



UNIVERSIDAD DE CUENCA

“MAESTRIA EN TOXICOLOGIA INDUSTRIAL Y AMBIENTAL”

TITULO:

Estudio toxicológico de la contaminación por Cadmio y Arsénico en las fuentes de abastecimiento de agua expuestas a la ceniza del Volcán Tungurahua en las parroquias Guanando y la Providencia del Cantón Guano provincia de Chimborazo.

**TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE
MAGISTER EN TOXICOLOGIA INDUSTRIAL Y AMBIENTAL**

AUTOR: ING. CRISTIAN JAVIER LOZANO HERNANDEZ

DIRECTOR: PhD. ROBERT ALCIDES CAZAR RAMÍREZ

**CUENCA, ECUADOR
(2014)**



RESUMEN

En las Parroquias Guanando y La Providencia del Cantón Guano de la Provincia de Chimborazo, la presente investigación tuvo por objeto realizar un estudio toxicológico de las fuentes de abastecimiento de agua de las parroquias anteriormente mencionadas, por encontrarse cerca del Volcán Tungurahua pudiendo presentar la presencia de metales pesados como Arsénico y Cadmio.

Se realizó la identificación de estas fuentes y se obtuvo las muestras de agua para su análisis que permitieron identificar a los analitos como arsénico y cadmio que están presentes en estas zonas, todos los análisis se realizaron en el Laboratorio CESTTA de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Se aplicó una estadística descriptiva donde se obtuvo la media y la varianza, a su vez los datos obtenidos se compararon con los niveles permisibles dados por las normativas ecuatorianas vigentes TULSMA Libro VI, anexo I, la Norma NTE – INEN 2011, y con las normas internacionales, llegando a la conclusión de que el Arsénico y el Cadmio se encuentran dentro de los niveles permisibles dadas por estas normas.

Se calculó la Dosis diaria promedio vitalicia (DDPV), a la cual están expuestos los habitantes de estas zonas, así como también el Coeficiente de Peligro (CP), lo cual permitió determinar que la población de estas Parroquias Guanando y La Providencia, no se encuentran en riesgo toxicológico ya que los resultados del Coeficiente de Peligro (CP), no sobrepasan el valor de referencia recomendado por la EPA (<1).

Palabras Clave: Analitos, Arsénico, Cadmio, Estudio Toxicológico



ABSTRACT

In the parishes of Guanando and La Providencia Canton Guano of the province of Chimborazo, this research was designed a toxicological study of the sources of water supply of the parishes above, because it is near the Tungurahua volcano and can present the presence of heavy metals such as arsenic and cadmium.

He was the identification of these sources and obtained water samples for analysis that allowed identifying the analytes such as arsenic and cadmium that are present in these areas, all analyses were performed in the laboratory CESTTA of the Polytechnic School of Chimborazo. You apply a descriptive statistic was obtained where the average and variance, in turn obtained data were compared with permissible levels given current Ecuadorian regulations TULSMA Book VI, annex I, the Norma NTE - INEN 2011, and with international standards, coming to the conclusion that the arsenic and cadmium are within permissible levels given by these standards.

Was calculated daily dose average lifetime (DDVP), to which the inhabitants of these areas, as well as also the coefficient of danger (CP), are exposed allowing you to determine the population of these parishes Guanando and La Providencia, not found in toxicological risk since the results of the risk coefficient (CP), do not exceed the reference value recommended by the EPA (<1).

Keywords: Analites, arsenic, cadmium, toxicological study.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Valores guía para Arsénico establecidos por Agencias Reguladoras.....	31
Tabla 2.	Límites Máximos Tolerables de Cadmio para Adultos.....	43
Tabla 3.	Requerimientos Especiales para toma de muestras.....	56
Tabla 4.	Cuantificación de Arsénico en la Vertiente Guanando realizado durante los meses de Julio a Octubre del 2013.....	64
Tabla 5.	Cuantificación de Arsénico en la Vertiente La Providencia realizado durante los meses de Julio a Octubre del 2013.....	65
Tabla 6.	Cuantificación de Cadmio en la Vertiente Guanando realizado durante los meses de Julio a Octubre del 2013.....	66
Tabla 7.	Cuantificación de Cadmio en la Vertiente La Providencia realizado durante los meses de Julio a Octubre del 2013.....	67
Tabla 8.	Valores obtenidos del Cálculo de la Dosis Promedio Vitalicia y del Coeficiente de Peligro de las Parroquias Guanando y La Providencia.....	70



LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Unidad Potabilizadora de Agua en Faridpur.....	38
Figura 2.	División Política del Cantón Guano.....	54
Figura 3.	División Parroquial del Cantón Guano.....	55
Figura 4.	Planta de Agua Potable de la Parroquia Guanando.....	81
Figura 5.	Planta de Agua Potable de la Parroquia La Providencia.....	81
Figura 6.	Espectrofotómetro de Absorción Atómica.....	82
Figura 7.	Estándares de As y Cd.....	82

ABREVIATURAS Y SIMBOLOGIA

Ac.	Ácido
APHA	American Public Health Association
As	Arsénico
ATSDR	Agencia para sustancia tóxicas y el registro de enfermedades
C	Concentración de exposición en un tiempo determinado
CESTTA	Centro de servicios técnicos y transferencia tecnológica ambiental
Cd	Cadmio
D	Duración de la exposición
DL	Dosis letal
DRf	Dosis de referencia
EPA	Agencia de protección ambiental
EDTA	Ácido etilendiaminotetraacético
F	Factor de dilución
FE	Frecuencia de la exposición
g	Gramo
H	Hora
I	Ingestión del tóxico
IP	Índice de peligro
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
kg	Kilogramo
L	Litro
LMP	Límite máximo permisible
M	Molar



MCL	Nivel máximo de contaminante
mg	Miligramo
Min	Minuto
mL	Mililitro
msnm	metros sobre el nivel del mar
N	Número de repeticiones
nm	Nanómetro
NMP	Número más probable
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
OMS	Organización Mundial de la Salud
P	Plástico
PC	Masa corporal
ppm	Partes por millón
S	Segundo
t	Tiempo
TULSMA	Texto unificado de legislación secundaria medio ambiental
µg	Microgramos
USEPA	Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos
V	Volumen
Va	Volumen de aforo
Vc	Velocidad de contacto
Vo	Volumen inicial
%	Porcentaje
S ²	Varianza



TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	¡Error! Marcador no definido.
ABSTRACT	¡Error! Marcador no definido.
LISTA DE TABLAS.....	¡Error! Marcador no definido.
LISTA DE FIGURAS.....	1
ABREVIATURAS Y SIMBOLOGIA	1
TABLA DECONTENIDOS	3
CLAUSULAS DE RESPONSABILIDAD Y RECONOCIMIENTO DEL DERECHO DE LA UNIVERSIDAD PARA PUBLICAR EL DOCUMENTO.....	11
DERECHOS DELAUTOR.....	13
AGRADECIMIENTOS.....	14
DEDICATORIA.....	15
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	16
CAPITULO II: OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.....	18
CAPITULO III: REVISION BIBLIOGRAFICA.....	20
3.1 EL AGUA.....	20
3.2 TOXICOLOGIA AMBIENTAL.....	21
3.2.1 Calidad del Agua para Consumo Humano.....	21
3.3 EL ARSENICO.....	22
3.3.1 El As y sus estados en la Naturaleza.....	23
3.3.2 Ciclo del Arsénico.....	24
3.3.3 Metabolismo del Arsénico.....	25
3.3.3.1 Excreción del Arsénico.....	27
3.3.3.2 Farmacocinética del Arsénico.....	28
3.3.4 Toxicología del Arsénico.....	29
3.3.5 Signos y Síntomas.....	32
3.3.6 Prevención y Control.....	33



3.3.7 Diagnostico.....	35
3.3.8 Tratamiento.....	36
3.4 REGULACIONES DE AGUA POTABLE POR ENTIDADES INTERNACIONALES PARA EL ARSENICO.....	36
3.4.1 Métodos disponibles para la eliminación del As del agua potable.....	37
3.5 EL CADMIO.....	39
3.5.1 El Cd y sus estados en la naturaleza.....	40
3.5.2 Metabolismo del Cadmio.....	40
3.5.3 Farmacocinética del Cadmio.....	41
3.5.4 Toxicología del Cadmio.....	42
3.5.5 Signos y Síntomas.....	44
3.5.6 Tratamiento.....	45
3.5.7 Prevención y Control.....	45
3.5.8 Toxicidad del Cadmio.....	47
3.5.8.1 Intoxicación Aguda.....	47
3.5.8.2 Intoxicación Crónica.....	48
3.6 REGULACIONES DE AGUA POTABLE POR ENTIDADES INTERNACIONALES PARA EL CADMIO.....	48
3.7 EVALUACION DEL RIESGO TOXICOLOGICO.....	49
3.7.1 Exposición.....	49
3.7.1.1 Tiempo de Exposición.....	49
3.7.1.2 Exposiciones Crónicas.....	50
3.7.1.3 Exposiciones Subcrónicas.....	50
3.7.1.4 Exposiciones Agudas.....	50
3.7.2 Ruta de Exposición.....	50
3.7.2.1 Dosis.....	50
3.7.3 DESTINO DE LOS TOXICOS DENTRO DEL ORGANISMO.....	51



3.7.4 BLANCO.....	52
3.7.5 EFECTO TOXICO O RESPUESTA TOXICA.....	52
CAPITULO IV: MATERIALES Y METODOS.....	53
4.1 LUGAR DE INVESTIGACION.....	53
4.1.1 Cantón Guano.....	53
4.1.1.1 Situación Geográfica.....	53
4.2 PLAN DE MUESTREO.....	56
4.2.1 Actividades de Campo.....	56
4.3 Actividades de Laboratorio.....	57
4.3.1 Análisis para la Determinación de As y Cd-EPA 200.7.....	57
4.3.2 Metodología de la Evaluación Toxicológica de Riesgos.....	57
4.4 METODO ESTADISTICO.....	60
CAPITULO V: RESULTADOS.....	62
5.1 EVALUACION DEL RIESGO TOXICOLOGICO DE LAS PARROQUIAS GUANANDO Y LA PROVIDENCIA.....	62
5.1.1 Identificación de los peligros o identificación del riesgo.....	62
5.1.1.1 Determinación de la concentración de los analitos tóxicos en las fuentes de abastecimiento de agua.....	63
5.1.1.2 Plan de monitoreo en las parroquias Guanando y la Providencia para la cuantificación de As y Cd.....	63
5.2 ANALISIS ESTADISTICO - PRUEBA z.....	68
5.2.1 Calculo estadístico de As en las Parroquias Guanando y La Providencia.....	68
5.2.2 Calculo estadístico de Cd en las Parroquias Guanando y La Providencia.....	68
5.2.3 Evaluación de la Exposición.....	69
5.2.3.1 Tiempo de la exposición de la población en las Parroquias Guanando y La Providencia.....	69
5.2.3.2 Ruta de Exposición.....	69
5.2.3.3 Dosis Diaria Promedio Vitalicia.....	69



CAPITULO VI: DISCUSION.....	71
6.1 IDENTIFICACION DE LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE LAS PARROQUIAS GUANANDO Y LA PROVIDENCIA.....	71
CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	76
ANEXOS.....	80



Universidad de Cuenca
Cláusula de derechos de autor

Yo, *Cristian Javier Lozano Hernández*, autor de la tesis "Estudio Toxicológico de la Contaminación por Cadmio y Arsénico en las fuentes de abastecimiento de agua expuestas a la ceniza del Volcán Tungurahua en las parroquias Guanando y La Providencia del Cantón Guano de la Provincia de Chimborazo", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Magister en Toxicología Industrial y Ambiental. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 10 de Julio del 2014



Cristian Javier Lozano Hernández

C.I: 0603609314



Universidad de Cuenca
Cláusula de propiedad intelectual

Yo, Cristian Javier Lozano Hernández, autor de la tesis “Estudio toxicológico de la contaminación por Cadmio y Arsénico en las fuentes de abastecimiento de agua expuestas a la ceniza del Volcán Tungurahua en las parroquias Guanando y la Providencia del Cantón Guano provincia de Chimborazo.”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 10 de Julio del 2014



Cristian Javier Lozano Hernández

C.I: 0603609314



DERECHOS DE AUTOR

El autor/es del presente trabajo y la Universidad de Cuenca, otorgan el permiso de usar esta tesis para fines de consulta y como referencia científico-técnica de apoyo. Cualquier otro uso estará sometido a las Leyes de Propiedad Intelectual Vigentes. Otro tipo de permisos para usar el material de este documento, deberán ser obtenidos del autor expresamente.

Cuenca, a 10, Julio, 2014.



AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento en especial a Dios y al PhD. Robert Cazar, por su apoyo incondicional y enseñanza durante este tiempo para realizar este trabajo de investigación, de igual manera al Centro de Estudios Ambientales CEA de la Universidad de Cuenca por su gran acogida en la iniciativa de la apertura de esta maestría.

Cristian Javier Lozano Hernández.



DEDICATORIA

A Dios por guiarme todos los días y acompañarme en todo momento.

A mis padres Herminio Lozano y Martha Hernández, a mi hermano Geovanny Lozano, por que supieron darme todo su apoyo y ejemplos para poder superarme.

A mi querida sobrina María José Lozano Ruiz, que supo contagiarme de su alegría y carisma, y que gracias a todo eso, hoy puedo ver alcanzado a cumplir otra meta.

Sin el apoyo de todos ustedes no hubiese sido posible conseguir esta meta.

Cristian Javier Lozano Hernández.



CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

El agua dulce es un recurso renovable pero la disponibilidad de agua fresca limpia, y no contaminada, está disminuyendo de manera constante, En muchas partes del mundo la demanda del recurso agua ya excede el abastecimiento.

