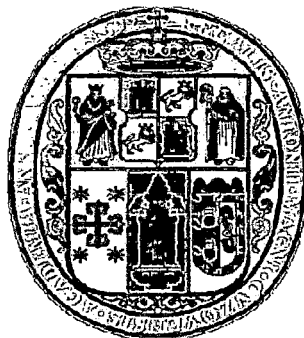


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO  
ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MATEMÁTICAS  
CARRERA PROFESIONAL DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA



"ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA SUBTERRÁNEA PARA CONSUMO HUMANO, CUANTIFICACIÓN DE ELEMENTOS QUÍMICOS ALTAMENTE TÓXICOS; ARSENICO, CROMO, CADMIO, PLOMO POR EL MÉTODO ESPECTROFOTOMÉTRICO DE ABSORCIÓN ATÓMICA EN EL DISTRITO DE ANTA"

**AUSPICIADO POR EL CONSEJO DE INVESTIGACIÓN**

**TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE QUÍMICO FARMACÉUTICO**

**PRESENTADO POR:**

*Br. GILDER ACCOSTUPA QUISPE*  
*Br. RICHARD MAMANI TUNQUI*

**ASESOR:**

*Dr. NERIO GÓNGORA AMAUT*

**COASESOR:**

*Ing. Qco. MARIO CUMPA CAYURI*

**CUSCO-PERÙ**  
**2012**

## *Dedicatoria*

*Esta tesis va dedicada a todas las personas que con su creatividad e ingenio buscan la riqueza material y espiritual. Aquéllos que en contra de inconvenientes, voluntades adversas tanto mentales y materiales, que en circunstancias históricas actuales enmarcan un destino promisorio con esfuerzo trabajo y perseverancia, para eliminar al monstruo llamado pobreza. Dedico también a mi mejor amigo que con su sabia mirada refleja la invaluable y verdadera amistad APOLITO.*

*También dedico este trabajo a mi Madre Sabina, a mi hermana Gresia, a mi Padre que vive en mi memoria desde el momento que transformo su energía vital.*

*Atte. Gilder.*

## *Dedicatoria*

- *A DIOS Padre divino creador de todo lo existente, por guiarme y ayudarme en los momentos más difíciles de mi vida como también por ayudarme a lograr todas mis metas y objetivos trazados.*
- *A BASILIA y ANICETO mis Padres por haberme dado la vida, por enseñarme lo bueno, lo malo y encaminarme por el sendero del buen andar ya que con sus palabras y consejos pude salir adelante en la vida.*
- *A OMAR DENNIS mi hermano y ANALY SABRINA mi preciosa hermanita que con todo su amor y ternura supieron comprenderme y apoyarme durante la realización de este trabajo.*
- *A mi abuelita GERTRUDIS que el sueño eterno descansa y que desde el cielo vela y guía mis pasos.*
- *A mis tías ANICETA, LUCRECIA y ALEJANDRINA, que fueron como mis segundas Madres durante mi infancia enseñándome el buen andar de la vida y hoy se los agradezco.*
- *A mis Primas ANA LOURDES, MARLENE y LUZ MERY, que durante nuestra infancia nos criamos como hermanitos juntos de un lado para otro y que hoy día lo añoro.*
- *A toda mi numerosa Familia y Amigos de infancia que en la ciudad capital luchan por un mejor mañana.*
- *A toda mi Familia Urqueña que me vio crecer en lo humano y en lo Profesional.*
- *A todos mis verdaderos Amigos y Profesores de la Universidad que contribuyeron enormemente en mi formación Profesional y humana.*

*RICHARD*

## *Agradecimientos*

- *Al Dr. Nerio Góngora Amaut nuestro asesor por todo su apoyo.*
- *Al Ing. Qco. Mario Cumpa Cayuri nuestro coasesor por todo su apoyo y comprensión.*
- *Al Q.F. Carlos A. Moreyra Pachas por toda su paciencia, su apoyo incondicional, sus consejos que en si nos devolvieron la fe de creer de quien nosotros nos habíamos olvidado y que él nunca se olvidó de nosotros.*
- *A la Q.F. Katuska Figueroa Vargas, Mgt. Karina Cardaña Unda, Mgt. Anahí Cardona Rivero por todo su apoyo y comprensión en los momentos más difíciles y que gracias a ello pudimos concluir nuestro trabajo.*
- *A la Mcs. Carla del Carpio Jiménez, Coordinadora de la Carrera Profesional de Farmacia y Bioquímica, por toda su paciencia y comprensión en la realización de este trabajo.*
- *Al ST1.Ing.Qco. Pedro C. Meche CColque, por su amistad un verdadero amigo que con sus palabras y consejos nos apoyó en las malas y las buenas.*
- *Al Mcs. Deyvid Loayza Ayala, por su entera amistad una persona del quien muchos lo conocemos y damos fe de que es un amigo verdadero.*
- *A los Presidentes de las comunidades campesinas de San Cristóbal y Nueva Anta, a las juntas Vecinales, Ronderos, Tomeros y Población en general por su entera colaboración.*

## CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS .....	VI
LISTA DE TABLAS .....	VI
LISTA DE GRÁFICOS .....	VI
LISTA DE CUADROS .....	VII
RESUMEN .....	VIII
INTRODUCCIÓN .....	XII
CAPITULO I .....	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	2
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	3
1.3. OBJETIVOS .....	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....	3
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
1.4. JUSTIFICACIÓN O PROPÓSITO DE LA INVESTIGACIÓN .....	4
1.5. HIPÓTESIS .....	5
CAPITULO II .....	6
MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....	6
CAPITULO II .....	7
MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....	7
2. ANTECEDENTES .....	7
2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES .....	7
2.2. ANTECEDENTES NACIONALES .....	12
2.3. MARCO TEÓRICO .....	14
2.4. EL AGUA .....	17
2.5. AGUA SUBTERRÁNEA .....	19
2.6. TRANSPORTE DE CONTAMINANTES EN AGUAS SUBTERRÁNEAS .....	20
2.7. MARCO LEGAL .....	24
2.8. GENERALIDADES DEL ARSÉNICO .....	24
2.9. GENERALIDADES DEL CROMO .....	33
2.10. GENERALIDADES DEL CADMIO .....	39
2.11. GENERALIDADES DEL PLOMO .....	48
2.12. ESPECTROSCOPÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA .....	56
DEFINICIÓN DE TÉRMINOS .....	61
CAPITULO III .....	68
MATERIALES Y MÉTODOS .....	68
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	69
3.1. MUESTRA DE ANÁLISIS: .....	69
3.2. EQUIPOS, REACTIVOS Y MATERIALES .....	69
3.3. TIPO DE ESTUDIO .....	70
3.4. TIPO DE HIPÓTESIS: ASOCIATIVA- EXPLICATIVA .....	71
3.5. POBLACIÓN DE ESTUDIO Y TAMAÑO DE MUESTRA: .....	72
3.6. IDENTIFICACIÓN, DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES: .....	73
3.7. LIMITACIONES .....	85

3.8. CRITERIOS DE SELECCIÓN .....85  
3.9. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO: .....86  
    3.9.1. PROCEDIMIENTOS DESARROLLADOS: .....86

## LISTA DE FIGURAS

<i>FIGURA N° 01: ACUÍFEROS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS CON ALTO CONTENIDO DE ARSÉNICO EN ASIA.....</i>	<i>8</i>
<i>FIGURA N° 02: MAPA DE LA PROVINCIA DE ANTA.....</i>	<i>15</i>
<i>FIGURA N° 03: UBICACIÓN DEL ESTUDIO DE ANÁLISIS DE AGUA SUBTERRÁNEA.....</i>	<i>16</i>
<i>FIGURA N° 04: ESTRUCTURA MOLECULAR DEL AGUA.....</i>	<i>17</i>
<i>FIGURA N° 05: TRANSPORTE POR DISPERSIÓN (“FICKIANO”).....</i>	<i>22</i>
<i>FIGURA N° 06: DISPERSIÓN LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL VISTAS A ESCALA MICROSCÓPICA.....</i>	<i>23</i>
<i>FIGURA N° 07: COMO INGRESA EL CADMIO AL AGUA Y LAS CADENAS ALIMENTARIAS....</i>	<i>41</i>
<i>FIGURA N° 08: RUTAS DE EXPOSICIÓN AL PLOMO.....</i>	<i>50</i>
<i>FIGURA N° 09: ESQUEMA DE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.....</i>	<i>57</i>

## LISTA DE TABLAS

<i>TABLA N° 01: DISTRITOS DE LA PROVINCIA DE ANTA.....</i>	<i>15</i>
<i>TABLA N° 02: ABUNDANCIA DE AGUA EN NUESTRO PLANETA.....</i>	<i>18</i>
<i>TABLA N° 03: DATOS ARSÉNICO.....</i>	<i>26</i>
<i>TABLA N° 04: DATOS CROMO.....</i>	<i>33</i>
<i>TABLA N° 05: DATOS CADMIO.....</i>	<i>40</i>
<i>TABLA N° 06: DATOS PLOMO.....</i>	<i>49</i>

## LISTA DE GRÁFICOS

<i>GRAFICO N° 4.1.1: LECTURAS DE CONCENTRACIONES DE PLOMO PARA LA COMUNIDAD DE SAN CRISTÓBAL – ANTA.....</i>	<i>106</i>
<i>GRAFICO N° 4.1.2: LECTURAS DE CONCENTRACIONES DE PLOMO PARA LA COMUNIDAD DE NUEVA ANTA – ANTA.....</i>	<i>107</i>
<i>GRAFICO N° 4.1.3: CONCENTRACIONES DE PLOMO PARA LA COMUNIDAD DE SAN CRISTÓBAL Y NUEVA ANTA - ANTA.....</i>	<i>108</i>
<i>GRAFICO N° 4.2.1: LECTURAS DE CONCENTRACIONES DE CADMIO PARA LA COMUNIDAD DE SAN CRISTÓBAL – ANTA.....</i>	<i>110</i>
<i>GRAFICO N°: 4.2.2: LECTURAS DE CONCENTRACIONES DE CADMIO PARA LA COMUNIDAD DE NUEVA ANTA - ANTA.....</i>	<i>111</i>

<i>GRAFICO Nº4.2.3: CONCENTRACIONES DE CADMIO PARA LA COMUNIDAD DE SAN CRISTÓBAL Y NUEVA ANTA-ANTA.....</i>	<i>112</i>
<i>GRAFICO Nº 4.3.1: LECTURAS DE CONCENTRACIONES DE CROMO PARA LA COMUNIDAD DE SAN CRISTÓBAL – ANTA.....</i>	<i>113</i>
<i>GRAFICO Nº 4.3.2: LECTURAS DE CONCENTRACIONES DE CROMO PARA LA COMUNIDAD DE NUEVA ANTA – ANTA.....</i>	<i>114</i>
<i>GRAFICO Nº 4.3.3: CONCENTRACIONES DE CROMO TOTAL PARA LA COMUNIDAD DE SAN CRISTÓBAL Y NUEVA ANTA - ANTA.....</i>	<i>115</i>
<i>GRAFICO Nº 4.4.1: LECTURAS DE CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO PARA LA COMUNIDAD DE SAN CRISTÓBAL – ANTA.....</i>	<i>117</i>
<i>GRAFICO Nº 4.4.2: LECTURAS DE CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO PARA LA COMUNIDAD DE NUEVA ANTA – ANTA.....</i>	<i>118</i>
<i>GRAFICO Nº 4.4.3: CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO TOTAL PARA LA COMUNIDAD DE SAN CRISTÓBAL Y NUEVA ANTA - ANTA.....</i>	<i>119</i>

#### **LISTA DE CUADROS**

<i>CUADRO Nº 4.1.1: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS PARA LAS LECTURAS DE PLOMO PARA LA COMUNIDAD DE SAN CRISTÓBAL – ANTA.....</i>	<i>106</i>
<i>CUADRO Nº 4.1.2: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS PARA LAS LECTURAS DE PLOMO PARA LA COMUNIDAD DE NUEVA ANTA - ANTA.....</i>	<i>107</i>
<i>CUADRO Nº 4.2.1: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS PARA LAS LECTURAS DE CADMIO PARA LA COMUNIDAD DE SAN CRISTÓBAL – ANTA.....</i>	<i>110</i>
<i>CUADRO Nº 4.2.2: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS PARA LAS LECTURAS DE CADMIO PARA LA COMUNIDAD DE NUEVA ANTA – ANTA.....</i>	<i>111</i>
<i>CUADRO Nº 4.3.1: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS PARA LAS LECTURAS DE CROMO PARA LA COMUNIDAD DE SAN CRISTÓBAL – ANTA.....</i>	<i>113</i>
<i>CUADRO Nº 4.3.2: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS PARA LAS LECTURAS DE CROMO PARA LA COMUNIDAD DE NUEVA ANTA – ANTA.....</i>	<i>114</i>
<i>CUADRO Nº 4.4.1: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS PARA LAS LECTURAS DE ARSÉNICO PARA LA COMUNIDAD DE SAN CRISTÓBAL – ANTA.....</i>	<i>117</i>
<i>CUADRO Nº 4.4.2: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS PARA LAS LECTURAS DE CROMO PARA LA COMUNIDAD DE NUEVA ANTA – ANTA.....</i>	<i>118</i>
<i>CUADRO Nº 4.5: RESULTADOS DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA COMUNIDAD DE SAN CRISTÓBAL Y NUEVA ANTA – ANTA.....</i>	<i>120</i>



## RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo principal, la cuantificación de los niveles de Pb, Cd, Cr y As, a través de los análisis químicos, tomando como base para dichos análisis la Técnica Espectrofotométrica de Absorción Atómica (AAS), en captaciones de aguas subterráneas para consumo humano, en dos comunidades del distrito de Anta – Cusco y ver si se encuentran dentro de los rangos permisibles dispuesto por la Organización Mundial de la Salud (OMS), y la Norma Técnica Peruana dada por la DIGESA.

Encontrándose un promedio de Plomo total de 0.01936667 y 0.04898333 mg Pb/L, para las Comunidades de San Cristóbal y Nueva Anta respectivamente, los cuales no exceden la concentración máxima permisible dada por la Norma Técnica Peruana 214.003.87 (0.05 mg/L) pero exceden a la concentración máxima permisible dada por la Organización Mundial de la Salud (0.01 mg /L). Un promedio de Cadmio total de 0.002497 y 0.002663 mg Cd/L, para las Comunidades de San Cristóbal y Nueva Anta respectivamente, los cuales no exceden la concentración máxima permisible dada por la Norma Técnica Peruana 214.003.87 (0.003 mg/L) y la Organización Mundial de la Salud (0.003 mg/L). Un promedio de Cromo total de 0.00482056 y 0.00491111 mg Cr/L, para las Comunidades de San Cristóbal y Nueva Anta respectivamente, los cuales no exceden la concentración máxima permisible dada por la Norma Técnica Peruana 214.003.87 (0.05 mg/L) y la Organización Mundial de la Salud (0.05 mg/L). Un promedio de Arsénico total de 0.0098582 y 0.00085089 mg As/L, para las Comunidades de San Cristóbal y Nueva Anta respectivamente, los cuales no exceden la concentración máxima permisible dada por la Norma Técnica Peruana 214.003.87 (0.01 mg As/L) y la Organización Mundial de la Salud (0.01 mg As/L). Y se observó que los resultados de las Características Físicoquímicas de las Aguas Subterráneas de las Comunidades de San Cristóbal y Nueva Anta – Anta. Como Dureza total, Acidez, Cloruros, Sulfatos, PH, Conductividad y Turbidez, no sobrepasan los niveles permisibles dadas por la Norma Técnica Peruana 214.003.87 – DIGESA y por la OMS, pero la Alcalinidad está por encima de los niveles establecidos por la Norma Técnica Peruana 214.003.87 – DIGESA y por la

OMS. Los cálculos de las medias, desviaciones típicas, varianza, fueron obtenidos por el paquete estadístico SPSS PASW Statistics V:18. Concluyéndose Finalmente que las aguas subterráneas de las comunidades estudiadas, según la OMS y la Norma Técnica Peruana dada por la DIGESA, son aptas para consumo humano.

***Palabras clave:*** Aguas Subterráneas, Metales pesados, Plomo, Cadmio, Cromo, Arsénico, Absorción Atómica.

## SUMMARY

This research had as main objective, to quantify the levels of Pb, Cd, Cr and As, through chemical analysis, based on these analyzes for the Atomic Absorption Spectrophotometric technique (AAS) in groundwater catchments for human consumption in two communities in the district of Anta - Cusco and see if they are within allowable ranges set by the World Health Organization (WHO) and the Peruvian Technical Standard given by DIGESA.

Lead found an average of 0.01936667 and 0.04898333 Total Pb mg / L for the Communities of San Cristobal and New Anta respectively, which do not exceed permissible levels given by the Peruvian Technical Standard 214.003.87 (0.05 mg / L) but exceed permissible levels given by the World Health Organization (0.01 mg / L). An average of total cadmium and 0.002663 0.002497 mg Cd / L for the Communities of San Cristobal and New Anta respectively, which do not exceed permissible levels given by the Peruvian Technical Standard 214.003.87 (0.003 mg / L) and World Health Organization (0.003 mg / L). An average total Chromium and 0.00491111 0.00482056 mg Cr / L for the Communities of San Cristobal and New Anta respectively, which do not exceed permissible levels given by the Peruvian Technical Standard 214.003.87 (0.05 mg / L) and World Health Organization (0.05 mg / L). An average of total arsenic and 0.00085089 0.0098582 mg As / L for the Communities of San Cristobal and New Anta respectively, which do not exceed permissible levels given by the Peruvian Technical Standard 214.003.87 (0.01 mg As / L) and the World Health Organization (0.01 mg As / L). And he noted that the results of the physicochemical characteristics of Groundwater Communities of San Cristobal and New Anta - Anta. As Total hardness, acidity, chlorides, sulfates, pH, conductivity and turbidity, do not exceed permissible levels given by the Peruvian Technical Standard 214.003.87 - DIGESA and WHO, but the alkalinity is above the levels established by the Standard Peruvian Technical 214.003.87 - DIGESA and WHO. Estimates of mean, standard deviation, variance, were obtained by SPSS PASW Statistics V: 18. Finally concluding that groundwater in the study communities, according to WHO and the Peruvian Technical Standard given by DIGESA are suitable for human consumption.

**Keywords:** Groundwater, Heavy Metals, Lead, Cadmium, Chromium, Arsenic Atomic Absorption.

## INTRODUCCIÓN

La presencia de metales en el agua de consumo puede ser benéfica, tóxica e indeseable, algunos metales participan como catalizadores de reacciones bioquímicas en los procesos fisiológicos; pero en altas concentraciones puede afectar la salud del hombre. Ciertos compuestos tóxicos en potencia, tales como los metales pesados: Plomo, Cadmio, Cromo, Arsénico, etc. se vierten continuamente en las aguas, debido a procesos naturales e intervención del hombre. Es así que cuando el plomo es ingerido, inhalado o absorbido por la piel, resulta ser altamente tóxico para los seres vivos en general y para los humanos en particular. Se sabe que es tóxico para los sistemas endocrino, cardiovascular, respiratorio, inmunológico, neurológico, gastrointestinal, epidérmico y nefrológico, cuyo valor máximo aceptado es de 0.01 mg/L **(OMS, 2003d)**. El cadmio es dañino en dosis muy pequeñas, el envenenamiento por cadmio produce osteoporosis, enfisema pulmonar, cáncer de pulmón, cáncer de próstata, hipertensión, diversas cardiopatías y retraso en la habilidad verbal de los niños, cuyo valor máximo aceptado es de 0.003 mg /L **(OMS, 2003c)**. Se sabe que el Cr<sup>+6</sup> es cancerígeno por inhalación, especialmente cáncer de pulmón, así como un incremento de la tasa de cáncer del tracto gastrointestinal. Los análisis de laboratorio también han arrojado evidencias contundentes sobre daño al ADN e inducir mutaciones genéticas. Por otra parte, todavía no se sabe con certeza si el Cr<sup>+6</sup> es carcinógeno a los niveles en los que se halla en el agua potable. Hasta el momento, la evidencia científica indica que el cromo +6 es probablemente mucho más tóxico por inhalación que por ingestión, cuyo valor máximo aceptado es de 0.05 mg /L **(OMS, 2003b)**. El arsénico es muy tóxico y causa daños al sistema neurológico, al sistema cardiovascular y está ligado a diversos tipos de cáncer como el de la piel. La intoxicación crónica por arsénico puede manifestarse por la aparición de llagas y un aspecto leproso. Inhalar arsénico aumenta las posibilidades de desarrollar cáncer pulmonar. Una dosis superior a los 65 miligramos suele provocar una muerte violenta, cuyo valor máximo aceptado es de 0.01 mg/L. **(OMS, 2003a)**.

Nos interesa investigar este tema de enorme importancia para la salud, debido a que los metales pesados como el plomo (Pb), Cadmio (Cd), Arsénico (As), Cromo (Cr) en concentraciones superiores a las recomendadas producen distintas patologías (teratogenicidad, cáncer, entre otros). Investigaciones en otros países nos permiten presumir de que la aparición de nacimientos de bebés con malformaciones, el incremento de enfermedades cancerígenas estén vinculados a estos elementos. **(Derache R. 2005).**

## ABREVIATURAS DE TÉRMINOS

**AA/AAS:** Absorción atómica

**APHA:** Asociación Estadounidense de Salud Pública, en inglés.

**AWWA:** Asociación Americana de obras de agua, en inglés.

**As:** Arsénico

**Cd:** Cadmio

**Cr:** Cromo

**DHHS:** Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos, en inglés.

**DIGESA:** Dirección General de Salud.

**DIRESA:** Dirección Regional de Salud.

**DSEAO (OMS):** Dosis sin efecto adverso observado, en inglés.

**DMA:** Di metil arsenato

**EPA:** Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU, en inglés.

**IGN:** Instituto Geográfico Nacional

**IARC:** La Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer, en inglés.

**IPCS:** Programa internacional sobre seguridad de los productos químicos, en inglés

**IPRC:** Centro de investigación pacífico internacional, en inglés

**ICP/MS:** Espectrometría de Masas con fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo, en inglés.

**mg/L:** miligramo por Litro

**NTP:** Norma Técnica Peruana.

**OMS:** Organización Mundial de la Salud

**OPS:** Organización Panamericana de la Salud.

**Pb:** Plomo

**MCL:** Máximo Nivel de Contaminación, en inglés.

**MMA:** Mono metil arsenato

**SEDAPAL:** Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima.

**ug/L:** microgramo por Litro

**WHO:** Organización Mundial de la Salud, en inglés.

**WGS:** Sistema geodésico del mundo, en inglés.

# **CAPITULO I**



# CAPITULO I

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

En el Departamento del Cusco, Provincia de Anta, y específicamente en el Distrito de Anta existen aproximadamente 37 fuentes de captación de aguas subterráneas para Consumo Humano, que no cuentan con los análisis correspondientes que determinen la inocuidad de estas, incluso incumplen la norma vigente para aguas de consumo humano. **(NTP, DIRESA, 2010).**

El agua freática o subterránea es una fuente vital de agua para beber y para el riego agrícola, sin embargo es fácil de agotar porque se renueva muy lentamente. Cuando el agua freática llega a contaminarse no puede depurarse por sí misma, como el agua superficial tiende a hacerlo, debido a que los flujos de agua freática son lentos, además existen pocas bacterias degradadoras por la deficiencia de oxígeno. Debido a que el agua freática no es visible hay poca conciencia de ella. Las aguas subterráneas contienen componentes abióticos (elementos metálicos ligeros o pesados, restos de compuestos químicos parcialmente metabolizados activos o inertes, así como gases) componentes bióticos (Hongos, bacterias, virus, parásitos, líquenes) que pueden ser dañinos para la salud humana si superan determinadas concentraciones **(Derache R. 2005).**

La contaminación por metales pesados como el Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Zinc (Zn), Cobre (Cu) Mercurio (Hg) Arsénico (As), Cromo (Cr) entre otros, representa en la actualidad un riesgo importante para el medio ambiente y la salud. La intoxicación por metales pesados se ha incrementado a consecuencia del desarrollo industrial en los últimos siglos y la urbanización acelerada. la Infiltración de sustancias químicas orgánicas y compuestos tóxicos desde rellenos sanitarios, tiraderos abandonados de desechos peligrosos y desde lagunas para almacenamiento de desechos industriales localizados por arriba o cerca de los acuíferos **(Derache R. 2005).**

En la provincia de Anta existe un crecimiento demográfico ascendente por ende la demanda de agua para el consumo humano se ha incrementado considerablemente, a la par se incrementó las fuentes de contaminación Antropogénicas, razón por la cual se usan, manantes, filtraciones subterráneas para satisfacer esta necesidad. Además es probable que estas captaciones y la redistribución de estas no cumplan parámetros establecidos por organismos de instancia superior como la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2003).

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cumplirán con los parámetros de contenido, de elementos pesados como Plomo, Cadmio, Cromo y Arsénico Las aguas subterráneas captadas para consumo humano, en las Comunidades de San Cristóbal y Nueva Anta, luego del análisis físico-químico?

## **1.3. OBJETIVOS.**

### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Cuantificar y determinar las Características Físicoquímicas incluyendo los niveles de Pb, Cd, Cr y As, en captaciones de Aguas subterráneas para consumo humano, verificar si estas se encuentran en rangos permisibles o aceptables según dispone la Organización Mundial de Salud (OMS), Organización Panamericana de la Salud (OPS), Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. (EPA, en inglés), Dirección General de salud (DIGESA).

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Determinar los niveles de Pb, Cd, Cr y As, en captaciones de agua subterránea en las comunidades de San Cristóbal y Nueva Anta. mediante el método Espectrofotométrico de Absorción Atómica.

- b) Evaluar las Características Físicoquímicas de las muestras de agua subterránea en las Comunidades de San Cristóbal y Nueva Anta. mediante los métodos químicos correspondientes y normalizados para su análisis.
- c) Realizar un curso taller de información social, relacionados a contaminación y exposición frente a estos elementos evaluados en este trabajo.
- d) Informar a la Dirección Regional de Salud (DIRESA) sobre los estudios realizados.
- e) Informar a la autoridad local acerca del trabajo de investigación, en caso surgiera datos elevados de contaminación, para dar inicio a un tratamiento y manejo adecuado de estas.

#### **1.4. JUSTIFICACIÓN O PROPÓSITO DE LA INVESTIGACIÓN**

El Trabajo de Investigación Intitulado "ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA SUBTERRÁNEA PARA CONSUMO HUMANO, CUANTIFICACIÓN DE ELEMENTOS QUÍMICOS ALTAMENTE TÓXICOS: PLOMO, CADMIO, CROMO Y ARSÉNICO, POR EL MÉTODO ESPECTROFOTOMÉTRICO DE ABSORCIÓN ATÓMICA EN EL DISTRITO DE ANTA"

##### **Se justifica en lo Social:**

- ✓ Porque ayudará a todas las personas que consumen aguas subterráneas, pues la investigación será expuesta en la población donde se realizó el estudio, además esta información será difundida en medios de difusión oral (radios) para tener conocimiento de que no todas las fuentes de aguas subterráneas, están libres de contaminantes altamente tóxicos.
- ✓ Porque las captaciones de aguas subterráneas tengan mejores condiciones de saneamiento, para no atentar contra la salud pública.
- ✓ Porque en la actualidad en la provincia de Anta no existen normas implantadas para un control adecuado de aguas subterráneas para consumo humano.

- ✓ Los hallazgos de este trabajo servirán para alimentar a una base de datos de instituciones o centros de investigación toxicológicos, para ser utilizados como una fuente de información concerniente a la contaminación ambiental por metales pesados.

**Se justifica en lo Económico:**

- ✓ La intoxicación producida por la ingesta de agua contaminada con elementos químicos altamente tóxicos (As, Cr, Cd, Pb), supone un elevado coste económico en su tratamiento ya sea en la fase aguda como en la crónica, razón por el cual este trabajo permitirá tomar una serie de medidas preventivas y correctivas para disminuir el riesgo de una intoxicación por estos contaminantes.

### **1.5. HIPÓTESIS**

Las aguas subterráneas captadas para consumo humano, en las comunidades de San Cristóbal y Nueva Anta, no cumplen con los parámetros de contenido para elementos pesados como Plomo (0.01 mg/l), Cadmio (0.003 mg/l), Cromo (0.05 mg/l) y Arsénico (0.01 mg/l), en rangos permisibles según la OMS, OPS, EPA, DIGESA.

# **CAPITULO II**

## **MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

#### 2. ANTECEDENTES

##### 2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

###### 2.1.1. ANÁLISIS DE PLOMO Y METALES TÓXICOS EN AGUAS

**SÚBTERRÁNEAS**, 06 de diciembre 2006. Martha A. Velázquez Machuca, José Luis Pimentel Quichua.-Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional-IPN-Unidad.

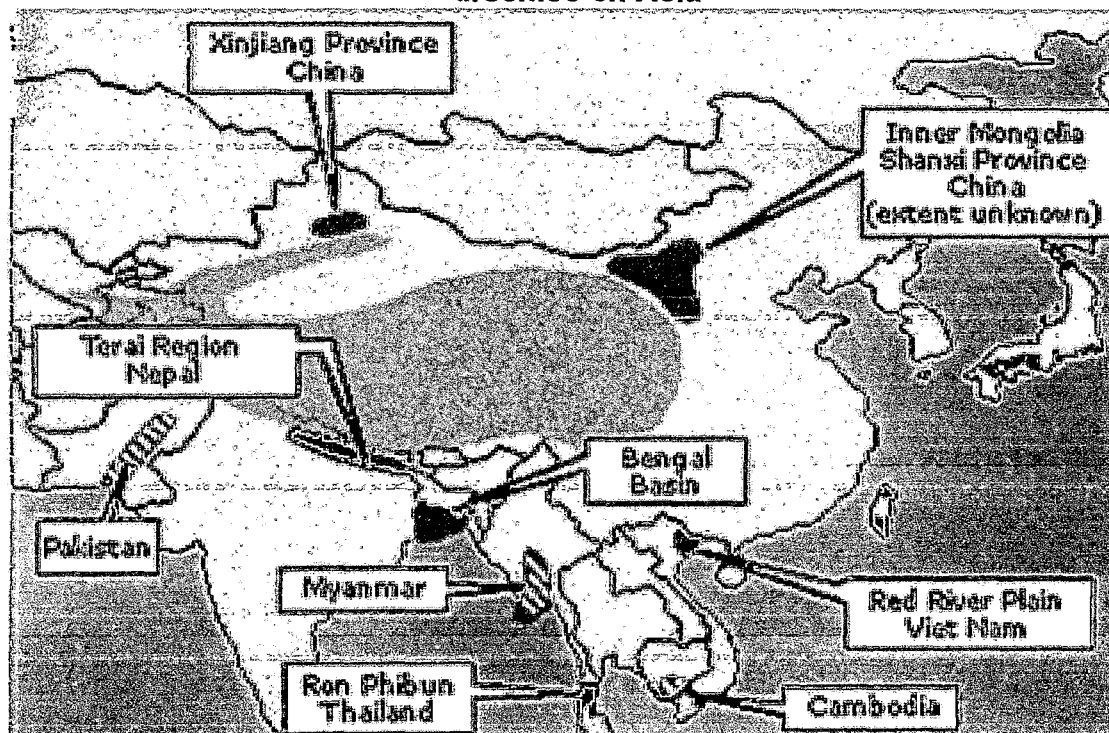
En la parte alta de la cuenca (Carapan-Tangancicuaro- Mexico). la concentración de Pb en los manantiales de uso urbano fue de 0 a 0.149 mg/L; cinco de los siete manantiales ubicados en esta zona y los tres pozos analizados superan el límite de 0.01 mg/L para agua de consumo humano, mientras que sólo dos manantiales (Cuinio y Tanaquillo) se encontraron libres de este elemento. En la zona media (Zamora-San Simón), 10 de los 14 pozos urbanos estudiados superaron la concentración límite para este uso; en la zona baja (Ixtlán-Ibarra) los seis pozos analizados mostraron concentraciones de 0.02-0.07 mg/L. En promedio, se registraron 0.066, 0.058 y 0.065 mg/L de Pb en la parte alta, media y baja de la cuenca, respectivamente. El origen del Pb se asoció principalmente a los basaltos Terciarios y Cuatemarios que constituyen el basamento geológico de la cuenca y su disolución se ve favorecida por la baja concentración de las aguas. Esta condición y la extendida fabricación de vajillas vitrificadas que se practica en los pueblos indígenas de la zona podrían estar causando problemas sanitarios en los habitantes de la zona.

###### 2.1.2. ARSÉNICO Y AGUAS SUBTERRÁNEAS EN ASIA, Publicado por José Aguado Alonso el 22 mayo, 2009.

En el Himalaya nacen grandes sistemas fluviales como el Mekong, el Ganges-Brahmaputra, Irrawaddy y Red. Una rápida aparición de casos de cáncer en el delta del Ganges-Brahmaputra (Bangladesh) alertó a los epidemiólogos por primera vez en 1980. Esta epidemia se relacionó con el aumento del uso de pozos

para abastecimiento de agua potable. La explicación que se dio se basaba en que el agua de los ríos se infiltraba en el suelo, llegando hasta las aguas subterráneas y acuíferos que los habitantes extraen mediante pozos para el abastecimiento de agua potable. Así fue cómo se descubrió que sedimentos de origen natural con contenido en arsénico se diluyen en los ríos que fluyen hasta áreas densamente pobladas.

**Figura N° 01: Acuíferos de aguas subterráneas con alto contenido de arsénico en Asia**



■ Acuíferos de aguas subterráneas con alto contenido de arsénico  
 □ Acuíferos con algunas fuentes de aguas subterráneas con alto contenido de arsénico

Fuente: [Mapa: BGS/Banco Mundial]

Desde comienzos del decenio de 1990 se ha reconocido la contaminación de aguas subterráneas por arsénico como un problema de salud pública en Bangladesh, China y la India , a últimas fechas en Camboya, Irán, la República Democrática Popular Lao, Myanmar, Nepal, Pakistán y Viet Nam. Estudios realizados en la India señalan que las aguas subterráneas de una gran parte de la llanura del sistema fluvial Ganges-Meghna-Brahmaputra, que abarca todo el territorio de Bangladesh y gran parte de la India, alcanzan niveles considerables

de contaminación por arsénico, que ponen en peligro a unos 500 millones de personas.

### **2.1.3. CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA ORIGINADA POR RESIDUOS SÓLIDOS DEL TIRADERO MUNICIPAL DE LINARES 2007**

N.L .Héctor de León Gómez, Liliana Gpe. Lizárraga Mendiola y Francisco Medina Barrera Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL

El análisis de metales pesados (Ni, **Cr**, Ag, **Pb**, Ar, Hg, Se, **Cd** y Ba) que se realizaron a través de Espectrometría de Absorción Atómica de los pozos aledaños, indicaron presencia de Bario, Arsénico, Selenio y Mercurio por arriba de los valores establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-001- ECOL-1996.

### **2.1.4. CONTAMINACIÓN POR ARSÉNICO EN AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA PROVINCIA DE VALLADOLID. 2006**

C. Calvo Revuelta; J. Álvarez-Benedí; M. Andrade Benítez, P. Marinero Diez; S. Bolado Rodríguez.

La concentración media fue de 38,5 µg/L (n=63). El 88 % de los puntos muestreados presentaron concentraciones de As superiores a 10 µg/L, valor recomendado por la OMS para aguas potables, y el 32 % presenta valores superiores a 50 µg/L. Algunos puntos presentan concentraciones superiores a 100 µg/L. La concentración media fue de 38,5 µg/L (n=63). El 88 % de los puntos muestreados presentaron concentraciones de As superiores a 10 µg/L, valor recomendado por la OMS para aguas potables, y el 32 % presenta valores superiores a 50 µg/L. Algunos puntos presentan concentraciones Superiores a 100 µg/L.

### **2.1.5. DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS TRAZA EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DEL PARTIDO DE ESCOBAR, BUENOS AIRES, ARGENTINA. Adrián Silva Busso & Jorge Santa Cruz. junio 2005**

Los metales pesados que en la Sección Epiparaneana presentaron mayor concentración y persistencia en el área estudiada fueron el Cr (entre 0.6 a 50 mg/L) y el Cd (entre 3 a 18 mg/L). El As presentó valores de entre 0.002 y 0.41 mg/L.



**2.1.6. ESTUDIOS DE LOS NIVELES DE PLOMO, CADMIO, CINC Y ARSÉNICO, EN AGUAS DE LA PROVINCIA DE SALAMANCA.** Blanco Hernández, Ángel Luis; Alonso Gutiérrez Dionisio- 1998.

Se estudiaron aguas procedentes de redes de abastecimiento, fuentes, manantiales, pozos, riveras y lagunas de la provincia de salamanca, en sus resultados obtuvieron que un 56% de las muestras analizadas superen las concentraciones máximas admisibles de cadmio, plomo y arsénico. El trabajo se llevó a cabo en el departamento de medicina de la facultad de medicina y en el departamento de química analítica, nutrición y bromatología de la facultad de ciencias químicas de la Universidad de Salamanca.

**2.1.7. SCIENCE ADVISORY BORRAD-SAB DE EEUA,** (Comité Asesor de Ciencias de los EE.UU).reporta los estudios realizados en:

**INDIA** Los primeros casos de lesiones cutáneas inducidas por el arsénico se identificaron en 1983 en pacientes de Bengala Occidental; en 1987 se identificaron varios casos en pacientes del vecino Bangladesh. Entre las lesiones características figuran cambios de pigmentación de la piel, principalmente de la parte superior del tórax y de los brazos y piernas, y queratosis de las palmas de las manos y las plantas de los pies. Finalmente, con apoyo de la OMS, se analizaron las fuentes de agua utilizadas por los pacientes; la presencia de elevadas concentraciones de arsénico en el agua de bebida permitió confirmar el diagnóstico de morbilidad por arsénico.

**ARGENTINA** la presencia de arsénico en el agua es de origen natural; las aguas subterráneas en las áreas afectadas presentan concentraciones de arsénico variables, que van de valores menores que 0,10 mg/L hasta valores mayores de 1 mg/L. La fuente de arsénico en las napas freáticas de la región central y norte del territorio argentino es de origen volcánico y en menor importancia la contaminación procede de la actividad agrícola.

Se estima que la población expuesta al arsénico está en un rango entre 0,002 mg/L y 2,9 mg/L. Las provincias más afectadas son Salta, La Pampa, Córdoba, San Luis, Santa Fe, Buenos Aires, Santiago del Estero, Chaco y Tucumán.

En la localidad de Mili, en 1997 se analizaron 71 muestras de agua subterránea y 52% presentaron altos valores de arsénico que alcanzó el valor máximo de 2,4 mg/L.

El origen del arsénico en las aguas subterráneas de la Argentina es atribuido a la actividad volcánica ocurrida en los Andes durante el Cuaternario. Esa actividad fue muy intensa en el Altiplano y a ella se deberían las altas concentraciones de arsénico que poseen los ríos Rosario, Pastos Chicos, Chorrillos (3,5 mg/L) y San Antonio (0,7 mg/L) cercanos a San Antonio de los Cobres, Salta; en el río Jáchal, San Juan (0,10 a 0,15 mg/L) y en San Antonio (0,15 a 0,8 mg/L).

