0,63	0,59
RCA1	0,21	0,28	0,24
RCA2	0,53	0,87	0,70
RCA3	0,13	0,17	0,15
RCA4	0,26	0,38	0,32
Inv. Invierno Ve. Verano		Prom. Promedio As. Arsénico	

Los valores de concentración de As en suelos del Valle de los Chillos (Tabla 4.5) no sobrepasan los valores guía (5mg/kg; TULAS), según (Lesikar et al., 2004) el arsénico en suelos tiene una concentración media de 5 a 6 ppm, valores que pueden incrementarse debido tanto a procesos naturales como inducidos por actividad antrópica, siendo el arseniato la forma más habitual del arsénico en las condiciones experimentales en campo (trabajos agrícolas en la zona superficial del suelo) y laboratorio (Violante y Pigna, 2002) por tanto la más susceptible de experimentar adsorción en los suelos. En zonas cercanas

al río San Pedro, Pita, Cachaco y Santa Clara las concentraciones más elevadas para la temporada invierno fueron: 1.28 $\mu\text{g/g}$  (Barrio Cabre); 0.55  $\mu\text{g/g}$  (Colegio Farina); 0.53 $\mu\text{g/g}$  (Sangolquí) y 0.46 $\mu\text{g/g}$  (Shopping San Luis) respectivamente. (Fig. 4.10).



**Figura 4.10 Puntos con valores “altos” de  $\text{As}_T$  en suelos época Invierno**

En verano el punto donde existe mayor concentración de  $\text{As}_T$  es el RSCs7 correspondiente al sector (Shopping San Luis), zona del río Santa Clara, en este punto la concentración de  $\text{As}_T$  es 2.51 $\mu\text{g/g}$ ; en la zona del río San Pedro la concentración más alta es 2.04  $\mu\text{g/g}$  (Barrio Cabre o del cementerio; RSPs3), en el río Cachaco 0.87  $\mu\text{g/g}$  (Sangolquí; RCAs2) y en el río Pita 0.63  $\mu\text{g/g}$  (Colegio Farina; RPIs6). (Tabla 4.5 y Fig.4.11).

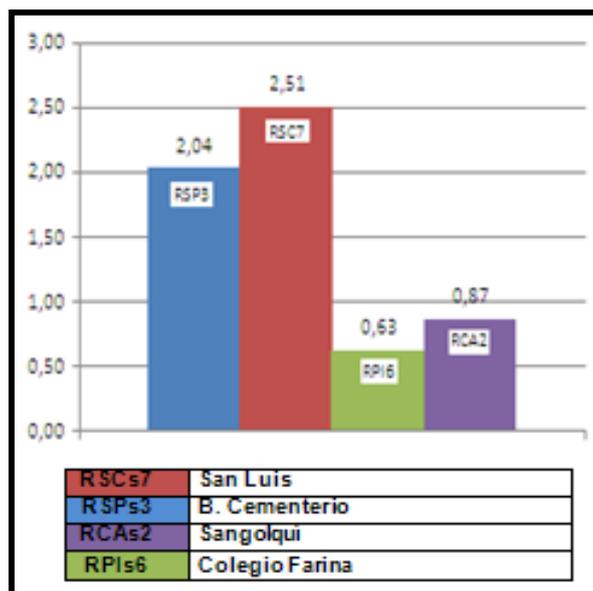


Figura 4.11 Puntos con valores “altos” de  $As_T$  en suelos época Verano

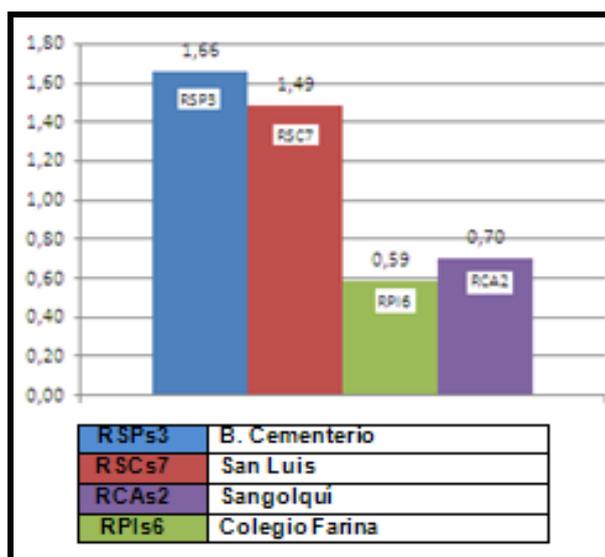


Figura 4.12 Promedio de concentraciones “altas” de  $As_T$ .

La coloración marrón oscura de la solución acuosa de algunas de las muestras digeridas en los ensayos efectuados para extracción de arsénico en muestras de suelo, puede indicar que el As se encuentra adsorbido en la materia orgánica presente en el suelo como sucede en los sedimentos; para comprobar esta hipótesis se efectuó el ensayo de cuantificación de materia

orgánica MO, obteniendo los mismos resultados que en muestras de sedimentos; es decir que concentraciones de MO. elevadas están relacionadas con concentraciones de arsénico altas. (Tabla 4.6).

**Tabla 4.6 Resultados de Ensayo 3. – Extracción de Humedad**

<b>Id Muestra</b>	<b>As (ug/g)</b>	<b>M agregada (g)</b>	<b>Humedad (g)</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>M. agregada (g)</b>	<b>M.O. (g)</b>	<b>M.O. (%)</b>
SRPI3	1,66	2,0001	0,2942	15,71	1,0000	0,1023	10,23
RSP3	0,79	2,0000	0,3546	18,73	1,0000	0,0615	6,15
RSP2	1,07	2,0000	0,0963	5,82	1,0000	0,2271	22,71
RSC1	1,49	2,0001	0,0302	2,51	1,0000	0,0520	5,2
RPI6	0,59	2,0000	0,0686	4,43	1,0000	0,0574	5,74
RCA2	0,70	2,0000	0,0274	2,37	1,0000	0,0520	5,2

El método aplicado para extracción de MO. es efectivo en estas muestras al ser casi baja la variación de las cifras decimales obtenidas en la comprobación del método. (Tabla 4.7).

**Tabla 4.7 Resultados de Ensayo 5- Comprobación de Ensayo 3**

<b>ID Muestra</b>	<b>M agregada (g)</b>	<b>Humedad (g)</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>M agregada (g)</b>	<b>M.O. (g)</b>	<b>M.O. (%)</b>
Mx1	2,0000	0,0070	0,7	1,0000	0,0173	1,73
Mx2	2,0000	0,0057	0,57	1,0000	0,0174	1,74
Mx3	2,0000	0,0052	0,52	1,0000	0,0176	1,76

#### 4.1.4 Resultados de parámetros “in situ”

En cada toma de muestras de agua superficial, se analizó, parámetros de gran importancia como potencial hidrógeno (pH), Temperatura (T(°C)), Conductividad eléctrica (CE(μs/cm)), Oxígeno Disuelto (OD(mg/L)), Sólidos disueltos Totales (TDS(mg/L)); Potencial Redox (Eh(mv)). Además en cada punto de recolección de muestras se tomó la ubicación geográfica en coordenadas UTM; sistema PSAD 1956, (*sistema de coordenadas establecido por la ley de cartografía nacional*), para el efecto se utilizó un geoposicionador

(MAGELLAN EXPLORIST 600), con una precisión de  $\pm 5\text{m}$  y una recepción de señal de 6 a 11 satélites dependiendo de la zona de navegación y captura de datos; ya que los fines de este trabajo no son de precisión geográfica; únicamente informativos complementarios a la investigación.

**Tabla 4.8 Ubicación Geográfica e identificación de Pts. de toma de Muestras.**

<b>Río</b>	<b>Id. Muestra</b>	<b>Coord X (m)</b>	<b>Coord Y (m)</b>	<b>Altura Z (m)</b>	<b>Descripción</b>
San Pedro	RSP1	777922,00	9958893,00	2565	Parque Ecológico cachaco
San Pedro	RSP2	782636,00	9962834,00	2494	Puente Balbina
San Pedro	RSP3	782922,00	9964440,00	2497	B. Cementerio
San Pedro	RSP4	783268,00	9965897,00	2476	Complejo Deportivo
San Pedro	RSP5	783645,00	9966080,00	2475	Capelo
San Pedro	RSP6	782656,00	9968175,00	2437	Farina
San Pedro	RSP7	783605,00	9969370,00	2439	Armenia
San Pedro	RSP8	784183,00	9970530,00	2404	Reservorio Guangopolo
Sta Clara	RSC1	787536,00	9958139,00	2695	IASA_Cerdos
Sta Clara	RSC2	787450,00	9958559,00	2661	Central Hidroeléctrica
Sta Clara	RSC3	787143,00	9960709,00	2630	ENKADOR
Sta Clara	RSC4	786480,00	9961419,00	2555	Selva Alegre
Sta Clara	RSC5	784827,00	9963204,00	2526	Parque Sta. Clara
Sta Clara	RSC6	783956,00	9964724,00	2497	Fábrica de Municiones Sta. Bárbara
Sta Clara	RSC7	783669,00	9965711,00	2501	San Luis
Sta Clara	RSC8	783103,00	9966450,00	2474	San Rafael Iglesia Mormones
Pita	RPI1	788818,00	9954323,00	2836	Molinuco
Pita	RPI2	788710,00	9960715,00	2615	Minas
Pita	RPI3	787968,00	9962312,00	2570	Minas
Pita	RPI4	787458,00	9963880,00	2543	Cashapamba
Pita	RPI5	784839,00	9966148,00	2487	ESPE
Pita	RPI6	782656,00	9968175,00	2437	Farina
Cachaco	RCA1	784674,00	9962450,00	2535	Inchalillo
Cachaco	RCA2	783783,00	9963374,00	2521	Sangolquí
Cachaco	RCA3	783557,00	9964099,00	2505	Camal
Cachaco	RCA4	783379,00	9964757,00	2489	Caballerizas Militares

Tabla 4.9 Parámetros in situ de Pts. de toma de Muestras.

<b>Id. Muestra</b>	<b>pH</b>	<b>T (°C)</b>	<b>Conductividad (μs/cm)</b>	<b>OD (mg/l)</b>	<b>TDS (mg/l)</b>	<b>Eh (mv)</b>
RSP1	6,95	13,65	424,00	9,58	213,45	79,65
RSP2	6,98	14,80	399,00	8,77	204,00	61,85
RSP3	6,47	15,35	407,50	8,24	207,95	53,75
RSP4	6,86	16,50	401,00	7,71	202,95	57,30
RSP5	6,50	15,00	464,00	9,60	233,00	102,80
RSP6	6,71	17,85	403,00	5,47	206,05	71,70
RSP7	7,19	17,95	429,00	6,76	218,00	116,40
RSP8	7,38	17,10	428,95	6,70	206,32	118,50
RSC1	6,12	11,85	144,55	9,28	72,15	65,00
RSC2	6,00	12,50	160,35	9,69	80,00	54,55
RSC3	6,00	14,55	187,10	8,73	93,45	51,90
RSC4	6,00	13,75	179,50	8,76	90,20	41,95
RSC5	6,00	14,80	183,70	8,35	92,05	66,95
RSC6	6,00	16,40	187,25	8,38	94,10	42,85
RSC7	7,00	17,35	204,50	7,94	104,05	46,05
RSC8	7,00	16,35	192,45	7,82	97,75	49,95
RPI1	6,00	12,80	163,10	10,95	81,40	110,65
RPI2	6,00	15,00	207,90	10,98	105,80	70,55
RPI3	6,00	16,70	208,00	6,51	107,00	18,15
RPI4	7,00	17,30	210,00	7,56	107,80	43,56
RPI5	6,00	17,30	223,00	6,37	114,50	53,25
RPI6	7,00	17,60	1088,00	5,50	545,00	94,25
RCA1	6,63	16,75	277,00	6,25	145,60	51,30
RCA2	6,71	17,90	404,00	2,95	203,65	20,15
RCA3	7,47	17,15	424,00	3,74	214,00	20,05
RCA4	7,14	15,45	274,85	4,25	138,65	32,85

Notar en la tabla 4.9 (Parámetros in situ) que los niveles de pH fluctúan entre 6.5 y 7.5 dependiendo de la fuente hídrica, y el lugar de toma de muestras; por ejemplo el valor de pH más bajo (pH= 6) corresponde al río Santa Clara (RSC2, RSC3, RSC4, RSC5, RSC6) y Pita (RPI1, RPI2, RPI3, RPI5); el valor de pH más alto (pH =7.43) corresponde al río Cachaco (RCA3) este punto fue analizado en el sector del camal de Sangolquí. Vertidos urbanos en la zona (emisiones de aguas domésticas) pueden influenciar la variación del pH, pero dependerá, muy fuertemente, de las sales disueltas que, al disociarse, variarán esa concentración de H<sup>+</sup>, tanto al alza como a la baja, según potencien la

formación de iones  $\text{HO}^-$  o  $\text{H}^+$  respectivamente, esto se puede corroborar con los datos de las tablas 4.9 y 4.10, donde el incremento de pH se ve reflejado en el incremento de sales (cloruros), fosfatos y bicarbonatos.