Para nadie es desconocido que la contaminación del agua que es el recurso más vital para sobrevivir los seres vivos, es uno de los problemas ambientales que más preocupa, lo cual afecta a toda la humanidad de una u otra forma, acompañada de los fenómenos globales como son: el cambio climático, el efecto invernadero, el desgaste de la capa de ozono, entre otros, y aquellos locales propios de las ciudades, cantones, parroquias, según sus características particulares de fenómenos locales como es el caso de la erosión del suelo, erupción volcánica, deforestación, etc, los que de alguna manera afecta la calidad de vida de las personas.

Al hablar de polución suele interpretarse como si fuera la consecuencia de la actividad humana, y a menudo se cae en el fácil simplismo de confundir industria y polución, con ello se olvida que no solo las industrias son polucionantes y que también hay polución de origen natural.

La ubicación de las fuentes de abastecimiento de agua de las Parroquias en estudio de la investigación se encuentran cercanas al Volcán Tungurahua, pudiendo presentar la presencia de Arsénico y Cadmio en las fuentes de abastecimiento de agua, porque la ceniza llega a estas zonas.



Hasta la actualidad no existen estudios realizados de Arsénico y Cadmio en las fuentes de abastecimiento de agua y no se encuentran en literatura. Por ello, esta investigación propone conocer si el agua que las Parroquias utilizan tienen altos contenido de Arsénico y Cadmio mediante el análisis químico del agua de las fuentes para determinar si sus resultados se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por la normativa vigente ecuatoriana, y si existe un riesgo toxicológico para la población de estas Parroquias: Guanando y La Providencia, pertenecientes al Cantón Guano de la provincia de Chimborazo. (www.contaminacionambiental.com/elagua/htm.).

En 2010, el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios reevaluó los efectos del arsénico en la salud humana, a la luz de los nuevos datos disponibles. Una de sus conclusiones fue que en el caso de algunas regiones del mundo donde las concentraciones de arsénico inorgánico en el agua de bebida superan los 50-100 $\mu\text{g/L}$ hay cierta evidencia de efectos adversos. (FAO/OMS, 2010.).

Según Organizaciones internacionales el agua potable pues debe contener un máximo de 1 mg/L Cadmio, y de un máximo de 0,01 mg/L de Arsénico. (FAO/OMS, 2010.).

Las concentraciones máximas permisibles según la normativa ecuatoriana vigente TULSMA, reporta un valor límite de Arsénico de 0,5 mg/m^3 , y un valor límite de Cadmio de 0,05 mg/m^3 . (TULSMA, Libro VI, Anexo I.).



CAPITULO II: OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

OBJETIVO GENERAL:

- Realizar un estudio toxicológico de la contaminación de metales pesados, arsénico y cadmio, en las fuentes de abastecimiento de agua expuestas a la ceniza del Volcán Tungurahua de las parroquias: Guanando y La Providencia, pertenecientes al cantón Guano provincia de Chimborazo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- ✓ Desarrollar un plan de monitoreo
- ✓ Determinar la concentración de Arsénico y Cadmio en las muestras de agua obtenidas de las fuentes de abastecimiento.
- ✓ Comparar los resultados obtenidos con los valores establecidos en las normativas nacionales e internacionales vigentes, y establecer si existe riesgo de toxicidad para el ser humano.
- ✓ Establecer alternativas para controlar la contaminación de las fuentes en caso de encontrarse valores anormales de Arsénico y Cadmio.



HIPOTESIS

Si la concentración de Arsénico y Cadmio en las fuentes de abastecimiento de agua expuestas a la ceniza del Volcán Tungurahua es superior a los niveles establecidos por las normativas vigentes ecuatorianas e internacionales USEPA, OMS, la población expuesta a estos metales pesados podría existir un riesgo de toxicidad.



CAPITULO III: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 EL AGUA

El agua, al mismo tiempo que constituye el líquido más abundante en la Tierra, representa el recurso natural más importante y la base de toda forma de vida. (Vickie, 1999).

El agua puede ser considerada como un recurso renovable cuando se controla su uso, tratamiento, liberación, y circulación. De lo contrario es un recurso no renovable en una localidad determinada. (www.abalnearios.com/elagua/index.htm)

Aproximadamente el 97% del agua del planeta es agua salina, en mares y océanos; apenas 3% del agua total es agua dulce (no salina) y de esa cantidad un poco más de dos terceras partes se encuentra congelada en los glaciares y casquetes helados en los polos y altas montañas. (Vickie, 1999).

Desde los mares, ríos, lagos, e incluso desde los seres vivos, se evapora agua constantemente hacia la atmósfera, hasta que llega un momento en que esa agua se precipita de nuevo hacia el suelo. De esta agua que cae, una parte se evapora, otra se escurre por la superficie del terreno hasta los ríos, lagos, lagunas y océanos, y el resto se infiltra en las capas de la tierra, y fluye también subterráneamente hacia ríos, lagos y océanos. Esta agua subterránea es la que utilizan los vegetales, los cuales la devuelven después de nuevo a la atmósfera.

De esta manera la naturaleza garantiza que el agua no se pierda y pueda volver siempre a ser utilizada por los seres vivos. (Vickie, 1999).



3.2 TOXICOLOGIA AMBIENTAL

Estudia los daños causados al organismo por la exposición a los tóxicos que se encuentran en el medio ambiente.

El objetivo principal de la toxicología ambiental es evaluar los impactos que producen en la salud pública la exposición de la población a los tóxicos ambientales presentes en un sitio contaminado. (Universidad de Arizona 2001).

3.2.1 Calidad del agua para consumo humano

La calidad de cualquier masa de agua, superficial o subterránea depende tanto de factores naturales como de la acción humana.

Sin la acción humana, la calidad del agua vendría determinada por la erosión del substrato mineral, los procesos atmosféricos de evapotranspiración y sedimentación de lodos y sales, la lixiviación natural de la materia orgánica y los nutrientes del suelo por los factores hidrológicos, y los procesos biológicos en el medio acuático que pueden alterar la composición física y química del agua (ONU-DAES, 2014).

Por lo general, la calidad del agua se determina comparando las características físicas, químicas y biológicas de una muestra de agua con directrices de calidad o estándares. En el caso del agua potable, estas normas se establecen para asegurar un suministro de agua limpia y saludable para el consumo humano y, de este modo, proteger la salud de las personas. Estas normas se basan en niveles de toxicidad científicamente aceptables tanto para los humanos como para los organismos acuáticos.

El deterioro de la calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial con el crecimiento de la población humana, la expansión de la actividad industrial y agrícola y la amenaza del cambio climático como causa de importantes alteraciones en el ciclo hidrológico. (ONU-DAES, 2014).

A nivel global, el principal problema relacionado con la calidad del agua lo constituye la eutrofización, que es el resultado de un aumento de los niveles de nutrientes (generalmente fósforo y nitrógeno) y afecta sustancialmente a los usos del agua. Las mayores fuentes de nutrientes provienen de la escorrentía agrícola y de las aguas residuales domésticas (también fuente de contaminación microbiana), de efluentes industriales y emisiones a la atmósfera procedentes de la combustión de combustibles fósiles y de los incendios forestales. Los lagos y los pantanos son especialmente susceptibles a los impactos negativos de la eutrofización debido a su complejo dinamismo, con un periodo de residencia del agua relativamente largo, y al hecho de que concentran los contaminantes procedentes de las cuencas de drenaje.

3.3 EL ARSENICO

Arsénico (As). Tercer elemento del grupo V A de la tabla periódica; tiene un número atómico de 33, peso atómico de 74.92 g/mol, y valencias de 3 y 5. Su abundancia promedio en la corteza terrestre es 1.8 ppm; en suelos de 5.5 a 13 ppm; en corrientes de agua menor a 2 µg/L, y en aguas subterráneas es generalmente menor 100 µg/L. (Beltrán, 2012).

El arsénico fue descubierto en 1250 por Alberto Magno (aunque se cree que se empleó mucho antes como adición al bronce para dar un acabado lustroso).



Paracelso (1493-1541) lo introdujo en la ciencia médica. (www.ucm.es/crismine/Ambiente/htm).

El arsénico se presenta en forma natural en rocas sedimentarias y rocas volcánicas (forma el 0,00005% de la corteza terrestre) y también en aguas geotermales. En la naturaleza se presenta con mayor frecuencia en forma de sulfuro de arsénico (oropimente, As_2S_3) y arsenopirita (FeAsS), encontrándose éstos, generalmente, como impurezas en depósitos mineros. (<http://www.miliarium.ArsenicoNatural.asp>).

3.3.1 El Arsénico y sus estados en la naturaleza

Al arsénico se encuentra natural como mineral de cobalto, aunque por lo general está en la superficie de las rocas combinado con azufre o metales como Mn, Fe, Co, Ni, Ag o Sn. El principal mineral del arsénico es el FeAsS (arsenopirita, pilo); otros arseniuros metálicos son los minerales FeAs_2 (lollingita), NiAs (nicolita), CoAsS (cobalto brillante), NiAsS (gersdorfitita) y CoAs_2 (esfaltita). Los arseniatos y tioarseniatos naturales son comunes y la mayor parte de los minerales de sulfuro contienen arsénico. (<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/as.htm>).

El arsénico elemental tiene pocos usos. Es uno de los pocos minerales disponibles con un 99.99 % de pureza. En el estado sólido se ha empleado ampliamente en los materiales láser GaAs y como agente acelerador en la manufactura de varios aparatos. El óxido de arsénico se utiliza en la elaboración de vidrio. Los sulfuros de arsénico se usan como pigmentos y en juegos pirotécnicos. El arseniato de hidrógeno se emplea en medicina, así como otros compuestos de arsénico. La mayor parte de la aplicación medicinal de los compuestos de arsénico se basa en su naturaleza tóxica. (<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/as.htm>).



3.3.2 Ciclo del Arsénico

El Arsénico es lanzado a la Atmósfera en cantidades significativas desde plantas generadoras de energía por quemado de carbón; siendo estas emisiones en estado gaseoso debidas a los bajos puntos de ebullición que presenta el arsénico y sus derivados.

Por lo tanto, también se producirá este tipo de fenómeno en procesos de carácter vulcanístico y en proceso de quemado de vegetación. A temperatura ambiente el Arsénico se libera a la atmósfera como compuestos volátiles, producto de la metilación biológica.

Las entradas estimadas en la atmosfera procedentes de las actividades industriales, son elevadas si las comparamos con los procedentes de la minería, o con el arsénico contenido en el polvo volcánico o continental. (ASTDR, 2003).

En medios reductores como son los sedimentos, el arseniato es reducido a arsenito y este mediante metilación y oxidación es transformado en compuestos tales como los ácidos metil y dimetilarsonico. Diversos microorganismos como hongos, bacterias y levaduras, transforman estos ácidos anteriores en derivados metilados de la arsina, trimetilarcina o dimetilarcina, que pueden emitirse a la atmósfera.

Los gramos de arsénico se pierden anualmente en la atmósfera desde la superficie terrestre debido a estos procesos. El arsénico comercial se obtiene por recuperación y purificación de gases ricos en el elemento, procedentes de los procesos de extracción y fundición de minerales de cobre, zinc y plomo. La cantidad finalmente recuperada presenta únicamente un pequeño porcentaje del contenido total de arsénico en estos minerales. (ASTDR, 2003).



3.3.3 Metabolismo del Arsénico

Una vez que ingresa el Arsénico al organismo por vía digestiva, inhalada o cutánea permanece brevemente en la sangre para distribuirse mayoritariamente en el hígado, riñones, tracto digestivo pero una porción del arsénico es eliminado por la orina en forma inorgánica, se considera que la principal respuesta definitiva del organismo es inactivarlo mediante mecanismos de mutilación.

El arsénico se absorbe en el torrente sanguíneo a nivel celular y se incorpora en

- glóbulos blancos,
- glóbulos rojos, y
- otras células que reducen el arsenato a arsenito (Winski y Carter 1995; Wang et al. 1996).

Es necesario que el arsenato (As V) se reduzca a arsenito (As III) antes que pueda ocurrir la metilación. Esta reacción requiere del glutatión (Miller et al. 2002; Vahter et al. 1983).

Una parte del arsenito (As III) es metilada en el hígado por la transferencia enzimática del grupo metilo de la S-adenosilmetionina que forma el arsenato de metilo (MMA V) y el arsenato de dimetilo (DMA V) (Aposhian et al. 2004; Styblo et al. 2002).

Los metabolitos resultantes de este proceso pueden ser excretados con mayor facilidad. Se considera que la metilación es la principal vía de desintoxicación de arsénico, aunque recientemente diversos estudios proponen otros mecanismos alternos de desintoxicación. Por ejemplo, se sabe que varias especies animales



carecen de mecanismos de metilación del arsénico pero son capaces de excretar arsénico inorgánico. (Vahter 2002).

Esto sugiere que puede haber en los mamíferos otros mecanismos importantes de desintoxicación de arsénico. Otras investigaciones sugieren la existencia de mecanismos adicionales de desintoxicación, como

- defensas antioxidantes,
- resistencia a la apoptosis, y
- transporte (Yoshida et al. 2004).

Otras investigaciones del metabolismo del arsénico sugieren que la metilación del arsénico inorgánico puede ser una ruta de intoxicación más que de desintoxicación. Más aún, sugieren que los metabolitos metilados de arsénico trivalente, especialmente el ácido monometilarsenoso (MMA III) y el ácido dimetilarsenoso (DMA III), "rara vez son capaces de interactuar con objetivos celulares como proteínas y ADN" (Kitchin, 2001).

Aparentemente, la eficiencia de la metilación en los seres humanos decrece a dosis altas de arsénico. Los patrones observados en especies de arsénico metilado (en orina) son similares entre hermanos y, entre padres y hermanos. Esto sugiere que la metilación del arsénico está ligada genéticamente (Chung et al. 2002).