**CHILE** en 1998 se hizo un estudio de análisis de riesgo relacionado con el arsénico, requerido en la regulación ambiental de tóxicos.

El proyecto consistió en el desarrollo de la línea base de agua, alimentos y aire. El muestreo para el agua y alimentos se llevó a cabo en todo el país y el muestreo de aire en la zona norte y central y estos fueron relacionados con la información de línea base nacional sobre ingesta e inhalación.

Los resultados indicaron que en la zona norte el mayor aporte de arsénico a la exposición total proviene del agua potable (41,7% a 85,3%), lo que también sucede en Santiago y Rancagua (72,7% y 69,3%). En el sur, la dieta adquiere mayor importancia y en general la contribución del aire es de alrededor de 1%, con excepción de Copiapó donde es de 12,2%. En el norte se produce una mortalidad mayor por cánceres de pulmón, piel y vejiga. El estudio demuestra que los excesos de muertes en la zona norte se atribuyen en gran parte a la exposición al arsénico. Se reportaron riesgos relativos para diversos cánceres (vejiga urinaria, pulmón, hígado, riñón, laringe), enfermedades cardíacas, isquemias, enfermedades respiratorias crónicas y dermatosis arsenical crónica.

**ESTADOS UNIDOS** Más de 350000 personas beben agua cuyo contenido es mayor que 0,5 mg/L de arsénico, y más de 2,5 millones de personas están siendo abastecidas con agua con tenores de arsénico mayores a 0,025 mg/L.

En Estados Unidos, el Máximo Nivel de Contaminante (MCL) permitido para Arsénico en agua de bebida es de 50 mg/L establecido por el Servicio Público de Salud, desde 1942. En Febrero de 1995 la Oficina de Agua de la USEPA propuso

la revisión del MCL para arsénico y mediante el Acta de Agua segura para la salud de 1996, se desarrolla una estrategia de investigación con el fin de reducir las incertidumbres asociadas a la valoración de los riesgos, posponiendo la revisión del MCL para enero del 2000, los valores propuestos que se están evaluando son de 2,5, 10 y 20  $\mu\text{g/L}$  y la reglamentación final se dio en enero del 2001 con un valor de 0,01 mg As/L..

En el agua de pozo de muchos sitios de los Estados Unidos se han encontrado concentraciones muy altas de dicho elemento (mayores de 0,05 mg/L). Cavagnaro cita una gran cantidad de casos con concentraciones de alrededor de 0,3 mg/L, mucho mayores que las permitidas.

## **2.2. ANTECEDENTES NACIONALES**

### **2.2.1. DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO, POR ABSORCIÓN ATÓMICA, EN AGUA DE CONSUMO HUMANO PROVENIENTE DE SEDAPAL, DE CISTERNA Y DE POZO DEL DISTRITO DE PUENTE PIEDRA.** Edwin Robert Flores Espinoza, Javier Eduardo Pérez Bobadilla Lima-Perú 2009.

En el distrito de Puente Piedra se evaluó el grado de contaminación de arsénico, especialmente por tratarse de un distrito con escaso control sanitario sobre la calidad de agua de consumo humano. Para llevar a cabo este estudio se tomaron 38 muestras de agua de consumo humano, 13 provenían de SEDAPAL, 13 de agua de cisterna y 12 de agua de pozo, se usó el método espectrofotométrico de absorción atómica con horno de grafito. Se encontró que la concentración promedio de arsénico del total de muestras provenientes de SEDAPAL fue de 9.13  $\mu\text{g As/L}$  y el total de muestras provenientes de cisterna fue de 5.04  $\mu\text{g As/L}$ , los cuales no exceden la concentración máxima permisible dada por la Norma Técnica Peruana 214.003.87 (50  $\mu\text{g As/L}$ ) y la Organización Mundial de la Salud (10 $\mu\text{g As/L}$ ).

### **2.2.2. CUANTIFICACIÓN ESPECTROFOTOMÉTRICO DE ARSÉNICO EN AGUAS DE CONSUMO HUMANO EN LA VERTIENTE DEL RIO RÍMAC.**

Infante L., Palomino S. Lima. 1994.

En 1994 se hizo un estudio sobre la concentración de arsénico en la vertiente del río Rímac y se analizaron 53 muestras de agua potable, de río, pozo y

manantiales; se encontró que el 84,9% de las muestras sobrepasaban el límite recomendado por la OMS. Sin embargo, no se han registrado casos de envenenamiento con arsénico.

### **2.2.3. ANÁLISIS QUÍMICO TOXICOLÓGICO Y DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS DE CONSUMO DIRECTO EN LA PROVINCIA DE HUAYTARÁ DPTO. HUANCVELICA.** Flores Y. Lima. 1999.

En 1999 se hizo otro estudio en las aguas de consumo de la provincia de Huaytará, Huancavelica, y de las 31 muestras analizadas se obtuvo un promedio de 0,0246 mg/L de arsénico. La concentración más alta se registró en Pachac, probablemente debido a un establo donde se almacena abono y plaguicidas arsenicales.

### **2.2.4. ARSÉNICO EN AGUA DE BEBIDA DE AMÉRICA LATINA Y SU EFECTO EN SALUD PÚBLICA.** Castro de Esparza M. 2004.

En el valle del río Locumba, en el año 2002, se hizo una evaluación que presentó niveles de arsénico entre 0,4 a 0,2 mg/L. La población de este valle consume esta agua desde mucho tiempo atrás sin que se reporten de casos de arsenicismo. En la localidad de Puno se han reportado niveles de arsénico en pozos recientemente instalados (hasta 0,18 mg/L) y se va a hacer un estudio de evaluación de alternativas para la remoción de arsénico.

### **2.2.5. EVALUACIÓN QUÍMICO TOXICOLÓGICO DE: ARSÉNICO (AS), CADMIO (CD), MERCURIO (HG) Y PLOMO (PB) EN LAS AGUAS DE RIO MALA.** Sarmiento M. Lima. 2004.

En el 2004 se realizó un estudio sobre el grado de contaminación de arsénico y otros metales en el río Mala. Este río es una cuenca altamente aprovechable para la agricultura y el consumo de la población de Mala. Se encontraron dos puntos, el Puente Mala (0,226 mg As/L) y Salitre (0,276 mg As/L), en el que las concentraciones de arsénico eran superiores a los límites dados para las aguas de tipo III según la Ley General de Aguas.

## **2.2.6. CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN LIMA METROPOLITANA, METALES PESADOS.** DIGESA. Lima. 2006.

En un monitoreo de metales pesados, entre los cuales se encontraba el arsénico, realizado por DIGESA en el año 2005 en los meses de mayo y diciembre, en un total de 85 muestras de todo Lima Metropolitana se encontraron concentraciones de arsénico (mg/L) por debajo del límite máximo permisible (0,05 mg As/L) del Reglamento de calidad de agua vigente.

## **2.3. MARCO TEÓRICO**

### **2.3.1. UBICACIÓN - PROVINCIA DE ANTA**

La Provincia de Anta pertenece al departamento de Cusco. Su capital provincial se encuentra a tan solo 25 kilómetros y al noroeste de la ciudad de Cusco. Geográficamente está ubicada entre las coordenadas:

Latitud Norte:	13° 29' 24"
Longitud Este:	72° 22' 12"
DATUM:	WGS – 84
Zona:	18
Altitud mínima:	1700 msnm
Altitud máxima:	5850 msnm
Superficie:	2414,29 km <sup>2</sup>
Densidad poblacional:	24 hab/km <sup>2</sup>

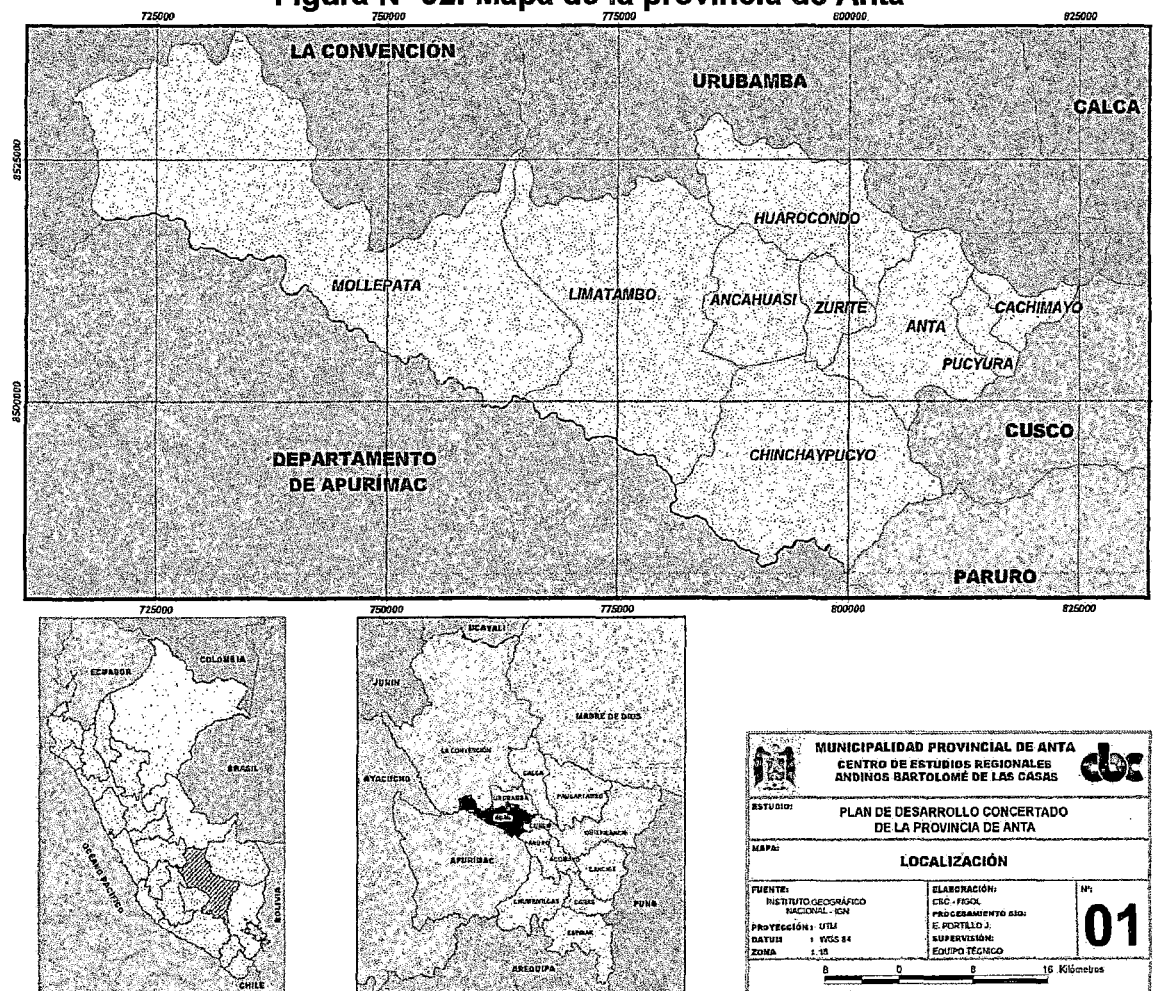
El territorio de la provincia se halla circunscrito dentro de las cuencas del Vilcanota y el Apurímac, y forma zonas de vida de ceja de selva y sierra. Límites Políticos: Por el norte: Con las provincias de La Convención y Urubamba. Por el sur: Con la provincia de Paruro y el departamento de Apurímac. Por el oeste: Con el departamento de Apurímac. Por el este: Con las provincias de Cusco y Urubamba. La provincia se subdivide en 9 distritos, estos, a su vez, se subdividen en comunidades campesinas **(CBC- Anta, 2006)**.

**Tabla N° 01: Distritos de la provincia de Anta**

DISTRITOS	SUPERFICIE KM*	CUENCA	CREACIÓN POLÍTICA		ALTITUD MSNM
			Ley	Fecha	
Anta	202,58	Vilcanota	S.I	S.I	3337
Ancahuasi	123,58	Vilcanota	24549	15/09/86	3435
Cachimayo	43,28	Vilcanota	18276	15/05/70	3442
Chinchaypucyo	390,58	Apurimac	9394	01/10/41	3105
Huarocondo	228,62	Vilcanota	S.I	14/11/1896	3320
Limatambo	512,92	Apurimac	Época indep.	S.I	2554
Mollepata	822,58	Apurimac	6623	29/04/29	2803
Pucyura	37,75	Vilcanota	9618	30/09/42	3351
Zurite	52,33	Vilcanota	S.I	02/01/1857	3391
<b>Total provincial</b>	<b>241,29</b>				

Fuente: INEI - Biblioteca Digital 2005

**Figura N° 02: Mapa de la provincia de Anta**

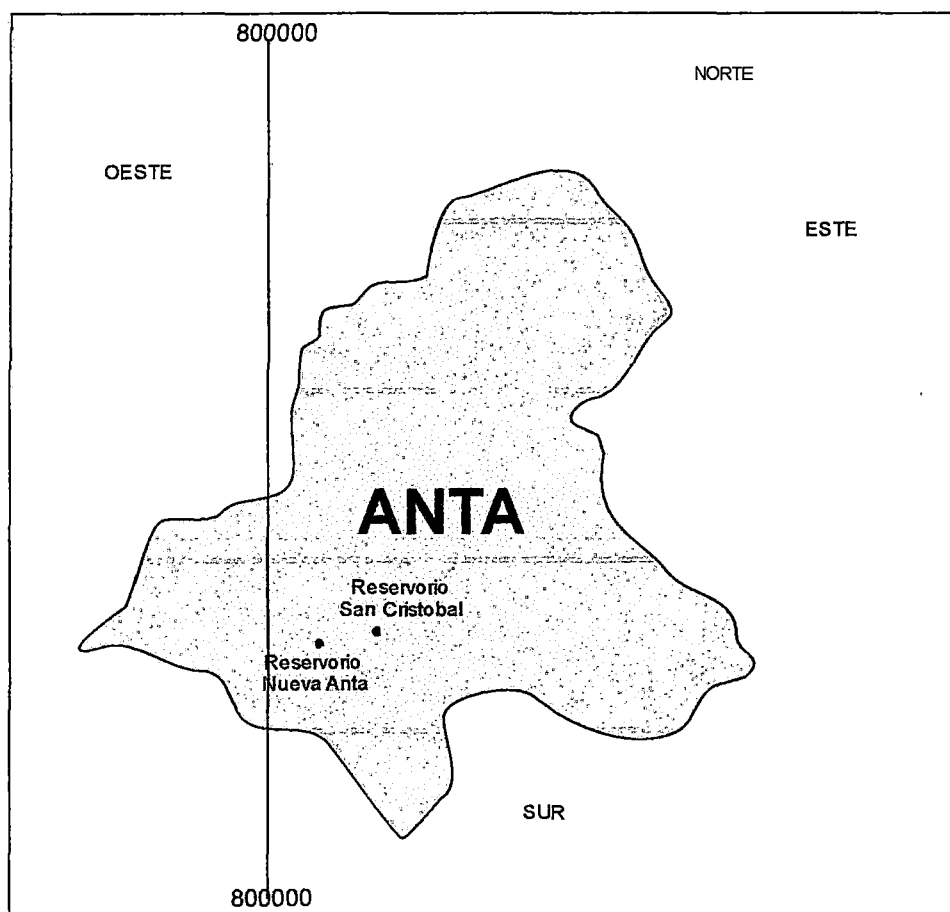


## GEOLOGÍA

El estudio de la geología de la provincia nos permite conocer las características de las unidades rocosas y suelos aflorantes, elementos que contribuirán a determinar las condiciones de formación de los suelos, su composición química, y determinar la permeabilidad de las rocas, relacionada a la capacidad de captación y almacenamiento de agua en el subsuelo. La descripción geológica se complementa con la descripción geomorfológica, la cual es una herramienta fundamental para mostrar las variaciones de las formas y génesis de los suelos, así como los procesos geodinámicas. (CBC- Anta, 2006).

**Figura N° 03: Ubicación del estudio de análisis de agua subterránea**

**MAPA DEL DISTRITO DE ANTA, DONDE SE MUESTRAN  
LOS SITIOS DE ESTUDIO**



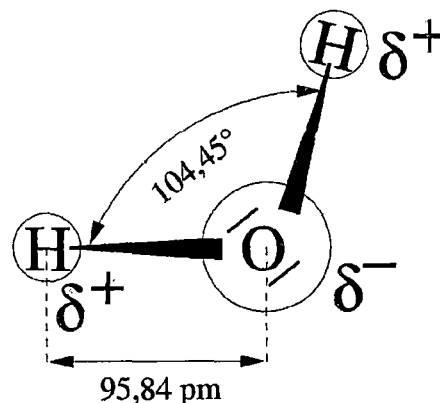
**Fuente: Instituto Geográfico Nacional-IGN**

## 2.4. EL AGUA.

Nombre común que se aplica al estado líquido del compuesto de hidrogeno y oxígeno  $H_2O$ . Los antiguos filósofos consideraban el agua como un elemento básico que representaba todas las sustancias liquidas .los científicos no descartaron esta idea hasta la última mitad del siglo XVIII. En 1781 el químico británico Henry Cavendish sintetizó agua detonando una mezcla de hidrogeno y aire. Sin embargo los resultados de este experimento no fueron interpretados claramente hasta dos años más tarde, cuando el químico francés Antonie Laurent de Lavoisier propuso que el agua no es un elemento sino un compuesto de oxígeno e hidrogeno. En un documento presentado en 1804, el químico francés Joseph Louis Gay Lussac y el naturalista Alexander Von Humboldt demostraron conjuntamente que el agua consistía en dos volúmenes de hidrógeno y uno de oxígeno, tal como se expresa en la formula actual  $H_2O$ . **(WHO 1996)**.

Es una molécula que está constituida por dos átomos de hidrogeno unidos por enlaces covalentes al átomo de oxígeno. El ángulo que subtiende las dos uniones hidrogeno –oxígeno es  $104.5^\circ$

**Figura N° 04: Estructura molecular del agua**



**Fuente: Harper, 2007**

El agua es uno de los compuestos más importantes para los seres humanos y la vida en general. Fijándonos en el aspecto puramente cuantitativo, debemos indicar que el agua cubre aproximadamente el 72 %de la superficie terrestre, y que la materia viva incluye en su composición altísimos porcentajes de esta sustancia ej. Medusa 98%, embriones humanos >95%, hombre adulto 60%. **(Orozco et. al. 2005)**



Una de las características singular del agua es la única sustancia química que en nuestro planeta se presenta en los tres estados de agregación: sólido, líquido y gaseoso, en estado natural. Desde el punto de vista cualitativo, podemos mencionar que todas las formas de vida requieren el ingreso de agua y casi todas las funciones de nutrición y excreción en los seres vivos se basan en el agua. **(Flores et al. 2009)**

#### 2.4.1. IMPORTANCIA BIOMÉDICA

**LA HOMEOSTASIS:** conservación de la composición del medio interno que es esencial para la salud, incluye considerar la distribución del agua en el cuerpo y la preservación del pH así como de concentraciones electrolíticas apropiadas. Dos terceras partes del agua corporal total (55% a 65% del peso corporal en varones y alrededor de 10% menos en mujeres) es líquido intracelular, del líquido extracelular remanente, el plasma sanguíneo constituye cerca del 25%. **(Harper, 2007).**

**Tabla N° 02: Abundancia de agua en nuestro planeta**

Compartimento	Volumen ( $10^3\text{Km}^3$ )	Superficie ( $10^3\text{Km}^2$ )	%del total
Océanos y mares	1.321.250	361.600	97,2
Aguas continentales superficiales	230	1.520	0,017
- lagos de agua dulce	125	850	0,009
- lagos de agua salada	104	700	0,008
- ríos	1,2		0,0001
Casquetes polares y glaciares	29.176	17.870	2,15
Agua subterránea	8.400		0,62
- zona de aireación	67		0,005
- otras hasta 800 m de profundidad	4.170		0,31
- bajo los 800 m	4.170		0,31
Atmósfera	12,9	510.250	0,001
<b>Total (redondeado)</b>	<b>1.360.000</b>		

Fuente: U.S. Geological Survey (1972). En diccionario de la naturaleza .BB (1973)

## **2.5. AGUA SUBTERRÁNEA**

Agua almacenada en las cavidades de las rocas existentes en el subsuelo

Las fuentes principales de agua subterránea son la lluvia y la nieve que se filtran a través del suelo. En segundo lugar se puede citar las aguas que se filtran hacia el subsuelo, procedentes de ríos y lagos situados sobre materiales más o menos porosos. Durante el proceso de filtración las aguas van recogiendo sustancias disueltas o en suspensión dependiendo de la naturaleza de los materiales que atraviesan las aguas, materiales filtrantes.

Se estudian fundamentalmente dos propiedades importantes relacionadas con todo es proceso de filtración: POROSIDAD y PERMEABILIDAD, ambas influyen de forma decisiva tanto en la cantidad como en la calidad de las aguas subterráneas. (Leet- Judson, 2008).

### **2.5.1. POROSIDAD**

Cuando las rocas y sedimentos que constituyen los suelos son muy porosos, es porque existen grandes y muy numerosos espacios entre las partículas que las componen.

Las rocas consolidadas son, por lo general, menos porosas que los materiales no consolidados, aunque, si se encuentran fracturadas, permiten el paso de fases fluidas: líquidos y gases. (Leet- Judson, 2008).

### **2.5.2. PERMEABILIDAD**

La permeabilidad es la capacidad que tiene un material para permitir el paso de fluidos a través de él. Esta propiedad depende principalmente de tres factores que son la porosidad, el tamaño de grano y la naturaleza sus partículas. El limo y la arcilla son materiales muy porosos, sin embargo son poco permeables debido al pequeño tamaño de sus partículas y a su gran capacidad de retención de agua. Con las arenas ocurre lo contrario, aunque son menos porosas, sus partículas son de mayor tamaño y tienen menor capacidad de retención de agua, por ello son unos materiales muy permeables. También son permeables las rocas consolidadas que tengan grietas y fracturas, sobre todo si éstas se encuentran interconectadas, pues a su través puede haber una buena circulación del agua.

De todo lo dicho anteriormente se deduce que un acuífero es un conjunto de zonas permeables que permiten la circulación de agua (aqua-fero = transportador de agua). Los materiales que encontramos en un acuífero son gravas y arenas de grano redondeado y homogéneo. También constituyen acuíferos las rocas carbonatadas, calizas y dolomías, que se van disolviendo por la acción de las aguas naturales lo cual da lugar a la formación de grandes huecos o cavidades en las que se almacena el agua. Se denominan acuitardos a los materiales que impiden al movimiento de agua, como las rocas ígneas y metamórficas no fracturadas. (Leet- Judson, 2008).

### **2.5.3. MANANTIALES Y POZOS**

Los acuíferos tienden a descargarse de forma natural, cuando el nivel freático intersecta una zona superficial y, en consecuencia, pueden aparecer manantiales. Podemos definir un manantial como el lugar donde el agua subterránea fluye o resurge del suelo. La mayoría de los manantiales se encuentran en las laderas de los valles, es decir, en los lugares donde se produce la intersección entre la superficie y el nivel freático.

También se puede provocar la descarga artificial de los acuíferos, para ello se realizan perforaciones o pozos a través de la zona de saturación, aunque en algunos casos es necesaria la utilización de bombas que acerquen el agua a la superficie.

Finalmente, cabe mencionar el hecho de que el abuso del riego con aguas subterráneas puede modificar, a medio y largo plazo, la salinidad de los suelos, ya que se aportan componentes indeseables, como el sodio que puede disminuir la productividad de los terrenos llegando a provocar la desertización. (Leet- Judson, 2008).

### **2.6. TRANSPORTE DE CONTAMINANTES EN AGUAS SUBTERRÁNEAS**

Existen principalmente dos tipos de procesos físicos por los cuales los elementos químicos son transportados mediante fluidos en el medio ambiente: advección y difusión (Oyarzun et al. 2006).

### **2.6.1. ADVECCIÓN**

Este proceso se debe al movimiento del fluido, ya sea aire o agua (convección, término similar, normalmente se asocia al movimiento vertical de advección debido a diferencias de densidad). Luego un elemento químico presente en el aire o en el agua será pasivamente llevado por este movimiento advectivo de masas.

El movimiento advectivo es descrito matemáticamente por la dirección y la magnitud de su velocidad, dado que a pesar de la ocurrencia de dispersión, el centro de masa del elemento químico que es transportado por advección, se mueve a la velocidad promedio del fluido, siempre y cuando no se produzca adsorción y retardo.

La tasa a la cual un elemento químico es transportado por unidad de área (perpendicular a la dirección del movimiento) se expresa generalmente en términos de densidad de flujo ( $J$ ) de acuerdo a la siguiente expresión:

$J = C * v$ , donde  $J$ : densidad de flujo,  $C$ : concentración del químico y  $v$ : es la velocidad del fluido. (Doménico, 1998).

### **2.6.2. DIFUSIÓN (TRANSPORTE DIFUSIVO O “FICKIANO”)**

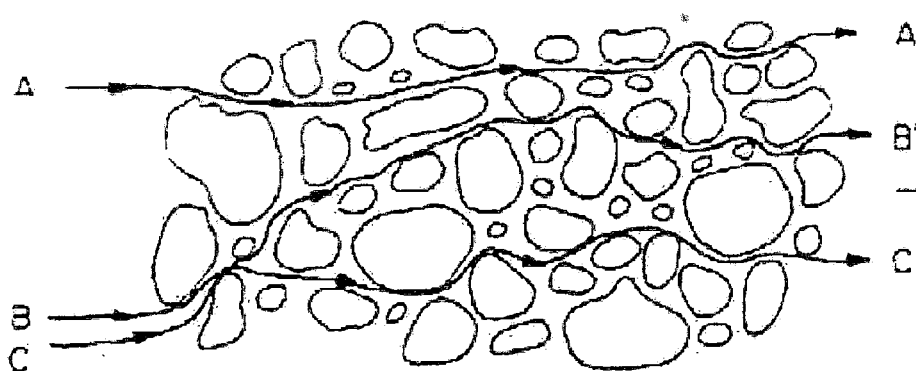
En este segundo tipo de proceso, el elemento químico se mueve desde un lugar donde su concentración es relativamente alta hacia otro donde es menor, por efecto de un movimiento aleatorio de las moléculas (difusión molecular), a un movimiento aleatorio del aire o agua que acarrea al elemento químico (difusión turbulenta) o por una combinación de ambos.

La primera ley de Fick es usada para describir la densidad de flujo debido a difusión turbulenta (y también para difusión molecular), y se expresa, para una dimensión, como  $J = -D (dC / dx)$ , donde  $J$ : densidad de flujo,  $D$ : coeficiente de transporte de masa de Fick,  $C$ : concentración del elemento o compuesto químico y  $X$ : distancia sobre la cual se consideran cambios en la concentración.

La primera ley de Fick puede ser también expresada en 3 dimensiones usando notación vectorial en la forma  $\vec{J} = -D\nabla C$ , donde  $\nabla$  es el operador gradiente y  $D$  es similar en todas las direcciones

A veces el movimiento del fluido no es enteramente aleatorio, si no que posee un patrón discernible pero complejo de caracterizar. Además, la velocidad de movimiento del fluido es relativamente baja, por lo que no se produce un efecto de remolino que caracteriza la difusión turbulenta. En este caso, típico de las aguas subterráneas, el agua sigue un camino tortuoso alrededor de las partículas del suelo en la medida que se traslada desde un punto a otro, como se esquematiza en la figura 05. (Doménico, 1998).

**Figura N° 05: Transporte por dispersión ("Fickiano")**



Fuente: Oyarzun, 2006.

Es así como, la tortuosidad provoca una mezcla y en definitiva el transporte del químico desde zonas de alta concentración a zonas de menor concentración.

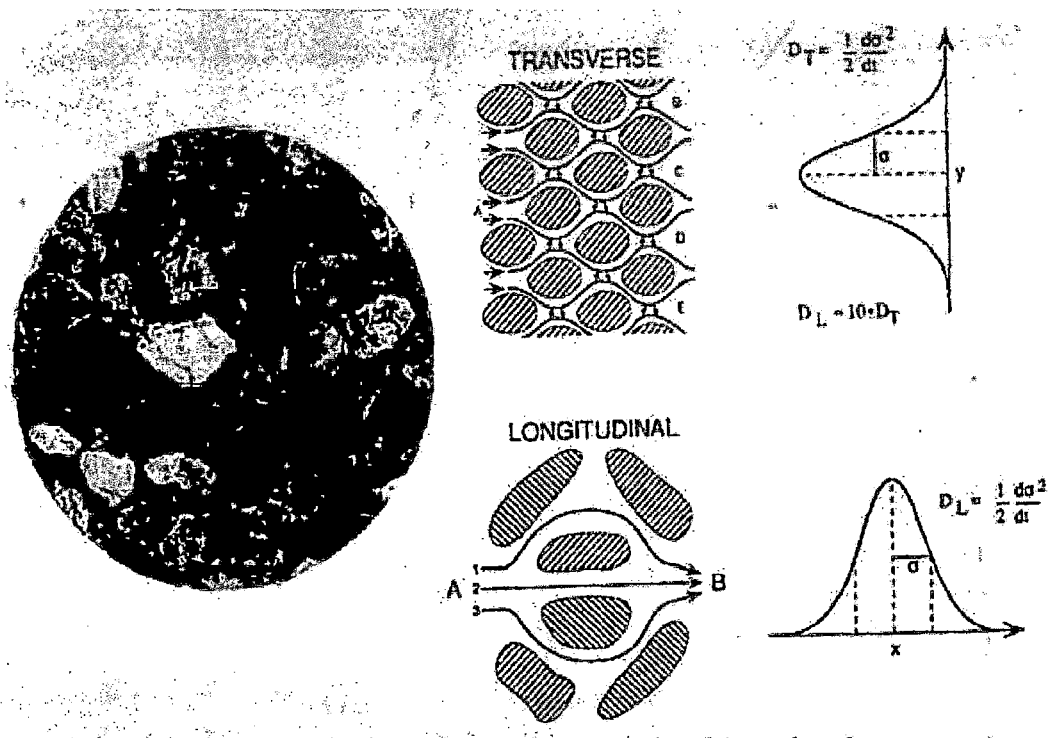
Este proceso de transporte se denomina dispersión, y a pesar de la diferente causa que origina la mezcla, el transporte neto de masa es análogo a aquel causado por difusión turbulenta, por lo que es tratado comúnmente como un proceso "Fickiano" (expresado por la primera ley de Fick). La diferencia sólo es que  $D$  se conoce ahora como coeficiente de dispersión mecánica. En una dimensión, este coeficiente puede ser determinado como:

$D = \alpha \cdot v$ , donde  $\alpha$ : dispersividad del acuífero, aproximadamente igual al diámetro medio de las partículas que conforman el acuífero, y  $v$ : velocidad del flujo.

dado que el agua (fluido) puede moverse libremente alrededor de los granos o partículas del suelo, se reconocen dos tipos de dispersión, representadas en la

figura 2: longitudinal ( $DL$ ), que se produce a lo largo de las líneas de flujo, y transversal ( $DT$ ), causada por el paso hacia líneas de flujo adyacentes como consecuencia de difusión. (Doménico, 1998).

**Figura N° 06: Dispersión longitudinal y transversal vistas a escala microscópica.**



Fuente: Oyarzun, 2006.

Tal como se aprecia en la figura, el fenómeno de dispersión posee una naturaleza probabilística, es decir, la "elección" del fluido de ir hacia la izquierda o derecha cuando se encuentra con una partícula de suelo conlleva automáticamente a una interpretación probabilística del proceso (el flujo es desviado tantas veces que se obtiene una distribución normal o gaussiana de las líneas de flujo). Esto se ve reflejado en las ecuaciones que definen el transporte de contaminantes en aguas subterráneas y que serán analizadas a continuación. En un acuífero anisotrópico, los componentes de  $D$  presentan una relación diferente con respecto a la velocidad del agua dependiendo de la dirección del flujo y de los ejes de

anisotropía. Sin embargo, para flujos en 2 ó 3 dimensiones, la dispersión longitudinal (en la dirección del flujo) suele ser mucho mayor que la dispersión transversal (perpendicular al flujo). (Doménico, 1998).

## 2.7. MARCO LEGAL

Se refiere a un conjunto de normas relacionadas con el uso de los recursos naturales, el marco institucional y las responsabilidades de la Gestión Empresarial bajo el contexto de protección, control ambiental y desarrollo sostenible que son aplicables al proyecto.

Para el desarrollo de la investigación relacionada a la cuantificación de metales pesados en aguas subterráneas en las comunidades del distrito de ANTA, se ha tenido en cuenta una serie de normas y leyes dictadas por los diferentes organismos públicos vinculados a la conservación de la fauna, flora y de los recursos naturales en general. Entre estas normas la de mayor importancia son las referidas a la conservación del agua, suelo y aire para hacer frente a los problemas durante la ejecución de la tesis. (Ver Anexo N° 7).

## 2.8. GENERALIDADES DEL ARSÉNICO

El arsénico, es un elemento químico de la tabla periódica cuyo símbolo es As, su número atómico es 33. En la tabla periódica de los elementos se encuentra en el quinto grupo principal. El arsénico se presenta raramente sólido, principalmente en forma de sulfuros. Pertenece a los metaloides, ya que muestra propiedades intermedias entre los metales y los no metales. El arsénico es un elemento distribuido extensamente por toda la corteza terrestre, en su mayoría en forma de sulfuro de arsénico o de arseniatos y arseniuros metálicos. Los compuestos de arsénico se utilizan comercialmente y en la industria, principalmente como agentes de aleación en la fabricación de transistores, láseres y semiconductores. La principal fuente de arsénico del agua de consumo es la disolución de minerales y menas de origen natural. Excepto en las personas expuestas al arsénico por motivos laborales, la vía de exposición más importante es la vía oral, por el consumo de alimentos y bebidas. En ciertas regiones, los afluentes de agua de consumo, particularmente las aguas subterráneas, pueden contener

concentraciones altas de arsénico. En algunas zonas, el arsénico del agua de consumo afecta significativamente a la salud, y el arsénico se considera una sustancia a la que debe darse una prioridad alta en el análisis sistemático de fuentes de agua de consumo. Con frecuencia, su concentración está estrechamente relacionada con la profundidad del pozo. **(IPCS, 2001; OMS, 2003a).**

### **2.8.1. ARSÉNICO EN AGUA**

El arsénico en aguas naturales frescas es muy variable y probablemente depende de las formas de arsénico en el suelo local. Aunque son posibles combinaciones de todas formas, se puede suponer, razonablemente, que en el agua, la forma inorgánica pentavalente es predominante ( $\text{H}_3\text{AsO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{AsO}_4^-$ ,  $\text{HAsO}_4^{2-}$ ,  $\text{AsO}_4^{3-}$ ). Las condiciones que favorecen la oxidación química y biológica, favorecen el cambio a especies pentavalentes y a la inversa, aquellas que favorecen la reducción cambiarán el equilibrio al estado trivalente. Es decir, en agua saturada de aire la principal forma de arsénico serían los compuestos pentavalentes, pero se ha demostrado que bajo estas condiciones también existen compuestos trivalentes. Las formas iónicas predominantes son, además, dependientes del pH y están sujetos a las características de solubilidad de los compuestos que pueden existir en una circunstancia particular. Por ejemplo, varios compuestos orgánicos arsénico-metilados, naturalmente presentes en el ambiente como consecuencia de la actividad biológica, forma sales de metales alcalinos muy solubles. Además los microorganismos, plantas y animales pueden convertir los compuestos de arsénico inorgánico en compuestos orgánicos (comprometiendo átomos de carbono e hidrógeno). Por otro lado, los arsenatos de metales alcalinotérreos son algo insolubles y tienden a sedimentar. En general, las especies orgánicas arsénico-metilados estarán presentes en cantidades más bajas que las inorgánicas arsenito ( $\text{As}^{+3}$ ) y arsenato ( $\text{As}^{+5}$ ). También hay factores biológicos y químicos en la presencia del arsénico en aguas, que inducen al cambio a especies pentavalentes, y a la inversa, aquellas que favorecen la reducción cambiarán el equilibrio al estado trivalente. **(BCAS Newsletter, 1997)**



**Tabla N° 03: Datos Arsénico**

<b>Valor de referencia provisional</b>	0.01mg/l. El valor de referencia se designa como provisional debido a la existencia de incertidumbres científicas.
<b>Presencia</b>	La concentración en aguas naturales son generalmente de 1 a 2 ug/l. aunque pueden ser mayores (hasta 12 mg/l) en zonas con presencia de fuentes naturales de Arsénico.
<b>Método de cálculo del valor de referencia</b>	Sigue habiendo incertidumbre considerable sobre los riesgos reales a concentraciones bajas, y los datos disponibles sobre el modo de acción no proporcionan una base biológica para la extrapolación lineal o no lineal. Dadas las incertidumbres significativas en torno a la evaluación de riesgos relativos a la capacidad cancerígena del arsénico, el límite práctico de cuantificación, del orden de 1-10 ug/l, y las dificultades prácticas para eliminar el arsénico del agua de consumo, se mantiene el valor de referencia de 10 ug/l. El valor de referencia se designa como provisional debido a la existencia de incertidumbres científicas.
<b>Límite de detección</b>	0,1 ug/l mediante ICP/MS; 2 ug/l mediante AAS o FAAS con generación de Hidruros.
<b>Concentración alcanzable mediante tratamiento</b>	Es factible técnicamente reducir la concentración de arsénico hasta 5 ug/l o menos mediante cualquiera de varios métodos de tratamiento posibles; no obstante, es preciso para ello una cuidadosa optimización y control de los procesos, y es más razonable la expectativa de alcanzar 10 ug/l mediante tratamientos convencionales, como la coagulación.
<b>Observaciones adicionales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existe un documento de orientación sobre la gestión del arsénico.</li> <li>• En muchos países, este valor de referencia puede no ser alcanzable. En tales casos, debe ponerse el máximo empeño en mantener las concentraciones en los niveles más bajos que sea posible.</li> </ul>

**Fuente: OMS, 2003a**

- El Arsénico puede ser encontrado en ciertos suelos de forma natural. Cuando el arsénico entra en contacto con el agua subterránea este puede terminar en el agua de nuestro grifo. El arsénico es un metaloide, lo cual básicamente significa que tiene propiedades de metal y no metal. Como compuesto, el arsénico puede ser tóxico, es por eso que es aplicado comúnmente en el veneno de rata (**Gisbert, 2004**).

