

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA

E. A. P. DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA

**Determinación de arsénico, por absorción atómica, en
agua de consumo humano proveniente de SEDAPAL,
de cisterna y de pozo del distrito de Puente Piedra**

TESIS

para optar al título profesional de Químico Farmacéutico

AUTORES

Edwin Robert Flores Espinoza

Javier Eduardo Pérez bobadilla

ASESOR

Jesús Lizano Gutiérrez

Lima-Perú

2009

A Dios por darme esperanza y vida.

A mis padres Roberto y Justina quienes con abnegación y sacrificio hicieron posible la culminación de mis ideales.

A mi amigo y coautor Javier quien con voluntad y esfuerzo contribuyó en lograr nuestro objetivo.

EDWIN

A Dios por darme la vida y estar siempre a mi lado.

A mis padres Walter y Carmen, por su amor, esfuerzo y paciencia, quienes han sabido guiarme por el camino.

A mi novia Luz, por su amor, comprensión y apoyo en el logro de mis metas.

A mi amigo y coautor Edwin por su perseverancia en lograr nuestro objetivo.

JAVIER.

Nuestro sincero agradecimiento:

A nuestro Asesor Dr. Q. F. Tox. Jesús Lizano Gutiérrez por su confianza, apoyo e invaluable orientación en la realización de nuestra Tesis, fruto de todo nuestro esfuerzo sembrado.

A los Señores miembros del Jurado Calificador y Examinador:

Q. F. Alfonso Apesteguía Infantes.

Q. F. Roberto Pérez Leon Camborda.

Mg. Delia Whu Whu.

Mg. Luis Alberto Rojas Rios.

Por sus acertadas sugerencias que contribuyeron a enriquecer el valor de este trabajo.

EDWIN Y JAVIER.

INDICE

	Pág.
RESUMEN	
SUMMARY	
INTRODUCCION	
HIPOTESIS	
I. GENERALIDADES	
1.1 Propiedades Fisicoquímicas	6
1.2 Dinámica Medioambiental	7
1.3 Clasificación del Arsénico	10
1.4 Absorción, Distribución, Metabolismo y Eliminación	12
1.5 Impacto Arsénico en la Salud Poblacional	15
1.6 Descripción del distrito de Puente Piedra	25
1.7 Aspectos Legales	29
II. PARTE EXPERIMENTAL	
2.1 Obtención y Recolección de la Muestra	33
2.2 Método Analítico Empleado	35
2.3 Equipos, Reactivos y Materiales	35
2.4 Técnica Operatoria	36
2.5 Obtención de la Curva de Calibración	37
III. RESULTADOS	39
IV. DISCUSION	52
V. CONCLUSIONES	56
VI. RECOMENDACIONES	58
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	60
VIII. ANEXO	64

RESUMEN

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

También se halló que la concentración promedio de arsénico en el agua de consumo humano proveniente de pozo fue de 22,40 $\mu\text{g As/L}$, la cual está por encima del límite permisible establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y por debajo del límite permisible dado por la Norma Técnica Peruana (NTP 214.003.87). Se observa que el 100% de las muestras supera el límite permisible establecido por la OMS.

Se recomienda realizar este tipo de estudios en otros distritos de Lima Metropolitana para poder hacer un seguimiento de la calidad del agua de consumo humano que abastece a los habitantes.

SUMMARY

In the district of Puente Piedra assessed exposure levels of contamination of arsenic, in particular because it is a district with little health control over the quality of drinking water. To carry out this study were taken 38 samples of drinking water, 13 were from SEDAPAL, 13 water tankers and 12 water wells, and we used the spectrophotometric method with graphite furnace atomic absorption. It was found that the average concentration arsenic of total samples from SEDAPAL was 9.13 $\mu\text{g As/L}$ and total samples from Tank was 5.04 mg As/L which does not exceed the maximum permissible concentration given by the NTP 214.003.87 (50 $\mu\text{g As/L}$) and the World Health Organization (10 $\mu\text{g As/L}$).

It also found that the average concentration of arsenic in drinking water from wells was 22,40 $\mu\text{g As/L}$, which is above the allowable limit set by the World Health Organization (WHO) and below the permissible limit set by the NTP 214.003.87. It is noted that 100% of the samples exceeded the permissible limit set by WHO.

It is recommended that such studies in other states of Lima in order to monitor water quality for human consumption that caters to the residents.

INTRODUCCION

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.

Debido a que el arsénico se encuentra en el ambiente, los posibles modos de exposición son contacto, digestión e inhalación. Dependiendo de la concentración del arsénico este puede afectar la salud del hombre. Aun cuando el arsénico se encuentra en concentraciones bajas la cantidad total ingerida a través del agua puede resultar apreciable, puesto que, por término medio, una persona consume diariamente dos litros de agua, correspondiendo un 60% de esta ingesta a agua potable. Agrava este hecho el que este elemento se presenta en el agua en forma iónica, por lo que es fácilmente absorbible.

Cerca de 140 millones de personas, principalmente de los países en vías de desarrollo, están siendo envenenadas lentamente con arsénico diluido en el agua que beben. En varios países de América Latina como: Argentina, Chile, Perú, México, El Salvador; por lo menos cuatro millones de personas beben en forma permanente agua con niveles de arsénico que ponen en riesgo su salud. Así lo creen los científicos que analizaron este hecho y que lo dieron a conocer en la conferencia anual de la Sociedad Geográfica Real, donde los investigadores advirtieron que supondrá un incremento en los casos de cáncer en el futuro.

Peter Ravenscroft, uno de los investigadores asociados de Geografía en la Universidad de Cambridge, afirmó que este "es un problema mundial, presente en 70 países, y probablemente más", añadiendo que "si consideramos como parámetro los estándares de potabilidad del agua usados en Europa y Estados Unidos, se descubre

que 140 millones de personas a lo largo y ancho del mundo se encuentran expuestos a niveles superiores y en riesgo".

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.

A fin de eliminar o minimizar este problema de arsénico en agua de consumo, diversas instituciones responsables de salud y ambiente de diferentes países revisan continuamente sus valores de arsénico en agua para consumo. A nivel de nuestro país la institución responsable es la Dirección General de Salud y Ambiente (DIGESA).

Por tal motivo se estableció la Norma Técnica Peruana 214.003.87 de INDECOPI, que establece un límite máximo permisible de arsénico de 50 µg/L

En las Guías de Calidad para Agua Potable (1984, 1993 y 2004), donde la Organización Mundial de Salud (OMS) publicó datos revisados como el foro de Evaluación de Riesgo de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) en 1986 sobre una evaluación de riesgo a cáncer de piel en Taiwán que llevaron a reducir progresivamente la concentración arsénico en agua de 50 µg/L a un valor provisional de 10 µg/L.

Por tanto sería necesario establecer la concentración de arsénico en agua de consumo humano del distrito de Puente Piedra y con ello contribuiríamos a observar si estos resultados están por debajo de los límites permisibles de la OMS, ya que estos límites han sido reevaluados en las últimas guías de calidad de agua potable a una concentración de 10 µg/L. A partir de los resultados obtenidos se establecería recomendaciones preventivas y/o correctivas para la salud poblacional.

Para determinar la concentración de Arsénico, hemos aplicado la metodología analítica de espectrofotometría de absorción atómica por horno grafito, el cual permitirá detectar límites cuantificables de la concentración de arsénico en agua de consumo humano recomendadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

HIPOTESIS

La concentración de arsénico en agua de consumo humano proveniente de SEDAPAL, de cisternas y de pozo en el distrito de Puente de Piedra no se encuentra dentro de los límites tolerables dados por la OMS / EPA.

OBJETIVOS:

GENERALES:

- Determinar la concentración de arsénico en agua de consumo humano proveniente de SEDAPAL, de cisternas y de pozo en el distrito de Puente Piedra.

ESPECIFICOS:

- Determinar la concentración de arsénico en agua de consumo humano proveniente de SEDAPAL en el distrito de Puente Piedra.
- Determinar la concentración de arsénico en agua de consumo humano proveniente de cisternas en el distrito de Puente Piedra.
- Determinar la concentración de arsénico en agua de consumo humano proveniente de pozo en el distrito de Puente Piedra.

I. GENERALIDADES

1.1 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS:

El arsénico es un elemento químico cuyo número atómico es 33 y su peso atómico es 74.19; se encuentra en muchas formas alotrópicas (amarilla, negra y gris metálica) y forman óxidos de tipo anfótero, que fue descubierto en el siglo XIII por Alberto Magno (aunque se cree que se empleo mucho antes como adición al bronce para dar un acabado lustroso). Paracelso (1493-1541) lo introdujo en la ciencia médica. Schroeder en 1649 publicó dos métodos de preparación del elemento. Pedro Abano, en el siglo XV describe, por primera sus efectos tóxicos. En lo siglos siguientes, su uso queda en manos de charlatanes y brujos, además del que diera la nobleza y la jerarquía eclesiástica para exterminar a sus enemigos. (6).

El promedio del contenido en la corteza terrestre es de 2 ppm no obstante, la distribución es muy heterogénea. El arsénico se encuentra frecuentemente en aguas naturales. Este llega a ellas por la erosión de rocas superficiales y volcánicas. (1).

El arsénico se encuentra en la naturaleza libre y combinado en un gran número de minerales, generalmente se encuentra en la forma pentavalente.

El arsénico existe en cuatro estados de oxidación: -3, 0, +3 +5. En la tabla se presenta las propiedades fisicoquímicas de los compuestos de arsénico más comunes:

Tabla N° 1 Propiedades Fisicoquímicas (2)

Compuesto	Fórmula	Punto de fusión (°C)	Punto de ebullición (°C)	Densidad (g/cm ³)	Solubilidad en el agua (g/L)
Arsénico	As	613	-	5,73 a 14 °C	Insoluble
Trióxido de arsénico	As ₂ O ₃	312,3	465	3,74	37 a 20°C
Pentóxido de arsénico	As ₂ O ₅	315	-	4,32	1500 a 16°C
Sulfuro de arsénico	As ₂ S ₃	300*	300*	3,43	5x10 ⁻⁴
Acido dimetilarsénico	(CH ₃) ₂ AsO(OH)	200	-	-	829 a 22°C
Arsenato de plomo	PbHAsO ₄	720	-	5,79	Poco soluble
Arsenato de potasio	KH ₂ AsO ₄	288	-	287	190 a 16°C
Arsenito de potasio	KH ₂ AsO ₄	-	-	-	Soluble

* Se descompone

El arsénico es usado comercialmente e industrialmente como un agente en la manufactura de transistores, láser y semiconductores, como también en la fabricación de vidrio, pigmentos, textiles, papeles, adhesivos de metal, preservantes de alimentos y madera, municiones, procesos de bronceado, plaguicidas y productos farmacéuticos.

1.2 DINÁMICA DEL MEDIO AMBIENTE

El arsénico, en fuentes naturales se presenta en forma de rocas sedimentarias y rocas volcánicas, y en aguas geotermales; además se presenta en la naturaleza con mayor frecuencia como sulfuro de arsénico y arsenopirita que se encuentran como impurezas de los depósitos mineros, o como arsenato o arsenito en las aguas superficiales y subterráneas. (3). Este elemento mencionado en las fuentes naturales se encuentra como pentavalente, mientras que en los derivados que provienen de la actividad del hombre, su forma más usual es la trivalente. Estos derivados pasan al medio ambiente a consecuencia de su uso como insecticidas, herbicidas,

esterilizantes del suelo, decolorantes de vidrio, defoliantes, antiparasitarios y como descarga industrial de fundiciones minerales. También es empleado bajo la forma de compuestos orgánicos en veterinaria y en medicina. (1).

El arsénico en aguas naturales frescas es muy variable y probablemente depende de las formas de arsénico en el suelo local. Aunque son posibles combinaciones de todas formas, se puede suponer, razonablemente, que en el agua, la forma inorgánica pentavalente es predominante (H_3AsO_4 , H_2AsO_4^- , HAsO_4^{2-} , AsO_4^{3-}). Las condiciones que favorecen la oxidación química y biológica, favorecen el cambio a especies pentavalentes, y, a la inversa, aquellas que favorecen la reducción cambiarán el equilibrio al estado trivalente. Es decir, en agua saturada de aire la principal forma de arsénico serían los compuestos pentavalentes, pero se ha demostrado que bajo estas condiciones también existen compuestos trivalentes. Las formas iónicas predominantes son, además, dependientes del pH y están sujetos a las características de solubilidad de los compuestos que pueden existir en una circunstancia particular. Por ejemplo, varios compuestos orgánicos arsénico-metilados, naturalmente presentes en el ambiente como consecuencia de la actividad biológica, forma sales de metales alcalinos muy solubles.