Cuando una persona sobrepasa la capacidad de metilación del hígado, y sigue expuesta a niveles altos de arsénico inorgánico, se observa un incremento en la retención del arsénico en los tejidos blandos.



3.3.3.1 Excreción del Arsénico

El arsénico se excreta en la orina principalmente a través de los riñones. Los seres humanos excretan una mezcla de arsénico inorgánico, arsénico monometilado y arsénico dimetilado (pero no de arsénico trimetilado). Los metabolitos pentavalentes MMA V y DMA V son menos tóxicos que los arsenitos o los arseniatos (Marafante et al. 1987).

- Cerca del 50% del arsénico excretado en la orina humana es arsénico dimetilado, el 25% es arsénico monometilado, y el resto es arsénico inorgánico (Buchet et al. 1981).
- No obstante, puede haber variaciones individuales en estos porcentajes. Según los datos de la Encuesta Nacional sobre Salud y Nutrición 2003-2004 (descritos también en la sección "Evaluación clínica, exámenes de laboratorio" de este documento), conforme aumentan los niveles urinarios de arsénico total, el porcentaje de las formas metiladas también aumenta. A niveles menores de arsénico total en orina, predomina el arsénico inorgánico (Caldwell et al. 2008).
- El llamado arsénico de los peces no se biotransforma in vivo, y en cambio es excretado rápidamente, sin cambios, en la orina.
- Después de habersele administrado a voluntarios humanos una sola inyección intravenosa de arsénico inorgánico trivalente As (III), se observó que la mayoría del arsénico fue excretado por vía urinaria en 2 días. Sin embargo, se registraron pequeñas cantidades de arsénico en la orina hasta 2 semanas después. (ATSDR 2007).



- Se estima que la vida media del "arsénico" en los seres humanos es menor a 20 horas, desalojado completamente por vía urinaria en aproximadamente 48 horas. (ATSDR 2007).
- Dado que el arsénico se desaloja rápidamente de la sangre, los niveles sanguíneos de este elemento pueden ser normales aunque los niveles en la orina se mantengan en un nivel elevado. (ATSDR 2007).

Otras vías menos importantes de eliminación del arsénico inorgánico son

- descamación de la piel,
- incorporación en cabello y uñas,
- heces, y
- sudor.

Excreción.- Se elimina mediante la vía urinaria entre un (90 – 95%), y mediante salival, por heces, y leche en un (5 – 10%). (García, 2006).

3.3.3.2 Farmacocinética del Arsénico

Absorción.- La absorción se puede realizar por tres vías que son: digestiva (inorgánicos: son más fáciles y además son cáusticos; orgánicos: errática.), inhalatoria (es escasa para los compuestos inorgánicos excepto para la arsina.), cutánea (es pobre para todos los compuestos). (García, 2006).

Distribución.- Se une a la hemoglobina y se distribuye por todo el organismo, especialmente: hígado, riñón, corazón, pelos, saliva, y piel. La distribución es lenta y



tarda 24 horas aproximadamente en lograr un equilibrio, en piel esto se logra recién a los 14 días. (García, 2006).

Biotransformación.- Los compuestos inorgánicos se hidrolizan espontáneamente y liberan Arsénico trivalente y pentavalente. El Arsénico trivalente se oxida en el organismo a Arsénico pentavalente, y este se elimina en su mayor parte en forma de anhídrido o ácido arsénico por la orina. Una pequeña fracción se metila y se elimina como ácido cacodílico que es muy poco tóxico. (García, 2006).

Excreción.- Se elimina mediante la vía urinaria entre un (90 – 95%), y mediante salival, por heces, y leche en un (5 – 10%). (García, 2006).

3.3.4 Toxicología del Arsénico

✓ Intoxicación aguda

La intoxicación aguda por vía digestiva se manifiesta en forma de un cuadro gastrointestinal de tipo coleriforme 30 a 300 ppb (dolores abdominales, vómitos, diarreas profusas y deshidratación). Las intoxicaciones graves pueden desencadenar un cuadro de shock secundario a la vasodilatación y a la depresión miocárdica.

También pueden aparecer alteraciones del sistema nervioso central en forma de letargia, delirio, convulsiones y coma. Una poli neuropatía sensitivo-motora puede aparecer como secuela de la intoxicación aguda.

En los supervivientes, pueden aparecer las líneas de Mees en las uñas, unos 60000 ppb en agua o comida pueden llegar a ocasionar la muerte. (Salazar, 2010).



✓ Intoxicación crónica

Las manifestaciones clínicas ocasionadas por la exposición crónica a compuestos arsenicales es multisistémica. Las alteraciones cutáneas van desde eritema, pápulas, vesículas, úlceras, hiperqueratosis palmo-plantar, verrugas, hiperpigmentación (melanodermia arsenical) y epitelomas (espinocelulares y basocelulares).

El arsénico es irritante para las vías respiratorias altas, puede ocasionar perforación del tabique nasal y es cancerígeno pulmonar. Puede ocasionar alteraciones digestivas en forma de náuseas, vómitos, diarreas y dolores abdominales de tipo cólico. Pueden desencadenar lesiones degenerativas hepáticas que pueden desencadenar una cirrosis, también es un cancerígeno hepático.

Las alteraciones neurológicas se manifiestan en forma de una polineuropatía sensitivo-motora que afecta a las extremidades inferiores. Pueden producir lesiones cardíacas y vasculopatías periféricas (de tipo gangrenoso). El arsénico puede ocasionar una hipoplasia de tipo medular, causando disminución de glóbulos rojos y blancos. (www.who.int/mediacentre/factsheets/fs372/es/)

TABLA 1. VALORES GUIA PARA ARSENICO ESTABLECIDO POR AGENCIAS REGULADORAS

País / Organización	Nivel de contaminación máximo (µg/L)
Argentina (Código Alimentario)	50
Canadá	25
USA(USEPA, Agencia de Protección Ambiental de USA)	Nivel Máximo de Contaminación 50 *
Francia	50
República Federal de Alemania	40 **
Organización Mundial de la Salud (OMS)	Valor Guía Provisional 10
Unión Europea	Concentración Máxima Admisible (MAC) 10***
India	50
China	50
Taiwán	50

* USEPA ha estado considerando disminuir los valores a 0,002 - 0,020 mg/L

** Este valor disminuyó a 0,010 mg/L en 1996

*** La Directiva 98/83/CE ha reducido el nivel máximo a 10 µg/L.

La OMS en las Guías de Calidad para el Agua Potable 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 por el Foro de Evaluación de Riesgo de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) en 1986 sobre evaluación de riesgo. La USEPA estimó el riesgo de contraer cáncer de piel a partir de un importante estudio epidemiológico realizado en Taiwán donde se observaron mas de 40.000 personas que consumían agua proveniente de pozos artesianos con altos contenidos de



arsénico, en un de rango de 10 a 1820 $\mu\text{g/L}$, estando los valores más frecuentes entre 400 a 600 $\mu\text{g/L}$. (OMS, Guías de Calidad de Agua Potable).

La Agencia de Protección Ambiental de Estados (USEPA) clasifica al arsénico como cancerígeno en el grupo A debido a la evidencia de sus efectos adversos sobre la salud. La exposición a 0,05 mg/L puede causar 31,33 casos de cáncer de piel por cada 1.000 habitantes.

El Centro Internacional de Investigaciones sobre cáncer ha clasificado al arsénico en el grupo I porque tienen pruebas suficientes de la carcinogenicidad para seres humanos. (<http://www.miliarium.com/Bibliografia/Arsenico/Toxicidad.asp>).

En 2010, el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios reevaluó los efectos del arsénico en la salud humana, a la luz de los nuevos datos disponibles. Una de sus conclusiones fue que en el caso de algunas regiones del mundo donde las concentraciones de arsénico inorgánico en el agua de bebida superan los 50-100 $\mu\text{g/L}$ hay cierta evidencia de efectos adversos. En otras regiones, donde las concentraciones de arsénico en el agua son elevadas aunque no tanto (10-50 $\mu\text{g/L}$) el Comité concluyó que, si bien existe el riesgo de efectos adversos, estos presentarían niveles de incidencia bajos, que serían difíciles de detectar dentro de un estudio epidemiológico. (FAO, OMS. 2010).

3.3.5 Signos y Síntomas

Los síntomas inmediatos de intoxicación aguda por arsénico incluyen vómitos, dolor abdominal y diarrea. Seguidamente, aparecen otros efectos, como entumecimiento u



hormigueo en las manos y los pies o calambres musculares y, en casos extremos, la muerte. (Beltrán, 2012).

Los primeros síntomas de la exposición prolongada a altos niveles de arsénico inorgánico (por ejemplo, a través del consumo de agua y alimentos contaminados) se observan generalmente en la piel e incluyen cambios de pigmentación, lesiones cutáneas y durezas y callosidades en las palmas de las manos y las plantas de los pies (hiperqueratosis). Estos efectos se producen tras una exposición mínima de aproximadamente cinco años y pueden ser precursores de cáncer de piel. (Cornejo, 2007).

Entre los efectos tóxicos por consumo de agua con altos contenidos de arsénico pueden mencionarse: hiperpigmentación, hiperqueratosis, enfermedad del Black Foot (escoriaciones oscuras en los pies) gangrena y cáncer de piel, cirrosis, hemoangioendotelioma, problemas de reabsorción renal, inhibición de la síntesis de la porfirina, afectación a los glóbulos blancos, abortos espontáneos, neuropatía periférica, parálisis, pérdida de la audición, inhibición de algunas enzimas, inhibición de la fosforilación oxidativa y de la reparación del ADN, daños al intestino. (Salazar, 2010).

3.3.6 Prevención y Control

La intervención más importante en las comunidades afectadas consiste en prevenir que se prolongue la exposición al arsénico implantando un sistema seguro de abastecimiento de agua potable destinada al consumo como agua de bebida. Existen diversas opciones para reducir los niveles de arsénico en el agua potable que se describen a continuación:



- Sustituir las fuentes de abastecimiento con elevados niveles de arsénico, por ejemplo aguas subterráneas, por fuentes de abastecimiento con bajos niveles de arsénico y microbiológicamente seguras, por ejemplo agua de lluvia o aguas superficiales debidamente tratadas. Una opción es reservar el agua con bajos niveles de arsénico para beber, cocinar y regar y utilizar el agua con mayor concentración para otros fines, por ejemplo para bañarse o lavar la ropa.
- Discriminar entre las fuentes de abastecimiento con altos niveles de arsénico y las fuentes con bajos niveles de arsénico. Por ejemplo, analizar los niveles de arsénico en el agua y pintar los pozos canalizados o las bombas de mano de diferentes colores. Esto puede ser una solución eficaz y económica para reducir rápidamente los niveles de exposición, siempre que vaya acompañada de la oportuna campaña educativa.
- Mezclar agua con bajos niveles de arsénico con agua de concentración más elevada a fin de conseguir más cantidad de agua con un nivel de concentración aceptable.
- Instalar sistemas de eliminación del arsénico ya sea de manera centralizada o a nivel doméstico y asegurar que el arsénico eliminado se someta a un tratamiento de residuos adecuado. Entre las tecnologías que permiten eliminar el arsénico destacan la oxidación, la coagulación-precipitación, la absorción, el intercambio de iones y diversas técnicas de membranas. Existe un número cada vez mayor de opciones eficaces y económicas para eliminar el arsénico en las fuentes de abastecimiento de agua a pequeña escala o de tipo doméstico. (Ortiz, s/a).



3.3.7 Diagnóstico

La contaminación por este elemento se diagnostica por medio de mediciones de arsénico en orina, cabellos o uñas. El tratamiento consiste de lavados estomacales y la oportuna administración del antídoto llamado dimercaprol.

El diagnóstico es fundamentalmente clínico, y a través de la anamnesis. El diagnóstico de certeza lo da la determinación de arsénico en muestras biológicas. Los valores permitidos de arsénico son:

- Hasta 3 $\mu\text{g}/\text{dL}$ en sangre.
- Hasta 200 $\mu\text{g}/\text{L}$ de orina, o 10 $\mu\text{g}/\text{g}$ de creatinina en orina, o hasta 50 μg en caso de pacientes expuestos habitualmente.
- Hasta 5 mg/Kg en cabello o 1 ppm en las faneras (pelo, uñas, etc.).

No obstante, las siguientes pruebas complementarias pueden ser orientativas, e indicativas de la gravedad:

1. Electrocardiograma: se observa prolongación del segmento QT, y cambios en la onda T y el segmento ST.
2. Hemograma y recuento plaquetario
3. Ionograma.
4. Determinación del equilibrio ácido - base.
5. Pruebas de función hepática (niveles de transaminasas) y pruebas de función renal. (Salazar, 2010).



3.3.8 Tratamiento

No hay un tratamiento eficaz para la toxicidad por arsénico. Cada vez hay más evidencia de que el tratamiento con el fármaco quelante 2,3-dimercapto-1-propanesulfonato (DMPS) puede beneficiar a algunas personas intoxicadas con arsénico. Una alternativa es el succímero. El tratamiento con quelantes consiste en colocar una sustancia química o un agente quelante en el torrente circulatorio. El agente quelante se combina con una toxina para ayudar a eliminarlo del cuerpo. Los agentes quelantes se pueden administrar en comprimidos o por inyección.

Si no se indica la quelación o este método no resulta eficaz, se diseña un tratamiento para ayudar a controlar y aliviar los síntomas. (Cornejo, 2007).

Dosis Oral de referencia (Oral DRf) = 0.010 – 0.020 mg/L*día. (USEPA).