Otro factor importante es el Potencial Redox (Eh), según los datos recolectados en la medición de parámetros in situ el valor más bajo es (18.15 mV) corresponde al punto RPI3 (Río Pita 3), mientras que el valor más alto (118.50 mV) corresponde al punto RSP8 (Río San Pedro 8). Los valores de oxígeno disuelto (OD) en los puntos de toma de muestras fluctúan entre 2.95 (RCA2- Río Cachaco 2) y 10.98 mg/L (RPI2-Río Pita 2).

Tanto pH como Potencial Redox (Eh) juegan un papel importante en la distribución de especies arsenicales e influyen su estado de oxidación y movilidad (Calvo et al., 2003). Según el criterio de varios autores, a valores de pH bajos (inferiores a 6,9) predominan las formas trivalentes de arsénico (arsenitos), mientras que a pH más alto, la especie dominante son las pentavalentes (arseniatos), (Brookins, 1988; Yan et al., 2000). Por otro lado (Goldberg, 2002) menciona que en condiciones naturales aireadas (alto contenido de oxígeno) los arsenitos se reducen rápidamente y prevalecen los arseniatos como especie estable; considerando lo expuesto y los resultados obtenidos tanto de pH, Eh y OD; la especie dominante en las muestras recolectadas es el (AsV), hecho que se ha comprobado al efectuar el ensayo de separación de especies arsenicales (Tabla 4.2) siendo esta una característica particular en aguas superficiales.

La temperatura del agua superficial registrada en las mediciones in situ varían entre 12 y 17 °C (Tabla 4.9), estos valores son mayores en algunos puntos debido en gran parte a la hora de análisis de este parámetro, por lo general los primeros puntos de cada río tienen temperaturas más bajas, porque el análisis se realizó en las primeras horas de la mañana (7:30/9:30 AM); mientras que los análisis de los últimos puntos de cada río se realizó al medio

día (12 PM.) La variación de temperatura puede también estar influenciada por vertidos urbanos cercanos al área de análisis; como es el caso del río Cachaco (RCA3, Camal-Sangolquí) donde vertidos orgánicos del camal pueden alterar la temperatura, e influir en otros parámetros (pH, OD, Conductividad, TDS).(Tabla 4.9). (Ver anexo1; M.O en el Canal del Camal del R. Cachaco)

En cuanto a la conductividad, este parámetro se considera un indicador de la salinidad del medio normalmente un aumento de sales supone un aumento de conductividad. En los análisis in situ se registraron valores que oscilan entre 144 y 1088  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; siendo el punto RSC1 (Río Santa Clara 1) donde se encuentra el valor más bajo; y el RPI6 (Río Pita 6) el valor más alto. En nuestro país no existe una norma que determine valores permisibles de conductividad en aguas superficiales, la RTS (Reglamentación Técnico Sanitaria-España) para aguas potables establece como valor máximo de conductividad 1.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y como valor guía 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , en consecuencia los registrados in situ se encuentran en un rango tolerable para aguas superficiales.

(Calvo et al., 2003) menciona que la conductividad puede condicionar la concentración de As, si observamos los valores de concentración de  $\text{As}_T$  (Tabla 4.1) y los valores de conductividad (Tabla 4.9) existe relación en cuanto a valores más altos de conductividad corresponden valores más elevados de  $\text{As}_T$ .

Los valores de Sólidos disueltos totales (TDS) registrados in situ varían entre 72.15 mg/L (RSC1 - Río Santa Clara) y 118.50 mg/L (RSP8 - Río San Pedro 8). (Tabla.4.9). Según (Barrow G 1998) los ríos muestran una variación muy grande en el contenido total de sales y en la composición de las mismas; en consecuencia el agua de los ríos es dulce, lo que implica que la concentración de minerales sea inferior a 500 (mg/L); en comparación con los valores de nuestras mediciones estos se encuentran dentro de ese rango, a excepción del punto RPI6 donde hay un pequeño aumento de TDS, lo que

indica un aumento de sales disueltas en el agua y consecuentemente un aumento en los valores de conductividad.(Tabla 4.9)

#### 4.1.5 Resultados de otros parámetros analizados.

Para complementar la investigación sobre contenidos de arsénico en agua superficial, se efectuó análisis de alcalinidad ( $\text{CO}_3^-$  y  $\text{HCO}_3^-$  “bicarbonatos; *dureza temporal*”, asociados con los cationes  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  “*dureza total*”) y cloruros (“*aniones inorgánicos principales en el agua tanto natural como residual*”) en campo; sulfatos y fosfatos en laboratorio.

**Tabla 4.10 Otros parámetros analizados en campo y laboratorio.**

<b>Id. Muestra</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cloruros</b>	<b>Alcalinidad</b>	<b>Sulfatos</b>	<b>Fosfatos</b>
RSP1	(mg/l)	27,42	196,97	24,17	0,30
RSP2	(mg/l)	38,39	218,80	22,66	0,40
RSP3	(mg/l)	36,74	240,74	22,69	0,30
RSP4	(mg/l)	36,19	218,85	23,51	0,30
RSP5	(mg/l)	38,39	175,08	22,56	0,40
RSP6	(mg/l)	41,13	160,49	32,73	0,40
RSP7	(mg/l)	37,84	175,08	38,22	0,60
RSP8	(mg/l)	36,25	182,53	42,15	0,80
RSC1	(mg/l)	30,92	72,95	15,90	0,30
RSC2	(mg/l)	25,30	102,13	14,21	0,30
RSC3	(mg/l)	26,99	80,25	20,91	0,20
RSC4	(mg/l)	28,11	102,13	20,21	0,30
RSC5	(mg/l)	22,49	124,02	18,41	0,20
RSC6	(mg/l)	25,30	87,54	19,13	0,40
RSC7	(mg/l)	30,92	138,61	20,25	0,30
RSC8	(mg/l)	33,73	87,54	20,97	0,40
RPI1	(mg/l)	39,36	72,99	17,65	0,30
RPI2	(mg/l)	39,36	102,13	24,30	0,20
RPI3	(mg/l)	33,73	109,43	24,53	0,40
RPI4	(mg/l)	33,73	87,54	23,83	0,20
RPI5	(mg/l)	32,05	124,02	23,75	0,40
RPI6	(mg/l)	179,92	415,82	58,69	0,60
RCA1	(mg/l)	32,90	102,13	10,28	0,30
RCA2	(mg/l)	38,39	182,38	16,88	2,10
RCA3	(mg/l)	57,58	175,08	20,18	4,70
RCA4	(mg/l)	46,61	167,79	11,57	1,00

Considerando que la química del arsénico es similar a la de fosfatos, sulfatos y cloruros ya que estos compiten con los sitios de adsorción del medio con el arsénico (Calvo et al., 2003) su análisis es importante, en razón que los niveles de estos aniones en el agua superficial condicionarán la disminución o incremento de la concentración de As en el agua debido a los procesos de adsorción y desorción. El valor más bajo de cloruros es 22.49 mg/L (RSC5- R.Sta. Clara- Parque Santa Clara), el valor más alto es 179.92 mg/L (RPI6 - R.Pita- Colegio Farina). En el reporte de análisis de fosfatos efectuado por la CEEA el valor más alto de fosfatos es 4.70 mg/L (RCA3-Río Cachaco - Camal), al encontrarse en el Camal es probable que el incremento en la concentración se debe al material (detergentes) que se utilizan para la limpieza de este lugar.

Según (Nicolli et al, 1985) existe una mayor movilidad del arseniato en aguas con altas concentraciones de bicarbonatos y pH mayores a 7,5; debido a una disminución en la adsorción del mismo en los óxidos de hierro presentes en sedimentos. Los valores de alcalinidad más representativos que se encontraron en los puntos de muestreo son 72.95 mg/L (RSC1 - R. Sta. Clara - IASA) y 415.82 mg/L (RPI6- R.Pita- Colegio Farina). El valor más bajo de sulfatos obtenido en las mediciones es 10.28 mg/L correspondiente al punto RCA1 (R.Cachaco–Inchalillo); el valor más alto es 58.69mg/L correspondiente al punto RPI6 (R. Pita – C. Farina).

En Ecuador no existe una norma que regule la cantidad estos aniones en aguas superficiales; TULAS, EPA, OMS no han fijado valores máximos permisibles de estos. (Krauskopf, 1967); hace referencia algunos iones y sus valores considerados como permisibles para varias fuentes hídricas superficiales. (Tabla 4.11). Al comparar estos valores de concentración con los registrados in situ podemos observar que muchos son similares y se encuentran dentro de los rangos establecidos.El análisis de calcio y magnesio es indispensable; (Vásquez et al., 2001) menciona que la concentración de estos cationes es importante ya que ayudan a los procesos de adsorción de As en la

MO. Los valores de dureza total  $\text{CaCO}_3$  (mg/L) obtenidos (Tabla 4.12) oscilan entre 9,65 y 66,10 (mg/L).

**Tabla 4.11 concentración de los iones, en ppm, de algunos ríos (Krauskopf, 1967)**

Ion	Hudson en Gree Is.	Mississippi en Baton Rouge	Colorado en Yuma	Collumbia en los Dalles	Nilo Blanco en Khartum	Amazonas en Obides
$\text{HCO}_3^-$	93	101	183	108	149.2	17.9
$\text{SO}_4^{2-}$	24	41	289	19	0.44	0.8
$\text{Cl}^-$	5.0	15	113	4.9	8	2.6
$\text{NO}_3^-$	1.2	1.9	1.0	0.3	0.44	---
$\text{Ca}^{2+}$	32	34	94	23	17.4	5.4
$\text{Mg}^{2+}$	4.9	7.6	30	6.2	5.2	0.5
$\text{Na}^+$	4.8	11	124	16	30.7	1.6
$\text{K}^+$	2.0	3.1	4.4	0.0	11.8	1.8
$\text{SiO}_2$	4.9	5.9	14	13	25.6	10.6

**Tabla4.12 Resultado de Cálculos de Dureza (mg/L).**

Id. Muestra	Ca	Mg	$\text{CaCO}_3$ Ca	$\text{CaCO}_3$ Mg	$\text{CaCO}_3$ Total
RSP1	4,28	13,32	10,69	55,41	66,10
RSP2	4,57	12,25	11,41	50,94	62,35
RSP3	6,11	11,72	15,28	48,73	64,01
RSP4	3,68	11,59	9,19	48,21	57,40
RSP5	3,68	11,38	9,20	47,34	56,54
RSP6	4,54	11,33	11,35	47,13	58,48
RSP7	7,02	7,14	17,55	29,68	47,23
RSP8	6,98	7,01	17,45	29,16	46,61
RSC1	2,02	3,60	5,04	14,96	19,99
RSC2	2,14	3,98	5,35	16,54	21,89
RSC3	2,19	4,27	5,46	17,76	23,23
RSC4	2,15	4,34	5,36	18,03	23,40
RSC5	2,25	4,27	5,63	17,76	23,39
RSC6	2,48	5,69	6,20	23,67	29,87
RSC7	3,81	5,74	9,51	23,86	33,37
RSC8	3,17	5,28	7,91	21,96	29,88
RPI1	0,87	1,80	2,16	7,49	9,65
RPI2	1,22	2,99	3,04	12,42	15,46
RPI3	1,20	2,96	3,00	12,31	15,31
RPI4	1,21	3,07	3,03	12,75	15,78
RPI5	1,26	3,02	3,14	12,54	15,68
RPI6	2,78	3,07	6,94	12,77	19,71
RCA1	4,05	7,83	10,11	32,57	42,69
RCA2	4,81	7,58	12,01	31,53	43,55
RCA3	6,79	10,83	16,98	45,03	62,01
RCA4	2,79	4,58	6,98	19,05	26,03

Actualmente no existe un valor guía de niveles permisibles de dureza en aguas superficiales. La EPA establece como niveles permisibles de Ca (15mg/L) y de Mg (4.1mg/L) para agua potable, TULAS establece en aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional como límite máximo permisible de CaCO<sub>3</sub> (Dureza) 500 mg/L, en consecuencia los valores de dureza obtenidos en las mediciones efectuadas en el laboratorio, se encuentran dentro del rango permisible.

