

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE

**EFFECTO DEL ARSÉNICO DE AGUAS SUPERFICIALES Y
SUBTERRÁNEAS SOBRE LA SALUD DE LOS
POBLADORES RURALES DEL DISTRITO DE
SAMA LAS YARAS**

TESIS

PRESENTADA POR:

Blga. SOLEDAD AMPARO BORNÁS ACOSTA

Para optar el Grado Académico de:

**MAESTRO EN CIENCIAS (*MAGISTER SCIENTIAE*)
CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL Y
DESARROLLO SOSTENIBLE**

**TACNA—PERÚ
2010**

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN-TACNA

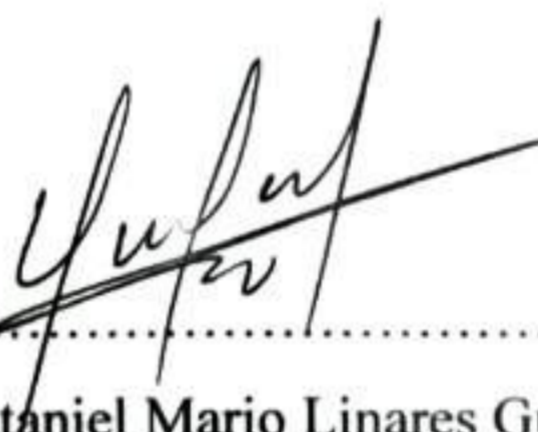
ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE

**EFFECTO DEL ARSÉNICO DE AGUAS SUPERFICIALES
Y SUBTERRÁNEAS SOBRE LA SALUD DE LOS
POBLADORES RURALES DEL DISTRITO
DE SAMA LAS YARAS**

Tesis sustentada y aprobada el 12 de Noviembre del 2010, estando integrado el jurado calificador por:

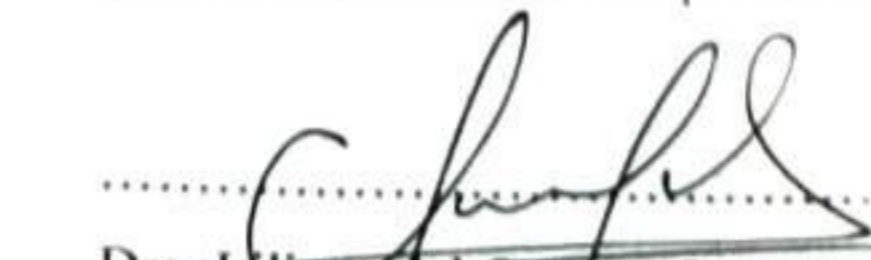
PRESIDENTE


.....
MSc. Nataniel Mario Linares Gutiérrez

SECRETARIO


.....
MSc. César Efraín Rivasplata Cabanillas

MIEMBRO


.....
Dra. Liliana del Carmen Lanchipa Bergamini

ASESOR


.....
Mgr. Roberto Castellanos Cabrera

DEDICATORIA

Dedico esta Maestría a mi querida madre, quien ha sido sostén y apoyo en mis esfuerzos de superación profesional.

Dedico también este éxito académico a mi hijo Ricardo y lo invito a mantener una visión de éxito en su vida mediante el estudio continuo.

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mis más sinceras muestras de agradecimiento:

A Dios, por enseñarme el camino correcto de la vida, guiándome y fortaleciéndome cada día con su Santo Espíritu.

A mi Madre, que sin su ayuda hubiese sido imposible lograr terminar estos estudios.

A mis Hermanos por creer y confiar siempre en mí, apoyándome en todas las decisiones que he tomado en la vida.

A mis maestros, en especial a mi asesor Roberto Castellanos Cabrera, por sus consejos y por compartir desinteresadamente sus amplios conocimientos y experiencia.