3.4 REGULACIONES DE AGUA POTABLE POR ENTIDADES INTERNACIONALES PARA EL ARSÉNICO.

En 1974, el Congreso aprobó la Ley de Agua Potable Segura. Esta ley requiere que la EPA determine el nivel de contaminantes en el agua potable.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), establece una norma como (MCL) para el arsénico en el 0,01 mg/L ó 0.02 ppm para la calidad del agua potable que son el punto de referencia internacional para el establecimiento de estándares y seguridad del agua potable, y para evitar los diferentes problemas de salud que pueden causar al ser humano. (OMS, 2010).



Según la Norma INEN 1108, el valor límite máximo permisible de arsénico en agua potable debe ser de 0.01 mg/L, ha establecido este nivel de protección, basado en la mejor ciencia disponible para prevenir posibles problemas de salud. (NORMA INEN, 2011).

Según la Norma TULSMA, para aguas utilizadas para consumo humano y uso doméstico con un tratamiento convencional, ha establecido un nivel máximo permisible de Arsénico en el agua de 0.05 mg/L, para asegurar un nivel de protección, basado en la mejor ciencia disponible para prevenir posibles problemas de salud en los seres humanos. (TULSMA, LIBRO VI, ANEXO I).

3.4.1 Métodos disponibles para la eliminación del arsénico del agua potable.

Se pueden clasificar en:

- Métodos de Coagulación/Filtración
- Métodos de Alúmina activada
- Métodos Ablandamiento con cal
- Métodos de Ósmosis inversa
- Métodos de Intercambio iónico
- Métodos de Nanofiltración

En la selección del método de tratamiento de agua se considera la concentración del arsénico y otros contaminantes presentes en el agua por las interferencias que causan en el tratamiento. (Roberto, 2007).

Los métodos de los tres primeros grupos engloban distintas técnicas según se trate de aplicaciones industriales o de sistemas domésticos.

Los métodos basados en la tecnología de membranas no suelen considerarse adecuados para países en desarrollo, pero pueden representar una alternativa viable para instalaciones de tamaño medio. (Roberto, 2007).

Otro método el más empleado para eliminar arsénico en agua potable por países del mundo que han tenido este problema de presencia de arsénico en el agua potable es el método de utilizar la luz solar y aire donde la radiación ultravioleta de la luz solar cataliza la oxidación del arsénico disuelto a la forma menos tóxica, la cual puede ser precipitada en forma de arsenato férrico y posteriormente eliminada. Este método parece una solución barata para uno de los problemas más graves con los que se enfrentan algunas de las poblaciones más pobres de nuestro planeta. (Yong, 2006).



Figura N° 1. Unidad Potabilizadora de Agua en Faridpur utilizando luz solar y filtración. (Reduce la concentración de arsénico de 220 $\mu\text{g/L}$ a 42 $\mu\text{g/L}$).



3.5 EL CADMIO

Elemento químico relativamente raro, símbolo Cd, número atómico 48; Peso atómico de 112.40 y densidad relativa de 8.65 a 20°C (68°F). Su punto de fusión de 320.9°C (610°F) y de ebullición de 765°C (1410°F), El cadmio es miembro del grupo IIB (zinc, cadmio y mercurio) en la tabla periódica, Es un metal dúctil, de color blanco argentino con un ligero matiz azulado, El cadmio es divalente en todos sus compuestos estables y su ion es incoloro. (Ortiz, s/a).

El descubridor de este metal fue Fredrich Stromeyer en el año de 1867, el cadmio es un metal raro y poco abundante, en la corteza terrestre, el cadmio natural que suele encontrarse en el ambiente como un mineral se encuentra combinado con otros elementos como oxígeno, cloro, azufre, (sulfato y sulfito de cadmio). Como el resto de compuestos que se encuentran en bajas proporciones, en cualquier ecosistema las reservas suelen ser muy bajas, y se ha demostrado que en estos casos, pequeñas variaciones puedan alterar el equilibrio de los ciclos biogeoquímicos de estos compuestos. (Capo, 2007).

El cadmio no se encuentra en estado libre en la naturaleza, y la greenockita (sulfuro de cadmio), único mineral de cadmio, no es una fuente comercial de metal. En el pasado, un uso comercial importante del cadmio fue como cubierta electro depositada sobre hierro o acero para protegerlos contra la corrosión. La segunda aplicación es en baterías de níquel-cadmio y la tercera como reactivo químico y pigmento. Los compuestos de cadmio se emplean como estabilizadores de plásticos y en la producción de cadmio fosforado. Por su gran capacidad de absorber neutrones, en especial el isótopo 113, se usa en barras de control y recubrimiento de reactores nucleares. (Rosal, 2007).



3.5.1 El Cadmio y sus estados en la naturaleza

El Cadmio es un constituyente natural en algunas rocas, encontrándose en forma de sulfuro, carbonato y óxido de Cadmio. De esta forma son prácticamente insolubles en agua, pero en la naturaleza se pueden transformar a compuestos más solubles, como nitratos y haluros. Según un informe, elaborado por Organización Mundial de la Salud (WHO, 1992), el lavado de las rocas enriquece con cantidades significativas de Cadmio a los ambientes acuáticos, estimándose la entrada anual en 15.000 Toneladas (Ton). (WHO, 1992).

3.5.2 Metabolismo del Cadmio

El cadmio ingresa al organismo por inhalación y por ingestión y sus órganos diana son el riñón y el pulmón; por tanto se deduce que sus efectos tóxicos van a generar patología en estos órganos, en efecto, el Cadmio a dosis venenosas produce neumonitis, disfunción renal con proteinuria y enfisema. Las principales interacciones del cadmio con la bioquímica y el metabolismo del organismo son las siguientes:

1. Unión del cadmio a grupos tiol de proteínas intracelulares con la consiguiente inhibición de la acción enzimática de enzimas dependientes de SH.
 2. Desplazamiento del zinc en los enlaces sulfuro con alteración enzimática y de sus procesos bioquímicos.
- En el pulmón el cadmio inhibe la alfa 1 antitripsina, un inhibidor de proteasa sérico. En el pulmón la alfa 1 antitripsina se encarga de inhibir la elastasa producida por leucocitos en las reacciones inflamatorias; por lo tanto, la falta



de acción de la alfa 1 antitripsina permite la libre acción de la elastasa lo que genera rigidez en el pulmón y enfisema pulmonar. (García, 2006).

- El Cadmio actúa sobre el lactato deshidrogenasa lo que genera alteraciones en la producción de energía anaerobia. (lactato deshidrogenasa cataliza la reducción de piruvato a lactato). (García, 2006).
- El Cadmio también inhibe la anhidrasa carbónica con lo que impide la conversión de anhídrido carbónico en bicarbonato y por tanto genera acidosis en sangre. Este efecto también es diurético. (García, 2006).
- Finalmente el cadmio inhibe la hidroxilación de la vitamina D y por tanto su activación, esto trae como consecuencias osteoporosis, osteomalasia e hipocalcemia. (García, 2006).

3.5.3 Farmacocinética del Cadmio

La tasa de absorción de Cadmio por vía oral es baja (3-5%). Esta sustancia se acumula en los riñones y el hígado, con una semivida biológica de 10 a 30 años. El órgano diana es el riñón, por lo que puede provocar daños tubulares y nefropatía cádmica. También puede causar una desmineralización ósea por trastornos del metabolismo del calcio. Una exposición prolongada y/o elevada al cadmio puede evolucionar hacia una disminución de la filtración glomerular y, finalmente, hacia una insuficiencia renal.

El contenido corporal de cadmio se incrementa con la edad hasta los 50 años. En los adultos, la carga corporal de cadmio puede llegar a 40 miligramos, dependiendo de la situación geográfica y sobretodo del hábito de fumar, pues en un fumador la carga alcanza el doble. (Beltrán, 2012).



En condiciones “normales” de distribución, el cadmio absorbido se excreta principalmente por orina y en menor cantidad con la bilis, aunque pequeñas porciones puedan eliminarse con sudor, pelo y aún secreción gastrointestinal, pero el Cd que sale con heces en su mayor parte es el que no se absorbió. (Cornejo, 2007).

3.5.4 Toxicología del Cadmio

Una intoxicación aguda por Cadmio, puede ser causada por una exposición severa; los síntomas son equivalentes a los de la gripe, en 24 horas se desarrolla generalmente un edema pulmonar agudo, el que alcanza su máximo en 3 días; si no sobreviene la muerte por asfixia, el problema puede resolverse en una semana. (Ortiz, s/a).

Una intoxicación crónica, se debe a la consecuencia más seria del envenenamiento por cadmio, el cáncer, los efectos crónicos que primero se observan son daños en los riñones. Se piensa que el cadmio es también causante de enfisemas pulmonares y enfermedades de los huesos como: (osteomalacia y osteoporosis). (Rosal, 2007).

Los problemas óseos han sido observados en Japón, donde se les denominó como la enfermedad itai-itai (por consumo de arroz contaminado con cadmio; causa irrigación). Otros problemas incluyen anemia, decoloración de los dientes, y pérdida del sentido del olfato (anosmia). (Pasquali, Ricardo, 2003).

Poblaciones adultas del medio urbano pueden retener hasta 1,77 mg/día Cadmio; así, en personas de 50 años hay cantidades acumuladas de hasta 32 mg; de ellos, la corteza renal contiene aproximadamente 50 mg/g Cadmio, en un rango que varía entre 15 y 85. (Manaham, S.1998).

TABLA N° 2.- LIMITES MAXIMOS TOLERABLES DE CADMIO PARA ADULTOS

Ingesta	Diaria	10-50 microgramos (el cuerpo sólo absorbe entre el 5 y 10 %)
	Semanal	400-500 mg (adulto)
Inhalación	Exposición crónica a polvo	< 0,01 mg/m ³ (8 horas diarias)
	Exposición crónica a humo de óxido de Cd	< 0,05 mg/m ³ (8 horas diarias)

A raíz de este problema se han desarrollado más estudios sobre este metal, con la finalidad de establecer claramente la relación entre contaminación y toxicidad humana, y se ha llegado a conocer el mecanismo de acción, patologías que puede producir, estableciéndose también, a través de la FAO los niveles admisibles de ingestión (Marzo, 1998), limitándose los niveles de emisión industrial, niveles de concentración en aire, agua, suelo y alimentos. Los niveles límites máximos permisibles establecidos por la FAO en el agua es de 0.01 µg/L, excepto en áreas contaminadas. (FAO, 1998).

Sin embargo, parte del Cadmio atmosférico acaba siendo depositado en la superficie del agua, y representa el 23% del Cadmio contaminante que llega al agua, es decir, es la vía principal de entrada de Cadmio en agua.

Los fumadores pueden absorber cantidades comparables a la ingestión diaria normal con la dieta (IDD), es decir, inhalan 0,1 a 0,2 mg de Cadmio por cigarrillo, con una absorción aproximada del 50%.

En 1972 la FAO/OMS fijan como valor de Cadmio que puede ingerirse semanalmente por un adulto es de 400-500 µg. Se considera una dosis mortal la de 100 µg/dL. La cantidad en agua de bebida debe ser, según la OMS inferior a 5 µg/L.



Este valor se contempla en nuestra legislación en el RD 1138/1990, y se ratifica en una nueva propuesta Directiva en el 2000.

La OSHA (Occupational Safety and Health Administration) limita a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de cadmio en lugares de trabajo y se recomienda que los trabajadores respiren la menor cantidad de cadmio posible. La dosis fijada por la OMS de $400 \mu\text{g}$ /semanales es muy baja, y esto indica el carácter acumulativo que presenta el Cadmio.

Por ejemplo, en un neonato, la cantidad total de cadmio en el organismo es de $1 \mu\text{g}$, pero en la edad adulta podemos acumular $30\text{-}40 \mu\text{g}$, sin llegar a aparecer manifestaciones de toxicidad.

3.5.5 Signos y Síntomas

La intoxicación aguda por cadmio se debe a altas concentraciones de cadmio, es posible que no haya signos (síntomas) de aviso inmediato de irritación. Más típicamente, los primeros síntomas pueden aparecer en el transcurso de 4 a 10 horas, aunque la tos y la dificultad para respirar pueden progresar rápidamente hacia edema pulmonar. (Cornejo, 2007).

La toxicidad crónica por cadmio tiende a ser progresiva. La exposición repetida a concentraciones más bajas de cadmio puede dar por resultado intoxicación crónica que se caracteriza por lesión pulmonar irreversible. También es probable que ocurra daño de los túbulos renales debido a la incapacidad de los riñones para filtrar con eficacia el cadmio. El cadmio en los riñones, que hace que se excrete calcio en exceso en lugar de absorberlo, puede afectar la mineralización de los huesos. Los datos clínicos de efectos acumulativos del cadmio por lo general no aparecen sino hasta bastante después de la exposición. (Capo, 2007).



3.5.6 Tratamiento

El Cadmio se sabe que produce procesos oxidativos, por tanto, una ingesta adecuada de antioxidantes podría contrarrestar los efectos de los radicales libres formados, es decir, se podría neutralizar el metal cadmio.

Un tratamiento que se utiliza para la intoxicación por cadmio es el versenato, compuesto que corresponde al ácido etilén-diamino-tetraacético-cálcico disódico (EDTA Ca Na₂), agente quelante potente para administración endovenosa, se administra a la dosis de 20-30 mg/Kg/dosis, por infusión endovenosa, a pasar en 2 horas. Repetir cada 24 horas por periodos de 5 días. El empleo de dosis altas puede causar nefrotoxicidad tubular y glomerular. Algunos efectos secundarios, en general raros y transitorios, son malestar general, fatiga, fiebre, lagrimación y congestión nasal, hipotensión y depleción de otros metales. (ATSDR, 2003).