Por otro lado (Besuschio, 2002) expone que en aguas con bajas concentraciones en Ca y Mg, pero ricas en bicarbonato de sodio (alcalinas) existe concentraciones de As más elevadas, este criterio es acertado al comparar resultados de alcalinidad, dureza total y concentraciones de As<sub>T</sub> (Tabla 4.1 - Tabla 4.11 y Tabla 4.12); donde la concentración de As<sub>T</sub> en algunos puntos incrementan sobretodo cuando los niveles de alcalinidad y pH son mayores a los de dureza total (Tabla 4.13).

**Tabla4.13 Análisis comparativo de As con niveles de dureza alcalinidad y pH.**

<b>Id. Muestra</b>	<b>pH</b>	<b>As (µg/L)</b>	<b>Alcalinidad (mg/L)</b>	<b>CaCO<sub>3</sub> Total (mg/L)</b>
RSP3	6,47	1,34	240,74	64,01
RSC6	6	1,06	87,54	29,87
RPI6	7	1,87	415,82	19,71
RCA3	7,47	1,67	175,08	62,01

El análisis de Hierro (Fe) en muestras de agua superficial permite conocer si existe actividades mineras o industriales en las zonas de toma de muestras; (Navarro y Sabater, 2004) comentan que metales como el Hierro (Fe) llegan a los cursos de agua a través de múltiples vías especialmente las derivadas de la actividad minera; donde una fracción se retiene en suelos y sedimentos y otra circula libremente por el agua de los ríos, embalses y lagunas, además (Calvo et al,2005) explica que la presencia de arsénico en aguas naturales se produce cuando este se libera de los óxidos de hierro en condiciones

reductoras. En el presente trabajo el valor más alto de concentración de (Fe) en las muestras de agua analizadas es 1.73 mg/L.

**Tabla4.14 Concentración de metales analizados en el laboratorio en muestras de agua**

<b>Id. Muestra</b>	<b>Unidad</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Fe</b>
RSP1	(mg/l)	4,28	13,32	1,27
RSP2	(mg/l)	4,57	12,25	1,41
RSP3	(mg/l)	6,11	11,72	1,43
RSP4	(mg/l)	3,68	11,59	1,73
RSP5	(mg/l)	3,68	11,38	1,52
RSP6	(mg/l)	4,54	11,33	0,56
RSP7	(mg/l)	7,02	7,14	0,84
RSP8	(mg/l)	7,06	7,22	0,80
RSC1	(mg/l)	2,02	3,60	0,75
RSC2	(mg/l)	2,14	3,98	0,77
RSC3	(mg/l)	2,19	4,27	0,52
RSC4	(mg/l)	2,15	4,34	0,49
RSC5	(mg/l)	2,25	4,27	0,54
RSC6	(mg/l)	2,48	5,69	0,51
RSC7	(mg/l)	3,81	5,74	1,09
RSC8	(mg/l)	3,17	5,28	0,78
RPI1	(mg/l)	0,87	1,80	0,38
RPI2	(mg/l)	1,22	2,99	0,59
RPI3	(mg/l)	1,20	2,96	0,48
RPI4	(mg/l)	1,21	3,07	0,57
RPI5	(mg/l)	1,26	3,02	0,85
RPI6	(mg/l)	2,78	3,07	0,46
RCA1	(mg/l)	4,05	7,83	0,62
RCA2	(mg/l)	4,81	7,58	0,78
RCA3	(mg/l)	6,79	10,83	0,56
RCA4	(mg/l)	2,79	4,58	0,93

Muchos estudios comparan los niveles de (Fe) presentes en aguas superficiales con el nivel establecido como permisible en aguas de uso y consumo humano, al no disponer en nuestro país de una norma que regule el contenido de este metal en aguas superficiales, se lo ha comparado con el valor (1mg/L) establecido por TULAS para aguas de uso y consumo, en consecuencia los valores de Fe de las muestras de agua de los puntos (RSP1, RSP2, RSP3, RSP4, RSP5) pertenecientes al Río San Pedro y (RSC7) perteneciente al río Santa Clara sobrepasan este valor establecido como límite permisible, el

incremento en la concentración del metal en estos puntos no es exagerado y considerando que se trata de muestras de agua superficial los niveles de Fe se encuentran en un rango tolerable.

Es importante conocer que al solubilizarse los hidróxidos de Fe, el nivel de este metal en agua aumenta drásticamente (*desde concentraciones inferiores a 0.1 mg/l hasta 30 mg/l como exponen Smedley y Kinniburgh, 2001*). Este aumento, según la teoría expuesta, debe estar acompañado de valores altos en la concentración de As, criterio válido en algunos valores de las mediciones efectuadas en esta investigación, donde los niveles de fosfatos y otros iones competidores no son elevados. (Tabla 4.15).

**Tabla4.15 Análisis comparativo de As con niveles de Fe**

<b>Id. Muestra</b>	<b>As (µg/L)</b>	<b>Fe (mg/L)</b>	<b>Fosfatos (mg/L)</b>	<b>Sulfatos (mg/L)</b>	<b>Cloruros (mg/L)</b>
RSC6	1,06	0,51	0,4	19,13	25,3
RSC7	0,64	1,09	0,3	20,25	30,92
RPI1	1,66	0,38	0,3	17,65	39,36
RCA4	0,89	0,93	1	11,57	46,61

Con el propósito de evaluar el grado de salinidad de las muestras de suelo recolectadas, se realizó análisis de Calcio (Ca), y Magnesio (Mg). El valor más bajo de concentración de Ca es 0.18 mg/g correspondiente al punto RSP3(R. San Pedro; Barrio Cabre); mientras que el punto más alto es 15.96 mg/g en el punto RPI1 (R. Pita; Molinuco); en cuanto a Magnesio el valor más bajo es 7.78 mg/L corresponde al punto RSP5 (Río San Pedro; Capelo). Y el más alto es 18.4mg/g en el punto RPI6 (R.Pita; Cashapamba). (Tabla 4.14).

(Álvarez, 2003) expone que valores bajos de Ca y niveles de Mg superiores en suelos podría explicarse como zonas donde existe la presencia de lluvias abundantes característico de suelos ácidos. Varios autores consideran que valores bajos de cationes como Ca y Mg, son considerados

suelos pobres no aptos para la agricultura; en efecto las muestras donde los niveles de Ca y Mg (Tabla 4.16) son más bajos corresponden a zonas aledañas a las fuentes hídricas que no tienen fines agrícolas.

**Tabla 4.16 Concentración de metales analizados en el laboratorio en muestras de suelo**

<b>Id. Muestra</b>	<b>Unidad</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Fe</b>
RSP1	(mg/g)	0,65	7,99	10,99
RSP2	(mg/g)	0,26	7,98	15,30
RSP3	(mg/g)	0,18	7,89	16,79
RSP4	(mg/g)	0,24	8,01	13,27
RSP5	(mg/g)	0,29	7,78	8,76
RSP6	(mg/g)	0,25	7,80	9,11
RSP7	(mg/g)	0,39	7,85	13,58
RSP8	(mg/g)	0,59	8,16	14,25
RSC1	(mg/g)	0,35	16,68	16,52
RSC2	(mg/g)	0,39	17,10	14,23
RSC3	(mg/g)	0,34	17,02	13,45
RSC4	(mg/g)	0,61	16,94	9,11
RSC5	(mg/g)	1,13	8,23	14,32
RSC6	(mg/g)	0,68	8,18	17,62
RSC7	(mg/g)	0,57	8,19	17,31
RSC8	(mg/g)	0,87	8,20	15,83
RPI1	(mg/g)	15,96	18,20	10,40
RPI3	(mg/g)	0,96	18,16	12,80
RPI4	(mg/g)	1,10	18,21	66,10
RPI5	(mg/g)	1,15	18,29	17,83
RPI6	(mg/g)	1,23	18,40	18,00
RCA1	(mg/g)	0,64	16,30	17,60
RCA2	(mg/g)	0,98	16,28	14,60
RCA3	(mg/g)	0,56	15,50	4,80
RCA4	(mg/g)	0,92	16,78	11,00

No existe una norma que determine la concentración adecuada de los cationes en el suelo; entendiéndose que la proporción de macro y micronutrientes se encuentran de acuerdo al uso o fin que se dé al recurso. Otro catión analizado en las muestras de suelo recolectadas es el hierro, su análisis es importante ya que la cantidad de hidróxidos de hierro presentes en suelos pueden incrementar o disminuir la concentración de As; (Lillo, 2005) expone que el arseniato se adsorbe fuertemente sobre las superficies de los óxidos de hierro en condiciones ácidas o con pH próximos a valores neutros. En

consecuencia, la desorción de arseniato de dichas superficies ocurrirá en el caso de pH con valores alcalinos. El valor más alto de hierro (Fe) registrado es 66.10 mg/g, (RPI4; R. Pita; Cashapamba) mientras que el valor más bajo es 4.80 mg/g, (RCA3; R. Cachaco; Camal), los porcentajes de estos valores (Tabla 4.18) comparados con los establecidos por Clark (Tabla 4.19) se encuentra en proporciones adecuadas.

**Tabla 4.18 Porcentaje de Ca, Mg, Fe en las muestras analizadas**

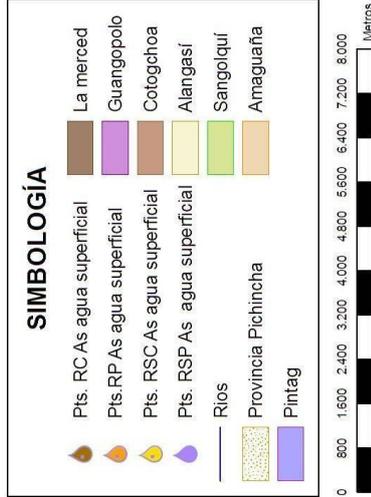
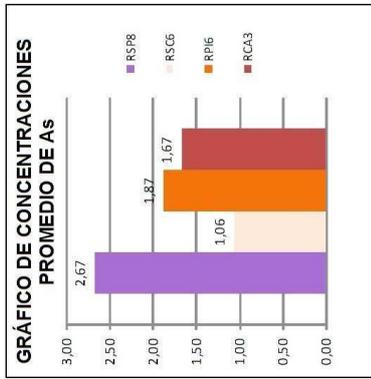
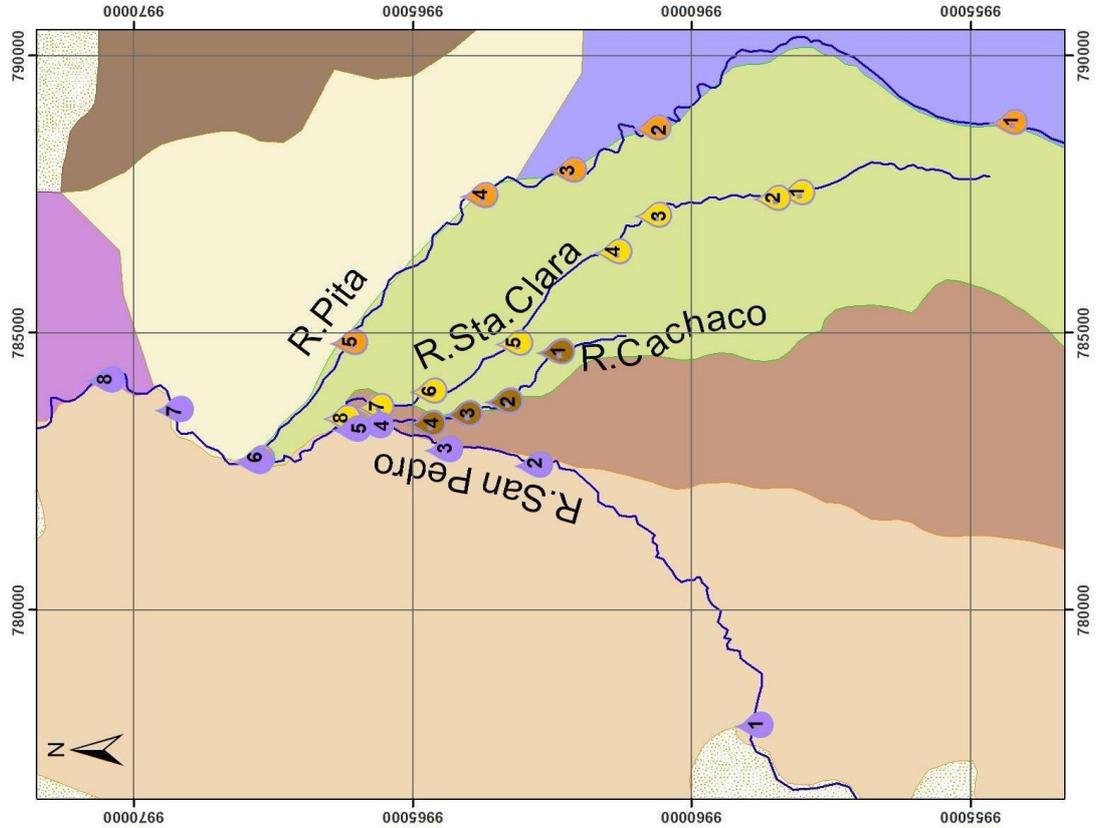
ID	Ca %	Mg %	Fe %
RSP1	0,13	1,60	2,20
RSP2	0,05	1,60	3,06
RSP3	0,04	1,58	3,36
RSP4	0,05	1,60	2,65
RSP5	0,06	1,56	1,75
RSP6	0,05	1,56	1,82
RSP7	0,08	1,57	2,72
RSP8	0,12	1,63	2,85
RSC1	0,07	3,34	3,30
RSC2	0,08	3,42	2,85
RSC3	0,07	3,40	2,69
RSC4	0,12	3,39	1,82
RSC5	0,23	1,65	2,86
RSC6	0,14	1,64	3,52
RSC7	0,11	1,64	3,46
RSC8	0,17	1,64	3,17
RPI1	3,19	3,64	2,08
RPI3	0,19	3,63	2,56
RPI4	0,22	3,64	13,22
RPI5	0,23	3,66	3,57
RPI6	0,25	3,68	3,60
RCA1	0,13	3,26	3,52
RCA2	0,20	3,26	2,92
RCA3	0,11	3,10	0,96
RCA4	0,18	3,36	2,20