El arsénico puede terminar en el ambiente a través de la producción industrial de Cobre, Plomo y Zinc, y a través de la aplicación de insecticidas en granjas. Adicionalmente, éste es un ingrediente de preservación de las maderas. La toma de grandes cantidades por largo tiempo en el agua potable que contiene arsénico puede causar problemas en la piel y ciertos cánceres, como el de piel y pulmón. La purificación del agua es importante cuando el arsénico está presente. **(Sánchez G. 1975).**

### **2.8.2. TOXICOCINÉTICA**

**Absorción:** Las vías de absorción con mayor énfasis son: oral, respiratoria y cutánea, por estar ellas más relacionadas a las formas de exposición. Como el arsénico se encuentra en el aire como partícula, la absorción a través de los pulmones implica dos procesos: la deposición de las partículas en la superficie del pulmón, y la absorción del arsénico del material depositado. Los factores que influyen en el grado de absorción de los pulmones son la forma química, tamaño de partícula y la solubilidad. Las partículas de más de 10  $\mu\text{m}$  de diámetro son en su mayoría depositadas en las vías respiratorias altas (nasofaringe), las partículas entre 5 y 10  $\mu\text{m}$  se depositan en la tráquea, y las partículas con un diámetro menor de 2  $\mu\text{m}$  penetran significativamente en los alvéolos **(Pinto & McGill. 1953).**

Los datos en humanos y animales indican que más del 90% de la dosis ingerida de arsénico trivalente o pentavalente disuelto se absorbe en el tracto gastrointestinal. El ácido dimetilarsenico, el ácido monometilarsenico, los compuestos orgánicos de arsénico en pescados y mariscos son absorbidos entre un 75% a 85%. La absorción de formas menos solubles, como por ejemplo el trióxido de arsénico, es mucho menor. **(Ishinishi. 1986; Buchet - Lauwerys 1981).**

**Distribución:** La información sobre la distribución en humanos es principalmente de datos de autopsia. Se distribuye en todos los tejidos del cuerpo, se encuentra en mayor concentración en el hígado y riñón, pero también se

encuentra en músculos, hueso, corazón, pulmones, páncreas, bazo, cerebro, piel, cabellos y uñas. (**Benramdane, Accominotti, Fanton 1999**).

Los datos sobre los efectos de la valencia y nivel de exposición de arsénico en la distribución en los tejidos indican que los niveles de arsénico en los riñones, hígado, bilis, cerebro, huesos, piel y la sangre son de 2 a 25 veces más para las formas trivalentes que para las formas pentavalentes y aumentan en gran medida a dosis más altas. El Arsénico inorgánico atraviesa la barrera placentaria y produce concentraciones importantes en el feto. Altos niveles de arsénico fueron encontrados en hígado, riñón y cerebro en la autopsia de infantes nacidos prematuramente. El arsénico fue detectado en leche materna en dos estudios, en uno de ellos realizado por la OMS, se halló concentraciones de 0.00013 a 0.00082 ppm y en el otro realizado en mujeres andinas expuestas a altas concentraciones en agua de consumo humano se encontró concentraciones de 0.0008 a 0.008 ppm de arsénico El Arsénico inorgánico atraviesa la barrera placentaria y produce concentraciones importantes en el feto. Altos niveles de arsénico fueron encontrados en hígado, riñón y cerebro en la autopsia de infantes nacidos prematuramente. El arsénico fue detectado en leche materna en dos estudios, en uno de ellos realizado por la OMS, se halló concentraciones de 0.00013 a 0.00082 ppm y en el otro realizado en mujeres andinas expuestas a altas concentraciones en agua de consumo humano se encontró concentraciones de 0.0008 a 0.008 ppm de arsénico (**Lugo. 1969, Somogyi. 1993, Concha. 1998.**)

**Metabolismo:** Dos procesos están involucrados en el metabolismo: el primero son las reacciones de oxidación/reducción que convierten el arsenato y el arsenito y el segundo son las reacciones de metilación las cuales convierten el arsenito a monometilarsenato (MMA) y dimetilarsenato (DMA) ambas especies metiladas. De esta manera el cuerpo humano tiene la habilidad de cambiar el arsénico inorgánico a formas orgánicas menos tóxicas (MMA y DMA) y esta es excretada más rápidamente en la orina que las formas inorgánicas. El metabolismo de arsénico en niños es menos eficiente que en los adultos. Es posible que en la exposición de arsénico a largo plazo, la metilación y excreción

sean más eficientes en varios meses de exposición. Se cree que este mecanismo tiene un límite de dosis superior, que cuando se satura, resulta una mayor incidencia de la toxicidad del Arsénico. La reducción de arsenato a arsenito puede ser mediada por glutatión. Estudios in vitro muestran que el glutatión forma complejos con arsenito y arsenato, oxidando al glutatión y reduciendo al arsenato en la reacción glutatión-arsenato. El principal sitio de metilación es el hígado donde este proceso es mediado por enzimas que utilizan a la

S-adenosilmetionina como co-sustrato. **(Menzel, Ross, Oddo et al. 1994).**

El proceso de metilación es considerado como un mecanismo de desintoxicación, ya que las especies metiladas del arsénico son menos tóxicas que el arsénico inorgánico y se logra una menor acumulación de arsénico inorgánico en los tejidos. Este proceso de metilación al ser enzimático podría saturarse con elevadas dosis de arsénico lo que resulta una mayor acumulación de arsénico inorgánico en los tejidos. Sin embargo todavía no hay estudios que avalen eso **(Vahter et al. 1986).**

**Excreción:** La eliminación del Arsénico se da por la orina, las heces, también se excreta en la leche materna, uñas, cabellos y bilis. La proporción relativa de  $As^{+3}$ ,  $As^{+5}$ , MMA y DMA en la orina puede variar dependiendo de la forma administrada, tiempo después de la exposición, vía de exposición y cantidad de dosis. En general el DMA es el principal metabolito, con niveles más bajos de arsénico inorgánico ( $As^{+3}$  y  $As^{+5}$ ) y MMA. En los humanos la proporción relativa usualmente es 40% a 60% de DMA, 20% a 25% de arsénico inorgánico y 15% a 25% de MMA. **(Vahter et al. 1986).**

### **2.8.3. TOXICODINAMIA**

#### **Mecanismo de acción:**

El mecanismo de toxicidad del arsénico es la inhibición de la actividad enzimática, el arsénico trivalente por interacción con grupos sulfhidriilo (-SH) y el pentavalente porque sustituye a fosfatos de las enzimas mitocondriales. Entre los sistemas enzimáticos inhibidos están el dihidrolipoato, un cofactor necesario para que la

piruvato deshidrogenasa haga su efecto en el ciclo de Krebs; y la transformación de la tiamina a acetil-CoA y succinil-CoA. En consecuencia, se inhibe la fosforilación oxidativa, toda la respiración celular y se produce un fallo multiorgánico. El grado de toxicidad varía según el derivado del arsénico en cuestión. La **arsina** es el compuesto más tóxico, letal de forma instantánea a dosis de 250 ppm, o a dosis de 50 ppm en 30 minutos. Le sigue el arsénico trivalente, cuya dosis letal es inferior a 5 miligramos por kilo. El arsénico pentavalente requiere dosis de entre 5 y 50 miligramos por kilo para ser mortal (**Hsueh F. 1997**).

#### **2.8.4. MANIFESTACIONES CLÍNICAS**

En numerosos estudios se ha demostrado que el arsénico produce cáncer en humanos expuestos a la inhalación e ingestión. Es por esta razón que algunos compuestos de arsénico han sido catalogados por instituciones de diversos países, como compuestos cancerígenos. Su presencia en el ambiente es materia de preocupación, acciones de control y prevención. Por ejemplo, la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Agencia de Protección del Ambiente (EPA) de los EE.UU y el departamento de Salud y Servicios (DHHS) de EE.UU. han clasificado a los compuestos inorgánicos de arsénico como compuestos cancerígenos. Se asocia al cáncer de piel como al de la vesícula, riñones y pulmones. El arsénico presente en el agua potable (principalmente inorgánico como arsenatos y en menor intensidad, como arsenitos) fue evaluado por el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer, en Lyon, Francia (IARC), como cancerígeno humano de primer grupo. Esta clasificación se realizó con base en las evidencias suficientes del incremento de riesgo de cáncer en piel, vejiga y pulmón entre individuos expuestos a estos compuestos. La Agencia de Protección Ambiental (USEPA) y el *Integrated Risk Information System* (IRIS), de Estados Unidos, lo reportan como cancerígeno del grupo A, por las mismas razones anteriores y por el aumento de cáncer de piel observado en poblaciones que consumen agua potable con cantidades elevadas de As inorgánico. El arsénico ha sido fuertemente asociado al cáncer de piel y

recientemente asociado a Cáncer de Vejiga, Pulmón, Hígado, Estómago y Riñón. (Piola, Navone, et al. 2005).

### 2.8.5. INTOXICACIÓN AGUDA

- Síntomas gastrointestinales (entre 1 y 12 horas tras el contacto: aliento aliáceo (con olor a ajo), queilitis urente, náuseas y vómitos, odínofagia; dolor en el epigastrio generalmente de tipo cólico; diarrea «riciforme» (heces en forma de arroz), hemorrágica o «coleriforme» (similar a la del cólera); elevación de las transaminasas hepáticas en sangre.
- Síntomas cardiovasculares: hipotensión y shock, secundariamente a la vasodilatación y a la disminución de la función miocárdica; edema agudo de pulmón; arritmias; miocardiopatía congestiva.
- Síntomas cutáneo-mucosos por contacto local: irritación, vesicación, desprendimientos de piel. Por distribución sistémica: exantema, líneas de Mees (que pueden durar semanas a meses).
- Síntomas neurológicos: cefaleas, letargia, convulsiones, coma; polineuropatía sensitiva y motora retardada, por degeneración walleriana reversible; parestesias y disfunciones motoras, a los diez días del contacto.
- Síntomas urinarios: glomerulopatías, tubulopatías.
- Síntomas hematológicos: anemia, leucopenia y trombocitopenia por aplasia medular. (Curtis D. 2001)

## 2.8.6. INTOXICACIÓN CRÓNICA

La intoxicación crónica por arsénico o arsenicosis, produce una afectación multisistémica:

- Síntomas digestivos: náuseas y vómitos, dolores abdominales de tipo cólico, diarreas leves; lesiones degenerativas del hígado, como cirrosis o carcinoma hepático.
- Síntomas cutáneos: eritemas, pápulas, vesículas, úlceras, hiperqueratosis palmoplantar, verrugas, hiperpigmentación (similar a discromía) y epiteliomas. (Curtis D. 2001).

## 2.8.7. TRATAMIENTO DE LA INTOXICACIÓN POR ARSÉNICO.

El antídoto de elección es el Dimercaprol o BAL, que es un quelante del arsénico, con el que produce un compuesto insoluble que se elimina por los riñones. Si los síntomas son leves y las concentraciones séricas y urinarias de arsénico están elevadas, se administrará Dimercaprol a dosis de 2,5-3 mg/kg de peso por vía intramuscular cada 4 horas durante 24 horas, y posteriormente cada 12 horas durante 7-10 días. El tratamiento debe continuar hasta que las cantidades de arsénico en orina de 24 horas sean inferiores a 67 nmol (5ug) diarios. Los efectos secundarios de Dimercaprol consisten en hipertensión arterial, taquicardia, náuseas, vómitos, cefalea, sensación urente en labios (muy característica), irritación de mucosas, convulsiones y coma. El análogo hidrosoluble de Dimercaprol, ácido 2-3 dimercaptosuccínico (DMSA), puede ser más eficaz y es menos tóxico que el dimercaprol; la dosis habitual es de 10 mg/kg de peso por vía oral 3 veces al día durante 5 días, y luego 2 veces al día durante 14 días.

La penicilamina también es útil en la intoxicación aguda y crónica por arsénico. La dosis habitual es de 10 mg/kg de peso al día, divididas en 4 dosis, durante 5 días. Los efectos colaterales de la penicilamina comprenden exantemas, leucopenia, trombocitopenia y nefrotoxicidad. En intoxicaciones agudas la penicilamina se puede asociar al dimercaprol, mientras que en intoxicaciones crónicas se puede emplear exclusivamente la penicilamina.

Ninguno de estos antidotos es útil tras la exposición al gas arsina. En caso de hemólisis masiva está indicada la exanguinotransfusión (18). Si existe insuficiencia renal se puede recurrir a la hemodiálisis (Gisbert, 2004)

## 2.9. GENERALIDADES DEL CROMO

Elemento químico, símbolo Cr, número atómico 24, peso atómico 51.996; metal que es de color blanco plateado, duro y quebradizo. Sin embargo, es relativamente suave y dúctil cuando no está tensionado o cuando está muy puro. Distribuido extensamente en la corteza terrestre. Puede presentar valencias de +2 a +6. Al parecer, los alimentos son en general la fuente principal de ingesta de cromo. (OMS, 2003b)

**Tabla N° 04: Datos Cromo**

<b>Valor de referencia provisional</b>	0,05 mg/l para el cromo total  El valor de referencia se designa como provisional debido a incertidumbres en la base de datos toxicológica.
<b>Presencia</b>	Las concentraciones totales de cromo en el agua de consumo suelen ser inferiores a 2 ug/l, aunque se han descrito concentraciones de hasta 120 ug/l.
<b>Método de cálculo del valor de referencia</b>	No hay estudios de toxicidad adecuados disponibles que permitan determinar una DSEAO. En 1958 se propuso el primer valor de referencia para el cromo hexavalente debido a sus posibles efectos perjudiciales para la salud, pero más tarde se modificó a un valor de referencia para el cromo total por la dificultad de analizar únicamente la forma hexavalente.
<b>Límite de detección</b>	0,05 - 0,2 ug/l para el cromo total mediante AAS
<b>Concentración alcanzable mediante tratamiento</b>	Concentración debería poderse reducir hasta 0,015 mg/l mediante coagulación.

Fuente: OMS, 2003b



### 2.9.1. EFECTOS SOBRE LA SALUD

El  $\text{Cr}^{3+}$  es un nutriente esencial, necesario para el metabolismo de los azúcares y para muchas reacciones enzimáticas. La (OMS, 2003) recomienda una ingesta diaria de 50 a 200 microgramos de cromo para una persona adulta. El cromo es un ingrediente muy común en muchos suplementos vitamínicos y minerales. Si bien la forma trivalente presenta muy baja toxicidad, la EPA a nivel nacional y la EPA de California han determinado que el cromo hexavalente es un metal cancerígeno. Debido a las propiedades carcinógenas de algunos compuestos de cromo se ha establecido que el agua potable no debe contener más de 50 microgramos de cromo por litro. La EPA ha propuesto incrementar dicho tope a 100 microgramos por litro, pero hasta ahora no se ha tomado ninguna medida al respecto. Los efectos potenciales del cromo sobre la salud dependen de una diversidad de factores, tales como la forma química en que se presente, la cantidad, el tiempo de exposición y la forma de incorporación del cromo al organismo (ingestión, inhalación o absorción a través de la piel). Las reacciones y sus efectos potenciales dependen en gran medida de factores tales como la edad, el sexo, el peso corporal y el estado de salud del individuo. **(Córdova S. 2000; Gisbert, 2004).**

Debido a su insolubilidad, el cromo metálico no es tóxico en el agua. Los diversos compuestos del cromo hexavalente representan la mayor amenaza, especialmente debido a sus efectos genéticos. Los compuestos del cromo (VI) actúan en casi todos los sistemas de ensayo diseñados para determinar sus efectos mutagénicos. El hecho comprobado de que atraviesa la placenta significa un alto riesgo para los embriones y fetos. El efecto carcinógeno de los compuestos del cromo (VI) no sólo ha sido demostrado experimentalmente con animales, sino también ha sido confirmado por los resultados de estudios epidemiológicos realizados con grupos humanos expuestos a esta sustancia en su lugar de trabajo. Se considera que el período de latencia correspondiente oscila entre 10 y 27 años. Contrariamente a lo que ocurre con los compuestos del cromo (VI), no fue posible demostrar en forma concluyente el efecto carcinógeno de los compuestos del

cromo (III). Las intoxicaciones agudas con compuestos del cromo (VI) se manifiestan, por ejemplo, como lesiones renales. Las intoxicaciones crónicas pueden producir mutaciones en el tracto gastrointestinal así como acumulaciones en el hígado, en el riñón, en la glándula tiroidea y en la médula ósea. El índice de eliminación es lento. **(Córdova S. 2000; Gisbert, 2004).**

Se sabe que el  $\text{Cr}^{+6}$  es cancerígeno por inhalación. Los riesgos potenciales del  $\text{Cr}^{+6}$  en la actividad industrial han sido ampliamente documentados. Muchos estudios han revelado altas tasas de cáncer de pulmón en operarios expuestos a la inhalación del mismo, así como un incremento de la tasa de cáncer del tracto gastrointestinal. Los análisis de laboratorio también han arrojado evidencias contundentes de que el  $\text{Cr}^{+6}$  puede dañar el ADN e inducir mutaciones genéticas. En cuanto al cáncer de tracto gastrointestinal, hay una evidencia sólo limitada proveniente de un solo experimento realizado con ratones de que pueda ser causado por la ingestión de altas dosis de  $\text{Cr}^{+6}$ . Por otra parte, todavía no se sabe con certeza si el  $\text{Cr}^{+6}$  es carcinógeno a los niveles en los que se halla en el agua potable. Hasta el momento, la evidencia científica indica que el  $\text{Cr}^{+6}$  es probablemente mucho más tóxico por inhalación que por ingestión.

Si bien se ha fijado el contenido máximo de cromo en el agua corriente en 50ug/l, no se han identificado los efectos a largo plazo sobre la salud por el consumo de agua con un contenido de cromo que supera dicho valor. **(Córdova S. 2000; Gisbert, 2004).**

### **2.9.2. TOXICOCINÉTICA**

El Cr se absorbe por vía oral, respiratoria o dérmica. Se distribuye a nivel de médula ósea, pulmones, ganglios linfáticos, bazo, riñón, e hígado. La absorción del  $\text{Cr}^{+3}$  es menor que la del  $\text{Cr}^{+6}$ . El  $\text{Cr}^{+3}$  no atraviesa las membranas celulares, uniéndose directamente a la transferrina. El  $\text{Cr}^{+6}$  es rápidamente tomado por los eritrocitos e integrado a otras células por el sistema transportador de sulfatos.

Metabolismo: El  $\text{Cr}^{+6}$  se reduce rápidamente a  $\text{Cr}^{+3}$  intracelularmente a nivel de mitocondrias y el núcleo; a nivel del citoplasma por reductores intracelulares como

el ácido ascórbico, el glutatión, flavo enzimas y riboflavinas. La reducción intracelular genera intermediarios reactivos como  $\text{Cr}^{+5}$ ,  $\text{Cr}^{+4}$  y  $\text{Cr}^{+3}$ , así como radicales libres hidroxilo y oxígeno. Estas formas reactivas del Cr son susceptibles de alterar el ADN.

Eliminación: Por vía renal el 60 %, en menor grado por heces (vía biliar), cabello, uñas, leche y sudor; en la orina encontramos fundamentalmente  $\text{Cr}^{+3}$  formando un complejo con el glutatión, pues el  $\text{Cr}^{+6}$  es reducido en gran parte a  $\text{Cr}^{+3}$  (Gisbert, 2004).

### 2.9.3. TOXICODINAMIA

#### Mecanismo de acción:

La acción tóxica del cromo se produce por acción cáustica directa, interferencia con el metabolismo o duplicación de los ácidos nucleicos. El cromo tiene una gran afinidad por las proteínas orgánicas a las que se fija formando compuestos muy estables. Se fija también a los eritrocitos, pero no tiene selectividad acumulativa para el pulmón. (Gisbert, 2004).

El cromo trivalente y el hexavalente son agentes desnaturalizantes de las proteínas y precipitantes de los ácidos nucleicos. Cataliza la fosfoglucomutasa en el sistema succinato –citocromo C reductasa. Forma de la molécula del factor de tolerancia a la glucosa. Los principales órganos blancos para la acción tóxica del cromo son bronquios, tracto gastrointestinal, hígado y riñón. La mayoría de efectos biológicos son secundarios a la exposición a cromo hexavalente. (Orosco, Pérez, Gonzales, 2005).

### 2.9.4. INTOXICACIÓN AGUDA:

- A nivel gastrointestinal las sales de cromo producen vómito, diarrea, dolor abdominal, hemorragia de tracto digestivo y aun lesión hepática que puede progresar a falla hepática.

- A nivel renal pueden causar insuficiencia renal aguda, necrosis tubular, y uremia que puede ocasionar la muerte.
- A nivel respiratorio la inhalación de polvos, humos y vapores puede producir broncoconstricción aguda probablemente por un mecanismo de irritación directa.
- A nivel de piel y mucosas el cromo trivalente produce dermatitis irritativa, la cual se presenta mientras persiste la exposición.
- A nivel cardiovascular puede causar hipotensión severa y shock hipovolémico por pérdida de líquidos debido a las lesiones del tracto gastrointestinal.
- En el Sistema Nervioso Central causa vértigo convulsiones, alteración estado de conciencia y hasta la muerte.

Los compuestos solubles de cromo hexavalente penetran por la piel y las mucosas en forma más efectiva que la forma trivalente. Esta acción irritante incluye eritema, edema faríngeo, irritación de la mucosa conjuntival, ulceración de la mucosa nasal y aun perforación del tabique en su parte posterior. Otra lesión típica es la conocida como úlcera crónica la cual se considera como la lesión más frecuente por toxicidad aguda. Esta por lo general se inicia con una pápula que progresa hasta formar una úlcera poco dolorosa, de bordes levantados y centro costroso que, generalmente, penetra a tejidos profundos, comprometiendo el cartílago pero respetando el hueso. **(Gisbert, 2004).**

#### **2.9.5. INTOXICACIÓN CRÓNICA:**

Todos los compuestos en los cuales el cromo tenga una valencia de 6 (Cromo hexavalente) son considerados como cancerígenos y está clasificado en el Grupo I de la IARC (agentes comprobados como carcinógeno en humanos). Los compuestos trivalentes no son carcinogénicos, ya que no son ávidos por el interior de la célula, mientras que los compuestos hexavalentes penetran al interior de la célula donde ejercen su acción genotóxica. Estudios realizados en trabajadores de

las industrias de galvanizado con acero inoxidable demuestran la asociación entre exposición a vapores del cromo y el cáncer de pulmón. El tiempo de latencia para cáncer pulmonar es de 10 a 20 años, aproximadamente. **(Gisbert, 2004).**

#### **2.9.6. TRATAMIENTO:**

- En caso de contacto con piel y mucosas: en piel lavar localmente con abundante agua y jabón, en mucosas lavar localmente con abundante agua por lo menos 15 minutos, retirar la ropa contaminada, curación en caso de presentar lesiones. Vitamina C favorece el paso de cromo hexavalente a cromo trivalente.
- En caso de accidente ocular: lavar abundantemente y realizar valoración oftalmológica lo más pronto posible por la posibilidad de lesión corneana.
- En caso de inhalación: trasladar al paciente fuera del área contaminada, llevarlo a un área de observación hospitalaria y monitorizar mínimo por 72 horas, especialmente, si se presentó exposición a ácido crómico, dar suplemento de oxígeno, suministrar Broncodilatadores si se requieren. Manejo de edema pulmonar si se presenta y hospitalización en UCI.
- En caso de ingestión: realizar lavado gástrico con 2000-3000 ml de solución salina, no inducir el vómito. Además en lo posible administrar solución acuosa al 1% de tiosulfato de sodio para atrapar por medio de la quelación los compuestos de cromo en la luz intestinal. Si se presenta gastroenteritis hemorrágica se requiere aporte sanguíneo además de una valoración endoscópica para determinar el área y extensión de las lesiones para tomar una conducta adecuada. Especial atención en el manejo de líquidos y electrolitos está indicado por el riesgo de presentarse la insuficiencia renal aguda. Tratar la hemoglobinuria resultado de la hemólisis con diuresis alcalina para evitar la necrosis tubular aguda por lesión tubular renal. **(Gisbert, 2004).**

### **2.9.7. ANTÍDOTO:**

La utilización de la sal cálcica de EDTA, como antídoto quelante, no ha mostrado la misma utilidad en las intoxicaciones por Cromo; sin embargo, está indicado en pacientes que no responden a otras medidas terapéuticas, se debe monitorizar al paciente con controles urinarios. El ácido ascórbico o Vitamina C después de la ingestión de compuestos hexavalentes se ha sugerido para favorecer la conversión de los compuestos hexavalentes a compuestos menos tóxicos como trivalente. La acetil cisteína ha sido usada en casos de intoxicación por dicromatos y puede ser una alternativa, existen evidencias de eficacia con los procedimientos de diálisis o perfusión **(Gisbert ,2004)**.

En el Tratamiento lesiones crónicas en piel y úlceras nasales se emplea una solución de hiposulfito de sodio al 5% con citrato de sodio al 5-0 % en un linimento de EDTA-cálcico al 10% en forma tópica. La lesión hepática debe ser manejada a base de una dieta rica en carbohidratos y vitaminas. En el envenenamiento crónico se debe tratar la dermatitis exudativa con acetato de aluminio al 1% y evitar nuevas exposiciones a los Cromatos. **(Gisbert ,2004)**.

### **2.10. GENERALIDADES DEL CADMIO**

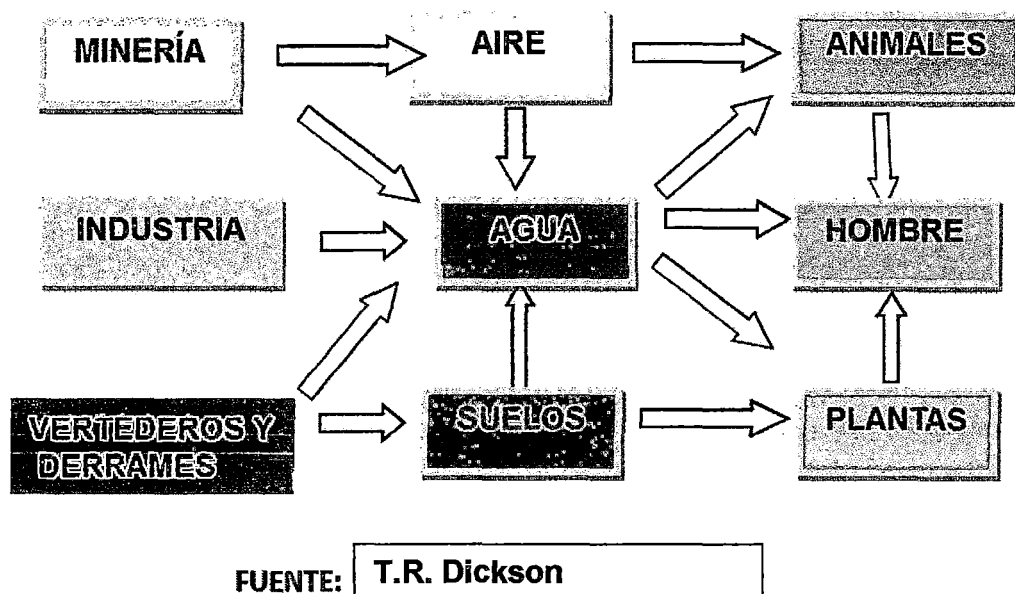
El cadmio es un metal blando, dúctil y maleable; de peso específico, 112,40; de densidad ,8.75; de punto de fusión 321 °C, y punto de ebullición 778 °C. Constituye un subproducto de la industria del cinc, ya que en la naturaleza se encuentran estrechamente ligados y se obtiene para fines industriales en el curso del refinado de del cinc. En los últimos 20 años ha aumentado notablemente el consumo industrial del cadmio. En forma de óxido, sulfuro, cloruro, bromuro, o sulfato, según la aplicación. La principal fuente de exposición diaria al cadmio son los alimentos. La ingesta oral diaria es de 10 a 35 µg. El consumo de tabaco es una fuente adicional significativa de exposición al cadmio. **(OMS, 2003c; Gisbert 2004)**

**Tabla N° 05: Datos Cadmio**

<b>Valor de referencia</b>	<b>0,03 mg/l para el cromo total</b>
<b>Presencia</b>	Las concentraciones en el agua de consumo suelen ser menores a 1 ug/l
<b>ISTP</b>	7 ug/kg de peso corporal, basándose en que para que la concentración de cadmio en la corteza renal no exceda de 50 mg/kg, la ingesta total de cadmio no debe exceder 1 ug/kg de peso corporal al día (suponiendo una tasa de absorción de cadmio en la alimentación del 5% y una tasa de excreción diaria del 0,005% de la carga corporal).
<b>Límite de detección</b>	0,01 ug/l mediante ICP/MS; 2 ug/l mediante FAAS
<b>Concentración alcanzable mediante tratamiento</b>	La concentración debería poderse reducir hasta 0,002 mg/l mediante coagulación o ablandamiento por precipitación.
<b>Cálculo del valor de referencia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• asignación al agua      10% de la ISTP</li> <li>• peso                    adulto de 60 kg</li> <li>• consumo                2 litros al día</li> </ul>
<b>Observaciones adicionales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aunque hay datos nuevos que indican que una parte de la población general puede estar expuesta a un riesgo mayor de disfunción tubular si se expone a la ISTP actual, las estimaciones de riesgo que pueden hacerse actualmente son imprecisas.</li> <li>• Se observa que la diferencia entre la ISTP y la ingesta semanal real de cadmio por la población general es pequeña, de un factor de menos de 10, y que esta diferencia puede ser aún menor en los fumadores.</li> </ul>

Fuente: **OMS, 2003c**

**Figura N° 07: Como ingresa el cadmio al agua y las cadenas alimentarias.**



### 2.10.1. CADMIO EN EL AGUA

EL cadmio es un metal tóxico que debe vigilarse, ya que se está distribuyendo ampliamente en el medio ambiente a consecuencia de las actividades del hombre (Dickson T. R. 1990).

El cadmio es un elemento que tiene cada vez más importancia en la industria. Se usa en la fabricación de planchas de hierro, para luchar contra el óxido, como pigmento de algunas pinturas, también se usa en la industria del plástico, en la fabricación de baterías e incluso lo podemos encontrar en algunos fungicidas y fertilizantes.

Los contaminantes entran a la hidrosfera por medio de aplicación directa, derrames, depósito húmedo y seco, movimiento de interfase. Además las sustancias químicas entran a la hidrosfera mediante disolución directa de derrames más ligeros que el agua. (Curtis D. Klaasen, J. Watkins 2001).



Cuando el cadmio penetra en cauces y lagos, como es soluble en grasas se bio-acumula en la cadena alimenticia acuática. Algunas veces las aguas de un pozo están acumuladas por los acuíferos, de los que proceden en forma natural elevadas concentraciones de este metal. **(Spiro Thomas, Stigilani 2004).**

Entre dos tercios y tres cuartos del cadmio que se encuentra en los cuerpos de aguas superficiales y subterráneos está absorbido a partículas en suspensión. Por acción de los agentes formadores de complejos puede ser removido de los sedimentos y re-movilizado. Su toxicidad para los peces depende, entre otros factores, del contenido de calcio en el agua, en general, cuanto mayor el contenido de calcio en el agua, menor será el efecto tóxico del cadmio sobre los peces. La capacidad de autodepuración biológica de las aguas superficiales y subterráneas se ve perturbada a partir de una cantidad de 0.1 mg/L de cadmio. **(DVGW, 1988).**

El cadmio es más tóxico en agua dulce que agua de mar se introduce en los cuerpos de agua a través de desechos industriales urbanos.

### **2.10.2. TOXICOCINÉTICA.**

**Absorción:** El cadmio entra al torrente sanguíneo por absorción en el estómago o en los intestinos luego de la ingestión de comida o *agua*; por absorción en los pulmones después de la inhalación muy poco cadmio entra al cuerpo a través de la piel. Usualmente solo es absorbido por la sangre alrededor del 1 al 5 % del cadmio que es ingerido por la boca, aunque pueda aumentar en el caso de los compuestos orgánicos. Mientras que se absorbe alrededor del 1 al 5 % del que es inhalado. Produce lesiones en las vías de entrada por precipitación de proteínas, con un cuadro irritativo del tracto respiratorio. **(Spiro G. Stigilani; 2004).**

Se sabe también que la absorción y acumulación del cadmio varía mucho entre diferentes personas y depende de factores como: sexo, edad o dieta. Se sabe por ejemplo, que una dieta en minerales básicos como calcio, hierro, zinc, cobre,

incrementa la absorción de cadmio. Al contrario, el incremento de estos minerales básicos reduce su absorción y retención **(Mercede, 2003)**.

**Distribución Y Metabolismo:** Se distribuye por todo los tejidos y lo hace unido a la albumina pero principalmente en el interior de los hematíes (90-95%) unida a la hemoglobina y a la melatonina, una proteína de bajo peso molecular rica en grupos SH. Una vez en la sangre es transportado por los hematíes hacia el pulmón, riñón y el hígado, donde se almacena el 75% de los 30ug que suele haber en el cuerpo humano. La vida media plasmática es de 2 a 3 meses aunque la vida media en el organismo (semivida biológica) es de 10 a 30 años. Las principales localizaciones serán hígado, riñón y musculo. **(Pérez, 2006)**.

**Excreción:** Las posibilidades de eliminación son escasas y la vida media es mayor de 30 años. La principal vía de eliminación es la renal, no obstante también hay eliminación pequeña por la mucosa bucal (acción en dientes, que adquieren coloración amarillenta y con un ribete gingival) además intestinal y por las faneras.

Para ser transportado a los riñones y filtrado a través de los glomérulos, para posteriormente ser reabsorbido y almacenado en las células tubulares del riñón. Este último órgano excreta del 1 al 2 % del cadmio tomado directamente de las fuentes ambientales, lo que provoca una gran acumulación de cadmio en los riñones. La concentración del metal en el riñón es aproximadamente 10 mil veces más alta que en el torrente sanguíneo. La excreción fecal del metal representa una mínima cantidad de cadmio no absorbido en el sistema gastrointestinal. Por otra parte, se estima que la vida biológica del cadmio en los humanos varía entre 13 y 40 años. **(Pérez, 2006)**.

### 2.10.3. TOXICODINAMIA

#### Mecanismo de acción

La entrada al interior de la célula se produce por transporte a través de proteína (metalotionina). Una vez en el interior celular, llega al retículo endoplasmático, el cual contiene diferentes enzimas microsomales, el cadmio actúa inhibiendo algunas de dichas enzimas. A parte, el cadmio también se acumula en los lisosomas de las células del túbulo proximal de la nefrona, aquí el cadmio inorgánico es degradado a  $Cd^{2+}$ , este ion inhibe enzimas proteolíticas del lisosoma, lo que produce daños a la célula.

1. Acción tóxica general. Se manifiesta principalmente sobre la función renal y los tejidos pulmonares y óseos, aunque también tienen acción directa sobre la corteza cerebral.
  - Produce una inhibición enzimática de aquellas que utilizan como cofactor el zinc.
  - Competencia con el calcio por los lugares de unión de proteínas reguladoras, como por ejemplo la calmodulina. habrá alteración en el metabolismo del calcio y el fósforo con "osteopatía del cadmio"
2. Acción irritante. Se ejerce sobre la vía de entrada y por tanto a nivel de la mucosa nasal, árbol respiratorio y tubo digestivo. Se debe a la precipitación de proteínas y es responsable de los incidentes agudos de la intoxicación.
  - ✓ Es una neumonitis química irritativa
  - ✓ Nefropatía, por la eliminación del Cd a nivel renal.
3. Es capaz de producir carcinogénesis, principalmente a nivel prostático, aunque también en riñón y pulmón.
4. Teratogénico. **(Rascón R. 2005)**

#### 2.10.4. INTOXICACIÓN AGUDA

La inhalación de vapores de cadmio o de partículas de polvo que llevan depositadas en su superficie cadmio. La ingestión de compuestos solubles como lactato de cadmio o cloruro de cadmio. Si la absorción ha tenido lugar por vía digestiva, a los 30 – 40 minutos de ingestión el sujeto comienza a tener una sensación de sabor dulzón en la boca y a continuación da lugar a un episodio de gastroenteritis, con cólicos epigástricos, vómitos (a veces sanguinolentos), diarreas y mialgias .el dolor abdominal puede ser muy intenso, con síntomas de colapso. Experimentalmente se ha comprobado en el animal una necrosis testicular con esterilidad permanente, secundaria a una lesión vascular, a la que se añadiría la inhibición de la enzima *glutatión-peroxidasa* (que contiene selenio), acción que puede prevenirse mediante ala administración de selenio. **(Rascón R. 2005)**

#### 2.10.5. INTOXICACIÓN CRÓNICA

Se produce por la inhalación continuada a lo largo de un periodo laboral de tiempo prolongado por la ingestión de productos alimenticios contaminados por cadmio.

El cadmio reemplaza las reservas del mineral esencial zinc cuando el hígado y los riñones presentan deficiencias de zinc también presentan niveles altos de cadmio.

**Periodo de latencia.** Pude ser incluso de varios años y está condicionado por la concentración y el tiempo d exposición .durante este periodo se vigila:

- Niveles de cadmio en sangre .cuando 5gr/dl está indicado el seguimiento y cuando alcanza 10 gr/dl es obligatorio retirar al sujeto de la fuente de exposición.
- Aumento de la concentración urinaria de beta2 – microglobulina que es el indicador más eficaz de una dosis elevada de cadmio y de nefropatía.

**Periodo de alarma.** Sabor dulzón en la boca por la eliminación del cadmio a través de la saliva. En la exposición prolongada al Cadmio, se producen un conjunto de manifestaciones muy características. **(Gisbert ,2004).**

## **EFFECTOS GENERALES**

Pérdida progresiva de peso con anorexia, anemia ligera e hiperglobulinemia.

