

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACÉUTICAS, BIOQUÍMICAS
Y BIOTECNOLÓGICAS

PROGRAMA PROFESIONAL DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA



**“DETERMINACIÓN Y MONITOREO DE ARSÉNICO EN AGUA
POTABLE DE FUENTES SUPERFICIALES Y DE MANANTIAL,
PROVISTAS POR SEDAPAR”**

AREQUIPA 2014

Tesis presentada por los bachilleres:

GUILLEN ZEGARRA ROGGERS ESTIK

TORRES CORNEJO VANESSA KATHERINE

Para optar el título profesional de

QUÍMICO FARMACÉUTICO

Asesor:

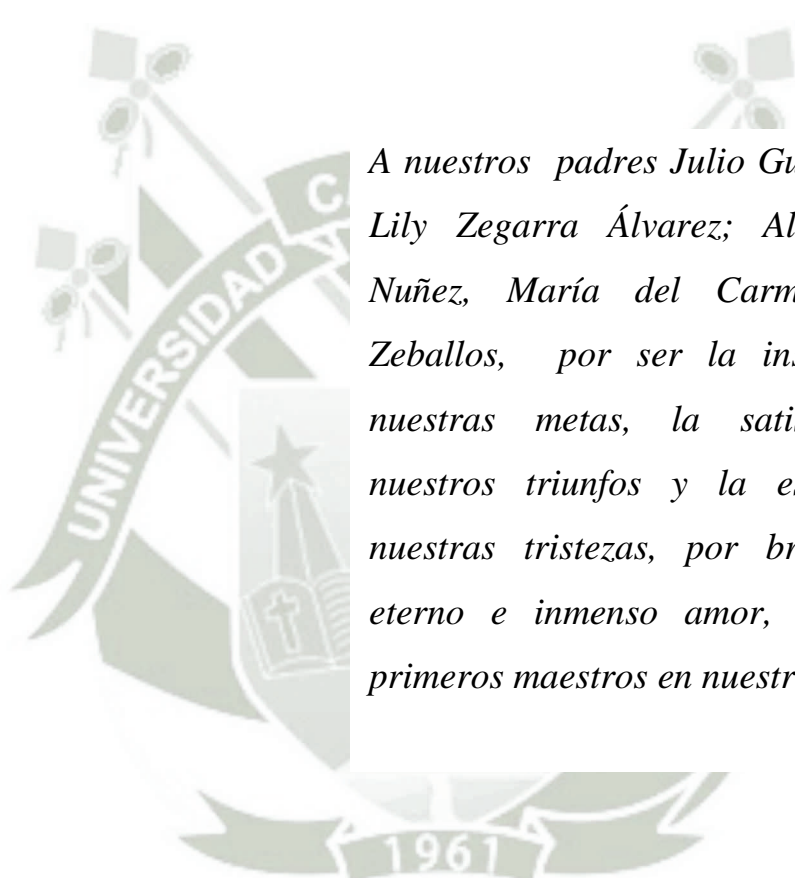
Dr. Gonzalo Dávila del Carpio

AREQUIPA – PERÚ

2015

DEDICATORIA

Dedicamos la presente tesis a Dios por brindarnos una familia maravillosa, por darnos la oportunidad de vivir y enseñarnos con triunfos y dificultades a amarlos cada día más.



A nuestros padres Julio Guillén Muñoz, Lily Zegarra Álvarez; Alvaro Torres Nuñez, María del Carmen Cornejo Zeballos, por ser la inspiración de nuestras metas, la satisfacción de nuestros triunfos y la esperanza en nuestras tristezas, por brindarnos su eterno e inmenso amor, por ser los primeros maestros en nuestra vida.

A nuestros hermanos Anggely Guillén Zegarra; Krisia y Deyanira Torres Cornejo, por su gran cariño, ser la causa de alegría en nuestros apuros, por la gran ayuda que nos dan y confianza en nosotros para nunca defraudarlos.

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis, no solo ha requerido de esfuerzo, no hubiese sido posible su finalización sin la cooperación desinteresada de todas y cada una de las personas que a continuación citaremos y muchas de las cuales han sido un soporte muy fuerte:

Primero, dar gracias a Dios, por estar con nosotros en cada paso que damos, por fortalecer nuestro corazón e iluminar nuestra mente y por haber puesto en nuestro camino a aquellas personas que han sido un soporte y compañía durante todo el periodo de estudio

Al laboratorio BHIOS, a los profesionales que laboran en dicha institución y en especial al Blgo. Miguel Valdivia Martínez, por habernos permitido realizar nuestra tesis en sus instalaciones, por sus enseñanzas, orientación, colaboración, paciencia y valiosos consejos para la realización de esta tesis.

Al Dr. Gonzalo Dávila del Carpio, asesor de nuestra tesis por su confianza, orientación y aporte para nuestro trabajo de investigación.

A todos mis profesores de la carrera que nos enseñaron tanto de la profesión como de la vida, impulsándonos a seguir

A todas aquellas personas que, directa e indirectamente, han contribuido a hacer posible esta tesis. GRACIAS.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	3
INTRODUCCIÓN	4
OBJETIVOS	6
HIPÓTESIS	7
CAPITULO II	8
MARCO TEÓRICO	8
1.1. AGUA	9
1.1.1. CALIDAD DE AGUA	9
1.1.2. CALIDAD DE AGUA PARA DIFERENTES USOS	9
1.1.3. CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS DE ACUERDO A SUS USOS	9
1.2. AGUA POTABLE	10
1.3. SEDAPAR	10
1.3.1. UBICACIÓN	11
1.3.2. DESCRIPCIÓN	12
1.3.2.1. SISTEMA DE AGUA	12
1.3.2.2. ESQUEMA DE LA RED	12
1.3.3. PROCESOS DE AGUA POTABLE EN SEDAPAR	13
1.3.3.1. CAPTACIÓN	13
1.3.3.1.1. CAPTACIÓN	13
1.3.3.1.2. PRE TRATAMIENTO	13
1.3.3.2. COAGULACIÓN	15
1.3.3.2.1. FACTORES QUE MODIFICAN EL PROCESO.	15
1.3.3.2.2. PARÁMETROS OPERACIONALES	16
1.3.3.2.3. CLASIFICACIÓN DE LAS UNIDADES DE MEZCLA RÁPIDA.	17
1.3.3.3. FLOCULACIÓN	17
1.3.3.3.1. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FLOCULACIÓN	17
1.3.3.4. SEDIMENTACIÓN	18
1.3.3.5. FILTRACIÓN	19
1.3.3.6. ABLANDAMIENTO	19
1.3.3.7. DESINFECCIÓN	21
1.3.3.7.1. APLICACIÓN DE CLORO COMO AGENTE DE DESINFECCIÓN	21
1.4. CONTAMINACIÓN NATURAL DE LAS AGUAS	23
1.4.1. ARSÉNICO	23
1.4.1.1. FUENTES NATURALES	23

1.4.1.2.	FUENTES ANTROPOGÉNICAS	24
1.4.1.3.	CARACTERÍSTICAS	25
1.4.1.4.	TOXICIDAD EN SALUD PÚBLICA	25
1.5.	ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA	27
1.5.1.	FUNDAMENTO	27
1.5.2.	GENERACIÓN DE HIDRUROS.	29
1.6.	MARCO LEGAL PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA	31
1.6.1.	REGLAMENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO – MINISTERIO DE SALUD PERÚ	31
1.6.2.	GUÍAS PARA LA CALIDAD DE AGUA POTABLE – ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD	33
1.6.3.	LOS ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA (ECA) D.S N 002-2008-MINAM 33	
1.7.	TOXICOCINÉTICA	35
1.7.1.	ARSÉNICO	35
1.8.	TOXICIDAD EN EL SER HUMANO	39
1.8.1.	ARSÉNICO	39
1.8.1.1.	INTOXICACIÓN AGUDA	43
1.8.1.2.	INTOXICACIÓN CRÓNICA	43
1.8.1.3.	TRATAMIENTO DE INTOXICACIONES	44
CAPITULO III		46
MATERIALES Y MÉTODOS		46
2.1.	LUGAR DE LA INVESTIGACIÓN	47
2.2.	DISEÑO EXPERIMENTAL	47
2.2.1.	MUESTRA	47
2.2.2.	MATERIALES DE LABORATORIO	47
2.2.3.	REACTIVOS	48
2.3.	CALIDAD DE AGUA	49
2.3.1.	TOMA DE MUESTRA	49
2.4.	MÉTODOS INSTRUMENTALES	51
2.4.1.	DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO POR ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.	51
2.4.1.1.	REFERENCIAS NORMATIVAS	51
2.4.1.2.	FUNDAMENTO	52
2.4.1.3.	MUESTREO Y PRESERVACIÓN	53
2.4.1.4.	PROCEDIMIENTO	54
2.4.1.5.	CURVA DE CALIBRACIÓN	55
2.4.1.6.	DETERMINACIÓN POR ADICIONES ESTÁNDAR	55
CAPITULO IV		57
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		57
3.1.	RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA	58
3.2.	CURVA DE CALIBRACIÓN PARA ARSENICO TOTAL.	59
3.3.	DISTRIBUCIÓN DE LAS MUESTRAS	61

3.4. RESULTADO DE LA DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO POR ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA POR DISTRITOS.	62
3.5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	90
4.CONCLUSIONES	91
5.RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS	92
6.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
ANEXOS	95





RESUMEN

La presente investigación experimental se ha realizado para determinar los niveles de arsénico en agua potable para consumo humano, en algunos distritos de la ciudad de Arequipa. Se hizo una comparación de dos tipos de fuentes de agua: superficial y de profundidad o llamada también de manantial.

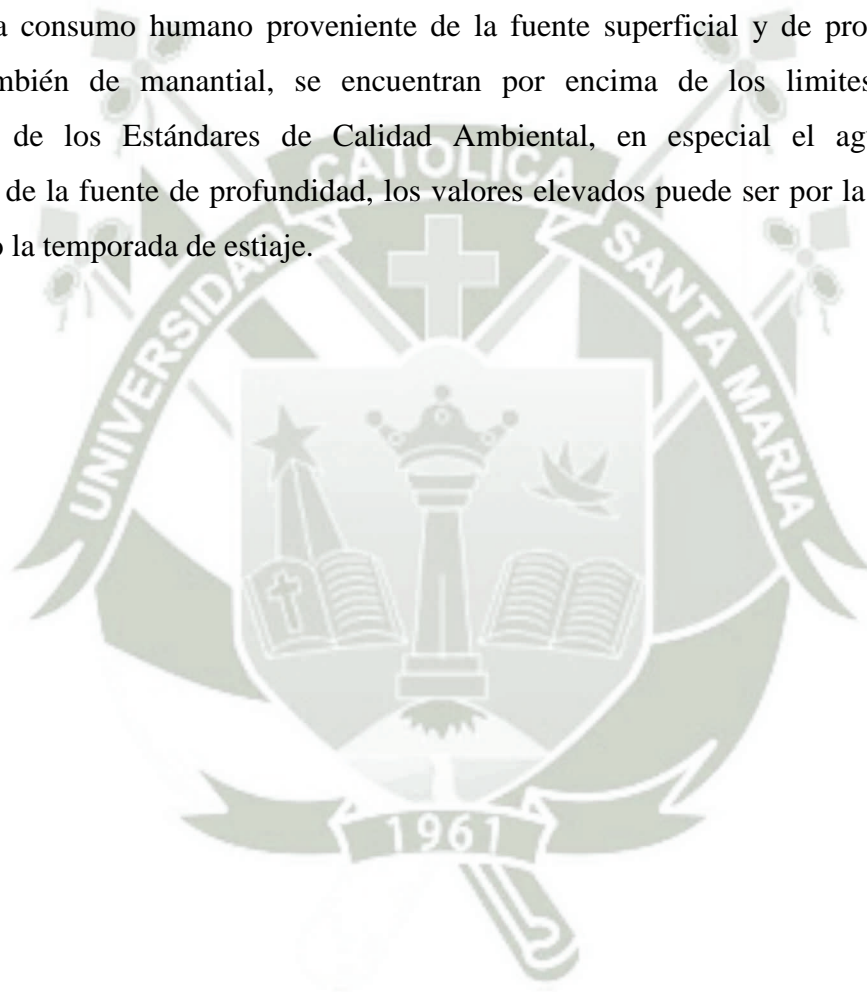
Para la determinación de Arsénico en la ciudad de Arequipa se utilizó la técnica plasmada en el POE “DETERMINACIÓN DE ARSENICO Y SELENIO POR GENERACIÓN DE HIDRUROS / ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA”.

Para llevar a cabo esta investigación se tomaron doscientos cuarenta muestras de agua potable para el consumo humano en diferentes distritos de Arequipa; Tiabaya, Sachaca, Tingo, Sabandia, Cayma, Yanahuara, Cerro Colorado y Cercado; se tomaron 8 muestras por día durante un mes. Se utilizó el método antes mencionado. Los análisis para determinar Arsénico en agua potable, se realizaron en las instalaciones del laboratorio BHIOS-Arequipa.

La toma de la muestra se realizó del caño de la red pública, que fue colocada en frascos de polietileno con preservante y siguiendo una cadena de frío para conservar el preservante y para mantener estabilizada la muestra, luego proceder a analizar las muestras en el equipo Espectroscopia de Absorción Atómica.

El nivel permisible de arsénico según el reglamento de la calidad del agua para consumo humano del Ministerio de Salud – Perú, la Organización Mundial de la Salud y los Estándares de Calidad Ambiental es de 0.010 mg/L.

Podemos concluir con los resultados de los análisis realizados que el agua de la red pública para consumo humano proveniente de la fuente superficial y de profundidad o llamada también de manantial, se encuentran por encima de los límites máximos permisibles de los Estándares de Calidad Ambiental, en especial el agua que es proveniente de la fuente de profundidad, los valores elevados puede ser por la contextura geográfica o la temporada de estiaje.



ABSTRACT

This experimental research has been done to determine the levels of arsenic in drinking water for human consumption, in some districts of the city of Arequipa. A comparison was made of two types of water sources: superficial and deep or also called spring.

For the determination of arsenic in the city of Arequipa we used the technique as embodied in the POE "DETERMINATION OF ARSENIC AND SELENIUM HYDRIDE GENERATION / ATOMIC ABSORPTION SPECTROSCOPY".

To carry out this research took two hundred forty samples of drinking water for human consumption in different districts of Arequipa; Tiabaya, Sachaca viewpoint, Tingo, Sabandia, Cayma, Yanahuara, Cerro Colorado and fencing; we took 8 samples per day for a month. We used the method mentioned above. The analysis to determine arsenic in drinking water, were conducted in the laboratory facilities BHIOS-Arequipa..

The decision of the sample was made of the Cano of the public network, which was placed in polyethylene bottles with preservative and following a string of cold to preserve the preservative and the sample to maintain stabilized the sample, then proceed to analyze the samples in the computer of Atomic Absorption Spectroscopy.

The permissible level of arsenic according to the regulation of water quality for human consumption of the Ministry of Health - Peru, the World Health Organization and the Environmental Quality Standards of 0,010 mg/L

We can conclude with the results of the analysis carried out that the water of the public network for human consumption from the superficial source and the depth or also known as spring, are above the maximum allowable limits of the Environmental Quality Standards, in particular the water that is from the source depth, higher values can be by the geographical contexture or the season water season.

INTRODUCCIÓN

La investigación experimental desarrollada “Determinación de Arsénico en Agua Potable proveniente de Fuentes Superficiales y de Manantial provistas por SEDAPAR - Arequipa 2014.”, se basó en la realización de los análisis de agua por Espectroscopia de Absorción Atómica con la finalidad de verificar si cumple con los Estándares de Calidad Ambiental.

El agua es uno de los bienes más importantes y escasos que tienen las personas alrededor del mundo, nuestro país no es una excepción; muchas de nuestras poblaciones se ven obligadas a beber de fuentes cuya calidad deja mucho que desear y produce un sinnúmero de enfermedades a niños y adultos. El acceso al agua potable es una necesidad primaria y por lo tanto un derecho humano fundamental.

El arsénico es un metaloide que se encuentra en el planeta tierra y es usado comercial e industrialmente en la elaboración de diferentes productos, tales como aditivos para preservar madera y alimentos, a mayores concentraciones también es utilizado para la elaboración de plaguicidas.

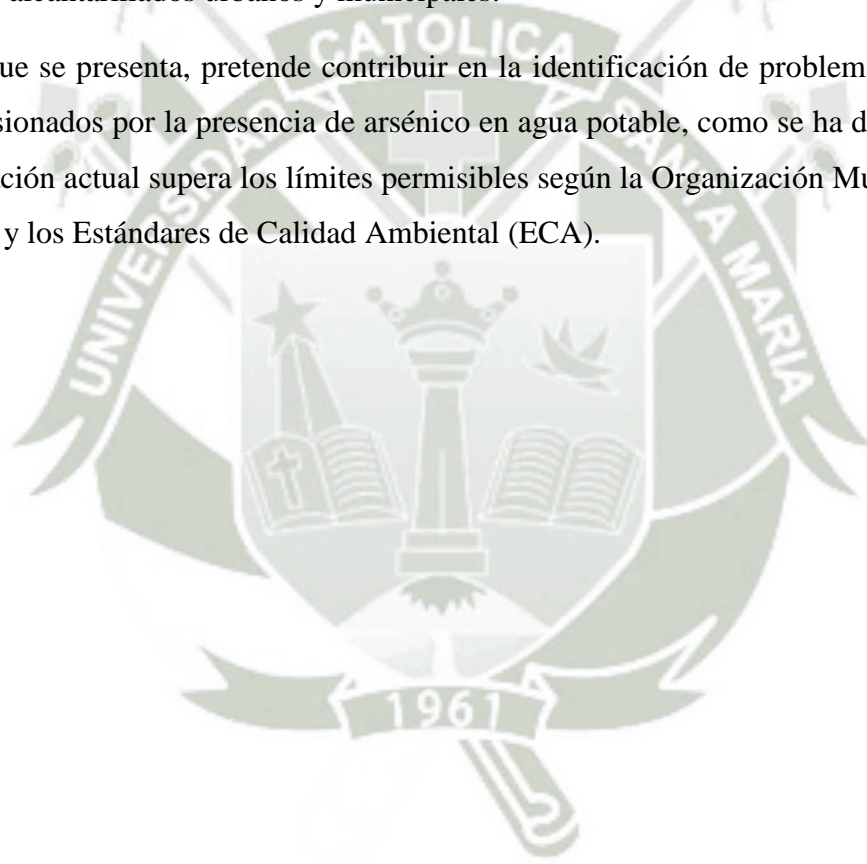
El arsénico pertenece al grupo de los metales pesados y es considerado como uno de los 5 elementos (As, Cd, Cr, Hg y Pb) más tóxicos de la tierra y se encuentra ampliamente distribuido en minerales naturales de la corteza terrestre, además es considerado veneno de carácter protoplasmático que actúa por inhibición de los sistemas enzimáticos, por lo que es responsable de enfermedades cancerígenas en virtud de que es capaz de formar complejos con grupos tiolos de las proteínas inhibiendo la competición del piruvato oxidasa por dichos grupos y capaz de pasar a través de la placenta al sistema metabólico de los fetos.

Actualmente se sabe que la toxicidad del arsénico se manifiesta por cambios cutáneos, hepáticos, neurológicos, hematológicos, cardíacos y hasta la muerte, además es acumulativo y solo es expulsado del cuerpo en forma gradual a través de la orina, pelo, uñas y piel; por consiguiente los pacientes que sufren de envenenamiento con este elemento presentan diferentes sintomatologías que pueden ir desde anorexia, diarrea y náuseas hasta melanosis, leuco-melanosis, queratosis, hiperqueratosis, gangrena y cáncer de piel, entre otros.

Además, una exposición prolongada de arsénico produce alteraciones de la piel (dilatación de capilares cutáneos) irritación de los órganos del aparato respiratorio, gastrointestinal, y hematopoyético; además una acumulación en los huesos, músculos y piel, y en menor grado en hígado y riñones; también se lo ha relacionado con cáncer de la vejiga, pulmón, piel, renal, fosas nasales, hígado, y próstata. “A largo plazo, una de cada 10 personas que beben agua con altas concentraciones de arsénico morirán a consecuencia de ello”, señaló Allan Smith de la Universidad de California en Berkeley.

La contaminación del agua en los mantos acuíferos por arsénico y por algunos metales pesados, posiblemente se debe a procesos de infiltración de aguas residuales e industriales que tienen deficiente o ningún tipo de tratamiento previo al ser introducidos a los sistemas de drenaje y alcantarillados urbanos y municipales.

El trabajo que se presenta, pretende contribuir en la identificación de problemas en salud pública ocasionados por la presencia de arsénico en agua potable, como se ha determinado la concentración actual supera los límites permisibles según la Organización Mundial de la Salud OMS y los Estándares de Calidad Ambiental (ECA).



OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

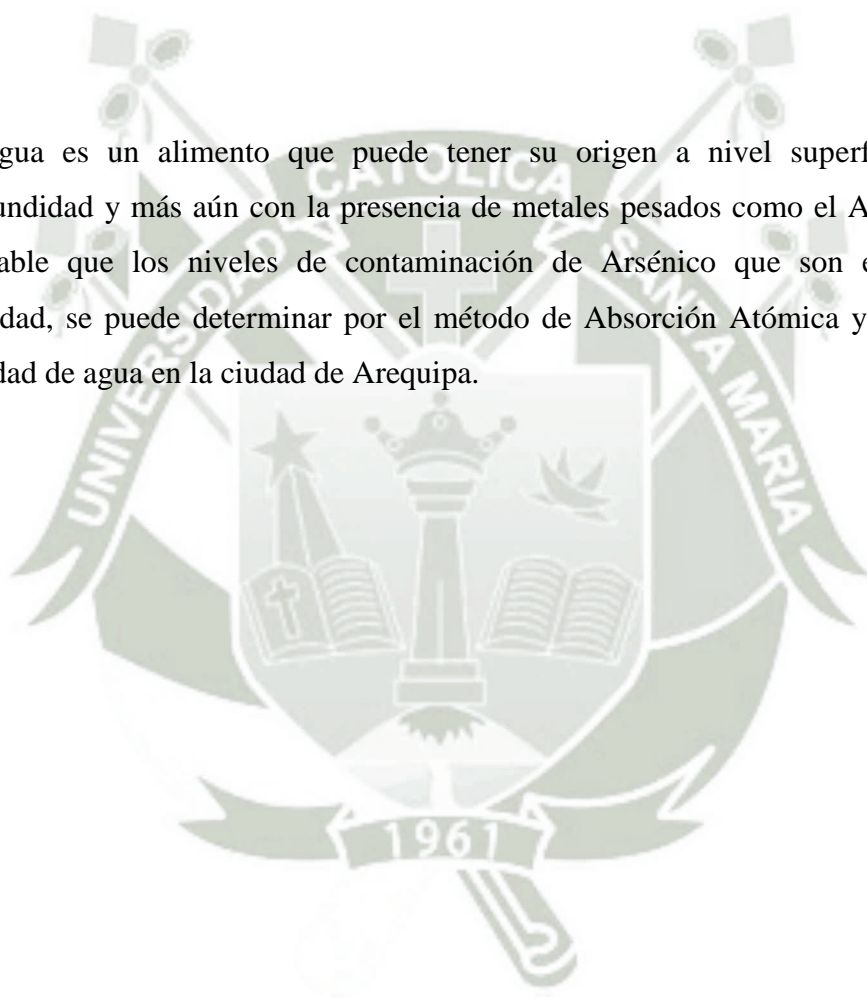
1. Determinar Arsénico mediante Espectroscopía de Absorción Atómica en la matriz de agua potable en la ciudad de Arequipa.


OBJETIVOS ESPECIFICOS:

1. Realizar el muestreo de agua potable que proviene de la fuente de origen superficial y profundo o de manantial.
2. Cuantificar el Arsénico mediante la técnica analítica de Espectroscopía de Absorción Atómica.
3. Valorar los niveles de Arsénico obtenidos a través del método “Determinación de Arsénico y Selenio por Generación de Hidruros / Espectroscopia de Absorción Atomica” a fin de establecer la calidad del agua potable.

HIPÓTESIS

El agua es un alimento que puede tener su origen a nivel superficial o de profundidad y más aún con la presencia de metales pesados como el Arsénico, es probable que los niveles de contaminación de Arsénico que son en mínima cantidad, se puede determinar por el método de Absorción Atómica y evaluar la Calidad de agua en la ciudad de Arequipa.





CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

1.1. AGUA

El agua es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H₂O). Es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida. El término agua generalmente se refiere a la sustancia en su estado líquido, aunque la misma puede hallarse en su forma sólida llamada hielo, y en su forma gaseosa denominada vapor.

El agua cubre el 71 % de la superficie de la corteza terrestre. Se localiza principalmente en los océanos, donde se concentra el 96,5 % del agua total, los glaciares y casquetes polares poseen el 1,74 %, los depósitos subterráneos (acuíferos), los permafrost y los glaciares continentales suponen el 1,72 % y el restante 0,04 % se reparte en orden decreciente entre lagos, humedad del suelo, atmósfera, embalses, ríos y seres vivos. (10)

1.1.1. CALIDAD DE AGUA

1.1.2. CALIDAD DE AGUA PARA DIFERENTES USOS

En el Perú, el DL. 17752. Ley General de Aguas y sus reglamentos, establece la clasificación de los cursos de agua de acuerdo a sus usos. Los valores que alcancen las diferentes características del agua la hacen propia para determinado uso y le imprimen una calidad específica que le permiten una clasificación. Estas características de calidad que deben alcanzar las aguas según el uso, llevan a manejar diferentes tratamientos de adecuación para alcanzar los valores propios.

1.1.3. CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS DE ACUERDO A SUS USOS

Se entiende por agua de uso agrícola aquella empleada para la irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias que establezcan los organismos competentes.

Se prohíbe el uso de aguas servidas para riego, exceptuándose las aguas servidas tratadas y que cumplan con los niveles de calidad establecidas en esta norma.

TABLA N° 1: CLASES DE AGUAS

CLASE	USOS
I	Aguas de abastecimiento doméstico con desinfección simple
II	Agua de abastecimiento doméstico con tratamiento equivalente a procesos combinados de mezcla y coagulación, sedimentación, filtración y cloración.
III	Agua para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales
IV	Aguas de zonas recreativas de contacto primario (baños y similares)
V	Aguas de zonas de pesca de mariscos bivalvos
VI	Aguas de zona de preservación de fauna acuática y pesca recreativa o comercial.

Fuente: DL 17752. Ley General de Aguas y sus reglamentos.

1.2. AGUA POTABLE

Se denomina agua potable o agua para el consumo humano, al agua que puede ser consumida sin restricción debido a que, gracias a un proceso de purificación, no representa un riesgo para la salud. El término se aplica al agua que cumple con las normas de calidad promulgadas por las autoridades locales e internacionales. (6)

Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). Establecen valores máximos y mínimos para el contenido en minerales, diferentes iones como cloruros, nitratos, nitritos, amonio, calcio, magnesio, fosfato, arsénico, entre otros, además de los gérmenes patógenos. El pH del agua potable debe estar entre 6,5 y 8,5.

El límite máximo permisible de Arsénico es 0.01 mg/L. (12)

1.3. SEDAPAR

Empresa prestadora de servicios de Agua Potable y Alcantarillado.

1.3.1. UBICACIÓN

La empresa SEDAPAR.S.A se encuentra ubicada en la ciudad de Arequipa la cual comprende los distritos de Cayma, Cerro Colorado, Hunter, Miraflores, Tiabaya, Alto Selva Alegre, Yanahuara, Sachaca Uchumayo, J.L. Bustamante, Paucarpata, Socabaya, Sabandía; está ubicada a una altitud de 2,33m.s.n.m.

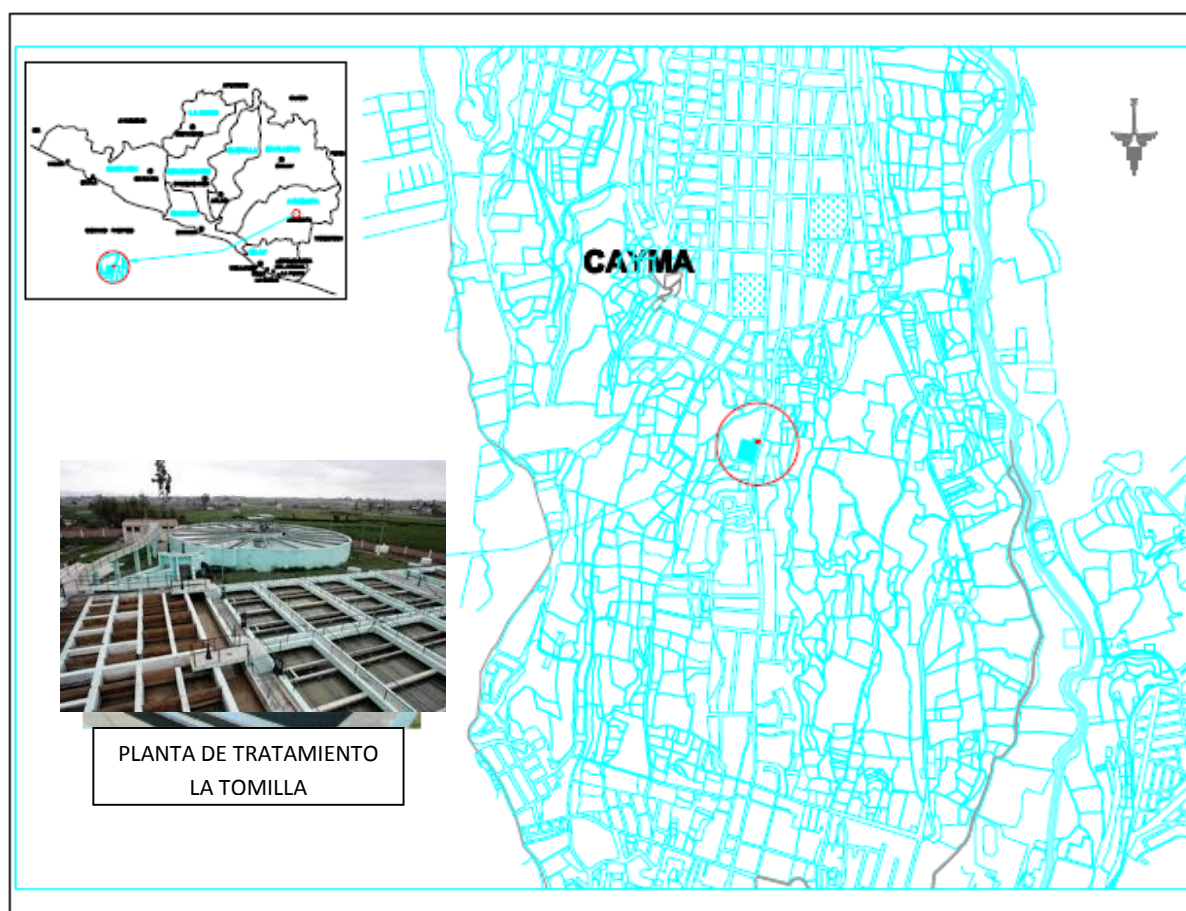


FIGURA N° 1: PLANO DE UBICACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO “LA TOMILLA”.