**Tabla 4.17 Porcentaje de cationes en la corteza terrestre y en muestras de suelo**

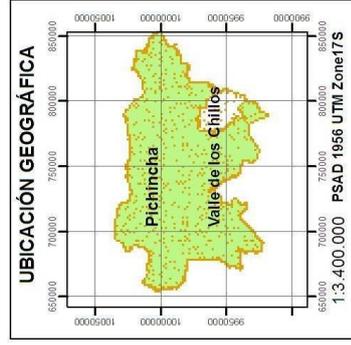
Cation	% Según Clark	% En 0,5 g de muestra
Calcio	3.25	1.63
Magnesio	2.35	1.18
Hierro	4.20	2.10

## 4.2 Mapas con concentraciones de arsénico

# CONCENTRACIONES DE AS EN AGUAS SUPERFICIALES EN EL VALLE DE LOS CHILLOS



Río	ID_M	Descripción	Cl_As	CV_As
San Pedro	RSP1	Parque Ecológico cachaco	0.74	1.88
San Pedro	RSP2	Puente Valvina	0.53	2.31
San Pedro	RSP3	B. Cementero	0.67	2.02
San Pedro	RSP4	Complejo Deportivo	0.35	1.77
San Pedro	RSP5	Capelo	0.68	1.39
San Pedro	RSP6	Farma	0.72	1.18
San Pedro	RSP7	Armeria	0.41	1.32
San Pedro	RSP8	Reservorio Guanguapolo	2.22	3.12
Sta Clara	RSC1	IASA_Cerdos	0.37	0.78
Sta Clara	RSC2	Central Hidroeléctrica	0.63	0.87
Sta Clara	RSC3	ENKADOR	0.18	0.88
Sta Clara	RSC4	Selva Alegre	0.40	0.82
Sta Clara	RSC5	Parque Sta Clara	0.32	0.96
Sta Clara	RSC6	Fabrica de Municiones Sta Bárbara	0.80	1.32
Sta Clara	RSC7	San Luis	0.34	0.94
Sta Clara	RSC8	San Rafael Iglesia Mormones	0.71	1.10
Pita	RP1	Molinuco	1.54	1.79
Pita	RP2	Minas	1.20	1.46
Pita	RP3	Minas	0.87	1.23
Pita	RP4	Cashapamba	1.25	1.35
Pita	RP5	ESPE	0.73	0.83
Pita	RP6	Colegio Farma	1.58	2.17
Cachaco	RCA1	Inchallillo	0.56	0.65
Cachaco	RCA2	Sangolquí	0.61	1.17
Cachaco	RCA3	Camal	0.74	2.60
Cachaco	RCA4	Caballerías Militares	0.50	1.27
ID_M	Identidad de la Muestra			
Cl_As	Promedio Concentración As en Invierno			
CV_As	Promedio Concentración As en Verano			



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
 Carrera de Ingeniería Geográfica y Medio Ambiente

**Tesis:** Determinación de los contenidos de As en aguas superficiales, sedimentos y suelos en el Valle de los Chillos

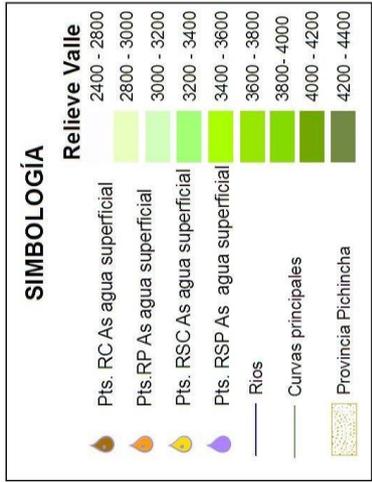
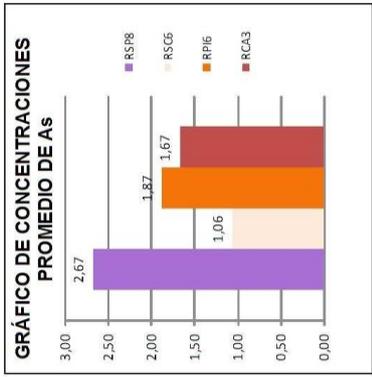
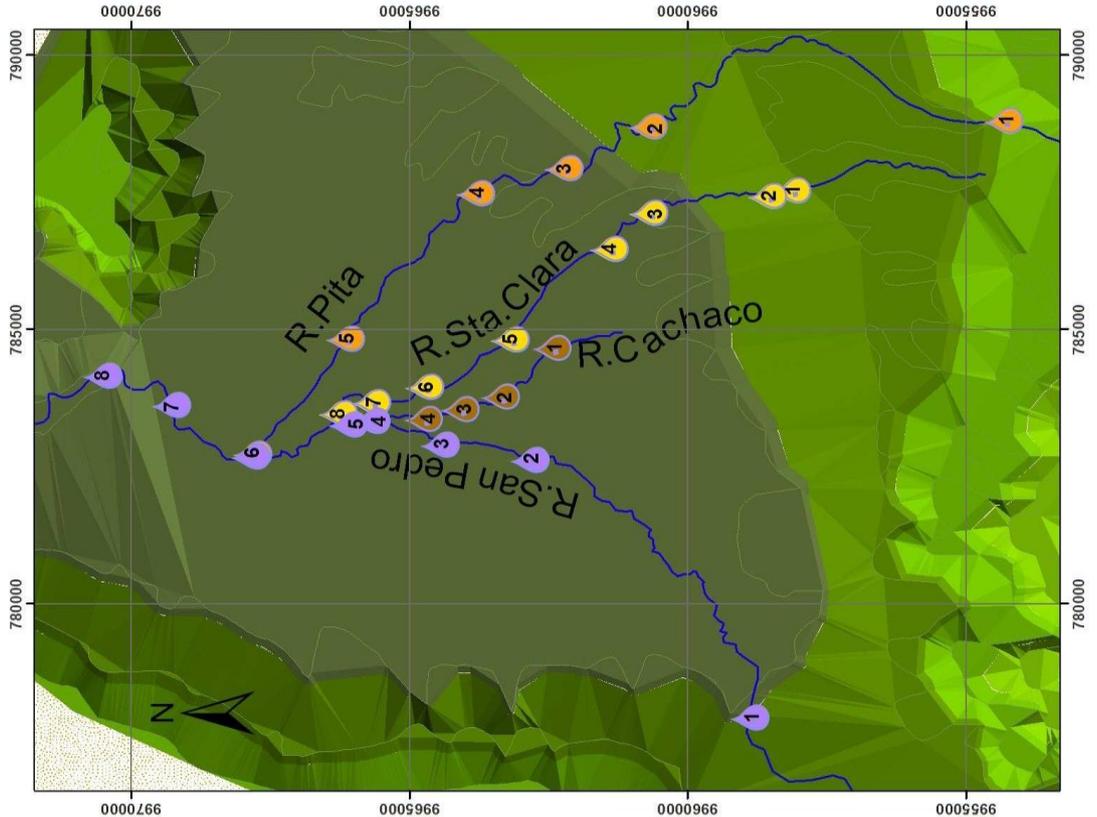
**Mapa:** Concentraciones de As en aguas superficiales en el Valle de los Chillos

**Elaborado por:** Sistema de Referencia  
 María José Vizziano Guerra  
 Provisional South American Datum  
 US82 EPSG:554717.5

**Revisado por:** Fecha: 24/04/2009  
 Dr. Luis Cumbal  
 Ing. Paulina Guevara

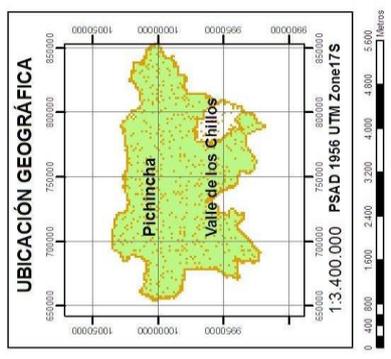
**Escala:** 1:80000

# CONCENTRACIONES DE AS EN AGUAS SUPERFICIALES EN EL VALLE DE LOS CHILLOS



### CONCENTRACIONES DE As (ppb) EN LOS PUNTOS DE TOMA DE MUESTRAS

Rio	ID_M	Descripción	Cl_As	CV_As
San Pedro	RSP1	Parque Ecologico cachaco	0.74	1.88
San Pedro	RSP2	Puente Valvina	0.53	2.31
San Pedro	RSP3	B. Cementerio	0.67	2.02
San Pedro	RSP4	Complejo Deportivo	0.35	1.77
San Pedro	RSP5	Capelo	0.68	1.39
San Pedro	RSP6	Farina	0.72	1.18
San Pedro	RSP7	Armenia	0.41	1.32
San Pedro	RSP8	Reservorio Guangopolo	2.22	3.12
Sta Clara	RSC1	IASA, Cerdos	0.37	0.78
Sta Clara	RSC2	Central Hidroeléctrica	0.63	0.87
Sta Clara	RSC3	ENKADOR	0.18	0.88
Sta Clara	RSC4	Selva Alegre	0.40	0.82
Sta Clara	RSC5	Parque Sta Clara	0.32	0.96
Sta Clara	RSC6	Fabrica de Municiones Sta Barbara	0.80	1.32
Sta Clara	RSC7	San Luis	0.34	0.94
Sta Clara	RSC8	San Rafael Iglesia Mormones	0.71	1.10
Pita	RP1	Molinuco	1.54	1.79
Pita	RP2	Minas	1.20	1.46
Pita	RP3	Minas	0.87	1.23
Pita	RP4	Cachapamba	1.25	1.35
Pita	RP5	ESPE	0.73	0.83
Pita	RP6	Colegio Farina	1.58	2.17
Cachaco	RCAT	Inchallo	0.56	0.65
Cachaco	RCA2	Sangoqui	0.61	1.17
Cachaco	RCA3	Camal	0.74	2.60
Cachaco	RCA4	Caballerías Militares	0.50	1.27
	ID_M	Identidad de la Muestra		
	Cl_As	Promedio Concentración As en Invierno		
	CV_As	Promedio Concentración As en Verano		