- Tracto gastrointestinal: dientes cádmicos, se trata de una pigmentación amarilla del esmalte en forma de bandas o anillos debidos a la formación del sulfuro de cadmio, que progresa desde el ápice hacia el cuello, pero que siempre deja libre el borde de los dientes. Las encías quedan también libres de pigmentación, es un signo clínico muy característico que tiene gran importancia en el diagnóstico y prevención. **(Farreras R. 1995)**
- Sistema urinario: La primera manifestación es la aparición en la orina de proteínas de bajo peso molecular (aproximadamente 30 000), que no precipitan por el calor ni por el reactivo de Esbach, peor si lo hacen con el ácido nítrico y el tricloroacetico al 25%, y con el sulfosalísílico al 3%, A la electroforesis predomina las globulina, sobre todo alfa2-globulina y beta2 globulinas. Esta proteína se acompaña de aminoaciduria (sobre todo treonina y serina). Esta aumentado en el aclaramiento de las beta-micro globulinas, de la lisozima y de la ribonucleica. No hay hematuria microscópica ni leucocitaria. **(Farreras R. 1995)**
- Sistema respiratorio: Hay una rinitis toxica irritativa pudiendo causar una ulceración en la nariz, bronquitis y enfisema pulmonar. La función respiratoria se altera gradualmente y puede continuar incluso después de haber interrumpido el trabajo expuesto a riesgo. Un síndrome obstructivo pulmonar moderado solo aparece tras una exposición muy prolongada al toxico (unos 20 años). **(Farreras R. 1995).**
- Sistema óseo: En casos ya avanzados se produce una osteomalacia que origina violentos dolores en la pelvis y extremidades inferiores, que obligan al intoxicado a caminar a pasos cortos y dolorosos. El examen radiológico

descubre fisuras Oseas simétricas, localizadas con preferencia en el cuello del fémur (estrías de Milkman-Looser). Sería resultado de una pérdida exagerada de fosfato de calcio para el riñón. Esta excreción aumentada de fosfato cálcico origina además, una litiasis renal. **(Farreras R. 1995).**

- Acción cancerígena: es de localización prostática preferentemente y ha sido señalado por diversos autores sobre la base de observaciones limitadas. faltan estudios epidemiológicos amplios para confirmar o rechazar esta acción. La combustión del tabaco desprende una serie de compuestos químicos, y prácticamente todos ellos ejercen una serie irritante directa sobre la mucosa respiratoria; sin embargo, su mayor peligrosidad deriva de sus efectos carcinogénicos, seguros en algunos de ellos y probable en otros, que solo se citan: compuestos inorgánicos, como el arsénico, cromo y níquel, junto a cadmio y plomo. **(Farreras R. 1995).**
- Sistema cardiovascular: Se ha detectado en estudios experimentales ,pero no existen en observaciones convincentes en el hombre .los únicos datos a favor de esta acción consisten en las superiores concentraciones plasmáticas de cadmio en sujetos hipertensos , la mayor eliminación urinaria del metal en mujeres con cifras tensiónales elevadas y una concentración más alta en el riñón de sujetos fallecidos por hipertensión, por comparación a un grupo control. **(Farreras R. 1995).**
- Sistema nervioso central: Los iones de cadmio afectan al sistema nervioso central, y en dosis repetidas influyen en la coordinación muscular. **(Farreras R. 1995).**

#### **2.10.6. TRATAMIENTO**

##### **El tratamiento contra la intoxicación aguda:**

**Inhalación:** Retirar de la zona contaminada, llevar al aire fresco, mantener en reposo y abrigado, aflojar las prendas que opriman y mantener en reposo y abrigado, aflojar las prendas que opriman y mantener en posición

semiincorporada, hasta su transporte urgente a un centro médico. Aplicar respiración artificial si fuera necesario.

**Piel:** Quitar las rojas contaminadas y lavar las zonas afectadas con agua en abundancia o una ducha. Se puede usar un jabón o detergente suave.

**Ojos:** Lavarlos rápidamente con agua en abundancia, sobre todo por debajo de los párpados, y llevar a continuación a revisión médica.

**Ingestión:** Enjuagar la boca con agua y darla a beber en abundancia, provocando el vómito si el paciente está consciente. Transportar rápidamente a un centro médico.

**El tratamiento contra la intoxicación crónica:** consiste en la administración de vitamina C, suministro de zinc diario (unos 50-100 mg, según la edad) y también de vitamina B6 (100 mg/día, para proteger los riñones) además de un aporte de aminoácidos y selenio.

**DIMERCAPROL:** Adultos y niños: intoxicación por Cadmio: en casos severos: 3 a 5 mg/kg intramuscular c/6 h al 3er día: continuar c/12 h por 10 d o hasta la recuperación del paciente. Moderados: 2,5 mg/kg c/6 h por 2 d: luego c/12 h en el 3er día y continuar c/24 h durante 10 d o hasta la recuperación del paciente. **Orosco, Pérez, Gonzales, 2005).**

## 2.11. GENERALIDADES DEL PLOMO

El *Plomo* es un elemento químico de la tabla periódica, cuyo símbolo es Pb, su número atómico es 82. El plomo es un metal pesado de densidad relativa o gravedad específica 11,4 a 16 °C, de color plateado con tono azulado, que se empaña para adquirir un color gris mate. Es flexible, inelástico y se funde con facilidad. Su fusión se produce a 327,4 °C y hierve a 1725 °C. Las valencias químicas normales son 2 y 4. Inhalado o absorbido por la piel, resulta ser altamente tóxico para los seres vivos en general y para los humanos en particular. Se sospecha que es tóxico para los sistemas endócrino, cardiovascular, respiratorio, inmunológico, neurológico, y gastrointestinal además de poder afectar la piel y los riñones. El plomo no es biodegradable y persiste en el suelo, en el

aire, en el agua y en los hogares. Nunca desaparece sino que se acumula en los sitios en los que se deposita y puede llegar a envenenar a generaciones de niños y adultos a menos que sea retirado. (OMS, 2003d).

**Tabla N° 06: Datos Plomo**

<b>Valor de referencia</b>	<b>0,01 mg/l</b>
<b>Presencia</b>	Las concentraciones en el agua de consumo son, por lo general, menores que 5 ug/l, aunque se han medido concentraciones mucho más altas (mayores que 100 ug/l) en instalaciones con accesorios de plomo.
<b>ISTP</b>	25 ug/kg de peso corporal (equivalente a 3,5 ug/kg de peso corporal al día) para lactantes y niños, teniendo en cuenta que el plomo es una sustancia tóxica acumulativa y que no debe acumularse plomo en el organismo.
<b>Límite de detección</b>	1 ug/l mediante AAS
<b>Concentración alcanzable mediante tratamiento</b>	No es un contaminante del agua bruta, de modo que no se aplica tratamiento.
<b>Cálculo del valor de referencia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>asignación al agua</b> 50% de la ISTP</li> <li>• <b>peso</b> lactante de 5 kg</li> <li>• <b>consumo</b> 0.75 litros al día</li> </ul>
<b>Observaciones adicionales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dado que los lactantes se consideran el subgrupo de población más sensible, este valor de referencia también protegerá al resto de los grupos de edad.</li> <li>• El caso del plomo es excepcional, ya que la mayoría del plomo del agua de consumo proviene de las instalaciones de fontanería de los edificios y la principal solución es eliminar todas las tuberías y accesorios que contienen plomo. Esto exige mucho tiempo y dinero, y se reconoce que no toda el agua alcanzará este valor inmediatamente. Mientras tanto, deben aplicarse todas las demás medidas prácticas que puedan reducir la exposición total al plomo, incluido el control de la corrosión.</li> </ul>

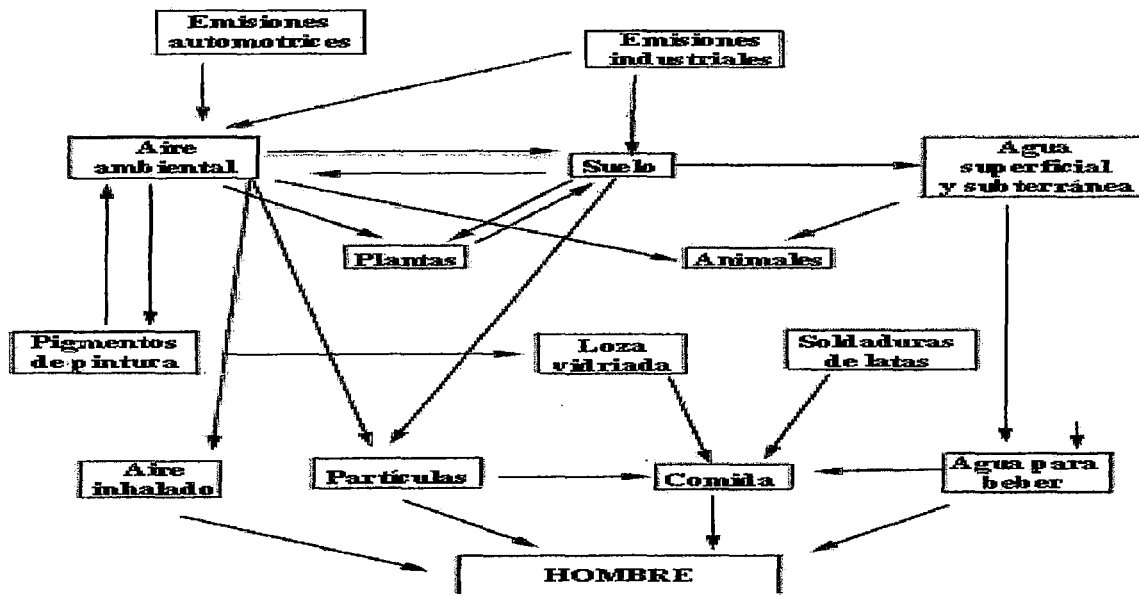
Fuente: OMS, 2003d



### 2.11.1. PLOMO EN EL AGUA:

Los cuerpos de agua superficiales constituyen trampas de acumulación para los compuestos de plomo. Los compuestos insolubles se hunden y se adsorben en los sedimentos o se adhieren a partículas en suspensión (especialmente a partículas de arcilla). Las plantas acuáticas también acumulan plomo. La oxidación bioquímica de las sustancias orgánicas se ve inhibida por concentraciones de plomo superiores a 0,1 ml/l; a partir de los 0,2 ml/l de plomo; asimismo, se reduce la fauna. El umbral de la toxicidad para los peces es 0,3 mg/l de plomo (truchas y peces blancos) (DVGW, 1985) El agua subterránea se ve afectada por los compuestos de plomo hidrosolubles, como por ejemplo el cloruro de plomo y el nitrato de plomo. Se sabe, sin embargo, que el agua potable que es conducida por cañerías de plomo contiene altas concentraciones de plomo (según la química del agua subterránea). El plomo no es químicamente afectado por agua con bajo tenor de oxígeno. En las cañerías de plomo el agua rica en carbonatos forma depósitos de carbonato de plomo en las paredes interiores de los conductos. (Gisbert, 2004)

**Figura N° 08: Rutas de exposición al plomo**



FUENTE: MINISTERIO DE SALUD. En curso "Intoxicación por plomo:", diagnóstico y tratamiento del niño intoxicado", junio 2001.PERU.

## 2.11.2. TOXICOCINÉTICA

**Absorción:** El plomo puede ingresar por tres vías: cutánea, respiratoria y gastrointestinal.

- Vía Cutánea: los derivados inorgánicos del plomo no se absorben por piel integra. Los derivados orgánicos como en tetraetilo y tetrametilo de plomo pueden absorberse. (**Farreras R. 1995**).
- Vía Respiratoria: las partículas inhaladas suelen ser submicrónicas, de ahí que penetran fácilmente hasta el alveolo y sean retenidas. Se calcula que el 50% de las partículas inhaladas son retenidas y de estas se absorberá el 90% según **KEHOE, 1995**. El nivel de absorción y de depósito del plomo depende de: el tamaño de las partículas, la solubilidad de los compuestos y otros hábitos como fumar, presencia de enfermedades respiratorias crónicas y la tasa de ventilación. (**Farreras R. 1995**).
- Vía Gastrointestinal: es la principal vía de absorción en los niños, como el fenómeno conocido como "pica" (Barltrop y Khoo, 1975; Johnson y Tenuta, 1979), por otro lado, el organismo de los niños tiene la capacidad de absorber el PLOMO en porcentajes más altos que el de los adultos, los niños absorben aproximadamente el 50% del plomo de su dieta, los adultos tienen una tasa de absorción de alrededor del 5 al 10% (**Mahaffey, 1981**).

**Distribución Y Metabolismo:** De todos los esquemas propuestos para explicar la distribución del plomo en el organismo, quizá la de **RABINOWITZ (1977)**, es el más exacto y didáctico. Una vez absorbido el PLOMO pasa a la sangre (primer compartimiento). El 90% del plomo circulante está ligado a los hemáties. En las personas no expuestas, este plomo alcanza una cifra de 1,7 a 2 mg. Su vida media es de unos 35 días. El segundo compartimiento lo conforman los tejidos blandos, principalmente del riñón e hígado, en ellos se contiene de 0.3 a 0.9 mg de plomo. Su vida media biológica es de 40 días. El tercer compartimiento lo

constituye el hueso que contiene el 90% de plomo almacenado en el organismo, con un tiempo de vida media de 70 años.

**Excreción:** El plomo se excreta fundamentalmente por orina (80%), y de forma secundaria por heces, sudor, saliva y faneras. **(Gisbert, 2004).**

### **2.11.3. TOXICODINAMIA**

#### **Mecanismo de acción**

El mecanismo tóxico del plomo está dado por tres modalidades: una es compitiendo con los metales esenciales, especialmente el calcio y el zinc en su sitios de inserción; otro mediante su afinidad por los grupos sulfhídricos de las proteínas, lo que significa alteración de la forma y de función de ellas y dado que numerosas proteínas y entre ellas diversas enzimas poseen grupos sulfhidrilos, las alteraciones fisiológicas pueden ser muy generalizadas en el organismo; finalmente también actúa alterando el transporte de iones esenciales.

**(Gisbert, 2004)**

### **2.11.4. MANIFESTACIONES CLÍNICAS:**

**Sistema Hematopoyético:** La perturbación de la síntesis del HEM se pone de manifiesto con la aparición de las concentraciones anormales de precursores del HEM en la sangre y orina.

El plomo interfiere en varias etapas enzimáticas de la biosíntesis del HEM, en la utilización del hierro y en la síntesis de la globina en los eritrocitos.

**Sistema Nervioso Central:** Los efectos del plomo varían según la duración y la intensidad de la exposición, existen diferencias de sensibilidad entre el sistema nervioso de los adultos, de los lactantes y niños pequeños. Es indudable que los efectos del plomo sobre el encéfalo están mucho más frecuentemente asociados con el saturnismo infantil que con la intoxicación observada en los adultos.

Actualmente existe intensa preocupación por evaluar en los niños en detalle el dato neuropsicológico orden producido por concentraciones bajas denominadas "subtóxicas" de plomo en el organismo. Factores de orden genético, nutricional, económico, social y familiar interfieren en la correcta

interpretación de los efectos psicológicos, conductuales y de aprendizaje en niños (disminución del coeficiente intelectual), causados por concentraciones de plomo en sangre tan bajas como 10ug/dl. Aparentemente los daños intelectuales irreversibles son debido a disfunciones cerebrales, así se ha evidenciado que inclusive en personas asintomáticas se produce una desmielinización a nivel del sistema nervioso central, este daño ocurre a nivel de las mitocondrias de las células schuwan ocasionando una destrucción de la vaina de mielina registrándose una actividad más lenta del electroencefalograma, causando daño al octavo par craneal, los nódulos de Ranvier y quedando expuesto el cilindro del axón neuronal. **(Gisbert, 2004)**

#### **2.11.5. INTOXICACIÓN AGUDA:**

Esta forma de intoxicación puede aparecer tras la ingestión de una sal soluble (acetato de plomo) o de una cantidad importante de un alimento contaminado o como consecuencia de la pica en niños. Produce tres tipos de síndromes: digestivo, hepatorenal y encefalopatía.

Se ha demostrado que en los niños que no presentan encefalopatía, la intoxicación por plomo se caracteriza por uno o varios de los siguientes síntomas: disminución de la actividad, letargia, anorexia y vómitos esporádicos. En los casos de intoxicación aguda, la encefalopatía puede diagnosticarse con los siguientes síntomas. Coma, convulsiones, alteraciones del comportamiento, apatía, falta de coordinación, alteraciones de la conciencia y pérdida de las habilidades, recientemente adquiridas. Para que se produzca encefalopatía producida por plomo los niveles en sangre deben ser elevados (90 a 400ug/dl) para producir signos clínicos de encefalopatía. **(Gisbert, 2004).**

#### 2.11.6. INTOXICACIÓN CRÓNICA:

En la exposición prolongada de plomo pueden observarse efectos importantes sobre el SNC, causando un cuadro denominado encefalopatía saturniana, cuyos signos y síntomas varían desde cambios Psicológicos o conductuales sutiles hasta alteraciones neurológicas graves. También puede observarse el ribete de Burton, que es una línea azulada que aparece en el borde gingival, debido al sulfuro de plomo depositado, solo aparece en ausencia de higiene buco-dental. **(Gisbert, 2004).**

- Sistema Nervioso Periférico: El plomo inorgánico produce efectos adversos en el SNP, tanto en la estructura como en la actividad colinérgica del nervio. El hecho más característico a este nivel es el daño en los nervios motores que se expresa clínicamente con la parálisis saturnina, cuya manifestación principal es la debilidad de los músculos extensores, en especial los más utilizados, y falta de fuerza en las manos. Se han descrito también otros síntomas, como hiperestesia, analgesia, dolores musculares, calambres y anestesia de zonas afectadas. **(Casarett & Doull's 2001).**
- Sistema Urinario: Los efectos del plomo sobre el riñón se pueden escribir en dos tipos generales: el primero es una lesión tubular renal, bastante bien definido, que se caracteriza por aminoaciduria generalizada, hipofosfatemia con hiperfosfaturia relativa y glucosuria, que se ha estudiado en niños con saturnismo clínico. Esta afección se caracteriza por una menor reabsorción tubular de glucosa y alfa-aminoácidos, en consecuencia refleja lesión tubular proximal. En numerosos estudios se observó con mayor frecuencia aminoaciduria que otras manifestaciones. Por lo tanto el sistema de transporte de aminoácidos es probablemente el más sensible a la acción tóxica del plomo que los sistemas de transporte de glucosa y fosfato. En síntesis, los efectos tubulares y proximales pueden producirse en niños y adultos con signos ligeros de intoxicación por plomo **(Casarett & Doull's 2001).**

- Tracto Gastrointestinal: Como síntoma del saturnismo, el cólico es un aviso precoz bastante frecuente de efectos potencialmente más graves que probablemente se producirán con periodos prolongados de exposición, el cólico en niños se presenta con niveles superiores a 60 ug/dl. Se han descrito otras manifestaciones como pérdida del apetito, constipación, náuseas, vómitos, sabor metálico en la boca, dolor abdominal e ictericia. (**Casarett & Doull's, 2001**).
- Carcinogenicidad Y Genotoxicidad: el Plomo fue resultado carcinogénico en animales de laboratorio y existe cierta evidencia de sus propiedades carcinogénicas en trabajadores expuestos a este metal, aunque no en niños. El PLOMO puede atravesar la barrera placentaria conllevando a una contaminación del feto. Los datos indican que la exposición al plomo orgánico puede ocasionar modificaciones en los cromosomas linfocitarios. (**ATSDR, 2005**).

#### **2.11.7. TRATAMIENTO**

El primer paso del tratamiento, consiste en identificar la fuente de exposición del paciente y de los miembros de su familia, luego tomar providencias para detener la exposición. Es necesario inducir al vomito en los casos de ingestión reciente de plomo, no se ha demostrado la eficacia del empleo del carbón, otros carbonos o purgantes. El tratamiento sintomático debe aplicarse en los casos de encefalopatía.

La terapia quelato puede ser útil en los casos de intoxicación aguda por plomo. Sin embargo, estas terapias resultan costosas y los agentes quelantes tienen efectos indeseables.

Existen 2 agentes quelantes que se pueden administrar por vía parenteral y 3 por vía oral. (**Orosco, Pérez, Gonzales, 2005**).

##### **Vía Parenteral**

- **DIMERCAPROL** Conocido también como BAL (British Anti-Lewisite).su nombre químico es 2,3-dimercaptopropanol. Es un agente quelante que se utiliza junto con el

acidoetilenodiaminotetraacetico ( $\text{EDTA Na}_2\text{Ca}$ ) en las intoxicaciones severas por plomo ( $>70\text{ug/dl}$ ), observándose una disminución más rápida de plomo sanguíneo que en la quelación con  $\text{EDTA Na}_2\text{Ca}$  únicamente. **(Gisbert,2004)**

- **CALCIUM DISODIUM EDTA ( $\text{EDTA Na}_2\text{Ca}$ )** Tiene una elevada afinidad por plomo por lo que es utilizado en la intoxicación aguda y crónica por plomo. Disminuye la concentración de plomo en sangre, revierte los efectos hematológicos del plomo y aumenta su excreción por orina, no se metaboliza. **(Gisbert,2004)**

#### **Vía Oral**

- **SUCCIMERO-CHEMET**, Llamado DMSA o 2,3-mesodimercaptosuccinico. Es un análogo hidrosoluble del dimercaprol que contiene 2 ácidos carboxílicos que modifican la distribución y el espectro quelante del fármaco. **(Orosco,Pérez,Gonzales,2005).**

## **2.12. ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA**

La espectroscopía de absorción atómica es un método instrumental para determinar una gran variedad de elementos al estado fundamental como analitos.

Mientras que la mayoría de las técnicas espectroscópicas se utilizan para el estudio y caracterización de moléculas o iones en su entorno cristalino, la espectroscopía de emisión y absorción atómica se usa casi exclusivamente para el análisis de átomos. Por consiguiente, la técnica resulta casi insuperable como método de análisis elemental de metales.

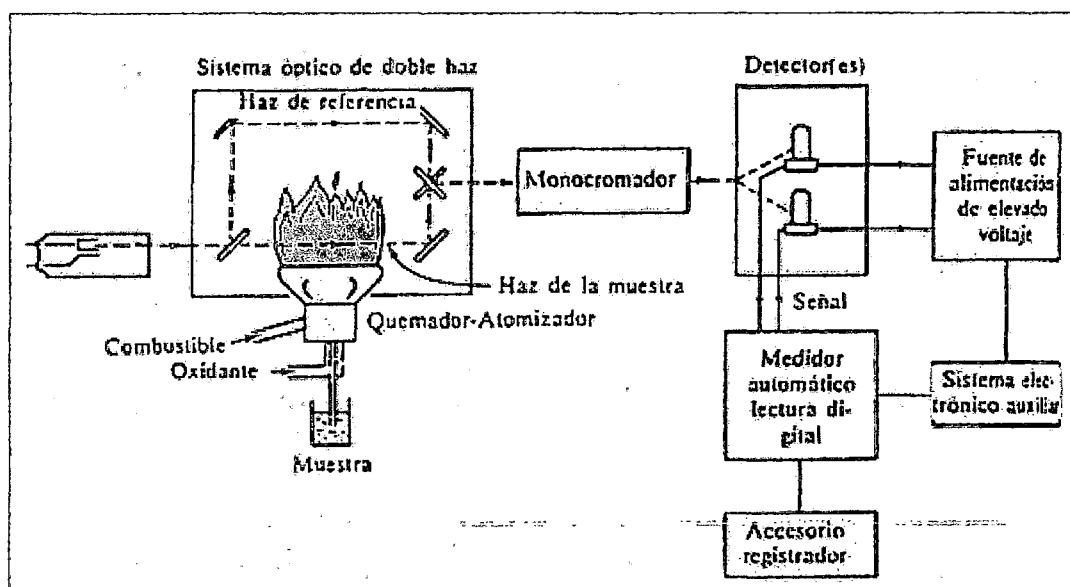
En principio, la espectroscopía de emisión puede utilizarse para la identificación y para la determinación cuantitativa de todos los elementos de la tabla periódica. **(Rouessac, F. 2003)**

Cuando la transición se produce desde el estado fundamental hasta un estado excitado del átomo mediante la absorción de radiación de una determinada frecuencia (característica para cada átomo), estamos en el caso de las técnicas de absorción. En el caso en que los átomos se lleven previamente a un estado excitado y se mide la intensidad de la radiación emitida a la frecuencia característica correspondiente a la transición desde el estado excitado al estado fundamental, hablamos de técnicas espectrofotométricas de emisión. (Rouessac, F. 2003)

En resumen la técnica de absorción atómica es una técnica muy relacionada con la fotometría de llama ya que se utiliza una llama para atomizar la disolución de la muestra de modo que los elementos a analizar se encuentran en forma de vapor de átomos. Ahora bien, en absorción atómica existe una fuente independiente de luz monocromática, específica para cada elemento a analizar y que se hace pasar a través del vapor de átomos, midiéndose posteriormente la radiación absorbida.

En la siguiente figura se recoge el diagrama de bloques de espectrofotómetros de absorción atómica. (Rouessac, F. 2003)

**Figura N° 09: Esquema de espectrofotometría de absorción atómica**



Fuente: Rouessac, F. 2003.



### **a) DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN**

La determinación de elementos es posible siempre que se pueda relacionar su concentración con la intensidad de la absorción o de la emisión luminosa correspondiente. La absorbancia del elemento depende del número de átomos NO que quedan en el estado fundamental en el trayecto óptico. Se procede a realizar medidas comparativas con disoluciones patrón.

$$A=K/X*c$$

Siendo A la absorbancia, c la concentración del elemento, K un coeficiente característico de cada elemento para la longitud de onda seleccionada.

La relación se establece con la relación de Lambert –Beer (aunque aquí no se calcula el coeficiente de absorción). El equipo registra la absorbancia mediante la relación de intensidades transmitidas en ausencia y presencia de la muestra mediante las curvas de calibración realizadas. La linealidad solo es efectiva para bajas concentraciones. Los métodos siguen protocolos clásicos con el establecimiento de una recta de calibrado a partir de disoluciones sintéticas de concentraciones crecientes de analito para los medios en los que el efecto matriz es despreciable. Si la matriz es compleja, será necesario reconstruir, para toda la gama de patrones, lo esencial del medio o también utilizar el método de adición de patrón, garantizando en este último caso la linealidad de la respuesta en absorbancia. **(Skoog, D. Leary, J. 2004)**

### **b) INTERFERENCIAS**

- FÍSICAS Y QUÍMICAS.

Para determinar un elemento se selecciona, si es posible, la raya de emisión más intensa de la lámpara correspondiente, esta corresponde generalmente a la raya de resonancia. Así distintos factores aportados por la matriz pueden afectar la determinación y conducir resultados erróneos. **(Rouessac, F. 2003).**

- ESPECTRALES

Se refieren a las que se producen por superposición en la medida de la radiación: la seleccionada para la determinación y una raya secundaria perteneciente a otro elemento. **(Rouessac, F. 2003).**

- QUÍMICAS

La absorción atómica es muy sensible a efectos perturbadores. Cuando se investigan elementos a niveles trazas, es importante considerar la matriz en que se encuentran. Es necesario seguir protocolos bien establecidos si se quiere obtener resultados reproducibles. **(Rouessac, F. 2003).**

### **c) SENSIBILIDAD Y LÍMITE DE DETECCIÓN**

La sensibilidad se define a partir del elemento seleccionado, como la concentración expresada en ug/mL que, en disolución acuosa, conduce a una disminución del 1% de la luz transmitida ( $A=0.00444$ ). Cuando es posible, se establecen las curvas de calibrado con concentraciones del orden de 20 a 200 veces este límite. El límite de detección corresponde a la concentración del elemento que da una señal cuya intensidad igual a dos veces la desviación típica de una serie de al menos diez medidas hechas para el blanco analítico o sobre una disolución muy diluida (nivel de confianza del 95%).concretamente las concentraciones deben ser al menos diez veces superiores para tener medidas fiables. **(Rouessac, F. Rouessac, A. 2003)**

### **d) EQUIPO UTILIZADO:**

#### **CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE AAS PARA LAS MEDICIONES**

- Equipo de Absorción Atómica
- Marca: SHIMADZU
- Modelo: AA-6800
- No de serie: A10463780019c

## **ACCESORIOS**

- Automuestreador marca SHIMADZU, modelo ASC-6100, N<sup>o</sup> SERIE: A30303700566.
- Regenerador de agua (Refrigerante) marca EVELA. Modelo CA-110.
- Compresor de aire, tipo silencioso.
- Regulador para gases (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>N<sub>2</sub>O).
- Lámparas de cátodo hueco.
- Computadora estándar (CPU, monitor SVGA, teclado).
- Software WIZAARD.
- Generador de hidruros, marca SHIMADZU, Modelo AA-6800.

## DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- **Ablandamiento con cal:** El ablandamiento con cal se utiliza para quitar la dureza al agua mediante el agregado de cal ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Además, el método es efectivo para la remoción de As (III) y (V).
- **Aplasia medular:** es la desaparición de las células encargadas en la médula ósea de la producción de la sangre. Como consecuencia aparecerá una disminución de los hematíes (glóbulos rojos), de los leucocitos (glóbulos blancos) y de las plaquetas en la sangre periférica.
- **Artrosis:** es una enfermedad producida por el desgaste del cartílago, tejido que hace de amortiguador al proteger los extremos de los huesos y que favorece el movimiento de la articulación. Es la enfermedad reumática más frecuente, especialmente entre personas de edad avanzada.
- **Autodepuración:** es el proceso de recuperación de un curso de agua después de un episodio de contaminación orgánica. En este proceso los compuestos orgánicos son diluidos y transformados progresivamente por la descomposición bioquímica, aumentando su estabilidad.
- **Cáncer de Pulmón :** es un conjunto de enfermedades resultantes del crecimiento maligno de células del tracto respiratorio, en particular del tejido pulmonar, y uno de los tipos de cáncer más frecuentes a nivel mundial. El cáncer de pulmón suele originarse a partir de células epiteliales, y puede derivar en metástasis e infiltración a otros tejidos del cuerpo. Se excluye del cáncer de pulmón aquellas neoplasias que hacen metástasis en el pulmón provenientes de tumores de otras partes del cuerpo.
- **Cáncer de Próstata:** al que se desarrolla en uno de los órganos glandulares del sistema reproductor masculino llamado próstata. El cáncer se produce cuando algunas células prostáticas mutan y comienzan a multiplicarse descontroladamente. Éstas también podrían propagarse desde la próstata a otras partes del cuerpo, especialmente los huesos y los ganglios linfáticos originando una metástasis. Esta afección puede causar dolor, micción dificultosa, disfunción eréctil, entre otros síntomas.
- **Cancerígeno:** agente cancerígeno, es aquel que puede producir cáncer.

- **Carcinógeno:** Un agente carcinógeno, tanto físico como químico o biológico, es aquel que actúa sobre los tejidos vivos de tal forma que produce cáncer.
- **Coagulación y floculación:** Si el agua contiene sólidos en suspensión, la coagulación y la floculación pueden utilizarse para eliminar gran parte del material. En la coagulación, se agrega una sustancia al agua para cambiar el comportamiento de las partículas en suspensión. Hace que las partículas, que anteriormente tendían a repelerse unas de otras, sean atraídas las unas a las otras o hacia el material agregado. La coagulación ocurre durante una mezcla rápida o el proceso de agitación que inmediatamente sigue a la adición del coagulante. El proceso de floculación que sigue a la coagulación, consiste de ordinario en una agitación suave y lenta. Durante la floculación, las partículas entran más en contacto recíproco, se unen unas a otras para formar partículas mayores que pueden separarse por sedimentación o filtración.
- **Degeneración walleriana:** (DW) consiste en la desestructuración del axón y de su vaina de mielina tras una lesión en la parte proximal del axón o del soma neuronal. La causa más frecuente de DW en el sistema nervioso central es la isquémica.
- **EDTA (ácido etilendiaminotetracético):** Sólido incoloro cristalino, poco soluble en agua e insoluble en solventes orgánicos. Neutralizado con los hidróxidos de metales alcalinos, forma una serie de sales solubles en agua que tienen de uno a cuatro metales alcalinos.
- **Enfisema Pulmonar:** Es una enfermedad crónica, en la cual los tejidos de los pulmones son gradualmente destruidos, tornándose como inflados (muy distendidos.) Esta destrucción ocurre en los alvéolos, donde acontecen los cambios gaseosos del oxígeno por el dióxido de carbono. Como resultado, la persona pasa a sentir falta de aliento para realizar tareas o ejercitarse.
- **Epitelioma basocelular:** Se trata de un tumor cutáneo maligno que se origina en las células basales (las células más profundas) de la epidermis o de sus anexos, y crece lentamente con posibilidad de destrucción local,

pero rarísimamente metastatiza (diseminación en órganos alejados del tumor original).

- **Eritema:** es un enrojecimiento de la piel condicionado por una inflamación debida a un exceso de riego sanguíneo mediante vasodilatación. El eritema es un síntoma de distintas enfermedades infecciosas y de la piel.
- **Exantema:** es una erupción cutánea que aparece de forma aguda. Aparece frecuentemente con enfermedades generales infecciosas como sarampión, rubéola, varicela, escarlatina, dengue o tifus. Un exantema también puede ser la consecuencia de una incompatibilidad de fármaco.
- **Glomerulopatía:** (GP) o glomerulonefritis (GN) designa un conjunto de enfermedades que se caracterizan por una pérdida de las funciones normales del glomérulo renal, se caracterizan por la aparición de elementos formes o proteínas en la orina, con grados variables de insuficiencia renal.
- **Glutación (GSH):** es un tripéptido no proteínico que deriva de aminoácidos. Contiene un enlace péptidico inusual entre el grupo amino de la cisteína y el grupo carboxilo de la cadena lateral del glutamato. El glutación, un antioxidante, ayuda a proteger las células de especies reactivas de oxígeno como los radicales libres y los peróxidos. El glutación es nucleofílico en azufre y ataca los aceptores conjugados electrofílicos venenosos. En efecto, **el glutación** reduce cualquier enlace disulfuro formado dentro de proteínas citoplasmáticas de cisteínas, al actuar como un donante de electrones. En el proceso, el glutación se convierte en su forma oxidada **disulfuro de glutación (GSSG)**. El glutación se encuentra casi exclusivamente en su forma reducida, ya que la enzima que vuelve de su forma oxidada, la **glutación reductasa**, es constitutivamente activa e inducible al estrés oxidativo. De hecho, la proporción de glutación reducido a glutación oxidado dentro de las células a menudo se utiliza científicamente como una medida de la toxicidad celular.
- **Hipertensión Arterial:** (HTA) es una enfermedad crónica caracterizada por un incremento continuo de las cifras de presión sanguínea en las arterias. Aunque no hay un umbral estricto que permita definir el límite entre el

riesgo y la seguridad, de acuerdo con consensos internacionales, una presión sistólica sostenida por encima de 139 mm<sub>Hg</sub> o una presión diastólica sostenida mayor de 89 mm<sub>Hg</sub>, están asociadas con un aumento medible del riesgo de aterosclerosis y por lo tanto, se considera como una hipertensión clínicamente significativa.

- **Hipotensión:** es una condición anormal en la que la presión sanguínea de una persona es mucho más baja de lo usual, lo que puede provocar síntomas como vértigo o mareo.
- **Intercambio iónico:** El intercambio iónico es un proceso fisicoquímico de intercambio reversible de iones entre una fase líquida y una sólida, donde no hay un cambio permanente en la estructura del sólido. La solución se pasa a través del lecho hasta que se satura y comienza la fuga de contaminantes. En ese momento la resina (fase sólida) se reactiva con una solución de regenerante que lleva los contaminantes retenidos para disposición como efluente líquido.
- Las resinas más utilizadas para la remoción del As(V) son las sulfato selectivas,
- mientras que las nitrato selectivas también remueven As (III). En la etapa de diseño se debe considerar: el pH, la capacidad de intercambio, la inyección del regenerante, la presencia de otras sustancias iónicas (sulfatos, cloruros, entre otros), el ensuciamiento de las resinas, etc.
- **Leucopenia:** es la disminución del número de leucocitos totales por debajo de 4.000 - 4.500 /mm<sup>3</sup>.
- **Líneas de Mees:** Son bandas blanquecinas transversales, que frecuentemente afectan múltiples uñas, aunque también pueden presentarse en una sola en forma aislada. Clásicamente, se asocian a exposición a arsénico, pero pueden ser secundarias a linfoma de Hodgkin, insuficiencia cardíaca congestiva.
- **Melatonina o N-acetil-5-metoxitriptamina:** es una hormona encontrada en animales superiores y en algunas algas, en concentraciones que varían de acuerdo al ciclo diurno/nocturno. La melatonina es sintetizada a partir del

neurotransmisor serotonina. Se produce, principalmente, en la glándula pineal, y participa en una gran variedad de procesos celulares, neuroendocrinos y neurofisiológicos. La Melatonina regula y controla nuestro reloj biológico, mejora el sueño, estimula el sistema inmune y protege el sistema nervioso central.

- **Mutación:** es una alteración o cambio en la información genética (genotipo) de un ser vivo y que, por lo tanto, va a producir un cambio de características, que se presenta súbita y espontáneamente, y que se puede transmitir o heredar a la descendencia.
- **Osteoartritis:** es una enfermedad de las articulaciones que afecta principalmente al cartílago, ya que el cartílago es un tejido resbaladizo que cubre los extremos de los huesos en una articulación, con la osteoartritis, la capa superior del cartílago se rompe y se desgasta, como consecuencia, los huesos que antes estaban cubiertos por el cartílago empiezan a rozarse, La fricción causa dolor, hinchazón y pérdida de movimiento en la articulación.
- **Osteoporosis:** es una enfermedad que disminuye la cantidad de minerales en el hueso, perdiendo fuerza la parte de hueso trabecular y reduciéndose la zona cortical por un defecto en la absorción del calcio producido al parecer por falta de manganeso, lo que los vuelve quebradizos y susceptibles de fracturas y de microfracturas, y puede llevar a la aparición de anemia o ceguera.
- **Odinofagia:** es el término médico para describir el síntoma consistente en un dolor de garganta producido al tragar, frecuentemente como consecuencia de una inflamación de la mucosa esofágica o de los músculos esofágicos. La intensidad del dolor puede ser desde leve hasta tan severa que los pacientes ni siquiera pueden tragar su propia saliva. Dependiendo de la intensidad, puede llegar a producir disfagia
- **Osteoporosis:** es una enfermedad que disminuye la cantidad de minerales en el hueso, perdiendo fuerza la parte de hueso trabecular y reduciéndose la zona cortical por un defecto en la absorción del calcio producido al parecer por falta de manganeso y que ocasiona susceptibilidad para las fracturas.



- **Osteoartrosis:** Es una enfermedad crónica de las articulaciones, sobre todo de aquellas que tienen gran movimiento, en la cual aparece por el desgaste y destrucción de las superficies articulares. Se dice que es una enfermedad no inflamatoria de las articulaciones. También se le conoce como: ARTROSIS, OSTEOARTRITIS, o ARTROPATÍA DEGENERATIVA.
- **Parestesia:** se define como la sensación anormal de los sentidos o de la sensibilidad general que se traduce por una sensación de hormigueo, adormecimiento, acorchamiento, etc., producido por una patología en cualquier sector de las estructuras del sistema nervioso central o periférico.
- **Polineuropatía:** Es un término colectivo para un síndrome neurológico que incluye todas las enfermedades inflamatorias y degenerativas que afectan al sistema nervioso periférico.
- **Trombocitopenia:** es la disminución de la cantidad de plaquetas circulantes en el torrente sanguíneo por debajo de los niveles normales. 100.000/mm<sup>3</sup>.
- **Vesicación:** Las sustancias vesicantes, llamadas también agentes vesicantes, son sustancias que pueden ser sólidas, líquidas o gaseosas y que en contacto con la piel producen irritación y ampollas. Su acción va desde la irritación leve de la piel a la ulceración y fuertes quemaduras, llegando a producir la destrucción de los tejidos. Los ojos son una zona especialmente sensible a ellas. También, en el caso de ser ingeridas o aspiradas, pueden producir un efecto asfixiante por su acción vesicante en la tráquea y los bronquios (las células muertas producidas por esta acción pueden llegar a obstruirlos).
- **Osmosis inversa:** es el pasaje del agua a través de una membrana Semipermeable, de una solución menos concentrada hacia una de mayor concentración. Esta diferencia de presión se denomina presión osmótica. La ósmosis inversa se produce cuando se ejerce presión para invertir el flujo osmótico normal. Al aplicar presión, el agua es forzada a pasar a través de la membrana semipermeable desde el lado más concentrado

(agua cruda), hacia el lado menos concentrado (agua tratada), quedando retenidos en la membrana, por su tamaño, los iones del arsénico.