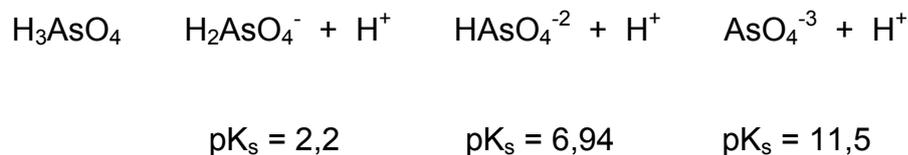
Además los microorganismos, plantas y animales pueden convertir los compuestos de arsénico inorgánico en compuestos orgánicos (comprometiendo átomos de carbono e hidrógeno).

Por otro lado, los arsenatos de metales alcalinotérreos son algo insolubles y tienden a sedimentar. En general, las especies orgánicas arsénico-metilados estarán presentes en cantidades más bajas que las inorgánicas arsenito (As^{+3}) y arsenato (As^{+5}). (1,4).

También hay factores biológicos y químicos en la presencia del arsénico en aguas, que inducen al cambio a especies pentavalentes, y a la inversa, aquellas que favorecen la reducción cambiarán el equilibrio al estado trivalente. (6).

La estructura molecular de arsenatos (As^{+5}) y arsenitos (As^{+3}):

Los arsenatos tienen mayor capacidad de ionización debido a la presencia del doble enlace. La molécula que al perder el ión hidrógeno por la disociación, queda con carga negativa formando varios aniones según las ecuaciones:

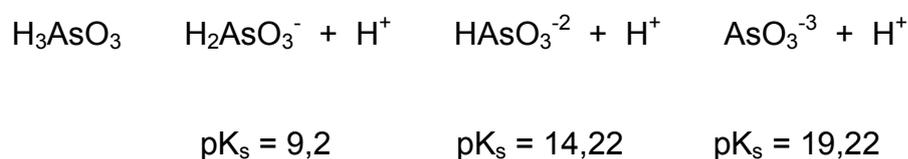


En aguas con altos niveles de oxígeno, el (As^{+5}) (como H_3AsO_4) se vuelve estable, existiendo las especies antes mencionadas, en un rango de pH de 2 a 13.

pH	0-9	10 – 12	13	14
As⁺³	H_3AsO_3	H_2AsO_3^-	$\text{H}_3\text{AsO}_3^{2-}$	AsO_3^{3-}
pH	0-2	3 – 6	7 - 11	12 – 14
As⁺⁵	H_3AsO_4	H_2AsO_4^-	$\text{H}_3\text{AsO}_4^{2-}$	AsO_4^{3-}

Tabla N°2. Estabilidad y predominio de las especies de arsénico variando los rangos de pH en el medio acuático.

Como resultado de la disociación del ácido arsenioso característico en aguas subterráneas con pH mayor de 7, el arsénico se puede presentar en alguna de las siguientes formas:



Bajo condiciones anóxicas, aún a pH muy diferente. En un rango de pH entre 6,5 y 8,5 característico del agua natural, las formas predominantes de arsenato y arsenitos son: H_2AsO_4^- ; HAsO_4^{2-} ; Y H_2AsO_3^- .

La principal vía de dispersión del arsénico en el ambiente es el agua. Aún si se considera la sedimentación, la solubilidad de los arsenatos y arsenitos es suficiente para que este elemento se transporte en los sistemas acuáticos. La concentración del arsénico en aguas naturales frescas es muy variable y probablemente depende de las formas de arsénico en el suelo local. (6).

1.3 CLASIFICACIÓN DEL ARSÉNICO:

Según diversos estudios realizados en Estados Unidos (acuíferos detríticos en Wisconsin) una de las fuentes naturales de arsénico en las aguas subterráneas puede tener relación con ambientes geoquímicas que requieren la presencia de pirita y arsenopirita entre sus constituyentes minerales y medios reductores. En este tipo de ambiente el arsénico inorgánico se moviliza en forma de trióxido de arsénico (As_2O_3).

Un estudio hidrogeológico también apunta hacia un origen similar la procedencia del arsénico en numerosas localidades de España; una vez que las capas de pirita de los pozos subterráneos se ponen en contacto con el oxígeno y, al impulsar el agua desde el interior del pozo, se solubiliza el arsénico. (6).

Las grandes presiones y temperaturas a que quedan sometidas las aguas subterráneas pueden originar un medio reductor con incorporación del arsénico al agua subterránea.

También se encuentra en alimentos marinos (crustáceos, caracoles) debido al plancton que concentra el arsénico.

La presencia de arsénico en las aguas subterráneas también se puede explicar como resultado de la utilización, a veces excesiva y sin control, de productos relacionados con actividades agrícolas, la jardinería y limpieza de malezas, como son los fungicidas, insecticidas y plaguicidas en

general. Muchos de ellos tienen arsénico como compuesto tóxico, porque su utilización está indicada para erradicar plagas diversas. (1).

Desde el punto de vista biológico y toxicológico los compuestos importantes de arsénico, se consideran dentro de tres grupos:

a) Arsenicales Inorgánicos:

- Trióxido de arsénico (As_2O_3).
- Arsenitos.
- Pentaóxido de arsénico (As_2O_5).
- Acido arsénico.
- Acido arsenioso.
- Arsenatos.

b) Arsenicales Inorgánicos.

c) Arsénico Gaseoso:

Conocido también como arsina (AsH_3) arsemina, arsenamina, arseniuro de hidrógeno. La arsenamina es un gas incoloro de olor desagradable, venenosa, punto de fusión $-113.5^\circ C$, punto de ebullición $-55^\circ C$. Poco soluble en agua a diferencia del amoníaco, no es alcalino en solución; por efecto del calor se descompone en arsénico e hidrógeno.

La intoxicación por arsenamina se caracteriza principalmente por poseer una acción intensamente hemolítica inclusive en concentraciones muy bajas, una concentración de 250 ppm puede ser mortal (20). También es depresor del S.N.C.

Produce hepatitis y nefritis hemorrágica, necrosis tubular de los riñones.

1.4 ABSORCION, DISTRIBUCION, METABOLISMO Y ELIMINACION

ABSORCIÓN:

Las vías de absorción con mayor énfasis son: oral, respiratoria y cutánea, por estar ellas más relacionadas a las formas de exposición.

Como el arsénico se encuentra en el aire como partícula, la absorción a través de los pulmones implica dos procesos: la deposición de las partículas en la superficie del pulmón, y la absorción del arsénico del material depositado.

Los factores que influyen en el grado de absorción de los pulmones son la forma química, tamaño de partícula y la solubilidad. Las partículas de más de 10 μm de diámetro son en su mayoría depositadas en las vías respiratorias altas (nasofaringe), las partículas entre 5 y 10 μm se depositan en la tráquea, y las partículas con un diámetro menor de 2 μm penetran significativamente en los alvéolos. (8)

En los trabajadores expuestos a polvos de trióxido de arsénico en las fundiciones, la cantidad de arsénico excretado en orina fue aproximadamente de 40 a 60% de la dosis estimada inhalada (9,10).

Los arsenicales orgánicos parecen absorberse bien por vía respiratoria, debido que un factor crítico de la absorción es la liposolubilidad, con la cual se puede penetrar distintas membranas biológicas que se interponen. Se observó una absorción muy rápida (tiempo de 2,2 minutos) y de 92% del total cuando se instiló dimetilarsenato en pulmones de ratas. (11)

Los datos en humanos y animales indican que más del 90% de la dosis ingerida de arsénico trivalente o pentavalente disuelto se absorbe en el tracto gastrointestinal. El ácido dimetilarsínico, el ácido monometilarsónico, los compuestos orgánicos de arsénico en pescados y mariscos son absorbidos entre un 75% a 85%. La absorción de formas menos solubles, como por ejemplo el trióxido de arsénico, es mucho menor. (7,12)

DISTRIBUCIÓN:

La información sobre la distribución en humanos es principalmente de datos de autopsia. Se distribuye en todos los tejidos del cuerpo, se encuentra en mayor concentración en el hígado y riñón, pero también se encuentra en músculos, hueso, corazón, pulmones, páncreas, bazo, cerebro, piel, cabellos y uñas. (13).

Los datos sobre los efectos de la valencia y nivel de exposición de arsénico en la distribución en los tejidos indican que los niveles de arsénico en los riñones, hígado, bilis, cerebro, huesos, piel y la sangre son de 2 a 25 veces más para las formas trivalentes que para las formas pentavalentes y aumentan en gran medida a dosis más altas. (14).

El As^{+5} muestra un comportamiento parecido al del fosfato, pero difiere con este en la estabilidad de sus ésteres. Los ésteres del ácido fosfórico son estables, lo que permite la existencia del ácido desoxirribonucleico (ADN) y la adenosina 5-trifosfato (ATP). En cambio, los ésteres ácidos de As^{+5} son hidrolizables. Las enzimas pueden aceptar al arsenato e incorporarlo en compuestos como el ATP, pero los compuestos análogos formados se hidrolizan inmediatamente, por ello, el arsenato puede inactivar el metabolismo oxidativo de la síntesis del ATP. En contraste, el As^{+3} tiene alta afinidad con los grupos tioles de las proteínas y puede inactivar una variedad de enzimas, como la piruvato deshidrogenasa y 2-oxoglutarato deshidrogenasa. En cambio, el monometilarsenato (MMA) y el dimetilarsenato (DMA) no forman enlaces fuertes con las moléculas biológicas humanas. Esto explica por qué su toxicidad aguda es menor que la del arsénico inorgánico. (15).

El Arsénico inorgánico atraviesa la barrera placentaria y produce concentraciones importantes en el feto. Altos niveles de arsénico fueron encontrados en hígado, riñón y cerebro en la autopsia de infantes nacidos prematuramente. El arsénico fue detectado en leche materna en dos estudios, en uno de ellos realizado por la OMS, se halló concentraciones de

0.00013 a 0.00082 ppm y en el otro realizado en mujeres andinas expuestas a altas concentraciones en agua de consumo humano se encontró concentraciones de 0.0008 a 0.008 ppm de arsénico. (16, 17, 18)

METABOLISMO:

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

Es posible que en la exposición de arsénico a largo plazo, la metilación y excreción sean más eficientes en varios meses de exposición. Se cree que este mecanismo tiene un límite de dosis superior, que cuando se satura, resulta una mayor incidencia de la toxicidad del arsénico.

La reducción de arsenato a arsenito puede ser mediada por glutatión. Estudios invitro muestran que el glutatión forma complejos con arsenito y Arsenato, oxidando al glutatión y reduciendo al arsenato en la reacción glutatión-arsenato. El principal sitio de metilación es el hígado donde este proceso es mediado por enzimas que utilizan al S-adenosilmetionina como co-sustrato. (19).

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

ELIMINACIÓN:

La eliminación del arsénico se da por la orina, las heces. También se excreta en la leche materna, uñas, cabellos y bilis.

La proporción relativa de As^{+3} , As^{+5} , MMA y DMA en la orina puede variar dependiendo de la forma administrada, tiempo después de la exposición, vía de exposición y cantidad de dosis. En general el DMA es el principal metabolito, con niveles más bajos de arsénico inorgánico (As^{+3} y As^{+5}) y MMA. En los humanos la proporción relativa usualmente es 40% a 60% de DMA, 20% a 25% de arsénico inorgánico y 15% a 25% de MMA. (9, 12, 18).

1.5 IMPACTO DEL ARSENICO EN LA SALUD POBLACIONAL

Intoxicación crónica del arsénico:

Los efectos crónicos del arsénico son:

- Desbalance electrolítico asociado a las pérdidas excesivas de líquidos desde la sangre a los tejidos y al tracto gastrointestinal.
- Depresión hematopoyética, caída del recuento de leucocitos y ocasionalmente anemia aplásica
- Inflamación de ojos y tracto respiratorio.
- Pérdida de apetito y de peso.
- Distintos grados de daños hepático, ictericia, cirrosis portal y ascitis.
- Distintos tipos de dermatosis que incluyen hiperpigmentación, hiperqueratosis palmoplantar, descamación y pérdida de cabello.
- Estrías blancas en las uñas (líneas de Mees-Aldrich)
- Isquemia al miocardio.
- Enfermedades vasculares periféricas (denominada enfermedad del “pie negro”)

Intoxicación aguda del arsénico:

Aparece como un cuadro gastrointestinal coleriforme, con vómitos, diarreas e intensos dolores abdominales, fiebre, insomnio, anemia, hepatomegalia, melanosis, alteraciones cardíacas.

La pérdida de sensibilidad en el sistema nervioso periférico es el efecto neurológico más frecuente; aparece una a dos semanas después de exposiciones grandes, y consta de degeneración walleriana de axones, un estado reversible si se suspende la exposición.

Los síntomas de la intoxicación aguda pueden aparecer en minutos o bien muchas horas después de la ingestión de entre 100 a 300 mg de As, aunque también es posible la inhalación de polvo de As o la absorción cutánea. (20).

Hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE):

Es una enfermedad crónica producida por el consumo de arsénico a través del agua en un área geográfica definida y en forma permanente, luego de un periodo variable de exposición a concentraciones mayores de 50 µg As/L en el agua de consumo diario. Esto produce que la persona se enferme, pierda su empleo y se vuelva improductiva

Estudios recientes han demostrado que la población infantil expuesta a arsénico en agua de bebida durante el periodo prenatal y posnatal, pueden tener menor desempeño neurológico que los niños no expuestos.