3.5.7 Prevención y Control

Para ayudar a reducir sus probabilidades de desarrollar toxicidad por cadmio, siga estos pasos:

- No fume. El tabaquismo es la fuente más importante de ingesta de cadmio para la mayoría de las personas.
- Identifique las posibles fuentes de cadmio en su hogar, en el trabajo y en los lugares donde juegan los niños.
- Si tiene una huerta, evalúe la posibilidad de realizar pruebas a los fertilizantes para ver si tienen cadmio. Se ha descubierto que algunos fertilizantes tienen un



alto nivel de cadmio, que luego se puede concentrar en las verduras. Evite el uso de fungicidas que contengan cadmio cerca de las huertas de verduras.

- Coma una dieta equilibrada que le proporcione suficiente calcio, hierro, proteínas y zinc.
- Haga un inventario de los productos que contienen cadmio en su hogar (p. ej., fungicidas, baterías, metales, tintura de tela, barniz de cerámico o vidrio, fertilizantes) y guárdelos adecuadamente (lejos del alcance de los niños). Controle la etiqueta para ver si tienen cadmio o llame al fabricante para averiguar si el producto contiene cadmio.
- Mantenga las baterías de níquel-cadmio fuera del alcance de los niños pequeños y averigüe cómo puede desecharlas correctamente en la oficina local de eliminación de desechos.
- Lea las instrucciones para usar en forma segura los fungicidas o los fertilizantes que contienen cadmio en el césped o en el jardín.
- Si tiene un pozo de agua, someta el agua a pruebas para detectar la presencia de cadmio.
- Si hay cadmio en el agua del pozo, considere la posibilidad de usar agua envasada para beber o de instalar un filtro de agua que elimine el cadmio y otros metales del agua potable.
- Si trabaja con cadmio, consulte al encargado de salud y seguridad ocupacional para averiguar si podría estar llevando cadmio a su casa en la piel, el cabello, las herramientas o en otros objetos.
- No permita que los niños pequeños jueguen cerca de basureros peligrosos.



3.5.8 Toxicidad del Cadmio

El cadmio es un metal pesado que produce efectos tóxicos en los organismos vivos, aun en concentraciones muy pequeñas.

La exposición al cadmio en los humanos se produce generalmente a través de dos fuentes principales: la primera es la vía oral (por agua e ingestión de alimentos contaminados.) La segunda vía es por inhalación. La población fumadora es la más expuesta al cadmio, porque los cigarrillos lo contienen.

Algunos órganos vitales son blancos de la toxicidad del cadmio. En organismos sobreexpuestos, el cadmio ocasiona graves enfermedades al actuar sobre dichos órganos. Existen actualmente algunas descripciones de posibles mecanismos de toxicidad del cadmio. Sin embargo, la implicación real que este elemento tiene como agente tóxico ha sido poco estudiada, por lo que se considera que debe ser monitoreado. Es de gran importancia llevar a cabo estudios para profundizar en los factores de riesgo y así realizar medidas preventivas en la población. (Rosal, 2007).

3.5.8.1 Intoxicación Aguda

En caso de una ingestión masiva o aguda por cadmio, los síntomas derivados se relacionan con procesos irritativos locales como: náuseas, vómitos, dolor abdominal, hipersalivación, y dificultad de tragar.

La dosis tóxica aguda moderada de cadmio se produce con 15 a 30 mg de ingesta de cadmio. (García, 2006).



3.5.8.2 Intoxicación Crónica

En caso de una ingestión crónica por cadmio, los síntomas que presentan son los siguientes: nefrotoxicidad, hepatotoxicidad, osteomalacia, hipertensión, carcinogénesis, fertilidad, y neurotoxicidad.

La concentración crítica de Cadmio es de 200 mg. La dosis letal de cadmio es de 500 mg. (García, 2006).

Dosis Oral de Referencia (Oral DRf) = $0.01 \text{ mg/m}^3 * \text{día}$ (IRIS, USEPA).

3.6. REGULACIONES DE AGUA POTABLE POR ENTIDADES INTERNACIONALES PARA EL CADMIO.

En 1974, el Congreso aprobó la Ley de Agua Potable Segura. Esta ley requiere que la EPA determine el nivel de contaminantes en el agua potable a la que no tiene efectos adversos para la salud y no son probables de ocurrir.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), establece una norma como (MCL) para el Cadmio en el 0,003 mg/L ó 0.003 ppm para la calidad del agua potable que son el punto de referencia internacional para el establecimiento de estándares y seguridad del agua potable, y para evitar los diferentes problemas de salud que pueden causar al ser humano. (OMS, 2010).

Según la Norma INEN 1108, el valor límite máximo permisible de Cadmio en agua potable debe ser de 0.003 mg/L, ha establecido este nivel de protección, para prevenir posibles problemas de salud. (NORMA INEN, 2011).



Según la Norma TULSMA, para aguas utilizadas para consumo humano y uso doméstico con un tratamiento convencional, ha establecido un nivel máximo permisible de Cadmio en el agua es de un valor de 0.001 mg/L, para asegurar un nivel de protección, para prevenir posibles problemas de salud en los seres humanos. (TULSMA, LIBRO VI, ANEXO I).

La FDA ha determinado que los niveles de cadmio en el agua potable no deben exceder 0.005 mg/L.

3.7. EVALUACION DEL RIESGO TOXICOLOGICO

La evaluación de riesgo toxicológico (ER) es un proceso cuyo objetivo final es estimar la probabilidad de que un X produzca efectos tóxicos en el organismo.

La Evaluación del Riesgo es una herramienta de predicción cuantitativa de los efectos adversos sobre la salud humana causados por compuestos químicos presentes en el medio ambiente. (Capo, 2007).

3.7.1 Exposición

Es el contacto de una población o individuo con un agente químico o físico. La magnitud de la exposición se determina midiendo o estimando la cantidad (concentración) del agente que está presente en la superficie de contacto durante un período específico.

3.7.1.1 Tiempo de Exposición

Para el propósito de toxicología ambiental las exposiciones se clasifican de acuerdo a la magnitud del período de exposición en:



3.7.1.2 Exposiciones Crónicas

Son las exposiciones que duran entre 10% y el 100% del período de vida.

3.7.1.3 Exposiciones Subcrónicas

Son exposiciones de corta duración, menores que el 10% del período de vida.

3.7.1.4 Exposiciones Agudas

Son exposiciones de un día o menos y que suceden en un solo evento.

3.7.2 Ruta de Exposición

Es el camino que sigue un agente químico en el ambiente desde el lugar donde se emite hasta que llega a establecer contacto con la población o individuo expuesto.

3.7.2.1 Dosis

Cantidad de xenobiótico que produce una respuesta determinada. ("todos los remedios son venenos y la diferencia entre remedio y veneno es la dosis correcta", Paracelso). (Capo, 2007).

Dosis de exposición: la cantidad de sustancia a la que se expone el organismo y el tiempo durante el que estuvo expuesto.

El efecto adverso o daño es una función de la dosis y de las condiciones de exposición (vía exposición, duración y frecuencia de las exposiciones, tasa de contacto con el medio contaminado, etc.).



3.7.3 Destino de los tóxicos dentro del organismo

- **Absorción.-** Proceso de entrada o transporte, activo o pasivo, de una sustancia al interior de un organismo; puede tener lugar a través de diferentes vías, con lleva el concepto de atravesar membranas celulares.
- **Distribución.-** Fase del tránsito de una sustancia en el organismo, desde la absorción hasta alcanzar el equilibrio de concentraciones; si se produce almacenamiento, puede suceder una redistribución antes de la eliminación.
- **Bioacumulación.-** Es el proceso de acumulación de sustancias químicas en organismos vivos de forma que estos alcanzan concentraciones más elevadas que las concentraciones en el medio ambiente o en los alimentos.
- **Biotransformación.-** Cualquier transformación química de un xenobiótico producida por un organismo vivo, cuyo propósito es reducir la toxicidad de éste o facilitar su excreción.
- **Detoxificación.-** Reducir la toxicidad (aumento de la solubilidad en agua para favorecer su excreción). Se reduce la cantidad de tóxico y el tiempo de permanencia.
- **Bioactivación.-** La bioactivación es el conjunto de reacciones metabólicas que incrementan la toxicidad de los xenobióticos, o sea que los metabolitos resultantes de la biotransformación de la sustancia absorbida son más tóxicos que el compuesto original.



- Excreción.- La excreción es un proceso fisiológico, que le permite al organismo eliminar sustancias de desecho, manteniendo la composición de la sangre y otros fluidos corporales en equilibrio. (Capo, 2007).

3.7.4 BLANCO

La parte del organismo que recibe el impacto del tóxico y presenta la respuesta biológica correspondiente a la exposición. Se puede referir a una molécula (ADN, proteína, etc.), a una célula, a un órgano (hígado, riñón), al individuo, subpoblación o población. (Rosal, 2007).

3.7.5 EFECTO TOXICO O RESPUESTA TOXICA

Cualquier desviación del funcionamiento normal del organismo que ha sido producida por la exposición a sustancias tóxicas.

Los efectos tóxicos pueden ser:

A) LUGAR

- 1) Locales
- 2) Sistémicos

B) DURACION

- 1) Reversibles
- 2) Irreversibles

Según el tipo de efecto tóxico, los tóxicos se clasifican en:

- 1) cancerígenos
- 2) no-cancerígenos
- 3) Tóxicos para el desarrollo



CAPITULO IV: MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 LUGAR DE INVESTIGACION

La presente investigación se llevó a cabo en:

La Parroquia Guanando perteneciente al cantón Guano provincia de Chimborazo.

La Parroquia La Providencia perteneciente al cantón Guano provincia de Chimborazo.

4.1.1 Cantón Guano

4.1.1.1 Situación Geográfica

PAIS : Ecuador

PROVINCIA: Chimborazo

CANTÓN : Guano

El Cantón Guano está ubicado al norte de la provincia de Chimborazo entre las coordenadas 01°36'10" de grados de latitud sur, 81° de latitud oeste, 0°6'30" del meridiano de Quito, 0°11'30" de latitud occidental.

Guano, está ubicado en la Provincia de Chimborazo, a una altura de 2683 metros de la cabecera cantonal. Está limitado al norte, con varios cantones de la Provincia de Tungurahua; al sur; con el Cantón Riobamba; al este con el rio Chambo; y al oeste, con el Cantón Riobamba y una pequeña parte de de la Provincia de Bolívar.

DIVISION POLITICA DEL CANTON GUANO

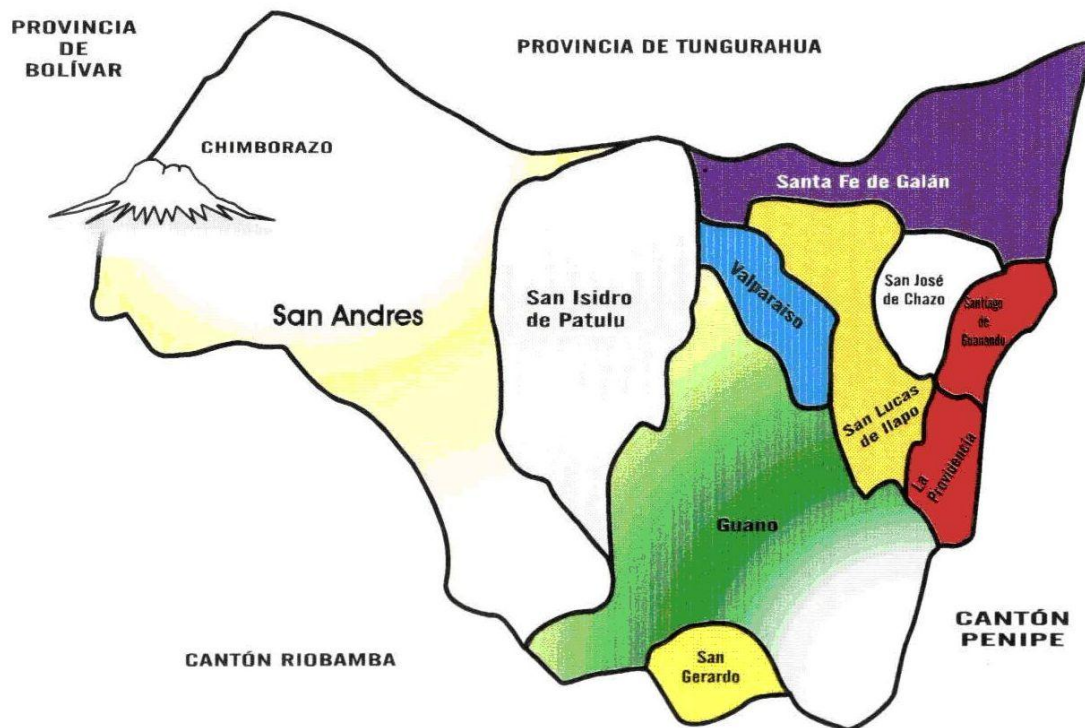
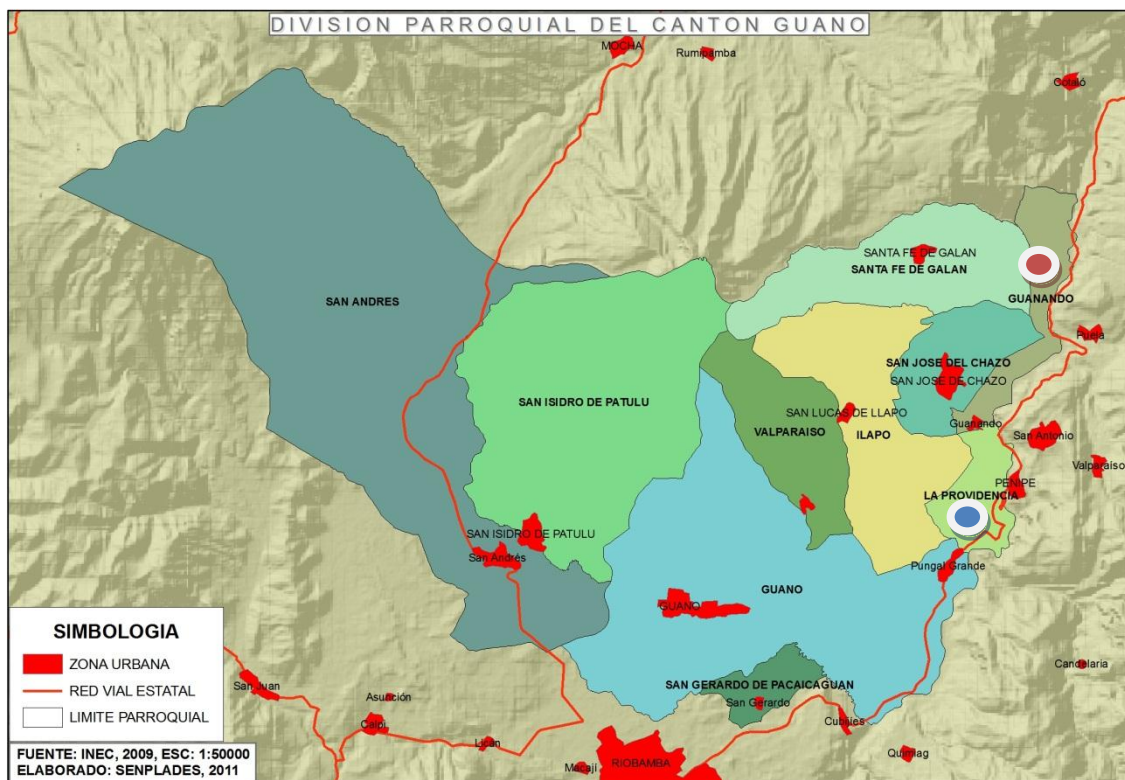