- **Úlcera:** o llaga es toda lesión abierta de la piel o membrana mucosa con forma crateriforme (con forma de cráter, al perderse parte del tejido) y con escasa o nula tendencia a la cicatrización espontánea.

# **CAPITULO III**

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

## CAPITULO III

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. MUESTRA DE ANÁLISIS:

Aguas Subterráneas de las Comunidades de SAN CRISTÓBAL y NUEVA ANTA-Distrito IZCUCHACA-Provincia ANTA.

#### LUGAR DE EJECUCIÓN:

- Laboratorio de Análisis Químico de la Facultad de Ingeniería Química UNSAAC - CUSCO.
- Laboratorio de Análisis Químico: CONTROL CALIDAD y MEDIO AMBIENTE (C.M.A) – AREQUIPA.

#### 3.2. EQUIPOS, REACTIVOS Y MATERIALES

##### Equipos

- ❖ Espectrofotómetro de absorción atómica con generación de hidruros (SHIMADZU)
- ❖ Parrilla de calentamiento
- ❖ Campana de extracción para manejo de ácidos.
- ❖ Equipo de filtración.
- ❖ Bomba de vacío.
- ❖ Computador marca (LG)
- ❖ Cámara fotográfica.
- ❖ Balanza analítica.

##### Reactivos

- ❖ Gas acetileno (grado absorción atómica).
- ❖ Gas Argón (grado absorción atómica).
- ❖ Hidroxilamina al 0.1%
- ❖ Cloroformo( $\text{CHCl}_3$ ) al 99%

- ❖ Ditiocarbazona 0.0017 gr/100 ml cloroformo
- ❖ Agua desionizada
- ❖ Aire secado a través de un filtro apropiado que elimine aceite y humedad
- ❖ Solución estándar comercial de concentración de 1000 ppm (partes por Millón) o aproximada de los elementos, Cromo, Arsénico, Cadmio y Plomo.
- ❖ Solución de ácido clorhídrico al 1% (HCl).
- ❖ Solución de ácido nítrico al 1% (HNO<sub>3</sub>).

**Materiales de laboratorio:**

- Papel filtro No. 42
- Material usual de vidrio de laboratorio
- Vaso de precipitado de 400 ml
- Matraz Volumétrico de 50 ml y 100 ml
- Pipetas volumétricos: 1, 5, 10, 20, 50 ml
- Micropipetas de 10 y 1000 uL
- Puntas para micropipetas.
- Lunas de Reloj
- Pera de decantación
- Crisoles
- Espátulas
- Mandiles
- Baldes de plástico
- Lámparas de cátodo hueco de los elementos: Zinc, Cobre, Hierro, Cromo, Arsénico, Níquel, Cadmio y Plomo.

**3.3. TIPO DE ESTUDIO.**

El presente estudio de investigación es de tipo Descriptivo, de Corte transversal y Prospectivo.

Este estudio es de tipo Descriptivo, porque busca describir una serie de situaciones que ocurren en condiciones naturales: como es el caso de la Contaminación por Arsénico, Cromo, Cadmio, Plomo, de los reservorios de

aguas subterráneas captadas para consumo humano, y sus factores condicionantes.

Este estudio es de Corte transversal ya que se determinó de una sola vez las variables y de inmediato se procedió a su análisis; debido a que el estudio se efectuó en un momento dado, superando así la limitación del factor tiempo. En este caso la unidad de tiempo viene determinada sólo por las exigencias de las condiciones del estudio, es decir por lo necesario para recoger y analizar los datos.

Y a su vez este estudio es de tipo prospectivo, debido a que el estudio se realizó desde el inicio del muestreo con el análisis respectivo, y la información se registró según fueron ocurriendo los fenómenos.

## **DISEÑO NO EXPERIMENTAL**

El presente trabajo es no experimental porque no se manipularon las variables, los fenómenos ocurrieron naturalmente, sin intervenir en su desarrollo.

### **3.4. TIPO DE HIPÓTESIS: ASOCIATIVA- EXPLICATIVA**

La Hipótesis de dos o más variables con una relación es Asociativa ya que en éstas se postula una relación de confianza, o sea si se modifica una variable, también se modifica la otra (sin que se establezca una relación causa-efecto entre las variables), además este estudio tiene como objetivo indagar la incidencia y los valores en que se manifiestan, una o más variables y así proporcionar su descripción, a estas Hipótesis se llaman también Descriptivas.

La Hipótesis es Explicativa debido a que este estudio se encarga de responder a las causas de los eventos, es decir porque ocurre un fenómeno y en qué condiciones se da este.

### **3.5. POBLACIÓN DE ESTUDIO Y TAMAÑO DE MUESTRA:**

Reservorios de aguas subterráneas en la Provincia de Anta, Comunidades de San Cristóbal(A) y Nueva Anta (B).

#### **3.5.1. CARACTERÍSTICAS DE LA POBLACIÓN**

La población de estudio comprende los reservorios de aguas subterráneas. Consideramos al número poblacional como POBLACIÓN INFINITA ya que es difícil la determinación de la cantidad exacta del volumen del agua filtrado.

#### **3.5.2. TAMAÑO DE MUESTRA**

$N = 2$  Reservorios (captación directa)

##### **Muestras de la comunidad de San Cristóbal**

- Se muestreo 3 volúmenes distintos (2500 ml c/u) una vez por mes durante los meses Mayo, Junio, Julio del año 2011.
- En total se tuvo  $n= 9$  muestras para analizar (ver mapa de los puntos de muestreo en la pág. N° 15).

##### **Muestras de la comunidad de Nueva Anta.**

- Se muestreo 3 volúmenes distintos (2500 ml c/u) una vez por mes durante los meses: Mayo, Junio, Julio del año 2011.
- En total se tuvo  $n= 9$  muestras para analizar (ver mapa de los puntos de muestreo en la pág. N° 15).

Tuvimos un total de 18 muestras, a su vez en cada muestra se analizó los 4 metales estudiados (Pb, Cd, Cr, As), lo que finalmente implica 72 lecturas por espectrofotometría de absorción atómica.

### **3.6. IDENTIFICACIÓN, DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES:**

#### **3.6.1. VARIABLES IMPLICADAS:**

##### **a) CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO**

**Definición conceptual:** es la cantidad de Arsénico, que presentan las aguas subterráneas que sirven para el consumo humano.

**Definición operacional:**

**Naturaleza** : Cuantitativa

**Medición** : Indirecta

**Escala** : Proporción

**Procedimiento de medición:** se tomó muestras de captaciones de aguas subterráneas de ambas comunidades en estudio. Se determinó mediante el procedimiento espectrofotométrico de absorción atómica la concentración de Arsénico.

**Instrumento de medición:** Espectrofotómetro de absorción atómica.

**Indicador** : mg de Arsénico/Litro de agua.

**Expresión final de la variable:** ppm (mg/L)

Valores normales de Arsénico (Ver anexos 2, 3 ,4).

##### **b) CONCENTRACIÓN DE CROMO**

**Definición conceptual:** es la cantidad de Cromo, que presentan las aguas subterráneas que sirven para el consumo humano.



**Definición operacional:**

**Naturaleza** : Cuantitativa

**Medición** : Indirecta

**Escala** : Proporción

**Procedimiento de medición:** se tomó muestras de captaciones subterráneas de ambas comunidades en estudio. Se determinó mediante el procedimiento espectrofotométrico de absorción atómica la concentración de Cromo.

**Instrumento de medición:** Espectrofotómetro de absorción atómica.

**Indicador** : mg de Cromo/Litro de agua.

**Expresión final de la variable:** ppm (mg/L)

Valores normales de Cromo. (Ver anexos 2, 3 ,4).

**c) CONCENTRACIÓN DE CADMIO**

**Definición conceptual:** es la cantidad de Cadmio, que presentan las aguas subterráneas que sirven para el consumo humano.

**Definición operacional:**

**Naturaleza** : Cuantitativa

**Medición** : Indirecta

**Escala** : Proporción

**Procedimiento de medición:** se tomó muestras de captaciones de aguas subterráneas de ambas comunidades en estudio. Se determinó mediante el

procedimiento espectrofotométrico de absorción atómica la concentración de Cadmio.

**Instrumento de medición:** Espectrofotómetro de absorción atómica.

**Indicador** : mg de Cadmio/Litro de agua.

**Expresión final de la variable:** ppm (mg/L)

Valores normales de Cadmio. (Ver anexos 2, 3 ,4).

#### **d) CONCENTRACIÓN DE PLOMO**

**Definición conceptual:** es la cantidad de Plomo, que presentan las aguas subterráneas que sirven para el consumo humano.

**Definición operacional:**

**Naturaleza** : Cuantitativa

**Medición** : Indirecta

**Escala** : Proporción

**Procedimiento de medición:** se tomó muestras de captaciones de aguas subterráneas de ambas comunidades en estudio. Se determinó mediante el procedimiento espectrofotométrico de absorción atómica la concentración de Plomo.

**Instrumento de medición:** Espectrofotómetro de absorción atómica.

**Indicador** : mg de Plomo/Litro de agua.

**Expresión final de la variable:** ppm (mg/L)

Valores normales de Plomo. (Ver anexos 2, 3 ,4)

### **e) NIVEL DE DUREZA TOTAL**

**Definición conceptual:** la dureza del agua es la concentración de compuestos minerales en particular sales de calcio y magnesio, que presentan las aguas subterráneas, y que a su vez sirven para el consumo humano.

**Definición operacional:**

**Naturaleza** : Cuantitativa

**Medición** : Indirecta

**Escala** : Proporción

**Procedimiento de medición:** se tomó muestras de captaciones de aguas subterráneas de ambas comunidades en estudio. Se determinó mediante el procedimiento químico complexométrico, con la técnica instrumental de titulaciones.

**Instrumento de medición:** matraces y buretas volumétricas.

**Indicador** : mg de  $\text{CaCO}_3$ /Litro de agua.

**Expresión final de la variable:** ppm (mg/L)

Valores normales de Dureza total ver Anexos (N° 1,4)

### **f) NIVEL DE ALCALINIDAD**

**Definición conceptual:** La alcalinidad o basicidad es la medida de la capacidad ácido neutralizante de una disolución acuosa, es decir, la capacidad de ésta para mantener su pH estable frente a la adición de un ácido o una base, expresado en equivalentes de base por litro o en

equivalentes de carbonato de calcio, presentes en las aguas subterráneas que sirven para el consumo humano.

**Definición operacional:**

**Naturaleza** : Cuantitativa

**Medición** : Indirecta

**Escala** : Proporción

**Procedimiento de medición:** se tomó muestras de captaciones de aguas subterráneas de ambas comunidades en estudio. Se determinó mediante el procedimiento químico complexométrico, con la técnica instrumental de titulaciones.

**Instrumento de medición:** matraces y buretas volumétricas.

**Indicador** : mg de  $\text{CaCO}_3$ /Litro de agua.

**Expresión final de la variable:** ppm (mg/L)

Valores normales de Alcalinidad total ver Anexos (Nº 1,4).

**g) NIVEL DE ACIDEZ TOTAL**

**Definición conceptual:** está dada por la cantidad de iones  $\text{CO}_2$  que están presentes en las aguas subterráneas que sirven para el consumo humano.

**Definición operacional:**

**Naturaleza** : Cuantitativa

**Medición** : Indirecta

**Escala** : Proporción

**Procedimiento de medición:** se tomó muestras de captaciones de aguas subterráneas de ambas comunidades en estudio. Se determinó mediante el procedimiento complexométrico con la técnica instrumental de titulaciones

**Instrumento de medición:** Bureta Volumétrica.

**Indicador** : mg de CO<sub>2</sub>/Litro de agua.

**Expresión final de la variable:** ppm (mg/L)

Valores normales de Acidez total ver Anexos (Nº 1,4)

#### **h) NIVEL DE CLORUROS**

**Definición conceptual:** está dada por la cantidad de iones cloruro (Cl<sup>-</sup>) que presentan las aguas subterráneas que sirven para el consumo humano.

**Definición operacional:**

**Naturaleza** : Cuantitativa

**Medición** : Indirecta

**Escala** : Proporción

**Procedimiento de medición:** se tomó muestras de captaciones de aguas subterráneas de ambas comunidades en estudio. Se determinó mediante el procedimiento químico complexométrico, con la técnica instrumental de titulación Argentométrica.

**Instrumento de medición:** Bureta Volumétrica

**Indicador** : mg de Cl<sup>-</sup>/Litro de agua.

**Expresión final de la variable:** ppm (mg/L)

Valores normales de Cloruros ver Anexos (Nº 1,4)

### **i) NIVEL DE SULFATOS**

**Definición conceptual:** está dada por la cantidad de iones sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) provenientes del movimiento del agua a través de formaciones rocosas y suelos que contienen minerales sulfatados, gran parte de los compuestos sulfatados se originan a partir de la oxidación de menas de sulfato, presencia de grafito, arcilla, basaltos, que se disuelven en las aguas subterráneas y que a su vez sirven para el consumo humano.

**Definición operacional:**

**Naturaleza** : Cuantitativa

**Medición** : Indirecta

**Escala** : Proporción

**Procedimiento de medición:** se tomó muestras de captaciones de aguas subterráneas de ambas comunidades en estudio. Se determinó mediante el procedimiento Espectrofotométrico de Intercambio Iónico.

**Instrumento de medición:** Espectrómetro de intercambio iónico.

**Indicador** : mg de ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) /Litro de agua.

**Expresión final de la variable:** ppm (mg/L)

Valores Normales de Sulfatos ver Anexos (Nº 1,4)

## **j) NIVEL DE CONDUCTIVIDAD**

**Definición conceptual:** Es la capacidad de un material o de una disolución para transportar la corriente eléctrica. La conductividad del agua depende de la concentración y la naturaleza de los iones disueltos en ella, así como de la temperatura. Normalmente un aumento de sales supone un aumento de conductividad en las aguas subterráneas que sirven para el consumo humano.

**Definición operacional:**

**Naturaleza** : Cuantitativa

**Medición** : Directa

**Escala** : Proporción

**Procedimiento de medición:** se tomó muestras de captaciones de aguas subterráneas de ambas comunidades en estudio. Se determinó mediante el procedimiento Conductimétrico.

**Instrumento de medición:** Conductímetro o Conductivímetro

**Indicador** : microsiemens/cm

**Expresión final de la variable:** uS /cm.

Valores normales de Conductividad ver anexo (Nº 1,4).

## **k) NIVEL DE TURBIDEZ**

**Definición conceptual:** La turbidez o turbiedad es la falta de transparencia de un líquido debido a la presencia de partículas de materia en suspensión o dispersas (arcillas, limos, partículas de sílice, materia orgánica).

**Definición operacional:**

**Naturaleza** : Cuantitativa

**Medición** : Indirecta

**Escala** : Proporción

**Procedimiento de medición:** se tomó muestras de captaciones de aguas subterráneas de ambas comunidades en estudio. Se determinó mediante el procedimiento fotométrico, con la Técnica de Formacina o Nefelometría.

**Instrumento de medición:** Turbidímetro o Nefelómetro.

**Indicador** : (NTU) Unidad Nefelométrica de Turbidez.

**Expresión final de la variable:** NTU

Valores normales de Turbidez ver Anexo (Nº 1,4).

**I) DETERMINACIÓN DEL pH**

**Definición conceptual:** se define como el potencial de hidrogeniones relacionada a la concentración del ion hidronio  $[H_3O^+]$  presentes en las aguas subterráneas que sirven para el consumo humano.

**Definición operacional**

**Naturaleza:** Cuantitativa

**Medición:** Directa

**Escala:** Razón



**Procedimiento de medición:** se tomó muestras de captaciones de aguas subterráneas de ambas comunidades en estudio y se procedió a medir el pH mediante el procedimiento Potenciométrico

**Instrumento:** Potenciómetro o pH-metro.

**Indicador:** Potencial de hidrogeniones  $[H_3O^+]$ /agua

**Expresión final de la variable:** - log [Concentración de hidrogeniones-pH

Valores normales de pH ver Anexos (N° 1,4).

### **m) PROCEDENCIA DE LAS AGUAS**

**Definición conceptual.** El origen de aguas subterráneas es incierto pero para el estudio se obtuvo muestras de agua de sitios geográficamente definidos, las Comunidades de San Cristóbal y Nueva Anta ambos en la provincia de Anta.

#### **Definición operacional**

**Naturaleza:** cualitativa

**Medición:** directa

**Escala:** Nominal

**Instrumento:** fichas evaluación

**Indicador:** tipo de muestra /zona

**Expresión final de la variable:** Aguas Subterráneas/Comunidad

### **3.6.2. VARIABLES NO IMPLICADAS**

#### **DEL RESERVORIO:**

Capacidad y vida útil de los pozos

### **3.6.3. VARIABLES SUBJETIVAS.**

#### **DEL PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

- Observación del aforado durante las diluciones: el error posible cometido en la dilución será mínimo y no afectará en gran medida los resultados.
- Interacción de moléculas de agua con contaminantes inorgánicos (metales) para el arrastre, acumulación y afloramiento en determinado lugar.
- Valores obtenidos de la lectura en el equipo de absorción atómica: la lectura que nos da el espectrofotómetro de absorción atómica del Laboratorio de análisis químico C.M.A-AREQUIPA es digital, por lo tanto se descarta un posible error en las lecturas que influyan en los resultados.

## CUADRO RESUMEN DE VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL						
		NATURALEZA	MEDICIÓN	ESCALA	PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN	INSTRUMENTO	EXPRESIÓN FINAL	
VARIABLE IMPLICADA	CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO	Cantidad de Arsénico, que presentan las aguas subterráneas que sirven para el consumo humano.	CUANTITATIVA	INDIRECTA	RAZÓN	MÉTODO DE ABSORCIÓN ATÓMICA	ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA	mg/L (ppm)
	CONCENTRACIÓN DE CADMIO	Cantidad de Cadmio, que presentan las aguas subterráneas que sirven para el consumo humano.	CUANTITATIVA	INDIRECTA	RAZÓN	MÉTODO DE ABSORCIÓN ATÓMICA	ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA	mg/L (ppm)
	CONCENTRACIÓN DE CROMO	Cantidad de Cromo, que presentan las aguas subterráneas que sirven para el consumo humano.	CUANTITATIVA	INDIRECTA	RAZÓN	MÉTODO DE ABSORCIÓN ATÓMICA	ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA	mg/L (ppm)
	CONCENTRACIÓN DE PLOMO	Cantidad de Plomo, que presentan las aguas subterráneas que sirven para el consumo humano.	CUANTITATIVA	INDIRECTA	RAZÓN	MÉTODO DE ABSORCIÓN ATÓMICA	ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA	mg/L (ppm)
	PROCEDENCIA DE LAS AGUAS	Aguas subterráneas es incierto pero para el estudio se obtuvo muestras de agua de sitios geográficamente definidos, las Comunidades de San Cristóbal y Nueva Anta ambos en la provincia de Anta.	CUALITATIVA	DIRECTA	NOMINAL	FICHA DE EVALUACIÓN	BEACKER VOLUMETRICO	ml ò L
VARIABLE SUBJETIVA	DEL PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observación del aforado durante las diluciones: el error posible cometido en la dilución será mínimo y no afectará en gran medida los resultados.</li> <li>• Interacción de moléculas de agua con contaminantes inorgánicos (metales) para el arrastre, acumulación y afloramiento en determinado lugar.</li> <li>• Valores obtenidos de la lectura en el equipo de absorción atómica: la lectura que nos da el espectrofotómetro de absorción atómica del Laboratorio de análisis químico C.M.A-AREQUIPA es digital, por lo tanto se descarta un posible error en las lecturas que influyan en los resultados.</li> </ul>						

### **3.7. LIMITACIONES**

**El desarrollo del trabajo de investigación tuvo las siguientes limitaciones para su ejecución:**

- Escasa información referida al tema de investigación (datos experimentales sobre niveles de los metales analizados).
- No existen en nuestro país métodos de análisis químicos estandarizados y específicos para los metales mencionados.
- Desinterés de las entidades normativas de nuestro país, principalmente DIRESA-CUSCO.
- Nula sensibilización de la población respecto a la importancia del tema.
- El elevado costo de cada análisis.
- En la revisión bibliográfica consultada no se encontraron muchos trabajos similares a este tipo de estudio, por lo cual, se hizo difícil contrastar los resultados obtenidos.

### **3.8. CRITERIOS DE SELECCIÓN**

**Criterios de inclusión:**

- Muestras provenientes de reservorios de las comunidades de San Cristóbal y nueva Anta.
- Muestras en estado de almacenamiento, listo para la distribución y el consumo.

**Criterios de exclusión:**

- Muestras tomadas en el subsuelo aún no determinadas.

### **3.9. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:**

**ANÁLISIS FÍSICO–QUÍMICO DEL AGUA SUBTERRÁNEA PARA CONSUMO HUMANO, CUANTIFICACIÓN DE ELEMENTOS QUÍMICOS ALTAMENTE TÓXICOS: ARSÉNICO, CROMO, CADMIO, PLOMO, POR EL MÉTODO ESPECTROFOTOMÉTRICO DE ABSORCIÓN ATÓMICA EN EL DISTRITO DE ANTA:** se procedió a la recolección de las muestras, las cuales fueron procesadas utilizando el método específico para la determinación de metales pesados por espectrofotometría de absorción atómica.

#### **3.9.1. PROCEDIMIENTOS DESARROLLADOS:**

##### **3.9.1.1. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS**

###### **AGUA SUBTERRÁNEA:**

Se recolectó un volumen aproximado de 2000 a 2500 ml en un envase de material plástico de polietileno enjuagado previamente 3 veces con ácido nítrico 0.1 N. llenando el envase con agua que se encuentra en los reservorios de agua de dichas comunidades. Siempre existe la posibilidad de contaminación de la muestra y la pérdida del elemento a analizar, todas las fases del muestreo deberán ser realizadas con cuidado. Los metales que son determinados en la mayor parte de las muestras, están presentes en niveles traza (ppm) y consecuentemente cantidades pequeñas de contaminación alteran drásticamente las concentraciones de estas. Igualmente la pérdida de unos pocos microgramos del elemento tiene efectos serios. **(Aquino, Camacho; 2004).**

### **3.9.1.2. CUANTIFICACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS POR EL MÉTODO ESPECTROFOTOMÉTRICO DE ABSORCIÓN ATÓMICA.**

#### **A. CUANTIFICACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN AGUAS SUBTERRÁNEAS**

Se procedió a la recolección de muestras de aguas subterráneas, las cuales fueron procesadas utilizando el método específico espectrofotométrico de absorción atómica. **(Suess, 2004).**

#### **FUNDAMENTO DE LA EXTRACCIÓN DE PLOMO POR EL MÉTODO DE LA DITIZONA.**

El Plomo ionizado reacciona con la ditizona para dar un complejo coloreado: el ditizonato de Plomo, que presenta tonos entre verde y azul. La ditizona disminuye la tensión superficial de las disoluciones, produciendo gotas pequeñas y aumentando la cantidad de muestra que llega a la llama.

#### **MÉTODO DE LA DITIZONA**

La ditizona es el reactivo de elección cuando se trata de aislar cadmio de una solución conteniendo solo una parte pequeña de metales pesados tales como: cobre, plata, zinc, plomo, cadmio, cromo, arsénico, etc. Por lo que al combinarse la ditizona y el Plomo forma el ditizonato de Plomo, el cual puede ser extraído cuantitativamente de la solución débilmente básica, esta es fácilmente descompuesta por agitación del solvente orgánico con una solución acida diluida 0.01N de ácido clorhídrico. **(Suess, 2004).**

#### **PROCEDIMIENTOS**

- 1) A 500 ml. de la muestra agregamos 10 ml de HCL y se llevó a ebullición por espacio de cinco minutos y se dejó enfriar.
- 2) Llevamos a una pera de decantación de 1000 ml. Y adicionamos 10 ml. de solución de citrato de amonio, 2ml. de clorhidrato de hidroxilamina y 2 a 3 gotas de la solución de azul de timol como

indicador. Luego añadimos hidróxido de amonio (1:1) hasta que el líquido problema se torne azul.

- 3) Se agregó 10 a 20 ml. de solución clorofórmica de ditizona y agitamos durante unos 5 minutos, dejamos en reposo hasta que se separe la fase clorofórmica.
- 4) Luego pasamos a otra pera de decantación donde se agrega 5 ml. de solución clorofórmica de ditizona a la fase acuosa y se agita para lograr la extracción. Se repite este proceso hasta que la fase clorofórmica no cambie de color.
- 5) Juntamos los extractos obtenidos y lavamos con 20 ml. de hidróxido de amonio (1:100) y pasamos a otra pera de decantación, agregamos 20 ml. de ácido clorhídrico (1:50) y agitamos. Dejamos reposar para separar las fases luego depositamos en otra pera de decantación, añadiendo nuevamente 10 ml. de ácido clorhídrico (1:50), agitar y dejar reposar.
- 6) Finalmente reunimos los extractos acuosos anteriores para la determinación de Plomo en el espectrofotómetro de absorción atómica.
- 7) Siempre para cada grupo de pruebas se prepara la solución estándar de Plomo. **(Suess, 2004)**

### **OBTENCIÓN DE LA CURVA PATRÓN**

Se realizó las pruebas en el laboratorio de análisis por instrumentación del departamento de química de la UNSAAC y el laboratorio químico C.M.A – Arequipa. En esta prueba se obtuvo la curva patrón, con la cual se trabajó los datos obtenidos de las muestras para obtener las concentraciones respectivas.

**Procedimiento:** Se preparó una serie de soluciones estándares de nitrato de plomo a diferentes diluciones (0.01; 0.008; 0.006; 0.004; 0.002; 0.001 ppm de plomo) de las cuales se obtuvo sus respectivas absorbancias para la obtención de la curva patrón. Calibramos a cero el instrumento usando la

solución blanca y medimos la absorbancia de los estándares. Preparando para tal efecto una curva de calibración que relaciona la absorbancia con la concentración de plomo. (Suess, 2004).

### PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN ESTÁNDAR DE PLOMO

Trazado la curva patrón para lo cual se parte de un reactivo patrón de nitrato de plomo ( $\text{PbNO}_3$ ) (0.1 ppm) del cual se diluyo mediante la fórmula:

**a) 0.01 ppm**

$$\begin{aligned} C1.V1 &= C2.V2 \\ 0.01 \text{ ppm} \cdot 25 \text{ ml} &= 0.1 \text{ ppm} \cdot V2 \\ V2 &= 2.5 \text{ ml aforar a 25 ml de agua des ionizada.} \end{aligned}$$

**b) 0.008 ppm**

$$\begin{aligned} C1.V1 &= C2.V2 \\ 0.008 \text{ ppm} \cdot 25 \text{ ml} &= 0.01 \text{ ppm} \cdot V2 \\ V2 &= 20 \text{ ml aforar a 25ml de agua des ionizada.} \end{aligned}$$

**c) 0.006 ppm**

$$\begin{aligned} C1.V1 &= C2.V2 \\ 0.006 \text{ ppm} \cdot 25 \text{ ml} &= 0.008 \text{ ppm} \cdot V2 \\ V2 &= 18.75 \text{ ml aforar a 25 ml de agua des ionizada.} \end{aligned}$$

**d) 0.004 ppm**

$$\begin{aligned} C1.V1 &= C2.V2 \\ 0.004 \text{ ppm} \cdot 25 \text{ ml} &= 0.006 \text{ ppm} \cdot V2 \\ V2 &= 16.67 \text{ ml aforar a 25 ml de agua des ionizada.} \end{aligned}$$

**e) 0.002 ppm**

$$\begin{aligned} C1.V1 &= C2.V2 \\ 0.002 \text{ ppm} \cdot 25 \text{ ml} &= 0.004 \text{ ppm} \cdot V2 \\ V2 &= 12.5 \text{ ml aforar a 25ml de agua des ionizada.} \end{aligned}$$

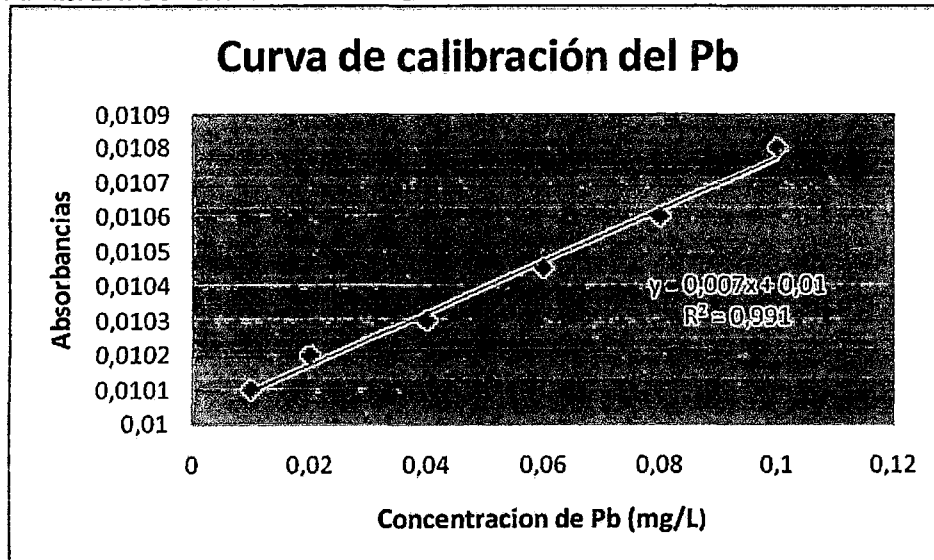
**f) 0.001 ppm**

$$\begin{aligned} C1.V1 &= C2.V2 \\ 0.001 \text{ ppm} \cdot 25 \text{ ml} &= 0.002 \text{ ppm} \cdot V2 \\ V2 &= 12.5 \text{ ml aforar a 25ml de agua des ionizada.} \end{aligned}$$



CONCENTRACIÓN DE PLOMO (mg/L)	ABSORBANCIA(nm)
0.001	0.0101
0.002	0.01018
0.004	0.0103
0.006	0.01045
0.008	0.0106
0.01	0.0108

Fuente: DATOS OBTENIDOS DEL LABORATORIO



Fuente: ANÁLISIS ESTADÍSTICO

## B. CUANTIFICACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN AGUAS SUBTERRÁNEAS

Se procedió a la recolección de muestras de aguas subterráneas, las cuales fueron procesadas utilizando el método específico espectrofotométrico de absorción atómica. (Suess, 2004)

### FUNDAMENTO DE LA EXTRACCIÓN DE CADMIO POR EL MÉTODO DE LA DITIZONA.

El cadmio ionizado reacciona con la ditizona para dar un complejo coloreado: el ditizonato de cadmio, que presenta tonos entre verde y azul. La ditizona disminuye la tensión superficial de las disoluciones, produciendo gotas pequeñas y aumentando la cantidad de muestra que llega a la llama.

## MÉTODO DE LA DITIZONA

La ditizona es el reactivo de elección cuando se trata de aislar cadmio de una solución conteniendo solo una parte pequeña de metales pesados tales como: cobre, plata, zinc, plomo, cadmio, cromo, arsénico, etc. Por lo que al combinarse la ditizona y el cadmio forma el ditizonato de cadmio, el cual puede ser extraído cuantitativamente de la solución débilmente básica, esta es fácilmente descompuesta por agitación del solvente orgánico con una solución acida diluida 0.01N de ácido clorhídrico. **(Suess, 2004).**

## PROCEDIMIENTOS

- 1) A 500 ml. de la muestra agregamos 10 ml de HCL y se llevó a ebullición por espacio de cinco minutos y se dejó enfriar.
- 2) Llevamos a una pera de decantación de 1000 ml. Y adicionamos 10 ml. de solución de citrato de amonio, 2ml. de clorhidrato de hidroxilamina y 2 a 3 gotas de la solución de azul de timol como indicador. Luego añadimos hidróxido de amonio (1:1) hasta que el líquido problema se torne azul.
- 3) Se agregó 10 a 20 ml. de solución clorofórmica de ditizona y agitamos durante unos 5 minutos, dejamos en reposo hasta que se separe la fase clorofórmica.
- 4) Luego pasamos a otra pera de decantación donde se agrega 5 ml. de solución clorofórmica de ditizona a la fase acuosa y se agita para lograr la extracción. Se repite este proceso hasta que la fase clorofórmica no cambie de color.
- 5) Juntamos los extractos obtenidos y lavamos con 20 ml. de hidróxido de amonio (1:100) y pasamos a otra pera de decantación, agregamos 20 ml. de ácido clorhídrico (1:50) y agitamos. Dejamos reposar para separar las fases luego depositamos en otra pera de decantación, añadiendo nuevamente 10 ml. de ácido clorhídrico (1:50), agitar y dejar reposar.

- 6) Finalmente reunimos los extractos acuosos anteriores para la determinación de cadmio en el espectrofotómetro de absorción atómica.
- 7) Siempre para cada grupo de pruebas se prepara la solución estándar de cadmio. **(Suess, 2004)**

### **OBTENCIÓN DE LA CURVA PATRÓN**

Se realizó las pruebas en el laboratorio de análisis por instrumentación del departamento de química de la UNSAAC y el laboratorio químico C.M.A – Arequipa. En esta prueba se obtuvo la curva patrón, con la cual se trabajó los datos obtenidos de las muestras para obtener las concentraciones respectivas.

#### ***Procedimiento:***

Se preparó una serie de soluciones estándares de Cadmio a diferentes diluciones (0.001; 0.002; 0.004; 0.006; 0.008; 0.01 ppm de Cadmio) de las cuales se obtuvo sus respectivas absorbancias para la obtención de la curva patrón. Calibramos a cero el instrumento usando la solución blanca y medimos la absorbancia de los estándares. Preparando para tal efecto una curva patrón. **(Suess, 2004).**

### **PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN ESTÁNDAR DE CADMIO**

Trazado la curva patrón para lo cual se parte de un reactivo patrón de Sulfato de Cadmio Cd (SO<sub>4</sub>) (0.1 ppm) del cual se diluyo mediante la fórmula:

#### **a) 0.01 ppm**

$$C1.V1 = C2.V2$$

$$0.01 \text{ ppm} \cdot 25 \text{ ml} = 0.1 \text{ ppm} \cdot V2$$

$$V2 = 2.5 \text{ ml aforar a 25 ml de agua des ionizada.}$$

**b) 0.008 ppm**

$$C1.V1 = C2.V2$$

$$0.008 \text{ ppm} \cdot 25 \text{ ml} = 0.008 \text{ ppm} \cdot V2$$

V2 = 20 ml aforar a 25ml de agua des ionizada.

**c) 0.006 ppm**

$$C1.V1 = C2.V2$$

$$0.006 \text{ ppm} \cdot 25 \text{ ml} = 0.008 \text{ ppm} \cdot V2$$

V2 = 18.75 ml aforar a 25 ml de des ionizada.

**d) 0.004 ppm**

$$C1.V1 = C2.V2$$

$$0.004 \text{ ppm} \cdot 25 \text{ ml} = 0.006 \text{ ppm} \cdot V2$$

V2 = 16.67 ml aforar a 25 ml de agua des ionizada.

**e) 0.002 ppm**

$$C1.V1 = C2.V2$$

$$0.002 \text{ ppm} \cdot 25 \text{ ml} = 0.004 \text{ ppm} \cdot V2$$

V2 = 12.5 ml aforar a 25ml de agua des ionizada.

**f) 0.001 ppm**

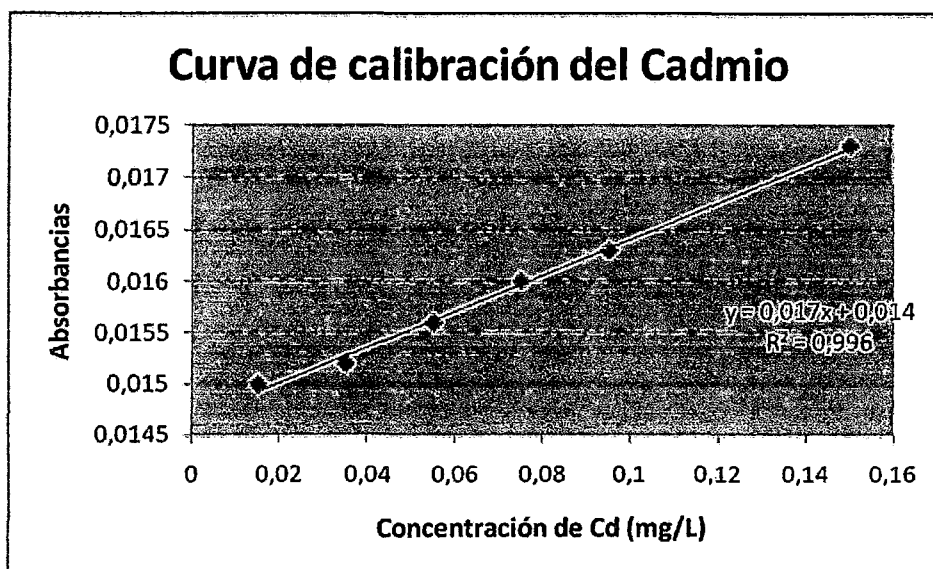
$$C1.V1 = C2.V2$$

$$0.001 \text{ ppm} \cdot 25 \text{ ml} = 0.002 \text{ ppm} \cdot V2$$

V2 = 12.5 ml aforar a 25ml de agua des ionizada

CONCENTRACIÓN DE CADMIO (mg/L)	ABSORBANCIA
0:001	0:0201
0:002	0:02018
0:004	0:0203
0:006	0:02045
0:008	0:0206
0:01	0:0208

FUENTE: DATOS OBTENIDOS DEL LABORATORIO



FUENTE: ANÁLISIS ESTADÍSTICO

### C. CUANTIFICACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CROMO EN AGUAS SUBTERRÁNEAS

Se procedió a la recolección de muestras de aguas subterráneas, las cuales fueron procesadas utilizando el método específico espectrofotométrico de absorción atómica. (Suess, 2004).

#### FUNDAMENTO DE LA EXTRACCIÓN DE CROMO POR EL MÉTODO DE LA DITIZONA

El Cromo total ionizado reacciona con la ditizona para dar un complejo coloreado: el ditizonato de Cromo, que presenta tonos entre verde y azul. La ditizona disminuye la tensión superficial de las disoluciones, produciendo gotas pequeñas y aumentando la cantidad de muestra que llega a la llama.