CONTENIDO

	Página
CONTENIDO	III
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
LISTA DE SIGLAS	IX
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	6
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	7
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	7
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
1.4. HIPÓTESIS	8
1.5. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	8
1.6. JUSTIFICACIÓN	9

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN	11
2.1. MARCO HISTÓRICO	11
2.2. MARCO LEGAL	18
2.3. MARCO CONCEPTUAL	23
2.3.1. AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS	23
2.3.1.1. AGUAS SUPERFICIALES	23
2.3.1.2. AGUAS SUBTERRÁNEAS	26
2.3.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL ARSÉNICO	31
2.3.3. EFECTOS AMBIENTALES DEL ARSÉNICO	34
2.3.3.1. CICLO DEL ARSÉNICO EN EL MEDIO AMBIENTE	35
2.3.3.2. EFECTO DEL ARSÉNICO SOBRE LA SALUD.	38
2.3.3.2.1. METABOLISMO DEL ARSÉNICO.	38
2.3.3.2.2. TOXICIDAD DEL ARSÉNICO	43
2.3.4. TECNOLOGÍAS PARA LA REMOCIÓN DEL ARSÉNICO	55
2.2.4.1. TRATAMIENTO MEDIANTE PROCESOS DE ADSORCIÓN	55
2.2.4.2. TRATAMIENTO MEDIANTE PROCESOS DE MEMBRANA	63
2.2.4.3. TRATAMIENTO MEDIANTE PROCESOS DE PRECIPITACIÓN/FILTRACIÓN	70
2.2.4.4. TRATAMIENTO MEDIANTE PROCESOS DE FITOTECNOLOGÍA	78
2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	78

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	93
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	93
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	94
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA	95
3.3.1. POBLACIÓN	95
3.3.2. MUESTRA	99
3.4. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	102
3.4.1. VARIABLES INDEPENDIENTE	103
3.4.2. VARIABLES DEPENDIENTE	103
3.5. UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO	103
3.6. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS	105
3.7. DETERMINACIÓN DEL ARSÉNICO	105
3.8. DETERMINACIÓN DEL RIESGO POR EXPOSICIÓN AL ARSÉNICO	114
3.8.1. DETERMINACIÓN DE LA POBLACIÓN EXPUESTA	114
3.8.2. DOSIS DE EXPOSICIÓN	116
3.8.3. DOSIS DE REFERENCIA (DRF) DEL ARSÉNICO	117
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	119
4.1. ARSÉNICO EN AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS	119
4.2. PUNTOS DE EXPOSICIÓN	125
4.3. CONTAMINACIÓN DE AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA.	125
4.4. RESULTADOS DE LAS ENCUESTA	127
4.5. POBLACIÓN EXPUESTA	139

4.6. DOSIS DE EXPOSICIÓN AL ARSÉNICO	140
4.7. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	142
CAPÍTULO V. ESTRATEGIA DE MITIGACIÓN DEL ARSÉNICO	143
5.1. TECNOLOGÍA DE COAGULACIÓN/FILTRACIÓN	143
5.2. TRATAMIENTO DEL LODO CON ARSÉNICO	145
5.3. COMPARACIÓN ECONÓMICA ENTRE TECNOLOGÍAS	147
CONCLUSIONES	152
RECOMENDACIONES	153
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	154

ANEXOS

	Página
ANEXO 1. NIVELES DE ARSÉNICO EN EL AMBIENTE	163
ANEXO 2. INFORMACIÓN PARA INTERPRETAR LA EXPOSICIÓN	165
ANEXO 3. CUESTIONARIOS FAMILIAR E INDIVIDUAL E INSTRUCCIONES PARA COMPLETARLOS	168
ANEXO 4. CRITERIOS DE CALIDAD PARA EL AGUA POTABLE	171
ANEXO 5. FACTIBILIDAD DEL PROYECTO SELECCIONADO	173
ANEXO 6. FOTOS	175

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla I. Comparación de la toxicidad aguda de los compuestos arsenicales	49
Tabla II. Eficiencia de coagulantes en la remoción de arsénico.	71
Tabla III. Remoción de arsénico por coagulación.	72
Tabla IV. Distritos de la provincia de Tacna.	98
Tabla V. Población urbana y rural expuesta a la contaminación acuática.	104
Tabla VI. Valores históricos de arsénico por estaciones de muestreo de algunos lugares del departamento de Tacna.	119
Tabla VII. Parámetros químicos en aguas de consumo humano y utilizado en agricultura y ganadería.	120
Tabla VIII. Concentraciones de arsénico en aguas superficiales y subterráneas en la zona de Sama Las Yaras. 2009.	122
Tabla IX. Registro histórico de la población urbana y rural de Sama Las Yaras.	123
Tabla X. Número de habitantes por sexo y edades en Sama Las Yaras.	128
Tabla XI. Tiempo de residencia de los pobladores de Sama Las Yaras.	129
Tabla XII. Ocupación de los pobladores de Sama Las Yaras.	131
Tabla XIII. Fuente de agua para consumo humano en Sama Las Yaras.	132
Tabla XIV. Magnitud de consumo de agua por día en Sama Las Yaras.	133
Tabla XV. Pobladores que consumen agua del río, canales o pozos en Sama Las Yaras.	135
Tabla XVI. Calidad de agua del río y agua subterránea de Sama Las Yaras.	136
Tabla XVII. Conocimiento de personas con problemas de salud por consumir agua con arsénico en Sama Las Yaras.	137