Figura N° 2. Mapa Político del Cantón Guano

El Cantón Guano esta formado por 11 parroquias: 2 parroquias Urbanas: La Matriz, y el Rosario; y 9 parroquias rurales: Guanando, La Providencia, San Andres, San Gerardo, San Isidro, San José de Chazo, Santa Fe de Galán, Ilapo, y Valparaíso

Posee una superficie de 473.3 Km² que representa el 7% de territorio de la provincia de Chimborazo.

El Cantón Guano posee un clima templado con estaciones marcadas: seca, lluviosa, y verano frio; presentando presentando una temperatura media de 16°C.



 **Fuente La Providencia**

 **Fuente Guanando**

Figura N° 3. División Parroquial del Cantón Guano

Las fuentes de abastecimiento de agua, son vertientes naturales que se encuentran a una altura de 3200 metros de la cabecera cantonal del Cantón Guano, es conducida a través de tubería y por gravedad hacia una planta de tratamiento convencional, que consta de un filtro de grava, y una cloración, está ubicada a una altura de 2950 metros de la cabecera cantonal.

Los análisis de las muestras obtenidas de agua para Arsénico y Cadmio fueron realizados en el Centro de servicios técnicos y transferencia tecnológica y ambiental (CESTTA) de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

4.2 PLAN DE MUESTREO

4.2.1 Actividades de Campo

Se realizó una planificación del muestreo tomando en cuenta el acceso y la factibilidad de la toma de muestra.

Se identificó la zona: fuentes de abastecimiento de agua de la Parroquia Guanando y La Providencia, una vez en el lugar se tomaron las coordenadas del punto de muestreo.

Guanando: 17 M 799186 / 9844412 UTM

La Providencia: 17 M 798573 / 9847425 UTM

Las muestras fueron tomadas según requerimientos del Estándar Methods (2012) para su análisis, 2 muestras cada semana, los análisis se realizaron por duplicado.

Tabla N° 3. REQUERIMIENTOS ESPECIALES PARA TOMA DE MUESTRAS

Determinación	Envase	Volumen Mínimo de la Muestra (mL)	Conservación	Tiempo Máximo de Conservación
Arsénico	Plástico	100	2 mL/L de HNO ₃	6 Meses
Cadmio	Plástico	100	2 mL/L de HNO ₃	6 Meses

Las muestras fueron transportadas al Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo CESTTA para su análisis.



4.3 ACTIVIDADES DE LABORATORIO

4.3.1 Análisis para la Determinación de Arsénico y Cadmio

4.3.1.1 Determinación de Arsénico y Cadmio – EPA 200.7

Para la determinación de Arsénico y Cadmio por este método debemos tener en cuenta los siguientes aspectos como son:

Definición

Es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de la muestra de agua.

Interferencias

Puede medirse en cualquier muestra libre de residuos y privada de sedimentos gruesos.

Principio

La Espectrofotometría de absorción atómica dirige un rayo luminoso a través de la llama a un monocromador y sobre un detector que mide la cantidad de luz absorbida por el elemento atomizado en la llama. (Método EPA 200.7).

Equipos y materiales

- Matraces volumétricos, clase A
- Embudo
- Probeta clase A
- Erlenmeyer
- Pera de Succión



- Papel Filtro
- Argón
- Tubos de Ensayo 16 X 150 mm

Patrones de Referencia y Reactivos

- ✓ Estándar de Arsénico y Cadmio 1000 mg/L
- ✓ Ácido Nítrico Suprapur
- ✓ Ácido Clorhídrico Suprapur
- ✓ Agua Tipo HPLC

Realización

- ❖ Realizar un blanco con agua tipo HPLC acidulada.
- ❖ Homogenizar la muestra.
- ❖ Transferir un volumen adecuado a un Erlenmeyer (250mL Para agua de consumo).
- ❖ Anadir 2 mL de HNO₃ (1:1) y 1 mL de HCl (1:1)
- ❖ Colocar muestra en una plancha de calentamiento a 85 C y evaporar hasta que la muestra quede reducida a un volumen de 25 mL.
- ❖ Transferir el contenido de la muestra a un balón de 50 mL y aforar con agua tipo HPLC.
- ❖ Luego se procedió a leer la muestra para obtener el valor resultante.

Tratamiento de Resultados.

$$C = (L \times V_a \times f) / 1000 \times V_o$$

C= Concentración del metal muestra

L= Lectura del equipo µg/L

V_a= Volumen de aforo

f= Factor de dilución

Vo= Volumen inicial de la muestra

El resultado de la medida es directa, en caso de realizar diluciones se multiplica por el factor.

Se realizó un plan de monitoreo para evaluar Arsénico y Cadmio presentes en las fuentes de abastecimiento de agua de la zona, se tomaron 8 muestras cada mes de las vertientes naturales de las Parroquias Guanando y La Providencia y se analizaron por duplicado, según el siguiente calendario.

JULIO 2013						
L	M	M	J	V	S	D
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				
AGOSTO 2013						
L	M	M	J	V	S	D
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	

SEPTIEMBRE 2013						
L	M	M	J	V	S	D
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30						
OCTUBRE 2013						
L	M	M	J	V	S	D
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31			

4.3.2 METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN TOXICOLÓGICA DE RIESGOS.

Está estructurada en cuatro etapas:

- Identificación de los Peligros o Identificación del Riesgo:

Determinación de los efectos adversos

- Evaluación de la Exposición:

Determinación de las concentraciones/dosis a las cuales la población está expuesta



Con los datos obtenidos se calculó la DDPV (Dosis diaria promedio vitalicia) a la que están expuestos los habitantes de estas parroquias.

$$DDPV = CT \times Tc \times B \times Texp / Wc \times Tv$$

DDPV= Dosis diaria promedio vitalicia

CT = Concentración del toxico

Tc = Tasa de contacto

B = Biodisponibilidad del toxico

Texp = Tiempo de exposición

Wc = Masa corporal

Tv = Tiempo de vida

4.4 METODO ESTADISTICO.

Para la realización de esta investigación se utilizó un diseño completamente al azar, el análisis estadístico de los datos de la concentración de Arsénico y Cadmio durante los 4 meses de muestreo se utilizó una prueba z- normal (paquete estadístico Microsoft Excel 2010) para detectar si existe diferencia significativa en la concentración de Arsénico y Cadmio entre la Parroquia Guanando y La Providencia.



CAPITULO V: RESULTADOS

5.1 EVALUACION DEL RIESGO TOXICOLOGICO DE LAS PARROQUIAS GUANADO Y LA PROVIDENCIA.

5.1.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS O IDENTIFICACIÓN DEL RIESGO.

La exposición a altos niveles de arsénico inorgánico puede deberse a diversas causas, como el consumo de agua contaminada o su uso para la preparación de comidas, para el riego de cultivos alimentarios y para procesos industriales, así como al consumo de tabaco y de alimentos contaminados.

La exposición prolongada al arsénico inorgánico, principalmente a través del consumo de agua contaminada puede causar intoxicación crónica.

Las personas que fuman tabaco también pueden estar expuestas al arsénico inorgánico que contiene el tabaco natural, ya que las plantas de tabaco absorben esencialmente el arsénico presente de forma natural en el suelo. Por otro lado, el riesgo de exposición al arsénico era mucho mayor hace unos años, cuando había costumbre de tratarlas con insecticidas a base de arseniato de plomo.

Además de cáncer de piel, la exposición prolongada al arsénico también puede causar cáncer de vejiga y de pulmón. El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC) ha clasificado el arsénico y los compuestos de arsénico como cancerígenos para los seres humanos; el arsénico presente en el agua de bebida también ha sido incluido en esa categoría por el CIIC.

La dosis tóxica del Arsénico es del orden de 2 mg por kilogramo de peso, es decir, para un hombre de 60 kg, una dosis tóxica de 0,120 g. En casos de intoxicación lenta, se localiza el arsénico en los huesos y faneras, (especialmente en el cabello).



5.1.1.1 DETERMINACION DE LA CONCENTRACION DE LOS ANALITOS TOXICOS EN LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA.

5.1.1.2 PLAN DE MONITOREO EN LAS PARROQUIAS GUANANDO Y LA PROVIDENCIA PARA LA CUANTIFICACION DE ARSÉNICO Y CADMIO.

Tabla N° 4. Cuantificación de As en la vertiente de Guanando realizado durante los meses de Julio a Octubre del 2013.

Fecha de Muestreo	A ₁ (mg/L)	A ₂ (mg/L)	Reporte Informe (mg/L)
01/07/2013	0,004	0,005	<0,005
06/07/2013	0,005	0,004	<0,005
09/07/2013	0,005	0,0049	<0,005
14/07/2013	0,0048	0,005	<0,005
17/07/2013	0,0049	0,0049	<0,005
20/07/2013	0,0048	0,0049	<0,005
25/07/2013	0,005	0,0048	<0,005
30/07/2013	0,0046	0,004	<0,005
03/08/2013	0,0049	0,0047	<0,005
07/08/2013	0,004	0,0049	<0,005
11/08/2013	0,0048	0,004	<0,005
13/08/2013	0,004	0,0045	<0,005
17/08/2013	0,0047	0,0049	<0,005
21/08/2013	0,0046	0,0047	<0,005
25/08/2013	0,0048	0,0048	<0,005
30/08/2013	0,004	0,0048	<0,005
03/09/2013	0,0047	0,0049	<0,005
07/09/2013	0,004	0,0045	<0,005
11/09/2013	0,0045	0,0048	<0,005
15/09/2013	0,0047	0,0049	<0,005
17/09/2013	0,0045	0,0048	<0,005
21/09/2013	0,0043	0,0046	<0,005
25/09/2013	0,0044	0,0048	<0,005
29/09/2013	0,004	0,004	<0,005
02/10/2013	0,004	0,0043	<0,005
05/10/2013	0,0045	0,0042	<0,005
08/10/2013	0,0045	0,0043	<0,005
11/10/2013	0,0041	0,0045	<0,005
16/10/2013	0,0043	0,0047	<0,005
19/10/2013	0,0045	0,0047	<0,005
24/10/2013	0,0046	0,0045	<0,005
29/10/2013	0,0045	0,005	<0,005

A₁: Fuente Vertiente Natural Guanando

A₂: Salida de la Planta de Tratamiento

Tabla N° 5. Cuantificación de As en la Vertiente de La Providencia realizado durante los meses de Julio a Octubre del 2013.

Fecha de Muestreo	A ₁ (mg/L)	A ₂ (mg/L)	Reporte Informe (mg/L)
01/07/2013	0,004	0,0045	<0,005
06/07/2013	0,0038	0,0042	<0,005
09/07/2013	0,0035	0,004	<0,005
14/07/2013	0,0043	0,0038	<0,005
17/07/2013	0,0046	0,004	<0,005
20/07/2013	0,0042	0,0045	<0,005
25/07/2013	0,0039	0,0044	<0,005
30/07/2013	0,0046	0,004	<0,005
03/08/2013	0,0045	0,0038	<0,005
07/08/2013	0,0041	0,004	<0,005
11/08/2013	0,0044	0,0048	<0,005
13/08/2013	0,004	0,0045	<0,005
17/08/2013	0,0045	0,0041	<0,005
21/08/2013	0,0038	0,0046	<0,005
25/08/2013	0,0042	0,0045	<0,005
30/08/2013	0,0048	0,004	<0,005
03/09/2013	0,0043	0,0048	<0,005
07/09/2013	0,004	0,0045	<0,005
11/09/2013	0,0046	0,0038	<0,005
15/09/2013	0,004	0,0042	<0,005
17/09/2013	0,0046	0,004	<0,005
21/09/2013	0,004	0,0045	<0,005
25/09/2013	0,0048	0,0046	<0,005
29/09/2013	0,0041	0,0045	<0,005
02/10/2013	0,0039	0,0043	<0,005
05/10/2013	0,0045	0,0045	<0,005
08/10/2013	0,004	0,004	<0,005
11/10/2013	0,0048	0,004	<0,005
16/10/2013	0,005	0,0035	<0,005
19/10/2013	0,004	0,0045	<0,005
24/10/2013	0,0042	0,0048	<0,005
29/10/2013	0,004	0,0042	<0,005

Sitio de estudio	Guanando	La Providencia
Media	0,00456	0,00425

Tabla N° 6. Cuantificación de Cd en la vertiente de Guanando realizado durante los meses de Julio a Octubre del 2013.