#### MÉTODO DE LA DITIZONA

La ditizona es el reactivo de elección cuando se trata de aislar Cromo de una solución conteniendo solo una parte pequeña de metales pesados tales como: cobre, plata, zinc, plomo, cadmio, cromo, arsénico, etc. Por lo que al combinarse la ditizona y el Cromo forma el ditizonato de Cromo, el cual puede ser extraído cuantitativamente de la solución débilmente básica, esta

es fácilmente descompuesta por agitación del solvente orgánico con una solución acida diluida 0.01N de ácido clorhídrico. **(Suess, 2004).**

## **PROCEDIMIENTOS**

- 1) A 500 ml. de la muestra agregamos 10 ml de HCL y se llevó a ebullición por espacio de cinco minutos y se dejó enfriar.
- 2) Llevamos a una pera de decantación de 1000 ml. Y adicionamos 10 ml. de solución de citrato de amonio, 2ml. de clorhidrato de hidroxilamina y 2 a 3 gotas de la solución de azul de timol como indicador. Luego añadimos hidróxido de amonio (1:1) hasta que el líquido problema se torne azul.
- 3) Se agregó 10 a 20 ml. de solución clorofórmica de ditizona y agitamos durante unos 5 minutos, dejamos en reposo hasta que se separe la fase clorofórmica.
- 4) Luego pasamos a otra pera de decantación donde se agrega 5ml. de solución clorofórmica de ditizona a la fase acuosa y se agita para lograr la extracción. Se repite este proceso hasta que la fase clorofórmica no cambie de color.
- 5) Juntamos los extractos obtenidos y lavamos con 20 ml. de hidróxido de amonio (1:100) y pasamos a otra pera de decantación, agregamos 20 ml. de ácido clorhídrico (1:50) y agitamos. Dejamos reposar para separar las fases luego depositamos en otra pera de decantación, añadiendo nuevamente 10 ml. de ácido clorhídrico (1:50), agitar y dejar reposar.
- 6) Finalmente reunimos los extractos acuosos anteriores para la determinación de Cromo Total en el espectrofotómetro de absorción atómica.
- 7) Siempre para cada grupo de pruebas se prepara la solución estándar, para este caso la de Cromo. **(Suess, 2004).**

### **OBTENCIÓN DE LA CURVA PATRÓN:**

Se realizó las pruebas en el laboratorio de análisis por instrumentación del departamento de química de la UNSAAC y el laboratorio químico C.M.A – AREQUIRA.

En esta prueba se obtuvo la curva patrón, con la cual se trabajó los datos obtenidos de las muestras para obtener las concentraciones respectivas.

**Procedimiento:** Se preparó una serie de soluciones estándares de Cromo a diferentes diluciones (0.0015; 0.0025; 0.0045; 0.0065; 0.0085; 0.015 ppm de Cromo) de las cuales se obtuvo sus respectivas absorbancias para la obtención de la curva patrón. Calibramos a cero el instrumento usando la solución blanca y medimos la absorbancia de los estándares. Preparando para tal efecto una curva patrón. **(Suess, 2004)**

### **PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN ESTÁNDAR DE CROMO**

Trazado la curva patrón para lo cual se parte de un reactivo patrón de dicromato de potasio  $K_2Cr_2O_7$  (0.1 ppm) del cual se diluyo mediante la fórmula:

#### **a) 0.015 ppm**

$$C1.V1 = C2.V2$$

$$0.015 \text{ ppm} \cdot 25 \text{ ml} = 0.1 \text{ ppm} \cdot V2$$

$$V2 = 3.75 \text{ ml aforar a 25 ml de agua des ionizada.}$$

#### **b) 0.0085 ppm**

$$C1.V1 = C2.V2$$

$$0.0085 \text{ ppm} \cdot 25 \text{ ml} = 0.1 \text{ ppm} \cdot V2$$

$$V2 = 14.17 \text{ ml aforar a 25ml de agua des ionizada.}$$

#### **c) 0.0065 ppm**

$$C1.V1 = C2.V2$$

$$0.0065 \text{ ppm} \cdot 25 \text{ ml} = 0.0085 \text{ ppm} \cdot V2$$

$$V2 = 19.11 \text{ ml aforar a 25 ml de agua des ionizada.}$$

#### **d) 0.0045 ppm**

$$C1.V1 = C2.V2$$

$$0.0045 \text{ ppm} \cdot 25 \text{ ml} = 0.0065 \text{ ppm} \cdot V2$$

$$V2 = 17.30 \text{ ml aforar a 25 ml de agua des ionizada.}$$

e) **0.0025 ppm**

$$C1.V1 = C2.V2$$

$$0.0025 \text{ ppm} \cdot 25 \text{ ml} = 0.0045 \text{ ppm} \cdot V2$$

$$V2 = 13.88 \text{ ml aforar a 25 ml de agua des ionizada.}$$

f) **0.0015 ppm**

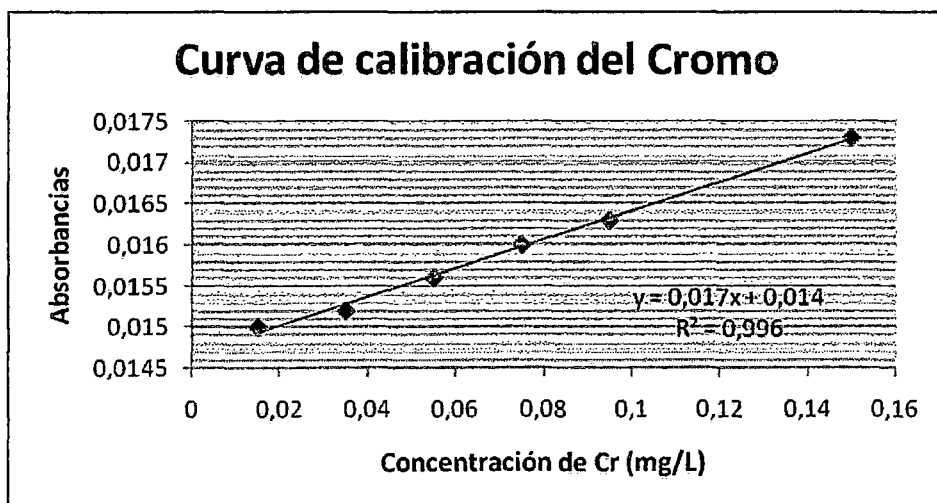
$$C1.V1 = C2.V2$$

$$0.0015 \text{ ppm} \cdot 25 \text{ ml} = 0.0025 \text{ ppm} \cdot V2$$

$$V2 = 15 \text{ ml aforar a 25 ml de agua des ionizada.}$$

CONCENTRACIÓN DE CROMO(mg/L)	ABSORBANCIA
0.0015	0.0151
0.0025	0.015118
0.0045	0.0153
0.0065	0.01544
0.0085	0.0156
0.015	0.016

FUENTE: DATOS OBTENIDOS DEL LABORATORIO



FUENTE: ANÁLISIS ESTADÍSTICO

#### D. CUANTIFICACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS SUBTERRÁNEAS

Se procedió a la recolección de muestras de aguas subterráneas, las cuales fueron procesadas utilizando el método específico espectrofotométrico de absorción atómica. (Suess, 2004).



## **FUNDAMENTO DE LA EXTRACCIÓN DE ARSÉNICO POR EL MÉTODO DE LA DITIZONA**

El Arsénico ionizado reacciona con la ditizona para dar un complejo coloreado: el ditizonato de Arsénico, que presenta tonos entre verde y azul. La ditizona disminuye la tensión superficial de las disoluciones, produciendo gotas pequeñas y aumentando la cantidad de muestra que llega a la llama.

### **MÉTODO DE LA DITIZONA**

La ditizona es el reactivo de elección cuando se trata de aislar Arsénico de una solución conteniendo solo una parte pequeña de metales pesados tales como: cobre, plata, zinc, plomo, cadmio, cromo, arsénico, etc. Por lo que al combinarse la ditizona y el Arsénico forma el ditizonato de Arsénico, el cual puede ser extraído cuantitativamente de la solución débilmente básica, esta es fácilmente descompuesta por agitación del solvente orgánico con una solución acida diluida 0.01N de ácido clorhídrico. **(Suess, 2004)**

### **PROCEDIMIENTO:**

- 1) A 500 ml. de la muestra agregamos 10 ml de HCL y se llevó a ebullición por espacio de cinco minutos y se dejó enfriar.
- 2) Llevamos a una pera de decantación de 1000 ml. Y adicionamos 10 ml. de solución de citrato de amonio, 2ml. de clorhidrato de hidroxilamina y 2 a 3 gotas de la solución de azul de timol como indicador. Y finalmente añadimos hidróxido de amonio (1:1) hasta que el líquido problema se torne azul.
- 3) Se agregó 10 a 20 ml. de solución clorofórmica de ditizona y agitamos durante unos 5 minutos, dejamos en reposo hasta que se separe la fase clorofórmica.
- 4) Luego pasamos a otra pera de decantación donde se agrega 5ml. de solución clorofórmica de ditizona a la fase acuosa y se agita para

lograr la extracción. Se repite este proceso hasta que la fase clorofórmica no cambie de color.

- 5) Juntamos los extractos obtenidos y lavamos con 20 ml. de hidróxido de amonio (1:100) y pasamos a otra pera de decantación, agregamos 20 ml. de ácido clorhídrico (1:50) y agitamos. Dejamos reposar para separar las fases luego depositamos en otra pera de decantación, añadiendo nuevamente 10 ml. de ácido clorhídrico (1:50), agitar y dejar reposar.
- 6) Finalmente reunimos los extractos acuosos anteriores para la determinación de Arsénico en el espectrofotómetro de absorción atómica.
- 7) Siempre para cada grupo de pruebas se prepara la solución estándar, para este caso la de Arsénico. **(Suess, 2004)**

#### **OBTENCIÓN DE LA CURVA PATRÓN:**

Se realizó las pruebas en el laboratorio de análisis por instrumentación del departamento de química de la UNSAAC y el laboratorio químico C.M.A – AREQUIPA.

En esta prueba se obtuvo la curva patrón, con la cual se trabajó los datos obtenidos de las muestras para obtener las concentraciones respectivas.

#### **Procedimiento:**

Se preparó una serie de soluciones estándares de Arsénico a diferentes diluciones (0.015; 0.035; 0.055; 0.075; 0.095; 0.15 ppm de Arsénico) de las cuales se obtuvo sus respectivas absorbancias para la obtención de la curva patrón. Calibramos a cero el instrumento usando la solución blanca y medimos la absorbancia de los estándares. Preparando para tal efecto una curva patrón **(Suess, 2004)**.

## PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN ESTÁNDAR DE ARSÉNICO

Se parte de una solución patrón de Arsénico (0.1 ppm) del cual se diluyo mediante la fórmula:

**a) 0.15 ppm**

$$C1.V1 = C2.V2$$

$$0.15 \text{ ppm} \cdot 25 \text{ ml} = 0.1 \text{ ppm} \cdot V2$$

$$V2 = 2.5 \text{ ml aforar a 25 ml de agua des ionizada.}$$

**b) 0.095 ppm**

$$C1.V1 = C2.V2$$

$$0.095 \text{ ppm} \cdot 25 \text{ ml} = 0.15 \text{ ppm} \cdot V2$$

$$V2 = 15.8 \text{ ml aforar a 25ml de agua des ionizada.}$$

**c) 0.075 ppm**

$$C1.V1 = C2.V2$$

$$0.075 \text{ ppm} \cdot 25 \text{ ml} = 0.095 \text{ ppm} \cdot V2$$

$$V2 = 19.73 \text{ ml aforar a 25 ml de agua des ionizada.}$$

**d) 0.055 ppm**

$$C1.V1 = C2.V2$$

$$0.055 \text{ ppm} \cdot 25 \text{ ml} = 0.075 \text{ ppm} \cdot V2$$

$$V2 = 18.33 \text{ ml aforar a 25 ml de agua des ionizada.}$$

**e) 0.035 ppm**

$$C1.V1 = C2.V2$$

$$0.035 \text{ ppm} \cdot 25 \text{ ml} = 0.055 \text{ ppm} \cdot V2$$

$$V2 = 15.9 \text{ ml aforar a 25ml de agua des ionizada.}$$

**f) 0.015 ppm**

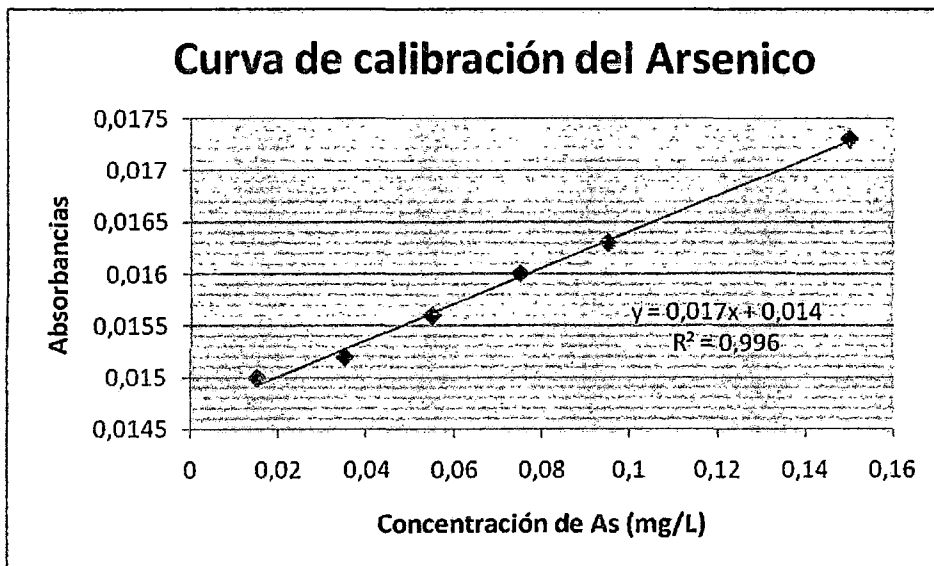
$$C1.V1 = C2.V2$$

$$0.015 \text{ ppm} \cdot 25 \text{ ml} = 0.035 \text{ ppm} \cdot V2$$

$$V2 = 10.71 \text{ ml aforar a 25ml de agua destilada}$$

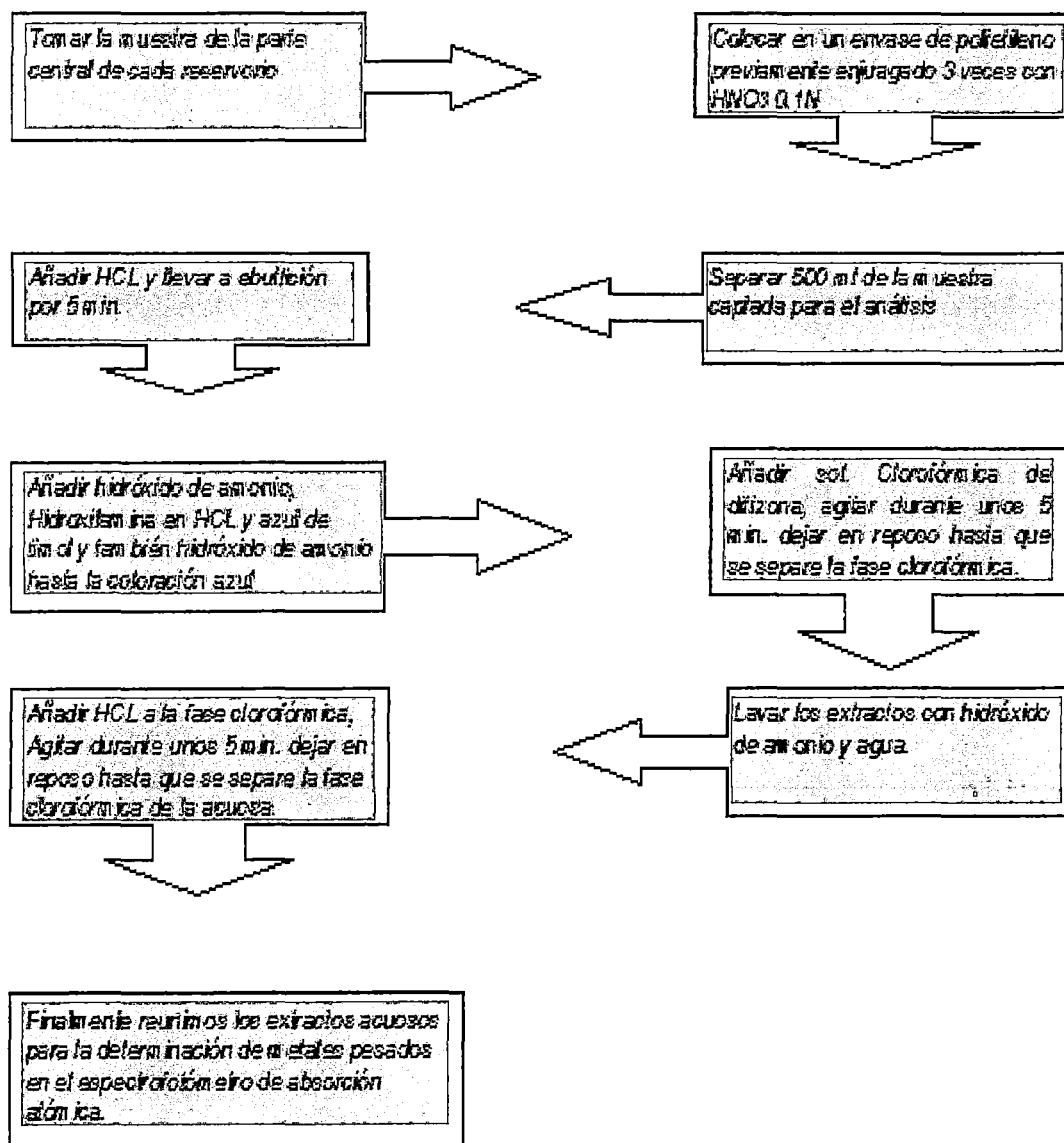
CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO(mg/L)	ABSORBANCIA
0.015	0.015
0.035	0.0152
0.055	0.0156
0.075	0.016
0.095	0.0163
0.15	0.0173

FUENTE: DATOS OBTENIDOS DEL LABORATORIO



FUENTE: ANÁLISIS ESTADÍSTICO

## FLUJOGRAMA DE TRABAJO EN EL LABORATORIO PARA LA CUANTIFICACION DE METALES PESADOS



Fuente: Elaboración Propia

### **3.9.1.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **PRIMERA FASE:**

- Recopilación de datos bibliográficos
- Elección del método analítico para la cuantificación de metales pesados.

#### **SEGUNDA FASE:**

- Recolección de muestras: Aguas Subterráneas
- Pre tratamiento de muestras: Aguas Subterráneas
- Lecturas de la concentración de metales pesados en estudio por el método Espectrofotométrico de Absorción Atómica.
- Una vez obtenidos los resultados del análisis en laboratorio, se procedió a la entrega de resultados y difusión de las medidas de prevención.
  - Difusión oral: exposiciones y charlas.
  - Difusión escrita: trípticos e informes escritos a diversas entidades.
  - Otros: Difusión radial en el Distrito de Anta.

### **3.9.1.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN**

Cada uno de los datos obtenidos se alimentaran en la base de datos del paquete estadístico SPSS: V 18 en Español. El análisis se realizó en una sola fase:

- Caracterización de la muestra: se utilizaran cuadros estadísticos, donde se determinaron las medidas de tendencia central, la media, mediana, y desviación típica.

### **3.9.1.5. RECURSOS**

#### **a. RECURSOS HUMANOS**

- **Tesistas:** Bach. Gilder Accostupa Quispe  
Bach. Richard Mamani Tunqui
- **ASESOR:** DR. Nerio Góngora Amaut

Docente principal de la Carrera Profesional de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).

- **COASESOR:** Ing. Qco. Mario Cumpa Cayuri

Docente principal de la Carrera Profesional de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).

- **COLABORADORES:** Mcs. Deyvid Loayza Ayala

Mayor PNP. Q.F. Carlos A. Moreyra Pachas

#### **b. RECURSOS MATERIALES: INFRAESTRUCTURA**

- Laboratorio de Análisis Fisicoquímico de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).
- Laboratorio de Análisis Químico, Control de Calidad en Medio Ambiente C.M.A-Arequipa.

#### **c. RECURSOS FINANCIEROS:**

- Recursos Propios el cálculo del costo se realizará acorde al tiempo de ejecución del proyecto.
- Apoyo económico de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, mediante resolución N°

## **CAPITULO IV**

# **RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN**



## CAPITULO IV

### RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

#### 4. RESULTADOS

##### 4.1. DE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LAS COMUNIDADES EN ESTUDIO.

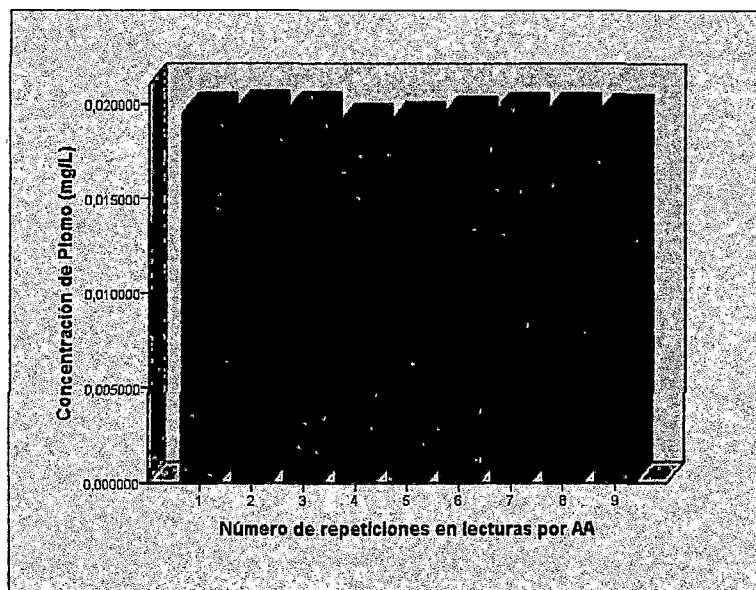


GRAFICO Nº 4.1.1: LECTURAS DE CONCENTRACIONES DE PLOMO PARA LA COMUNIDAD DE SAN CRISTÓBAL - ANTA

CUADRO Nº 4.1.1: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS PARA LAS LECTURAS DE PLOMO PARA LA COMUNIDAD DE SAN CRISTÓBAL - ANTA

#### Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. tjp.	Varianza
PLOMO COMUNIDAD DE SAN CRISTÓBAL	9	,018900	,019600	,01936667	,000251247	,000
N válido (según lista)	9					

#### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN:**

En el gráfico Nº 4.1.1: se observa una misma muestra de agua subterránea de la comunidad de San Cristóbal, la cual se analizó por triplicado y con tres repeticiones, con el fin de obtener resultados de mayor significancia estadística,

por la técnica espectrofotométrica de absorción atómica, de los cuales en el cuadro N° 4.1.1: se observan los estadísticos descriptivos, donde se obtiene la media de: 0.01936667, con una desviación estándar de: 0.000251247, lo que nos indica que el valor real de la concentración de Plomo en las aguas subterráneas de la comunidad de San Cristóbal es de:  $0.01936667 \pm 0.000251247$  mg/L, con una varianza de 0.000, lo que a su vez nos indica que hubo un error insignificante en el procesamiento y análisis de la muestra en investigación.

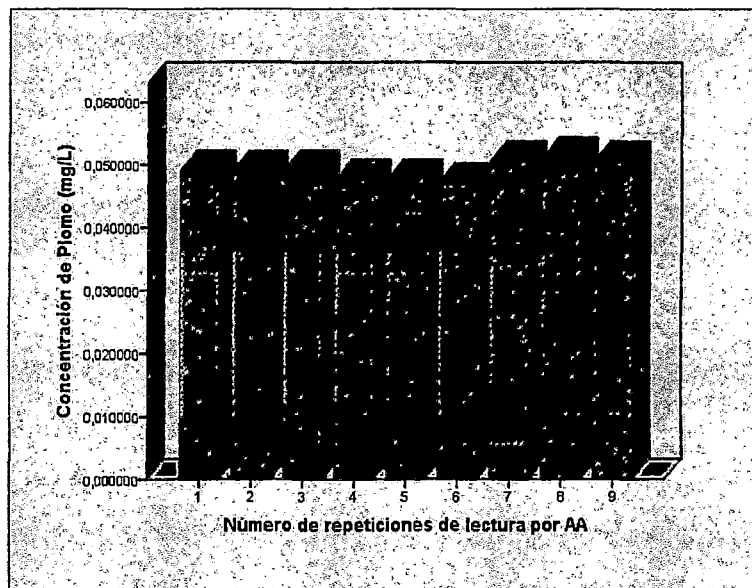


GRAFICO N° 4.1.2: LECTURAS DE CONCENTRACIONES DE PLOMO PARA LA COMUNIDAD DE NUEVA ANTA - ANTA

CUADRO N° 4.1.2: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS PARA LAS LECTURAS DE PLOMO PARA LA COMUNIDAD DE NUEVA ANTA - ANTA

**Estadísticos descriptivos**

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	Varianza
PLOMO COMUNIDAD NUEVA ANTA	9	,047000	,051000	,04898333	,001458595	,000
N válido (según lista)	9					

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN:**

En el gráfico N° 4.1.2. Se observa una misma muestra de agua subterránea de la comunidad de Nueva Anta, la cual se analizó por triplicado y con tres repeticiones con el fin de obtener resultados de mayor significancia estadística, por la técnica espectrofotométrica de absorción atómica, de los cuales en el cuadro N° 4.1.2. Se observan los estadísticos descriptivos, donde se obtiene la media de: 0.04898333, con una desviación estándar de: 0.001458595, lo que nos indica que el valor real de la concentración de Plomo en las aguas subterráneas de la comunidad de Nueva Anta es de:  $0.04898333 \pm 0.001458595$  mg/L, con una varianza de 0.000, lo que a su vez nos indica que hubo un error insignificante en el procesamiento y análisis de la muestra en investigación.

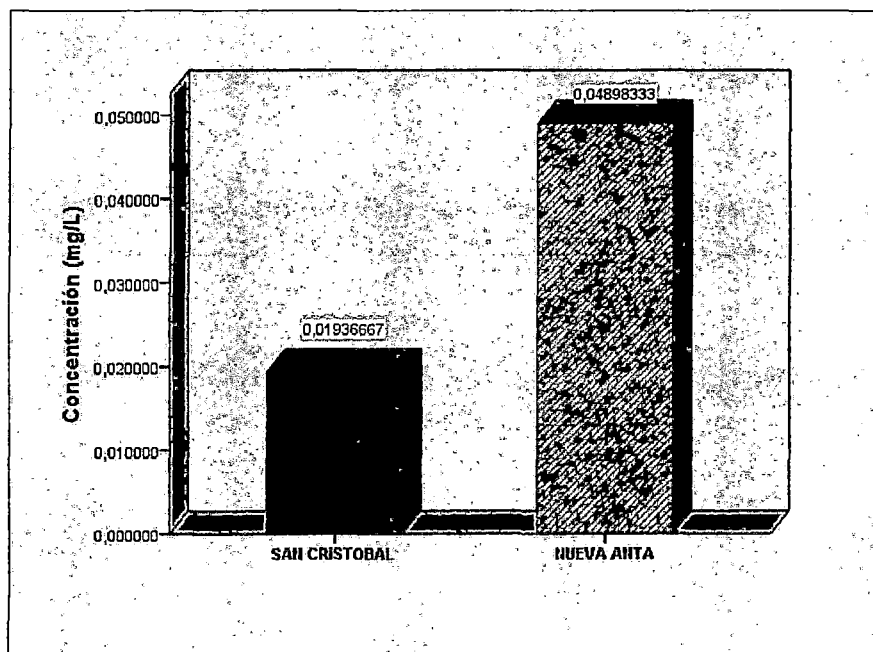


GRAFICO N° 4.1.3: CONCENTRACIONES DE PLOMO PARA LA COMUNIDAD DE SAN CRISTÓBAL Y NUEVA ANTA - ANTA

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN:**

En el gráfico N° 4.1.3. Se puede observar las concentraciones de Plomo en las muestras de agua subterráneas de las comunidades de San Cristóbal y Nueva Anta, ambos de la provincia de Anta, empleándose el método espectrofotométrico de absorción atómica

Se encontró que la concentración promedio de plomo del total de las aguas subterráneas de la comunidad de San Cristóbal fue de **0.01936667 mg Pb/L** y el promedio de Plomo total de las aguas subterráneas de la comunidad de Nueva Anta fue de **0.04898333 mg /L**, los cuales no exceden la concentración máxima permisible dada por la Norma Técnica Peruana 214.003.87 (**0.05 mg/L**) pero exceden a la concentración máxima permisible dada por la Organización Mundial de la Salud (**0.01 mg/L**).

**La Norma Técnica Peruana 214.003.87** establece el valor máximo permisible de 0.05 mg Pb /L en agua para consumo humano. La **Organización Mundial de la Salud** establece 0.01 mg Pb /L en agua de consumo humano. **Blanco H. et al. 2000** determinó 0.061 mg Pb /L en agua para consumo humano (SALAMANCA). **Segura M. et al. 2001** determinó valores superiores a 0,01 mg Pb /L en agua para consumo humano (BRASIL). **Yupanqui T. 2006** determinó 0.053 mg Pb /L en agua para consumo humano (ANCASH - PERÚ). **Del Toro D. et al. 2010** determinó 0,09498 µg Pb/L en agua para consumo humano (SAN PEDRO - CAMAGUEY).

Concluimos que la elevada cantidad de plomo en aguas subterráneas de la comunidad de Nueva Anta puede ser producto de: cercanía a la autopista, grifos de expendio de combustible, talleres mecánicos, ubicada dentro del parque de diversión que es pintado constantemente.

#### 4.2. DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LAS COMUNIDADES EN ESTUDIO.

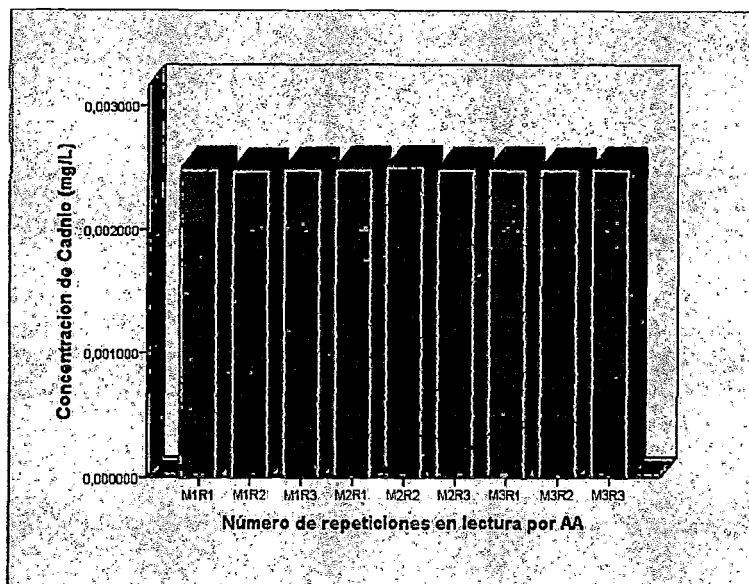


GRAFICO Nº 4.2.1: LECTURAS DE CONCENTRACIONES DE CADMIO PARA LA COMUNIDAD DE SAN CRISTÓBAL - ANTA

#### CUADRO Nº 4.2.1: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS PARA LAS LECTURAS DE CADMIO PARA LA COMUNIDAD DE SAN CRISTÓBAL - ANTA

Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Suma	Media	Desv. típ.	Varianza
CADMIO - COMUNIDAD DE SAN CRISTÓBAL - ANTA	9	,002485	,002510	,022475	,00249722	,000007120	,000
<i>N válido (según lista)</i>	9						

#### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN:

En el gráfico Nº 4.2.1: Se observa una misma muestra de agua subterránea de la comunidad de San Cristóbal, la cual se analizó por triplicado y con tres repeticiones, con el fin de obtener resultados de mayor significancia estadística, por la técnica espectrofotométrica de absorción atómica, de los cuales en el cuadro Nº: 4.2.1: Se observan los estadísticos descriptivos, donde se obtiene la media de: **0.00249722**, con una desviación estándar de: **0.00007120**, lo que nos indica que el valor real de la concentración de Cadmio en las aguas subterráneas

de la comunidad de San Cristóbal es de: **0.00249722 ± 0.00007120 mg/L**, con una varianza de 0.000, lo que a su vez nos indica que hubo un error insignificante en el procesamiento y análisis de la muestra en investigación.

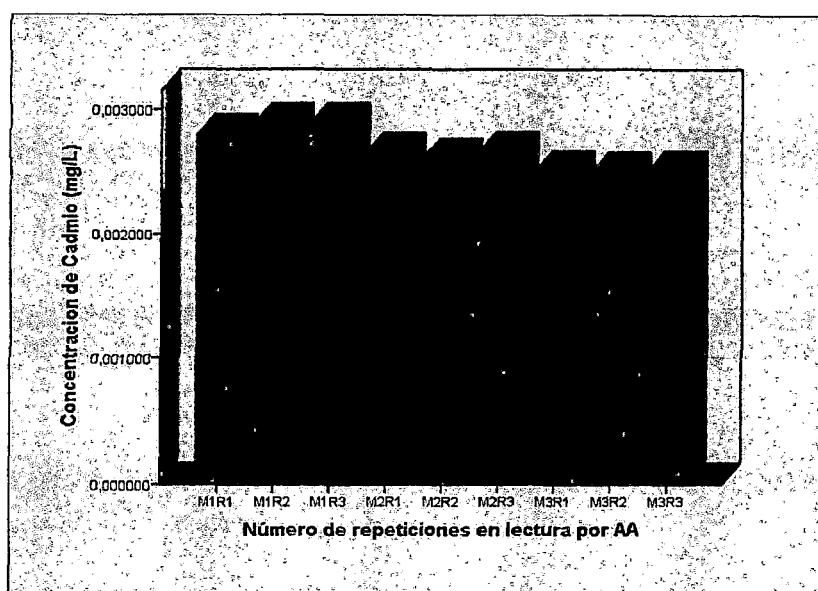


GRAFICO N°: 4.2.2: LECTURAS DE CONCENTRACIONES DE CADMIO PARA LA COMUNIDAD DE NUEVA ANTA - ANTA

CUADRO N° 4.2.2: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS PARA LAS LECTURAS DE CADMIO PARA LA COMUNIDAD DE NUEVA ANTA - ANTA

Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Suma	Media	Desv. típ.	Varianza
CADMIO - COMUNIDAD DE NUEVA ANTA - ANTA	9	,002490	,002890	,023970	,00266333	,000160799	,000
<i>N válido (según lista)</i>	9						

**ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN:**

En el gráfico N° 4.2.2: Se observa una misma muestra de agua subterránea de la comunidad de Nueva Anta, la cual se analizó por triplicado y con tres repeticiones, con el fin de obtener resultados de mayor significancia estadística, por la técnica espectrofotométrica de absorción atómica, de los cuales en el cuadro N° 4.2.2: Se observan los estadísticos descriptivos, donde se obtiene la media de: **0.00266333**, con una desviación estándar de: **0.000160799**, lo que nos indica que el valor real de la concentración de Cadmio en las aguas subterráneas de la comunidad de

Nueva Anta es de: **0.00266333 ± 0.000160799 mg/L**, con una varianza de 0.000, lo que a su vez nos indica que hubo un error nulo o insignificante en el procesamiento y análisis de la muestra en investigación.

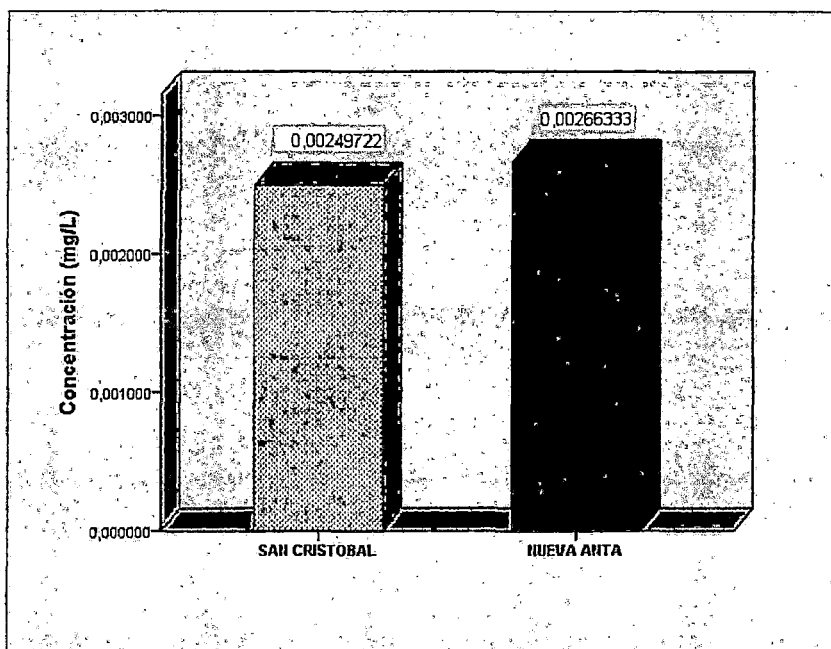


GRAFICO N° 4.2.3: CONCENTRACIONES DE CADMIO PARA LA COMUNIDAD DE SAN CRISTÓBAL Y NUEVA ANTA - ANTA

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN:**

En el gráfico N° 4.2.3. Se puede observar las concentraciones de Cadmio en las muestras de aguas subterráneas de las comunidades de San Cristóbal y Nueva Anta, ambos de la provincia de Anta, empleándose el método espectrofotométrico de absorción atómica. Se encontró que la concentración promedio de Cadmio del total de las aguas subterráneas de la comunidad de San Cristóbal fue de **0.002497 mg Cd /L** y el promedio de Cadmio total de las aguas subterráneas de la comunidad de Nueva Anta fue de **0.002663 mg Cd/L**, los cuales no exceden la concentración máxima permisible dada por la Norma Técnica Peruana 214.003.87 (**0.003 mg/L**) y la Organización Mundial de la Salud (**0.003 mg /L**). Por lo que estas aguas son aptas para consumo humano.

Estos resultados nos sugieren que no existen variaciones significativas en el contenido de cadmio en las aguas subterráneas en el distrito de Anta, ya que las dos comunidades en mención presentan el mismo piso geográfico.

La Norma Técnica Peruana 214.003.87 establece el valor máximo permisible de 0.003 mg Cd/L en agua para consumo humano. La Organización Mundial de la Salud 0.003 mg Cd/L en agua para consumo humano. Blanco H. et al. 2000 determinó 0.069 mg Cd/L en agua para consumo humano (SALAMANCA). Segura M. et al. 2001 determinó valores mayores a 0,003 mg Cd/L en agua para consumo humano (BRASIL). Yupanqui T. 2006 determinó 0.065 mg Cd/L en agua para consumo humano (ANCASH - PERÚ).