Fuente: Tomada de SEDAPAR

1.3.2. DESCRIPCIÓN

1.3.2.1. SISTEMA DE AGUA

El sistema de agua que utiliza la empresa SEDAPAR S.A. para brindar el servicio a la colectividad Arequipeña se basa en dos fuentes más importantes la planta de tratamiento de agua la tomilla y la fuente de manantial la bedoya.



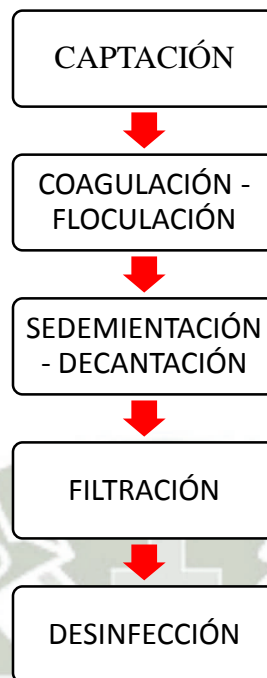
FIGURA N° 2: PRINCIPALES FUENTES DE PRODUCCIÓN.

Fuente: Tomada de SEDAPAR

1.3.2.2. ESQUEMA DE LA RED

Se encuentra en el anexo II

1.3.3. PROCESOS DE AGUA POTABLE EN SEDAPAR



1.3.3.1. CAPTACIÓN

1.3.3.1.1. CAPTACIÓN

- Canal Zamácola
- Compuertas
- Rejilla
- Aforador Parshall
- Limnómetro

1.3.3.1.2. PRE TRATAMIENTO

➤ Desarenadores

Estas unidades hidráulicas permiten garantizar la eficiente remoción de partículas críticas. Está relacionado con los fenómenos de sedimentación de caída libre.

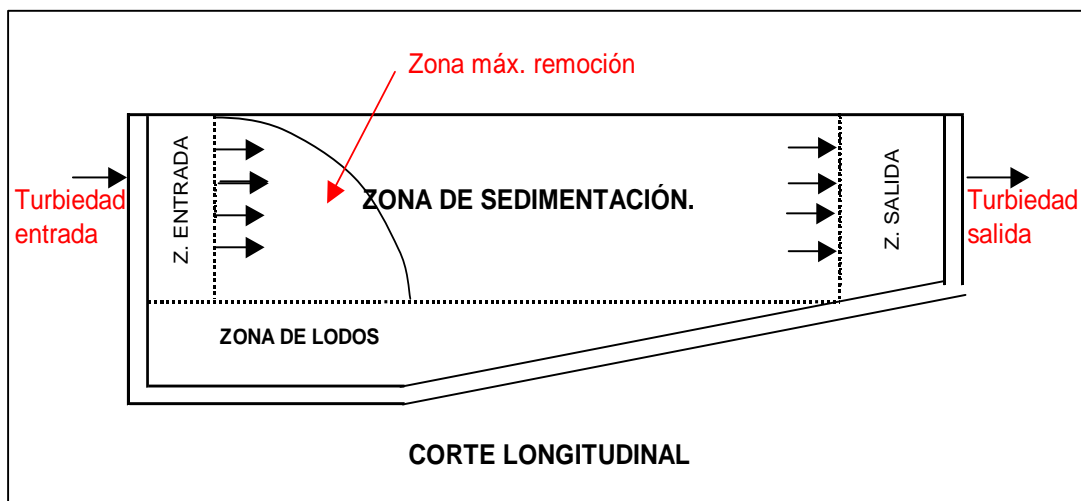


FIGURA N° 3: CORTE LONGITUDINAL DE LOS POZOS DESARENADORES.

Fuente: Tomada de SEDAPAR



FIGURA N° 4: POZOS DESARENADORES.

Fuente: Tomada de SEDAPAR

➤ **Acondicionamiento**

- ✓ Precloración: Oxidación rápida de hierro y manganeso
- ✓ Dosificación de Cal: Modificación del pH
- ✓ Dosificación de Sulfato de Cobre: Eliminación de algas
- ✓ Dosificación de polímeros: Remoción de turbiedad (época de lluvias)

1.3.3.2. COAGULACIÓN

Si se dejara decantar un agua natural, tal cual se extrae de un río o arroyo, al ser tan livianas las partículas que conforman la turbiedad y el color, éstas no decantarían nunca. Estas partículas se encuentran cargadas negativamente y debido a que cargas del mismo signo se repelen, no es posible en esas condiciones agruparlas entre sí, para obtener otras de mayor tamaño.

La coagulación, consiste en la neutralización de esas partículas, mediante el agregado de cargas de signo positivo, a través de un producto llamado Coagulante.

Este proceso dura unos pocos segundos y es necesario se produzca una agitación violenta para que el coagulante se mezcle completamente con el agua, en un tiempo lo más corto posible.

Ese punto de máxima agitación, en donde se inyecta el coagulante, se llama Mezcla Rápida. (18)

1.3.3.2.1. FACTORES QUE MODIFICAN EL PROCESO.

Adicionalmente a los factores químicos que afectan las reacciones de coagulación, están en las características propias de la mezcla rápida que influyen determinantemente en la eficiencia final de todo el tratamiento, como son:

- ✓ Parámetros operacionales.
- ✓ Tipo de dispositivo de mezcla.
- ✓ Sistema de aplicación del coagulante.
- ✓ Punto de aplicación y distribuidor.



FIGURA N° 5: APLICACIÓN DEL COAGULANTE

Fuente: Tomada de SEDAPAR

1.3.3.2.2. PARÁMETROS OPERACIONALES

a. Turbiedad

✓ Agua Cruda:

Temporada de lluvia: lluvias normales 200 a 400 UNT

Temporada de lluvia: caídas de huaycos hasta 10 000 UNT

Temporada de estiaje: 06 a 60 UNT (turbidez coloidal)

✓ Agua Potable:

Norma Nacional: 5 UNT como máximo

Norma SEDAPAR: 2 UNT como máximo

b. pH (6.5 - 8.5 unidades).

c. Alcalinidad (60 - 110 mg/l CaCO₃).

1.3.3.2.3. CLASIFICACIÓN DE LAS UNIDADES DE MEZCLA RÁPIDA.

TABLA N° 2: CLASIFICACIÓN DE LAS UNIDADES DE MEZCLA RÁPIDA

MECANICOS.	Retromezclador en línea.	
HIDRAÚLICOS.	Resalto Hidráulico.	Canaleta Parshall. Canal de fondo inclinado. Vertedero rectangular.
	En línea.	Difusores. Inyectores. Estáticos.
	Caídas.	Orificios. Vertederos triangulares.
	Contracciones.	Medidor venturi. Reducciones. Orificios ahogados.
	Velocidad o cambio de flujo.	Línea de bombeo. Codos.

1.3.3.3. FLOCULACIÓN

Luego de coagulada el agua, las partículas no presentan cargas en su superficie y no existen impedimentos para que se unan entre sí.

Para lograr esto, el agua se debe agitar lentamente, de modo que las partículas coaguladas, al chocar, se vayan uniendo para dar lugar a otras de mayor tamaño llamadas FLÓCS.

Este proceso debe hacerse bajo condiciones muy bien controladas, pues una agitación muy violenta en ésta etapa puede producir rotura de flóculos ya formados, en cambio una agitación muy lenta puede formar flóculos esponjosos y débiles y difíciles de sedimentar.

(18)

1.3.3.3.1. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FLOCULACIÓN

- ✓ La naturaleza del agua.
- ✓ Las variaciones de caudal.
- ✓ La intensidad de agitación.
- ✓ El tiempo de floculación.
- ✓ El número de compartimientos de la unidad.

1.3.3.4. SEDIMENTACIÓN

La sedimentación, es la primera etapa efectiva de separación de partículas del agua, donde se logra una reducción de turbiedad y color con respecto al agua cruda.

En el sedimentador al reducirse la velocidad de circulación del agua, se produce la separación del fluido claro, que sobrenada la superficie y un lodo con una concentración elevada de materias sólidas que se depositan por efecto gravitacional y por tener peso específico mayor que el fluido. (18)



FIGURA N° 6: UNIDAD COMPACTA.

Fuente: Tomada de SEDAPAR



FIGURA N° 7: UNIDAD CONVENCIONAL.

Fuente: Tomada de SEDAPAR

1.3.3.5. FILTRACIÓN

Es la etapa final del proceso de clarificación del agua y la que debe dar las garantías de que el agua cumpla con las Normas de calidad de turbiedad y color.

Consiste en pasar el agua a través de un medio poroso, en la mayoría de casos formado por arena seleccionada, para lograr la remoción de sólidos coloidales y suspendidos contenidos en el agua.

En el filtro, se retienen las partículas de menor densidad (flocos pequeños) y las que por algún motivo no fueron eliminadas en el sedimentador.

Hoy en día se considera a la filtración como una de las principales barreras para la retención de microorganismos patógenos.

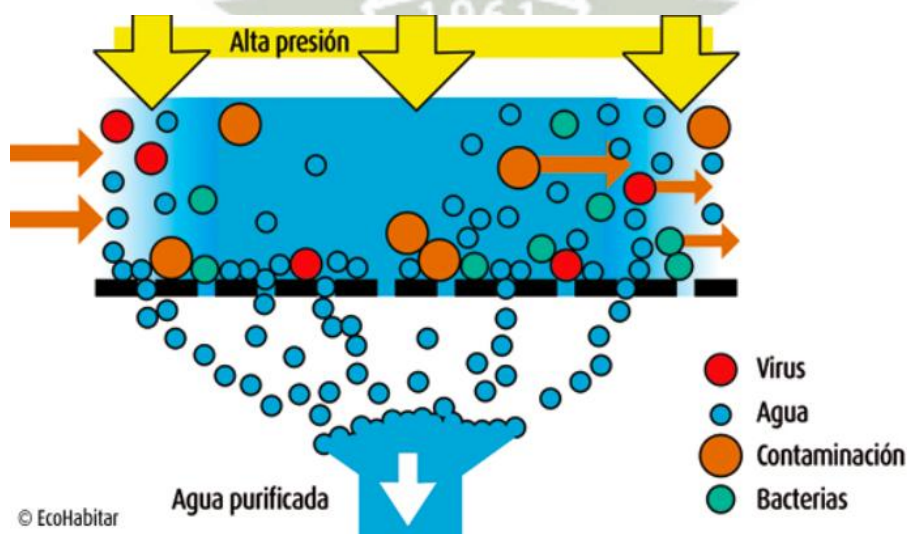
Los filtros al colmatarse, deben lavarse y el tiempo que transcurre entre dos lavados consecutivos de un filtro de llama Carrera de Filtración. (18)

1.3.3.6. ABLANDAMIENTO

La dureza en el agua se genera como consecuencia de la presencia de ciertas sales en el agua.

Los iones presentes en un agua dura son Calcio (Ca^{2+}), Magnesio (Mg^{2+}) y bicarbonatos (HCO_3^-). Estos iones o minerales son los causantes de la formación de depósitos en las tuberías y demás equipos utilizados en los sistemas de agua potable y de agua de proceso.

Las unidades ablandadoras ofrecen una solución para el ablandamiento del agua dura y eliminación de dichos depósitos.



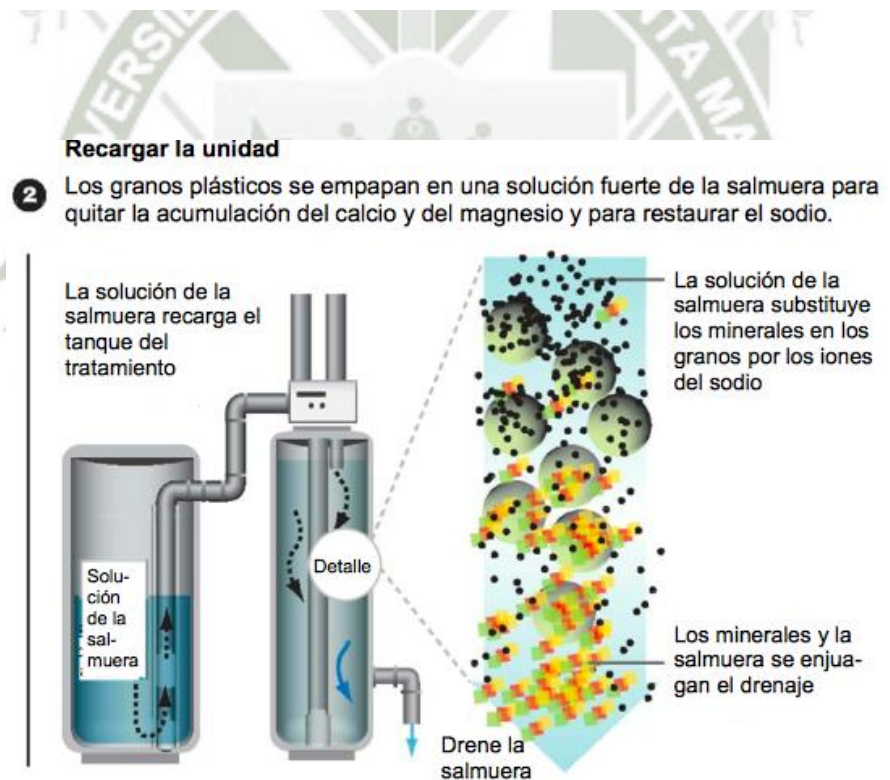
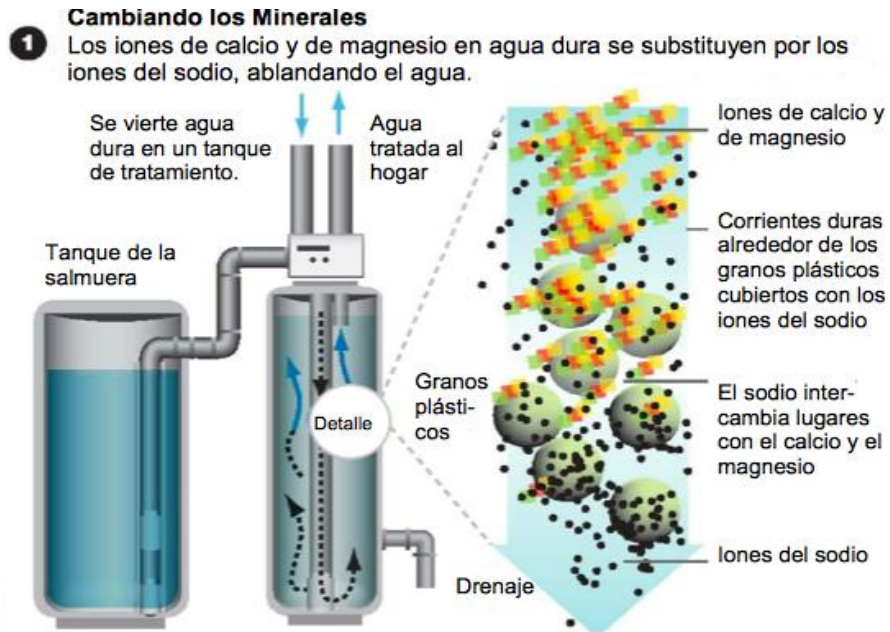


FIGURA N° 8: PROCESO DE ABLANDAMIENTO DE AGUA

Fuente: Tomada de Mission Hills

1.3.3.7. DESINFECCIÓN

La desinfección tiene por finalidad destruir los microorganismos patógenos presentes en el agua: bacterias (Salmonelas, Shigellas, Vibrio Cholerae, E. Coli), protozoarios y virus.

Es necesaria porque no es posible asegurar la remoción total de los microorganismos por los procesos fisicoquímicos y biológicos usualmente utilizados en el tratamiento de agua.

En conclusión, tiene por objetivo garantizar la potabilidad del agua desde el punto de vista microbiológico. (8)

Entre los agentes oxidantes más usados en el sistema de producción de Agua Potable en Arequipa tenemos:

- ✓ El cloro (Cl_2) en forma líquida, envasado en cilindros a presión.
- ✓ Hipoclorito de calcio $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ con 70% de cloro disponible.

1.3.3.7.1. APLICACIÓN DE CLORO COMO AGENTE DE DESINFECCIÓN

A.- VENTAJAS

- ✓ Se encuentra fácilmente disponible (gas, líquido o sólido).
- ✓ Es económico frente a otros desinfectantes.
- ✓ Es fácil de aplicar debido a su alta solubilidad (7.0 g/l a 20°C).
- ✓ Deja un residual en solución y protege el sistema de distribución.
- ✓ Es capaz de destruir la mayoría de los microorganismos patógenos.

B.- DESVENTAJAS

- ✓ En algunos casos, produce sabor desagradable en el agua.
- ✓ Es corrosivo.
- ✓ Requiere de cuidadosa manipulación.



FIGURA N° 9: CLORADORES.

Fuente: Tomada de SEDAPAR



FIGURA N° 10: Batería de cilindros de cloro 907Kg.

Fuente: Tomada de SEDAPAR

1.4. CONTAMINACIÓN NATURAL DE LAS AGUAS

1.4.1. ARSÉNICO

1.4.1.1. FUENTES NATURALES

Estos minerales son de origen hidrotermal y los más propagados portadores de arsénico en los distintos tipos de yacimientos hidrotermales de cobre; lo más frecuente es que guarden relación con la calcopirita y en menor proporción con la pinta y la galena. En el proceso de oxidación en la zona de meteorización (superficie), se descompone con relativa rapidez. El arsénico está ampliamente distribuido en la corteza terrestre, sus formas más comunes son los sulfuros de arsénico en sus diferentes formaciones mineralógicas solas o mezcladas con la de otros elementos. (7)

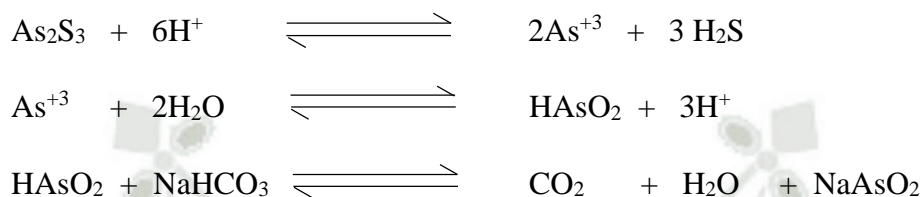
Los minerales de arsénico más importantes son: arsenopirita (FeAsS), lolingita (FeAs_2), cobaltita (CoAsS), domeikita (Cu_3As), niquelina (NiAs), escuterudita ($\text{Co}_3\text{Ni}_3\text{Fe}$) As_3 , rejgar (As_4S_4), oropimente (As_2S_3) y allemontita (AsSb) todos ellos de origen geológico, es decir, se formaron en el tiempo geológico. La acción de las aguas y su contenido ácido produce un efecto lixivante de los minerales ayudado por las altas temperaturas y la presión del manto terráqueo extraen elementos en solución acuosa que en condiciones normales no se producirían. (19)

También se encuentra el arsénico en minerales de origen secundario, formados por la alteración en la superficie de otros minerales preexistentes. Así se originan, por ejemplo, la annabergita ($\text{Ni}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), la eritina ($\text{Co}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) y la mimetita ($\text{Pb}_5(\text{AsO}_4)_3\text{Cl}$) entre otros.

Según mis observaciones no ha de dejarse de lado la influencia de las cenizas volcánicas que permanentemente se forman por la actividad volcánica de la zona y otras que de apariencia no cercana tienen notable influencia y son de efecto inmediato en las plantas y animales que se encuentran en el radio de influencia de las mismas.

- **ARSÉNICO: REACCIONES DE FORMACIÓN**

La existencia de minerales de arsénico como el realgar, el oropimente, etc., por efecto del agua ácida la temperatura elevada hace posible la lixiviación de los minerales con formación de compuestos solubles de arsénico y de ácido sulfhídrico según las siguientes reacciones:



El arsénico en las aguas normalmente se encuentra al costado de compuestos arseniosos y por reacciones de hidrólisis se mantienen al estado coloidal formando compuestos de arsénico (III) como As_2O_3 coloidal. En las partículas coloidales se ha de considerar la carga del coloide con el objeto de formar otra de sentido contrario que posibilite la precipitación del coloide que compromete la calidad del agua.

La eliminación de compuestos de arsénico se hace a través del tratamiento coloidal de las aguas y considerando que este se encuentra como coloide negativo se utilizara un coloide positivo (normalmente sales férricas) que neutralice al anterior y logre la precipitación; el termino eliminación se ha de entender como disminuir el contenido de estos compuestos a límites no dañinos a la salud humana. (9)

1.4.1.2. FUENTES ANTROPOGÉNICAS

El arsénico es usado comercial e industrialmente en la elaboración de diferentes productos, tales como aditivos para preservar madera, alimentos, en veterinaria y medicina, productos farmacéuticos (solución de Fowler, 1% KAsO_2), a mayores concentraciones también es utilizado para la elaboración de plaguicidas, el arsénico es usado comercialmente e industrialmente como un agente en la manufactura de transistores, laser y semiconductores, como también en la fabricación de vidrio, pigmentos, textiles, papeles, adhesivos de metal, municiones, procesos de bronceado, plaguicidas.

El arsénico a través de la disolución de minerales, desde efluentes industriales y muy rara vez por causas naturales vía deposición atmosférica aunque en concentraciones muy bajas; también se encuentra en ciertos insecticidas y herbicidas. En aguas superficiales bien oxigenadas, el arsénico (V) es generalmente la especie más común; bajo condiciones de reducción tales como las que se presentan en sedimentos de lagos profundos o aguas subterráneas, la forma más predominante es el arsénico (III). Un incremento del pH puede incrementar la concentración de arsénico disuelto en el agua. (22)

1.4.1.3. CARACTERÍSTICAS

El arsénico es un metaloide de color gris plateado, brillante, quebradizo y amorfo, de olor alíaceo, que en contacto con el aire húmedo se oxida fácilmente formando trióxido de arsénico o anhídrido arsenioso o arsénico blanco. Se obtiene habitualmente en forma de trióxido de arsénico, como producto secundario en la industria del cobre, plomo, zinc, estaño y oro, ya que se encuentra como pureza de muchos metales. (22)

1.4.1.4. TOXICIDAD EN SALUD PÚBLICA

El Arsénico es uno de los más tóxicos elementos que pueden ser encontrados. Debido a sus efectos tóxicos, los enlaces de Arsénico inorgánico ocurren en la tierra naturalmente en pequeñas cantidades. Los humanos pueden ser expuestos al Arsénico a través de la comida, agua y aire. (20)

La exposición puede también ocurrir a través del contacto con la piel con suelo o agua que contenga Arsénico.

Los niveles de Arsénico en la comida son bastante bajos, no es añadido debido a su toxicidad, pero los niveles de Arsénico en peces y mariscos puede ser alta, porque los peces absorben Arsénico del agua donde viven. Por suerte esto es mayormente la forma de Arsénico orgánico menos dañina, pero peces que contienen significantes cantidades de Arsénico inorgánico pueden ser un peligro para la salud humana. (23)

La exposición al Arsénico puede ser más alta para la gente que trabaja con Arsénico, para gente que bebe significantes cantidades de vino, para gente que vive en casas que contienen conservantes de la madera y gente que viven en granjas donde el Arsénico de los pesticidas ha sido aplicado en el pasado.

La exposición al Arsénico inorgánico puede causar varios efectos sobre la salud, como es irritación del estómago e intestinos, disminución en la producción de glóbulos rojos y blancos, cambios en la piel, e irritación de los pulmones. Es sugerido que la toma de significantes cantidades de Arsénico inorgánico puede intensificar las posibilidades de desarrollar cáncer, especialmente las posibilidades de desarrollo de cáncer de piel, pulmón, hígado, linfa.

A exposiciones muy altas de Arsénico inorgánico puede causar infertilidad y abortos en mujeres, puede causar perturbación de la piel, pérdida de la resistencia a infecciones, perturbación en el corazón y daño del cerebro tanto en hombres como en mujeres. Finalmente, el Arsénico inorgánico puede dañar el ADN. El Arsénico orgánico no puede causar cáncer, ni tampoco daño al ADN. Pero exposiciones a dosis elevadas puede causar ciertos efectos sobre la salud humana, como es lesión de nervios y dolores de estómago.

No se ha demostrado que el arsénico sea esencial en el ser humano. Es un contaminante importante del agua de consumo, ya que es una de las pocas sustancias que se ha demostrado que producen cáncer en el ser humano por consumo de agua potable. Hay pruebas abrumadoras, de estudios epidemiológicos, de que el consumo de cantidades altas de arsénico en el agua potable, está relacionado causalmente con el desarrollo de cáncer en varios órganos, en particular la piel, la vejiga y los pulmones. En varias partes del mundo, las enfermedades producidas por arsénico, como el cáncer, constituyen un problema significativo de salud pública. Dado que la reactividad y toxicidad del arsénico inorgánico trivalente son mayores que las del arsénico inorgánico pentavalente, se cree generalmente que la forma trivalente es la cancerígena. No obstante, sigue habiendo considerable incertidumbre y controversia tanto sobre el mecanismo de la acción cancerígena como sobre la forma de la curva de dosis-respuesta para ingestas bajas. El CIIC clasifica a los compuestos inorgánicos de arsénico en el Grupo 1 (cancerígenos par el ser humano) basándose en la existencia de pruebas suficientes de su capacidad cancerígena en seres humanos y de pruebas limitadas en animales. (27)

1.5. ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

1.5.1. FUNDAMENTO

La espectroscopía de absorción atómica es una técnica para determinar la concentración de un elemento metálico determinado en una muestra. Puede utilizarse para analizar la concentración de más de 62 metales diferentes en una solución. Aunque la espectroscopía de absorción atómica data del siglo XIX, la forma moderna fue desarrollada en gran medida durante la década de los 50 por un equipo de químicos de Australia, dirigidos por Alan Walsh. (26)

Es un método de química analítica cuantificable que está basado en la atomización del analito en matriz líquida y que utiliza comúnmente un nebulizador pre-quemador (o cámara de nebulización) para crear una niebla de la muestra y un quemador con forma de ranura que da una llama con una longitud de trayecto más larga, en caso de que la transmisión de energía inicial al analito sea por el método "de llama". La niebla atómica es desolvatada y expuesta a una energía a una determinada longitud de onda emitida ya sea por la dicha llama, o una lámpara de cátodo hueco construida con el mismo analito a determinar o una Lámpara de Descarga de Electrones (EDL). Normalmente las curvas de calibración no cumplen la Ley de Beer-Lambert en su estricto rigor. (21)

La temperatura de la llama es lo bastante alta para que la llama de por sí no mueran los átomos de la muestra de su estado fundamental. El nebulizador y la llama se usan para desolvatar y atomizar la muestra, pero la excitación de los átomos del analito es hecha por el uso de lámparas que brillan a través de la llama a diversas longitudes de onda para cada tipo de analito.

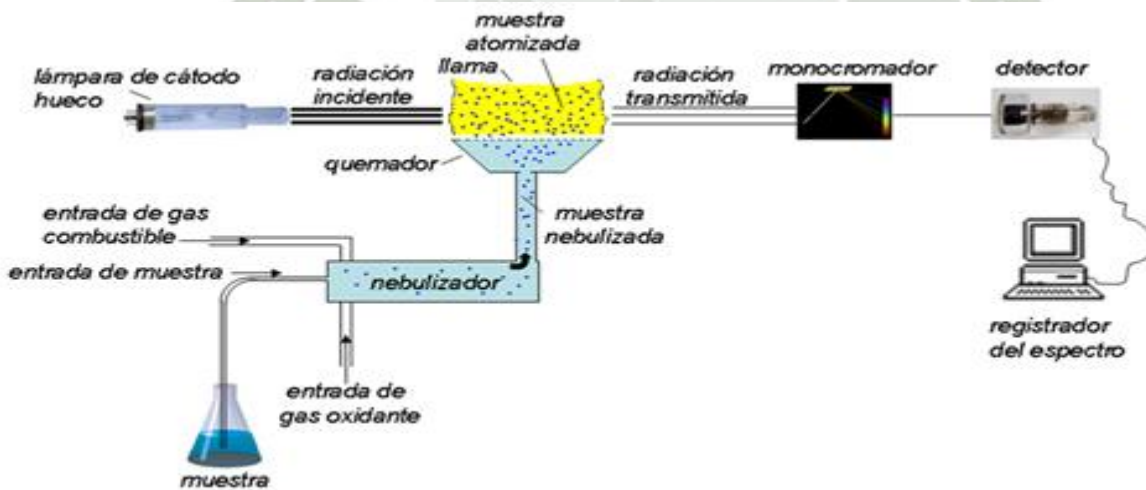
En AA la cantidad de luz absorbida después de pasar a través de la llama determina la cantidad de analito existente en la muestra. Hoy día se utiliza frecuentemente una mufla de grafito (u horno de grafito) para calentar la muestra a fin de desolvatarla y atomizarla, aumentando la sensibilidad.