Fecha de Muestreo	A ₁ (mg/L)	A ₂ (mg/L)	Reporte Informe (mg/L)
01/07/2013	0,03	0,035	<0,04
06/07/2013	0,032	0,036	<0,04
09/07/2013	0,037	0,038	<0,04
14/07/2013	0,03	0,03	<0,04
17/07/2013	0,03	0,028	<0,04
20/07/2013	0,027	0,034	<0,04
25/07/2013	0,029	0,036	<0,04
30/07/2013	0,025	0,035	<0,04
03/08/2013	0,034	0,03	<0,04
07/08/2013	0,032	0,035	<0,04
11/08/2013	0,028	0,032	<0,04
13/08/2013	0,029	0,034	<0,04
17/08/2013	0,035	0,037	<0,04
21/08/2013	0,032	0,034	<0,04
25/08/2013	0,03	0,035	<0,04
30/08/2013	0,036	0,032	<0,04
03/09/2013	0,03	0,04	<0,04
07/09/2013	0,028	0,035	<0,04
11/09/2013	0,03	0,038	<0,04
15/09/2013	0,034	0,036	<0,04
17/09/2013	0,04	0,035	<0,04
21/09/2013	0,036	0,034	<0,04
25/09/2013	0,038	0,04	<0,04
29/09/2013	0,035	0,032	<0,04
02/10/2013	0,03	0,04	<0,04
05/10/2013	0,035	0,038	<0,04
08/10/2013	0,036	0,03	<0,04
11/10/2013	0,03	0,028	<0,04
16/10/2013	0,034	0,03	<0,04
19/10/2013	0,038	0,032	<0,04
24/10/2013	0,03	0,035	<0,04
29/10/2013	0,03	0,038	<0,04

A₁: Fuente Vertiente Natural La Providencia

A₂: Salida de la Planta de Tratamiento

Tabla N° 7. Cuantificación de Cd en la Vertiente La Providencia realizado durante los meses de Julio a Octubre del 2013.

Fecha de Muestreo	A ₁ (mg/L)	A ₂ (mg/L)	Reporte Informe (mg/L)
01/07/2013	0,034	0,032	<0,04
06/07/2013	0,03	0,028	<0,04
09/07/2013	0,035	0,031	<0,04
14/07/2013	0,03	0,035	<0,04
17/07/2013	0,032	0,034	<0,04
20/07/2013	0,035	0,032	<0,04
25/07/2013	0,03	0,04	<0,04
30/07/2013	0,035	0,03	<0,04
03/08/2013	0,036	0,031	<0,04
07/08/2013	0,033	0,035	<0,04
11/08/2013	0,035	0,03	<0,04
13/08/2013	0,032	0,034	<0,04
17/08/2013	0,035	0,037	<0,04
21/08/2013	0,03	0,035	<0,04
25/08/2013	0,034	0,038	<0,04
30/08/2013	0,035	0,03	<0,04
03/09/2013	0,031	0,036	<0,04
07/09/2013	0,038	0,032	<0,04
11/09/2013	0,035	0,04	<0,04
15/09/2013	0,038	0,03	<0,04
17/09/2013	0,031	0,035	<0,04
21/09/2013	0,037	0,034	<0,04
25/09/2013	0,03	0,04	<0,04
29/09/2013	0,035	0,037	<0,04
02/10/2013	0,03	0,035	<0,04
05/10/2013	0,04	0,03	<0,04
08/10/2013	0,035	0,038	<0,04
11/10/2013	0,034	0,04	<0,04
16/10/2013	0,036	0,03	<0,04
19/10/2013	0,035	0,038	<0,04
24/10/2013	0,03	0,035	<0,04
29/10/2013	0,032	0,036	<0,04

Sitio de Estudio	Guanando	La Providencia
Media	0,034	0,0332

5.2 ANALISIS ESTADISTICO - PRUEBA z

5.2.1 CALCULO ESTADISTICO DE ARSENICO EN LAS PARROQUIAS GUANANDO Y LA PROVIDENCIA.

Sitio de estudio	Guanando	La Providencia
Media	0,00456	0,00425
Varianza	2,0794E-05	1,8063E-05

$$Z_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \quad Z_c = \frac{(0,0045 - 0,0042)}{\sqrt{\frac{2,079E-05}{62} + \frac{1,806E-05}{62}}} = 0,3915867$$

$$Z_c = 0,3915867$$

$$Z_t = 1,96$$

5.2.2 CALCULO ESTADISTICO DE CADMIO EN LAS PARROQUIAS GUANANDO Y LA PROVIDENCIA.

Sitio de Estudio	Guanando	La Providencia
Media	0,034	0,0332
Varianza	0,001156	0,001102

$$Z_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \quad Z_c = \frac{(0,0034 - 0,0332)}{\sqrt{\frac{0,001156}{62} + \frac{0,001102}{62}}} = 0,1325564$$

$$Z_c = 0,1325564$$

$$Z_t = 1,96$$



RESULTADO

$$Z_{\text{calculado}} < Z_{\text{tabulado}}$$

DECISION

Rechaza la hipótesis nula por cuanto, el Z calculado ($z_c = 0,3915867$) es menor que el z tabulado ($z_t = 1.96$), es decir que no existe diferencia significativa entre los datos de las concentraciones de Arsénico y Cadmio de las Parroquias Guanando y La Providencia.

5.2.3 EVALUACION DE LA EXPOSICION

5.2.3.1 TIEMPO DE EXPOSICION DE LA POBLACION DE LAS PARROQUIAS GUANANDO Y LA PROVIDENCIA.

Crónica

5.2.3.2 RUTA DE EXPOSICION

A través del consumo de agua.

5.2.3.3 DOSIS DIARIA PROMEDIO VITALICIA

$$DDPV = CT \times T_c \times B \times T_{\text{exp}} / W_c \times T_v$$

COEFICIENTE DE PELIGRO

$$CP = DDPV / DRF$$

CP = Coeficiente de peligro

CALCULO DE LA DDPV Y DEL COEFICIENTE DE PELIGRO DE ARSENICO Y CADMIO DE LAS PARROQUIAS GUANANDO Y LA PROVIDENCIA.

Tabla N° 8. Tabla de valores obtenidos del Cálculo de la Dosis Diaria Promedio Vitalicia y del Coeficiente de Peligro.

Parroquias	DDPV (As) mg/Kg*día	DDPV (Cd) mg/Kg*día	CP (As)	CP (Cd)
Guanando	0,0000326	0,0002429	0,00326	0,02429
La Providencia	0,0000304	0,0002371	0,00304	0,02371

DDPV: Dosis Diaria Promedio Vitalicia

CP: Coeficiente de Peligro



CAPITULO VI: DISCUSIÓN

6.1 IDENTIFICACION DE LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE LAS PARROQUIAS GUANANDO Y LA PROVIDENCIA.

Durante el trabajo de laboratorio se realizó el análisis de las muestras de agua donde se analizaron los analitos de Arsénico y Cadmio.

Todos los valores reportados de los analitos de Arsénico y Cadmio tanto en la parroquia Guanando y La Providencia se encuentran dentro de los niveles permisibles dictados por legislación Ecuatoriana TULSMA en el libro VI anexo I, en la TABLA 1. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional, y en la TABLA 2. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieran desinfección.

Los niveles reportados de Arsénico en la Tabla 4 dieron una media de 0,00456 mg/L en la Parroquia de Guanando, y los niveles reportados de Arsénico en la tabla 5 dieron una media de 0,00425 mg/L en la Parroquia La Providencia, mientras que los niveles reportados de Cadmio en la Tabla 6 dieron una media de 0,034 mg/L en la Parroquia Guanando, y los niveles reportados de Cadmio en la Tabla 7 dieron una media de 0,033 mg/L en la Parroquia La Providencia valores que están dentro de los niveles permisibles dictados por el TULSMA libro VI anexo I tanto en la tabla 1 y la tabla 2.

A su vez se compararon estos niveles con datos de la EPA norma secundaria (SMCL) que reporta un límite máximo de Arsénico 0,01 a 0,02 mg/L, la OMS que reporta un límite máximo de Arsénico 0,01 a 0,02 mg/L, la Norma Inen que reporta un valor máximo de Arsénico 0,01 mg/L, y el TULSMA que reporta un valor máximo de



Arsénico 0,05 mg/L, y la EPA norma secundaria (SMCL) que reporta un límite máximo de Cadmio 0,005 mg/L, la OMS que reporta un límite máximo de Cadmio 0,003 mg/L, la norma Inen que reporta un valor máximo de Cadmio 0,003 mg/L, el TULSMA que reporta un valor máximo de Cadmio 0,001 mg/L, y la FDA que reporta un valor máximo de Cadmio 0,005 mg/L.

La prueba z que se realizó a un nivel de confianza del 95 % demostró que no existe una diferencia significativa entre las medias de los grupos entre la Parroquia Guanando y la Parroquia La Providencia ya que obtuvimos un z tabulado = 1,96 y un z calculado = 0,3915867 con esto se rechaza la Hipótesis H_0 = Las medias de los grupos 1 y 2 no son estadísticamente diferentes y aceptamos H_1 .

La OMS en las Guías de Calidad para el Agua Potable reduce el valor guía de arsénico en agua de 50 $\mu\text{g/L}$ a un valor provisional de 10 $\mu\text{g/L}$, basándose en un estudio realizado por el Foro de Evaluación de Riesgo de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) en 1986 sobre evaluación de riesgo.

Estudios realizados por la FAO donde muestra en la siguiente tabla valores de Cadmio en adulto estos sea por Ingesta o Inhalación.

Ingesta	Diaria	10-50 microgramos (el cuerpo sólo absorbe entre el 5 y 10 %)
	Semanal	400-500 mg (adulto)
Inhalación	Exposición crónica a polvo	< 0,01 mg/m ³ (8 horas diarias)
	Exposición crónica a humo de óxido de Cd	< 0,05 mg/m ³ (8 horas diarias)



A raíz de este problema se han desarrollado más estudios sobre este metal, con la finalidad de establecer claramente la relación entre contaminación y toxicidad humana, y se ha llegado a conocer el mecanismo de acción, patologías que puede producir, estableciéndose también, a través de la FAO los niveles admisibles de ingestión (Marzo, 1998), y limitándose los niveles de emisión industrial y niveles de concentración en aire, agua, suelo y alimentos. Los niveles límites máximos permisibles establecidos por la FAO en el agua es de $0.01 \mu\text{g/L}$, excepto en áreas contaminadas.

CALCULO DE LA DOSIS DIARIA PROMEDIO VITALICIA DDPV

Se calculó la DDPV de Arsénico para las dos Parroquias donde obtuvimos un valor de $0,0000326 \text{ mg/Kg} \cdot \text{día}$, en la Parroquia Guanando y un valor de $0,0000304 \text{ mg/Kg} \cdot \text{día}$ en la Parroquia La Providencia, y la DDPV de Cadmio para las dos parroquias donde obtuvimos un valor de $0,0002429 \text{ mg/Kg} \cdot \text{día}$, en la Parroquia Guanando y un valor de $0,0002371 \text{ mg/Kg} \cdot \text{día}$ en la Parroquia La Providencia.

Estos valores fueron comparados con la base de datos de la EPA donde reporta Dosis Oral de referencia (Oral DRf) = $0,010 \text{ mg/Kg} \cdot \text{día}$ de Arsénico y una (Oral DRf) = $0,01 \text{ mg/Kg} \cdot \text{día}$ de Cadmio con este dato se calculó el coeficiente de peligro CP, que en el caso de la primera Parroquia fue de $0,00326$ Arsénico y de la segunda fue de $0,00304$ de Arsénico, el coeficiente de peligro CP, que en el caso de la primera Parroquia fue de $0,02429$ Cadmio y de la segunda fue de $0,02371$ Cadmio.

CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos mencionamos las siguientes conclusiones.

- Se realizó el análisis de las muestras de agua obtenidas de las fuentes de abastecimiento de agua tanto para la Parroquia de Guanando como para la Parroquia La Providencia los resultados obtenidos se compararon con la legislación ecuatoriana TULSMA libro VI anexo I tabla 1 y 2, NTE INEN 1108 agua potable requisitos, y con normativas internacionales, EPA norma secundaria (SMCL), la OMS guía para agua potable, concluyendo que la concentración de Arsénico y Cadmio está dentro de los límites máximos permisibles establecidos por estas normativas.
- Se realizó un plan de monitoreo durante cuatro meses para observar el comportamiento de los analitos Arsénico y Cadmio, concluyendo que este no tuvo mayor variación teniendo como media de Arsénico de 0,00456 mg/L y una media de Cadmio de 0,034 mg/L en la Parroquia Guanando, mientras que en la Parroquia La Providencia se obtuvo como media de Arsénico de 0,00425 mg/L y una media de Cadmio de 0,033 mg/L.
- Se evaluó el riesgo de Toxicidad mediante el cálculo de la Dosis Diaria Promedio Vitalicia (DDPV) para las dos Parroquias donde obtuvimos un valor de 0,0000326 mg/Kg*día de Arsénico, y un valor de 0,0002429 mg/Kg*día de Cadmio en la Parroquia Guanando, mientras que obtuvimos un valor de 0,0000304 mg/Kg*día de Arsénico, y un valor de 0,0002371 mg/Kg*día de Cadmio en la Parroquia La Providencia, estos valores fueron comparados con la base de datos de la EPA donde reporta Dosis Oral de referencia (Oral DRf)



= 0,010 mg/Kg*día para Arsénico, y una Dosis Oral de referencia (Oral DRf) = 0,01 mg/Kg*día para Cadmio, con estos datos se calculó el coeficiente de peligro (CP), que en el caso de la primera Parroquia fue de 0,00326 de Arsénico y 0,02429 de Cadmio, y de la segunda fue de 0,00304 de Arsénico y 0,02371 de Cadmio, estos valores están próximos a 1 pero no sobrepasan este valor, concluyendo que los habitantes de estas Parroquias según estos datos no están en riesgo de Toxicidad, cabe recalcar que en enero de 2011 el Departamento de Salud y Servicios Humanos (HHS) y la EPA de Estados Unidos iniciaron el proceso de consultas para reducir el contenido máximo de Arsénico y Cadmio en agua potable para Arsénico a 0,010 mg/Ly para Cadmio a 0,005 mg/L.