#### 4.3. DE LA CONCENTRACIÓN DE CROMO EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LAS COMUNIDADES EN ESTUDIO.

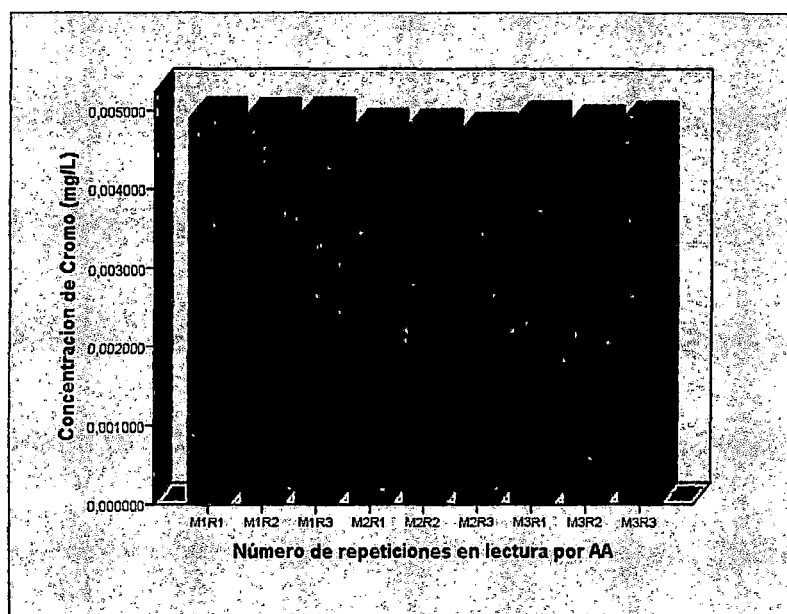


GRAFICO N° 4.3.1: LECTURAS DE CONCENTRACIONES DE CROMO PARA LA COMUNIDAD DE SAN CRISTÓBAL - ANTA

#### CUADRO N° 4.3.1: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS PARA LAS LECTURAS DE CROMO PARA LA COMUNIDAD DE SAN CRISTÓBAL - ANTA

##### Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Suma	Media	Desv. tfp.	Varianza
CROMO - COMUNIDAD DE SAN CRISTÓBAL - ANTA	9	,004700	,004900	,043385	,00482056	,000073673	,000
<i>N válido (según lista)</i>	9						



**ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN:**

En el gráfico N° 4.3.1: Se observa una misma muestra de agua subterránea de la comunidad de San Cristóbal, la cual se analizó por triplicado y con tres repeticiones, con el fin de obtener resultados de mayor significancia estadística, por la técnica espectrofotométrica de absorción atómica, de los cuales en el cuadro N° 4.3.1: Se observan los estadísticos descriptivos, donde se obtiene la media de: **0.00482056**, con una desviación estándar de: **0.000073673**, lo que nos indica que el valor real de la concentración de Cromo en las aguas subterráneas de la comunidad de San Cristóbal es de: **0.00482056 ± 0.000073673 mg/L**, con una varianza de 0.000, lo que a su vez nos indica que hubo un error insignificante en el procesamiento y análisis de la muestra en investigación.

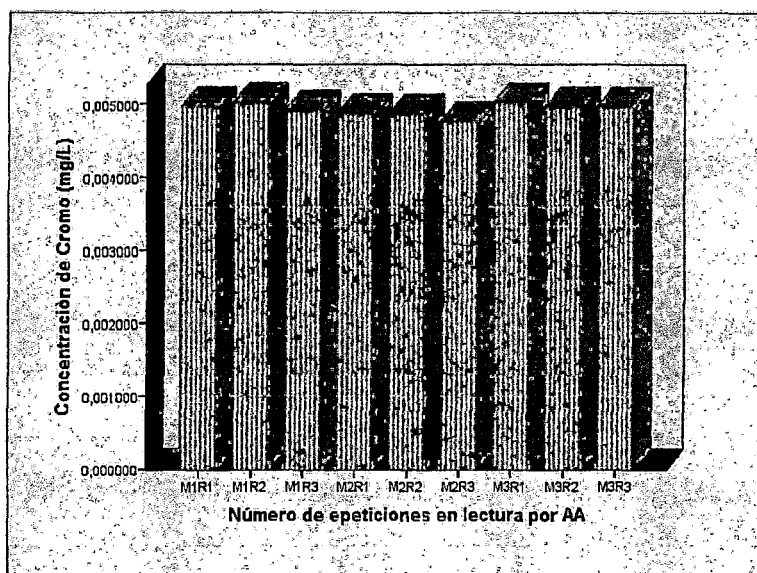


GRAFICO N° 4.3.2: LECTURAS DE CONCENTRACIONES DE CROMO PARA LA COMUNIDAD DE NUEVA ANTA – ANTA

CUADRO N° 4.3.2: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS PARA LAS LECTURAS DE CROMO PARA LA COMUNIDAD DE NUEVA ANTA - ANTA

**Estadísticos descriptivos**

	N	Mínimo	Máximo	Suma	Media	Desv. típ.	Varianza
CROMO - COMUNIDAD DE NUEVA ANTA – ANTA	9	,004750	,005000	,044200	,00491111	,000082074	,000
N válido (según lista)	9						

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN:**

En el gráfico N° 4.3.2: Se observa una misma muestra de agua subterránea de la comunidad de Nueva Anta, la cual se analizó por triplicado y con tres repeticiones con el fin de obtener resultados de mayor significancia estadística, por la técnica espectrofotométrica de absorción atómica, de los cuales en el cuadro N° 4.3.2: Se observan los estadísticos descriptivos, donde se obtiene la media de: **0.00491111**, con una desviación estándar de: **0.000082074**, lo que nos indica que el valor real de la concentración de Cromo total en las aguas subterráneas de la comunidad de Nueva Anta es de: **0.00491111 ± 0.000082074 mg/L**, con una varianza de 0.000, lo que a su vez nos indica que hubo un error insignificante en el procesamiento y análisis de la muestra en investigación.

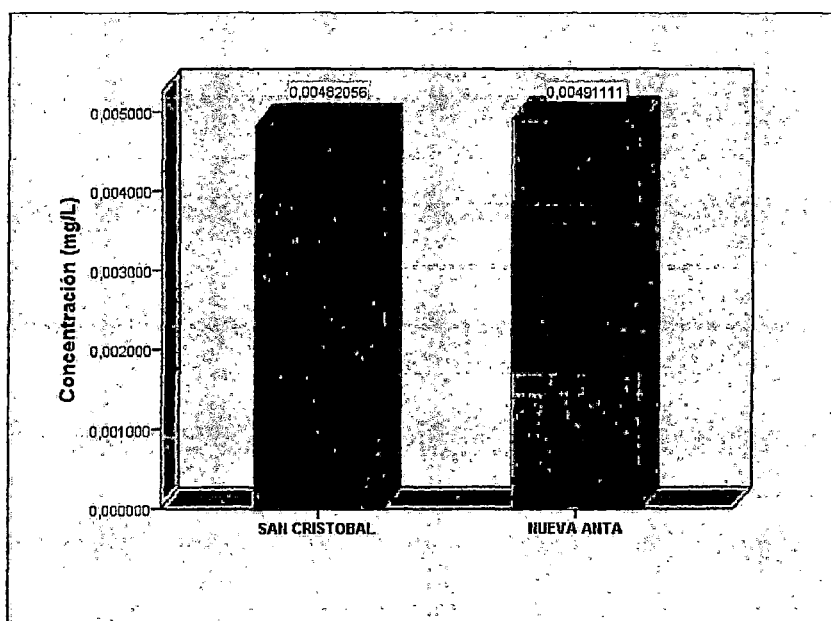


GRAFICO N° 4.3.3: CONCENTRACIONES DE CROMO TOTAL PARA LA COMUNIDAD DE SAN CRISTÓBAL Y NUEVA ANTA - ANTA

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN:**

En el gráfico N° 4.3.3. Se puede observar las concentraciones de Cromo en las muestras de agua subterráneas de las comunidades de San Cristóbal y Nueva Anta, ambos de la provincia de Anta, empleándose el método espectrofotométrico de absorción atómica

Se encontró que la concentración promedio de Cromo del total de las aguas subterráneas de la comunidad de San Cristóbal fue de **0.00482056 mg Cr /L** y el promedio de Cromo total de las aguas subterráneas de la comunidad de Nueva Anta fue de **0.00491111 mg Cr/L**, los cuales no exceden la concentración máxima permisible dada por la Norma Técnica Peruana 214.003.87 (**0.05 mg/L**) y la Organización Mundial de la Salud (**0.05 mg /L**). Por lo que estas aguas son aptas para consumo humano.

Estos resultados nos sugieren que no existen variaciones significativas en el contenido de Cromo total en las aguas subterráneas en el distrito de Anta, ya que las dos comunidades en mención presentan el mismo piso geográfico.

La **Norma Técnica Peruana 214.003.87** establece el valor máximo permisible de 0.05 mg Cr/L en agua para consumo humano. La **Organización Mundial de la Salud** establece 0.05 mg Cr/L en agua para consumo humano. **Segura M. et al. 2001** determinó valores menores a *0,003 mg Cr/L* en agua para consumo humano (BRASIL)

#### 4.4. DE LA CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LAS COMUNIDADES EN ESTUDIO.

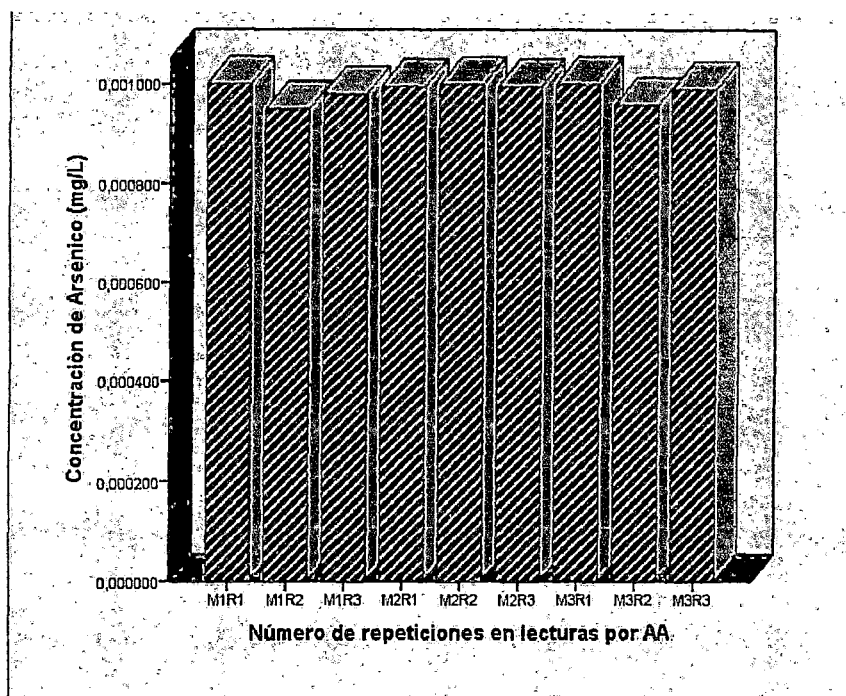


GRAFICO Nº 4.4.1: LECTURAS DE CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO PARA LA COMUNIDAD DE SAN CRISTÓBAL – ANTA

CUADRO Nº 4.4.1: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS PARA LAS LECTURAS DE ARSÉNICO PARA LA COMUNIDAD DE SAN CRISTÓBAL – ANTA

##### Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	Varianza
ARSÉNICO COMUNIDAD SAN CRISTÓBAL	9	,000950	,001000	,00098522	,000018873	,000
N válido (según lista)	9					

#### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN:

En el gráfico Nº 4.4.1: Se observa una misma muestra de agua subterránea de la comunidad de San Cristóbal, la cual se analizó por triplicado y con tres repeticiones, con el fin de obtener resultados más homogéneos y más valederos,

por la técnica espectrofotométrica de absorción atómica, de los cuales en el cuadro N° 4.4.1: Se observan los estadísticos descriptivos, donde se obtiene la media de: **0.00098522**, con una desviación estándar de: **0.000018873**, lo que nos indica que el valor real de la concentración de Arsénico en las aguas subterráneas de la comunidad de San Cristóbal es de: **0.00098522 ± 0.000018873 mg/L**, con una varianza de 0.000, lo que a su vez nos indica que hubo un error nulo o insignificante en el procesamiento y análisis de la muestra en investigación

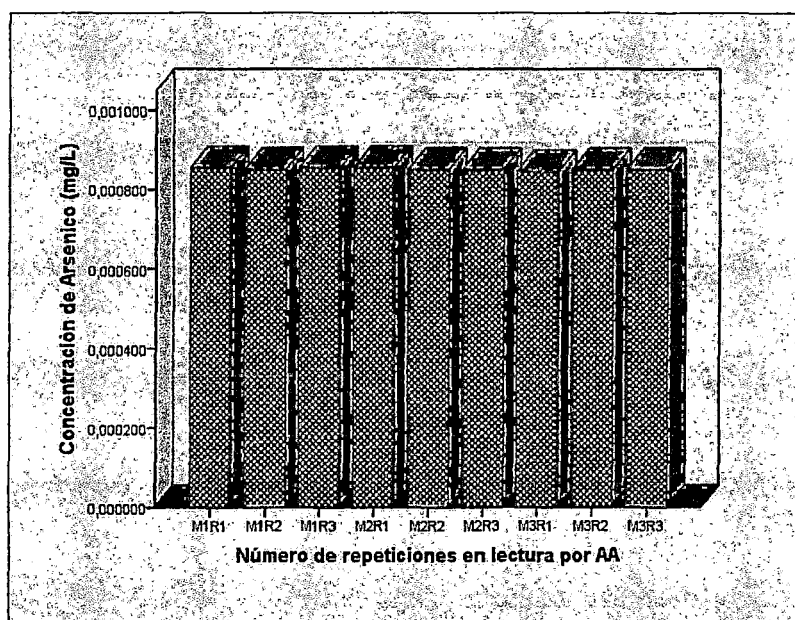


GRAFICO N° 4.4.2: LECTURAS DE CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO PARA LA COMUNIDAD DE NUEVA ANTA – ANTA

CUADRO N° 4.4.2: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS PARA LAS LECTURAS DE ARSÉNICO PARA LA COMUNIDAD DE NUEVA ANTA - ANTA

Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. t.p.	Varianza
ARSÉNICO COMUNIDAD NUEVA ANTA	9	,000845	,000855	,00085089	,000003444	,000
N válido (según lista)	9					

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN:**

En el gráfico N° 4.4.2: Se observa una misma muestra de agua subterránea de la comunidad de Nueva Anta, la cual se analizó por triplicado y con tres repeticiones, con el fin de obtener resultados de mayor significancia estadística, por la técnica espectrofotométrica de absorción atómica, de los cuales en el cuadro N° 4.4.2: Se observan los estadísticos descriptivos, donde se obtiene la media de: **0.00085089**, con una desviación estándar de: **0.000003444**, lo que nos indica que el valor real de la concentración de Arsénico en las aguas subterráneas de la comunidad de Nueva Anta es de: **0.00085089 ± 0.000003444 mg/L**, con una varianza de 0.000, lo que a su vez nos indica que hubo un error insignificante en el procesamiento y análisis de la muestra en investigación.

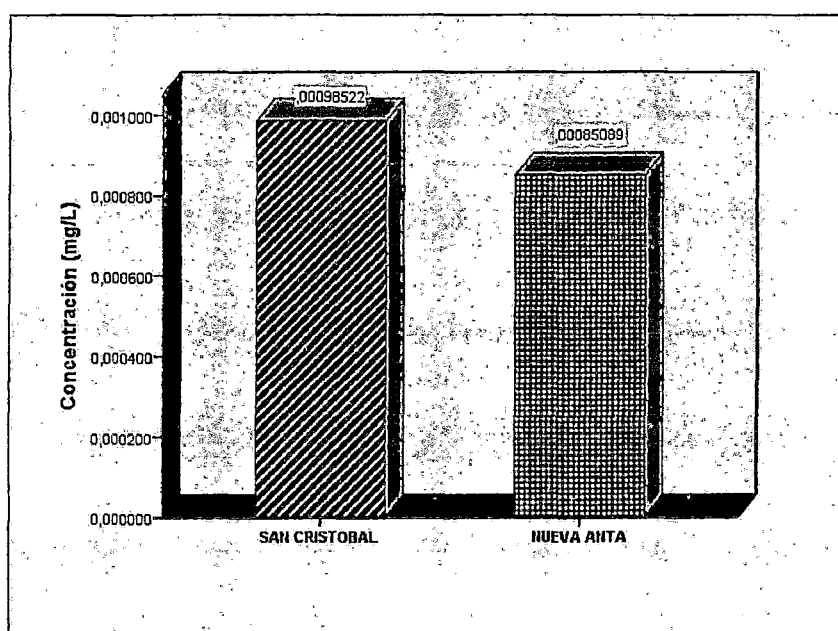


GRAFICO N° 4.4.3: CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO TOTAL PARA LA COMUNIDAD DE SAN CRISTÓBAL Y NUEVA ANTA - ANTA

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN:**

En el gráfico N° 4.4.3: Se puede observar las concentraciones de Arsénico en las muestras de agua subterráneas de las comunidades de San Cristóbal y Nueva Anta, ambos de la provincia de Anta, empleándose el método espectrofotométrico de absorción atómica. Se encontró que la concentración promedio de arsénico del

total de las aguas subterráneas de la comunidad de San Cristóbal fue de **0.00098582 mg As/L** y el promedio de arsénico total de las aguas subterráneas de la comunidad de Nueva Anta fue de **0.00085089 mg As/L**, los cuales no exceden la concentración máxima permisible dada por la Norma Técnica Peruana 214.003.87 (**0.01 mg As/L**) y la Organización Mundial de la Salud (**0.01 mg As/L**).

**Flores E - Pérez B, 2009** determinaron en el distrito de Puente Piedra – Perú; 9.13 µg As/L, 5.04 µg As/L y 22,40 µg As/L en agua para consumo humano proveniente de SEDAPAL, CISTERNA, POZO respectivamente.

**Caballero G. et al. 2007** determinaron 0,1 mg As/L en agua para consumo humano (MEXICO). **Blanco H. et al. 2000** determinaron 0.033 mg As/L en agua para consumo humano (SALAMANCA). **Infante L., Palomino S. 1994** determinaron 54.8 µg As/L en agua de pozo vertiente del río Rímac.

#### 4.5. DE LAS MEDICIONES DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LAS COMUNIDADES EN ESTUDIO.

**CUADRO N° 4.5: RESULTADOS DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA COMUNIDAD DE SAN CRISTÓBAL Y NUEVA ANTA - ANTA**

PARÁMETRO	M1	M2
1. Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> ) mg/L	490	470
2. Alcalinidad (CaCO <sub>3</sub> ) mg/L	240	315
3. Acidez total (CO <sub>2</sub> ) mg/L	11	22
4. Cloruros (Cl <sup>-</sup> ) mg/L	149	49
5. Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> ) mg/L	240	145
6. PH	7.2	7.1
7. Conductividad (µohm/cm)	1730	1039
8. Turbidez NTU	1	1

M1= Comunidad San Cristóbal (promedio de 3 muestras, meses: Mayo, Junio, Julio - 2011)  
M2= Comunidad Nueva Anta (promedio de 3 muestras, meses: Mayo, Junio, Julio - 2011)

Fuente: Elaboración propia

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En el cuadro N° 4.5: se observa los resultados de las características fisicoquímicas de las aguas subterráneas de la comunidad de San Cristóbal y Nueva Anta – Anta.

Dónde:

- Se observó que la **dureza total** de M1 y de M2 fue de 490 y 470 mg/L ( $\text{CaCO}_3$ ) respectivamente los cuales no sobrepasan los niveles permisibles dadas por la Norma Técnica Peruana 214.003.87 – DIGESA (500mg/L) y por la OMS (<500mg/L). La dureza es causada por iones metálicos divalentes capaces de reaccionar con el jabón para formar precipitados y con ciertos aniones presentes en el agua para formar incrustaciones. Los principales iones que causan dureza son :  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SiO}_3^{3-}$ . En la mayoría de las aguas, la dureza total es aproximadamente igual a la suma de la dureza producida por los iones calcio y magnesio.
- Se observó que la **alcalinidad** de M1 y de M2 fue de 240 y 315 mg/L ( $\text{CaCO}_3$ ) respectivamente los cuales sobrepasan los niveles permisibles dadas por la Norma Técnica Peruana 214.003.87 – DIGESA (<200mg/L) y por la OMS (30<alcalinidad<200mg/L).
- Se observó que la **Acidez total** de M1 y de M2 fue de 11 y 22 mg/L ( $\text{CO}_2$ ) respectivamente los cuales no sobrepasan los niveles permisibles dadas por la Norma Técnica Peruana 214.003.87 – DIGESA (<30mg/L) y por la OMS (<30mg/L). esto debido a la ausencia primordial de  $\text{CO}_2$ .
- Se observó que el nivel de **cloruros** de M1 y de M2 fue de 149 y 49 mg/L ( $\text{Cl}^-$ ) respectivamente los cuales no sobrepasan los niveles permisibles dadas por la Norma Técnica Peruana 214.003.87 – DIGESA (250mg/L) y por la OMS (250mg/L). Se encuentra siempre en proporción variable en todas las aguas minerales debido a su amplia distribución en la naturaleza.
- Se observó que el nivel de **sulfatos** de M1 y de M2 fue de 240 y 145 mg/L ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) respectivamente los cuales no sobrepasan los niveles permisibles dadas por la Norma Técnica Peruana 214.003.87 –



DIGESA (250mg/L) y por la OMS (200mg/L). Su presencia es frecuente en cantidades variables en las aguas minerales, se debe a los terrenos triásicos que atraviesa en su recorrido.

- Se observó que el **pH** de M1 y de M2 fue de 7.2 y 7.1 respectivamente los cuales no sobrepasan los niveles permisibles dadas por la Norma Técnica Peruana 214.003.87 – DIGESA (6.5 a 8.5) y por la OMS (Ph +/- 0.2). Esto debido al a presencia de bicarbonatos.
- Se observó que la **conductividad** de M1 y de M2 fue de 1730 y 1039 ( $\mu\text{mho/cm}$ ) respectivamente los cuales no sobrepasan los niveles permisibles dadas por la Norma Técnica Peruana 214.003.87 – DIGESA (1500  $\mu\text{mho/cm}$ ) y por la OMS (1500  $\mu\text{mho/cm}$ ).
- Se observó que la **Turbidez** de M1 y de M2 fue de 1 y 1 NTU respectivamente los cuales no sobrepasan los niveles permisibles dadas por la Norma Técnica Peruana 214.003.87 – DIGESA (1.0 NTU) y por la OMS (1.0 NTU)

## CONCLUSIONES

1. Se cuantificó y determinó las concentraciones de los niveles de Pb, Cd, Cr, As, hallándose:  
Las Concentraciones de Plomo, Cadmio, Cromo, en las muestras de aguas subterráneas de la comunidad de Nueva Anta fueron superiores a los de la comunidad de San Cristóbal; pero las concentraciones de Arsénico en las muestras de aguas subterráneas de la comunidad de San Cristóbal fueron superiores a los de la Comunidad de Nueva Anta, sin embargo la concentración de elementos químicos en las muestras de aguas en ambas Comunidades se encuentran dentro de los límites permisibles según la OMS/OPS, NTP-DIGESA.
2. Se determinó los niveles de Pb, Cd, Cr, As, en ambas Comunidades antes mencionadas por el Método Espectrofotométrico de Absorción Atómica encontrándose:
  - a) Se encontró que la concentración promedio de Plomo total de las aguas subterráneas de la comunidad de San Cristóbal fue de 0.01936667 mg Pb/L y el promedio de plomo total de las aguas subterráneas de la comunidad de Nueva Anta fue de 0.04898333 mg Pb/L, los cuales no exceden la concentración máxima permisible dada por la Norma Técnica Peruana 214.003.87 (0.05 mg/L) pero exceden a lo permisible por la Organización Mundial de la Salud (0.01 mg /L).
  - b) Se encontró que la concentración promedio de Cadmio total de las aguas subterráneas de la comunidad de San Cristóbal fue de 0.002497 mg Cd/L y el promedio de Cadmio total de las aguas subterráneas de la comunidad de Nueva Anta fue de 0.002663 mg Cd/L, los cuales no exceden la concentración máxima permisible dada por la Norma Técnica Peruana 214.003.87 (0.003 mg/L) y la Organización Mundial de la Salud (0.003 mg/L).
  - c) Se encontró que la concentración promedio de Cromo total de las aguas subterráneas de la comunidad de San Cristóbal fue de 0.00482056 mg Cr

- /L y el promedio de Cromo total de las aguas subterráneas de la comunidad de Nueva Anta fue de 0.00491111 mg Cr/L, los cuales no exceden la concentración máxima permisible dada por la Norma Técnica Peruana 214.003.87 (0.05 mg/L) y la Organización Mundial de la Salud (0.05 mg/L).
- d) Se encontró que la concentración promedio de Arsénico total de las aguas subterráneas de la comunidad de San Cristóbal fue de 0.0098582 mg As/L y el promedio de Arsénico total de las aguas subterráneas de la comunidad de Nueva Anta fue de 0.00085089 mg As/L, los cuales no exceden la concentración máxima permisible dada por la Norma Técnica Peruana 214.003.87 (0.01 mg As/L) y la Organización Mundial de la Salud (0.01 mg As/L).
- e) Se observó que los resultados de las Características Fisicoquímicas de las aguas subterráneas de la comunidad de San Cristóbal y Nueva Anta – Anta. Como Dureza total, Acidez, Cloruros, Sulfatos, PH, Conductividad y Turbidez, no sobrepasan los niveles permisibles dadas por la Norma Técnica Peruana 214.003.87 – DIGESA y por la OMS, pero la Alcalinidad está por encima de los niveles establecidos por la Norma Técnica Peruana 214.003.87 – DIGESA y por la OMS.
- f) Concluimos finalmente que las aguas subterráneas tanto de la Comunidad de Nueva Anta como la de San Cristóbal, según sus Características Fisicoquímicas de Análisis, son aptas para Consumo Humano.
3. Se realizó con éxito un curso taller de información acerca de las enfermedades y trastornos que ocasiona la ingesta de agua contaminada con elementos químicos altamente tóxicos, dicho evento se llevó a cabo el día sábado 21 de enero del 2012 en ambas comunidades, contando para ello con la presencia de Autoridades Locales, Dirigentes Comunales, Juntas Vecinales, Ronderos, y Comuneros en general.
4. Se informó a la DIRESA-CUSCO acerca del trabajo de investigación realizado, para ello se le hizo entrega de un informe resumido y detallado, dicha entrega se realizó el día 19 de diciembre del 2011.

5. Se informó tanto a la Municipalidad Distrital como a la Provincial de Anta acerca del Trabajo de Investigación realizado, para ello se le hizo entrega de un informe resumido y detallado, dicha entrega se realizó el día 19 de diciembre del 2011.

# SUGERENCIAS

Se Sugiere:

1. A las autoridades de la Municipalidad Provincial del Cusco, Anta:
  - Implementar un sistema de gestión de calidad de agua para consumo humano en la provincia de Anta, ya que en la actualidad no existe entidad alguna que supervise dicha calidad.
  - Implementar un plan piloto de supervisión y control del agua para consumo humano tanto en la ciudad del Cusco como en la provincia de Anta, que este conformado por especialistas como: Ingenieros Químicos, Biólogos, Médicos y por Químicos Farmacéuticos y que a su vez involucre tanto a autoridades locales como regionales, comunidades campesinas, organizaciones sociales y población en general.
2. A los Directores de las Instituciones Medioambientales: IMA, INRENA-Cusco:
  - Crear campañas de Sensibilización acerca del adecuado uso de los recursos naturales especialmente el Agua; dirigido a Estudiantes, Profesores, Instituciones Públicas, Privadas, Colegios Profesionales y Población en General.
3. A La Carrera Profesional de Farmacia y Bioquímica:
  - Crear campañas de prevención respecto a la contaminación ambiental y orientar a la población en general sobre el daño causado por ciertos metales especialmente los pesados, que generan un gran daño en la salud.
  - Crear un Centro de Información Toxicológico, que este a cargo de los Docentes en coordinación con el MINSA y DIREMID, y con la participación activa de los Alumnos de la Carrera Profesional.
4. A los Nuevos Investigadores:
  - Sobre todo a aquellos que deseen profundizar sus conocimientos en el campo del análisis de aguas para consumo humano: continuar con el trabajo de investigación presente en otras localidades que sugieren una urgente atención.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### LIBROS DE REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. *Aguado, J. Alonso "Arsénico y Aguas Subterráneas en Asia". 22 mayo 2009. [citado 23 de agosto 2010].*
2. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR), Estudios de Caso en Medicina Ambiental (CSEM) La toxicidad del plomo. 2005, Atlanta. EE.UU.
3. Aquino H. Rosa, Camacho E. María "Métodos para el Análisis de Suelos y Residuos Sólidos"-IDMA, CONCYTEC-Edit. Impresiones Graficas E.I.R.L.-Lima Peru.2004.
4. Blanco Hernández AL, Alonso Gutiérrez D, Jiménez de Blas O, Santiago Guervós M, de Miguel Manzano B. "Estudio de los niveles de plomo, cadmio, zinc y arsénico, en aguas de la provincia de Salamanca". Rev. Esp. Salud Pública 1998; 72:53-65.
5. Benramdane L, Accominotti M, Fanton L, et al. Arsenic speciation in human organs following fatal arsenic trioxide poisoning--a case report. Clin Chem 45(2):301-306. 1999.
6. Buchet J, Lauwerys R, Roels H. Comparison of the urinary excretion of arsenic metabolites after a single oral dose of sodium arsenite, monomethylarsonate or dimethylarsinate in man. Int Arch Occup Environ Health 48:71-79. 1981.
7. Castro de Esparza, M. L; Wong, M. (1999) "Remoción de Arsénico a Nivel Domiciliario", CEPIS, Hojas de divulgación técnica; Perú, pag.1-12. [citado 25 de agosto 2009]
8. Castro de Esparza M. "Arsénico en el Agua de bebida de América Latina y su efecto en la salud pública".// ///CEPIS/OPS. HDT N°95. Urbanización Camacho, La Molina, Lima, Perú.2004.
9. Casarett & Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons 6th edition (July 27, 2001): by Curtis D. Klaassen (Editor) By McGraw-Hill Professional.
10. Comité Asesor de Ciencias (SCIENCE ADVISORY BOARD-SAB) DE EEUA. 2005. [citado 12 de setiembre 2006].

11. Concha G, Vogler G, Nermell B, et al. Low-level arsenic excretion in breast milk of native Andean women exposed to high levels of arsenic in the drinking water. *Int Arch Occup Environ Health* 71(1):42-46. 1998.
12. Córdova D. *Manual Moderno de Toxicología*. 4ta ed. Universidad de Antioquia. Medellín. 53(1):123-146. Colombia. 2001.
13. De León Gómez, H. Liliana Gpe. Lizárraga Mendiola y Francisco Medina Barrera Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL, contaminación del agua subterránea originada por residuos sólidos del tiradero Municipal de Linares, MÉXICO 2007.
14. Derache, R. "Toxicología y Seguridad de los Alimentos" 14ª Ed. Ediciones Omega. Barcelona. Pág. 415-417. España. 2005.
15. Doménico, P.A. y Schwartz, F.W. "Physical and Chemical Hydrogeology". Ed. John Wiley and Sons Inc., EEUU. 1998. Pág. 502-506. [citado 13 de julio 1999].
16. Flores Espinoza Edwin Robert; Pérez Bobadilla Javier Eduardo "Determinación de Arsénico, por absorción atómica, en agua de consumo humano proveniente de SEDAPAL, de cisterna y de pozo del distrito de Puente Piedra" Tesis para optar al título profesional de Químico Farmacéutico – Universidad Nacional Mayor de San Marcos; Lima. 2009.
17. Equipo Técnico de Agua y Saneamiento. Calidad del Agua para consumo humano en Lima Metropolitana. Metales Pesados. DIGESA. Lima. 2006.
18. Farreras Rozman "Medicina Interna". Editorial Elsevier en español 16th ed. 2008. Autoevaluación. Pág. 2655. [citado 09 de febrero 2009].
19. Flores Y. "Análisis Químico Toxicológico y Determinación de Arsénico en Aguas de Consumo directo en la Provincia de Huaytará Dpto. Huancavelica". Tesis Para optar al título profesional de Químico Farmacéutico: Universidad Nacional Mayor de San Marcos; Lima. 1999.
20. Gisbert, Calabuig, J.A "Medicina legal y toxicología" 6ta edición Masson sa, Barcelona, 2004. (pág. 818, 821, 825, 835, 839, 840, 841, 842, 843, 848, 851, 852, 853, 855, 856).

21. Gomez-Caminero, P. Howe, M. Hughes, E. Kenyon, D.R. Lewis, M. Moore, J. Ng, and by A. Aitio and G. Becking. "Arsenic and arsenic compounds". ,2da edición, WHO (Organización Mundial de la Salud en inglés), Geneva, 2001. [citado 05 de abril 2002].
22. Hsueh, F. 1997. Serum B-carotene Level, Arsenic Methylation Capability, and Incidence of Skin Cancer. 4ta. Ed. Zaragoza: Acribia. Pág. 589-592.
23. Infante L., Palomino S. " Cuantificación Espectrofotométrico de Arsénico en Aguas de Consumo Humano en la Vertiente del Rio Rímac". Tesis Para optar al título profesional de Químico Farmacéutico; Universidad Nacional Mayor de San Marcos; Lima. 1994.
24. IPCS, 2001: *Arsenic and arsenic compounds*. Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud, Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas (Nº 224 de la serie de la OMS Criterios de Salud Ambiental).
25. Leet, L. Judson, S. "Fundamentos de Geología física" México. Editorial Limusa. (capitulo 12) pag.7-8. México, 2000. [citado 14 de noviembre 2001].
26. Lugo G, Cassady G, Palmisano P. "Acute Maternal Arsenic Intoxication with Neonatal Death". Am J Dis Child; Chapter 117:328-330. 1999.
27. Menzel D, Ross M, Oddo S, et al. A physiologically based pharmacokinetic model for ingested arsenic. Environ Geochem Health 16:209-218. 1994.
28. Murray, Granner, Mayes, Rodwell."Bioquímica de Harper"; McGraw-Hill Interamericana. 14ªed. España. 2000. Pág.17.
29. OMS, 2003a: *Arsenic in drinking-water*. Documento de referencia para la elaboración de las Guías de la OMS para la calidad del agua potable. Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud (WHO/SDE/WSH/03.04/75).
30. OMS, 2003b: *Chromium in drinking-water*. Documento de referencia para la elaboración de las Guías de la OMS para la calidad del agua potable. Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud (WHO/SDE/WSH/03.04/4).



- 31.OMS, 2003c: *Cadmium in drinking-water*. Documento de referencia para la elaboración de las Guías de la OMS para la calidad del agua potable. Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud (WHO/SDE/WSH/03.04/80).
- 32.OMS, 2003d: *Lead in drinking-water*. Documento de referencia para la elaboración de las Guías de la OMS para la calidad del agua potable. Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud (WHO/SDE/WSH/03.04/9).
- 33.Orozco. Pérez, A. González, M. Rodríguez, F. Alfayate, J. Contaminación Ambiental una visión desde la química 2005.(pág., 32, 86, 88, 91, 94 ,97)
- 34.Oyarzun, R. "Transporte de contaminantes en aguas subterráneas", CEAZA-Chile, 2007.
- 35.Plan de desarrollo concertado de la provincia de Anta al 2015 Municipalidad Provincial de Anta, CCV; CCL; Centro de Estudios Regionales Andinos Bartolomé de Las Casas. — Cusco: CBC, pag12, 2006.
- 36.Pinto S.; McGill, C. "Arsenic trioxide exposure in industry. Industrial medicine and surgery, 22: 281–287. 1953.
- 37.Rabinowitz, M B. "Toxicokinetics of bone lead Environ Health Perspect". 1991 pag. 33,37
- 38.Rouessac, F. Rouessac, A. "Análisis Químico, Métodos y Técnicas Instrumentales Modernas". 4ta. ed. McGraw-Hill/Interamericana de España. 2003. pág. 229-247.
- 39.WHO. (World Health Organization) Guidelines for drinking – water quality. Fewtrell L, Bartram J, editors. Water Quality: Guidelines, Standards and Health. London, UK, IWA Publishing, 2001, p. 289-316. 2da Ed. Vol. II.

## REVISTAS DE REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Informe "Mitigación de los efectos del Arsénico presente en las Aguas Subterráneas". Organización Mundial de la Salud 118ª reunión 5 de julio 2006. 78(9): 1093-1103.
2. Ishinishi, N. et al. Arsenic. *In*: Friberg, L., Nordberg, G.F. & Vouk, B.V., ed. Handbook of the toxicology of metals, Vol. II. Amsterdam-New York-Oxford, Elsevier, 1986.
3. KEHOE, R. A. y collaborators "Experimental Studies on the Ingestion of Lead Compounds", *J. Indust. Hyg. & Toxicol.* 22: 381-400. 1995.
4. Norma Técnica Peruana 214.003.87 Límites Máximos Permisibles para agua potable y agua subterránea según R.S. N° 1121-99-SUNASS-DIGESA, ITINTEC. LIMA. 2010.
5. Piola J, Navone H, et al. Niveles de exposición a arsénico en agua de bebida y riesgo relativo de cáncer de piel, en Máximo Paz, Santa Fe, Argentina. SERTOX. Período 2001-2005.
6. Sánchez, G. "Ciclo del Arsénico en el Ecosistema". 2da ed. Colombia, 1995. pág. 124-147.
7. Sarmiento M. "Evaluación químico toxicológico de: Arsénico (As), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg) y Plomo (Pb) en las aguas de río Mala". Para optar al título profesional de Químico Farmacéutico: Universidad Privada Norbert Wiener; Lima. 2004.
8. Simonyi A.; Beck H. Nurturing and breast-feeding: Exposure to chemicals in breast milk. *Environ Health Perspect* 101(suppl. 2): 45-52. 1993.
9. Suess, Michael J. EXAMINATION OF WATER FOR POLLUTION CONTROL. Editorial Pergamon. Tome 2. USA. 2004. Pg., 71 – 74.
10. Silva Busso A. & Santa Cruz J. "Distribución de elementos traza en las Aguas Subterráneas del Partido de Escobar", Junio 2005. Buenos Aires, Argentina.
11. Skoog, D. Leary, J. 2004. "Análisis Instrumental Químico". 3ra. Ed. McGraw-Hill/Interamericana de España .pág. 227-271.

12. Vahter M, Friberg L, Rahnster B, et al. Airborne arsenic and urinary excretion of metabolites of inorganic arsenic among smelter workers. *Int Arch Occup Environ Health* 57:79-91. 1986.
13. Vázquez H, Ortolani V, et al. Arsénico en Aguas Subterráneas Criterios para la Adopción de Límites Tolerables CEPIS-OPS. 1999.
14. Velázquez Machuca Martha A., José Luis Pimentel Quichua.-Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional-IPN- Unidad. 06 DE DICIEMBRE 2006.