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
 Carrera de Ingeniería Geográfica y Medio Ambiente

**Tesis:** Determinación de los contenidos de As en aguas superficiales, sedimentos y suelos en el Valle de los Chillos

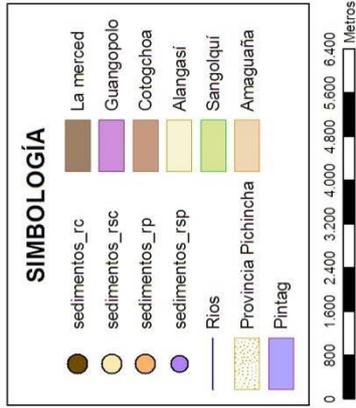
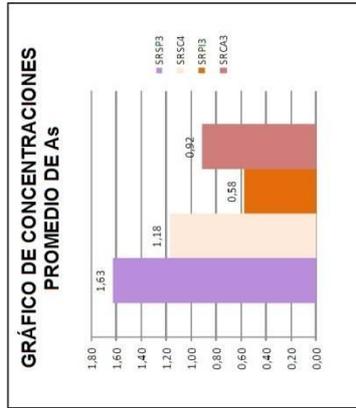
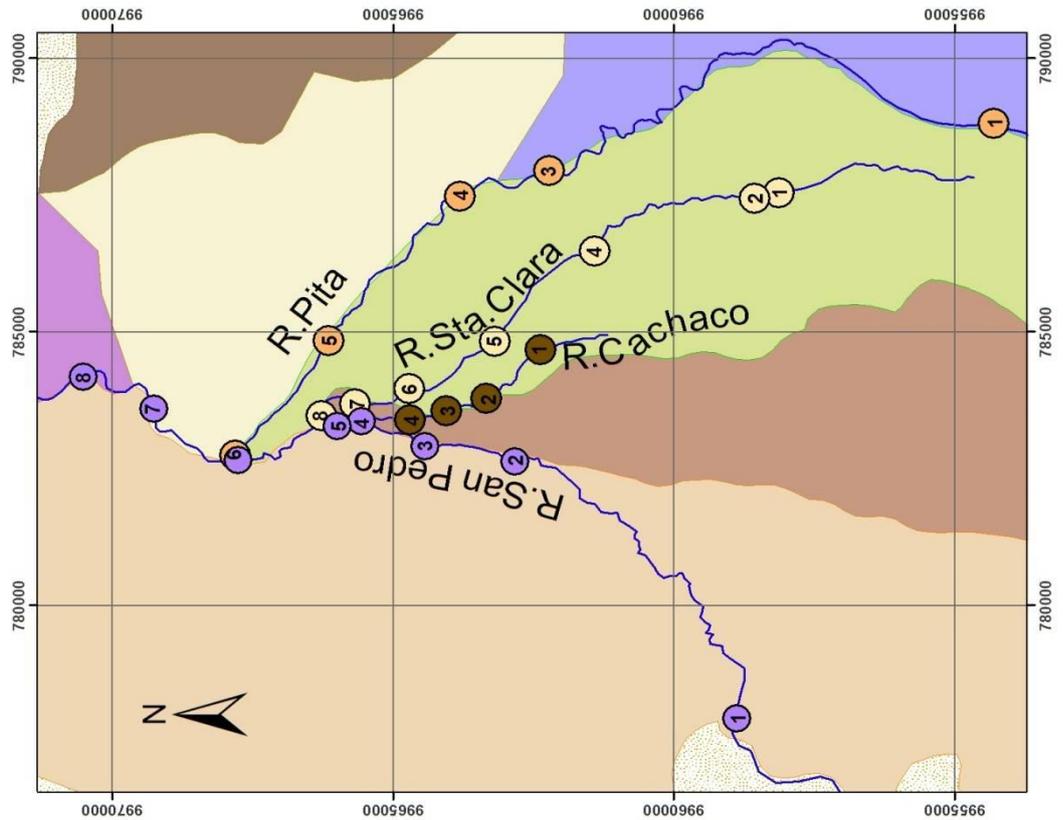
**Mapa:** Concentraciones de As en aguas superficiales en el Valle de los Chillos 3D

**Elaborado por:** Provisional South American Datum  
 María José Viqueano Guerra 1956\_ESSA156\_UTM\_Z17\_S

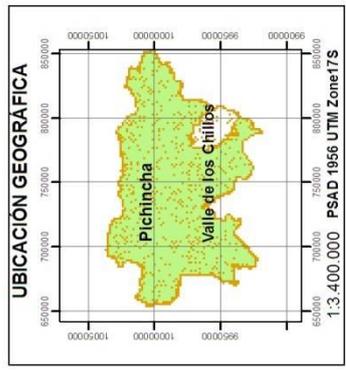
**Revisado por:** Fecha: 24/04/2009  
 Dr. Luis Cumbal  
 Ing. Paulina Guevara

**Escala:** 1: 80000

# CONCENTRACIONES DE AS EN SEDIMENTOS EN EL VALLE DE LOS CHILLOS



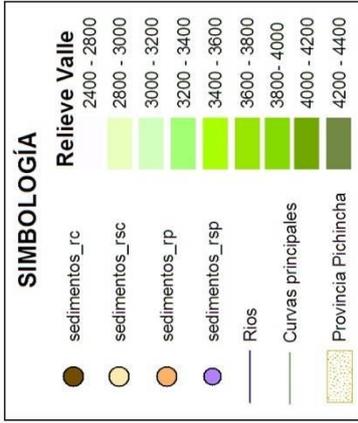
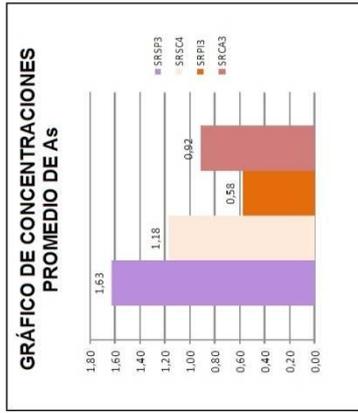
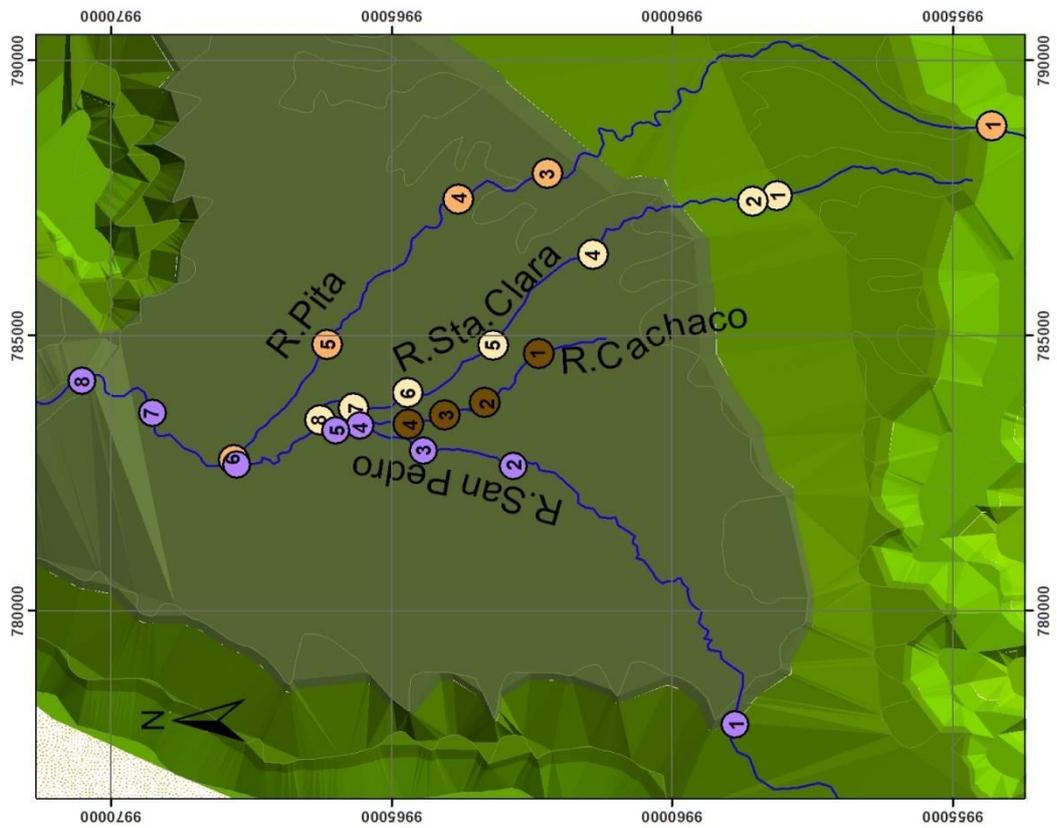
Río	ID_M	Descripción	Cl_As	CV	As
San Pedro	SRSP1	Parque Ecologico cachaco	0.34	0.72	
San Pedro	SRSP2	Puente Valvina	0.50	1.53	
San Pedro	SRSP3	B. Cementerio	0.51	2.76	
San Pedro	SRSP4	Complejo Deportivo	0.22	0.39	
San Pedro	SRSP5	Capelo	0.57	0.94	
San Pedro	SRSP6	Farma	0.41	1.62	
San Pedro	SRSP7	Armenia	0.35	0.63	
San Pedro	SRSP8	Reservorio Guangopolo	0.52	0.82	
Sta Clara	SRSC1	IASA_Cerdos	0.49	0.51	
Sta Clara	SRSC2	Central Hidroeléctrica	0.26	1.24	
Sta Clara	SRSC4	Selva Alegre	0.53	1.83	
Sta Clara	SRSC5	Parque Sta Clara	0.47	1.78	
Sta Clara	SRSC6	Fabrica de Municiones Sta Barbara	0.45	1.75	
Sta Clara	SRSC7	San Luis	0.34	0.58	
Sta Clara	SRSC8	San Rafael Iglesia Mormones	0.49	0.63	
Pita	SRP11	Molinuco	0.20	0.32	
Pita	SRP13	Minas	0.41	0.75	
Pita	SRP14	Cachapamba	0.23	0.31	
Pita	SRP15	ESPE	0.16	0.21	
Pita	SRP16	Colegio Farina	0.21	0.26	
Cachaco	SRCA1	Inchallillo	0.60	0.64	
Cachaco	SRCA2	Sangolqui	0.46	0.53	
Cachaco	SRCA3	Camal	0.57	1.26	
Cachaco	SRCA4	Caballerías Millares	0.13	0.17	
Identidad de la Muestra					
Cl_As	Promedio Concentración As en Invierno				
CV_As	Promedio Concentración As en Verano				



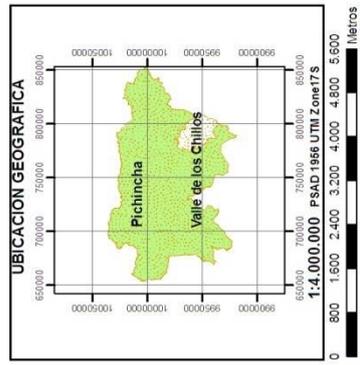
**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
 Carrera de Ingeniería Geográfica y Medio Ambiente  
**Tesis:** Determinación de los contenidos de As en aguas superficiales, sedimentos y suelos en el Valle de los Chillos  
**Mapa:** Concentraciones de As en sedimentos en el Valle de los Chillos  
**Elaborado por:** Sistema de Referencia Espacial South American Datum 1996, PSAD56 UTM Zone17 S  
**Revisado por:** María José Vizzano Guerra  
**Fecha:** 24/04/2009  
**Ing. Paulina Guevara**  
**Escala:** 1:80000

Determinación de los contenidos de As en agua superficial, sedimentos y suelos en el Valle de los Chillos MJVG.