El método del horno de grafito puede también analizar algunas muestras sólidas o semisólidas. Debido a su buena sensibilidad y selectividad, sigue siendo un método de análisis comúnmente usado para ciertos elementos traza en muestras acuosas (y otros líquidos). Otro método alternativo de atomización es el Generador de Hidruros. (13)



FIGURA N° 11: ESPECTOFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA

Fuente: Propia



**FIGURA N° 12: FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE ESPECTROSCOPIA
DE ABSORCIÓN ATÓMICA**

Fuente:Laboratorio BHIOS

1.5.2. GENERACIÓN DE HIDRUROS.

Los métodos de generación de hidruros utilizados en determinaciones analíticas, se basan en una reacción capaz de generar hidrógeno naciente en el seno de la disolución donde se halla el analito. El método más clásico hace uso de la reacción de Marsh, que consiste en la adición de zinc a un medio ácido diluido, pero sirve únicamente para generar arsina y estibina. Desde la aparición del tetrahidruroborano(III) de sodio NaBH_4 como reactivo de la generación de hidruros es el agente más utilizado, pues genera con éxito todos los hidruros covalentes volátiles conocidos y de manera casi instantánea. El modo de empleo más común de este reactivo es en disolución acuosa, a pesar de que su estabilidad es escasa, por lo que se recomienda su preparación en el momento de usarlo. (15)

Para la generación de los hidruros de As, Sb y Se, los ácidos más utilizados han sido los ácidos minerales fuertes y en concreto el HCl , por su facilidad de manejo y la ausencia de reacciones secundarias. (24)



FIGURA N° 13: GENERADOR DE HIDRUROS

Fuente: Propia

Análisis de los líquidos

Una muestra de líquido normalmente se convierte en gas atómico en tres pasos:

1. Desolvación. El líquido disolvente se evapora, y la muestra permanece seca.
2. Vaporización. La muestra sólida se evapora a gas.
3. Atomización. Los compuestos que componen la muestra se dividen en átomos libres.

Fuentes de luz

La fuente de luz elegida tiene una anchura espectral más estrecha que la de las transiciones atómicas.

* **Lámparas de cátodo hueco.** En su modo de funcionamiento convencional, la luz es producida por una lámpara de cátodo hueco. En el interior de la lámpara hay un cátodo cilíndrico de metal que contiene el metal de excitación, y un ánodo. Cuando un alto voltaje se aplica a través del ánodo y el cátodo, los átomos de metal en el cátodo se excitan y producen luz con una determinada longitud de onda. El tipo de tubo catódico hueco depende del metal que se analiza. Para analizar la concentración de cobre en un mineral, se utiliza un tubo catódico de cobre, y así para cualquier otro metal que se analice.

* **Láseres de diodo.** La espectroscopía de absorción atómica también puede ser llevada a cabo mediante láser, principalmente un láser de diodo, ya que sus propiedades son apropiadas para la espectroscopía de absorción láser. La técnica se denomina espectrometría de absorción atómica por láser de diodo (DLAAS o DLAS), o bien, espectrometría de absorción por modulación de longitud de onda.

Interferencias

Se producen cuando la absorción o emisión de una especie interferente se solapa o aparece muy próxima a la absorción o emisión del analito, de modo que su resolución por el monocromador resulte imposible. Las interferencias químicas se producen como consecuencia de diversos procesos químicos que ocurren durante la atomización y que alteran las características de absorción del analito. Dado que las líneas de emisión de las fuentes de cátodo hueco son muy estrechas es rara la interferencia debida a la superposición de las líneas, para que exista esta interferencia la separación entre las dos líneas tiene que ser menor a $0,1 \text{ \AA}$. Algunos instrumentos poseen Slit (rendija) y monocromadores muy finos que pueden discernir en $0,1 \text{ nm}$ de diferencia. Algunas matrices presentan señal de ruido que se elimina con el background del instrumento permitiendo resultados. (25)

1.6. MARCO LEGAL PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA

1.6.1. REGLAMENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO – MINISTERIO DE SALUD PERÚ

El acceso al agua potable es una necesidad primaria y por lo tanto un derecho humano fundamental, en este contexto era necesario actualizar el Reglamento de los requisitos Oficiales Físicos, Químicos y Bacteriológicos que deben reunir las aguas de bebida para ser consideradas potables, que por su antigüedad (1946), se hacía inaplicable; es entonces que en el año 2000, la Dirección General de Salud Ambiental, asume la tarea de elaborar el “Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano”, tarea que el 26 de setiembre del 2010, a través del D.S. N° 031-2010-SA, se vio felizmente culminada.

El presente Reglamento establece las disposiciones generales con relación a la gestión de la calidad del agua para consumo humano, con la finalidad de garantizar su inocuidad, prevenir los factores de riesgos sanitarios, así como proteger y promover la salud y bienestar de la población.

Límite máximo permisible: son los valores máximos admisibles de los parámetros representativos de la calidad del agua. (14)

Agua de consumo humano: agua apta para consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluida la higiene personal.

TABLA N° 3: PARÁMETROS QUÍMICOS INORGÁNICOS.

PARÁMETROS INORGÁNICOS	UNIDAD DE MEDIDA	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
1. Antimonio	mg Sb L ⁻¹	0.020
2. Arsénico (Nota 1)	mg As L ⁻¹	0.010
3. Bario	mg Ba L ⁻¹	0.700
4. Boro	mg B L ⁻¹	1.500
5. Cadmio	mg Cd L ⁻¹	0.003
6. Cianuro	mg CN L ⁻¹	0.070
7. Cloro (Nota 2)	mg L ⁻¹	5
8. Clorito	mg L ⁻¹	0.7
9. Clorato	mg L ⁻¹	0.7
10. Cromo total	mg Cr L ⁻¹	0.050
11. Flúor	mg F L ⁻¹	1.000
12. Mercurio	mg Hg L ⁻¹	0.001
13. Niquel	mg Ni L ⁻¹	0.020
14. Nitratos	mg NO ₃ L ⁻¹	50.00
15. Nitritos	mg NO ₂ L ⁻¹	3.00 exposición corta 0.20 exposición larga
16. Plomo	mg Pb L ⁻¹	0.010
17. Selenio	mg Se L ⁻¹	0.010
18. Molibdeno	mg Mo L ⁻¹	0.07
19. Uranio	mg U L ⁻¹	0.015

Fuente: Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano. D.S. N°031-2010-SA

Nota 1: En caso de los sistemas existentes se establecerá en los planes de Adecuación Sanitaria el plazo para lograr el límite máximo permisible para el Arsénico de 0.001 mgL⁻¹

Nota 2: Para una desinfección eficaz en las redes de distribución la concentración de Cloro no debe ser menor de 0.5 mgL⁻¹

1.6.2. GUÍAS PARA LA CALIDAD DE AGUA POTABLE – ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD

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, las fuentes de agua de consumo, particularmente las aguas subterráneas pueden contener concentraciones altas de arsénico se considera una sustancia a la que debe darse una prioridad alta en el análisis sistemático de fuentes de agua de consumo humano. Con frecuencia, su concentración está estrechamente relacionada con la profundidad del pozo.

Valor de referencia: 0,01 mg/l

1.6.3. LOS ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA (ECA) D.S N 002-2008-MINAM

Tiene como objetivo establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos que no representa riesgos significativos para la salud de las personas ni para el medio ambiente. ECA clasifica los cuerpos del agua del país para el medio ambiente. Para evaluar la calidad de las aguas del país respecto a sus usos, ya sean terrestres o marítimos.

Artículo 63.- Estándar de Calidad Ambiental – ECA. El estándar de Calidad Ambiental (ECA) es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.

Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos.

El ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas. El ECA es un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

Artículo 64.- Límite Máximo Permissible – LMP. Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente.

Aprobación de los estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.

Aprobar los estándares de calidad ambiental para agua, con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Los estándares aprobados son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental. (28)

TABLA N° 4: ECA PARA AGUAS CATEGORÍA 1: POBLACIONAL Y RECREACIONAL.

PARÁMETRO	UNIDAD	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable		
		A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
		VALOR	VALOR	VALOR
INORGÁNICOS				
Arsénico	mg/L	0.01	0.01	0.05

Fuente: Tomada de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA)

1.7. TOXICOCINÉTICA

1.7.1. ARSÉNICO

La principal fuente de consumo de arsénico por el hombre es a través de los alimentos si bien no se acumula a niveles tóxicos. Solamente, después de un consumo excesivo de pescado, mejillones, langosta y otros alimentos marinos se aumenta la cantidad ingerida, pero ni siquiera este hecho, constituye peligro de intoxicación.

Se conoce muy poco sobre aspectos específicos del metabolismo del arsénico en el organismo. El arsénico tiene una afinidad grande por los grupos hidroxilo y tioles lo que explicaría su interacción con ciertas enzimas y proteínas. De hecho se sabe que este elemento presenta especial afinidad por la queratina, proteína rica en azufre que compone los tejidos córneos del cuerpo como las uñas, cabellos y parte superficial de la piel, por lo que es en estas zonas donde se acumula de forma preferente. (4)

Se sabe que algunas formas de arsénico, presentes en la dieta, se absorben muy fácilmente en el tracto intestinal. Dado que el selenio presenta la misma vía de penetración en el organismo, se establece una competencia entre estos dos elementos y la presencia de selenio desplaza la absorción de arsénico, por lo que el primero tiene la propiedad de reducir la toxicidad del segundo y viceversa, resultando que el exceso corporal de uno de los elementos reduce la concentración del otro.

El arsénico también puede penetrar en el organismo a través de la piel o por inhalación.

La cantidad de arsénico consumido por los individuos es muy variable y depende fundamentalmente del tipo de alimentos de origen marino ingeridos, del tipo de arsénico contenido en el agua de bebida y de la exposición por motivo de trabajo, a atmosferas especialmente contaminadas. De todas formas los factores de contaminación industrial o de manipulación, no son determinantes en la carga corporal de este elemento. (5)

**TABLA N° 5: CONTENIDOS MEDIOS DE ARSÉNICO (MG/KG) DE
ALGUNOS ALIMENTOS Y BEBIDAS USUALES EN LA DIETA. JECFA**

2010

Bebidas	mg/Kg
Vino	0.005-0.03
Cerveza	0.005
Zumos de frutas y vegetales	0.01 – 0.03
Café	0.01
Verduras y hortalizas	mg/Kg
Espinacas	0.023
Perejil	0.26
Espárragos	0.02
Patatas	0.01 – 0.3
Zanahoria	0.007 – 0.03
Grasas	mg/Kg
Aceite vegetal	0.002 – 0.02
Margarina	0.002 – 0.01
Mantequilla	0.01
Tocino	0.005
Cereales, azúcar	mg/Kg
Harina	0.01
Arroz	0.22
Pan negro	0.006
Pan blanco	0.003
Maíz	0.05
Azúcar	0.0001 – 0.04
Lácteos	mg/Kg
Leche y derivados	0.003 – 0.025
Carnes y huevos	mg/Kg
Cerdo	0.003 – 0.03
Hígado de cerdo	0.02
Riñones de cerdo	0.01

Vaca	0.001 – 0.065
Hígado de vaca	0.005 – 0.07
Riñones de vaca	0.02 – 0.132
Tenera	0.002 – 0.012
Hígado de ternera	0.02 – 0.04
Riñones de ternera	0.015 – 0.02
Aves de corral	0.001
Hígado de pavo	0.2
Huevos	0.01 – 0.5
Pescados y mariscos	mg/Kg
Arenques	0.8 – 1.43
Bacalao	0.6 – 7.29
Hígado de bacalao	0.8
Serpia	1.0
Gambas	3.2 – 25.7
Moluscos	1.6 – 2.9
Langosta	1.5 – 122.0
Pescado de agua chulee	0.01

Fuente: The join FAO/WHO Expert Committee on food additives (JECFA 2010)

Como se puede observar en la Tabla anterior, las gambas y sobre todo las langostas son los alimentos con mayor concentración de arsénico y en casos esporádicos éstas últimas pueden sobrepasar los 100mg/Kg debido a que estos animales almacenan específicamente este elemento. (3)

En el organismo humano el contenido de arsénico está próximo a los 0.3mg/Kg. En la siguiente tabla se muestran los contenidos de arsénico en algunos órganos y fluidos corporales.

En cuanto a la eliminación de arsénico del organismo se puede decir que mayoritariamente se excreta por vía urinaria en forma de sales inorgánicas y derivados metilados, especialmente ácido dimetilarsénico, las heces.

También se excreta en la leche materna. Puesto que el cabello y las uñas contienen cantidades considerables de arsénico, es muy probable que tales estructuras sean vías de eliminación de este elemento. Además, se sabe que las cantidades pequeñas de arsénico se eliminan por medio de secreciones, debido a que la velocidad de excreción es lo suficientemente elevada, la formación de depósitos tóxicos de este elemento, incluso en individuos expuestos a ambientes contaminados, es altamente improbable.

Como era de esperar, los mayores contenidos de arsénico se encuentran en uñas y en cabellos, aunque como ya veremos, esta acumulación no es observable hasta pasado un cierto periodo, relativamente largo, después de la intoxicación o exposición al elemento.

TABLA N° 6: CONTENIDOS DE ARSÉNICO EN ALGUNOS ÓRGANOS Y FLUIDOS CORPORALES, EN mg/Kg RESULTADO DE UNA ALIMENTACIÓN NORMAL

Órgano o fluido	mg/Kg
Glándulas suprarrenales	0.03
Aorta	0.04
Sangre	0.04
Cerebro	0.01
Pelo	0.46
Corazón	0.02
Riñón	0.03
Pulmón	0.08
Músculo	0.06
Uñas	0.28
Ovarios	0.05
Piel	0.08
Bazo	0.02
Estómago	0.02
Dientes	0.05

Fuente: The join FAO/WHO Expert Committee on food additives (JECFA 2010)

1.8. TOXICIDAD EN EL SER HUMANO

1.8.1. ARSÉNICO

La inhalación de niveles altos de arsénico, puede producir dolor de garganta e irritación de los pulmones. La ingestión de niveles muy altos de arsénico puede ser fatal; a exposiciones muy altas de arsénico inorgánico puede ser causar infertilidad y abortos en mujeres, puede causar perturbación de la piel, pérdida de la resistencia a infecciones, perturbación en el corazón y daño del cerebro tanto en hombres como en mujeres; finalmente, el arsénico inorgánico puede dañar el ADN.

La exposición a niveles muy bajos puede producir náuseas y vómitos, disminución del número de glóbulos blancos y rojos, ritmo cardiaco anormal, fragilidad capilar y una sensación de hormigueo en las manos y en los pies, la ingestión o inhalación prolongada de niveles bajos de arsénico inorgánico puede producir oscurecimiento de la piel y aparición de pequeños callos o verrugas en la palma de las manos, la planta de pies y el torso. El contacto de la piel con arsénico inorgánico puede producir enrojecimiento e hinchazón. (3)

El departamento de Salud y Servicios Humanos y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, han determinado que el arsénico inorgánico es un elemento reconocido como carcinogénico en seres humanos. Lesiones en la piel; trastornos circulatorios; alto riesgo de cáncer.

Daños en la piel y músculos, como es la llamada “enfermedad del pie negro” por intoxicación con arsénico. Problemas derivados del alto consumo de arsénico en el agua, como son alteraciones y formación de llagas en la piel.

La toxicidad del arsénico depende de su estado de oxidación y su solubilidad. El arsénico pentavalente es 5-10 veces menos tóxico que el trivalente y los derivados orgánicos son menos tóxicos que los inorgánicos. (EPA,2001)

La dosis letal oral probable en humanos de trióxido de arsénico está entre 10 y 300mg. La concentración considerada normal en sangre es inferior a 5ug/L. la OMS fija el límite máximo del arsénico en agua en 10ug/L, aunque es frecuente que el agua subterránea exceda mucho esta concentración.

La vida media (es el tiempo en que el contaminante reduce a la mitad su concentración) del arsénico en el organismo es de unas 10 horas, aunque se puede detectar arsénico en orina, hasta el décimo día después de la exposición. (EPA, 2001)

Las formas químicas de arsénico de importancia toxicológica son el arsénico elemental, los compuestos inorgánicos, los arsenicales orgánicos y el gas arsina (arsenamina). Ahora bien, todas estas formas no son igualmente tóxicas. En orden creciente a su toxicidad:

Arsina > arsénico inorgánico (As(III) > As(V)) > arsénico orgánico > arsénico elemental.

La especie más tóxica es la arsina, AsH_3 , cuya dosis letal, para el 50% de la población en ratas (LD_{50}), es de 3mg/Kg; seguido del arsenito, As(III), con un valor de LD_{50} entre 20 y 60mg/Kg y por último el arseniato As (V). La toxicidad de las especies orgánicas de arsénico, tales como el monometilarsénico (MMA), o el dimetilarsénico (DMA), es mucho más baja, del orden de 1000 veces menos, incluso la arsenobetaína, que predomina en la mayoría de los organismos marinos, se ha demostrado que no es tóxica.

Tanto el As (III), el MMA y el DMA deben su toxicidad a la inhibición de los grupos SH de las enzimas, mientras que la toxicidad del As (V) se debe a que inhibe la fosforilación oxidativa. (11)

El arsenito AsO_2^- , se distingue por su tendencia a reaccionar rápidamente con los grupos tiol, especialmente con los ditiole, tales como el ácido lipoico. Al bloquear a las enzimas oxidativas que precisan del ácido lipoico el arsenito provoca la acumulación del piruvato y de otros a-cetoácidos.

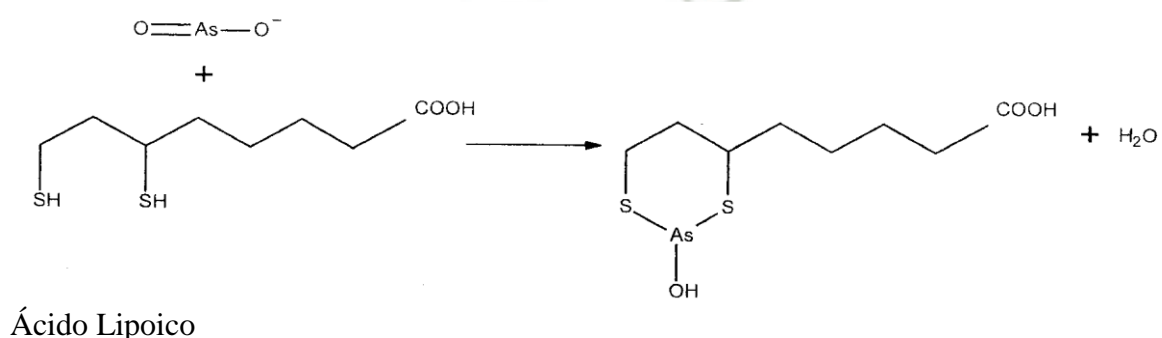


FIGURA N° 14: REACCIÓN DEL ARSENITO CON EL ÁCIDO LIPOICO.

El arseniato, AsO_4^{3-} , es químicamente semejante al fosfato, en tamaño, en geometría y en su capacidad para formar parte en reacciones bioquímicas; sin embargo, los ésteres de arseniato son menos estables que los ésteres de fosfato. En caso de formarse sobre una superficie enzimática, se hidrolizan inmediatamente al disociarse de la enzima. Este hecho, permite interpretar la naturaleza tóxica de muchos compuestos de arsénico. El arseniato por tanto, sustituirá al fosfato en todas las reacciones fosforolíticas, por ejemplo, el arseniato, puede participar en la reacción catalizada por el gliceraldehido-3-fosfatodeshidrogenasa formando 1-arseno-3-fosfo-D-glicerato, que es un intermedio inestable. (16)

El arsénico sustituye al fosfato inorgánico, lo que da como resultado la formación de un anhídrido mixto que, en presencia de agua, es rápidamente hidrolizado. Cuando ocurre esta hidrólisis, no se produce el paso en el cual el ADP es normalmente fosforilado por el 1,3-difosfo-D-glicerato (1,3-DPG) y como consecuencia la célula no puede regenerar el ATP y finalmente muere.

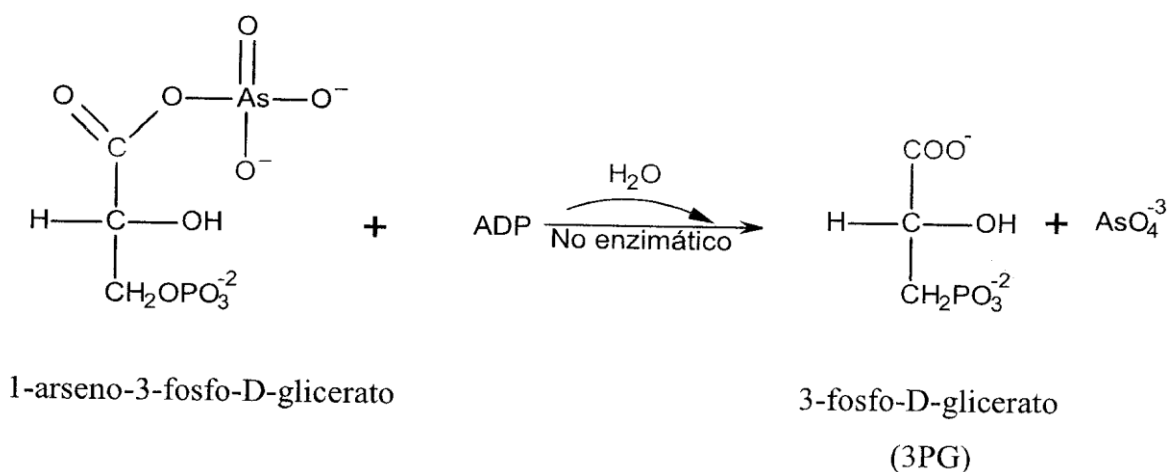


FIGURA N° 15: TRANSFERENCIA DEL GRUPO FOSFORILO

Desde el 1,3, DPG al ADP y formación de 3-fosfo-D-glicerato (3PG). Esta reacción forma parte de la glucólisis que produce ATP.

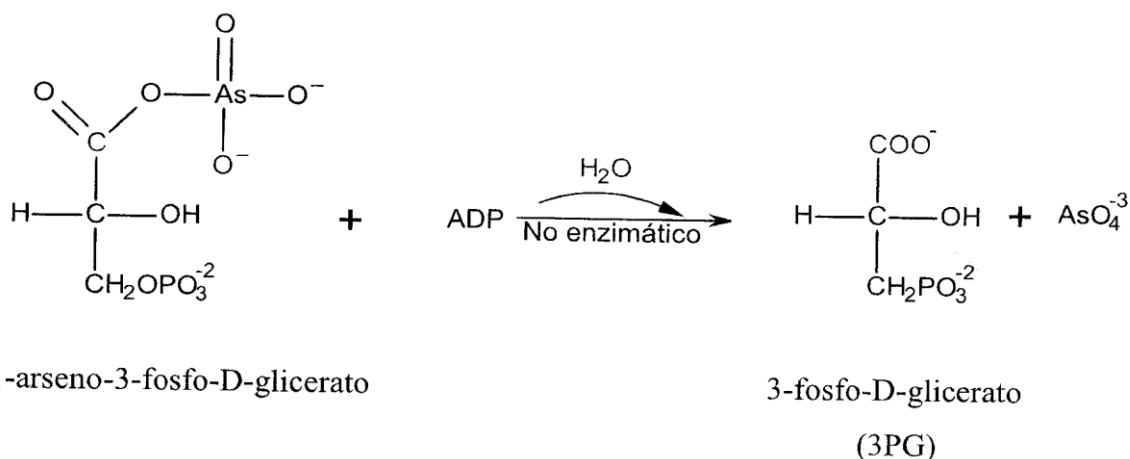


FIGURA N° 16: HIDRÓLISIS DEL 1-ARSENATO-3-FOSFO-D GLICERATO.

El arseniato sustituye al fosforo inorgánico como sustrato de la gliceraldehído-3-fosfato-deshidrogenasa, formándose el intermedio 1-arseno-3-fosfo-D-glicerato, lábil. Este intermedio se hidroliza rápidamente por el agua, sin que se produzca ATP. De esta forma el arseniato desacopla la oxidación del (3PG) y la fosforilación del ADP.

La diferencia de toxicidad entre los arsenitos y los arseniatos por tanto, puede explicarse en base a la velocidad de excreción y retención en el cuerpo, así como al número de enzimas afectadas.

El arseniato se excreta rápidamente en la orina y aparentemente no se acumula en los tejidos. Por otro lado, el arsenito no se excreta rápidamente, se acumula en el cuerpo unido a proteínas en el hígado, músculo, cabello, uñas, piel y particularmente a los leucocitos. El arsenito se excreta por vía biliar

En cuanto a la toxicidad de los compuestos orgánicos que contienen arsénico, es también distinta dependiendo del estado de oxidación del arsénico, de su velocidad de absorción y excreción y de su distribución en el organismo. Por ejemplo, el ácido arsanílico y el ácido aminobenceno arsónico, presentan muy baja toxicidad en los cerdos ya que se excretan rápidamente en la forma no metabolizada y su acumulación en los tejidos es mínima pero pueden causar tetraplejía y otros daños neurológicos, cuando se les suministra 1100mg/Kg durante 18 días. (17)

El arsénico es un agente carcinogénico, causante de tumores epidermoides en la piel y el pulmón. Se pueden producir intoxicaciones agudas y crónicas. Las primeras, son poco frecuentes, mientras que las crónicas han adquirido un nuevo protagonismo debido al problema causado en numerosos lugares por el consumo de agua de pozo con alta concentración de arsénico. (EPA, 2001)

La agencia de protección Ambiental de Estados Unidos clasifica al arsénico como cancerígeno en el grupo I debido a la evidencia de sus efectos adversos sobre la salud. La exposición a 0.05mg/L puede causar 31.3 casos de cáncer de piel por cada 1000 habitantes. La USEPA ha considerado bajar el límite máximo de aceptación de 0.05mg/L, a 0.01-0.02mg/L.

El arsénico orgánico no puede causar cáncer, ni tampoco daño al ADN. Pero exposiciones a dosis elevadas puede causar ciertos efectos sobre la salud humana, como es lesión de nervios y dolores del estómago. (1)

1.8.1.1. INTOXICACIÓN AGUDA

Tras una dosis aguda se produce una distribución a todos los órganos con una mayor concentración en hígado y riñón. La vía metabólica de las formas inorgánicas es la metilación mediante metiltransferasas produciéndose ácido metilarsónico y dimetilarsínico. La forma pentavalente debe ser primero reducida a trivalente

La principal ruta de eliminación es la orina, y una pequeña cantidad lo hace por las heces, bilis, sudor, pelo y leche.

1.8.1.2. INTOXICACIÓN CRÓNICA

En este tipo de intoxicación crónica ha sido observada en medio profesional, en pacientes tratados a largo plazo con medicaciones arsenicales y por consumo habitual de agua de pozo con altas concentración de arsénico. Su diagnóstico clínico es difícil porque los síntomas que aparecen inicialmente son poco característicos. Puede haber o no alteraciones gastrointestinales, y una serie de trastornos inespecíficos, principalmente

anorexia, pérdida de peso, debilidad y malestar general. Otros síntomas pueden hacerse más o menos evidentes, facilitando el diagnóstico: dermatitis, estomatitis, neuropatía periférica con incoordinación y parálisis y alteraciones hematológicas. Los trastornos cutáneos. (EPA, 2001)

Tras exposición crónica se alcanzan altas concentraciones de arsénico en la piel, pelo y uñas por su rico contenido en cisteínas. (29)

La despigmentación en gotas puede ser la primera manifestación de intoxicación crónica.

- a) Lesión en mucosas: queratoconjuntivitis, úlceras y perforación de tabique nasal.
- b) Trastornos gastrointestinales: poco frecuentes con náuseas, vómitos, cólicos, alternancia de diarrea y estreñimiento y úlceras gástricas.

1.8.1.3. TRATAMIENTO DE INTOXICACIONES

1. **Descontaminación dérmica.** Leve el insecticida arsenical de la piel y el cabello con abundante cantidad de agua y jabón.
2. **Descontaminación gastrointestinal.** Si el insecticida arsenical se ha ingerido dentro de la primera hora de tratamiento, se deberá considerar la contaminación gastrointestinal.
3. **Fluidos intravenosos.** Administre fluidos intravenosos para restaurar la hidratación adecuadamente, mantener el flujo urinario, y corregir el desbalance de electrolitos.
4. **Terapia de quelación.** En caso de envenenamiento sintomático de arsénico se indica generalmente la administración de Dimercaprol (BAL), aunque DMPS puede ser un mejor antídoto. (2)

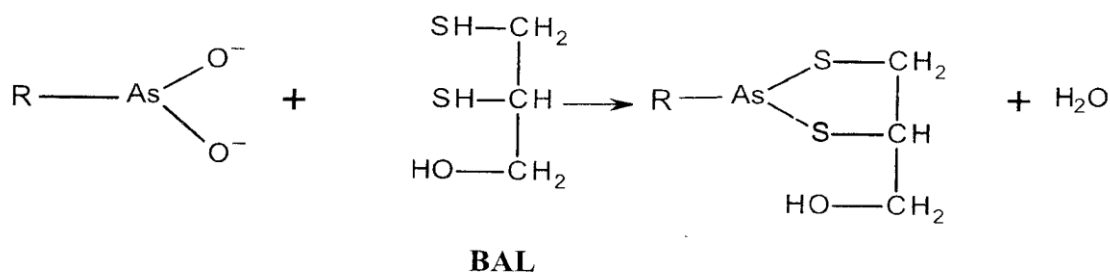


FIGURA N° 17: Reacción de los arsenicales orgánicos con BAL.

5. **Tratamiento oral.** Después que el tracto gastrointestinal se encuentre razonablemente libre de arsénico, debe de reemplazarse la terapia de BAL con administración de D-Penicilamina, succimer (DMSA) ó DMPS (D-mercaptoetano sulfonato). Sin embargo, la D-Penicilamina ha demostrado efectividad limitada al contacto de arsénico en modelos experimentales.
6. **Hemodiálisis.** La hemodiálisis extracorpórea, usada en combinación con la terapia BAL, tiene una efectividad limitada en la eliminación de arsénico de la sangre. La hemodiálisis es indicada para mejorar la eliminación del arsénico y mantener la composición del fluido extracelular en caso de que ocurra un fallo renal agudo.



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. LUGAR DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación de análisis de muestras de agua se desarrolló en el laboratorio BHIOS – Arequipa.

2.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

2.2.1. MUESTRA

Doscientos cuarenta muestras fueron tomadas en diferentes distritos de Arequipa. Por cada distrito se tomó una muestra diaria durante un mes. Se hizo el muestreo en 8 distritos de Arequipa: Sabandia, Sachaca, Tingo, Tiabaya, Cercado, Cerro Colorado, Cayma y Yanahuara.