### REFERENCIAS WEB

1. Appelo, C.A.J. y Postma, D. 1994. *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. A.A. Balkema, Rotterdam, Holanda. 2da edición, 420 p  
***www.aulados.net Temas Ambientales 2007***
2. Castro de Esparza, M. L, (1999) "Remoción de arsénico a nivel domiciliario", CEPIS, Hojas de divulgación técnica; Perú, p.1-12. [citado 25 de agosto 2009] Disponible.  
***http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/hdt/hdt74.pdf.***
3. Evaluación Sanitaria de Plomo en Aguas Subterráneas en CUBA  
***bvs.sld.cu/revistas/hie/vol38\_3\_00/hie04300.htm***
4. El Plomo como Contaminante Alimentario  
***www.uv.es/aetoxweb/revista/revtox.21.2.../revtox.21.2.3.plomo.pdf***
5. Contaminación por Plomo.  
***www.profesorenlinea.cl/ecologiaambiente/ContaminacionPlomo.htm.***
6. Plomo(PB)ATSDR ,Estados Unidos.  
***www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\_phs13.html***
7. Plomo EPA en Español\_  
***www.epa.gov/espanol/saludhispana/plomo.htm***

8. REDALYC. Niveles de Plomo y Cadmio en agua marina y Lapas  
[www.redalyc.uaemex.mx/pdf/919/91920104.pdf](http://www.redalyc.uaemex.mx/pdf/919/91920104.pdf)
9. Remediaran los Pozos con Plomo en Mapimi Y Tlahualilo  
[www.elsiglodetorreon.com.mx/.../282383.remediaran-los-pozos-con-](http://www.elsiglodetorreon.com.mx/.../282383.remediaran-los-pozos-con-)
10. Estudio de los Niveles de Plomo, Cadmio, Cinc ,Arsénico en Aguas de la Provincia de Salamanca  
[www.biblioteca.universia.net/estudioplomoaguas/51996859.html](http://www.biblioteca.universia.net/estudioplomoaguas/51996859.html)
11. Universidad Politécnica de Madrid Migración de Plomo en Aguas Subterráneas Utilizando Técnicas Experimentales y de Modelación Hidrogeoquímica:  
[www.oa.upm.es/1071/1/04200216.pdf](http://www.oa.upm.es/1071/1/04200216.pdf)
12. La Contaminación por Metales Pesados en Torreon, Coahuila, MÉXICO.  
[www.texascenter.org/publications/torreon.pdf](http://www.texascenter.org/publications/torreon.pdf)
13. BCAS NEWSLETTER. Arsenic Special Issue. Vol 8. 1997. (Citado 2008, 2 julio)  
[www.bic.com/acic;/esources/infobank7asi bcas.htm](http://www.bic.com/acic;/esources/infobank7asi bcas.htm)
14. Rascón Risco Mónica "Intoxicación por Cadmio" 2005.  
<http://estudiantemedicinatv.com/apuntos/ muestra.asp?id=122&idpg=>
15. GISBERT CALABUIG JA: Medicina Legal y Toxicología (6ª ed). Masson sa, Barcelona, 2004. HOUCK, MM; SIEGEL, JA: Fundamentals of Forensic Science. Elsevier.  
[www.uca.es/ wuca\\_fichasig\\_ asignatura?titul=0102& asign=102039](http://www.uca.es/ wuca_fichasig_ asignatura?titul=0102& asign=102039)

# **ANEXOS**

## ANEXO 01

### LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICA

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor	—	Aceptable
2. Sabor	—	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	µmho/cm	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mg L <sup>-1</sup>	1 000
8. Cloruros	mg Cl <sup>-</sup> L <sup>-1</sup>	250
9. Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> L <sup>-1</sup>	250
10. Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	500
11. Amoníaco	mg N L <sup>-1</sup>	1,5
12. Hierro	mg Fe L <sup>-1</sup>	0,3
13. Manganeso	mg Mn L <sup>-1</sup>	0,4
14. Aluminio	mg Al L <sup>-1</sup>	0,2
15. Cobre	mg Cu L <sup>-1</sup>	2,0
16. Zinc	mg Zn L <sup>-1</sup>	3,0
17. Sodio	mg Na L <sup>-1</sup>	200

UCV = Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

Fuente: Norma Técnica Peruana 214.003.87 – DIGESA

## ANEXO 2

### LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS QUÍMICOS INORGÁNICOS Y ORGÁNICOS

Parámetros Inorgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Antimonio	mg Sb L <sup>-1</sup>	0.020
2. Arsénico (nota 1)	mg As L <sup>-1</sup>	0.010
3. Bario	mg Ba L <sup>-1</sup>	0.700
4. Boro	mg B L <sup>-1</sup>	1.500
5. Cadmio	mg Cd L <sup>-1</sup>	0.003
6. Cianuro	mg CN <sup>-</sup> L <sup>-1</sup>	0.070
7. Cloro (nota 2)	mg L <sup>-1</sup>	5
8. Clorito	mg L <sup>-1</sup>	0.7
9. Clorato	mg L <sup>-1</sup>	0.7
10. Cromo total	mg Cr L <sup>-1</sup>	0.050
11. Flúor	mg F L <sup>-1</sup>	1.000
12. Mercurio	mg Hg L <sup>-1</sup>	0.001
13. Níquel	mg Ni L <sup>-1</sup>	0.020
14. Nitratos	mg NO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	50.00
15. Nitritos	mg NO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	3.00 Exposición corta 0.20 Exposición larga
16. Plomo	mg Pb L <sup>-1</sup>	0.050
17. Selenio	mg Se L <sup>-1</sup>	0.010
18. Molibdeno	mg Mo L <sup>-1</sup>	0.07
19. Uranio	mg U L <sup>-1</sup>	0.015
Parámetros Orgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Trihalometanos totales (nota 3)		1.00
2. Hidrocarburo disuelto o emulsionado; aceite mineral	mgL <sup>-1</sup>	0.01
3. Aceites y grasas	mgL <sup>-1</sup>	0.5
4. Alacloro	mgL <sup>-1</sup>	0.020
5. Aldicarb	mgL <sup>-1</sup>	0.010
6. Aldrín y dieldrín	mgL <sup>-1</sup>	0.00003
7. Benceno	mgL <sup>-1</sup>	0.010
8. Clordano (total de isómeros)	mgL <sup>-1</sup>	0.0002
9. DDT (total de isómeros)	mgL <sup>-1</sup>	0.001
10. Endrín	mgL <sup>-1</sup>	0.0006
11. Gamma HCH (lindano)	mgL <sup>-1</sup>	0.002
12. Hexaclorobenceno	mgL <sup>-1</sup>	0.001
13. Heptacloro y heptacloroepóxido	mgL <sup>-1</sup>	0.00003
14. Metoxicloro	mgL <sup>-1</sup>	0.020
15. Pentaclorofenol	mgL <sup>-1</sup>	0.009
16. 2,4-D	mgL <sup>-1</sup>	0.030
17. Aclilamida	mgL <sup>-1</sup>	0.0005
18. Epiclorhidrina	mgL <sup>-1</sup>	0.0004
19. Cloruro de vinilo	mgL <sup>-1</sup>	0.0003
20. Benzopireno	mgL <sup>-1</sup>	0.0007
21. 1,2-dicloroetano	mgL <sup>-1</sup>	0.03
22. Tetracloroetano	mgL <sup>-1</sup>	0.04

Fuente: Norma Técnica Peruana 214.003.87 – DIGESA

### ANEXO 3

#### LISTA DE PARÁMETROS Y LÍMITES PERMITIDOS EN EEUU Y LA OMS (ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD).

Tabla 3-1 Estándares para Agua Potable		
CONTAMINANTES	EPA (EEUU)	OMS
Coliformes Totales	< 5% muestras positivas	0
Turbidez	0.5 – 1.0 NTU	1.0 NTU
Antimonio	6	--
Arsénico	50	50
Asbesto	7 x 10	--
Bario	2000	--
Berilio	4	--
Cadmio	5	5
Cromo	100	5
Flúor	4000	1500
Mercurio	2	1
Níquel	100	--
Nitrato + Nitrito	10.000	10.000
Selenio	50	10
Talio	2	--
Endrín	2	--
Lindano	0.2	3
Metoxiclor	40	30
Toxafeno	3	--
Trihalometano	100	--
Aluminio	0.5 – 0.20	0.2
Cloruro	250	250

Fuente: EPA (EE.UU) and (WHO)



## ANEXO 4

### LISTA DE PARÁMETROS Y LÍMITES PERMITIDOS EN EEUU Y LA OMS (ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD).

#### A-Parámetros organolépticos

	Determinante	Unidades	Límite Obligatorio	Límite Recomendado
1	Color	mg/l escala Pt/Co	20	1
2	Turbiedad	UNT	2	0,5
3	Olor	Nº de dilución	2 - 12°C 3 - 25°C	1
4	Sabor	Nº de dilución	2 - 12°C 3 - 25°C	0

#### B- Parámetros Físico-químicos

	Determinante	Unidades	Límite Obligatorio	Límite Recomendado
5	pH	Unidades de pH	pHs +/- 0,5	pHs +/- 0,2
6	Residuos Secos	mg/l luego de secado a 180°C	1500	1000
7	Alcalinidad Total	mg/l CaCO <sub>3</sub>	-	30 < alcalinidad < 200
8	Dureza total	mg/l CaCO <sub>3</sub>	100 < dureza < 500	-
9	Cloruros	mg/l Cl	400	250
10	Sulfatos	mg/l SO <sub>4</sub>	400	200
11	Calcio	mg/l Ca	250	100
12	Magnesio	mg/l Mg	50	30
13	Hierro Total	mg/l Fe	0,2	0,1
14	Manganeso	mg/l mN	0,1	0,05
15	Cobre	mg/l Cu	1,0	-
16	Zinc	mg/l Zn	0,5	-
17	Aluminio	mg/l Al	0,2	0,1
18	Sodio	mg/l Na	200	100
19	Bario	mg/l Ba	1,0	0,1
20	Amonio	mg/l NH <sub>4</sub>	0,5	0,05
21	Nitrógeno (excluido el N en forma de nitritos y nitratos)	mg/l N	1	-
22	Oxidabilidad (permanganato de potasio)	mg/l O <sub>2</sub>	5	2
23	Sulfuro de Hidrógeno	µg/l S	no detectable organolépticamente	-
24	Detergentes aniónicos	mg/l	0,2	-
25	Cloro activo	mg/l Cl	1,2	0,2 < 0,1 < 0,5
26	Fósforo	mg/l P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5,0	0,4

Fuente: EPA (EE.UU) and (WHO)

## ANEXO 5

### LISTA DE PARÁMETROS Y LÍMITES PERMITIDOS EN EEUU Y LA OMS (ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD).

#### C- Sustancias Tóxicas inorgánicas

	Determinante	Unidades	Límite Obligatorio	Límite Recomendado
27	Arsénico	µg/l AS	100	50
28	Cadmio	µg/l Cd	5	-
29	Cromo Total	µg/l Cr	50	-
30	Cianuros	µg/l Cn	100	50
31	Mercurio	µg/l Hg	1	-
32	Niquel	µg/l Ni	50	-
32	Plomo	µg/l Pb	50	-
33	Antimonio	µg/l Sb	10	-
34	Plata	µg/l Ag	50	-
35	Selenio	µg/l Se	10	-
36	Nitratos	mg/l NO <sub>3</sub>	45(1)	25
37	Nitritos	mg/l NO <sub>2</sub>	0,1	-
38	Fluoruros	mg/l F	1,5	-(2)

(1) Se recomienda que los lactantes no consuman aguas con tenores superiores a lo establecido.

(2) Cuando la autoridad de salud lo recomiende, el valor a alcanzar será de 1mg/l.

Fuente: EPA (EE.UU) and (WHO)

## ANEXO 6

### VALORES MÁXIMOS RECOMENDADOS POR LA OMS Y OPS, VALORES MÁXIMOS PERMITIDOS EN 10 PAÍSES DE AMÉRICA (mg/L)

Norma	Elemento					
	Plomo	Cadmio	Aluminio	Zinc	Arsénico	Cromo
OMS (1995) Valores Guía	0,010	0,003	0,2	3,00	2,00	0,05
BRASIL (1990) Portaria 36-GM	0,050	0,005	0,2	5,00	1,00	0,05
ARGENTINA (1994) Código Alimentario	0,050	0,005	0,2	5,00	1,00	0,05
CHILE (1984) NCH 409/1	0,050	0,010	—	5,00	1,00	0,05
MEXICO (1988) NOM	0,050	0,005	0,2	5,00	1,50	0,05
PERU (1999) DIGESA	0,050	0,005	0,2	3,00	1,00	0,05
URUGUAY (1999) Dto: 27335	0,050	0,005	0,5	5,00	1,00	0,05
BOLIVIA (1999) IBNORCANB 512	0,010	0,005	0,2	5,00	0,50	0,05
COLOMBIA (1998) RAS-98	0,010	0,003	0,2	5,00	1,00	0,01
CANADA (1995) HE EHD	0,010	0,005	—	5,00	1,00	0,05
USA (1998) NP-DWR	0	0,005	0,2	5,00	1,30	0,10

Fuente: Normas Internacionales para la Calidad del Agua de Bebida, CEPIS/ OPS-OMS.

## **ANEXO 7**

### **LEY DE RECURSOS HÍDRICOS O LEY DE AGUAS Nº 29338.**

#### **TITULO IX**

##### **AGUA SUBTERRÁNEA.**

##### **Artículo 108.- disposiciones generales**

La exploración y el uso del agua subterránea están sujetos a las disposiciones del presente título y las demás que le sean aplicables.

El uso del agua subterránea se efectúa respetando el principio de sostenibilidad del agua de la cuenca.

##### **Artículo 109.-exploración del agua subterránea**

Toda exploración del agua subterránea que implique perforaciones requiere de la autorización previa de la autoridad nacional y cuando corresponda, de los propietarios del área a explorar, debiéndose tomar en cuenta la explotación sostenible del acuífero.

##### **Artículo 110 ° otorgamiento del derecho de uso del agua subterránea**

El otorgamiento del derecho de uso de un determinado volumen de agua subterránea está sujeto a las condiciones establecidas en el título IV y cuando corresponda, al respectivo instrumento ambiental que establece la legislación vigente .en el caso de cese temporal o permanente del uso, los titulares de estos derechos están obligados, bajo responsabilidad, a tomar las medidas de seguridad necesarias que eviten daños a terceros.

Adicionalmente, los usuarios de agua subterránea deben instalar y mantener piezómetros en cantidad y separación determinados por la autoridad respectiva, donde registre la variación mensual de los niveles freáticos, información que deben comunicar a la autoridad nacional.

##### **Artículo 111.- obligaciones de informar**

Todo Aquel que, con ocasión de efectuar estudios, exploraciones, explotaciones o cualquier obra, descubriese agua está obligado a informar a la autoridad nacional, proporcionando la información técnica que disponga .en estos casos no se puede usar el agua sin permiso, autorización o licencia.

Asimismo, debe mantener actualizado un inventario de pozos y otras fuentes de agua subterránea.

#### Artículo 112.-uso conjunto de agua superficial y agua subterránea

La autoridad nacional promueve la constitución de bloques de uso de agua subterránea que tenga por objeto, el uso conjunto del agua superficial y subterránea, cuando así lo aconseje el mejor uso de los recursos de una misma zona, así como la recarga artificial de acuíferos.

El estado promueve la inversión privada para el uso colectivo del agua subterránea, así como la prestación de los servicios respectivos.

#### Artículo 113.-zonas de veda y zonas de restricción

La autoridad nacional puede declarar lo siguiente:

- a. zonas de veda permanente o temporal, para exploraciones, perforaciones de pozos y otorgamientos de nuevos derechos de uso de agua subterránea en ellas.

Esta declaración debe fundarse en estudios técnicos que confirmen que la extracción del agua del acuífero perjudica su sostenibilidad.

- b. Zonas de restricción a la totalidad o parte de un acuífero en caso de notorio riesgo de agotamiento. Esta declaratoria debe fundarse en estudios técnicos que confirmen que la extracción de agua del acuífero perjudica su sostenibilidad.

## ANEXO 8

### FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

<b>UBICACIÓN GEOGRÁFICA</b>	<b>DATOS FÍSICOS DEL MANANTIAL</b>
Departamento: Provincia: Distrito: Lugar de muestreo: Nombre: Altura sobre n/m:	Color: Olor: Sabor: Aspecto: Gases:
<b>MUESTREO</b>	<b>PRUEBAS FÍSICOQUÍMICAS</b>
Tipo de muestra: Fecha: Hora: Cantidad: Código: Temperatura muestra:	Dureza total: Alcalinidad total: Acidez total: Cloruros: Sulfatos: Ph: Conductividad: Turbidez:
<b>PRUEBAS TOXICOLÓGICAS</b>	<b>VALOR REFERENCIAL mg/L(ppm)</b>
Concentración de Cadmio:	
Concentración de Plomo:	
Concentración de Cromo:	
Concentración de Arsénico:	

Fuente: Ing. Mario Cumpa Cayuri

## ANEXO 9

### PRUEBAS QUÍMICAS:

#### DETERMINACIÓN DE PH

**FUNDAMENTO:** El pH o poder de las concentraciones del ion hidronio ( $H_3O$ ) de una solución acuosa es la medida de la acidez, neutralidad o alcalinidad de la solución, matemáticamente se expresa como la inversa del log de la concentración de iones hidronio ( $H_3O$ ). en la práctica es una escala de 0 a 14, donde el tramo ascendente desde 0 a 6.9 significa acidez, el 7 neutralidad de 7.1 a 14 alcalinidad. El método de medición más difundido es el colorimétrico, con tiras de papel impregnado con reactivos. El papel tornasol es el más elemental, y el papel universal, el más completo. En contacto con las muestras cambian de color o de tonalidad en función del valor del Ph. En el caso de la concentración estos métodos son insuficientes siendo necesario medir el pH mediante instrumentos conocidos como pH metros o potenciómetros. Están basados en las leyes del electro-químico y son aplicados en mediciones directas sobre muestras de agua. (Suess, 2004).

#### INSTRUMENTACIÓN:

Potenciómetro o Ph dotado de electrodos

#### MATERIALES:

- Vasos de precipitados (50 a 100ml)
- Mortero
- Agitador magnético (bageta)

#### REACTIVOS:

- Agua desionizada o destilada.
- Solución buffer de Ph=7 (a 20 grados Celsius)

## **MUESTRAS:**

- Aguas subterráneas de las comunidades de SAN CRISTOBAL y NUEVA ANTA-distrito IZCUCHACA-provincia ANTA.

## **PROCESAMIENTO DE LAS AGUAS:**

- Tomar de 20 a 50 ml de agua y dejar en reposo y proceder a medir el PH.

## **ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN**

Cada uno de los datos obtenidos se alimentaran en la base de datos del paquete estadístico SPSS: V18 en español. El análisis se realizara en una sola fase:

- Caracterización de la muestra: se utilizaran cuadros estadísticos, donde se determinaran la media, mediana, y desviación típica.



## ANEXO 10

### Métodos de análisis de las propiedades fisicoquímicas

Parámetros	Métodos	Expresión de cuantificación	Unidades
1. Color	<sup>a</sup> Colorimétrico, Pt-Co	$\text{Color} = (\text{UC})_{\text{leído}} \times F_{\text{dil}}$	UC
2. Olor	Apreciación sensorial personal.	Determinación cualitativa	
3. Sabor	Apreciación sensorial personal.	Determinación cualitativa	
4. Temperatura	<sup>a</sup> Termométrico: 2550-B	Determinación directa	°C
5. pH	<sup>a</sup> Potenciométrico: 4500-B	Determinación directa	pH
6. Conductividad iónica	<sup>a</sup> Conductimétrico	Determinación directa	mS/m
7. Turbidez	<sup>b</sup> Fotométrico con caolín	$\text{Turbidez} = (\text{UT})_{\text{leído}} \times F_{\text{dil}}$	UT
8. Alcalinidad al anaranjado de metilo (AAM)	<sup>a</sup> Volumétrico: 2320-B	$\text{AAM} = \frac{T \times G \times 1000}{V}$	mg CaCO <sub>3</sub> /L
9. Dureza total (DT)	<sup>a</sup> Volumétrico: 2340-C	$\text{DT} = \frac{T^* \times G \times 1000}{V}$	mg CaCO <sub>3</sub> /L
10. Cloruro	<sup>a</sup> Volumétrico, argentométrico: 4500-Cl B	$\text{Cl}^- = \frac{T \times G \times 1000}{V}$	mg Cl <sup>-</sup> /L
11. Sulfato	<sup>a</sup> Gravimétrico, combustión de residuos: 4500-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> C	$\text{SO}_4^{2-} = \frac{M \times F^* \times 1000}{V}$	mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L

a = APHA

b = Kurita Central Laboratories

c = ITDG (Manual de Minicentrales hidráulicas)

1 UC = 1 mg Pt/L

M = Masa del picnómetro con muestra

m = Masa del picnómetro

M<sub>1</sub> = Masa del picnómetro con agua bidestilada

1 UT = 1 mg Caolin/L

m\* = Masa del residuo (g)

V = Volumen de muestra (mL)

F<sub>dil</sub> = Factor de dilución

T = 1 mg CaCO<sub>3</sub>/mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

T\* = 1 mg CaCO<sub>3</sub>/mL EDTA

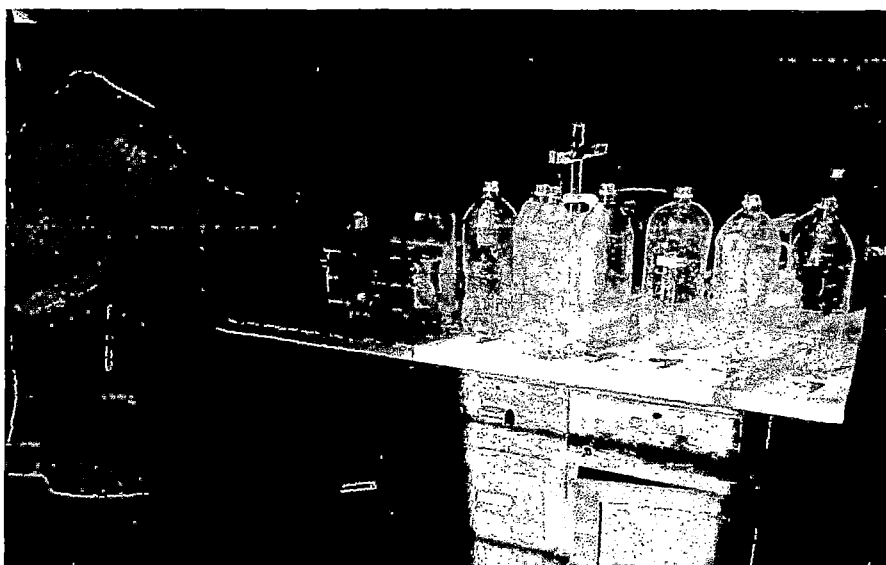
G = Gasto en la titulación (mL)

t = Tiempo

Fuente: APHA, Kurita Central Laboratories.

**ANEXO 11**  
**FOTOGRAFÍAS**

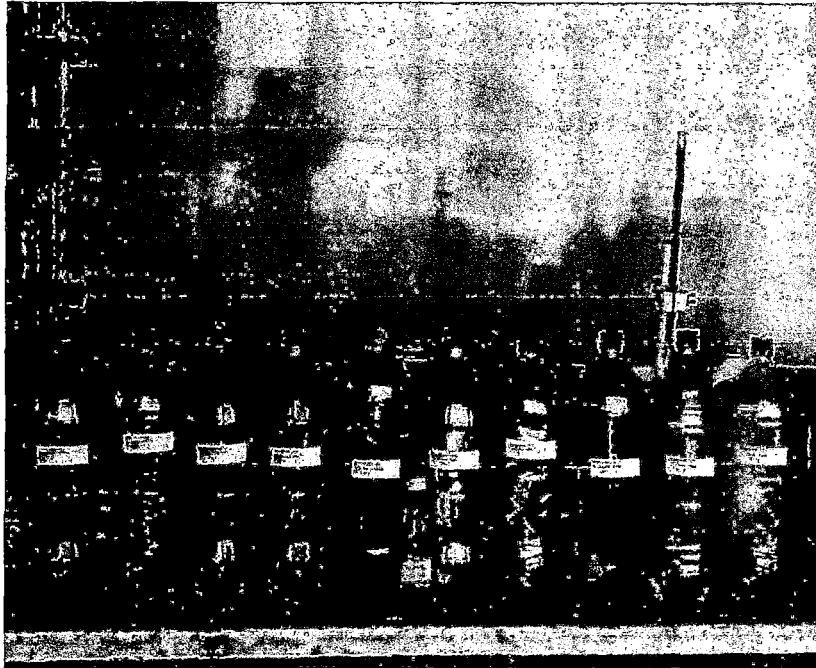
**PREPARACIÓN DE LOS ENVASES PARA EL MUESTREO**



**FOTO 1: Preparando los Envases para el Muestreo**

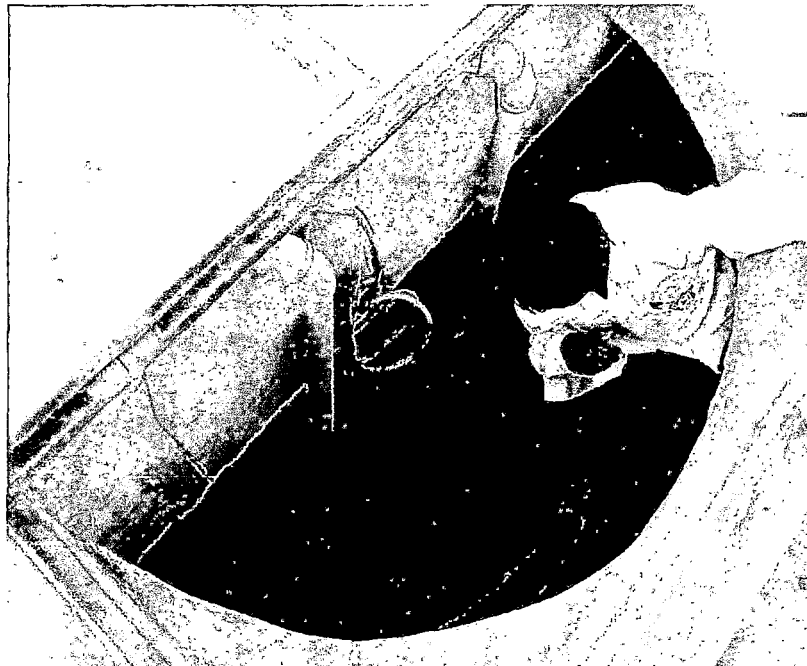


**FOTO 2: Lavando cada envase tres veces con Ácido Nítrico 0.1 N**

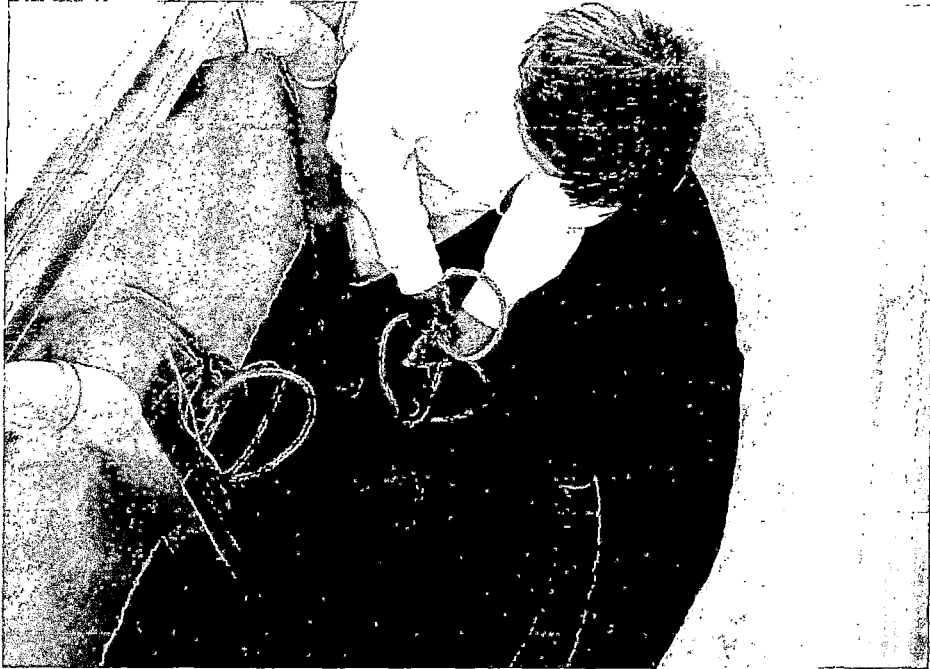


**FOTO 3: Envases Rotulados y listos para el muestreo**

## **RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA: COMUNIDAD NUEVA ANTA**



**FOTO 4: Reconociendo el pozo No 1, Comunidad Nueva Anta**

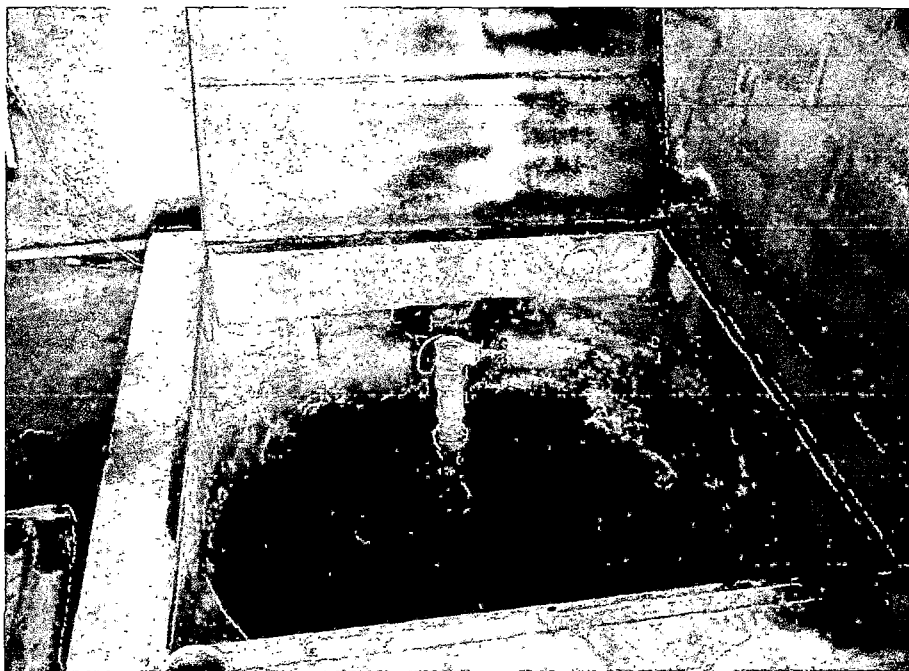


**FOTO 5: Procediendo a extraer el Agua Subterránea**



**FOTO 6: Llenando los Envases Respectivos**

**RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA: COMUNIDAD SAN CRISTÓBAL**



**FOTO 7: Reconociendo el pozo No 2, Comunidad San Cristóbal**

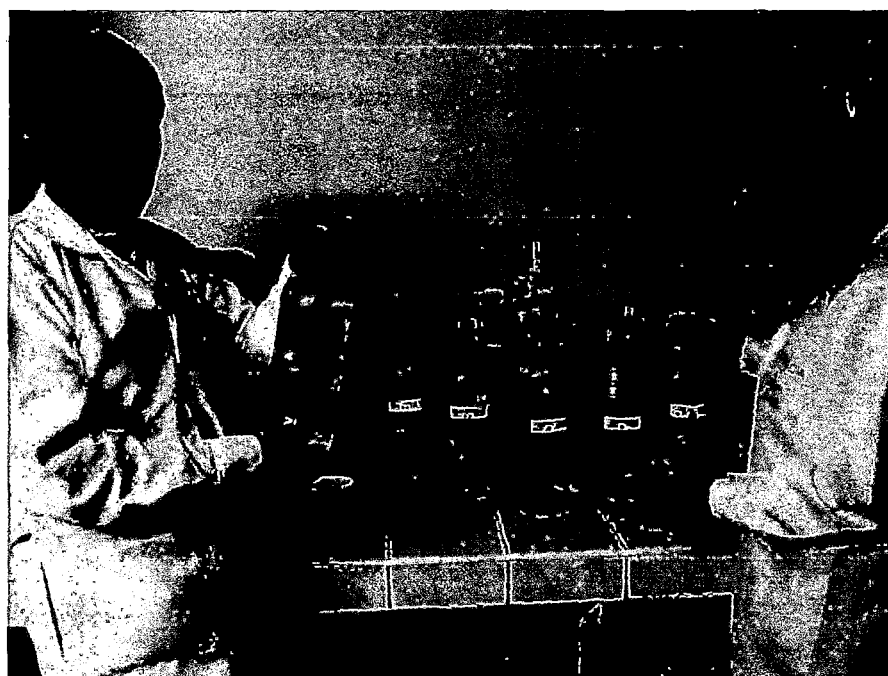


**FOTO 8: Llenando los Envases Respectivos**

## **ePROCESAMIENTO DE LA MUESTRA**



**FOTO 9: Agregando el Indicador Azul de Timol e Hidróxido de Amonio**



**FOTO 10: Finalmente las Muestras se Tornan de color Azul-Violáceo**

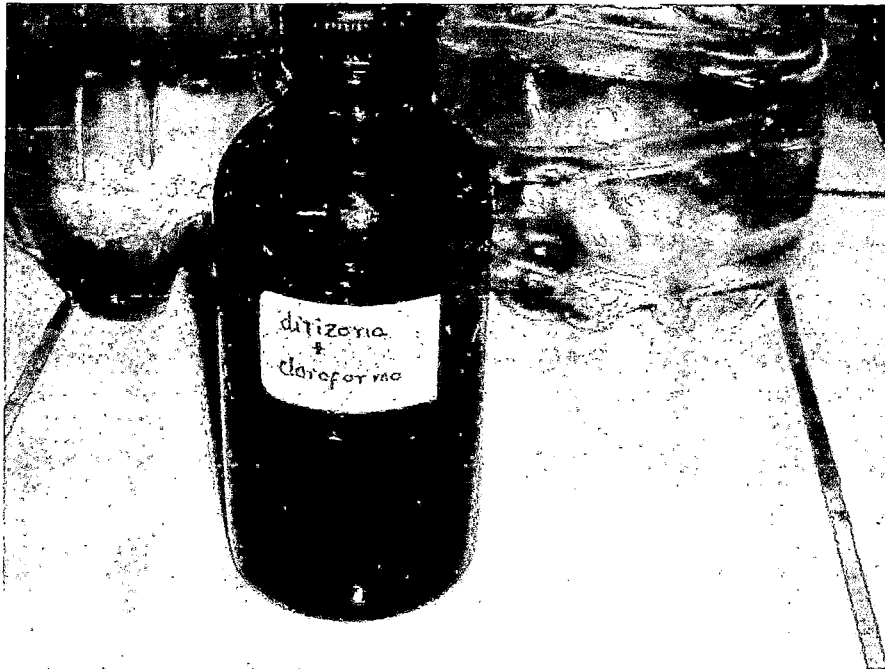


FOTO 11: El Reactivo Cloroformo-Ditizona

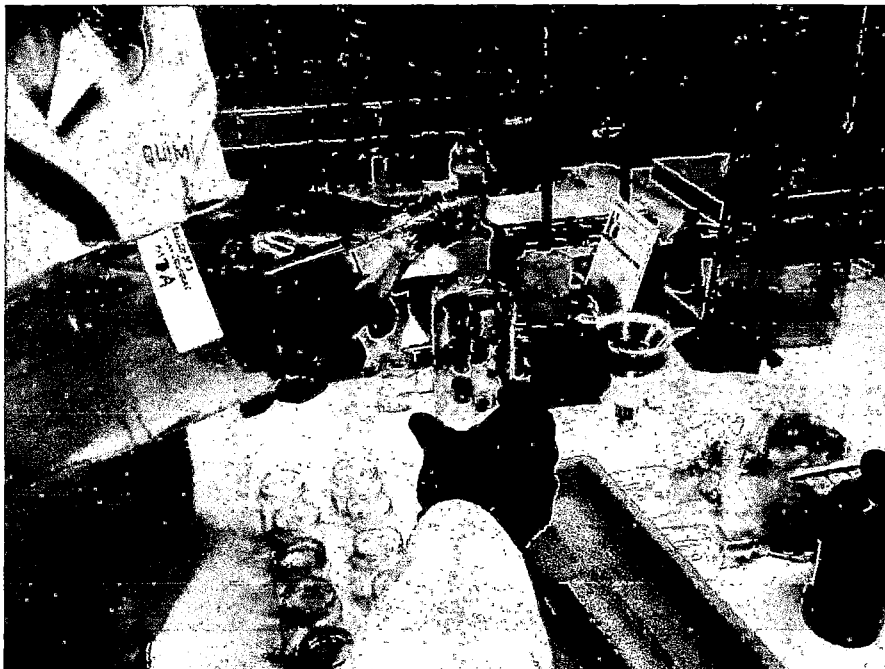
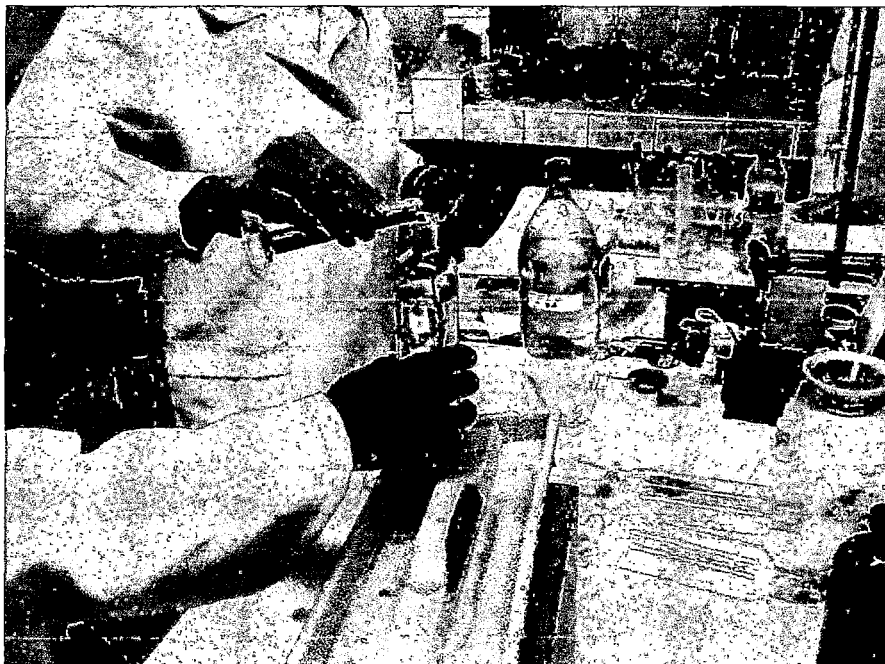


FOTO 12: Agregando la Muestra de Agua a la Pera de Decantación



**FOTO 13: Agregando el Reactivo Cloroformo-Ditizona a la Pera de Decantación**



**FOTO 14: Agitando por espacio de Cinco Minutos**





**FOTO 15: Separando la Fase Acuosa de la Clorofórmica**



**FOTO 16: Espectrofotómetro de Absorción Atómica marca SHIMADZU modelo AA-6800**

## DIFUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS A LA POBLACIÓN DE ANTA



FOTO 17: informando a la población acerca de la contaminación con metales pesados



FOTO 18: aceptación de la población acerca del trabajo de investigación y su conformidad con ello