En el periodo hiperhidrótico, los primeros síntomas aparecen después de residir un tiempo prolongado en las zonas endémicas. Existe sudoración en las palmas de las manos y plantas de los pies, descamación y prurito

El periodo hiperqueratósico, es el síntoma más constante y evocador de la enfermedad, la hiperqueratosis puede ser difusa o localizada; las lesiones que pueden ser simétricas en palmas y plantas, pueden llegar a comprometer el dorso de manos y pies.

El periodo melanodermico, la piel muestra una serie de manchas que comienzan en el tronco y se extienden sin afectar las mucosas por todo el cuerpo. La pigmentación generalmente no es uniforme y puede variar, desde el bronceado al negro subsistiendo puntos de piel de color normal. En el periodo de complicaciones se puede producir una displasia inicial moderada a nivel de la piel que con el tiempo puede evolucionar a una displasia severa, que por lo general provoca la muerte. (1,21)

Efectos Carcinogénicos:

El arsénico presente en el agua potable (principalmente inorgánico como arsenatos y en menor intensidad, como arsenitos) fue evaluado por el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer, en Lyon, Francia (IARC), como cancerígeno humano del grupo 1. Esta clasificación se realizó con base en las evidencias suficientes del incremento de riesgo de cáncer en piel, vejiga y pulmón entre individuos expuestos a estos compuestos.

La Agencia de Protección Ambiental (USEPA) y el *Integrated Risk Information System* (IRIS), de Estados Unidos, lo reportan como cancerígeno del grupo A, por las mismas razones anteriores y por el aumento de cáncer de piel observado en poblaciones que consumen agua potable con cantidades elevadas de As inorgánico.

El arsénico ha sido fuertemente asociado al cáncer de piel y mas recientemente asociado a cáncer de vejiga, de pulmón, de hígado, de estomago y de riñón. (22).

Reportes de intoxicaciones con Arsénico:

La mayor amenaza que conlleva el arsénico para la salud pública proviene del agua de bebida, generalmente como resultado de la ingestión prolongada de agua con bajas concentraciones de arsénico inorgánico. Esa exposición está asociada a varios efectos crónicos, entre ellos problemas cutáneos tales como melanosis, queratosis, cáncer de piel; cáncer de vejiga, riñón y pulmón, y posiblemente diabetes, hipertensión arterial, trastornos reproductivos y menoscabo de desarrollo intelectual en la niñez.

La información publicada por la OMS ha generado una mayor vigilancia y el reconocimiento de que la contaminación natural con arsénico es un motivo de preocupación en diversos países y ciudades, como: Argentina, Bangladesh, Camboya, Chile, China, Estados Unidos de América, Hungría, México, Rumania, Tailandia y Vietnam. (23).

Por ello se ha realizado diversos estudios científicos sobre el contenido de arsénico en el agua de bebida en diversas regiones, obteniendo información sobre este problema ambiental y salud pública, el cual requiere atención a fin de minimizar sus efectos y disminuir el arsenicismo en las zonas afectadas.

Aproximadamente una de cada 100 personas que beben durante largo tiempo agua con una concentración de arsénico superior a 50 µg/L, posiblemente muera de un cáncer asociado al arsénico. La proporción asciende a un 10 % si las concentraciones rebasan 500 µg/L. (24). El preámbulo de la Declaración de Taiyuan sobre la calidad del agua y el arsénico (2004) dice que en 12 países de Asia las concentraciones de arsénico en el agua subterránea rebasan los niveles permisibles, y al menos 50 millones de personas están expuestas a niveles que rebasan 50 µg/L. (25).

Se estima que en América Latina por lo menos cuatro millones de personas están expuestas a elevadas concentraciones de arsénico en el agua de bebida; se trata principalmente de habitantes de zonas rurales que consumen agua de pozos en países afectados, como Argentina, Bolivia, El Salvador, México, Nicaragua y Perú.

Sin embargo, se desconocen todavía el mecanismo de la carcinogenicidad y la respuesta a niveles bajos de ingesta. Además, se señalan diferencias considerables entre los efectos según los países y regiones, diferencias cuyas razones todavía no se entienden lo suficiente. La susceptibilidad de cada uno a la intoxicación por arsénico también difiere considerablemente, según la edad, el estado nutricional, las condiciones sociales y otros factores insuficientemente conocidos. Por ejemplo:

Bangladesh:

En los años 70, se perforaron más de un millón de pozos ante la grave contaminación de las aguas superficiales. El 95% de la población de aquel país infra desarrollado y uno de los más pobres del mundo, consume aguas subterráneas para beber. Según el informe en "El País" (22 de Julio del 2002), unos 300 millones de personas de Bangladesh beben agua con 2 miligramos de arsénico por litro, 200 veces más que lo recomendado sanitariamente. Según el Hospital Público de la capital, Daca, hay confirmados unos 8000 casos de cáncer entre la población.

El Banco Mundial financió en 1998 un programa contra el arsénico con 32 millones de dólares. La O.M.S. recomienda que la presencia de arsénico no sea superior a 10 µg/litro. Desde 1998, ese es el nivel permitido por la UE. En el vertido de Aznalcóllar, el máximo alcanzado de arsénico fue de 0,2 mg/litro. Los pozos artesianos auspiciados por UNICEF y otras organizaciones humanitarias, llevaron la esperanza del agua al Golfo de Bengala, pero ahora aquellas gentes ven con dolor, como esa agua que aflora de la tierra, está envenenada, y su bebida puede acabar con sus vidas.

Bangladesh está sufriendo el mayor envenenamiento masivo de una población en la historia debido a contaminación por arsénico en sus fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano. Según una investigación de Allan H. Smith, Catedrático de Epidemiología de la Universidad de Berkley (California), entre 33 y 77 millones de habitantes de Bangladesh (con una población total de 300 millones) están en peligro. Smith prevee en los próximos años un gran incremento de casos de enfermedades causadas por arsénico. Estas engloban desde lesiones cutáneas a cáncer de vejiga, riñón, pulmón y piel, incluso enfermedades cardiovasculares. Esto es debido a que el agua del subsuelo destinada al consumo humano ha sido contaminada con arsénico inorgánico. La magnitud de este desastre ambiental es mayor que cualquier otro ocurrido hasta el momento. Supera a los accidentes de Bhopal (India) y Chernobyl (Ucrania), ocurridos en 1984 y 1986 respectivamente (Smith).

Basándonos en una concentración de arsénico de 0,25 mg/L en el agua del subsuelo, una persona que consuma 1500 ml de esta agua, habrá consumido al cabo de 10 años, 6g de arsénico procedente sólo del agua. Según la bibliografía consultada, entre 3 y 25 g de arsénico consumidos entre 1 y 22 años producen daños hepáticos en forma de cirrosis e hipertensión no cirrótica.

Un informe de la FAO sugiere que la presencia de arsénico en aguas subterráneas podría representar una amenaza aún más insidiosa, con base en un examen de estudios realizados en Bangladesh y en otras partes de Asia, el informe concluye que las personas no sólo podrían estar expuestas al arsénico presente en el agua potable, sino de manera indirecta en los cultivos alimentarios regados con aguas subterráneas contaminadas. “En los lugares donde hay una gran concentración de arsénico en el suelo y en el agua existe un alto contenido de arsénico en los cultivos”, dice Sasha Koo-Oshima, Oficial de calidad del agua y medio ambiente de la FAO. *(Publicado en Mayo de 2006 en la Revista Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Departamento de Agricultura y Protección del Consumidor).*

India:

En 1978, una gran contaminación por arsénico en el agua de bebida de 30 millones de personas produjo lesiones dérmicas en más de 175000 individuos. Sin perjuicio de los efectos perniciosos del arsénico, se ha sugerido que podría haber otras causas añadidas de este desastre, pues concentraciones similares de arsénico no han producido una toxicidad tan exagerada en otros lugares. Barajándose que determinadas carencias nutricionales de la población (déficit de vitamina C y A, metionina) se asocien a un mayor efecto tóxico.

Los primeros casos de lesiones cutáneas inducidas por el arsénico se identificaron en 1983 en pacientes de Bengala Occidental; en 1987 se identificaron varios casos en pacientes del vecino Bangladesh. Entre las lesiones características figuran cambios de pigmentación de la piel, principalmente de la parte superior del tórax y de los brazos y piernas, y queratosis de las palmas de las manos y las plantas de los pies. Finalmente, con apoyo de la OMS, se analizaron las fuentes de agua utilizadas por los pacientes; la presencia de elevadas concentraciones de arsénico en el agua de bebida permitió confirmar el diagnóstico de morbilidad por arsénico. (26)

El Comité Asesor de Ciencias (Science Advisory Board-SAB) de EEUA, en Agosto de 1989 reporta que: (a) los datos de Taiwán son adecuados para concluir que las altas dosis de ingesta de arsénico pueden causar cáncer de piel, (b) el estudio de Taiwán no es concluyente para determinar riesgo de cáncer a los niveles ingeridos en los Estados Unidos, (c) la SAB concluye que la curva dosis respuesta es no-lineal a dosis bajas, dado que no se aplicó en la evaluación de riesgo y (d) niveles de arsénico(III) por debajo de 200-250 μg por día pueden ser detoxificados por adición de grupos metilos.

Argentina:

La presencia de arsénico en el agua es de origen natural; las aguas subterráneas en las áreas afectadas presentan concentraciones de arsénico variables, que van de valores menores que 0,10 mg/L. hasta valores

mayores de 1 mg/L. La fuente de arsénico en las napas freáticas de la región central y norte del territorio argentino es de origen volcánico y en menor importancia la contaminación procede de la actividad agrícola.

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

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

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

Chile:

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

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

Los resultados indicaron que en la zona norte el mayor aporte de arsénico a la exposición total proviene del agua potable (41,7% a 85,3%), lo que también sucede en Santiago y Rancagua (72,7% y 69,3%). En el sur, la dieta adquiere mayor importancia y en general la contribución del aire es de

alrededor de 1%, con excepción de Copiapó donde es de 12,2%. En el norte se produce una mortalidad mayor por cánceres de pulmón, piel y vejiga. El estudio demuestra que los excesos de muertes en la zona norte se atribuyen en gran parte a la exposición al arsénico. Se reportaron riesgos relativos para diversos cánceres (vejiga urinaria, pulmón, hígado, riñón, laringe), enfermedades cardíacas, isquemias, enfermedades respiratorias crónicas y dermatosis arsenical crónica.

Estados Unidos.

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

En Estados Unidos, el Máximo Nivel de Contaminante (MCL) permitido para Arsénico en agua de bebida es de 50 mg/L establecido por el Servicio Público de Salud, desde 1942. En Febrero de 1995 la Oficina de Agua de la USEPA propuso la revisión del MCL para arsénico y mediante el Acta de Agua segura para la salud de 1996, se desarrolla una estrategia de investigación con el fin de reducir las incertidumbres asociadas a la valoración de los riesgos, posponiendo la revisión del MCL para enero del 2000, los valores propuestos que se están evaluando son de 2,5, 10 y 20 µg /L y la reglamentación final se dará en enero del 2001.

En el agua de pozo de muchos sitios de los Estados Unidos se han encontrado concentraciones muy altas de dicho elemento (mayores de 0,05 mg/L). Cavagnaro cita una gran cantidad de casos con concentraciones de alrededor de 0,3 mg/L, mucho mayores que las permitidas. (15).

Perú:

Se ha realizado diversos estudios de investigación a nivel local de lo cual ha contribuido a un mejor panorama de la contaminación del arsénico en Lima y regiones, a continuación detallamos las siguientes investigaciones sobre el tema:

En 1994 se hizo un estudio sobre la concentración de arsénico en la vertiente del río Rímac y se analizaron 53 muestras de agua potable, de río, pozo y manantiales; se encontró que el 84,9% de las muestras sobrepasaban el límite recomendado por la OMS. Sin embargo, no se han registrado casos de envenenamiento con arsénico. (1).

En 1999 se hizo otro estudio en las aguas de consumo de la provincia de Huaytará, Huancavelica, y de las 31 muestras analizadas se obtuvo un promedio de 0,0246 mg/L de arsénico. La concentración más alta se registró en Pachac, probablemente debido a un establo donde se almacena abono y plaguicidas arsenicales. (27).

En el valle del río Locumba, en el año 2002, se hizo una evaluación que presentó niveles de arsénico entre 0,4 a 0,2 mg/L. La población de este valle consume esta agua desde mucho tiempo atrás sin que se reporten de casos de arsenicismo. En la localidad de Puno se han reportado niveles de arsénico en pozos recientemente instalados (hasta 0,18 mg/L) y se va a hacer un estudio de evaluación de alternativas para la remoción de arsénico (15).