Se tomaron 500 mL de muestra en frascos de polietileno.

Las muestras fueron tomadas en la mañana.

2.2.2. MATERIALES DE LABORATORIO

a. Equipos.

- Espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer modelo 5100 con sistema óptico de doble haz, monocromador de doble rendija y fotomultiplicador de amplio rango (189-852nm).
- Sistema analítico de inyección de flujo automático, modelo FIAS-100.
- Celda de cuarzo.
- Manta de calefacción.
- Sistema de separación gas-líquido.
- Membrana hidrofóbica.
- Lámpara de descarga EDL de arsénico.
- Fuente de potencia del sistema EDL.
- Automuestreador AS-90.

- Computadora.
- Programa AAWinLab.
- Balanza analítica de precisión.
- Plancha eléctrica.

b. Materiales

- Frascos Erlenmeyer de 300mL.
- Probetas de 50,0mL.
- Pipetas volumétricas clase A de 0,5, 1, 2, 3, 5, 10,20mL.
- Pipetas serológicas de 5 y 10mL.
- Recipientes de Teflón de 1L.
- Vasos de 0,5 y 1,0L.
- Espátulas.
- Frascos de polietileno de 500mL con tapa.

2.2.3. REACTIVOS

- Agua ultrapura grado reactivo tipo I.
- Ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado (95-97%), p.a.
- Ácido nítrico (HNO_3) concentrado (65%), p.a.
- Ácido clorhídrico (HCl) concentrado (37%), p.a.
- Solución de borohidruro de sodio e hidróxido de sodio, se disuelven 0,2g de $NaBH_4$ y 0,5g de $NaOH$ con agua ultrapura hasta alcanzar un volumen de 100mL.
- Solución de ácido clorhídrico 10%, se diluyen 10,0mL de ácido clorhídrico concentrado y se lleva a 100mL con agua ultrapura.
- Solución de ácido ascórbico e yoduro de potasio. Se disuelven 5,0g de ácido ascórbico y 5,0g de yoduro de potasio con agua ultrapura hasta alcanzar un volumen de 100mL.
- Solución madre 1,0g As L⁻¹.
- Solución estándar de As (estándar certificado disponible comercialmente); de usarse Titrisol, diluir cuidadosamente el contenido de una ampolla de Titrisol de As (1,0g L⁻¹) y 5mL de ácido clorhídrico concentrado con agua ultrapura, hasta

alcanzar un volumen de 1000mL. Almacenar en frasco de vidrio borosilicatado con tapa esmerilada y cubrir la tapa con parafilm.

- Solución estándar 100mg AsL-1, se diluyen 10,0mL de solución madre 1,0g As L-1 con una solución de HCl (5/1000) hasta alcanzar un volumen de 100mL.
- Solución estándar 5,0mg As L-1, se diluyen 5,0mL de solución estándar 100mg As L-1 con una solución de HCl (5/1000) hasta alcanzar un volumen de 100mL.
- Solución estándar 50ug As L-1, se diluyen 1,0mL de solución estándar 5,0mg As L-1 con una solución de HCl (5/1000) hasta alcanzar un volumen de 100mL.

2.3. CALIDAD DE AGUA

La evaluación de la Calidad de las muestras de agua superficiales se realizó comparando los resultados obtenidos con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ECA) Categoría II, establecidos por el D.S N 002-2008 del Ministerio del Ambiente (MINAM), mientras que la clasificación de categoría fue establecida según lo indica Resolución Jefatural N 202-2010-ANA.; comparando también con los niveles permisibles según la OMS; y también comparando con el Reglamento de la Calidad del Agua para consumo humano del Ministerio de Salud.

2.3.1. TOMA DE MUESTRA

Para la recolección y manipulación de las muestras de aguas se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ El volumen de agua requerido fue concordante con el método de ensayo para el parámetro evaluado.
- ✓ La recolección de las muestras de agua potable, se realizó empleando un frasco de polietileno de 500 mL que contenía ácido nítrico como preservante, dejando correr 5 minutos de agua antes de tomar la muestra.
- ✓ Luego se procedió al etiquetado según el distrito y la hora de muestreo.
- ✓ Las muestras ya tomadas fueron colocadas en un cooler para garantizar su adecuada preservación hasta su llegada al laboratorio.

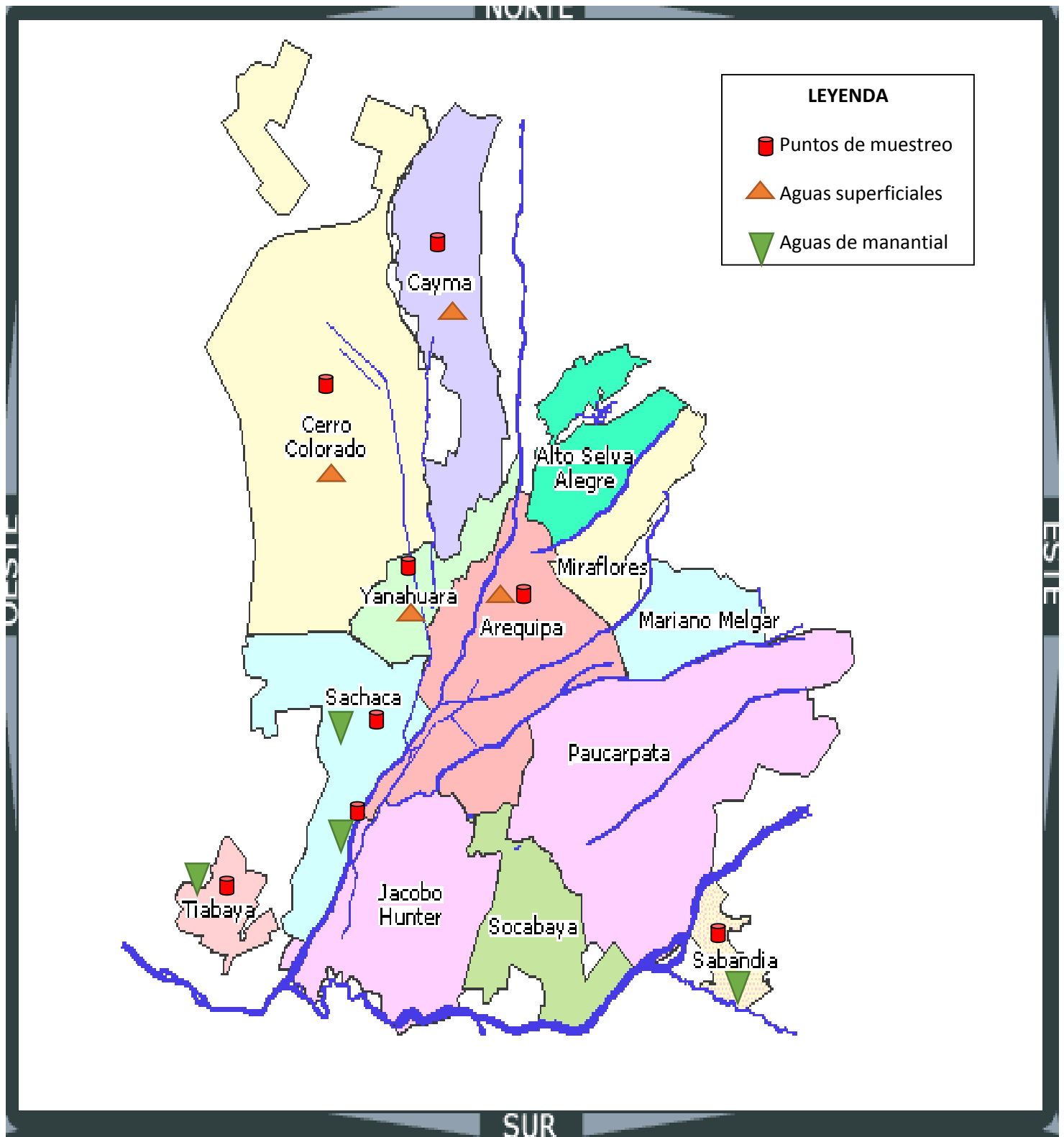


FIGURA N° 18: UBICACIÓN DE LOS DISTRITOS MUESTREADOS EN LA CIUDAD AREQUIPA.

2.4. MÉTODOS INSTRUMENTALES

2.4.1. DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO POR ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.

Este método de ensayo establece la metodología para el análisis total mediante espectroscopia de absorción atómica con generación de hidruros.

Este método, es aplicable para la determinación del contenido de arsénico, según lo establecido en la norma NCh 409/1 – Of.2005.

Esta normativa técnica se usa para determinar arsénico en aguas y efluentes industriales en el rango de 0.001mg/L a 0.05mg/L, es posible determinar mayores o menores concentraciones por dilución o concentración de la muestra respectivamente. Límite de detección 0.1mg/L.

2.4.1.1. REFERENCIAS NORMATIVAS

NCh 409/1.Of2005. “Agua potable. Parte 1: Requisitos”.

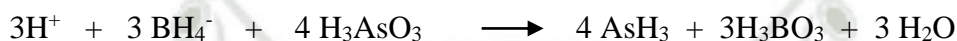
NCh 410 – 1996. “Calidad del agua. Vocabulario”

NCh 426 – 1997. “Agua grado reactivo para análisis” – Especificaciones – Parte 2: Análisis físico-químico y microbiológico de agua potable, aguas crudas y aguas residuales.

Standard Methods of the Examination of Water and Wastewater. APHA. AWWA. WEF. 21th edition 2005, Part 3000. Arsenic and Selenium by hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometry – 3114B, C.

2.4.1.2. FUNDAMENTO

El arsénico presente en una fracción de muestra previamente digerida, es reducido a arsina mediante reacción con borohidruro de sodio en medio ácido. La arsina generada es conducida por un gas de arrastre hacia una celda de cuarzo posicionada en el paso óptico de un espectrofotómetro de absorción atómica. La celda se encuentra a una temperatura aproximada de 1000°C. La arsina en estas condiciones y a través de mecanismos combinados (descomposición térmica y reacciones con radicales hidrógeno) es atomizada.



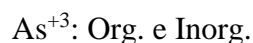
La población de átomos al estado elemental absorbe radiación característica proveniente de una fuente de emisión de líneas atómicas de As, la relación entre potencia incidente y potencia transmitida es una medida de la concentración del elemento en la muestra.

La muestra es digerida para reducir la interferencia por materia orgánica y convertir todo el metal a una forma libre determinable por Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA) a 193.7nm.

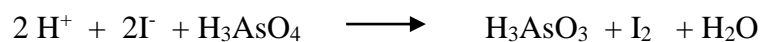
El arsénico es medido previa conversión del mismo al hidruro volátil (AsH_3) por reducción con borohidruro de sodio en solución ácida. Este hidruro es transportado hacia una celda de cuarzo caliente donde es atomizado.

Si existe arsénico en estado de oxidación V para generar el hidruro este debe primero reducirse al estado de oxidación III, esto hace que la sensibilidad decrezca levemente.

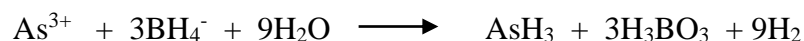
Por eso previamente debe convertirse todo el arsénico presente al estado de oxidación III con yoduro de sodio o potasio.



Reducción de As^{5+} a As^{3+}



Seguido de la reducción del As (III) a arsina.



El contenido de arsénico se determina mediante una curva de calibración.

2.4.1.3. MUESTREO Y PRESERVACIÓN

Recolectar en frasco de polietileno de 500ml con tapa. El frasco contiene ácido nítrico como preservante.

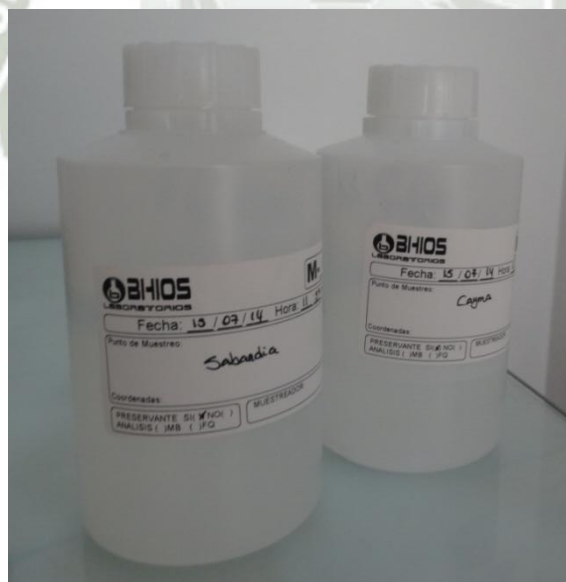


FIGURA N° 19: FRASCOS DE POLIETILENO PARA MUESTRAS



BHIOS
LABORATORIOS

M- _____

Fecha: ____ / ____ / ____ Hora: ____ : ____ hrs

Punto de Muestreo:

Coordenadas:

PRESERVANTE SI() NO()
ANALISIS ()MB ()FQ

MUESTREADOR: _____

FIGURA N° 20: ROTULADO PARA MUESTRAS

2.4.1.4. PROCEDIMIENTO

- De cada 4 muestras se hace un duplicado. Recepcionamos 8 muestras de las cuales se hace duplicado a 2 muestras al azar. A una de estas muestras se le hace una adición de estándar. También se hace un Blanco de proceso BK.
- **PROCESO DE DIGESTIÓN:** Vía Húmeda
Todos los materiales se ceban 3 veces con agua Ultra Pura UP
Homogenizar la muestra. En un vaso precipitado se pone 50ml de agua de las muestras, para el blanco BK se le pone 50ml de Agua Ultrapura. Luego añadir 5ml de HNO₃ concentrado a todos los muestras.
Se lleva la digestión en una plancha calefactora hasta que se obtenga ebullición a 200°C. Se deja enfriar, luego pasar a una fiola de 50ml enrasar con agua ultra pura. Sacar una alícuota de 20 a 25ml en una fiola de 50ml, añadir Ácido Clorhídrico HCl cc 10%, Yoduro de Potasio KI al 10% (que equivale a 5ml de HCl + 5ml de KI), enrasar con Agua Ultrapura.

2.4.1.5. CURVA DE CALIBRACIÓN

Estándar patrón de Arsénico de 1 ppm: se tomó 25uL de la solución estándar Arsénico de 1000ppm, se los coloco en una fiola de 25 mL conteniendo agua ultrapura y aforó.

Curva de calibración

Preparar soluciones estándar entre 0.001 y 0.050mg/L de arsénico a partir de la solución con el agregado de HNO₃tal que su concentración final sea el 1%. Agregar también KI 20% tal que su concentración final sea del 1%, esperar 15 minutos antes de medir.

Determinación directa

- a. Parámetros instrumentales:
 - Lámpara de cátodo hueco o de descarga sin electrodo de arsénico.
 - Longitud de onda: 193.7nm.
 - Magnitud medida: concentración, altura de pico o área de pico (depende del equipo usado).
- b. Realizar la curva de calibración con los estándares de 5, 10, 15, 25 ug/L (ppb)
- c. Medir las muestras y blancos.

2.4.1.6. DETERMINACIÓN POR ADICIONES ESTÁNDAR

- a. Parámetros instrumentales:

Lámpara de cato hueco o de descarga sin electrodo de arsénico.

Longitud de onda: 193.7nm.

Magnitud medida: concentración, altura de pico o área de pico (depende del equipo usado).

- b. Realizar una medida aproximada del contenido de arsénico en la muestra.
- c. Tomar 4 alícuotas iguales de la muestra con pipeta aforada en matraces aforados. En el matraz A aforar con agua destilada. Realizar en los 3 matraces restantes adiciones de solución estándar de arsénico tan que la concentración en el matraz B sea el doble que la concentración en A; en el matraz C el triple y en el D cuatro veces la concentración de A. tener en cuenta que la suma del contenido de arsénico de la muestra más la adición no supere los 0.05mg/L.

TABLA N° 7: CONDICIONES DEL ESPECTROFOTÓMETRO

LONGITUD DE ONDA (NM)	193.7
SLIT (NM)	0.5
LÁMPARA	Cátodo Hueco con corrección de fondo de lámpara de Deuterio
CORRIENTE DE LÁMPARA (MA)	12
TUBO DE GRAFITO	Turbo de grafito de alta densidad

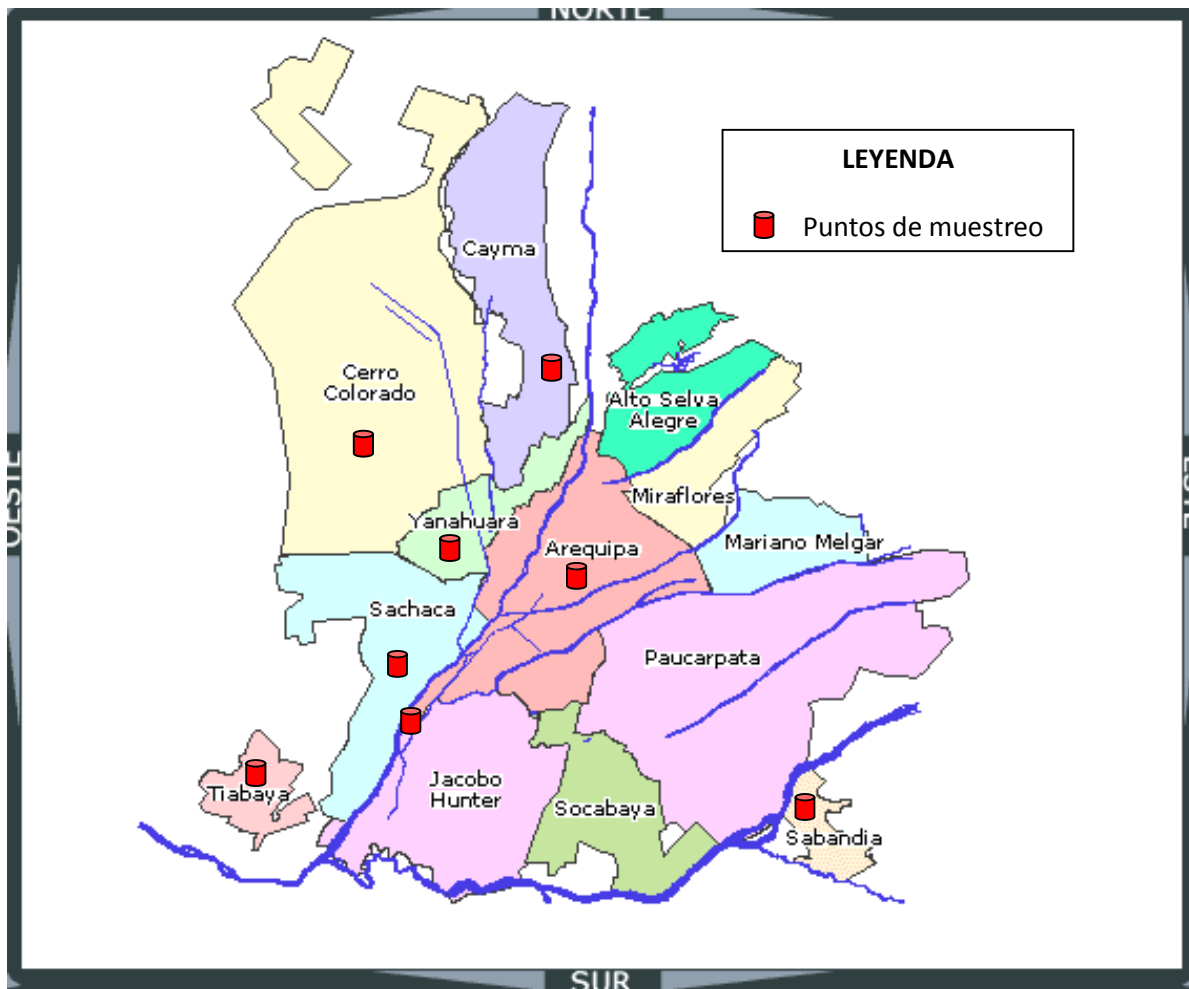


CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA

Las muestras de agua potable fueron recolectadas de 8 distritos de Arequipa, durante un mes.



Según las fuentes de Manantial los distritos fueron:

- Tiabaya
- Sachaca
- Tingo
- Sabandía

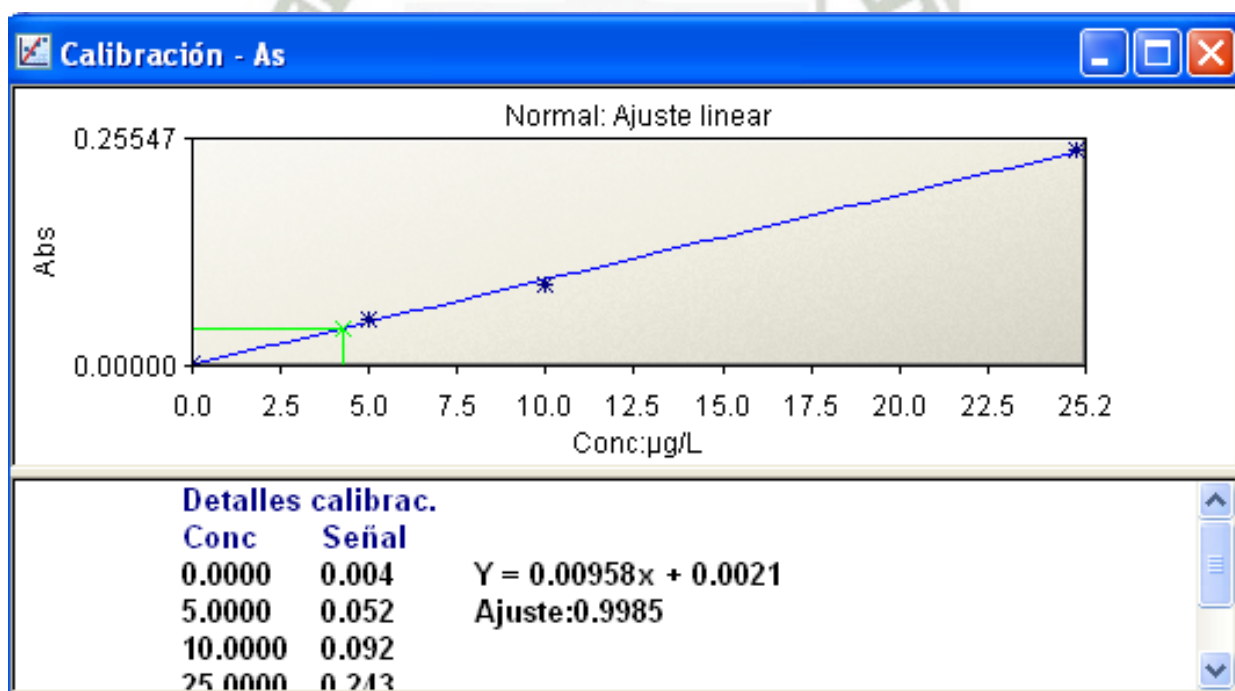
Según las fuentes Superficiales los distritos fueron:

- Cayma
- Yanahuara
- Cerro colorado
- Cercado

3.2. CURVA DE CALIBRACIÓN PARA ARSENICO TOTAL.

TABLA N° 8: DATOS QUE SE UTILIZARON PARA LA CURVA DE CALIBRACIÓN.

CONCENTRACIÓN DEL ESTÁNDAR ARSENICO (ug/L)	ABSORBANCIA
0	0.004
5	0.052
10	0.092
25	0.243



GRÁFICA N° 1: CURVA DE CALIBRACIÓN DE ARSÉNICO

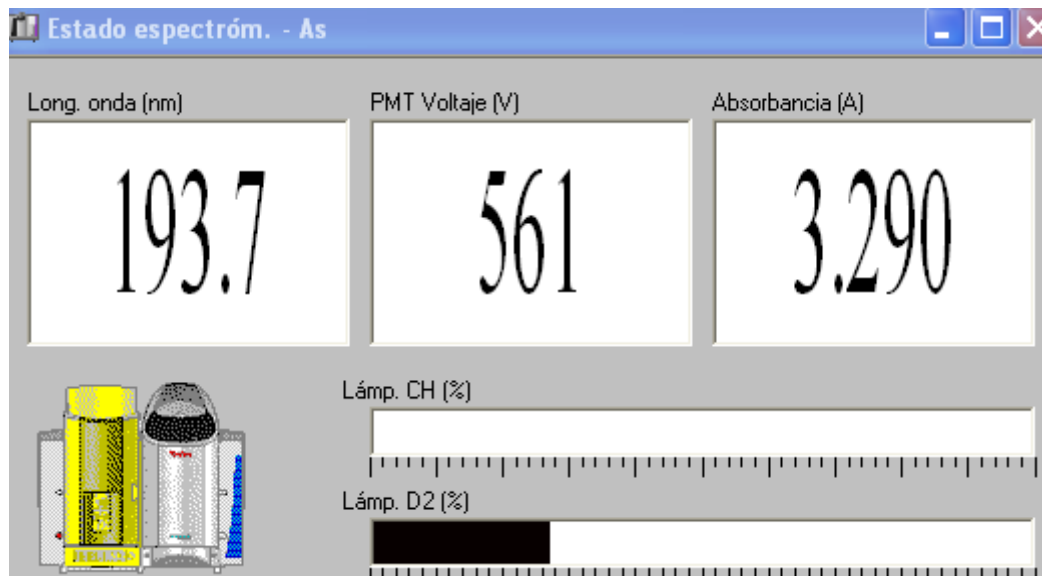


FIGURA N° 21: INTENSIDAD DE LA LÁMPARA DURANTE LA CORRIDA DE UNA MUESTRA DE AGUA.

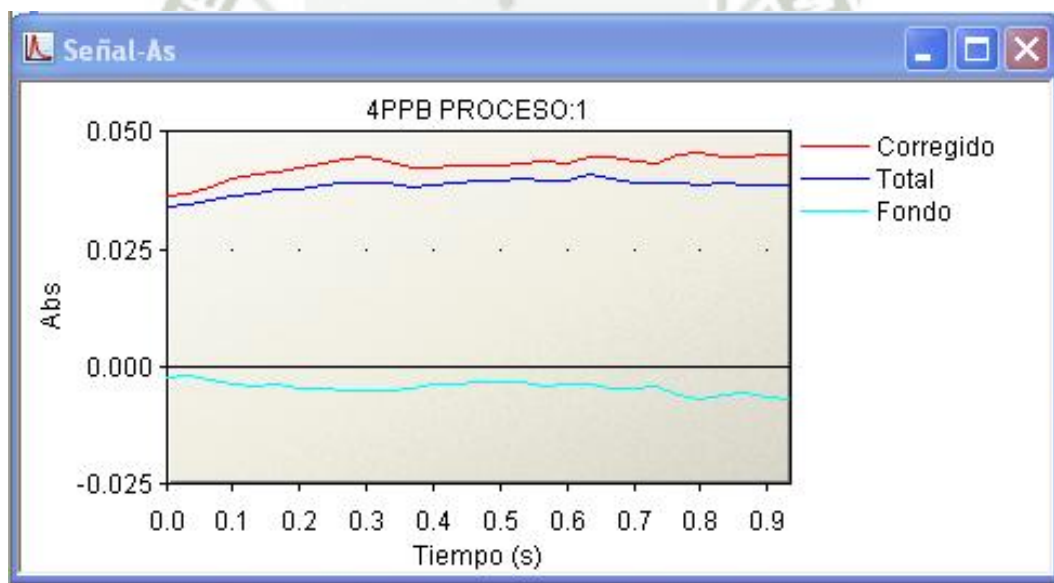
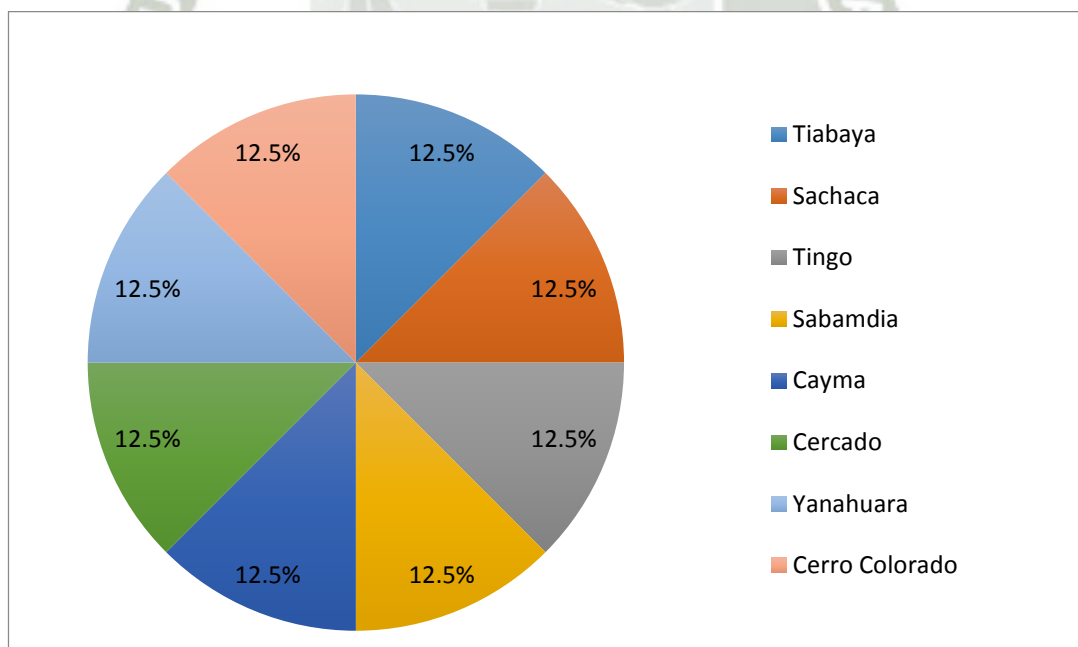


FIGURA N° 22: SEÑAL DE ARSÉNICO DURANTE LA CORRIDA DE UNA MUESTRA DE AGUA.