# CONCENTRACIONES DE AS EN SEDIMENTOS EN EL VALLE DE LOS CHILLOS



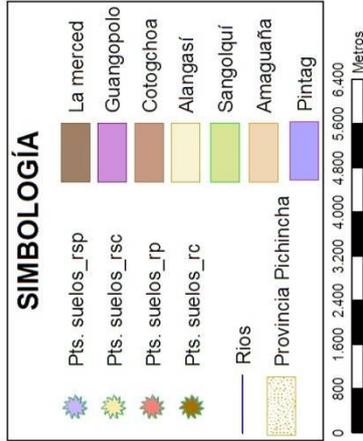
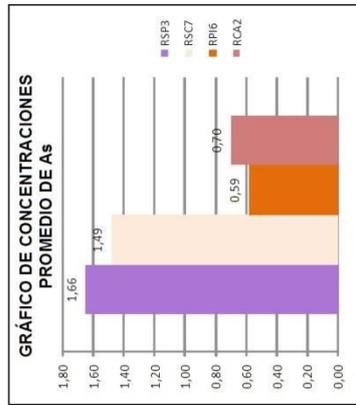
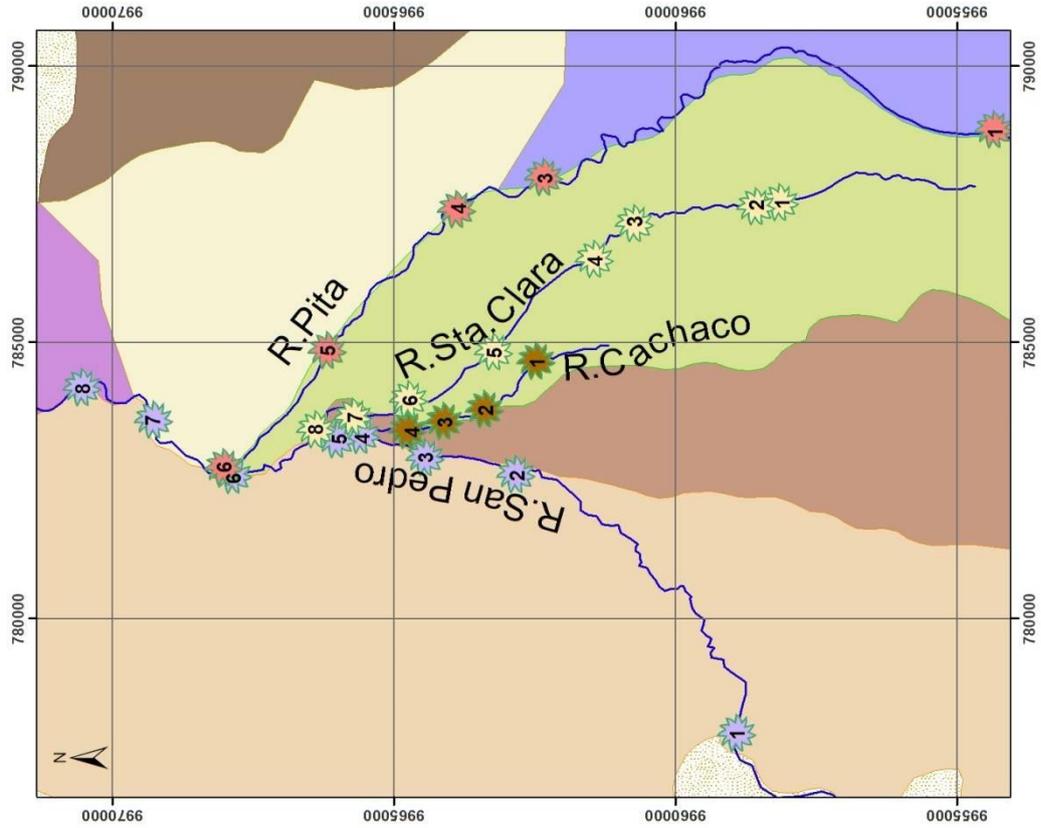
Río	ID_M	Descripción	CL_As	CV_As
San Pedro	SRSP1	Parque Ecologico cachaco	0.34	0.72
San Pedro	SRSP2	Puente Valvina	0.50	1.53
San Pedro	SRSP3	B. Cemento	0.51	2.76
San Pedro	SRSP4	Complejo Deportivo	0.22	0.39
San Pedro	SRSP5	Capelo	0.57	0.94
San Pedro	SRSP6	Farina	0.41	1.62
San Pedro	SRSP7	Armenia	0.35	0.63
San Pedro	SRSP8	Reservorio Guanagopolo	0.52	0.82
Sta Clara	SRSC1	IASA, Cerdos	0.49	0.51
Sta Clara	SRSC2	Central Hidroeléctrica	0.26	1.24
Sta Clara	SRSC4	Seiva Alegre	0.53	1.83
Sta Clara	SRSC5	Parque Sta Clara	0.47	1.78
Sta Clara	SRSC6	Fabrica de Municiones Sta Bárbara	0.45	1.75
Sta Clara	SRSC7	San Luis	0.34	0.58
Sta Clara	SRSC8	San Rafael Iglesia Mormones	0.49	0.63
Pita	SRP11	Molinuco	0.20	0.32
Pita	SRP13	Minas	0.41	0.75
Pita	SRP14	Cashapamba	0.23	0.31
Pita	SRP15	ESPE	0.16	0.21
Pita	SRP16	Colegio Farina	0.21	0.28
Cachaco	SRCA1	Inchallilo	0.60	0.64
Cachaco	SRCA2	Sangolqui	0.46	0.53
Cachaco	SRCA3	Carnal	0.57	1.26
Cachaco	SRCA4	Caballerías Militares	0.13	0.17
ID_M		Identidad de la Muestra		
CL_As		Promedio Concentración As en Invierno		
CV_As		Promedio Concentración As en Verano		



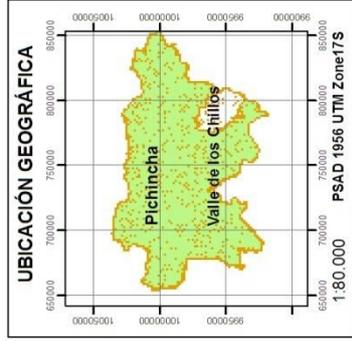
**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**Carrera de Ingeniería Geográfica y Medio Ambiente**  
**Tesis: Determinación de los contenidos de As en aguas superficiales, sedimentos y suelos en el Valle de los Chillos**  
**Mapa: Concentraciones de As en sedimentos en el Valle de los Chillos**  
**Elaborado por: Sistema de Referencia de los Chillos I/Mapa en 3D**  
**Elaborado por: María José Vizcaino Guerra, 1956; PSAD-56-UTM-27.S Datum**  
**Revisado por: Dr. Luis Cumbal**  
**Fecha: 24/04/2009**  
**Escala: 1: 80000**

Determinación de los contenidos de As en agua superficial, sedimentos y suelos en el Valle de los Chillos MJVG.

# CONCENTRACIONES DE AS EN SUELOS EN EL VALLE DE LOS CHILLOS



CONCENTRACIONES DE AS (ppb) EN LOS PUNTOS DE TOMA DE MUESTRAS				
Río	ID_M	Descripción	Cl_As	CV_As
San Pedro	RSP1	Parque Ecologico cachaco	0.74	1.88
San Pedro	RSP2	Puente Valvina	0.53	2.31
San Pedro	RSP3	B. Cementerio	0.67	2.02
San Pedro	RSP4	Complejo Deportivo	0.36	1.77
San Pedro	RSP5	Capelo	0.68	1.39
San Pedro	RSP6	Farina	0.72	1.18
San Pedro	RSP7	Armenia	0.41	1.32
San Pedro	RSP8	Reservorio Guanguapolo	2.22	3.12
Sta Clara	RSC1	IASA, Cerdos	0.37	0.78
Sta Clara	RSC2	Central Hidroeléctrica	0.63	0.87
Sta Clara	RSC3	ENKADOR	0.18	0.88
Sta Clara	RSC4	Seiva Alegre	0.40	0.82
Sta Clara	RSC5	Parque Sta. Clara	0.32	0.96
Sta Clara	RSC6	Fabrica de Municiones Sta Barbara	0.80	1.32
Sta Clara	RSC7	San Luis	0.34	0.94
Sta Clara	RSC8	San Rafael, Iglesia Mermones	0.71	1.10
Pita	RPI1	Melnuco	1.54	1.79
Pita	RPI2	Mimas	1.20	1.46
Pita	RPI3	Mimas	0.87	1.23
Pita	RPI4	Cashapamba	1.25	1.35
Pita	RPI5	ESPE	0.73	0.83
Pita	RPI6	Colegio Farina	1.58	2.17
Cachaco	RCA1	Inchallillo	0.56	0.65
Cachaco	RCA2	Sangolqui	0.61	1.17
Cachaco	RCA3	Camel	0.74	2.60
Cachaco	RCA4	Caballerías Militares	0.50	1.27
ID_M				
Cl_As				
CV_As				
Promedio Concentración As en Invierno				
Promedio Concentración As en Verano				



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJERCITO**  
 Carrera de Ingeniería Geográfica y Medio Ambiente

**Tesis:** Determinación de los contenidos de As en aguas superficiales, sedimentos y suelos en el Valle de los Chillos

**Mapa:** Concentraciones de As en suelos en el Valle de los Chillos

**Sistema de Referencia:** Provisional South American Datum 1956: PSAD-56 UTM Z17 S

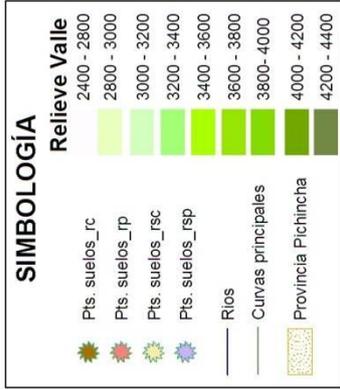
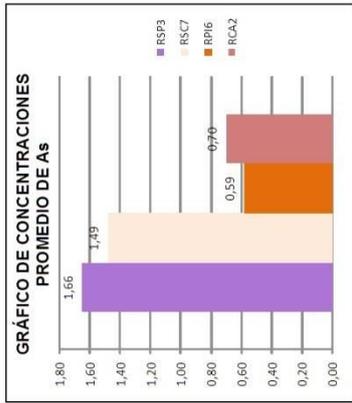
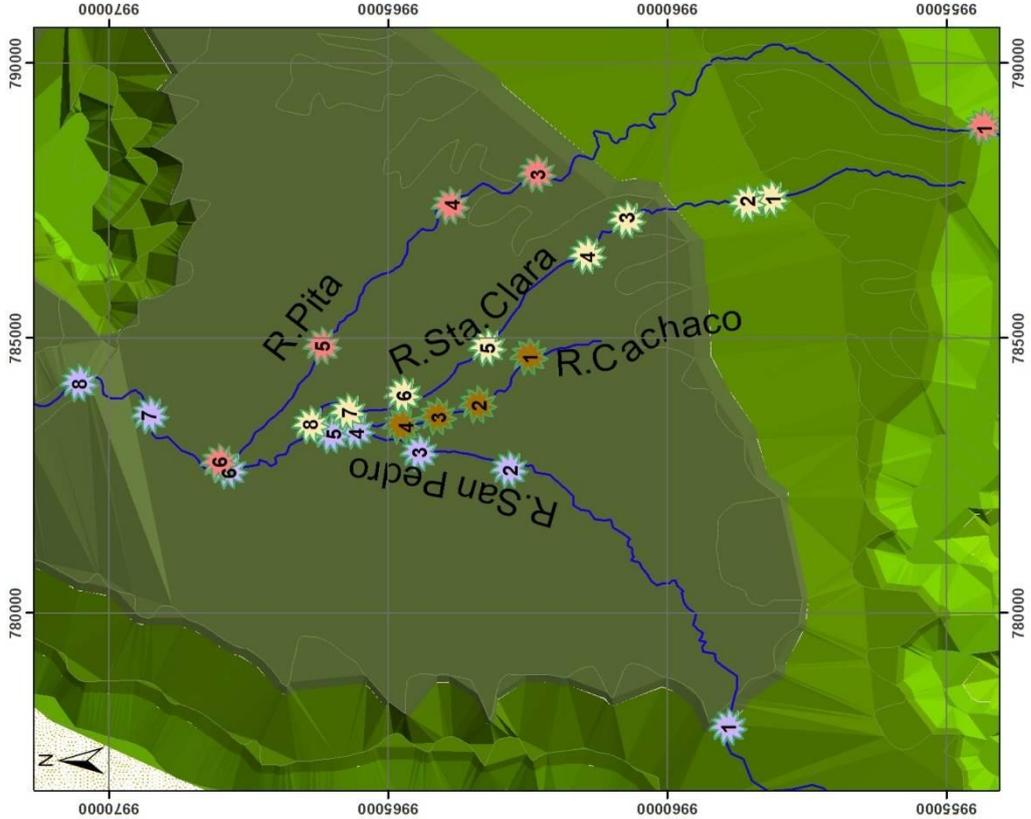
**Elaborado por:** María José Vizcaino Guerra