En el 2004 se realizó un estudio sobre el grado de contaminación de arsénico y otros metales en el río Mala. Este río es una cuenca altamente aprovechable para la agricultura y el consumo de la población de Mala. Se encontraron dos puntos, el Puente Mala (0,226 mg As/L) y Salitre (0,276 mg As/L), en el que las concentraciones de arsénico eran superiores a los límites dados para las aguas de tipo III según la Ley General de Aguas. (28)

En un monitoreo de metales pesados, entre los cuales se encontraba el arsénico, realizado por DIGESA en el año 2005 en los meses de mayo y diciembre, en un total de 85 muestras de todo Lima Metropolitana se encontraron concentraciones de arsénico (mg/L) por debajo del límite máximo permisible (0,05 mg As/L) del Reglamento de calidad de agua vigente. (29)

1.6 DESCRIPCION DEL DISTRITO DE PUENTE PIEDRA

El distrito fue fundado el 14 de febrero de 1927 mediante Ley N° 5675 teniendo como jurisdicción territorial la zona norte de la provincia de Lima en la zona baja de la cuenca del río Chillón a una altitud de 184 m.s.n.m con una extensión de 71,18 km².

Límites:

El Distrito de Puente de Piedra limita: por el Norte con el Distrito de Ancón, por el Este con el Distrito de Carabayllo, por el Sur con los Distritos de Comas, los Olivos y San Martín de Porras, por el Oeste con el Distrito de Ventanilla (Callao).

Población:

203,473 habitantes, con una densidad de 2,858.6 / km², según fuente información de INEI-2007.

Vías de Acceso:

La principal vía de acceso tenemos la Panamericana Norte con su intercambio vial a nivel del ovalo de Puente Piedra, además de las Avenidas San Juan, Lecaros, Buenos Aires, Sáenz Peña y la carretera a Ventanilla.

Naturaleza Geográfica de la ubicación:

La Topografía es con declives moderados, y alrededores poco o nada accidentados. Los suelos son de origen aluvial, del tipo arenoso poco profundos y arcillosos, parcialmente cubierto por sedimentos eólicos, que han generado suelos con permeabilidad.

El clima predominante es el que caracteriza a los climas templados a semicálidos, con temperatura media anual de 18,6°C, con promedio máximo de 23,8°C en verano y promedio mínimo de 15,1°C en invierno.

La precipitación pluvial acumulada anual promedio es de 3,80 m³.

La humedad relativa anual promedio es de 88%. La dirección de los vientos predominantes son los del Suroeste a Noreste, con velocidades medias de 21,3 km/ h, 5,92 m/seg. (brisa moderada)

Su hidrografía está relacionada con el río Chillón donde se origina en la laguna de Chonta a 4,850 m.s.n.m. con un recorrido de 126 Km; con área de drenaje de 2444 km², de los cuales 1040 km² es de la cuenca húmeda, lo que representa 42% del área sensible al escurrimiento superficial de ello proviene los pozos del cual un porcentaje de la población de puente piedra se abastece de agua.

Las aguas del río Chillón han sufrido un incremento en la contaminación y el uso de sus aguas por una serie de factores, una de ellas las actividades humanas. La contaminación se produce en forma agresiva en la cuenca baja, a la altura del Distrito de Comas (chacra Cerro) y el Distrito Puente Piedra, pues se arrojan las aguas servidas de las industrias dedicadas a la fabricación de pinturas, metalurgia, reciclaje de residuos sólidos.

Situación del servicio de agua en el distrito de Puente de Piedra:

En el distrito de Puente de Piedra la población se abastece de agua según se detalla en el cuadro conjunto de acuerdo al censo nacional realizado por el INEI en el año de 1993.

Tabla N° 3 Abastecimiento de Agua en Puente Piedra

TIPO DE ABASTECIMIENTO AGUA	TOTAL DE VIVIENDAS
Red Pública SEDAPAL	5675
Pilón de Uso Publico	5131
Pozo	5060
Camión Cisterna	3679
Río y/o Acequia	294
Otros	420
TOTAL	20259

En el distrito Puente de Piedra están clasificadas las poblaciones con los nombres de: Asentamientos humanos (AA.HH.), Asociación de viviendas, Asociación de viviendas residencial, Centros poblados y Urbanizaciones.

De los cuales se describe los siguientes lugares mencionados a continuación donde se realizó el muestro de agua y análisis de la misma para los fines que persigue la presente investigación.

Asociación de Viviendas La Ensenada:

Ubicado a la altura del km 20 de la Panamericana Norte y situado al sur – este del distrito de Puente de Piedra. Cuenta con servicios de alumbrado público y desagüe. El abastecimiento de agua es distribuido por SEDAPAL, pero en las entidades públicas como la posta médica, colegios y la comisaría del sector son abastecidos por el camión cisterna.

Alrededor de la Asociación de Vivienda de la Ensenada existen Asentamientos Humanos del cual cuentan con el servicio de agua potable desde enero del 2008 distribuido por SEDAPAL entre ellos tenemos: AA.HH. La Merced, AA.HH. Cesar Vallejo II, AA.HH. La Estrella Simón Bolívar, AA.HH. Las Lomas de la Ensenada y AA.HH. Virgen de Fátima.

AA.HH. Hijos de Luya:

Se encuentra ubicado al norte del distrito de Puente de Piedra a la altura del km 38 de la Panamericana Norte. Se sitúa en las lomas del cerro contando con transporte público pero no con pistas asfaltadas además en el lugar cuenta con fluido eléctrico y sistema de desagüe. Se abastece el agua con camiones cisterna donde la población almacena el agua en cilindros. Sus viviendas la gran mayoría son de material noble.

AA.HH. Libertad:

Ubicado a la altura del km 38 de la Panamericana Norte en el norte del distrito de Puente de Piedra. La zona está limitada en la parte este por el AA.HH. Lomas de Zapallal contando igualmente con alumbrado público y desagüe, mas no con agua proveniente de SEDAPAL sino abastecida por camiones cisternas del cual la población lo almacena en cilindros. La gran mayoría de sus viviendas son de madera y muy pocas de material noble.

AA.HH. Lomas de Zapallal:

Ubicado al norte de Puente Piedra altura del km 38 de la Panamericana Norte, la zona comienza desde el límite del AA.HH. Hijos de Luya hasta la cima del cerro. El lugar se abastece de agua por camiones cisternas donde es almacenado en un tanque, que a partir de este es distribuido a pilones o caños ubicados fuera de las viviendas a una distancia determinada donde la población se provee de agua almacenándola en recipientes o baldes. La mayor parte de viviendas son de material noble teniendo los servicios de fluido eléctrico y desagüe.

AA.HH. Proyecto Integral Zapallal Alto:

Se encuentra ubicado al norte del distrito de Puente Piedra altura del km 38 de la Panamericana Norte, la zona comienza a la margen derecha de la Panamericana Norte prolongándose hasta la cima del cerro, el suelo es arenoso no contando con pistas y veredas asfaltadas. La población cuenta con los servicios de desagüe y agua potable proveniente SEDAPAL desde el mes de noviembre del 2007. Además la mayoría de viviendas son de material noble contando con los servicios de fluido eléctrico.

AA.HH. La Alborada:

Ubicada al norte del distrito de Puente Piedra altura del km 38 de la Panamericana Norte, la zona comienza a la margen izquierda de la Panamericana Norte, encontrándose al frente del AA.HH. Proyecto Integral Zapallal Alto, no contando con pistas y veredas asfaltadas. Las viviendas la mayor parte son de material noble teniendo los servicios de fluido eléctrico y desagüe. Se abastecen de agua potable proveniente de SEDAPAL desde el 2006 a partir de tanques de reservorio de agua ubicados en las cima del cerro.

AA.HH. Centro Poblado Los Eucaliptos:

Ubicado a la altura del km 25 de la Panamericana Norte. Las casas son de material noble, estera y/o madera; y se encuentran en toda la superficie del cerro. Se pueden hallar en una parte del cerro antenas repetidoras de radio

y televisión. Cuentan con fluido eléctrico. El sistema de abastecimiento de agua se produce por un pozo en el cual hay un motor que traslada el agua hasta un tanque que se encuentra en la parte de arriba del cerro del cual se reparte a pilones de los cuales la población se provee de agua mediante el uso de mangueras. Cuentan con una losa deportiva. No hay colegios ni servicios de salud.

Asociación de Viviendas Residencial Los Sauces:

Se encuentra a la altura del km 23 de la Panamericana Norte, cercano a las orillas del río Chillón. Tienen luz y desagüe. El abastecimiento de agua se da a partir de pozos que tienen una profundidad de 2 a 6 metros. En la mayoría de los casos los pozos se encuentran dentro de las viviendas, contando con motor para la extracción del agua y otros realizándolo de manera manual. Otros se encuentran fuera de la vivienda. Las casas son de material noble en su totalidad. Las pistas no están asfaltadas. Cuentan con un centro educativo, pero no con un centro de salud cercano.

1.7 ASPECTOS LEGALES

En el año 1969, en el Perú, se promulgo la Ley General de Aguas con Decreto Supremo número 261-69-AP, el cual reglamenta el manejo y preservación de los recursos hídricos del país.

Asimismo en la OMS en las últimas guías de calidad para el agua potable de 1993 reduce el valor guía de arsénico en agua de 50 µg/L a un valor provisional de 10 µg/L basándose en un estudio realizado en un foro de evaluación de riesgo de la USEPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) en 1986 sobre evaluación de riesgo.

En este estudio la USEPA estimó el riesgo de contraer cáncer de piel a partir de un importante estudio realizado en Taiwán (Tseng et al., 1968), donde se observaron más de 40000 personas que consumían agua

proveniente de pozos artesianos con altos contenidos de arsénico, en un rango de 10 a 1820 $\mu\text{g/L}$, con valores más frecuentes entre 400 a 600 $\mu\text{g/L}$. En la estimación de riesgo se utilizó un modelo de fases múltiples linearizado con respecto a la dosis. Se calculó que la concentración de arsénico en agua asociada con un riesgo individual adicional de contraer cáncer de piel del orden de una cienmilésima es de 0.17 $\mu\text{g/L}$ para una persona de 70 kg que consume 2 litros de agua durante toda una vida 70 años. Con estos antecedentes la OMS propone un valor guía provisional de 10 $\mu\text{g/L}$.

Sin embargo según se expresa las mismas guías para la calidad de agua de OMS (1993), “puede existir una sobreestimación de riesgo real, debido a la posible contribución de otros factores a la incidencia de esa enfermedad en la población y a posibles variaciones metabólicas dependientes de la dosis que no se tuvieron en cuenta”.

Ante esta incertidumbre propia de la metodología aplicada se llevó a cabo en Lima la Reunión Regional sobre la Calidad de Agua Potable organizada por la Organización Panamericana de la Salud (OPS), donde se recomendó que antes de revisar o actualizar una norma o adoptar nuevos límites se efectúen estudios sobre la concentración de arsénico en agua de consumo humano locales que complementen las investigaciones realizadas en otras latitudes. (30).

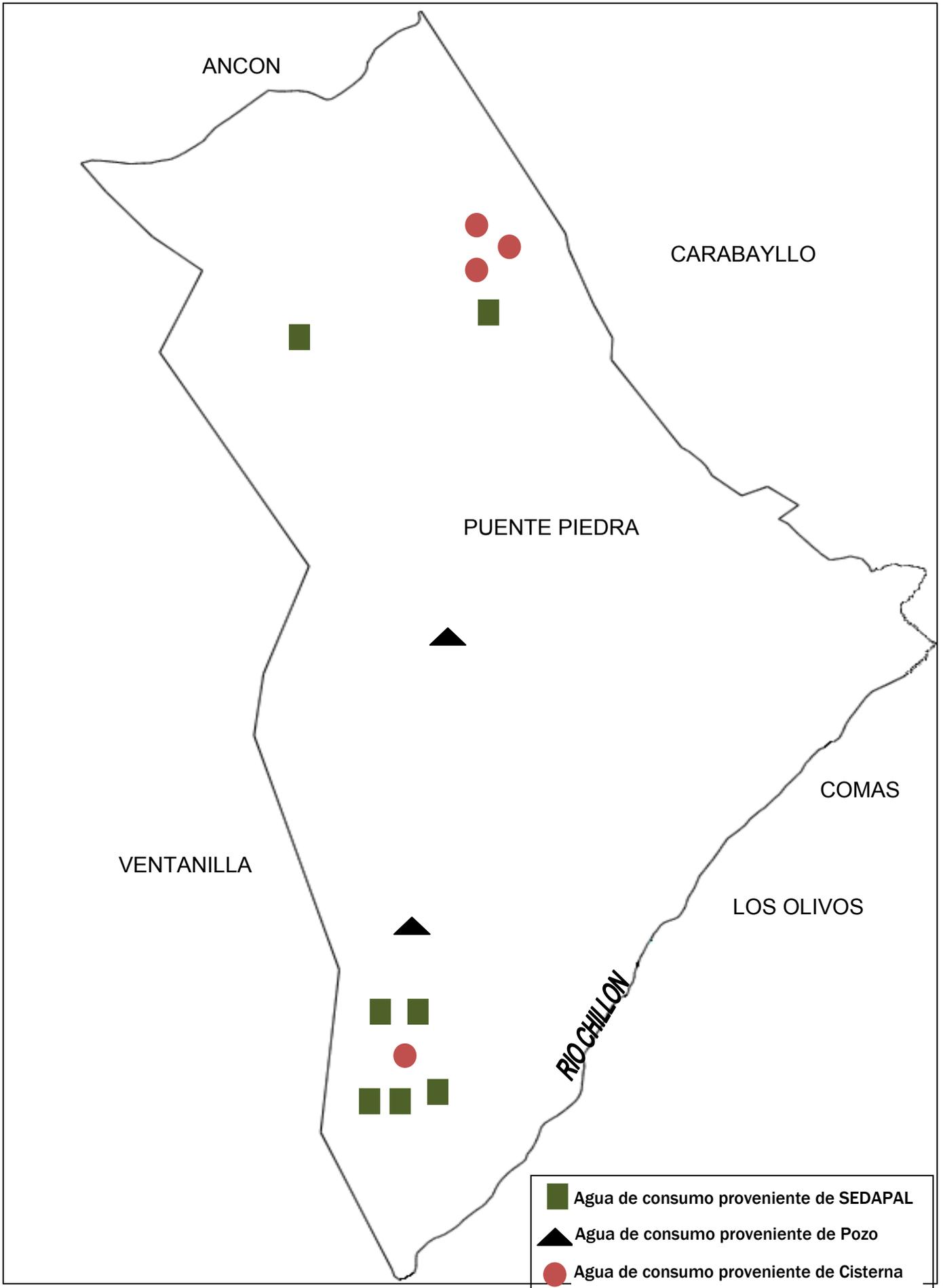
A nivel nacional se encuentra vigente las Norma Técnica Peruana 214.003.87 de INDECOPI que establece una concentración máxima de arsénico en agua de consumo humano de 50 $\mu\text{g/L}$ quedando pendiente realizar estudios sobre la concentración de arsénico en agua de consumo para alcanzar los límites recomendados por la OMS.

II. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 OBTENCIÓN Y RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA

Para la obtención de la muestra se usó el tipo de muestreo aleatorio simple. Para el efecto se utilizó el diseño del programa de muestreo, teniendo en cuenta todos los factores a fin de asegurar que las muestras fueran representativas (31), recolectando 38 muestras procedentes del distrito de Puente Piedra en los meses de Agosto y Setiembre descritos de la siguiente manera:

- a) Agua de consumo proveniente de Pozo: Se recolectó un total de 12 muestras de agua de los AA.HH. Centro Poblado Los Eucaliptos y Asociación de Viviendas Residencial Los Sauces situadas al centro y sur del distrito respectivamente.
- b) Agua de consumo proveniente de Cisterna: Se recolectó un total de 13 muestras de agua provenientes de los AA.HH. Hijos de Luya, AA.HH. Lomas de Zapallal y AA.HH. Libertad ubicados en norte del distrito, Asociación Viviendas La Ensenada en el sur del distrito.
- c) Agua de consumo proveniente de SEDAPAL: Se recolectó un total de 13 muestras de agua provenientes de los AA.HH. Proyecto Integral Zapallal Alto y AA.HH. La Alborada ubicados al norte del distrito. Asimismo en el AA.HH. La Merced, AA.HH. Cesar Vallejo II, AA.HH. La Estrella Simón Bolívar, AA.HH. Las Lomas de la Ensenada y AA.HH. Virgen de Fátima ubicados en el sur del distrito.



2.2 MÉTODO ANALÍTICO EMPLEADO

Método Espectrométrico de Absorción Atómica con Horno de Grafito

Fundamento: La técnica se basa en la medida de la radiación absorbida por los átomos libres en su estado fundamental. Para que esto ocurra la muestra pasa por un proceso de atomización electrotérmica utilizando una resistencia eléctrica. Estos átomos libres, formados a partir de un estado energético inferior a otro superior, absorben una radiación de energía de onda específica emitida por una lámpara que contiene un cátodo. La diferencia entre energía incidente y la transmitida se recoge en un detector, permitiendo realizar la determinación cuantitativa del elemento. (32).

2.3 EQUIPO, REACTIVOS Y MATERIALES

Se realizó en la Unidad de Servicios de Análisis Químicos (USAQ) de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, utilizando el Espectrofotómetro de Absorción Atómica SHIMADZU, modelo AA-6800 equipado con horno de grafito. El límite de detección de la técnica es 0,5 µg As/L.

Reactivos:

- ❖ Acido Nítrico concentrado 65% - 75%, grado A.C.S.
- ❖ Agua Ultrapura.
- ❖ Solución Modificador de Matriz: Nitrato de Paladio al 4%, disuelto en agua con 2% de acido nítrico concentrado.
- ❖ Estándar Arsénico 1000 ppm, grado A.C.S.

Materiales:

- ❖ Fiolas de 25 mL y 50 mL.
- ❖ Pipetas de 1 mL y 2 mL.
- ❖ Micropipetas de 25 µL
- ❖ Micropipetas de 100 µL – 1000 µL.
- ❖ Beaker de 250 mL.
- ❖ Campana extractora.

2.4 TÉCNICO OPERATORIA

Se colocó la muestra problema directamente en los viales para muestra debidamente identificada y el modificador de matriz en los viales de reactivo. Se colocó en el muestreador automático el cual tomó 20 μL de la muestra problema y 5 μL del modificador de matriz y los colocó en el tubo de grafito y se llevó a cabo el programa para lectura de absorbancia.

Tabla N° 4 Programa del Horno de Grafito

Paso	Temperatura (°C)	Tiempo Rampa (seg)	Tiempo Hold (seg)	Flujo del Gas (L/min)	Gas
1	120	20	30	1.0	Argón
2	250	10	10	1.0	Argón
3	600	10	20	1.0	Argón
4	600	3	5	0	Argón
5	2200	3	5	0	Argón

Tabla N° 5 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	Tubo de grafito de alta densidad

2.5 OBTENCIÓN DE CURVA DE CALIBRACIÓN

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

Tabla N°6 Preparación de los estándares de la Curva de Calibración

Concentración del estándar (µg/L)	Volumen del estándar patrón de 1 mg/L de Arsénico (µL)	Volumen de HNO ₃ concentrado (µL)	Aforar la fiola de 25 mL con agua ultrapura
0	0	750	
4	100	750	
12	300	750	
20	500	750	

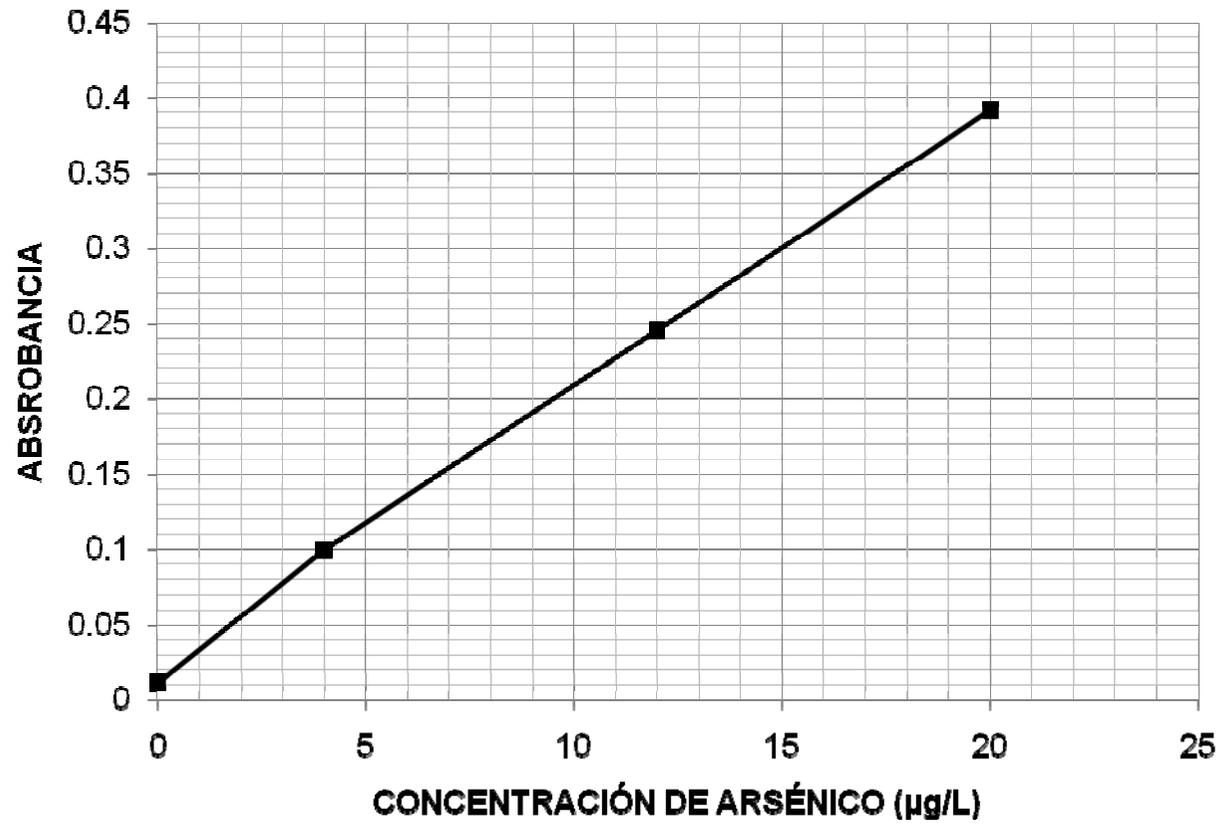
Curva de Calibración

Se colocó los estándares de calibración en los viales de muestra debidamente identificados y se llevó a cabo el programa para la lectura de la absorbancia descrito anteriormente.

Tabla N° 7 Datos que se utilizaron para la Curva de Calibración

CONCENTRACIÓN DEL ESTÁNDAR ARSÉNICO (µg/L)	ABSORBANCIA
0	0.0113
4	0.0996
12	0.2456
20	0.3922

GRAFICA DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN

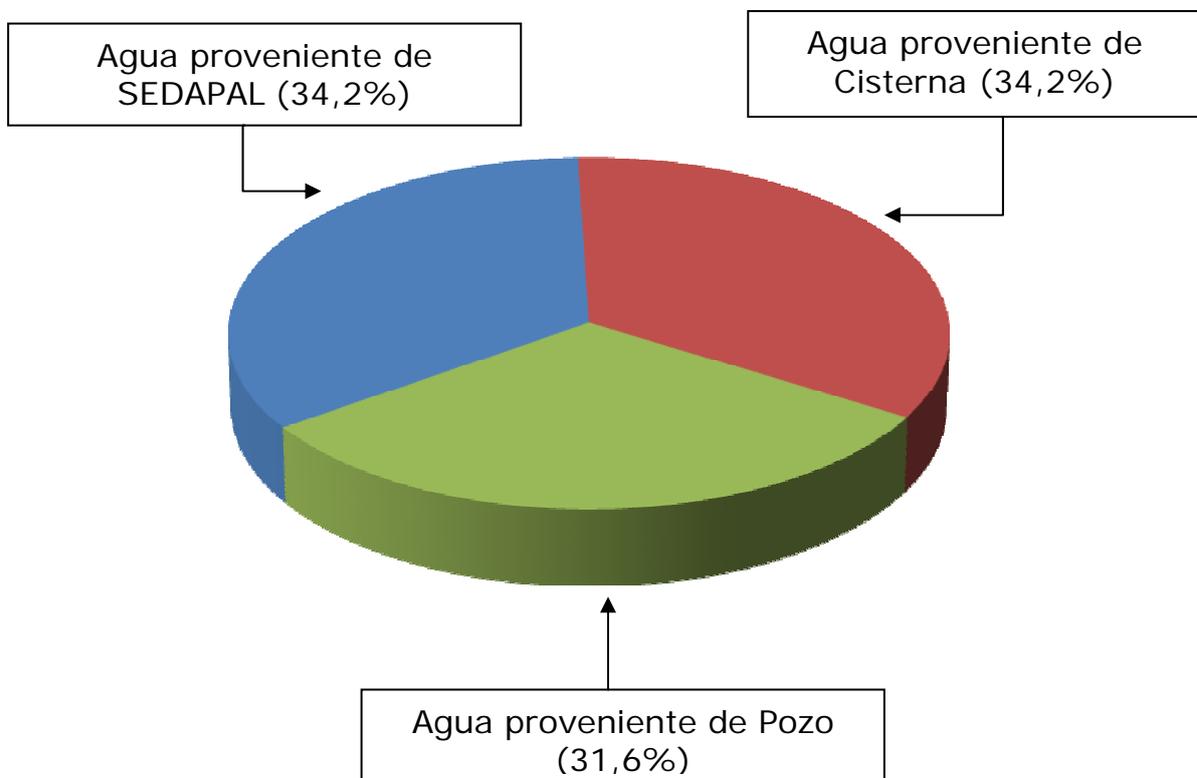


III. RESULTADOS

CUADRO N° 1
DISTRIBUCIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGUA SEGÚN SU PROCEDENCIA

PROCEDENCIA	n	%
Agua proveniente de SEDAPAL	13	34,2 %
Agua proveniente de Cisterna	13	34,2 %
Agua proveniente de Pozo	12	31,6 %
TOTAL	38	100 %