3.3. DISTRIBUCIÓN DE LAS MUESTRAS

TABLA N° 9: DISTRIBUCIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGUA SEGÚN SU PROCEDENCIA

PROCEDENCIA	N	%
Tiabaya	30	12.5
Sachaca	30	12.5
Tingo	30	12.5
Sabamdia	30	12.5
Cayma	30	12.5
Cercado	30	12.5
Yanahuara	30	12.5
Cerro Colorado	30	12.5

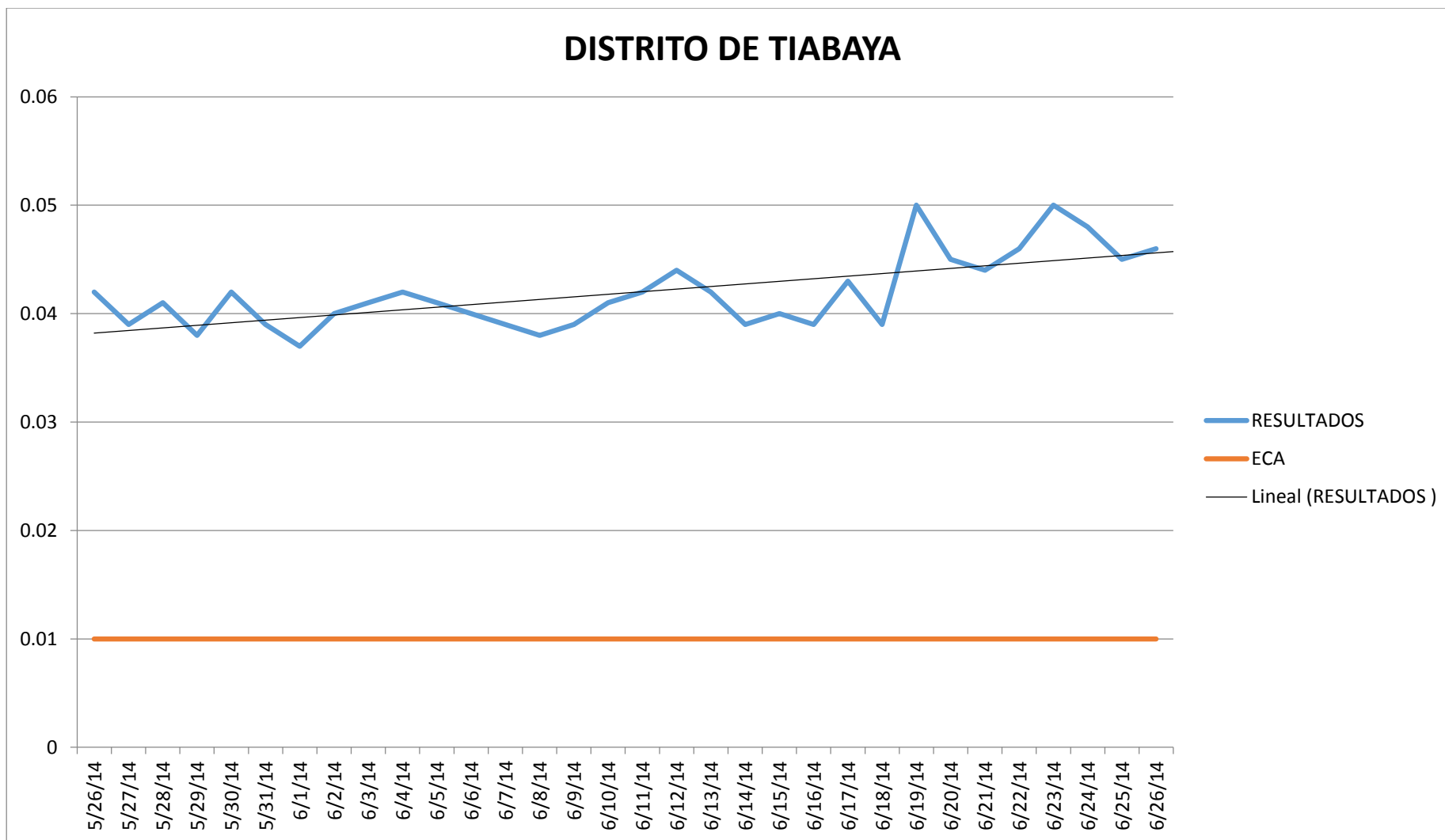


GRÁFICA N° 2: DISTRIBUCIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGUA SEGÚN SU PROCEDENCIA

3.4. RESULTADO DE LA DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO POR ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA POR DISTRITOS.

TABLA N° 10: RESULTADOS DEL DISTRITO DE TIABAYA

DISTRITO DE TIABAYA			
RESULTADOS			
FECHA	HORA	RESULTADOS	UNIDAD
26/05/2014	08:27	0.042	mg/L
27/05/2014	08:38	0.039	mg/L
28/05/2014	08:35	0.041	mg/L
29/05/2014	08:30	0.038	mg/L
30/05/2014	08:30	0.042	mg/L
31/05/2014	08:42	0.039	mg/L
01/06/2014	08:42	0.037	mg/L
02/06/2014	08:35	0.04	mg/L
03/06/2014	08:36	0.041	mg/L
04/06/2014	08:47	0.042	mg/L
05/06/2014	08:26	0.041	mg/L
06/06/2014	08:25	0.040	mg/L
07/06/2014	08:49	0.039	mg/L
08/06/2014	08:23	0.038	mg/L
09/06/2014	08:28	0.039	mg/L
10/06/2014	08:45	0.041	mg/L
11/06/2014	08:38	0.042	mg/L
12/06/2014	08:49	0.044	mg/L
13/06/2014	08:45	0.042	mg/L
14/06/2014	08:37	0.039	mg/L
15/06/2014	08:32	0.040	mg/L
16/06/2014	08:37	0.039	mg/L
17/06/2014	08:19	0.043	mg/L
18/06/2014	08:38	0.039	mg/L
19/06/2014	08:29	0.050	mg/L
20/06/2014	08:22	0.045	mg/L
21/06/2014	08:25	0.044	mg/L
22/06/2014	08:29	0.046	mg/L
23/06/2014	08:23	0.050	mg/L
24/06/2014	08:28	0.048	mg/L
25/06/2014	08:38	0.045	mg/L
26/06/2014	08:29	0.046	mg/L
PROMEDIO		0.042	mg/L
DESVIACIÓN ESTANDAR		0.00340	



GRÁFICA N° 3: DIAGRAMA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL DISTRITO DE TIABAYA.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL DISTRITO DE TIABAYA

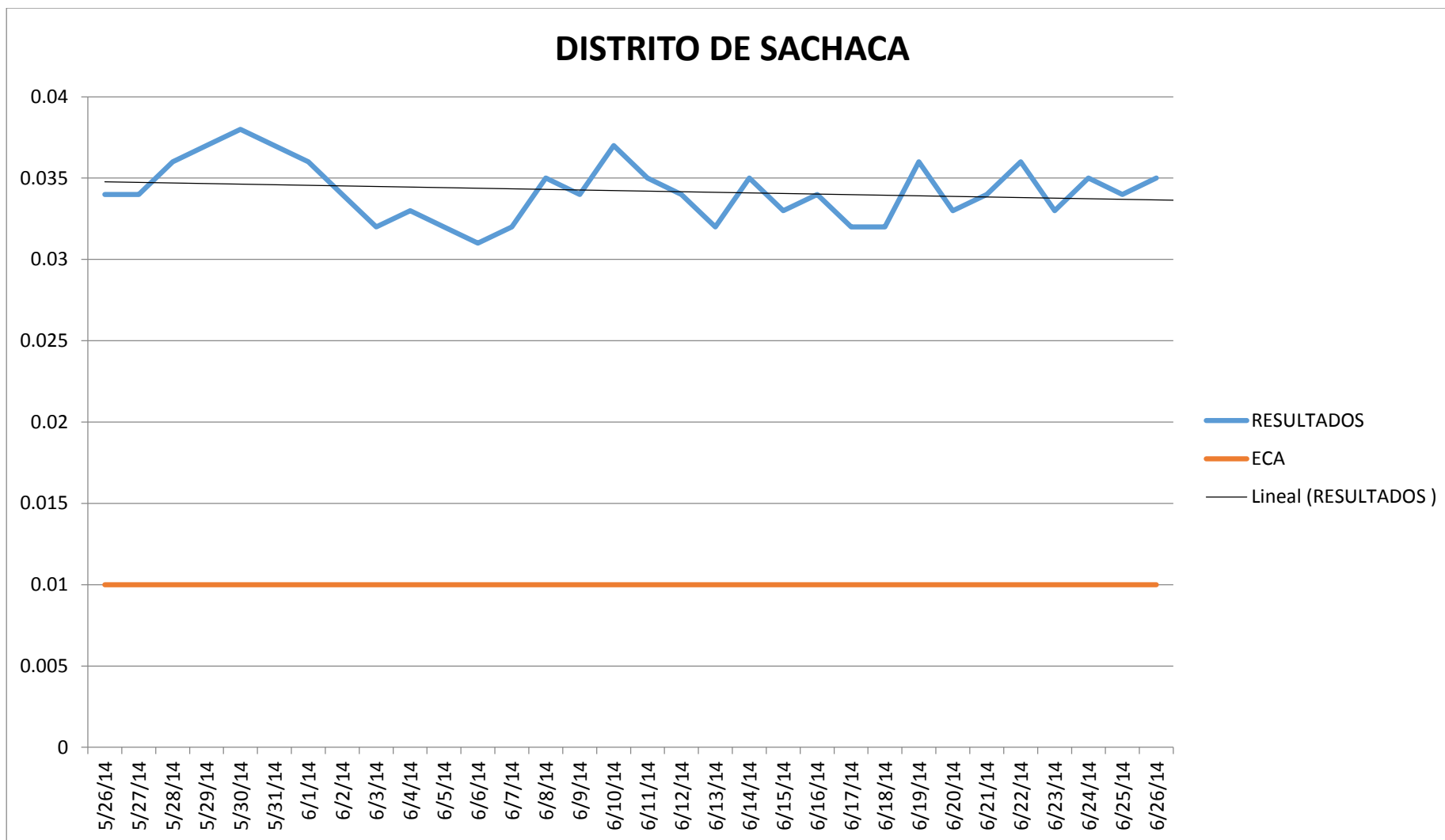
En la presente tabla se aprecia los resultados del análisis en el distrito de Tiabaya, en donde el valor más bajo es 0.037 mg/L, el valor más alto es 0.050 mg/L y el promedio es 0.042 mg/L.

Como se puede observar todos los resultados durante el muestreo en el distrito de Tiabaya, las concentraciones de Arsénico se encuentran fuera de los Límites Máximos Permisibles; según OMS, Ministerio de Salud y Estándares de Calidad Ambiental. Donde el Límite Máximo Permissible es 0.01mg/L.

La presencia de Arsenico en este distrito es por lo que el agua es tomada de la fuente proveniente de manantial, la cual no cuenta con el tratamiento adecuado solo cuenta con el proceso de cloración, el cual solo elimina microorganismos, Esto es debido a que anteriormente las municipalidades construían los reservorios de agua y los cuales fueron pasando a dominios de de la empresa SEDAPAR la cual solo realiza este proceso de cloración, dentro de sus proyectos a futuro esta en que cada reservorio de estas zonas que obtienen la materia prima proveniente de manantial sea tratada adecuadamente con la finalidad de eliminar metales pesados, ya que la zona geográfica de Arequipa es rica en metales pesados por los yacimientos mineros.

TABLA N° 11: RESULTADOS DEL DISTRITO DE SACHACA

DISTRITO DE SACHACA			
RESULTADOS			
FECHA	HORA	RESULTADOS	UNIDAD
26/05/2014	08:45	0.034	mg/L
27/05/2014	08:35	0.034	mg/L
28/05/2014	08:45	0.036	mg/L
29/05/2014	08:10	0.037	mg/L
30/05/2014	08:10	0.038	mg/L
31/05/2014	08:35	0.037	mg/L
01/06/2014	08:25	0.036	mg/L
02/06/2014	08:34	0.034	mg/L
03/06/2014	08:39	0.032	mg/L
04/06/2014	08:59	0.033	mg/L
05/06/2014	08:39	0.032	mg/L
06/06/2014	08:23	0.031	mg/L
07/06/2014	08:57	0.032	mg/L
08/06/2014	08:45	0.035	mg/L
09/06/2014	08:39	0.034	mg/L
-10/06/2014	08:53	0.037	mg/L
11/06/2014	08:47	0.035	mg/L
12/06/2014	08:57	0.034	mg/L
13/06/2014	08:39	0.032	mg/L
14/06/2014	08:45	0.035	mg/L
15/06/2014	08:45	0.033	mg/L
16/06/2014	08:49	0.034	mg/L
17/06/2014	08:28	0.032	mg/L
18/06/2014	08:47	0.032	mg/L
19/06/2014	08:42	0.036	mg/L
20/06/2014	08:42	0.033	mg/L
21/06/2014	08:35	0.034	mg/L
22/06/2014	08:39	0.036	mg/L
23/06/2014	08:44	0.033	mg/L
24/06/2014	08:45	0.035	mg/L
25/06/2014	08:57	0.034	mg/L
26/06/2014	08:49	0.035	mg/L
PROMEDIO		0.034	mg/L
DESVIACIÓN ESTANDAR		0.00179	



GRÁFICA N° 4: DIAGRAMA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL DISTRITO DE SACHACA.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL DISTRITO DE SACHACA

En la presente tabla se aprecia los resultados del análisis en el distrito de Sachaca, en donde el valor más bajo es 0.031 mg/L, el valor más alto es 0.038 mg/L y el promedio es 0.034 mg/L.

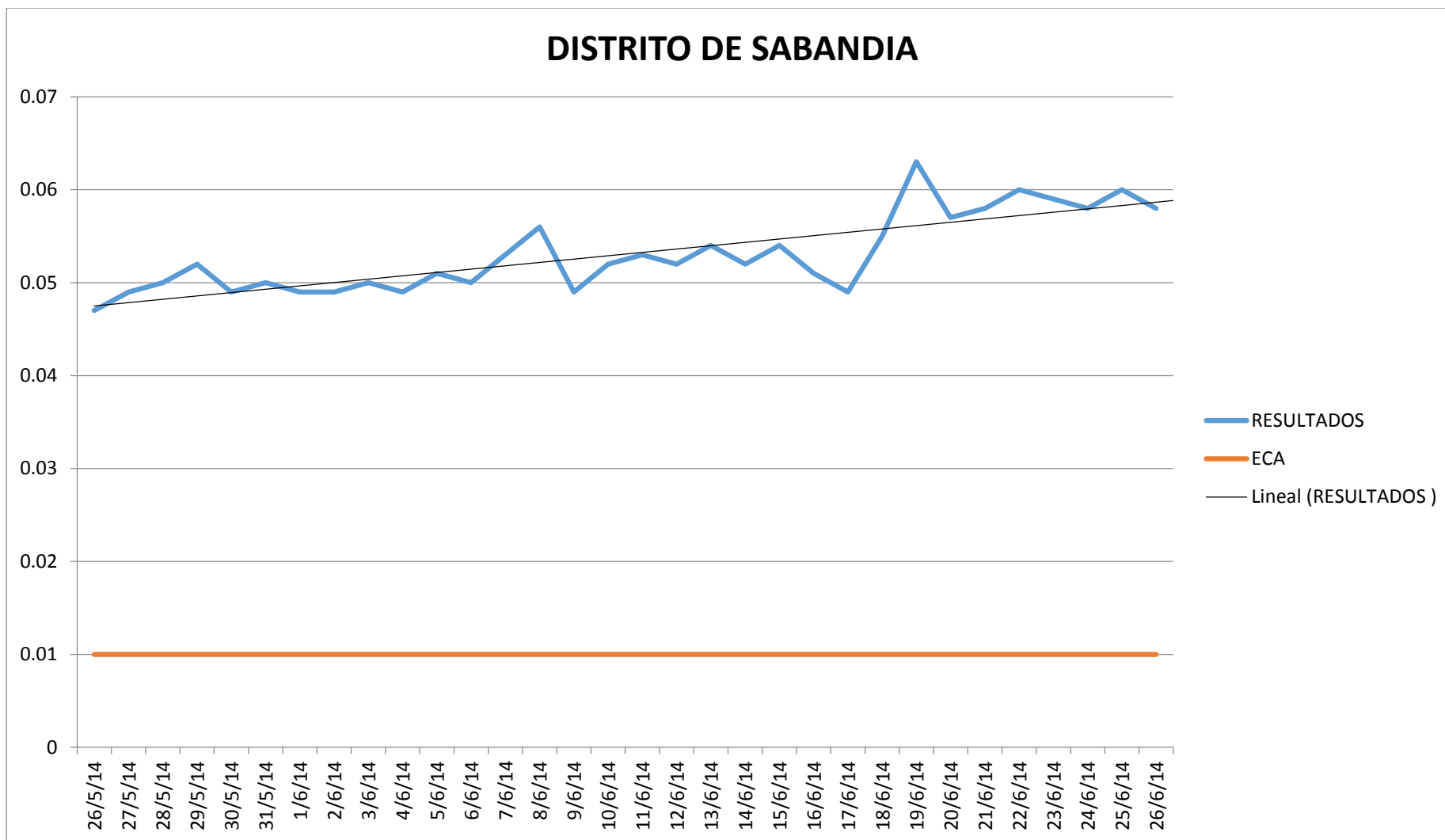
Como se puede observar todos los resultados durante el muestreo en el distrito de Sachaca, las concentraciones de Arsénico se encuentran fuera de los Límites Máximos Permisibles; según OMS, Ministerio de Salud y Estándares de Calidad Ambiental.

Donde el Límite Máximo Permissible es 0.01mg/L.

La presencia de Arsénico en este distrito es por lo que el agua es tomada de la fuente proveniente de manantial, la cual no cuenta con el tratamiento adecuado solo cuenta con el proceso de cloración, el cual solo elimina microorganismos, Esto es debido a que anteriormente las municipalidades construían los reservorios de agua y los cuales fueron pasando a dominios de de la empresa SEDAPAR la cual solo realiza este proceso de cloración, dentro de sus proyectos a futuro esta en que cada reservorio de estas zonas que obtienen la materia prima proveniente de manantial sea tratada adecuadamente con la finalidad de eliminar metales pesados, ya que la zona geográfica de Arequipa es rica en metales pesados por los yacimientos mineros.

TABLA N° 12: RESULTADOS DEL DISTRITO DE SABANDIA

DISTRITO DE SABANDIA			
RESULTADOS			
FECHA	HORA	RESULTADOS	UNIDAD
26/05/2014	07:29	0.047	mg/L
27/05/2014	07:30	0.049	mg/L
28/05/2014	07:30	0.050	mg/L
29/05/2014	07:30	0.052	mg/L
30/05/2014	07:30	0.049	mg/L
31/05/2014	07:31	0.050	mg/L
01/06/2014	07:33	0.049	mg/L
02/06/2014	07:30	0.049	mg/L
03/06/2014	07:45	0.050	mg/L
04/06/2014	07:53	0.049	mg/L
05/06/2014	07:47	0.051	mg/L
06/06/2014	07:28	0.050	mg/L
07/06/2014	07:30	0.053	mg/L
08/06/2014	07:35	0.056	mg/L
09/06/2014	07:49	0.049	mg/L
10/06/2014	07:38	0.052	mg/L
11/06/2014	07:40	0.053	mg/L
12/06/2014	07:29	0.052	mg/L
13/06/2014	07:33	0.054	mg/L
14/06/2014	07:44	0.052	mg/L
15/06/2014	07:30	0.054	mg/L
16/06/2014	07:50	0.051	mg/L
17/06/2014	07:40	0.049	mg/L
18/06/2014	07:51	0.055	mg/L
19/06/2014	07:39	0.063	mg/L
20/06/2014	07:33	0.057	mg/L
21/06/2014	07:41	0.058	mg/L
22/06/2014	07:30	0.060	mg/L
23/06/2014	07:35	0.059	mg/L
24/06/2014	07:32	0.058	mg/L
25/06/2014	07:33	0.060	mg/L
26/06/2014	07:30	0.058	mg/L
PROMEDIO		0.053	mg/L
DESVIACIÓN ESTANDAR		0.00416	



GRÁFICA N° 5: DIAGRAMA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL DISTRITO DE SABANDIA.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL DISTRITO DE SABANDIA

En la presente tabla se aprecia los resultados del análisis en el distrito de Sabandia, en donde el valor más bajo es 0.047 mg/L, el valor más alto es 0.063 mg/L y el promedio es 0.053 mg/L.

Sabandia es el distrito que tiene la mayor concentración de Arsenico de todos los distritos analizados.

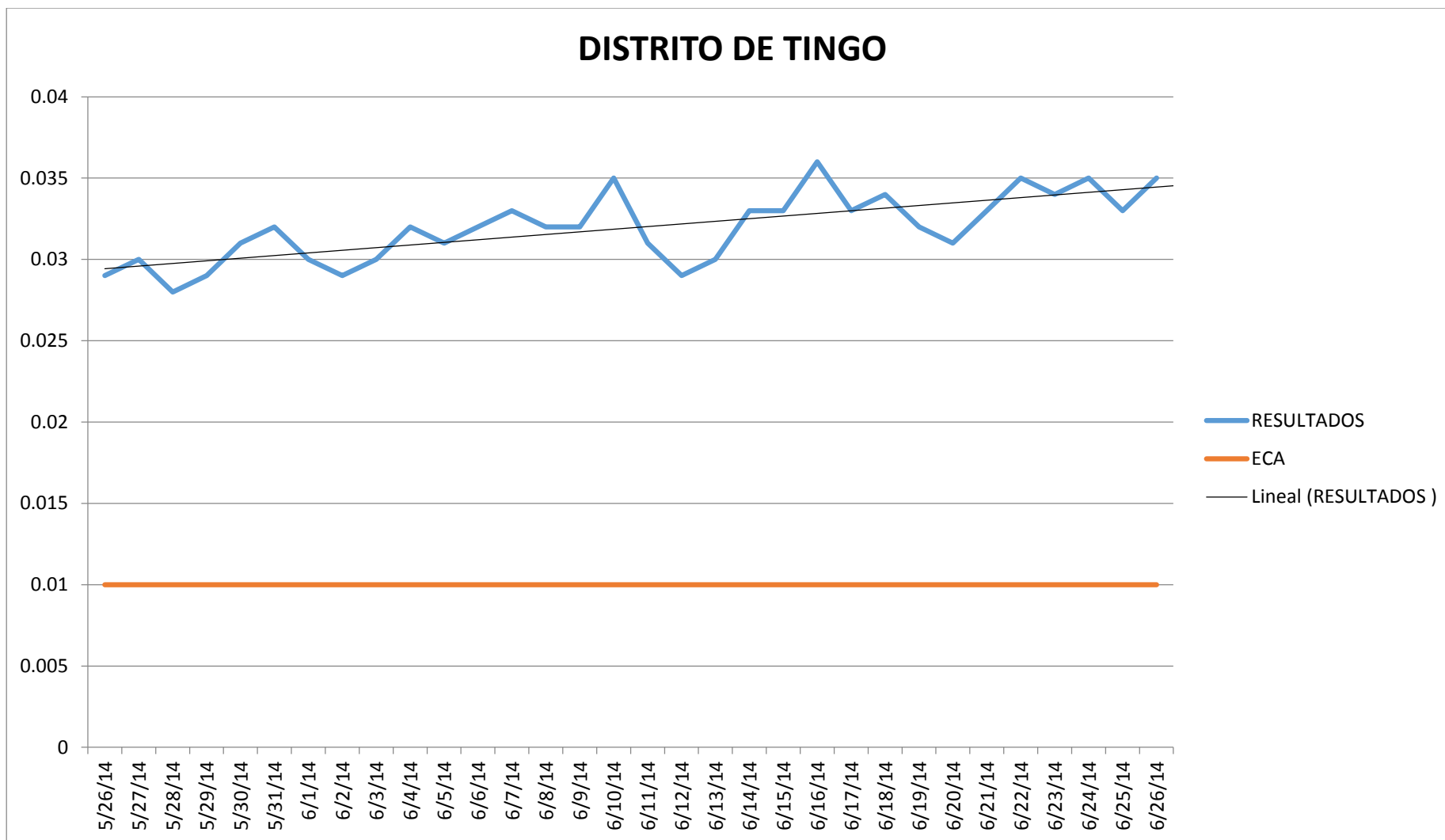
Como se puede observar todos los resultados durante el muestreo en el distrito de Sabandia, las concentraciones de Arsénico se encuentran fuera de los Límites Máximos Permisibles; según OMS, Ministerio de Salud y Estándares de Calidad Ambiental.

Donde el Límite Máximo Permissible es 0.01mg/L.

La presencia de Arsenico en este distrito es por lo que el agua es tomada del ojo de Sabandia que es de la fuente proveniente de manantial, la cual no cuenta con el tratamiento adecuado solo cuenta con el proceso de cloración, el cual solo elimina microorganismos, Esto es debido a que anteriormente las municipalidades construían los reservorios de agua y los cuales fueron pasando a dominios de de la empresa SEDAPAR la cual solo realiza este proceso de cloración, dentro de sus proyectos a futuro esta en que cada reservorio de estas zonas que obtienen la materia prima proveniente de manantial sea tratada adecuadamente con la finalidad de eliminar metales pesados, ya que la zona geográfica de Arequipa es rica en metales pesados por los yacimientos mineros.

TABLA N° 13: RESULTADOS DEL DISTRITO DE TINGO

DISTRITO DE TINGO			
RESULTADOS			
FECHA	HORA	RESULTADOS	UNIDAD
26/05/2014	08:50	0.029	mg/L
27/05/2014	08:57	0.030	mg/L
28/05/2014	08:44	0.028	mg/L
29/05/2014	08:37	0.029	mg/L
30/05/2014	08:35	0.031	mg/L
31/05/2014	08:30	0.032	mg/L
01/06/2014	08:29	0.030	mg/L
02/06/2014	08:33	0.029	mg/L
03/06/2014	08:31	0.030	mg/L
04/06/2014	08:31	0.032	mg/L
05/06/2014	08:19	0.031	mg/L
06/06/2014	08:57	0.032	mg/L
07/06/2014	08:35	0.033	mg/L
08/06/2014	08:51	0.032	mg/L
09/06/2014	08:17	0.032	mg/L
10/06/2014	08:39	0.035	mg/L
11/06/2014	08:29	0.031	mg/L
12/06/2014	08:35	0.029	mg/L
13/06/2014	08:51	0.030	mg/L
14/06/2014	08:29	0.033	mg/L
15/06/2014	08:58	0.033	mg/L
16/06/2014	08:21	0.036	mg/L
17/06/2014	08:29	0.033	mg/L
18/06/2014	08:24	0.034	mg/L
19/06/2014	08:30	0.035	mg/L
20/06/2014	08:41	0.031	mg/L
21/06/2014	08:29	0.033	mg/L
22/06/2014	08:38	0.035	mg/L
23/06/2014	08:21	0.034	mg/L
24/06/2014	08:39	0.035	mg/L
25/06/2014	08:35	0.033	mg/L
26/06/2014	08:24	0.035	mg/L
PROMEDIO		0.032	mg/L
DESVIACIÓN ESTANDAR		0.00218	



GRÁFICA N° 6: DIAGRAMA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL DISTRITO DE TINGO

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL DISTRITO DE TINGO

En la presente tabla se aprecia los resultados del análisis en el distrito de Tingo, en donde el valor más bajo es 0.028 mg/L, el valor más alto es 0.036 mg/L y el promedio es 0.032mg/L.

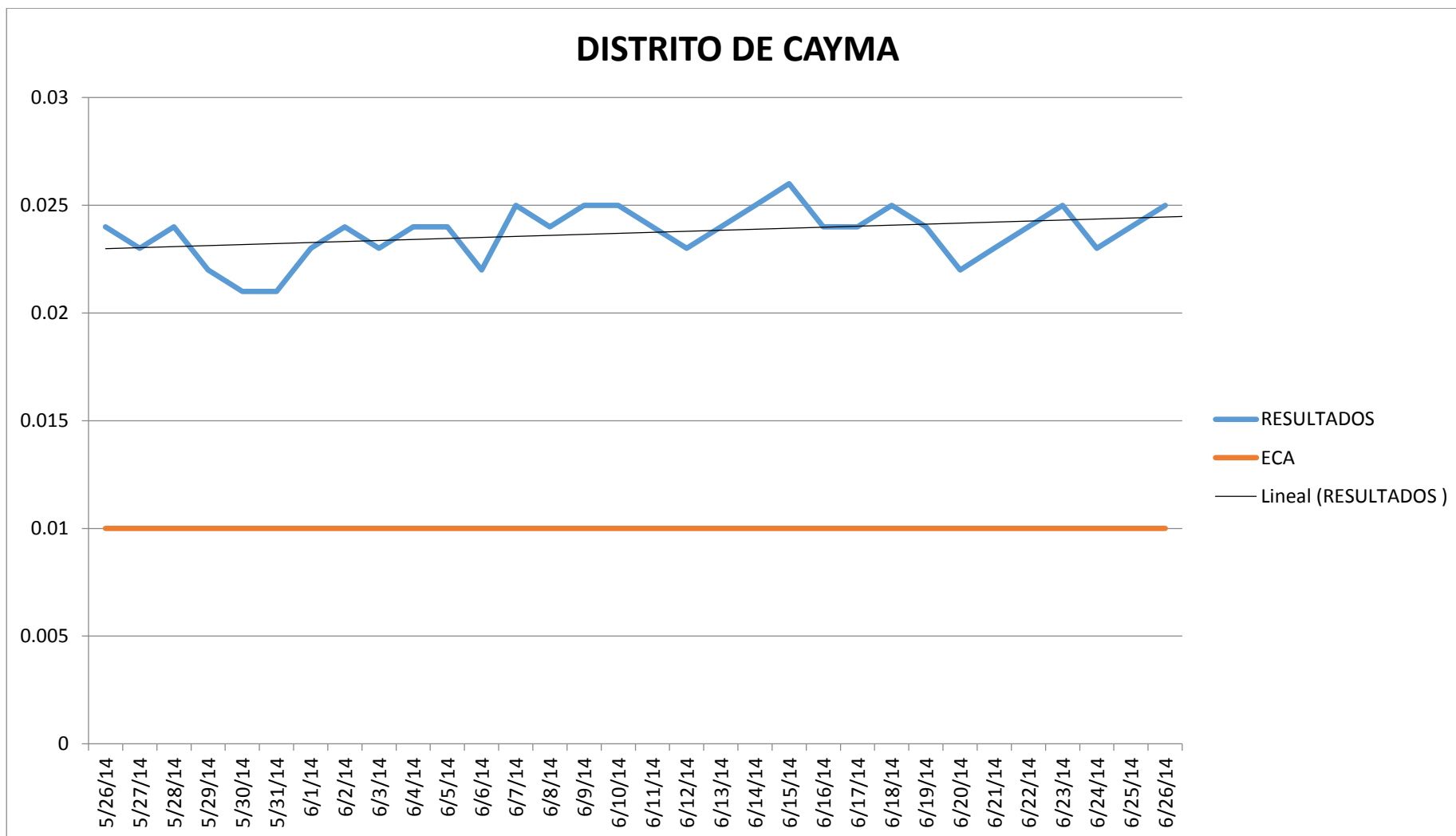
Como se puede observar todos los resultados durante el muestreo en el distrito de Tingo, las concentraciones de Arsénico se encuentran fuera de los Límites Máximos Permisibles; según OMS, Ministerio de Salud y Estándares de Calidad Ambiental.