**Revisado por:** Dr. Luis Cumbal

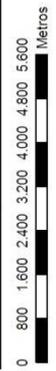
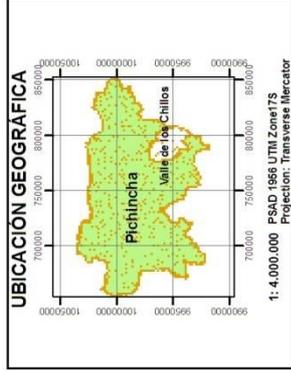
**Fecha:** 24-04-2009

**Escala:** 1: 80000

# CONCENTRACIONES DE AS EN SUELOS EN EL VALLE DE LOS CHILLOS



Río	ID M	Descripción	Cl As	CV As
San Pedro	RSP1	Parque Ecológico Sachaco	0.74	1.66
San Pedro	RSP2	Puente Valvina	0.53	2.31
San Pedro	RSP3	B. Cementerio	0.67	2.02
San Pedro	RSP4	Complejo Deportivo	0.35	1.77
San Pedro	RSP5	Capelo	0.68	1.39
San Pedro	RSP6	Farina	0.72	1.18
San Pedro	RSP7	Armenia	0.41	1.32
San Pedro	RSP8	Reservorio Guanguppolo	2.22	3.12
Sta Clara	RSC1	IASA. Cerdos	0.37	0.78
Sta Clara	RSC2	Central Hidroeléctrica	0.63	0.87
Sta Clara	RSC3	ENKADOR	0.18	0.88
Sta Clara	RSC4	Seiva Alegre	0.40	0.82
Sta Clara	RSC5	Parque Sta. Clara	0.32	0.96
Sta Clara	RSC6	Fabrica de Municiones Sta Barbara	0.80	1.32
Sta Clara	RSC7	San Luis	0.34	0.94
Sta Clara	RSC8	San Rafael Iglesia Memrones	0.71	1.10
Pita	RPI1	Molino	1.54	1.76
Pita	RPI2	Minas	1.20	1.46
Pita	RPI3	Minas	0.87	1.23
Pita	RPI4	Cashapamba	1.25	1.35
Pita	RPI5	ESPE	0.73	0.83
Pita	RPI6	Colegio Farina	1.58	2.17
Cachaco	RCA1	Inchallillo	0.56	0.65
Cachaco	RCA2	Sangolqui	0.61	1.17
Cachaco	RCA3	Canal	0.74	2.60
Cachaco	RCA4	Caballerías Militares	0.50	1.21
ID M		Identidad de la Muestra		
Cl As		Promedio Concentración As en Invierno		
CV As		Promedio Concentración As en Verano		



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
 Carrera de Ingeniería Geográfica y Medio Ambiente  
 Tesis: Determinación de los contenidos de As en aguas superficiales, sedimentos y suelos en el Valle de los Chillos  
 Mapa: Concentraciones de As en suelos en el Valle de los Chillos. Mapa en 3D  
 Elaborado por: Sistema de Referencia Provisional South American Datum María José Vazquez Guerra 1950, PSAD-56 UTM Z17 S  
 Revisado por: Dr. Luis Cumbal Fecha: 24/04/2009  
 Ing. Paulina Guevara Escala: 1: 80000

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- Las concentraciones de  $As_T$  en aguas superficiales, suelos y sedimentos no sobrepasan los valores permisibles de normas establecidas por organismos y entes reguladores; sobre todo en la temporada invierno en el que la dilución del agua disminuye notablemente la concentración del metaloide.
- La concentración de  $As_T$  promedio en aguas superficiales es  $1,09 \mu\text{g/L}$ ;  $0,66 \mu\text{g/g}$  en sedimentos y  $0,65 \mu\text{g/g}$  en suelos. Las concentraciones más altas de  $As_T$  en aguas superficiales, sedimentos y suelos están presentes en el río San Pedro, porque recibe el influjo de las aguas geotermales del Tingo.
- En relación a los valores de pH, Eh, OD medidos in situ y mediante la separación de las especies arsenicales, se puede concluir que los arseniatos son las especies dominantes en las fuentes hídricas superficiales. El incremento de la concentración de esta especie arsenical en la fase líquida está condicionada por el aumento del Eh, concentraciones elevadas de iones competidores como el fosfato y valores altos de alcalinidad (bicarbonatos).
- La materia orgánica presente en las riberas de los ríos del Valle de los Chillos, producto de la acumulación de desechos y vertidos urbanos

influyen en el incremento de las concentraciones de As en sedimentos y suelos, sobretodo en la zona del Camal en Sangolquí, donde a pesar de que existe una elevada concentración de fosfatos, los niveles de As en aguas y sedimentos son los más altos.

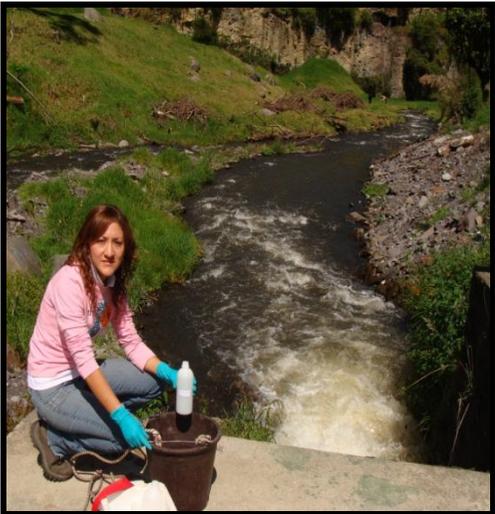
- Aunque la concentración de arsénico en los diferentes medios analizados no sobrepasa los valores permisibles para aguas de bebida, en un futuro puede incrementarse por procesos geoquímicos naturales, desintegración y lixiviación de rocas, emisiones volcánicas, uso de plaguicidas, fertilizantes y herbicidas.
- La Geodatabase y el SIG creados mediante la recolección de información de este estudio es un gran aporte para la actualización de datos geoambientales del Valle de los Chillos.

## 5.2 Recomendaciones

- Es importante efectuar posteriores monitoreos a fin de evaluar el incremento o disminución del metaloide en los diferentes medios analizados (agua, sedimentos y suelos).
- Se debe realizar análisis de DBO, DQO y CO<sub>T</sub> debido a que el agua de los ríos del Valle de los Chillos puede estar gravemente afectada por la contaminación de vertidos urbanos y basura especialmente la zona del camal en Sangolquí, sector del río Cachaco.
- Es necesario analizar las fracciones minerales presentes en suelo y sedimentos a fin de establecer la influencia de estos en los resultados de concentraciones de AsT en las muestras de suelos y sedimentos.
- Este tipo de trabajos de investigación se debe dar a conocer a la población del Valle de los Chillos, a fin de concienciar a la gente la importancia de la protección y conservación de los recursos hídricos.
- La información almacenada en la Geodatabase y el SIG de este trabajo de investigación, se puede complementar con información que se genere en posteriores estudios y proyectos relacionados con el tema de la contaminación de fuentes hídricas superficiales.
- Este trabajo es la base para futuras investigaciones y proyectos que se desarrollen en cuanto a la temática ambiental a favor de la Comunidad del Valle de los Chillos.

**ANEXOS**

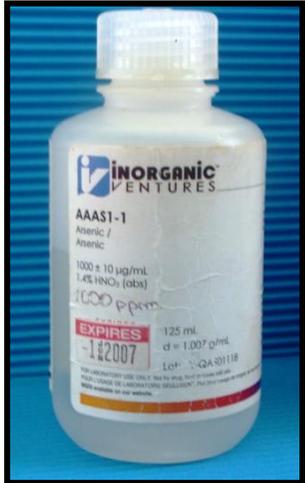
**ANEXO 1a: Fotografías de recolección de muestras**

			
<p>Toma de Muestras de Agua R. Santa Clara</p>	<p>Toma de Muestras de Agua R. Pita Molinuco</p>	<p>Toma de Muestras de Agua R. San Pedro</p>	<p>Toma de Muestras de Agua R. Cachaco</p>

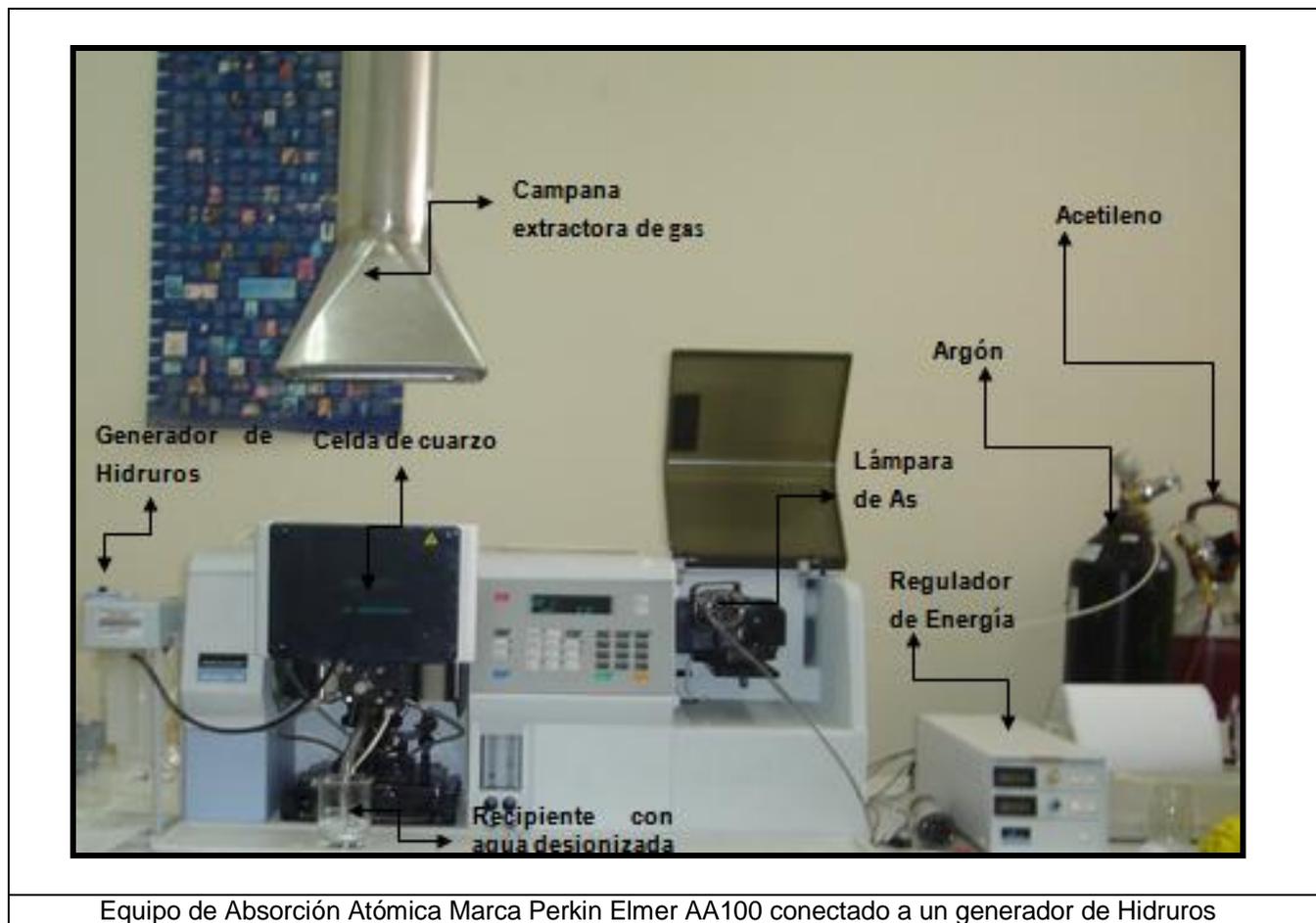
**ANEXO 1b: Fotografías de recolección de muestras**

		
<p>Recolección de sedimentos R. San Pedro</p>	<p>Unión de los ríos San Pedro y Pita Colegio Farina</p>	<p>M.O en el Canal del Camal del R. Cachaco</p>