GRAFICO N°1
DISTRIBUCION DE LAS MUESTRAS DE AGUA SEGÚN SU PROCEDENCIA



CUADRO N° 2
RESULTADOS GENERALES DE ARSENICO EN AGUA DE CONSUMO
HUMANO DEL DISTRITO DE PUENTE PIEDRA

Número	Procedencia del Agua	Lugar de Muestreo	Código	Concentración de Arsénico (µg/L)
1	SEDAPAL	AA.HH. Cesar Vallejo II	PP-EN-003	10,38
2	SEDAPAL	AA.HH. La Merced	PP-EN-004	4,56
3	SEDAPAL	AA.HH. La Estrella Simón Bolívar	PP-EN-005	5,86
4	SEDAPAL	AA.HH. Las Lomas de la Ensenada	PP-EN-006	5,72
5	SEDAPAL	AA.HH. Virgen de Fátima	PP-EN-007	3,76
6	SEDAPAL	AA.HH. La Alborada	PP-AL-001	9,45
7	SEDAPAL		PP-AL-002	19,65
8	SEDAPAL		PP-AL-003	16,49
9	SEDAPAL	AA.HH. Proyecto Integral Zapallal Alto	PP-ZP-001	8,81
10	SEDAPAL		PP-ZP-002	10,54
11	SEDAPAL		PP-ZP-003	6,56
12	SEDAPAL		PP-ZP-004	8,34
13	SEDAPAL		PP-ZP-005	8,61
14	Pozo	Asociación de Viviendas Residencial Los Sauces	PP-SC-001	29,24
15	Pozo		PP-SC-002	15,37
16	Pozo		PP-SC-004	20,11
17	Pozo		PP-SC-005	52,05
18	Pozo	AA.HH. Centro Poblado Los Eucaliptos	PP-EU-001	15,80
19	Pozo		PP-EU-002	19,63
20	Pozo		PP-EU-003	20,20
21	Pozo		PP-EU-004	21,87
22	Pozo		PP-EU-005	23,06
23	Pozo		PP-EU-006	19,54
24	Pozo		PP-EU-007	16,89
25	Pozo		PP-EU-008	15,06
26	Cisterna	Asociación Viviendas La Ensenada	PP-EN-001	0,61
27	Cisterna	AA.HH. Hijos de Luya	PP-HJ-001	9,2
28	Cisterna		PP-HJ-002	4,84
29	Cisterna	AA.HH. Libertad	PP-LB-001	4,31
30	Cisterna		PP-LB-002	5,55
31	Cisterna		PP-LB-003	4,87
32	Cisterna	AA.HH. Lomas de Zapallal	PP-LZ-001	4,93
33	Cisterna		PP-LZ-002	5,14
34	Cisterna		PP-LZ-003	4,86
35	Cisterna		PP-LZ-004	4,45
36	Cisterna		PP-LZ-005	4,08
37	Cisterna		PP-LZ-006	6,05
38	Cisterna		PP-LZ-007	6,67

CUADRO N° 3
CONCENTRACION PROMEDIO DE ARSENICO ($\mu\text{g As/L}$) EN MUESTRAS DE AGUA SEGÚN EL LUGAR DE PROCEDENCIA

TOMA DE MUESTRA	n	$\bar{x} \pm ES$	s	CV%	VALORES EXTREMOS
Agua proveniente de SEDAPAL	13	9,13 \pm 1,26	4,55	49,83 %	3,76 – 19,65
Agua proveniente de Cisterna	13	5,04 \pm 0,52	1,89	37,50 %	0,61 – 9,20
Agua proveniente de Pozo	12	22,40 \pm 2,92	10,13	45,22 %	15,06 – 52,05
TOTAL	38	11,92 \pm 1,57	9,66	81,03 %	0,61 – 52,05

LEYENDA

- n = Número de muestras
- \bar{x} = Media
- ES = Error estándar
- s = Desviación estándar
- CV% = Coeficiente de Variación Porcentual

CUADRO N° 4
MUESTREO DE AGUA DE CONSUMO HUMANO PROVENIENTE DE
SEDAPAL

LUGAR DE MUESTREO	CÓDIGO	CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO (µg/L)
AA.HH. Cesar Vallejo II	PP-EN-003	10,38
AA.HH. La Merced	PP-EN-004	4,56
AA.HH. La Estrella Simón Bolívar	PP-EN-005	5,86
AA.HH. Las Lomas de la Ensenada	PP-EN-006	5,72
AA.HH. Virgen de Fátima	PP-EN-007	3,76
AA.HH. La Alborada	PP-AL-001	9,45
	PP-AL-002	19,65
	PP-AL-003	16,49
AA.HH. Proyecto Integral Zapallal Alto	PP-ZP-001	8,81
	PP-ZP-002	10,54
	PP-ZP-003	6,56
	PP-ZP-004	8,34
	PP-ZP-005	8,61
	n = 13	\bar{X} = 9,13

CUADRO N° 5
MUESTREO DE AGUA DE CONSUMO HUMANO PROVENIENTE DE POZO

LUGAR DE MUESTREO	CÓDIGO	CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO (µg/L)
Asociación de Viviendas Residencial Los Sauces	PP-SC-001	29,24
	PP-SC-002	15,37
	PP-SC-004	20,11
	PP-SC-005	52,05
AA.HH. Centro Poblado Los Eucaliptos	PP-EU-001	15,80
	PP-EU-002	19,63
	PP-EU-003	20,20
	PP-EU-004	21,87
	PP-EU-005	23,06
	PP-EU-006	19,54
	PP-EU-007	16,89
	PP-EU-008	15,06
	n = 12	\bar{X} = 22,40

CUADRO N° 6
MUESTREO DE AGUA DE CONSUMO HUMANO PROVENIENTE DE
CISTERNA

LUGAR DE MUESTREO	CÓDIGO	CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO (µg/L)
Asociación Viviendas La Ensenada	PP-EN-001	0,61
AA.HH. Hijos de Luya	PP-HJ-001	9,2
	PP-HJ-002	4,84
AA.HH. Libertad	PP-LB-001	4,31
	PP-LB-002	5,55
	PP-LB-003	4,87
AA.HH. Lomas de Zapallal	PP-LZ-001	4,93
	PP-LZ-002	5,14
	PP-LZ-003	4,86
	PP-LZ-004	4,45
	PP-LZ-005	4,08
	PP-LZ-006	6,05
	PP-LZ-007	6,67
	n = 13	\bar{X} = 5,04

CUADRO N° 7
MUESTREO DE AGUA DE CONSUMO HUMANO PROVENIENTE DE POZO
(POZO POR VIVIENDA)

LUGAR DE MUESTREO	CÓDIGO	CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO (µg/L)
Asociación de Viviendas Residencial Los Sauces	PP-SC-001	29,24
	PP-SC-002	15,37
	PP-SC-004	20,11
	PP-SC-005	52,05
	n = 4	\bar{X} = 29,19

CUADRO N° 8
MUESTREO DE AGUA DE CONSUMO HUMANO PROVENIENTE DE POZO
(POZO CENTRAL)

LUGAR DE MUESTREO	CÓDIGO	CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO (µg/L)
AA.HH. Centro Poblado Los Eucaliptos	PP-EU-001	15,80
	PP-EU-002	19,63
	PP-EU-003	20,20
	PP-EU-004	21,87
	PP-EU-005	23,06
	PP-EU-006	19,54
	PP-EU-007	16,89
	PP-EU-008	15,06
	n = 8	\bar{X} = 19,01

CUADRO Nº 9
MUESTREO DE AGUA DE CONSUMO HUMANO PROVENIENTE DE
CISTERNA (CILINDRO ABASTECIMIENTO)

LUGAR DE MUESTREO	CÓDIGO	CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO (µg/L)
Asociación Viviendas La Ensenada	PP-EN-001	0,61
AA.HH. Hijos de Luya	PP-HJ-001	9,2
	PP-HJ-002	4,84
AA.HH. Libertad	PP-LB-001	4,31
	PP-LB-002	5,55
	PP-LB-003	4,87
	n = 6	\bar{X} = 5,17

CUADRO Nº 10
MUESTREO DE AGUA DE CONSUMO HUMANO PROVENIENTE DE
CISTERNA (TANQUE PRINCIPAL)

LUGAR DE MUESTREO	CÓDIGO	CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO (µg/L)
AA.HH. Lomas de Zapallal	PP-LZ-001	4,93
	PP-LZ-002	5,14
	PP-LZ-003	4,86
	PP-LZ-004	4,45
	PP-LZ-005	4,08
	PP-LZ-006	6,05
	PP-LZ-007	6,67
	n = 7	\bar{X} = 4,90

CUADRO N° 11
COMPARACIÓN DE MEDIAS ENTRE AGUA POZO Y AGUA CISTERNA

	AGUA CISTERNA	AGUA POZO	Valor estadístico t	IC	Prueba T (0,05;23)
\bar{x}	5,04	22,40	5,44	95%	1,71
s	1,89	10,13			
n	13	12			

CUADRO N° 12
COMPARACIÓN DE MEDIAS ENTRE AGUA SEDAPAL Y AGUA CISTERNA

	AGUA SEDAPAL	AGUA CISTERNA	Valor estadístico t	IC	Prueba T (0,05;23)
\bar{x}	9,13	5,04	2,99	95%	1,74
s	4,54	1,89			
n	13	13			

CUADRO N° 13
COMPARACIÓN DE MEDIAS ENTRE AGUA SEDAPAL Y AGUA POZO

	AGUA SEDAPAL	AGUA POZO	Valor estadístico t	IC	Prueba T (0,05;23)
\bar{x}	9,13	22,40	4,16	95%	1,75
s	4,54	10,13			
n	13	12			

CUADRO N°14
COMPARACIÓN DE MEDIAS ENTRE AGUA CISTERNA (TANQUE PRINCIPAL) Y AGUA CISTERNA (CILINDRO ABASTECIMIENTO)

	TANQUE GENERAL	CILINDRO ABASTECIMIENTO	Valor estadístico t	IC	Prueba T (0,05;6)
\bar{x}	4,90	5,17	-0,23	95%	1,94
s	0,90	2,74			
n	7	6			

CUADRO N° 15
COMPARACIÓN DE MEDIAS ENTRE AGUA POZO (POZO CENTRAL) Y AGUA POZO (POZO POR VIVIENDA)

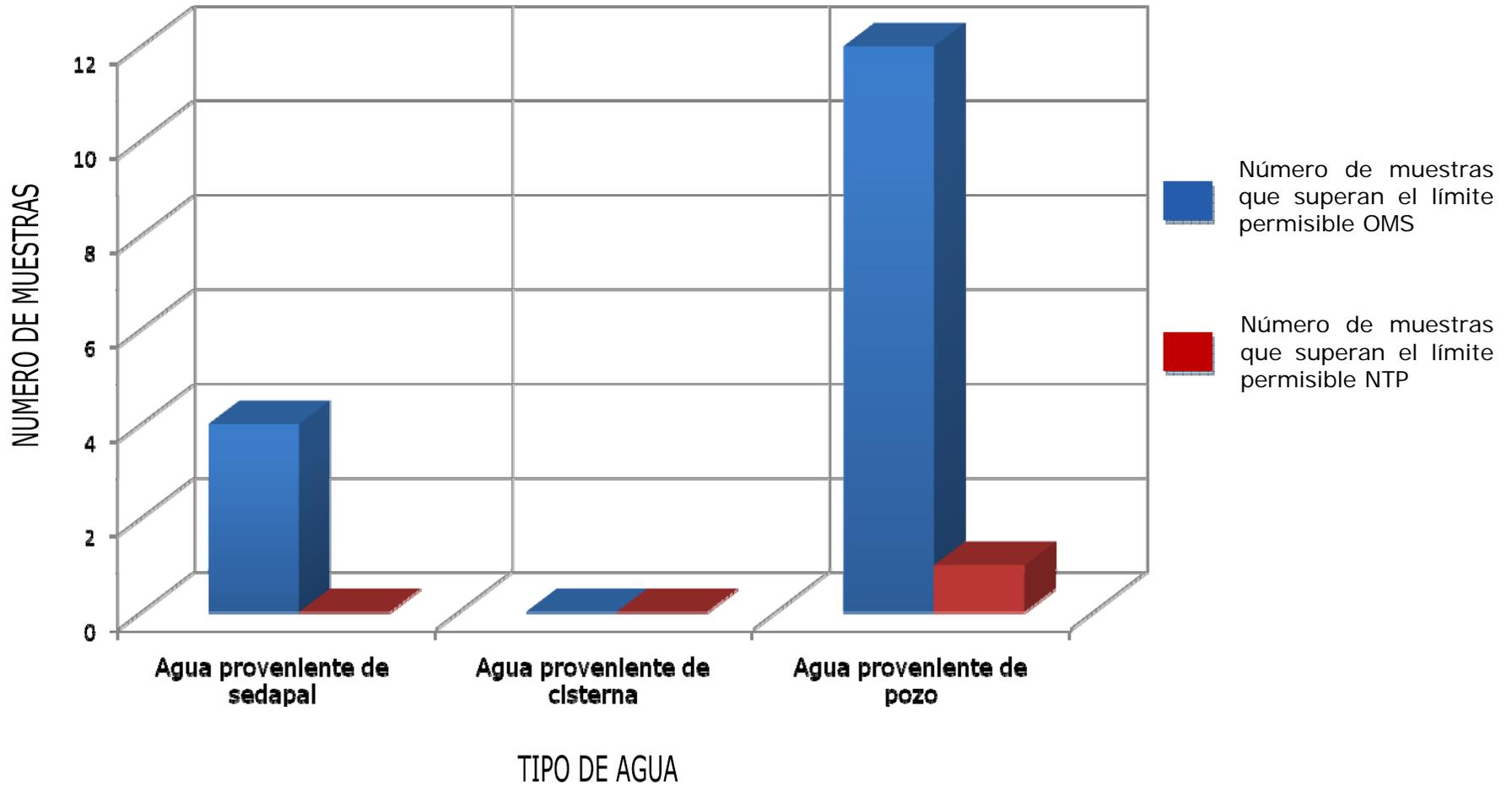
	POZO CENTRAL	POZO POR VIVIENDA	Valor estadístico t	IC	Prueba T (0,05;3)
\bar{x}	19,01	29,19	1,24	95%	2,35
s	2,86	16,29			
n	8	4			