Donde el Límite Máximo Permissible es 0.01mg/L.

La presencia de Arsénico en este distrito es por lo que el agua es tomada de la fuente proveniente de manantial, la cual no cuenta con el tratamiento adecuado solo cuenta con el proceso de cloración, el cual solo elimina microorganismos, Esto es debido a que anteriormente las municipalidades construían los reservorios de agua y los cuales fueron pasando a dominios de de la empresa SEDAPAR la cual solo realiza este proceso de cloración, dentro de sus proyectos a futuro esta en que cada reservorio de estas zonas que obtienen la materia prima proveniente de manantial sea tratada adecuadamente con la finalidad de eliminar metales pesados, ya que la zona geográfica de Arequipa es rica en metales pesados por los yacimientos mineros.

TABLA N° 14: RESULTADOS DEL DISTRITO DE CAYMA

DISTRITO DE CAYMA			
RESULTADOS			
FECHA	HORA	RESULTADOS	UNIDAD
26/05/2014	09:25	0.024	mg/L
27/05/2014	09:20	0.023	mg/L
28/05/2014	09:36	0.024	mg/L
29/05/2014	09:20	0.022	mg/L
30/05/2014	09:20	0.021	mg/L
31/05/2014	09:16	0.021	mg/L
01/06/2014	09:31	0.023	mg/L
02/06/2014	09:13	0.024	mg/L
03/06/2014	09:29	0.023	mg/L
04/06/2014	09:31	0.024	mg/L
05/06/2014	09:21	0.024	mg/L
06/06/2014	09:15	0.022	mg/L
07/06/2014	09:19	0.025	mg/L
08/06/2014	09:21	0.024	mg/L
09/06/2014	09:13	0.025	mg/L
10/06/2014	09:29	0.025	mg/L
11/06/2014	09:15	0.024	mg/L
12/06/2014	09:19	0.023	mg/L
13/06/2014	09:23	0.024	mg/L
14/06/2014	09:19	0.025	mg/L
15/06/2014	09:14	0.026	mg/L
16/06/2014	09:16	0.024	mg/L
17/06/2014	09:13	0.024	mg/L
18/06/2014	09:23	0.025	mg/L
19/06/2014	09:19	0.024	mg/L
20/06/2014	09:20	0.022	mg/L
21/06/2014	09:19	0.023	mg/L
22/06/2014	09:17	0.024	mg/L
23/06/2014	09:16	0.025	mg/L
24/06/2014	09:15	0.023	mg/L
25/06/2014	09:16	0.024	mg/L
26/06/2014	09:20	0.025	mg/L
PROMEDIO		0.024	mg/L
DESVIACIÓN ESTANDAR		0.00120	



GRÁFICA N° 7: DIAGRAMA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL DISTRITO DE CAYMA.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL DISTRITO DE CAYMA

En la presente tabla se aprecia los resultados del análisis en el distrito de Cayma, en donde el valor más bajo es 0.021 mg/L, el valor más alto es 0.026 mg/L y el promedio es 0.024 mg/L

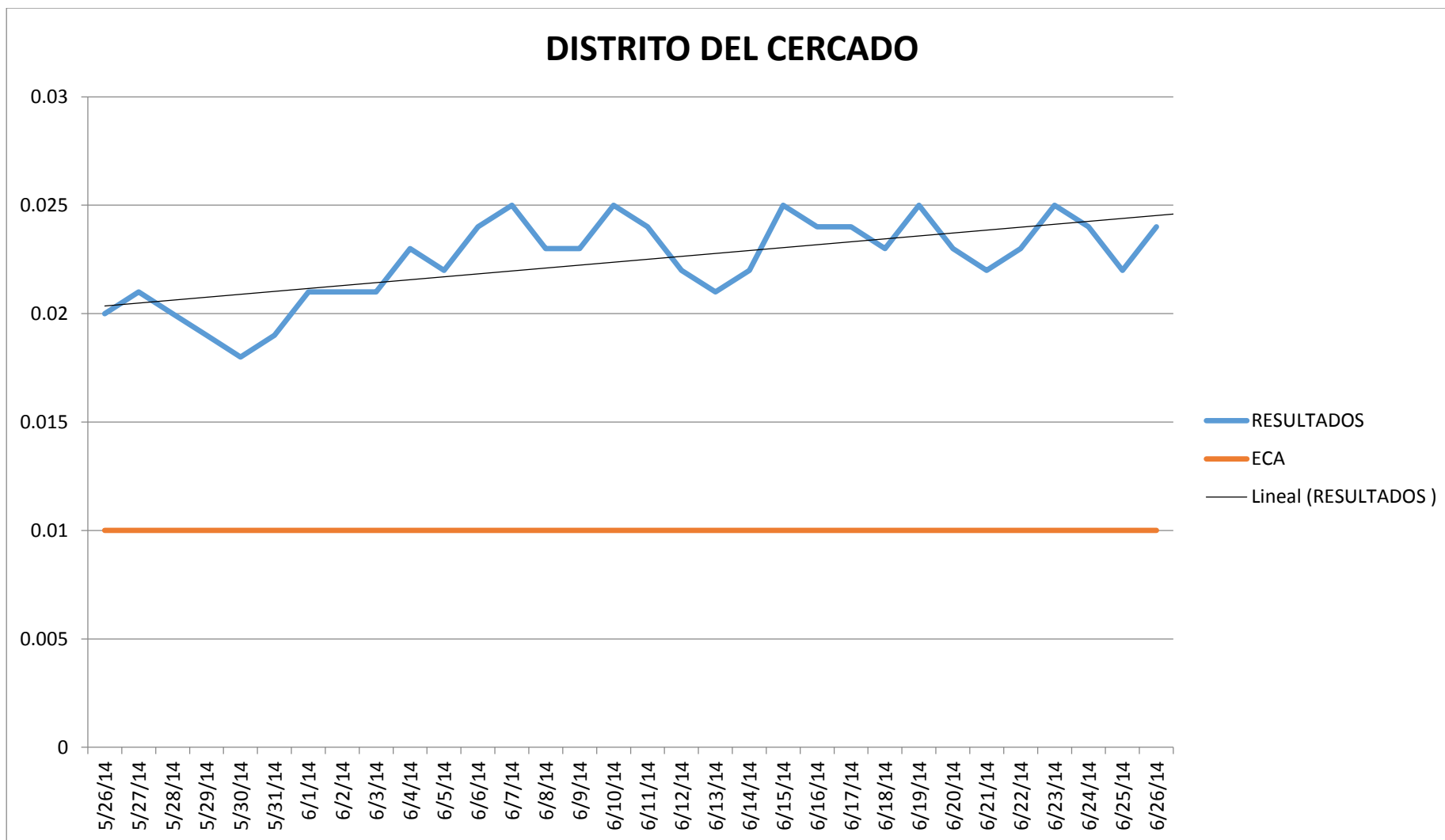
Como se puede observar todos los resultados durante el muestreo en el distrito de Cayma, las concentraciones de Arsénico se encuentran fuera de los Límites Máximos Permisibles; según OMS, Ministerio de Salud y Estándares de Calidad Ambiental.

Donde el Límite Máximo Permissible es 0.01mg/L.

Uno de los factores por lo que se encontró en los resultados de las muestras es que la presencia de Arsenico puede ser por la temporada ya que las muestras se tomaron en temporada de estiaje.

TABLA N° 15: RESULTADOS DEL DISTRITO DEL CERCADO

DISTRITO DEL CERCADO			
RESULTADOS			
FECHA	HORA	RESULTADOS	UNIDAD
26/05/2014	09:00	0.02	mg/L
27/05/2014	08:58	0.021	mg/L
28/05/2014	08:59	0.02	mg/L
29/05/2014	09:17	0.019	mg/L
30/05/2014	09:11	0.018	mg/L
31/05/2014	09:04	0.019	mg/L
01/06/2014	09:03	0.021	mg/L
02/06/2014	09:31	0.021	mg/L
03/06/2014	09:00	0.021	mg/L
04/06/2014	09:13	0.023	mg/L
05/06/2014	08:57	0.022	mg/L
06/06/2014	09:06	0.024	mg/L
07/06/2014	09:09	0.025	mg/L
08/06/2014	09:13	0.023	mg/L
09/06/2014	08:51	0.023	mg/L
10/06/2014	09:15	0.025	mg/L
11/06/2014	09:00	0.024	mg/L
12/06/2014	09:09	0.022	mg/L
13/06/2014	09:17	0.021	mg/L
14/06/2014	09:03	0.022	mg/L
15/06/2014	09:41	0.025	mg/L
16/06/2014	08:57	0.024	mg/L
17/06/2014	08:51	0.024	mg/L
18/06/2014	09:07	0.023	mg/L
19/06/2014	09:00	0.025	mg/L
20/06/2014	09:01	0.023	mg/L
21/06/2014	08:51	0.022	mg/L
22/06/2014	08:57	0.023	mg/L
23/06/2014	08:54	0.025	mg/L
24/06/2014	09:07	0.024	mg/L
25/06/2014	08:57	0.022	mg/L
26/06/2014	09:00	0.024	mg/L
PROMEDIO		0.022	mg/L
DESVIACIÓN ESTANDAR		0.00193	



GRÁFICA N° 8: DIAGRAMA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL DISTRITO DEL CERCADO.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL DISTRITO DE CERCADO

En la presente tabla se aprecia los resultados del análisis en el distrito del Cercado, en donde el valor más bajo es 0.018 mg/L, el valor más alto es 0.025 mg/L y el promedio es 0.022 mg/L.

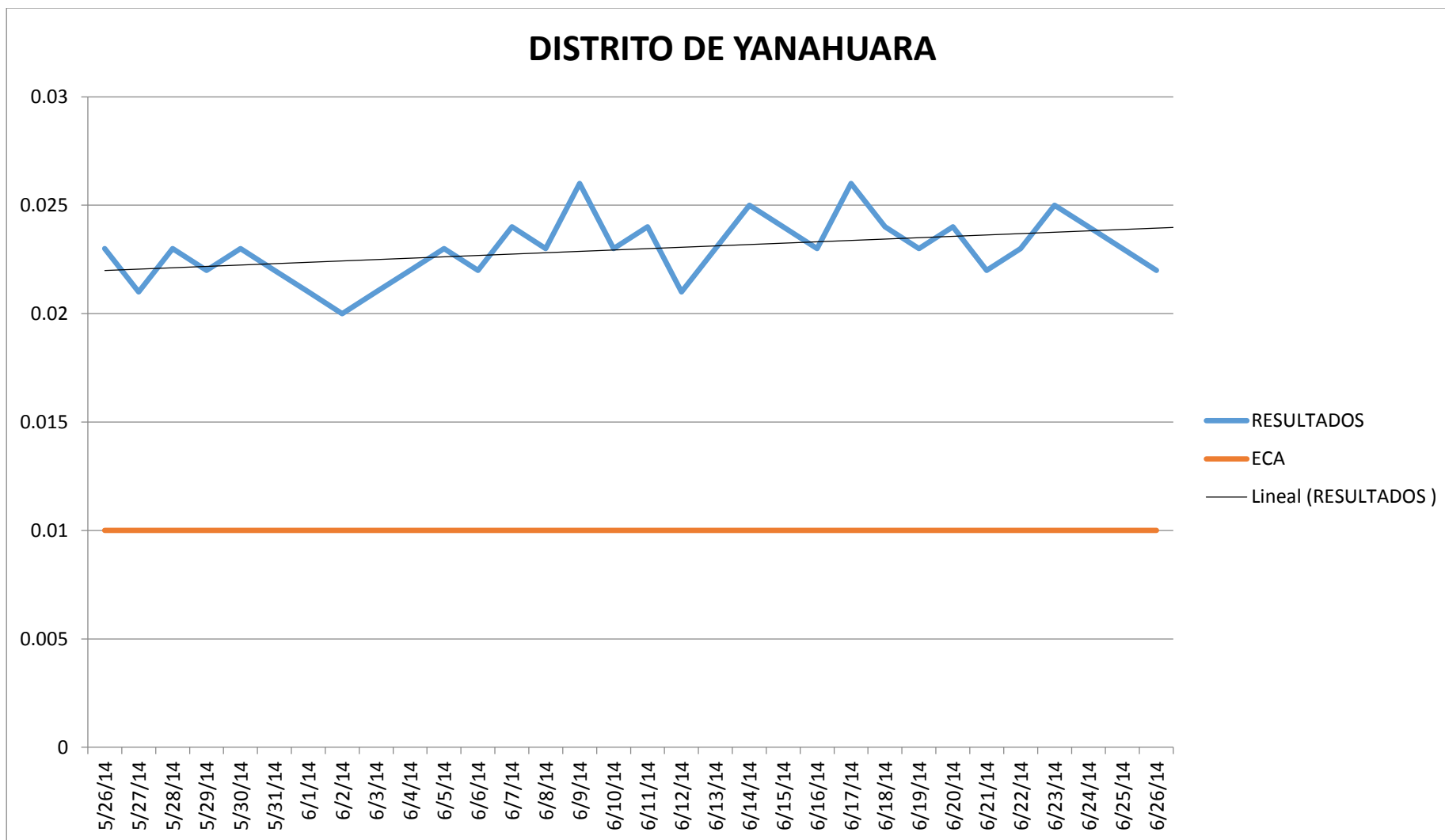
Como se puede observar todos los resultados durante el muestreo en el distrito de Cercado, las concentraciones de Arsénico se encuentran fuera de los Límites Máximos Permisibles; según OMS, Ministerio de Salud y Estandares de Calidad Ambiental.

Donde el Límite Máximo Permissible es 0.01mg/L.

Uno de los factores por lo que se encontró en los resultados de las muestras es que la presencia de Arsenico puede ser por la temporada ya que las muestras se tomaron en temporada de estiaje.

TABLA N° 16: RESULTADOS DEL DISTRITO DE YANAHUARA

DISTRITO DE YANAHUARA			
RESULTADOS			
FECHA	HORA	RESULTADOS	UNIDAD
26/05/2014	09:30	0.023	mg/L
27/05/2014	09:23	0.021	mg/L
28/05/2014	09:43	0.023	mg/L
29/05/2014	09:31	0.022	mg/L
30/05/2014	09:30	0.023	mg/L
31/05/2014	09:29	0.022	mg/L
01/06/2014	09:39	0.021	mg/L
02/06/2014	09:40	0.02	mg/L
03/06/2014	09:52	0.021	mg/L
04/06/2014	09:25	0.022	mg/L
05/06/2014	09:33	0.023	mg/L
06/06/2014	09:29	0.022	mg/L
07/06/2014	09:30	0.024	mg/L
08/06/2014	09:36	0.023	mg/L
09/06/2014	09:46	0.026	mg/L
10/06/2014	09:42	0.023	mg/L
11/06/2014	09:38	0.024	mg/L
12/06/2014	09:45	0.021	mg/L
13/06/2014	09:46	0.023	mg/L
14/06/2014	09:38	0.025	mg/L
15/06/2014	09:52	0.024	mg/L
16/06/2014	09:43	0.023	mg/L
17/06/2014	09:49	0.026	mg/L
18/06/2014	09:50	0.024	mg/L
19/06/2014	09:45	0.023	mg/L
20/06/2014	09:45	0.024	mg/L
21/06/2014	09:46	0.022	mg/L
22/06/2014	09:38	0.023	mg/L
23/06/2014	09:52	0.025	mg/L
24/06/2014	09:43	0.024	mg/L
25/06/2014	09:42	0.023	mg/L
26/06/2014	09:46	0.022	mg/L
PROMEDIO		0.023	mg/L
DESVIACIÓN ESTANDAR		0.00143	



GRÁFICA N° 9: DIAGRAMA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL DISTRITO DE YANAHUARA.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL DISTRITO DE YANAHUARA

En la presente tabla se aprecia los resultados del análisis en el distrito del Yanahuara, en donde el valor más bajo es 0.020 mg/L, el valor más alto es 0.026 mg/L y el promedio es 0.023 mg/L.

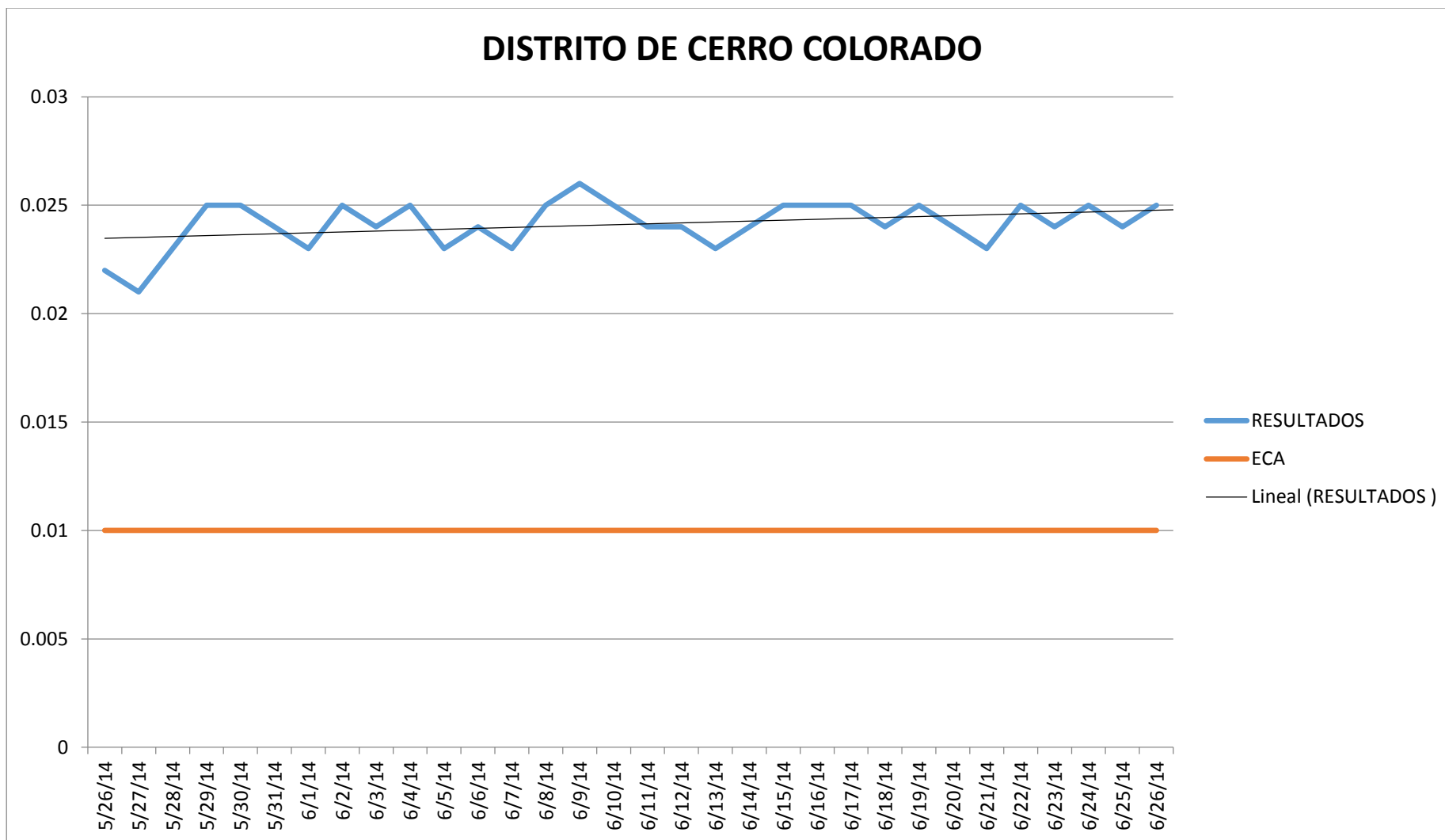
Como se puede observar todos los resultados durante el muestreo en el distrito de Yanahuara, las concentraciones de Arsénico se encuentran fuera de los Límites Máximos Permisibles; según OMS, Ministerio de Salud y Estándares de Calidad Ambiental.

Donde el Límite Máximo Permissible es 0.01mg/L.

Uno de los factores por lo que se encontró en los resultados de las muestras es que la presencia de Arsenico puede ser por la temporada ya que las muestras se tomaron en temporada de estiaje.

TABLA N° 17: RESULTADOS DEL DISTRITO DE CERRO COLORADO

DISTRITO DE CERRO COLORADO			
RESULTADOS			
FECHA	HORA	RESULTADOS	UNIDAD
26/05/2014	10:00	0.022	mg/L
27/05/2014	10:02	0.021	mg/L
28/05/2014	09:56	0.023	mg/L
29/05/2014	09:59	0.025	mg/L
30/05/2014	09:58	0.025	mg/L
31/05/2014	10:00	0.024	mg/L
01/06/2014	10:02	0.023	mg/L
02/06/2014	09:59	0.025	mg/L
03/06/2014	10:13	0.024	mg/L
04/06/2014	10:11	0.025	mg/L
05/06/2014	10:12	0.023	mg/L
06/06/2014	10:23	0.024	mg/L
07/06/2014	09:55	0.023	mg/L
08/06/2014	10:13	0.025	mg/L
09/06/2014	09:56	0.026	mg/L
10/06/2014	09:59	0.025	mg/L
11/06/2014	09:57	0.024	mg/L
12/06/2014	09:55	0.024	mg/L
13/06/2014	10:13	0.023	mg/L
14/06/2014	10:15	0.024	mg/L
15/06/2014	10:10	0.025	mg/L
16/06/2014	10:17	0.025	mg/L
17/06/2014	09:59	0.025	mg/L
18/06/2014	09:54	0.024	mg/L
19/06/2014	10:10	0.025	mg/L
20/06/2014	10:12	0.024	mg/L
21/06/2014	09:59	0.023	mg/L
22/06/2014	09:55	0.025	mg/L
23/06/2014	10:10	0.024	mg/L
24/06/2014	10:01	0.025	mg/L
25/06/2014	09:57	0.024	mg/L
26/06/2014	10:13	0.025	mg/L
PROMEDIO		0.024	mg/L
DESVIACIÓN ESTANDAR		0.00107	



GRÁFICA N° 10: DIAGRAMA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL DISTRITO DE CERRO COLORADO.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL DISTRITO DE CERRO COLORADO

En la presente tabla se aprecia los resultados del análisis en el distrito del Cerro Colorado, en donde el valor más bajo es 0.021 mg/L, el valor más alto es 0.026 mg/L y el promedio es 0.024 mg/L.

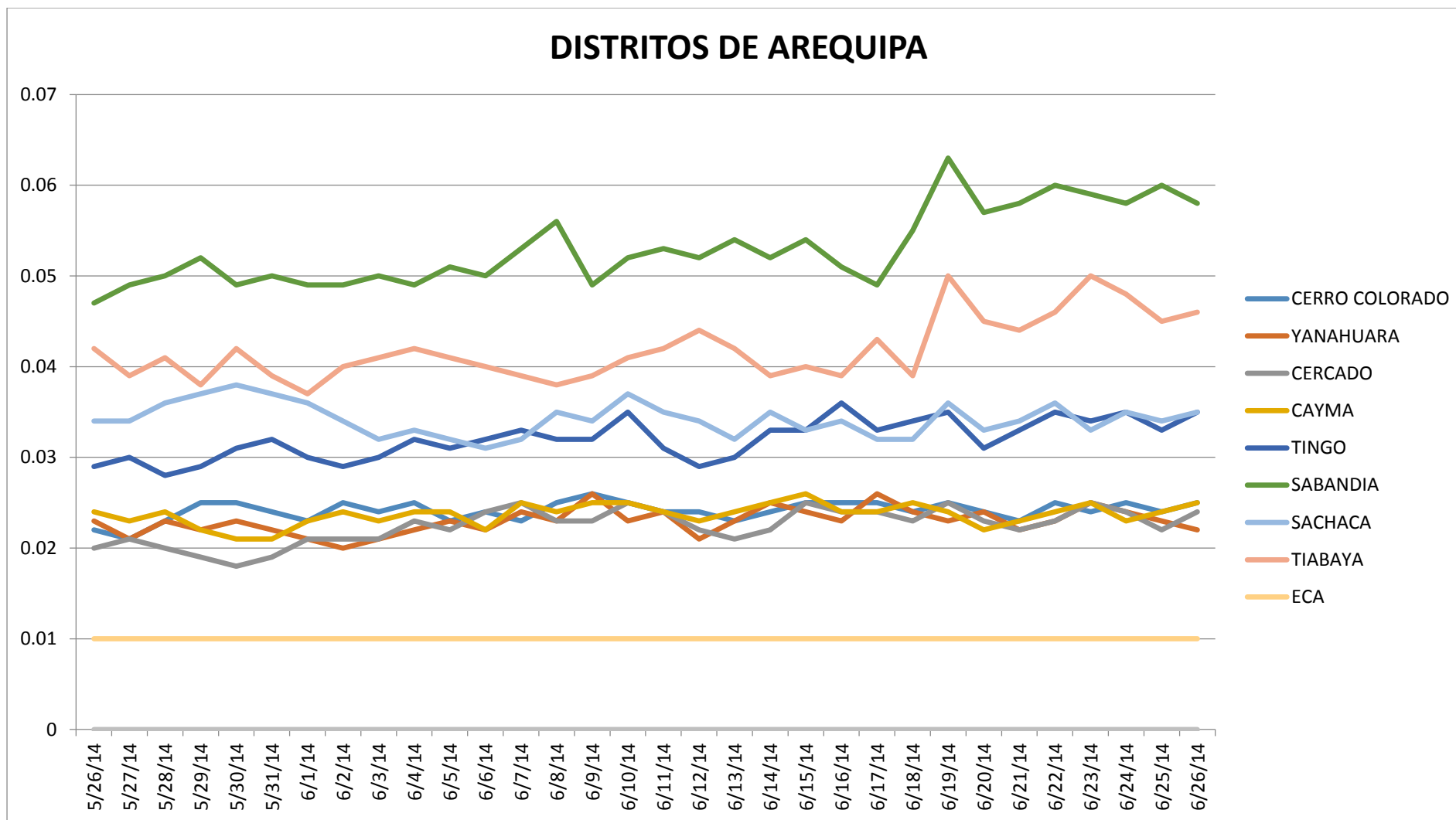
Como se puede observar todos los resultados durante el muestreo en el distrito de Cerro Colorado, las concentraciones de Arsénico se encuentran fuera de los Límites Máximos Permisibles; según OMS, Ministerio de Salud y Estándares de Calidad Ambiental.

Donde el Límite Máximo Permissible es 0.01mg/L.

Uno de los factores por lo que se encontró en los resultados de las muestras es que la presencia de Arsenico puede ser por la temporada ya que las muestras se tomaron en temporada de estiaje.