- Los datos fueron comparados con estudios internacionales de la USEPA donde se muestra que a una concentración del agua de consumo de 0,02 ppm para Arsénico, y de 0,005 ppm para Cadmio donde no existe una prevalencia de Contaminación por los analitos Arsénico y Cadmio, lo cual nos permite concluir que los valores obtenidos en las dos se encuentran como valores intermedios de estos.
- La población de las Parroquias de Guanando y La Providencia no se encuentran en peligro toxicológico ya que el Coeficiente de Peligro (CP) calculados en las dos Parroquias Guanando (0,00326), y La Providencia (0,00304) no es mayor a 1 (límite recomendado por la EPA).



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Aposhian et al. 2004. Metabolismo del arsénico y sus compuestos derivados.
2. ATSDR, (2003). Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades División de Toxicología y Medicina Ambiental.
3. ATSDR, (2007). Métodos de excreción del Arsénico.
4. Beltrán, M (2012). Investigar las consecuencias del efecto acumulativo del Arsénico y Cadmio.
5. Buchet et al. 1981. Métodos de excreción del arsénico.
6. Caldwell et al. 2008. Métodos de excreción del arsénico.
7. Cornejo, M(2007). Quito Ecuador. Evaluación del efecto del Arsénico y Cadmio. Tesis de Grado – USFQ.
8. Capo, M (2007). Principios de Ecotoxicología. Madrid, Tebar
9. Chung et al. 2002. Métodos de desintoxicación del arsénico.
10. EPA. (2003). Estudios realizados sobre Arsénico y Cadmio en agua potable y niveles máximos permisibles para agua potable.
11. FAO, 1998. Límites permisibles de cadmio en agua de consumo humano.
12. García, (2006). Farmacocinética del Arsénico.
13. HHS. (2011). U.S Department of Health and Human Services. HHS and EPA announce new scientific assessments and actions on Arsenic and Cadmium.
14. IARC, international agency for research on cancer. Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Arsenic and Cadmium inorganic, used in drinking-water (group1).
15. Instituto ecuatoriano de normalización, Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 176: 1998. Calidad del agua, muestreo.



16. Instituto ecuatoriano de normalización, Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 169: 98. Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de las muestras.
17. Instituto ecuatoriano de normalización, Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 226: 2000. Calidad del agua, muestreo, diseño de los programas de muestreo.
18. Instituto ecuatoriano de normalización. Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1 108: 2011. Agua potable.
19. IRIS USEPA (2003). U.S. Environmental Protection. Agency Arsenic and Cadmium, Integrated Risk Information System.
20. IRIS, USEPA 2012. Clasificación del arsénico por su toxicidad.
21. Kitchin, 2001. Métodos de desintoxicación del arsénico.
22. Manaham, S. 1998. Toxicología del Cadmio
23. Marafante et al. 1987. Excreción del Arsénico.
24. Method EPA 200.7 Revision 4.4 1994. Determination of metals and trace elements in water and wastes by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry.
25. Miller et al. 2002. Metabolismo del Arsénico.
26. OMS. (2008). Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad de agua potable, Aspectos Químicos.
27. OMS. (2010). Establece normas para el arsénico para calidad de agua.
28. ONU-DAES, 2014, Calidad del agua para consumo humano.
29. Ortiz, P. (s/a). Efectos de la contaminación oral de Arsénico y Cadmio, Facultad de Medicina, Universidad de Concepción.
30. Pasquali, Ricardo, 2003. Toxicología del cadmio.



31. REPETTO, M. (2009). Toxicología Fundamental (4ta ed.). España: Edición Días de Santos.
32. Rivera et al., (2005). Emisión de ceniza volcánica y sus efectos en los ecosistemas. Posgrado en Ciencias Ambientales, Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Edificio 76 Complejo de Ciencias, Ciudad Universitaria. Puebla, México. revista científica de ecología y medio ambiente.
33. Roberto, R. (2007). Eliminación de Arsénico del agua potable, Grupo de Ingeniería Química, Universidad de Alcalá.
34. Rosal, 2007. El cadmio y sus estados en la naturaleza.
35. Salazar, 2010. Toxicología del Arsénico.
36. Styblo et al. 2002. Compuestos derivados del Arsénico.
37. Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria TULSMA libro VI anexo I, tabla 1.
38. Universidad de Arizona 2001, Principios de Toxicología Ambiental.
39. USEPA (2013). U.S. Environmental Protection Agency Basic Information about Fluoride in Drinking Water Review of Arsenic and Cadmium Drinking Water Standard.
40. Vahter 2002. Diversos compuestos derivados del Arsénico.
41. Vickie, A. (1999). Essentials of Food Science (2da ed).
42. WHO, 1992. El cadmio y sus estados en la naturaleza.
43. Yong, 2006. Métodos para eliminar el arsénico del agua potable.
44. Yoshida et al. 2004. Mecanismos de desintoxicación del Arsénico.



INTERNET

1. (www.abalnearios.com/elagua/index.htm)
2. (<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/as.htm>).
3. (<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/as.htm>).
4. (<http://www.miliarium.ArsenicoNatural.asp>).
5. (<http://www.miliarium.com/Bibliografia/Arsenico/Toxicidad.asp>).
6. www.ucm.es/crismine/Ambiente/htm).

ANEXOS

Anexo 1. División Política del Cantón Guano



Figura 2. Mapa Político del Cantón Guano

Anexo 2. División Parroquial el Cantón Guano

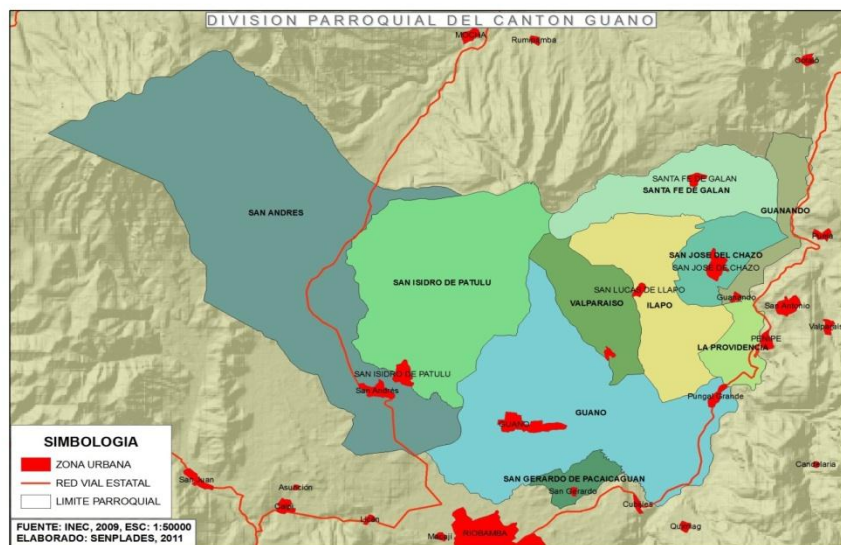


Figura 3. División Parroquial del Cantón Guano

Anexo 3. Parroquias Guanando y La Providencia



Figura 4. Planta de Agua de la Parroquia Guanando



Figura 5. Planta de agua de la Parroquia La Providencia

Anexo 4. Estándares y equipos utilizados durante la investigación



Figura 6. Espectrofotómetro de Absorción Atómica

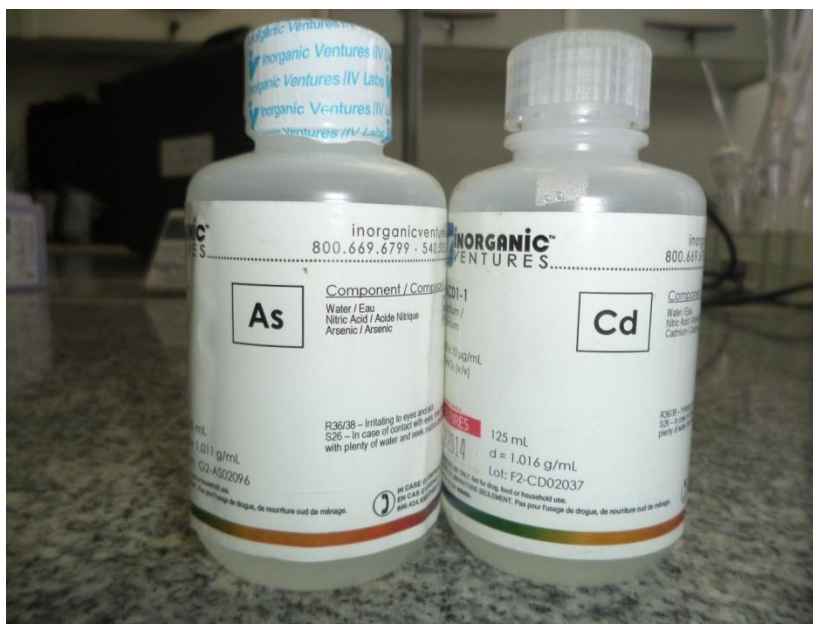


Figura 7. Estándares de Arsénico y Cadmio

Anexo 5. Informes de los análisis de Laboratorio

 LABCESTTA Tecnología & Soluciones SGC	LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN Panamericana Sur Km. 1 ½ Telefax: (03) 2998232 ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS RIOBAMBA - ECUADOR	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL OAE ACREDITACIÓN N° OAE LE 2C 06-008
---	--	--

INFORME DE ENSAYO No: 1466
ST: 13 – 724 ANÁLISIS DE AGUAS

Nombre Peticionario: NA
Atn. Cristian Lozano

Dirección: 1 de Agosto y Chimborazo
FECHA: 07 de Agosto del 2013
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2013 / 07 / 30 – 16:00
FECHA DE MUESTREO: 2013 / 07 / 30 – 09:40
FECHA DE ANÁLISIS: 2013 / 07 / 30 - 2013 / 08 / 07
TIPO DE MUESTRA: Agua de vertiente
CÓDIGO LABCESTTA: LAB-A 2347-13
CÓDIGO DE LA EMPRESA: A2
PUNTO DE MUESTREO: Vertiente La Providencia
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico-Químico, Microbiológico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Cristian Lozano
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.: 25.0 °C. T mín.: 15.0 °C


RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE	INCERTIDUMBRE (k=2)
Cadmio	PEE/LABCESTTA/33 APHA 3111 B, 3030 E	mg/L	<0,04	-	±31%
*Arsénico	PEE/LABCESTTA/58 APHA 3500 C, 3114	mg/L	<0,005	-	-


OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.
- Los parámetros con (*) están fuera del alcance de acreditación del OAE.

RESPONSABLES DEL INFORME:


Dr. Mauricio Álvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANALISIS AMBIENTAL
 E INSPECCION
 LAB - CESTTA
 ESPOCH


Ing. Marcela Erazo
JEFE DE LABORATORIO

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados
 MC01-14

Página 1 de 1
 Edición 1

 <p>LABCESTTA Tecnología & Soluciones SGC</p>	<p align="center">LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN</p> <p align="center">Panamericana Sur Km. 1 ½ Telefax: (03) 2998232 ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS RIOBAMBA - ECUADOR</p>	<p align="center">LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL OAE</p> <p align="center">ACREDITACIÓN Nº OAE LE 2C 06-008</p>
---	---	--

INFORME DE ENSAYO No: 1466
ST: 13 – 724 ANÁLISIS DE AGUAS

Nombre Peticionario: NA
Atn. Cristian Lozano

Dirección: 1 de Agosto y Chimborazo
FECHA: 07 de Agosto del 2013

NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2013 / 07 / 30 – 16:00
FECHA DE MUESTREO: 2013 / 07 / 30 – 09:30
FECHA DE ANÁLISIS: 2013 / 07 / 30 - 2013 / 08 / 07
TIPO DE MUESTRA: Agua de vertiente
CÓDIGO LABCESTTA: LAB-A 2346-13
CÓDIGO DE LA EMPRESA: A1
PUNTO DE MUESTREO: Vertiente Guanando
ANÁLISIS SOLICITADO: Físico-Químico, Microbiológico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Cristian Lozano
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.: 25.0 °C. T mín.: 15.0 °C


RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE	INCERTIDUMBRE (k=2)
Cadmio	PEE/LABCESTTA/33 APHA 3111 B, 3030 E	mg/L	<0,04	-	±31%
*Arsénico	PEE/LABCESTTA/58 APHA 3500 C, 3114	mg/L	<0,005	-	-

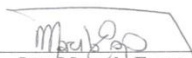
OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.
- Los parámetros con (*) están fuera del alcance de acreditación del OAE.
- Las unidades expresadas en UFC son equivalentes a NMP (número más probable).

RESPONSABLES DEL INFORME:


Dr. Mauricio Álvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANALISIS AMBIENTAL
 E INSPECCION
 LAB - CESTTA
 ESPOCH


Ing. Marcela Erazo
JEFE DE LABORATORIO

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados
MC01-14

Página 1 de 1
 Edición 1