CUADRO N° 16

DISTRIBUCIÓN DE MUESTRAS QUE SUPERAN EL LÍMITE PERMISIBLE POR LA OMS (10 µg As/L) Y LA NTP (50 µg As/L)
SEGÚN LUGAR DE PROCEDENCIA

Tipo de Agua	N	Número de muestras que superan el límite permisible OMS	Número de muestras que superan el límite permisible NTP
Agua proveniente de SEDAPAL	13	4	0
Subtotal	100%	30,76%	0%
Agua proveniente de cisterna	13	0	0
Subtotal	100%	0%	0%
Agua proveniente de pozo	12	12	1
Subtotal	100%	100%	8,33%
TOTAL MUESTRAS	38	16	1
Total	100%	42,11%	2,63%

GRAFICO N° 2
DISTRIBUCIÓN DE MUESTRAS QUE SUPERAN EL LÍMITE PERMISIBLE POR LA OMS
(10 µg As/L) Y LA NTP SEGÚN LUGAR DE PROCEDENCIA (50 µg As/L)



IV. DISCUSSION

DISCUSIÓN

Los resultados de este trabajo de investigación han determinado la concentración de arsénico en $\mu\text{g/L}$ de agua de consumo humano, en 38 muestras provenientes de diferentes zonas del distrito de Puente Piedra y formas de abastecimiento; en tal sentido se puede apreciar en el cuadro N° 1 y en el gráfico N°1: que el 34,2% (13 muestras) corresponden a agua de consumo humano proveniente de SEDAPAL, el 34,2% (13 muestras) corresponden a agua de consumo humano proveniente cisterna y el 31,6% (12 muestras) corresponde a agua de consumo humano proveniente de pozo.

Según el cuadro N° 4, donde se detalla los valores de concentración de arsénico en agua de consumo humano proveniente de SEDAPAL, se observa una concentración media de $9,13 \mu\text{g As/L}$ (cifras extremas de $3,76 \mu\text{g As/L}$ y $19,65 \mu\text{g As/L}$) que se encuentran por debajo pero muy próximo al límite permisible por la OMS.

El Equipo Técnico de Agua y Saneamiento de la Dirección General Salud Ambiental (DIGESA) entre los meses de mayo y diciembre del 2005 realizó un monitoreo de metales pesados a nivel de Lima Metropolitana tomando 85 muestras en total. Entre los cuales se tomó 02 muestras del distrito de Puente Piedra para evaluar la concentración de arsénico, encontrando concentraciones de arsénico (mg/L) por debajo del límite máximo permisible según la Norma Técnica Peruana vigente ($50 \mu\text{g As/L}$). A diferencia nuestro trabajo de investigación encontró un 30.76% de total de muestras analizadas están por encima del límite permisible establecido por la OMS ($10 \mu\text{g As/L}$) pero por debajo de la Norma Técnica Peruana vigente ($50 \mu\text{g As/L}$). (29).

En el cuadro N° 5 se encuentran los valores de concentración de arsénico en agua de consumo humano proveniente de pozo, donde el promedio es 22,4 µg As/L (cifras extremas de 15,06 µg As/L y 52.05 µg As/L). Este valor promedio supera el límite permisible establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS), donde posiblemente esté ocurriendo una intoxicación crónica. En un estudio realizado de agua de pozo en la vertiente del río Rímac en 1994 se encontró una concentración media de 54.8 µg As/L, encontrándose elevado en comparación a nuestro valor hallado. Además se observa que el 100 % del total de muestras analizadas de agua proveniente de pozo, se encuentra por encima del límite máximo permisible dados por la OMS y un 8,33 % por encima del límite máximo permisible reglamentado por la NTP 214.003.87. (1).

Respecto al cuadro N° 6 apreciamos los valores de arsénico en el agua de consumo humano proveniente de cisterna encontrando una media de 5,04 µg As/L (cifras extremas de 0,61 µg As/L y 9,20 µg As/L) que está por debajo del límite permisible establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Se observa que el promedio de concentración de arsénico en agua proveniente de SEDAPAL es mayor que el promedio de concentración de arsénico en agua proveniente de cisterna, debido probablemente al aumento de la cobertura del servicio de agua proveniente de SEDAPAL realizado en el distrito Puente Piedra, donde para abastecer a la población utilizaron reservas de agua subterráneas de 14 pozos y aguas superficiales de Río Chillón. A diferencia del agua proveniente de cisterna que se abastece de la Atarjea.

En el cuadro N° 11 se realizó una comparación de medias utilizando la T student, el valor estadístico T es 5.44 el cual es mayor que el valor de la prueba T que es 1.71 estableciendo diferencia significativa en la calidad de agua con respecto al promedio de arsénico entre agua proveniente de pozo y agua proveniente de cisterna.

Asimismo en el cuadro N° 12 se realizó una comparación de medias utilizando la T student, el valor estadístico T es 2.99 el cual es mayor que el valor de la prueba T que es 1.74, estableciendo diferencia significativa en la calidad de agua con respecto al promedio de arsénico entre agua proveniente de cisterna y agua proveniente de SEDAPAL.

De igual modo en el cuadro N° 13 se realizó una comparación de medias utilizando la T student, el valor estadístico T es 4.16 el cual es mayor que el valor de la prueba T que es 1.75 concluyendo que hay diferencia significativa en la calidad de agua con respecto al promedio de arsénico entre agua proveniente de SEDAPAL y agua proveniente de pozo.

Se realizó la comparación de medias entre los dos sub grupos de agua proveniente de cisterna, distinguiéndose en la cuadro N° 14 el valor estadístico t de -0,23 y el valor prueba T de 1,94 con un intervalo de confianza de 95% estableciéndose que no existe diferencia significativa entre el promedio de concentración de arsénico ($\mu\text{g/L}$) de agua proveniente de cisterna (tanque principal) y el agua proveniente de cisterna (cilindro de abastecimiento).

De igual manera, en el cuadro N° 15 se muestra la comparación de medias de los dos sub grupos de agua proveniente de pozo (Pozo General y Pozo por Vivienda), utilizando la T student se encontró el valor estadístico t de 1,24 y el valor de prueba T de 2,35 con un intervalo de confianza 95%, determinándose que no existe diferencia significativa entre los dos subgrupos mencionados.

V. CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

1. El promedio de concentración de arsénico del agua de consumo humano proveniente de SEDAPAL del distrito de Puente Piedra es 9,13 $\mu\text{g As/L}$ el cual no excede la concentración máxima permisible dada por la NTP 214.003.87 (50 $\mu\text{g As/L}$) y de la OMS (10 $\mu\text{g As/L}$), sin embargo el 30.76% del total de muestras analizadas de agua proveniente de SEDAPAL se encuentran por encima del límite máximo permisible establecido por la OMS.
2. El promedio de concentración de arsénico del agua de consumo humano proveniente de pozo del distrito de Puente Piedra es 22,40 $\mu\text{g As/L}$ el cual supera la concentración máxima permisible estipulada por la OMS, pero esta debajo de límite máximo permisible indicada por la Norma Técnica Peruana (NTP 214.003.87), y el 100% de las muestras de agua de pozo proveniente del distrito de Puente Piedra se encuentran por encima del límite máximo permisible establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y un 8.33% se encuentran por encima del límite máximo permisible dado por la Norma Técnica Peruana (NTP 214.003.87).
3. El promedio de concentración de arsénico del agua de consumo humano proveniente de cisterna del distrito de Puente Piedra es 5,04 $\mu\text{g As/L}$ el cual se encuentra por debajo del límite permisible dada por la OMS y la Norma Técnica Peruana (NTP 214.003.87), y no se encontró ninguna muestra que supere el límite máximo permisible establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Norma Técnica Peruana (NTP 214.003.87).

VI. RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

- Realizar estudios epidemiológicos en los lugares donde se consume agua con valores de concentración de arsénico que sobrepasan el límite recomendado por la Organización Mundial de la Salud ($10 \mu\text{g As/L}$), para establecer posibles riesgos de morbi-mortalidad por los diferentes tipos de cáncer asociados al arsénico, ello permitirá adoptar criterios normativos ajustados a la realidad local.
- Dar a conocer a la población los peligros de la toxicidad del arsénico en agua de consumo humano proveniente de pozo, para evitar la intoxicación crónica que pueda producir por no tener el agua ningún tratamiento.
- Realizar este tipo de estudios en otros distritos de Lima Metropolitana para poder hacer un seguimiento de la calidad del agua de consumo humano que se abastece a los habitantes.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Infante L., Palomino S. **Cuantificación Espectrofotométrico de Arsénico en Aguas de Consumo Humano en la Vertiente del Rio Rímac**. Para optar al título profesional de Químico Farmacéutico: Universidad Nacional Mayor de San Marcos; Lima. 1994.
2. WHO. **Guidelines for drinking – water quality. 2da Ed. Vol. II**. Genev. (1996).
3. The mineral native arsenic (citado 2008, 26 junio) disponible en: www.mineral.galleries.com/minerals/elements/arsenic/arsenic.htm
4. BCAS NEWSLETTER. **Arsenic Special Issue**. Vol.8 (1). (1997).(citado 2008, 02 julio) disponible desde: www.bic.com/acic/resources/infobank/asi_bcas.htm
5. Castro de Esperanza, M.; Wong, M. **Remoción de arsénico a nivel domiciliario. Hoja de divulgación técnica 74**, CEPIS, Lima. 1999.
6. Ingeniería Civil y Medio Ambiente (citado 2008, 16 mayo) disponible desde: <http://www.miliarium.com/monografias/Arsenico/ProblematICA Castilla Le on.asp>
7. Ishinishi, N. et al. Arsenic. *In*: Friberg, L., Nordberg, G.F. & Vouk, B.V., ed. **Handbook of the toxicology of metals**, Vol. II. Amsterdam-New York-Oxford, Elsevier, 1986.
8. Pinto S.; McGill, C. **Arsenic trioxide exposure in industry**. Industrial medicine and surgery, **22**: 281–287. 1953.
9. Vahter M, Friberg L, Rahnster B, et al. **Airborne arsenic and urinary excretion of metabolites of inorganic arsenic among smelter workers**. Int Arch Occup Environ Health 57:79-91. 1986.
10. Pinto S, Varner M, Nelson K, et al. **Arsenic trioxide absorption and excretion in industry**. J Occup Med 18(10):677-680. 1976.
11. Stevens J, Hall L, Farmer J, et al. **Disposition of ¹⁴C and/or ⁷⁴As-cacodylic acid in rats after intravenous, intratracheal or peroral administration**. Environ Health Perspect 19:151-157. 1977.