TABLA N° 18: CUADRO GENERAL DE RESULTADOS DE LOS DISTRITOS MUESTREADOS DE LA CIUDAD DE AREQUIPA

FECHA	DISTRITOS DE AREQUIPA								UNIDAD
	CERRO COLORADO	YANAHUARA	CERCADO	CAYMA	TINGO	SABANDIA	SACHACA	TIABAYA	
26/05/2014	0.022	0.023	0.020	0.024	0.029	0.047	0.034	0.042	mg/L
27/05/2014	0.021	0.021	0.021	0.023	0.030	0.049	0.034	0.039	mg/L
28/05/2014	0.023	0.023	0.020	0.024	0.028	0.050	0.036	0.041	mg/L
29/05/2014	0.025	0.022	0.019	0.022	0.029	0.052	0.037	0.038	mg/L
30/05/2014	0.025	0.023	0.018	0.021	0.031	0.049	0.038	0.042	mg/L
31/05/2014	0.024	0.022	0.019	0.021	0.032	0.050	0.037	0.039	mg/L
01/06/2014	0.023	0.021	0.021	0.023	0.030	0.049	0.036	0.037	mg/L
02/06/2014	0.025	0.020	0.021	0.024	0.029	0.049	0.034	0.04	mg/L
03/06/2014	0.024	0.021	0.021	0.023	0.030	0.050	0.032	0.041	mg/L
04/06/2014	0.025	0.022	0.023	0.024	0.032	0.049	0.033	0.042	mg/L
05/06/2014	0.023	0.023	0.022	0.024	0.031	0.051	0.032	0.041	mg/L
06/06/2014	0.024	0.022	0.024	0.022	0.032	0.050	0.031	0.040	mg/L
07/06/2014	0.023	0.024	0.025	0.025	0.033	0.053	0.032	0.039	mg/L
08/06/2014	0.025	0.023	0.023	0.024	0.032	0.056	0.035	0.038	mg/L
09/06/2014	0.026	0.026	0.023	0.025	0.032	0.049	0.034	0.039	mg/L
10/06/2014	0.025	0.023	0.025	0.025	0.035	0.052	0.037	0.041	mg/L
11/06/2014	0.024	0.024	0.024	0.024	0.031	0.053	0.035	0.042	mg/L
12/06/2014	0.024	0.021	0.022	0.023	0.029	0.052	0.034	0.044	mg/L
13/06/2014	0.023	0.023	0.021	0.024	0.030	0.054	0.032	0.042	mg/L
14/06/2014	0.024	0.025	0.022	0.025	0.033	0.052	0.035	0.039	mg/L
15/06/2014	0.025	0.024	0.025	0.026	0.033	0.054	0.033	0.040	mg/L
16/06/2014	0.025	0.023	0.024	0.024	0.036	0.051	0.034	0.039	mg/L
17/06/2014	0.025	0.026	0.024	0.024	0.033	0.049	0.032	0.043	mg/L
18/06/2014	0.024	0.024	0.023	0.025	0.034	0.055	0.032	0.039	mg/L
19/06/2014	0.025	0.023	0.025	0.024	0.035	0.063	0.036	0.050	mg/L
20/06/2014	0.024	0.024	0.023	0.022	0.031	0.057	0.033	0.045	mg/L
21/06/2014	0.023	0.022	0.022	0.023	0.033	0.058	0.034	0.044	mg/L
22/06/2014	0.025	0.023	0.023	0.024	0.035	0.060	0.036	0.046	mg/L
23/06/2014	0.024	0.025	0.025	0.025	0.034	0.059	0.033	0.050	mg/L
24/06/2014	0.025	0.024	0.024	0.023	0.035	0.058	0.035	0.048	mg/L
25/06/2014	0.024	0.023	0.022	0.024	0.033	0.060	0.034	0.045	mg/L
26/06/2014	0.025	0.022	0.024	0.025	0.035	0.058	0.035	0.046	mg/L
PROMEDIO	0.024	0.023	0.022	0.024	0.032	0.053	0.034	0.042	mg/L
DESVIACIÓN ESTANDAR	0.00107	0.00143	0.00193	0.00120	0.00218	0.00416	0.00179	0.00340	

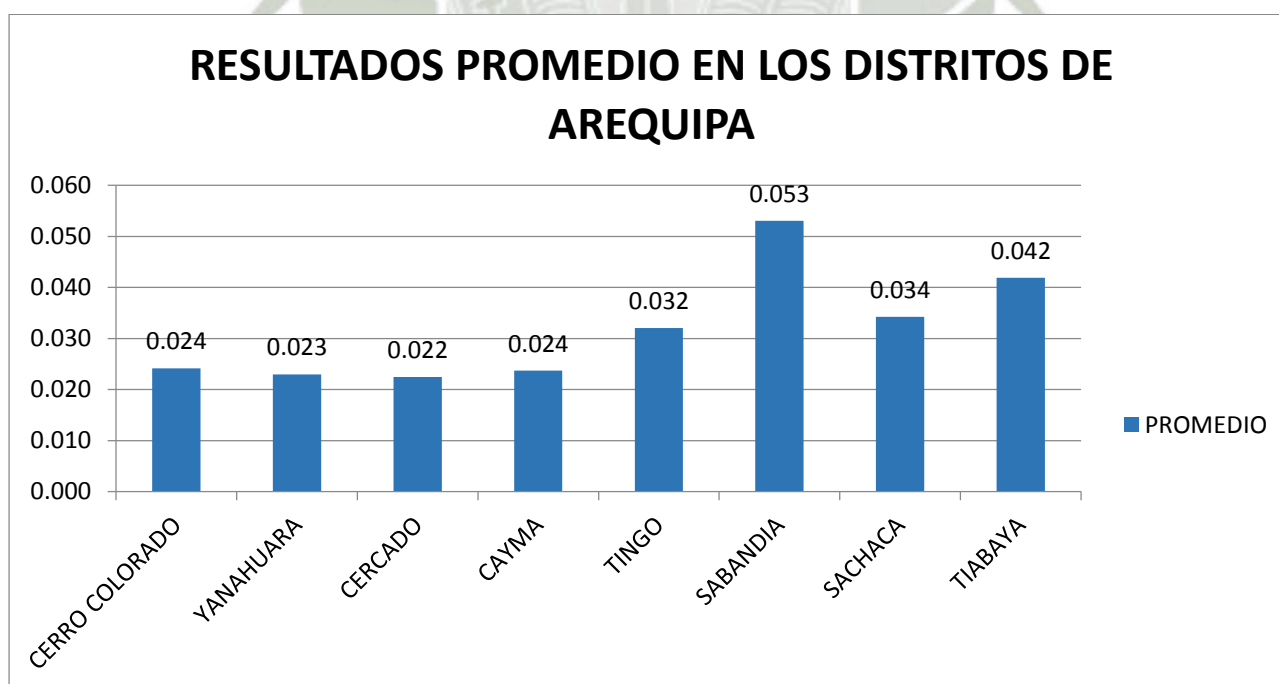


GRÁFICA N° 11: DIAGRAMA LINEAL DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS DISTRITOS MUESTREADOS EN LA CIUDAD DE AREQUIPA

En la presente gráfico (GRÁFICO 11): Se aprecia los resultados del análisis en donde los distritos de Sabandía, Tiabaya, Sachaca y Tingo, que son de fuentes de manantial, son los que cuentan con concentraciones más elevadas siendo la concentración más elevada en el distrito de Sabandía. A diferencia de los distritos de Cayma, Yanahuara, Cercado y Cerro colorado, que son de fuentes superficiales, que cuentan con concentraciones un poco más bajas, siendo casi todos con la misma concentración promedio, pero todos estos distrito muestreados están por encima de los valores normales implantados por la OMS, LMP, ECA y por el reglamento de la calidad del agua para consumo humano según el Ministerio de Salud Perú.

TABLA N° 19: PROMEDIO Y DESVIACIÓN ESTANDAR DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL ESTUDIO EN LOS DISTRITOS DE LA CIUDAD DE AREQUIPA

FECHA	DISTRITOS DE AREQUIPA								UNIDAD
	CERRO COLORADO	YANAHUARA	CERCADO	CAYMA	TINGO	SABANDIA	SACHACA	TIABAYA	
PROMEDIO	0.024	0.023	0.022	0.024	0.032	0.053	0.034	0.042	mg/L
DESVIACIÓN ESTANDAR	0.00107	0.00143	0.00193	0.00120	0.00218	0.00416	0.00179	0.00340	



GRÁFICA N° 12: RESULTADO PROMEDIO EN LOS DISTRITOS DE AREQUIPA.

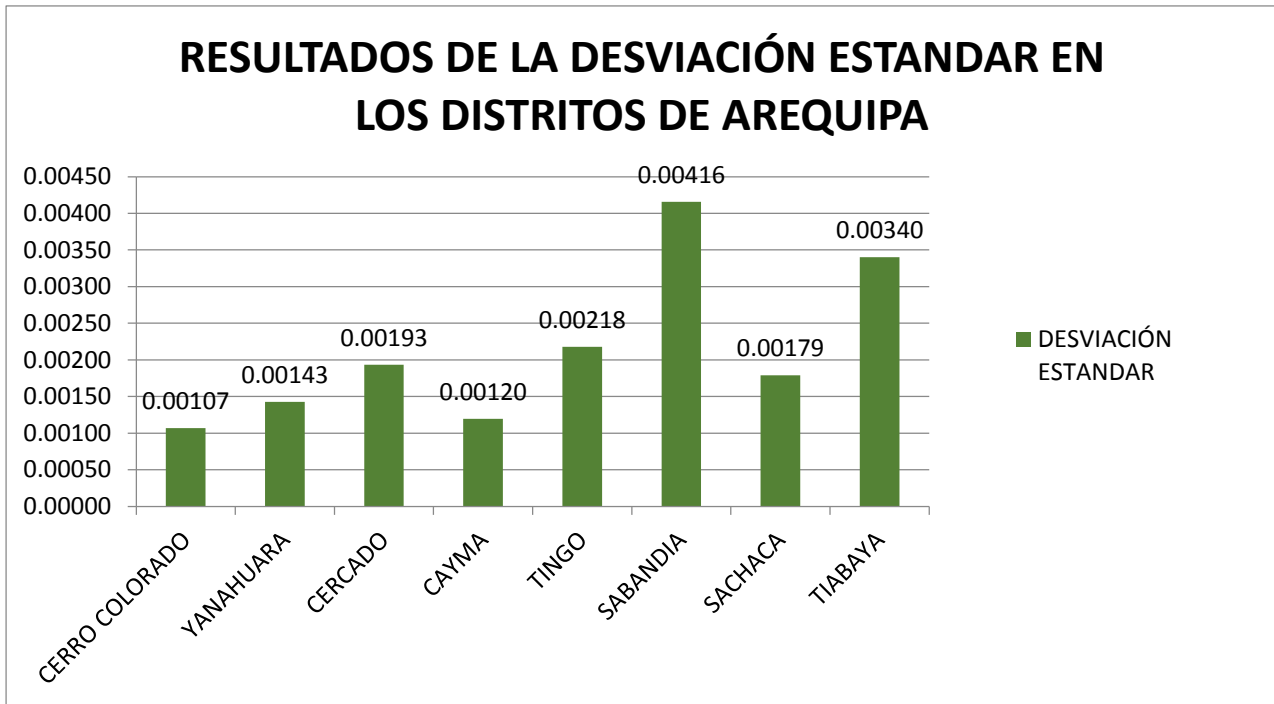


GRÁFICO N° 13: RESULTADO DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR EN LOS DISTRITOS DE AREQUIPA.

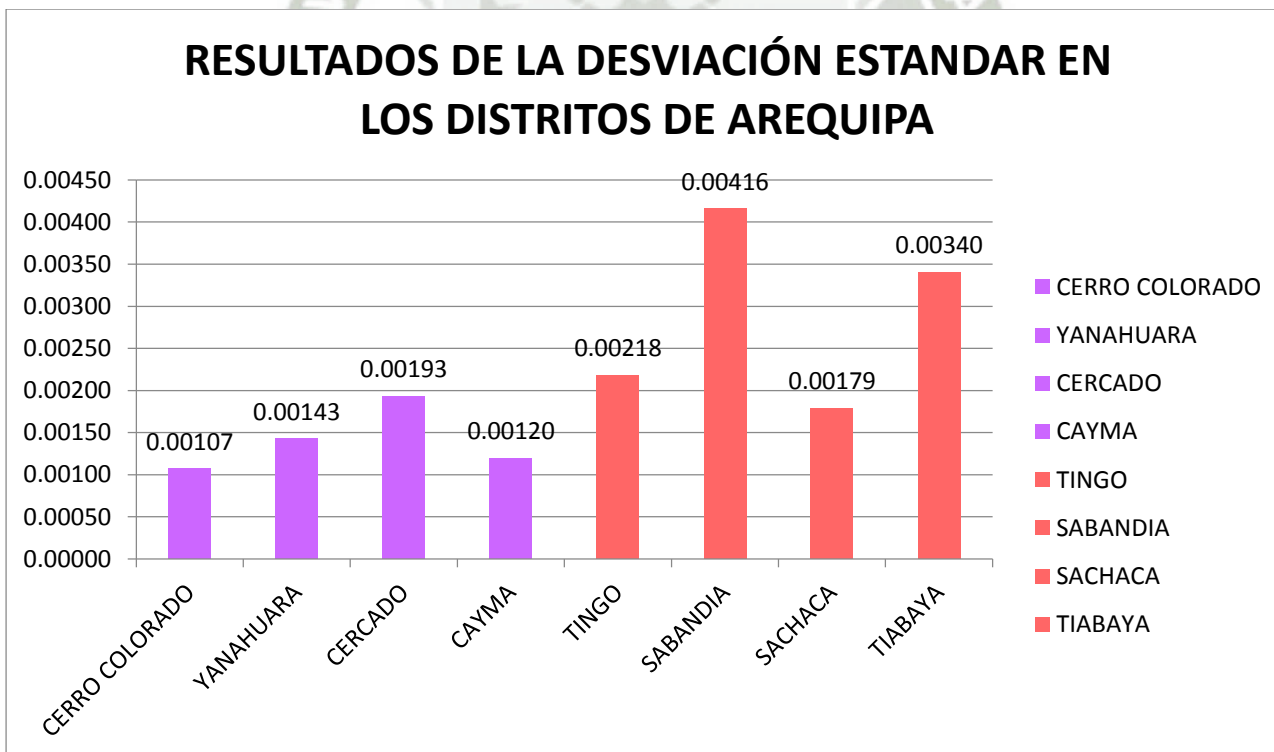


GRÁFICO N° 14: PRUEBA ESTADISTICA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS

3.5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados de este trabajo de investigación han determinado la concentración de arsénico en ug/L de agua potable, en 240 muestras provenientes de SEDAPAR en diferentes distritos de Arequipa.

De acuerdo a los resultados obtenidos de las dos fuentes analizadas como es la manantial y superficial, podemos ver que en ambas fuentes existe la presencia de Arsénico, solo que en la fuente manantial, específicamente en el distrito de Sabandia, es donde hay mayor presencia de este metaloide.

Uno de los factores por lo que el distrito de Sabandia tiene alto contenido en las muestras analizadas es por lo que el agua es captada del ojo de Sabandia, hay estudios en donde mas del 50% de ojos de agua provenientes de manantial contienen Arsenico, claro que en diversas concentraciones debido a la zona geográfica.

Uno de los factores por lo que se encontró en los resultados de las muestras provenientes de fuente superficial, es que la presencia de Arsenico puede ser por la temporada ya que las muestras se tomaron en temporada de estiaje.

La actividad volcánica genera gran desprendimiento de cenizas que incrementan la contaminación de los suelos que son lavados por acción de las lluvias, viento y son aportantes de contaminantes en las aguas de los ríos formados en zonas de este origen.

Este factor es relevante y la razón del contenido de arsénico en toda la región sur del país. Se observa una tendencia a incremento notable en la época de estiaje por la cantidad pequeña de flujo de agua y se nota el aporte importante de los manantiales que son ricos en arsénico por los factores anteriores.

4. CONCLUSIONES

1. Por el método “Determinación de Arsénico y Selenio por Generación de Hidruros / Espectroscopía de Absorción Atómica”, se determinó de forma cualitativa y cuantitativamente la presencia de Arsénico en aguas de consumo humano provenientes de SEDAPAR de origen superficial y de manantial.
2. Se obtuvo como resultado de los análisis que la concentración de Arsénico en agua potable proveniente de 2 tipos de fuente de agua: Superficial y Manantial, superan los Límites Máximos Permisibles (LMP) y en mayor concentración el de fuente de manantial.
3. Según los Estándares de calidad Ambiental para agua, la concentración de arsénico no se encuentra dentro de los límites permisibles establecidos para agua potable. El Límite Máximo Permissible es de 0.01 mg/L.
4. Se valoró los niveles de Arsénico obtenidos a través del método “Determinación de Arsénico y Selenio por Generación de Hidruros / Espectroscopía de Absorción Atómica” estableciendo la calidad de agua y la presencia de metales pesados.

5. RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS

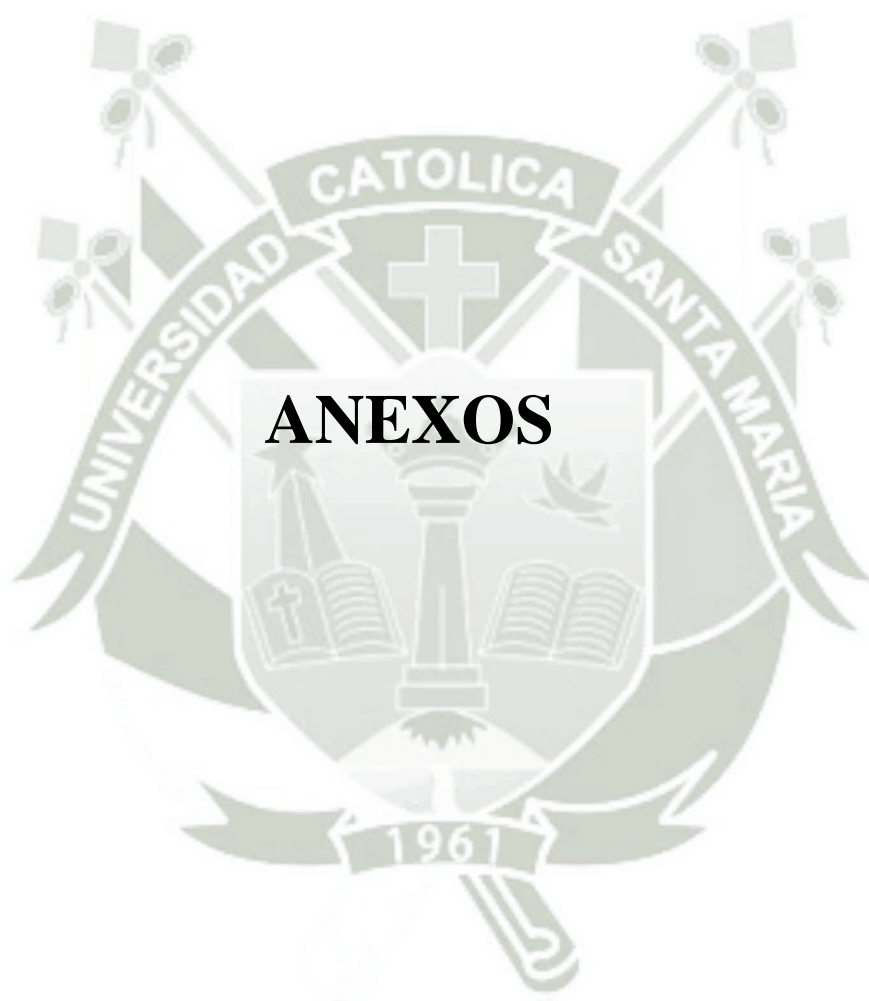
1. Dar a conocer a través de charlas los resultados de este estudio a la población afectada, autoridades y demás personas interesadas. Los resultados que dieron positiva la presencia de Arsénico.
2. Recomendamos a la colectividad arequipeña el uso de filtros purificadores de agua, con la finalidad que las trazas de este metaloide se queden en los poros de los filtros.
3. Que la empresa SEDAPAR S.A. mejore el tratamiento de agua en especial a la que proviene de fuente de manantial.
4. A la colectividad Arequipeña se le recomienda no consumir agua cruda.



6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Altamirano Maximina. Distribución de la Contaminación Natural por Arsénico en las Aguas Subterráneas de la Subcuenca Suroeste del Valle de Sebaco, Matagalpa-Nicaragua. Maestría en Ciencias del Agua, CIRA – UNAM 2005
2. Andrews NC, Bridge KR. Disorder of iron metabolism and sideroblastic anemia. Nathan and Oski's Hematology of infancy and childhood. 5th ed. Philadelphia: WB Saunders; 1998: 423-61.
3. ATSDR. Toxicological profile for arsenic, agency for toxic substance and disease, Atlanta, Georgia, U.S. Department of Health and human Services. 2007: Tp-92/02.
4. Autoridad Nacional del Agua: Clasificación de los Cuerpos de Agua. Resolución Jefatural 202-ANA, Lima 2010.
5. Earth's water distribution. U.S. Geological Survey.
6. Estandares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, Decreto Supremo 02, Lima 2008.
7. Garcia Martin Tomas. Toxicología Fundamental. 3ª Edición, Editorial Díaz de Zantos; 2008: 968 P.
8. Goel R., Kapoor S.K., Misra K. y Sharma R.K. (2004). Removal of arsenic from water by different adsorbents. Indian J. Chem. Tech. 11, 518–525.
9. Hannaford, Peter. «Alan Walsh 1916–1998». AAS Biographical Memoirs. Australian Academy of Science.
10. Ingeniería civil y Medio Ambiente [citado 2008,16 mayo] disponible desde: http://www.miliarium.com/monografias/Arsenico/ProblematicaCastilla_Leon.asp
11. <http://www.ecured.cu/index.php/Agua>
12. J. Baran E. Química Bioinorgánica. España: Ed. McGraw-Hill; 1994: 321P.
13. Kirkbright, G., Taddia, M., 1978. Application of masking agents in minimizing interferences from some metal ions in determination of arsenic by atomic-absorption spectrometry with the hydride generation technique. Anal. Chim. Acta, (100), 145-150.
14. Letterman R.D. y American Water Works Association. (2002). Calidad y tratamiento del agua. Manual de suministro de agua comunitaria. 5a ed. McGraw Hill Interamericana de España. Madrid, España, 834 p.

15. Milner, B., Whiteside, P., Price W., 1979. Determination of trace amounts of arsenic and antimony in zinc powder. *Analyst*. (104), 474-475.
16. Mohan D. y Pittman J.C.U. (2007). Arsenic removal from water/wastewater using adsorbents – A critical review. *J. Hazard. Mater.* 142, 1–53.
17. Montgomery D.C. (2002). *Diseño y análisis de experimentos*. 2a ed. LimusaWiley. México, 482 p
18. Organización Mundial de la Salud (Oms)
19. Orozco B, Carmen y Pérez S. Antonio. *Contaminación ambiental: una visión desde la química*. Ed. Thomson; 2008.
20. RAMESH, A., RIYAZUDDIN, P. Preservation of inorganic arsenic species in environmental water samples for reliable speciation analysis. *Trends in Analytical Chemistry*, 29(10), 10, p. 1212-1223.
21. Schrenk, W.G. *Applied Spectroscopy*. 40 (1), XIX, 1986.
22. Sedapar S.A.
23. SSA (1994). *Modificación de Norma Oficial Mexicana NOM–127–SSA1–1994. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*. Secretaría de Salud. *Diario Oficial de la Federación*, México, 22 de noviembre de 2000.
24. ULUOZLU, O., TUZEN, M., MENDIL, D. and SOYLAK, M. Determination of As(III) and As(V) species in some natural water and food samples by solid-phase extraction on treptococcus pyogenes immobilized on Sepabeads SP 70 and hydride generation atomic absorption spectrometry. *Food and Chemical Toxicology*, 48, 2010, p. 1393-1398.
25. Vázquez H, Ortolani V, et al. *Arsénico en Aguas Subterráneas Criterios para la Adopción de Límites Tolerables CEPIS-OPS*; 1999.
26. Welz, B. *Atom-Absorptions Spektroskopie*. VerlagChemie, Weinheim. 1983.
27. *WhoArseniccompounds. EnvirmentalHealthCriteria 224, and edition, worldhealthorganization, Genova; 2001.*
28. WHO (2004). *Guidelines for drinking water quality*. World Health Organization. Manual. Ginebra, Suiza. 515 p.
29. *WORLD WATER RESOURCES AT THE BEGINNING OF THE 21ST CENTURY*. Unesco.



ANEXO I: PREPARACIÓN DE REACTIVOS

5. PREPARACIÓN DE REACTIVOS

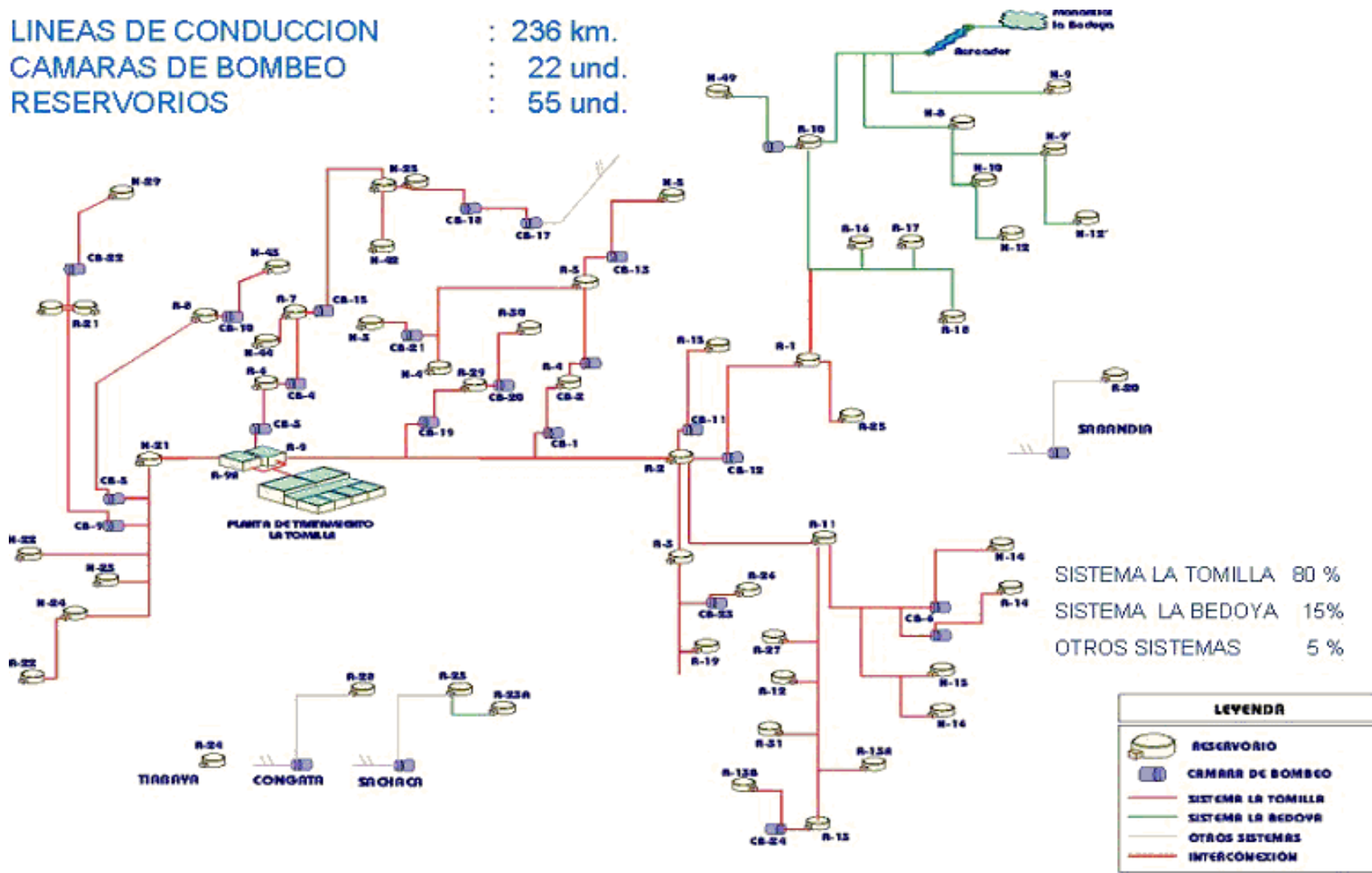
7.1. ARSÉNICO

REACTIVOS

1. Ácido nítrico (HNO_3) 65%, $d=1.40\text{g/mL}$, pa.
2. Ácido clorhídrico (HCl) 37%, pa.
3. Ácido sulfúrico (H_2SO_4) 95-98% w/v.
4. Solución estándar de arsénico de 1000mg/L : Disolver 1.32g de óxido de arsénico (III) (As_2O_3) pa, (para Absorción Atómica) en 25 mL de solución de hidróxido de potasio pa. (KOH) 20% w/v. Neutralizar con H_2SO_4 20% v/v. Diluir a 1L en matraz aforado, con H_2SO_4 1. Almacenar en frasco de plástico. Pueden usarse soluciones estándar para Absorción Atómica comerciales.
5. Solución de borohidruro de sodio (NaBH_4) 0.4%: Disolver 2.5g de hidróxido de sodio pa. (NaOH) y 2.0g de NaBH_4 pa. (para Absorción Atómica) en 500mL de agua destilada. El reactivo pierde sensibilidad con el tiempo, prepararlo diariamente.
6. Solución de ácido clorhídrico 5M: Diluir 210 ml de HCl cc. A 500mL con agua destilada.
7. Solución de yoduro de potasio (KI) al 20%: Disolver 20g de KI pa, en 100mL de agua destilada.
8. Agua destilada

ANEXO II

LINEAS DE CONDUCCION : 236 km.
 CAMARAS DE BOMBEO : 22 und.
 RESERVORIOS : 55 und.



ANEXO III: TERMINOLOGÍA.

- ✓ ECA: Estándar de Calidad Ambiental.
- ✓ OMS: Organización Mundial de la Salud.
- ✓ UNT: Unidad Nefelométrica de Turbidez.
- ✓ CIIC: Cancer Immunology and Immunotherapy Center.
- ✓ MINAM: Ministerio del Ambiente.
- ✓ LMP: Límite Máximo Permisible.
- ✓ FIAS: Flow Injection for Atomic Spectroscopy System.
- ✓ EDL: Lámparas de Descarga sin Electrodo.



Diagnóstico y el usuario esté dispuesto a proporcionarlos, el valor de dichos insumos será descontado del precio del servicio, previa presentación de la copia del comprobante de pago. Los insumos requeridos deberán ceñirse a las especificaciones técnicas exigidas por el SENASA.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

OSCAR M. DOMINGUEZ FALCON
 Jefe (e)
 Servicio Nacional de Sanidad Agraria

232229-1

AMBIENTE

Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua

DECRETO SUPREMO
 N° 002-2008-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, en el inciso 22 del artículo 2° de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida; señalando en su artículo 67° que el Estado determina la Política Nacional del Ambiente;

Que, el artículo I del Título Preliminar de la Ley N° 28611-Ley General del Ambiente, establece que toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país;

Que, el artículo 1° de la Ley N° 28817-Ley que establece los plazos para la elaboración y aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y de Límites Máximos Permisibles (LMP) de Contaminación Ambiental, dispuso que la Autoridad Ambiental Nacional culminaría la elaboración y revisión de los ECA y LMP en un plazo no mayor de dos (02) años, contados a partir de la vigencia de dicha Ley;

Que con fecha 16 de junio de 1999 se instaló el GESTA AGUA, cuya finalidad fue elaborar los Estándares de Calidad Ambiental para Agua - ECA para Agua, estando conformado dicho Grupo de Trabajo por 21 instituciones del sector público, privado y académico, actuando la Dirección General de Salud Ambiental – DIGESA como Secretaría Técnica;

Que, mediante Oficio N° 8262-2006/DG/DIGESA de fecha 28 de diciembre de 2006, la Dirección General de Salud Ambiental –DIGESA, en coordinación con el Instituto Nacional de Recursos Naturales -INRENA, en calidad de Secretaría Técnica Colegiada del GESTA

AGUA, remitió al CONAM, la propuesta de Estándares de Calidad Ambiental-ECA para Agua con la finalidad de tramitar su aprobación formal;

Que, por Acta del Grupo de Trabajo GESTA AGUA, de fecha 24 de octubre de 2007, se aprobó la propuesta de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua;

Que, mediante Decreto Legislativo N° 1013 se aprobó la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, señalándose su ámbito de competencia sectorial y regulándose su estructura orgánica y funciones, siendo una de sus funciones específicas la de elaborar los Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles;

Que, contando con la propuesta de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua, corresponde aprobarlos mediante Decreto Supremo, conforme a lo establecido en el artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013;

De conformidad con lo dispuesto en la Ley General del Ambiente, Ley N° 28611 y el Decreto Legislativo N° 1013; En uso de las facultades conferidas por el artículo 118° de la Constitución Política del Perú;

DECRETA:

Artículo 1°.- Aprobación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua

Aprobar los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, contenidos en el Anexo I del presente Decreto Supremo, con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Los Estándares aprobados son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

Artículo 2°.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA TRANSITORIA

Única.- El Ministerio del Ambiente dictará las normas para la implementación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, como instrumentos para la gestión ambiental por los sectores y niveles de gobierno involucrados en la conservación y aprovechamiento sostenible del recurso agua.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los treinta días del mes de julio del año dos mil ocho.