## ANEXO 2a: Fotografías de Equipos, materiales y reactivos

			
<p>Estándar As 1000 ppm</p>	<p>Equipo Multiparamétrico Marca Metler Toledo</p>	<p>Disposición de químicos utilizados en análisis in situ</p>	<p>Equipo de filtrado de muestras</p>

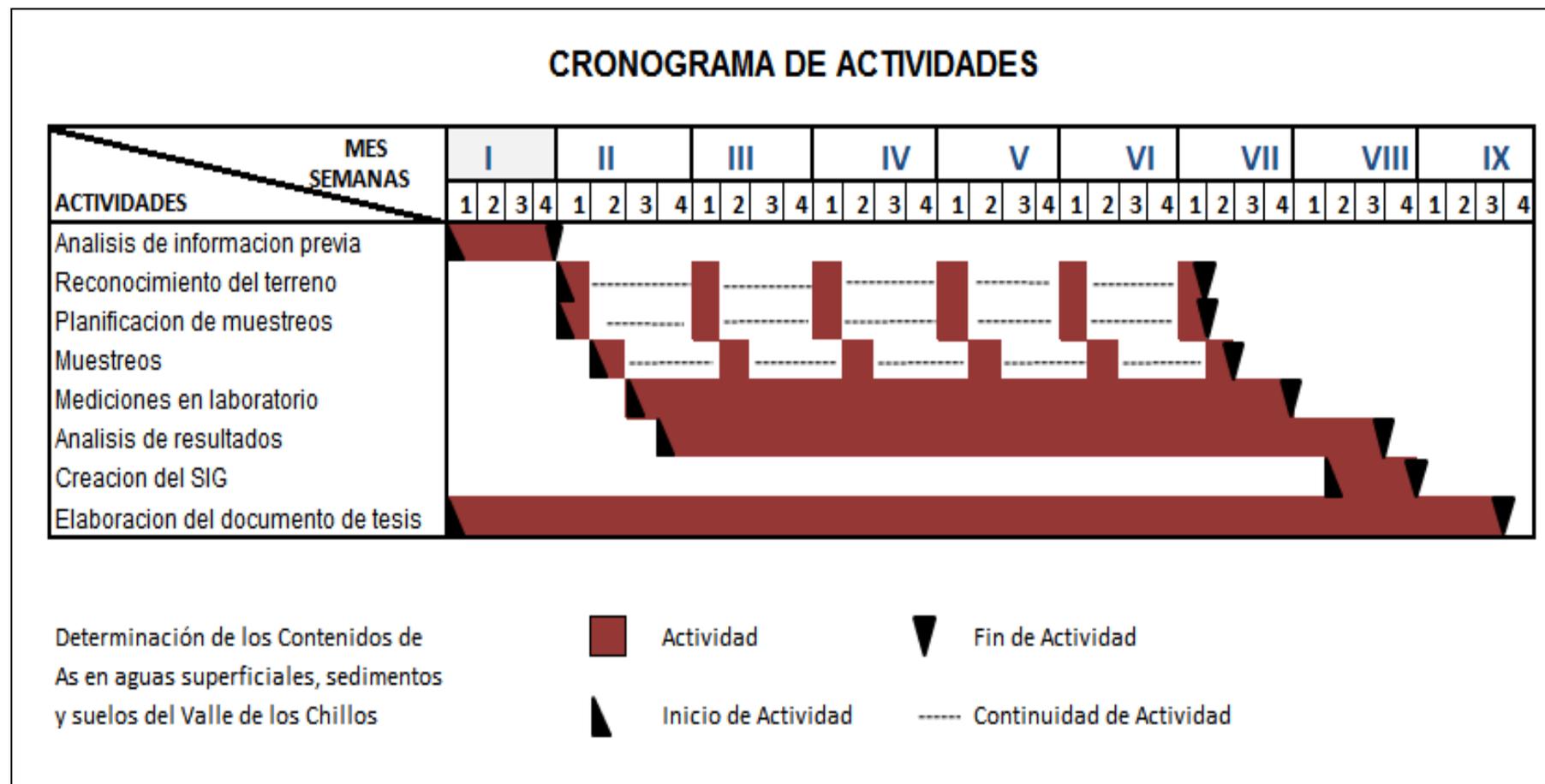
## ANEXO 2b: Fotografías de Equipos, materiales y reactivos



### **ANEXO 3: Reporte de análisis de $A_{sT}$ efectuado en la CEEA**

**ANEXO 4: Reporte de análisis de Fosfatos efectuado por la CEEA.**

## ANEXO 5: CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES



## BIBLIOGRAFÍA

- Albores,A; Quintanilla,B; Del Razo,L; Cebrián,M; **“Arsénico Trabajo completo; Capítulo XV”**; Departamento de Farmacología y Toxicología del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN; México,2007.
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR). **“Reseña Toxicológica del Arsénico”**. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU. 1993.
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR). **“Resumen de Salud Pública; As”**. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU. 2007
- Arguello,M; Campos,A; Perez,P; Plaza,M; Rangeón,A; **”Arsénico Higiene y seguridad en el Trabajo”** Salta,2007
- Biswas U.**“Clinicopathological profile of induced chronic arsenic toxicity in goats”**. India, 1998.
- Blackwell M and Robbins A. , **“Arsine (arsenic hydride) poisoning in the workplace”**. Current Intelligence Bulletin #32,;40:A56-61. 1979.
- Callejas Moncaleano Diana Carolina; **“Detección de Arsénico de Origen Natural en el Agua Subterránea en Colombia”**; Colombia 2007.
- Calvo,C; Álvarez,J; Andrade,M; Marinero, P; Bolado S; **“Contaminación Por Arsénico en Aguas Subterráneas en La Provincia De Valladolid, Variaciones Estacionales”**; España 2003.

- Castro de Esparza,M; **“Presencia de arsénico en el agua de bebida en América Latina y su efecto en la salud pública”**; Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente; Perú, 2006.
- Cumbal, L.; Aguirre, V; Murgueitio, E.; Tipán, I. and Chávez, C. **“El origen del arsénico en las aguas y sedimentos de la laguna de Papallacta”**, *Revista Ciencia*, 9, 2, 135-144(2006).
- De la Torre E., Guevara A., Muñoz G. y Criollo E., **“Estudio de Aguas Superficiales y Sedimentos de la Cuenca de los ríos Sucus, Tambo y Papallacta”**, Reporte no publicado, Quito, Ecuador (2004).
- Department of Health and Senior Services NJ; **“Boletín Informativo sobre sustancias tóxicas”**; 1998.
- Galindo,G; Fernández,J; Parada,M; Torrente,D; **“Arsénico en aguas; Origen Movilidad y Tratamiento”**.Argentina, 2005.
- González J; MorenoA; Pérez L; Larrea M; Prieto P; De la Rosa C; Mosso A; **“Nivel de contaminación en suelos por elementos traza; impacto sobre las comunidades microbianas.”** Madrid-España 2000.
- Hasegawa, H., Matsui, M., Okamura, S., Hojo, M., Iwasaki, N., Sohrin,Y. **“Arsenic speciation including ‘hidden ’ arsenic in natural waters. Applied Organometal.Chem”**. 1999.
- Herrera,H; Farías,B; Martín,R; Cortés,J; Storniolo,A; Thir,J; **“Origen Y Dinámica Del Arsénico en el Agua Subterránea Del Dpto. Robles-**

**Provincia De Sgo. Del Estero”**; Universidad Nacional de Santiago del Estero, FCE y T – Departamento de Geología y Geotecnia; 2000.

- IPCS, International Programme on Chemical Safety **“Concenso Científico sobre el Agua”** 2001.
- Krauskopf K; Introduction to Geochemistry; Mc Graw Hill Book Co; Nueva York 1967.
- Lesikar, B; Melton, R; Hare, M; Hopkins, J; Dozier, M; **“Problemas del agua potable, El arsénico”**. Sistema Universitario de Texas A&M. Texas-USA 2004.
- Lillo Javier; **“Peligros geoquímicos, arsénico de origen natural en las aguas”**, 2005.
- Litter, Marta; **“Ocurrencia de As en aguas y suelos, química y especiación del As; Antecedentes cuantitativos de la presencia de As en aguas de Iberoamérica”**, CONICET, Argentina 2008.
- Madejón Rodríguez P. **“Elementos traza y nutrientes en plantas y suelos afectados por el vertido minero de Aznalcóllar”**, Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, CSIC. Sevilla, España 2004.
- Morales W; Carmona I; **“Estudio de algunos elementos traza en carbones de la cuenca Cesar-Ranchería, Colombia”** Medellín-Colombia 2007.
- Nahar K, Hanchett S. y Rezdi F.; **“Arsenic awareness in Bangladesh towns”**, The Water, Engineering and Development Center (WEDC), In 26th

Conference on Water, Sanitation and Hygiene: Challenges of the Millennium, 234-236, Dhaka, Bangladesh, 2000.

- Organización Mundial de la Salud. **“Guías para la calidad del agua potable”**. Vol. 1. 2ª edición. Ginebra. pp 37-43. (1995)
- Organización Mundial de la Salud. **“Mitigación de los efectos del arsénico presente en las aguas subterráneas”** EB118/14 (2006).
- Rodríguez,R; Echeverría,M; Camacho,B; Curcio, H; Duhalde,D; Fuentes, A; Magneres,A; Muller,C; Podespiora,C; Suárez,P **“Reducción de Arsénico en agua; Uso de un método doméstico”** Argentina UTN 2008
- Routt, J; Roberts,J **“Reconocimiento y manejo de los envenenamientos por pesticidas”**. Medical University of South Carolina, 1999.
- Sancha,M; **“Remoción de arsénico en aguas- rol de la matriz del agua en selección de procesos de remoción de arsénico”**; Valencia- España, 2002.
- Sartirana,M; Suárez,P; Gómez,E; Orfeo,O; **“Validación metodológica para la determinación de sedimentos suspendidos en ríos aluviales.”** Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2006, Resumen: B-048; Argentina 2006.
- Smedley P.L., Kinniburgh D.G., **“A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters”**. 2002
- Smedley, P.L., Edmunds, W.M., Pelig-Ba,K.B.,1996. **“Mobility of arsenic in groundwater in the Obuasi area of Ghana”**.In: Appleton, J.D., Fuge, R.,

McCall, G. J.H.(Eds.).Environ. Geochem. and Health, Geol.Soc.Spec.Publ. 113. Geological Society, London,pp.163 .181.

- Smith, A. H; Lingas, E. O; Rahman, M. “**Contaminación del agua de bebida con arsénico en Bangladesh: una emergencia de salud pública**” (resumen en español). *Boletín de la Organización Mundial de la Salud*, 2000; 78(9):1093-1103.
- Universidad Rey Juan Carlos, Facultad de Ciencias de la Salud; “**Boletín Arsénico en las aguas subterráneas: la amenaza escondida**”; España 2006
- Vazquez,H; Ortolani,V; Rizzo,G; Bachur, J; Pidustwa, V; Corey, G; “**Arsénico en aguas subterráneas criterios para la adopción de límites tolerables**” CEPIS-OPS; 2001.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Abomasitis.-** Padecimiento en el cuarto estómago de los rumiantes

**Adsorción.-** Retención de moléculas o iones de un cuerpo en la superficie de otro cuerpo.

**Arsenicosis.-** Enfermedad crónica que ocasiona dermatopatías, gangrena, así como cáncer de riñón y cáncer vesical.

**Biotóxico.-** Refiere al compuesto o sustancia que es dañino o pernicioso para la vida.

**Carcinogénesis.-** Procesos que dan origen a diferentes tipos de cáncer

**Disociación.-** Proceso de separación de un compuesto en sus iones al disolverlo en agua.

**Hidrólisis.-** Descomposición de un compuesto químico por acción del agua.  
Ionización: fenómeno por el que los átomos o grupos de átomos, se transforman en iones.

**Metabolitos.-** Referente al proceso de cambios fisiológicos entre el organismo vivo y el exterior.

**Metaloide.-** Con propiedades de metal y no metal.

**Metilación.-** Inclusión de un ión hidroxil en la cadena de carbonatos.

**Mutagenicidad.-** Malformaciones fetales microscópicas

**Sorción.-** Relativo a la adsorción o desorción

**Teratogenicidad.-** Origen a diversas anomalías en el cuerpo de un ser vivo.

## HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS

ELABORADO POR

---

COORDINADOR DE LA CARRERA

---

SECRETARIO ACADÉMICO

---

Sangolquí, 4 de Junio de 2009.