12. Buchet J, Lauwerys R, Roels H. **Comparison of the urinary excretion of arsenic metabolites after a single oral dose of sodium arsenite, monomethylarsonate or dimethylarsinate in man.** *Int Arch Occup Environ Health* 48:71-79. 1981.
13. Benramdane L, Accominotti M, Fanton L, et al. **Arsenic speciation in human organs following fatal arsenic trioxide poisoning--a case report.** *Clin Chem* 45(2):301-306. 1999.
14. **Health assessment document for inorganic arsenic.** Research Triangle Park, NC, US Environmental Protection Agency, p. 351 (Final report, No. EPA-600/8-83-021F). 1984.
15. Castro de Esparza M. **Arsénico en el agua de bebida de América Latina y su efecto en la salud pública.** CEPIS/OPS. HDT N°95. 2004.
16. Lugo G, Cassady G, Palmisano P. **Acute maternal arsenic intoxication with neonatal death.** *Am J Dis Child* 117:328-330. 1969.
17. Somogyi A, Beck H. **Nurturing and breast-feeding: Exposure to chemicals in breast milk.** *Environ Health Perspect* 101(suppl. 2): 45-52. 1993.
18. Concha G, Vogler G, Nermell B, et al. **Low-level arsenic excretion in breast milk of native Andean women exposed to high levels of arsenic in the drinking water.** *Int Arch Occup Environ Health* 71(1):42-46. 1998.
19. Menzel D, Ross M, Oddo S, et al. **A physiologically based pharmacokinetic model for ingested arsenic.** *Environ Geochem Health* 16:209-218. 1994.
20. Suárez M, González-Delgado F, et al. **Análisis, diagnóstico y tratamiento de las intoxicaciones arsenicales.** Argentina.
21. CONAPRIS, **Epidemiología del Hidroarsenicismo crónico regional endémico en la República Argentina.** INFORME FINAL. Argentina. 2006.
22. Piola J, Navone H, et al. **Niveles de exposición a arsénico en agua de bebida y riesgo relativo de cáncer de piel, en Máximo Paz, Santa Fe, Argentina.** SERTOX. Período 2001-2005.

23. Gómez A. **Arsénic and arsenic compounds**. Criterio de Salud Ambiental N° 224, Segunda edición, Organización Mundial de la Salud, 2001.
24. Smith A; Lingas E; Rahman M. **Contaminación del agua bebida con arsénico en Bangladesh: una emergencia de salud pública**. Boletín de la Organización Mundial de la Salud. 2000.
25. **Adopta en la Conferencia interregional sobre la calidad de agua y la reducción de la contaminación por arsénico**. Taiyuán (China). 2004.
26. Informe secretaria. **Mitigación de los efectos del arsénico presente en las aguas subterráneas**. Organización Mundial de la Salud 118ª reunión. 2006.
27. Flores Y. **Análisis Químico Toxicológico y Determinación de Arsénico en aguas de consumo directo en la provincia de Huaytará Dpto. Huancavelica**. Para optar al título profesional de Químico Farmacéutico: Universidad Nacional Mayor de San Marcos; Lima. 1999.
28. Sarmiento M. **Evaluación químico toxicológico de: arsénico (As), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y plomo (Pb) en las aguas de río Mala**. Para optar al título profesional de Químico Farmacéutico: Universidad Privada Norbert Wiener; Lima. 2004.
29. Equipo Técnico de Agua y Saneamiento. **Calidad del Agua para consumo humano en Lima Metropolitana. Metales Pesados**. DIGESA. Lima. 2006.
30. Vázquez H, Ortolani V, et al. **Arsénico en Aguas Subterráneas Criterios para la Adopción de Límites Tolerables** CEPIS-OPS. 1999.
31. **Manual de Toxicología Ocupacional**, Chile, Ministerio de Salud 1979, pág. 19-25.
32. Bender G. **Métodos Instrumentales de análisis en química clínica**. España, Editorial Acribia S.A. 1987, pag 115-123.

VIII. ANEXOS



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA
UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS



INFORME DE ENSAYO
N° 404-08

Cliente : **JAVIER E. PEREZ BOBADILLA**
Dirección : Jr. Coronel Zegarra No. 134 Int. 3 – Jesús Maria
Atención : Sr. Javier E. Pérez B. (Exp. Con carta)
Referencia USAQ : 272-01/08
Cotización : 295-2008/USAQ
Muestras : AGUA DE CONSUMO HUMANO
Fecha de Recepción : 12/08/08
Fecha de Emisión : 18/08/08

RESULTADO DE ANÁLISIS: AGUA DE CONSUMO HUMANO
PROVENIENTE DE SEDAPAL

No. USAQ	COD. CLIENTE	DETERMINACIONES	RESULTADOS (ppb)
272-01	PP-AL-001	Arsénico	9,45
272-02	PP-AL-002	Arsénico	19,65
272-03	PP-AL-003	Arsénico	16,49
272-04	PP-ZP-001	Arsénico	8,81
272-05	PP-ZP-002	Arsénico	10,54
272-06	PP-ZP-003	Arsénico	6,56
272-07	PP-ZP-004	Arsénico	8,34
272-08	PP-ZP-005	Arsénico	8,61

Muestra proporcionada por el cliente.


IE-404-08 (Página 1 de 2)



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA
UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS



Método: USAQ-ME-15. Determinación de metales por Horno de Grafito.



Quím. María Angélica Rodríguez Best

Directora de la USAQ
CQP:597

Nota:

El presente Informe solamente es válido en su estado original y se refiere únicamente a la muestra analizada cualquier corrección, o enmienda en el mismo lo anula automáticamente.

Observ.:

La muestra podrá ser devuelta dentro del plazo de 15 días calendarios de recepcionada. Sin embargo, cualquier consulta de resultados podrá ser absuelta dentro de los 15 días calendarios de emitido el Informe de Ensayo, dado el tiempo indicado no se aceptaran reclamos.



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA
UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS



INFORME DE ENSAYO

N° 435-08

Cliente : JAVIER E. PEREZ BOBADILLA
Dirección : Jr. Coronel Zegarra No. 134 Int. 3 – Jesús Maria
Atención : Sr. Javier E. Pérez B. (Exp. con carta)
Referencia USAQ : 291-01/05
Cotización : 319-2008/USAQ
Muestras : AGUA DE CONSUMO HUMANO
Fecha de Recepción : 02/09/08
Fecha de Emisión : 09/09/08

RESULTADO DE ANÁLISIS: AGUA DE CONSUMO HUMANO
PROVENIENTE DE SEDAPAL

No. USAQ	COD. CLIENTE	DETERMINACIONES	RESULTADOS (ppb)
291-01	PP-EN-003	Arsénico	10,38
291-02	PP-EN-004	Arsénico	4,56
291-03	PP-EN-005	Arsénico	5,86
291-04	PP-EN-006	Arsénico	5,72
291-05	PP-EN-007	Arsénico	3,76

Muestra proporcionada por el cliente.

Método: USAQ-ME-15. Determinación de metales por Horno de Grafito.



Quím. María Angélica Rodríguez Best
Directora de la USAQ
CQP:597

Nota:

El presente Informe solamente es válido en su estado original y se refiere únicamente a la muestra analizada cualquier corrección, o enmienda en el mismo lo anula automáticamente.

Observ.:

La muestra podrá ser devuelta dentro del plazo de 15 días calendarios de recepción. Sin embargo, cualquier consulta de resultados podrá ser absuelta dentro de los 15 días calendarios de emitido el Informe de Ensayo, dado el tiempo indicado no se aceptaran reclamos.

IE-435-08(Página 1 de 1)



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA
UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS



INFORME DE ENSAYO
N° 437-08

Cliente : JAVIER E. PEREZ BOBADILLA
Dirección : Jr. Coronel Zegarra No. 134 Int. 3 – Jesús Maria
Atención : Sr. Javier E. Pérez B. (Exp. con carta)
Referencia USAQ : 291-08/20
Cotización : 319-2008/USAQ
Muestras : AGUA DE CONSUMO HUMANO
Fecha de Recepción : 02/09/08
Fecha de Emisión : 09/09/08

RESULTADO DE ANÁLISIS: AGUA DE CONSUMO HUMANO
PROVENIENTE DE POZO

No. USAQ	COD. CLIENTE	DETERMINACIONES	RESULTADOS (ppb)
291-08	PP-SC-001	Arsénico	29,24
291-09	PP-SC-002	Arsénico	15,37
291-10	PP-SC-003	Arsénico	374,74
291-11	PP-SC-004	Arsénico	20,11
291-12	PP-SC-005	Arsénico	52,05
291-13	PP-EU-001	Arsénico	15,80
291-14	PP-EU-002	Arsénico	19,63
291-15	PP-EU-003	Arsénico	20,20
291-16	PP-EU-004	Arsénico	21,87

Muestra proporcionada por el cliente.


IE-437-08 (Página 1 de 2)



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA
UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS



No. USAQ	COD. CLIENTE	DETERMINACIONES	RESULTADOS (ppb)
291-17	PP-EU-005	Arsénico	23,06
291-18	PP-EU-006	Arsénico	19,54
291-19	PP-EU-007	Arsénico	16,89
291-20	PP-EU-008	Arsénico	15,06

Muestra proporcionada por el cliente.

Método: USAQ-ME-15. Determinación de metales por Horno de Grafito.




DIRECTORA Quím. **Maria Angélica Rodríguez Best**
Directora de la USAQ
CQP:597

Nota:

El presente Informe solamente es válido en su estado original y se refiere únicamente a la muestra analizada cualquier corrección, o enmienda en el mismo lo anula automáticamente.

Observ.:

La muestra podrá ser devuelta dentro del plazo de 15 días calendarios de recepción. Sin embargo, cualquier consulta de resultados podrá ser absuelta dentro de los 15 días calendarios de emitido el Informe de Ensayo, dado el tiempo indicado no se aceptaran reclamos.

IE-437-08(Página 2 de 2)



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA
UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS



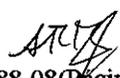
INFORME DE ENSAYO
N° 388-08

Cliente : JAVIER E. PEREZ BOBADILLA
Dirección : Jr. Coronel Zegarra No. 134 Int. 3 – Jesús María
Atención : Sr. Javier E. Pérez B. (Exp. con carta)
Referencia USAQ : 258-01/12
Cotización : 282-2008/USAQ
Muestras : AGUA DE CONSUMO HUMANO
Fecha de Recepción : 04/08/08
Fecha de Emisión : 08/08/08

RESULTADO DE ANALISIS DE: AGUA DE CONSUMO HUMANO
PROVENIENTE DE CISTERNA

Código USAQ.	Código Cliente	Determinaciones	Resultados (ppb)
258-01	PP-LZ-001	Arsénico	4,93
258-02	PP-LZ-002	Arsénico	5,14
258-03	PP-LZ-003	Arsénico	4,86
258-04	PP-LZ-004	Arsénico	4,45
258-05	PP-LZ-005	Arsénico	4,08
258-06	PP-LZ-006	Arsénico	6,05
258-07	PP-LZ-007	Arsénico	6,67
258-08	PP-HJ-001	Arsénico	9,20
258-09	PP-HJ-002	Arsénico	4,84
258-10	PP-LB-001	Arsénico	4,31

Muestra proporcionada por el cliente.


IE-388-08 (Página 1 de 2)



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA
UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS



Código USAQ.	Código Cliente	Determinaciones	Resultados (ppb)
258-11	PP-LB-002	Arsénico	5,55
258-12	PP-LB-003	Arsénico	4,87

Muestra proporcionada por el cliente.

Método: USAQ-ME-15. Determinación de metales por Horno de Grafito.



Quím. Maria Angélica Rodríguez Best
Directora de la USAQ.
CQP: 597

Nota:

El presente informe sólo es válido en su estado original y se refiere únicamente a la muestra analizada, cualquier corrección o enmienda en el contenido del presente informe lo anula automáticamente.

Observ.:

La muestra podrá ser devuelta dentro del plazo de 30 días calendarios de recepción. Sin embargo cualquier consulta de resultados podrá ser absuelta dentro de los 15 días calendarios de emitido el Informe de Ensayo, dado el tiempo indicado no se aceptaran reclamos.



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA
UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS



INFORME DE ENSAYO
N° 436-08

Cliente : JAVIER E. PEREZ BOBADILLA
Dirección : Jr. Coronel Zegarra No. 134 Int. 3 – Jesús Maria
Atención : Sr. Javier E. Pérez B. (Exp. con carta)
Referencia USAQ : 291-06/07
Cotización : 319-2008/USAQ
Muestras : AGUA DE CONSUMO HUMANO
Fecha de Recepción : 02/09/08
Fecha de Emisión : 09/09/08

RESULTADO DE ANÁLISIS: AGUA DE CONSUMO HUMANO
PROVENIENTE DE CISTERNA

No. USAQ	COD. CLIENTE	DETERMINACIONES	RESULTADOS (ppb)
291-06	PP-EN-001	Arsénico	0,61
291-07	PP-EN-002	Arsénico	430,38

Muestra proporcionada por el cliente.

Método: USAQ-ME-15.Determinación de metales por Horno de Grafito.




Quím. María Angélica Rodríguez Best
Directora de la USAQ
CQP:597

Nota:

El presente Informe solamente es válido en su estado original y se refiere únicamente a la muestra analizada cualquier corrección, o enmienda en el mismo lo anula automáticamente.

Observ.:

La muestra podrá ser devuelta dentro del plazo de 15 días calendarios de recepcionada. Sin embargo, cualquier consulta de resultados podrá ser absuelta dentro de los 15 días calendarios de emitido el Informe de Ensayo, dado el tiempo indicado no se aceptaran reclamos.

IE-436-08(Página 1 de 1)