ALAN GARCÍA PÉREZ
 Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
 Ministro del Ambiente

El Peruano
 DIARIO OFICIAL

REQUISITO PARA PUBLICACIÓN DE NORMAS LEGALES Y SENTENCIAS

Se comunica al Congreso de la República, Poder Judicial, Ministerios, Organismos Autónomos y Descentralizados, Gobiernos Regionales y Municipalidades que, para efecto de publicar sus dispositivos y sentencias en la Separata de Normas Legales y Separatas Especiales respectivamente, deberán además remitir estos documentos en disquete o al siguiente correo electrónico. normaslegales@editoraperu.com.pe

LA DIRECCIÓN



ANEXO I

ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA

CATEGORÍA 1: POBLACIONAL Y RECREACIONAL

PARÁMETRO	UNIDAD	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable			Aguas superficiales destinadas para recreación	
		A1	A2	A3	B1	B2
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	Contacto Primario	Contacto Secundario
		VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR
FÍSICOS Y QUÍMICOS						
Aceites y grasas (MEH)	mg/L	1	1,00	1,00	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,005	0,022	0,022	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	0,08	0,08	0,08	**
Cloruros	mg/L	250	250	250	**	**
Color	Color verdadero escala Pt/Co	15	100	200	sin cambio normal	sin cambio normal
Conductividad	us/cm ²⁵	1 500	1 600	**	**	**
D.B.O. ₅	mg/L	3	5	10	5	10
D.Q.O.	mg/L	10	20	30	30	50
Dureza	mg/L	500	**	**	**	**
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	0,5	na	0,5	Ausencia de espuma persistente
Fenoles	mg/L	0,003	0,01	0,1	**	**
Fluoruros	mg/L	1	**	**	**	**
Fósforo Total	mg/L P	0,1	0,15	0,15	**	**
Materiales Flotantes		Ausencia de material flotante	**	**	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos	mg/L N	10	10	10	10	**
Nitritos	mg/L N	1	1	1	1(5)	**
Nitrógeno amoniacal	mg/L N	1,5	2	3,7	**	**
Olor		Aceptable	**	**	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto	mg/L	>= 6	>= 5	>= 4	>= 5	>= 4
pH	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 – 9,0	6-9 (2,5)	**
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500	**	**
Sulfatos	mg/L	250	**	**	**	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**	**	0,05	**
Turbiedad	UNT ⁹⁰	5	100	**	100	**
INORGÁNICOS						
Aluminio	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	0,006	0,006	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,05	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	0,7	**
Berilio	mg/L	0,004	0,04	0,04	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	0,5	0,75	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,003	0,003	0,01	0,01	**
Cobre	mg/L	2	2	2	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	1	1	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	0,4	0,5	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	0,025	0,025	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	5	5	3	**
ORGÁNICOS						
I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES						
Hidrocarburos totales de petróleo, HTP	mg/L	0,05	0,2	0,2		
Trihalometanos	mg/L	0,1	0,1	0,1	**	**
Compuestos Orgánicos Volátiles, COVs						
1,1,1-Tricloroetano -- 71-55-6	mg/L	2	2	**	**	**
1,1-Dicloroetano -- 75-35-4	mg/L	0,03	0,03	**	**	**
1,2-Dicloroetano -- 107-06-2	mg/L	0,03	0,03	**	**	**
1,2-Diclorobenceno -- 95-50-1	mg/L	1	1	**	**	**
Hexaclorobutadieno -- 87-68-3	mg/L	0,0006	0,0006	**	**	**
Tetracloroetano -- 127-18-4	mg/L	0,04	0,04	**	**	**
Tetracloruro de Carbono -- 56-23-5	mg/L	0,002	0,002	**	**	**
Tricloroetano -- 79-01-6	mg/L	0,07	0,07	**	**	**
BETX						

Descargado desde www.elperuano.com.pe

PARÁMETRO	UNIDAD	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable			Aguas superficiales destinadas para recreación	
		A1	A2	A3	B1	B2
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	Contacto Primario	Contacto Secundario
		VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR
Benceno -- 71-43-2	mg/L	0,01	0,01	**	**	**
Etilbenceno -- 100-41-4	mg/L	0,3	0,3	**	**	**
Tolueno -- 108-88-3	mg/L	0,7	0,7	**	**	**
Xilenos -- 1330-20-7	mg/L	0,5	0,5	**	**	**
Hidrocarburos Aromáticos						
Benzo(a)pireno -- 50-32-8	mg/L	0,0007	0,0007	**	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**	**	**
Triclorobencenos (Totales)	mg/L	0,02	0,02	**	**	**
Plaguicidas						
Organofosforados:						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	**	**	**
Metamidofós (restringido)	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Paraquat (restringido)	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Paratión	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Organoclorados (COP)*:						
Aldrin -- 309-00-2	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Clordano	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
DDT	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Dieldrin -- 60-57-1	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	*	**	**
Endrin -- 72-20-8	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Heptacloro -- 76-44-8	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Heptacloro epóxido 1024-57-3	mg/L	0,00003	0,00003	*	**	**
Lindano	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Carbamatos:						
Aldicarb (restringido)	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Policloruros Bifenilos Totales						
(PCBs)	mg/L	0,000001	0,000001	**	**	**
Otros						
Asbesto	Millones de fibras/L	7	**	**	**	**
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes (44,5 °C)	NMP/100 mL	0	2 000	20 000	200	1 000
Coliformes Totales (35 - 37 °C)	NMP/100 mL	50	3 000	50 000	1 000	4 000
Enterococos fecales	NMP/100 mL	0	0		200	**
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	0	0		Ausencia	Ausencia
Formas parasitarias	Organismo/Litro	0	0		0	
<i>Giardia duodenalis</i>	Organismo/Litro	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
<i>Salmonella</i>	Presencia/100 mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia	0	0
<i>Vibrio Cholerae</i>	Presencia/100 mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

UNT Unidad Nefelométrica Turbiedad

NMP/ 100 mL Número más probable en 100 mL

* Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP)

** Se entenderá que para esta subcategoría, el parámetro no es relevante, salvo casos específicos que la Autoridad competente determine.

CATEGORÍA 2: ACTIVIDADES MARINO COSTERAS

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUA DE MAR		
		Sub Categoría 1	Sub Categoría 2	Sub Categoría 3
		Extracción y Cultivo de Moluscos Bivalvos (C1)	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas (C2)	Otras Actividades (C3)
ORGANOLÉPTICOS				
Hidrocarburos de Petróleo		No Visible	No Visible	No Visible
FISICOQUÍMICOS.				
Aceites y grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0
DBO ₅	mg/L	**	10,0	10,0
Oxígeno Disuelto	mg/L	>=4	>=3	>=2,5
pH	Unidad de pH	7 - 8,5	6,8 - 8,5	6,8 - 8,5
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	**	50,0	70,0
Sulfuro de Hidrógeno	mg/L	**	0,06	0,08
Temperatura	cebíus	**delta 3 °C	**delta 3 °C	**delta 3 °C
INORGÁNICOS				
Amoniaco	mg/L	**	0,08	0,21
Arsénico total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Cadmio total	mg/L	0,0093	0,0093	0,0093
Cobre total	mg/L	0,0031	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05
Fosfatos (P-PO4)	mg/L	**	0,03 - 0,09	0,1



PARÁMETRO	UNIDADES	AGUA DE MAR		
		Sub Categoría 1	Sub Categoría 2	Sub Categoría 3
		Extracción y Cultivo de Moluscos Bivalvos (C1)	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas (C2)	Otras Actividades (C3)
Mercurio total	mg/L	0,0094	0,0001	0,0001
Níquel total	mg/L	0,0082	0,1	0,1
Nitratos (N-NO ₃)	mg/L	**	0,07 - 0,28	0,3
Plomo total	mg/L	0,0081	0,0081	0,0081
Silicatos (Si-Si O ₃)	mg/L	**	0,14 - 0,70	**
Zinc total	mg/L	0,081	0,081	0,081
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos de petróleo totales (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	* ≤14 (área aprobada)	≤30	1000
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	* ≤88 (área restringida)		

NMP/ 100 mL Número más probable en 100 mL

* Área Aprobada : Áreas de dónde se extraen ó cultivan moluscos bivalvos seguros para el comercio directo y consumo, libres de contaminación fecal humana ó animal, de organismos patógenos ó cualquier sustancia deletérea ó venenosa y potencialmente peligrosa.

* Área Restringida: Áreas acuáticas impactadas por un grado de contaminación donde se extraen moluscos bivalvos seguros para consumo humano luego de ser depurados

** Se entenderá que para este uso, el parámetro no es relevante, salvo casos específicos que la Autoridad competente lo determine

*** La temperatura corresponde al promedio mensual multianual del área evaluada.

CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDAS DE ANIMALES

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO		
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
Fisicoquímicos		
Bicarbonatos	mg/L	370
Calcio	mg/L	200
Carbonatos	mg/L	5
Cloruros	mg/L	100-700
Conductividad	(uS/cm)	<2 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40
Fluoruros	mg/L	1
Fosfatos - P	mg/L	1
Nitratos (NO ₃ -N)	mg/L	10
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	0,06
Oxígeno Disuelto	mg/L	> =4
pH	Unidad de pH	6,5 - 8,5
Sodio	mg/L	200
Sulfatos	mg/L	300
Sulfuros	mg/L	0,05
Inorgánicos		
Aluminio	mg/L	5
Arsénico	mg/L	0,05
Bario total	mg/L	0,7
Boro	mg/L	0,5-6
Cadmio	mg/L	0,005
Cianuro Wad	mg/L	0,1
Cobalto	mg/L	0,05
Cobre	mg/L	0,2
Cromo (6+)	mg/L	0,1
Hierro	mg/L	1
Litio	mg/L	2,5
Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0,2
Mercurio	mg/L	0,001
Níquel	mg/L	0,2
Plata	mg/L	0,05
Plomo	mg/L	0,05
Selenio	mg/L	0,05
Zinc	mg/L	2
Orgánicos		
Aceites y Grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0,001
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	1
Plaguicidas		
Aldicarb	ug/L	1
Aldrin (CAS 309-00-2)	ug/L	0,004
Clordano (CAS 57-74-9)	ug/L	0,3
DDT	ug/L	0,001
Dieldrin (N° CAS 72-20-8)	ug/L	0,7
Endrin	ug/L	0,004

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO		
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
Endosulfán	ug/L	0,02
Heptacloro (N° CAS 76-44-8) y heptacloropóxido	ug/L	0,1
Lindano	ug/L	4
Paratión	ug/L	7,5

CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDAS DE ANIMALES

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES.			
PARÁMETROS	UNIDAD	Vegetales Tallo Bajo	Vegetales Tallo Alto
		Valor	Valor
Biológicos			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1 000	2 000(3)
Coliformes Totales	NMP/100mL	5 000	5 000(3)
Enterococos	NMP/100mL	20	100
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	100	100
Huevos de Helmintos	huevo/litro	<1	<1(1)
<i>Salmonella</i> sp.		Ausente	Ausente
<i>Vibrio cholerae</i>		Ausente	Ausente
PARÁMETROS PARA BEBIDAS DE ANIMALES			
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR	
Fisicoquímicos			
Conductividad Eléctrica	(uS/cm)	<=5000	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	<=15	
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40	
Fluoruro	mg/L	2	
Nitratos-(NO3-N)	mg/L	50	
Nitritos (NO2-N)	mg/L	1	
Oxígeno Disuelto	mg/L	> 5	
pH	Unidades de pH	6,5 – 8,4	
Sulfatos	mg/L	500	
Sulfuros	mg/L	0,05	
Inorgánicos			
Aluminio	mg/L	5	
Arsénico	mg/L	0,1	
Berilio	mg/L	0,1	
Boro	mg/L	5	
Cadmio	mg/L	0,01	
Cianuro WAD	mg/L	0,1	
Cobalto	mg/L	1	
Cobre	mg/L	0,5	
Cromo (6+)	mg/L	1	
Hierro	mg/L	1	
Litio	mg/L	2,5	
Magnesio	mg/L	150	
Manganeso	mg/L	0,2	
Mercurio	mg/L	0,001	
Niquel	mg/L	0,2	
Plata	mg/L	0,05	
Plomo	mg/L	0,05	
Selenio	mg/L	0,05	
Zinc	mg/L	24	
Orgánicos			
Aceites y Grasas	mg/L	1	
Fenoles	mg/L	0,001	
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	1	
Plaguicidas			
Aldicarb	ug/L	1	
Aldrin (CAS 309-00-2)	ug/L	0,03	
Clordano (CAS 57-74-9)	ug/L	0,3	
DDT	ug/L	1	
Dieldrin (N° CAS 72-20-8)	ug/L	0,7	
Endosulfán	ug/L	0,02	



Endrín	ug/L	0,004
Heptacloro (N° CAS 76-44-8) y heptacloripóxido	ug/L	0,1
Lindano	ug/L	4
Paratión	ug/L	7,5
Biológicos		
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1 000
Coliformes Totales	NMP/100mL	5 000
Enterococos	NMP/100mL	20
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	100
Huevos de Helmintos	huevo/litro	<1
<i>Salmonella</i> sp.	Ausente	
<i>Vibrio cholerae</i>	Ausente	

NOTA :

NMP/100: Número más probable en 100 mL.

Vegetales de Tallo alto: Son plantas cultivables o no, de porte arbustivo o arbóreo y tienen una buena longitud de tallo. las especies leñosas y forestales tienen un sistema radicular pivotante profundo (1 a 20 metros). Ejemplo; Forestales, árboles frutales, etc.

Vegetales de Tallo bajo : Son plantas cultivables o no, frecuentemente porte herbáceo, debido a su poca longitud de tallo alcanzan poca altura. Usualmente, las especies herbáceas de porte bajo tienen un sistema radicular difuso o fibroso, poco profundo (10 a 50 cm). Ejemplo: Hortalizas y verdura de tallo corto, como ajo, lechuga, fresas, col, repollo, apio y arveja, etc.

Animales mayores: Entiéndase como animales mayores a vacunos, ovinos, porcinos, camélidos y equinos, etc.

Animales menores: Entiéndase como animales menores a caprinos, cuyes, aves y conejos

SAAM: Sustancias activas de azul de metileno

CATEGORÍA 4: CONSERVACIÓN DEL AMBIENTE ACUÁTICO

PARÁMETROS	UNIDADES	LAGUNAS Y LAGOS	RÍOS		ECOSISTEMAS MARINO COSTEROS	
			COSTA Y SIERRA	SELVA	ESTUARIOS	MARINOS
FÍSICOS Y QUÍMICOS						
Aceites y grasas	mg/L	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	1	1
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	<5	<10	<10	15	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	<0,02	0,02	0,05	0,05	0,08
Temperatura	Celsius					delta 3 °C
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥5	≥5	≥5	≥4	≥4
pH	unidad	6,5-8,5	6,5-8,5		6,8-8,5	6,8 - 8,5
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	500	500	500	500	
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	≤25	≤25 - 100	≤25 - 400	≤25-100	30,00
INORGÁNICOS						
Arsénico	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	0,05
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	-----
Cadmio	mg/L	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022	0,022	0,022	-----
Clorofila A	mg/L	10	-----	-----	-----	-----
Cobre	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Fenoles	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	
Fosfatos Total	mg/L	0,4	0,5	0,5	0,5	0,031 - 0,093
Hidrocarburos de Petróleo Aromáticos Totales	Ausente				Ausente	Ausente
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,001	0,0001
Nitratos (N-NO3)	mg/L	5	10	10	10	0,07 - 0,28
INORGÁNICOS						
Nitrógeno Total	mg/L	1,6	1,6		-----	-----
Níquel	mg/L	0,025	0,025	0,025	0,002	0,0082
Plomo	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,0081	0,0081
Silicatos	mg/L	-----	-----	-----	-----	0,14-0,7
Sulfuro de Hidrógeno (H2S indisociable)	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,06
Zinc	mg/L	0,03	0,03	0,3	0,03	0,081
MICROBIOLÓGICOS						
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100mL)	1 000	2 000		1 000	≤30
Coliformes Totales	(NMP/100mL)	2 000	3 000		2 000	

NOTA : Aquellos parámetros que no tienen valor asignado se debe reportar cuando se dispone de análisis

Dureza: Medir "dureza" del agua muestreada para contribuir en la interpretación de los datos (método/técnica recomendada: APHA-AWWA-WPCF 2340C)

Nitrógeno total: Equivalente a la suma del nitrógeno Kjeldahl total (Nitrógeno orgánico y amoniacal), nitrógeno en forma de nitrato y nitrógeno en forma de nitrito (NO)

Amonio: Como NH3 no ionizado

NMP/100 mL: Número más probable de 100 mL.

Ausente: No deben estar presentes a concentraciones que sean detectables por olor, que afecten a los organismos acuáticos comestibles, que puedan formar depósitos de sedimentos en las orillas o en el fondo, que puedan ser detectados como películas visibles en la superficie o que sean nocivos a los organismos acuáticos presentes.

Referencia principal

OMS, 2003: *Antimony 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/03.04/74).

12.8 Arsénico

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, las fuentes 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.

Valor de referencia provisional	0,01 mg/l El valor de referencia se designa como provisional debido a la existencia de incertidumbres científicas.
Presencia	Las concentraciones en aguas naturales son generalmente de 1 a 2 µg/l, aunque pueden ser mayores (hasta 12 mg/l) en zonas con presencia de fuentes naturales de arsénico.
Método de cálculo del valor de referencia	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 µg/l, y las dificultades prácticas para eliminar el arsénico del agua de consumo, se mantiene el valor de referencia de 10 µg/l. El valor de referencia se designa como provisional debido a la existencia de incertidumbres científicas.
Límite de detección	0,1 µg/l mediante ICP/MS; 2 µg/l mediante AAS o FAAS con generación de hidruros
Concentración alcanzable mediante tratamiento	Es factible técnicamente reducir la concentración de arsénico hasta 5 µg/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 µg/l mediante tratamientos convencionales, como la coagulación.
Observaciones adicionales	<ul style="list-style-type: none"> • Existe un documento de orientación sobre la gestión del arsénico. • 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.

Reseña toxicológica

No se ha demostrado que el arsénico sea esencial en el ser humano. Es un contaminante importante del agua de consumo, ya que es una de las pocas sustancias que se ha demostrado que producen cáncer en el ser humano por consumo de agua potable. Hay pruebas abrumadoras, de estudios epidemiológicos, de que el consumo de cantidades altas de arsénico en el agua potable está relacionado causalmente con el desarrollo de cáncer en varios órganos, en particular la piel, la vejiga y los pulmones. En varias partes del mundo, las enfermedades producidas por el arsénico, como el cáncer, constituyen un problema significativo de salud pública. Dado que la reactividad y toxicidad del arsénico inorgánico trivalente son mayores que las del arsénico inorgánico pentavalente, se cree generalmente que la forma trivalente es la cancerígena. No obstante, sigue habiendo considerable incertidumbre y controversia tanto sobre el mecanismo de la acción cancerígena como sobre la forma de la curva de dosis-respuesta para ingestas bajas. El CIIC clasifica los compuestos inorgánicos de arsénico en el Grupo 1 (cancerígenos para el ser humano) basándose en la existencia de pruebas suficientes de su capacidad cancerígena en seres humanos y de pruebas limitadas en animales.

Antecedentes de la determinación del valor de referencia

Las *Normas internacionales para el agua potable* de la OMS de 1958 recomendaron una concentración máxima admisible de arsénico de 0,2 mg/l, basándose en sus posibles efectos perjudiciales para la salud. En las Normas internacionales de 1963 se redujo este valor a 0,05 mg/l, el cual se mantuvo como límite superior provisional de concentración en las Normas internacionales de 1971. El valor de referencia de 0,05 mg/l también se mantuvo en la primera edición de las *Guías para la calidad del agua potable*, publicada en 1984. En las Guías de 1993 se fijó un valor de referencia provisional para el arsénico en el límite práctico de cuantificación de 0,01 mg/l, basándose en la preocupación por su capacidad cancerígena en el ser humano.

Fecha de evaluación

La evaluación de riesgos se realizó en 2003.

Referencias principales

- IPCS, 2001: *Arsenic and arsenic compounds*. Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud, Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas (n.º 224 de la serie de la OMS Criterios de Salud Ambiental).
- OMS, 2003: *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).

12.9 – Amianto (asbesto)

El agua se contamina con amianto (o asbesto) por la disolución de minerales y menas que contienen amianto, así como por el procedente de efluentes industriales, la contaminación atmosférica y las tuberías de cemento de amianto en el sistema de distribución. La exfoliación de fibras de amianto de tuberías de cemento está relacionada con la agresividad del agua. Hay algunos datos que indican que la exposición al amianto atmosférico liberado del agua de grifo durante el uso de duchas o humidificadores es despreciable.

Se sabe que la exposición al amianto por inhalación es cancerígena para el ser humano. Los estudios epidemiológicos de poblaciones cuyas aguas de consumo contienen concentraciones altas de amianto han generado escasas pruebas convincentes de la capacidad cancerígena del amianto ingerido, aunque se ha estudiado a fondo. Además, en estudios exhaustivos en animales, el amianto no ha aumentado de forma sistemática la incidencia de tumores del aparato digestivo. No hay, por consiguiente, pruebas uniformes de que la ingestión de amianto sea peligrosa para la salud, de modo que se concluye que no es necesario establecer un valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el amianto en el agua de consumo.

Antecedentes de la determinación del valor de referencia

Las *Normas internacionales para el agua potable* de la OMS de 1958, 1963 y 1971 no hicieron referencia al amianto. En la primera edición de las *Guías para la calidad del agua potable*, publicada en 1984, se señaló que los datos disponibles eran insuficientes para determinar si se necesitaba un valor de referencia para el amianto. Las Guías de 1993 concluyeron que no había pruebas uniformes de que la ingestión de amianto fuera peligrosa para la salud, de modo que no era necesario establecer un valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el amianto en el agua de consumo.

Fecha de evaluación

La primera evaluación de riesgos se realizó en 1993. El Equipo de trabajo final (*Final Task Force*) acordó en su reunión de 2003 incluir esta evaluación de riesgos en la presente edición de las *Guías para la calidad del agua potable*.

Referencia principal

- OMS, 2003: *Asbestos 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/03.04/2).

12.10 Atrazina

La atrazina (número CAS 1912-24-9) es un herbicida selectivo de preemergencia y poseemergencia temprana. Se ha encontrado en aguas superficiales y subterráneas, debido a su movilidad en el suelo. Es

ANEXO III

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE
PARÁMETROS QUÍMICOS INORGÁNICOS Y ORGÁNICOS

Parámetros Inorgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Antimonio	mg Sb L ⁻¹	0,020
2. Arsénico (nota 1)	mg As L ⁻¹	0,010
3. Bario	mg Ba L ⁻¹	0,700
4. Boro	mg B L ⁻¹	1,500
5. Cadmio	mg Cd L ⁻¹	0,003
6. Cianuro	mg CN ⁻ L ⁻¹	0,070
7. Cloro (nota 2)	mg L ⁻¹	5
8. Clorito	mg L ⁻¹	0,7
9. Clorato	mg L ⁻¹	0,7
10. Cromo total	mg Cr L ⁻¹	0,050
11. Flúor	mg F L ⁻¹	1,000
12. Mercurio	mg Hg L ⁻¹	0,001
13. Níquel	mg Ni L ⁻¹	0,020
14. Nitratos	mg NO ₃ L ⁻¹	50,00
15. Nitritos	mg NO ₂ L ⁻¹	3,00 Exposición corta 0,20 Exposición larga
16. Plomo	mg Pb L ⁻¹	0,010
17. Selenio	mg Se L ⁻¹	0,010
18. Molibdeno	mg Mo L ⁻¹	0,07
19. Uranio	mg U L ⁻¹	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 ⁻¹	0,01
3. Aceites y grasas	mgL ⁻¹	0,5
4. Alacloro	mgL ⁻¹	0,020
5. Aldicarb	mgL ⁻¹	0,010
6. Aldrín y dieldrín	mgL ⁻¹	0,00003
7. Benceno	mgL ⁻¹	0,010
8. Clordano (total de isómeros)	mgL ⁻¹	0,0002
9. DDT (total de isómeros)	mgL ⁻¹	0,001
10. Endrín	mgL ⁻¹	0,0006
11. Gamma HCH (lindano)	mgL ⁻¹	0,002
12. Hexaclorobenceno	mgL ⁻¹	0,001
13. Heptacloro y heptacloroepóxido	mgL ⁻¹	0,00003
14. Metoxicloro	mgL ⁻¹	0,020
15. Pentaclorofenol	mgL ⁻¹	0,009
16. 2,4-D	mgL ⁻¹	0,030
17. Acrilamida	mgL ⁻¹	0,0005
18. Epiclorhidrina	mgL ⁻¹	0,0004
19. Cloruro de vinilo	mgL ⁻¹	0,0003
20. Benzopireno	mgL ⁻¹	0,0007
21. 1,2-dicloroetano	mgL ⁻¹	0,03
22. Tetracloroetano	mgL ⁻¹	0,04

Parámetros Orgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
23. Monocloramina	mgL ⁻¹	3
24. Tricloroeteno	mgL ⁻¹	0,07
25. Tetracloruro de carbono	mgL ⁻¹	0,004
26. Ftalato de di (2-etilhexilo)	mgL ⁻¹	0,008
27. 1,2- Diclorobenceno	mgL ⁻¹	1
28. 1,4- Diclorobenceno	mgL ⁻¹	0,3
29. 1,1- Dicloroeteno	mgL ⁻¹	0,03
30. 1,2- Dicloroeteno	mgL ⁻¹	0,05
31. Diclorometano	mgL ⁻¹	0,02
32. Ácido edético (EDTA)	mgL ⁻¹	0,6
33. Etilbenceno	mgL ⁻¹	0,3
34. Hexaclorobutadieno	mgL ⁻¹	0,0006
35. Acido Nitrilotriacético	mgL ⁻¹	0,2
36. Estireno	mgL ⁻¹	0,02
37. Tolueno	mgL ⁻¹	0,7
38. Xileno	mgL ⁻¹	0,5
39. Atrazina	mgL ⁻¹	0,002
40. Carbofurano	mgL ⁻¹	0,007
41. Clorotoluron	mgL ⁻¹	0,03
42. Cianazina	mgL ⁻¹	0,0006
43. 2,4- DB	mgL ⁻¹	0,09
44. 1,2- Dibromo-3- Cloropropano	mgL ⁻¹	0,001
45. 1,2- Dibromoetano	mgL ⁻¹	0,0004
46. 1,2- Dicloropropano (1,2- DCP)	mgL ⁻¹	0,04
47. 1,3- Dicloropropeno	mgL ⁻¹	0,02
48. Dicloroprop	mgL ⁻¹	0,1
49. Dimetato	mgL ⁻¹	0,006
50. Fenoprop	mgL ⁻¹	0,009
51. Isoproturon	mgL ⁻¹	0,009
52. MCPA	mgL ⁻¹	0,002
53. Mecoprop	mgL ⁻¹	0,01
54. Metolacloro	mgL ⁻¹	0,01
55. Molinato	mgL ⁻¹	0,006
56. Pendimetalina	mgL ⁻¹	0,02
57. Simazina	mgL ⁻¹	0,002
58. 2,4,5- T	mgL ⁻¹	0,009
59. Terbutilazina	mgL ⁻¹	0,007
60. Trifluralina	mgL ⁻¹	0,02
61. Cloropirifos	mgL ⁻¹	0,03
62. Piriproxifeno	mgL ⁻¹	0,3
63. Microcistin-LR	mgL ⁻¹	0,001

Parámetros Orgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
64. Bromato	mgL ⁻¹	0,01
65. Bromodiclorometano	mgL ⁻¹	0,06
66. Bromoformo	mgL ⁻¹	0,1
67. Hidrato de cloral (tricloroacetaldehído)	mgL ⁻¹	0,01
68. Cloroformo	mgL ⁻¹	0,2
69. Cloruro de cianógeno (como CN)	mgL ⁻¹	0,07
70. Dibromoacetoniitrilo	mgL ⁻¹	0,1
71. Dibromoclorometano	mgL ⁻¹	0,05
72. Dicloroacetato	mgL ⁻¹	0,02
73. Dicloroacetoniitrilo	mgL ⁻¹	0,9
74. Formaldehído	mgL ⁻¹	0,02
75. Monocloroacetato	mgL ⁻¹	0,2
76. Tricloroacetato	mgL ⁻¹	0,2
77. 2,4,6- Triclorofenol		

Nota 1: En caso de los sistemas existentes se establecerá en los Planes de Adecuación Sanitaria el plazo para lograr el límite máximo permisible para el arsénico de 0,010 mgL⁻¹.

Nota 2: Para una desinfección eficaz en las redes de distribución la concentración residual libre de cloro no debe ser menor de 0,5 mgL⁻¹.

Nota 3: La suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Cloroformo, Dibromoclorometano, Bromodiclorometano y Bromoformo) con respecto a sus límites máximos permisibles no deberá exceder el valor de 1,00 de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{C_{\text{Cloroformo}}}{LMP_{\text{Cloroformo}}} + \frac{C_{\text{Dibromoclorometano}}}{LMP_{\text{Dibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromodiclorometano}}}{LMP_{\text{Bromodiclorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromoformo}}}{LMP_{\text{Bromoformo}}} \leq 1$$

donde, C: concentración en mg/L, y LMP: límite máximo permisible en mg/L