Tabla XVIII. Enfermedades de la piel y cáncer en Sama Las Yaras, Tacna.	137
Tabla XIX. Mortalidad por residencia según grupos de edad y tipo de cáncer. Sama Las Yaras (2001 – 2009).	138
Tabla XX. Conocimiento de métodos o proyecto para mejorar la calidad de agua de la zona de Sama Las Yaras.	138
Tabla XXI. Población urbana y rural de Sama Las Yaras expuesta al arsénico.	140
Tabla XXII. Población por Área Rural y Urbana y Concentraciones Promedio de Arsénico en el Agua de Uso y Consumo Humano.	140
Tabla XXIII. Dosis de Exposición Mínimas y Máximas al Arsénico y Coeficientes de Peligrosidad.	141

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Foto Río Sama, Tacna.	26
Figura 2. Ciclo del arsénico en el ambiente.	36
Figura 3. Biotransformación del arsénico inorgánico.	42
Figura 4. Mecanismo de la ósmosis del agua salada.	65
Figura 5. Ósmosis inversa.	67
Figura 6. Valores históricos de arsénico en Sama Las Yaras.	120
Figura 7. Concentraciones de arsénico en aguas superficiales y subterráneas en la zona de Sama Las Yaras. 2009.	122
Figura 8. Registro histórico de la población urbana y rural de Sama Las Yaras.	124
Figura 9. Número de habitantes de Sama Las Yaras por edades y sexos.	128
Figura 10. Tiempo de residencia por edades de pobladores de Las Yaras.	130
Figura 11. Actividades de mayor trascendencia en Sama Las Yaras.	131
Figura 12. Fuente de agua para consumo humano.	133
Figura 13. Consumo de agua diario por persona en Sama Las Yaras.	134
Figura 14. Pobladores que consumen agua del río, canales o pozos.	135
Figura 15. Calidad de agua de río y agua subterránea de Sama Las Yaras.	136
Figura 16. Potabilización y tratamiento de lodo.	146
Figura 17. Diagrama de flujo de la metodología empleada.	149

LISTA DE SIGLAS

APHA	American Public Health Association.
AWWA	American Water Works Association.
CAN	Comunidad Andina.
CARs	Corporaciones Autónomas Regionales del país.
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
DAMA	Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente de Bogotá.
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas.
DIGESA	Dirección General de Salud Ambiental del Perú.
EMAAP-Q	Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito.
EQS	Estándares de Calidad Ambiental del Japón.
ETAPA	Empresa de Telecomunicación Agua Potable y Alcantarillado.
FNS	Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos.
GESTA AGUA	Grupo de Estudio Técnico Ambiental del Agua del Perú.
ICA	Índice de Calidad del Agua.
ICG	El Índice de Calidad General.
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
IMARPE	Instituto del Mar del Perú.
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática.
INRENA	Instituto de Recursos Naturales del Perú.

ISCA	Índice Simplificado de la Calidad del Agua.
OEA	Organización de Estados Americanos.
OPS/OMS	Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud.
PMA	Programa Mínimo de Armonización.
REDESA	Red de Instituciones y Expertos en Estadísticas Sociales y Ambientales.
SCC	Standard Council Canadiam.
SEDAPAL	Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de Lima.
SIAC	Sistema de Información Ambiental de Colombia.
SIMA	Sistema de Información del Medio Ambiente.
SINA	Sistema de Información Nacional.
WPCF	Water Polution Control Federation.

RESUMEN

El Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE) - enfermedad que produce lesiones en piel - es una enfermedad que afecta principalmente a poblaciones rurales dispersas, que carecen de agua potable y demás servicios esenciales.

El objetivo de esta investigación fue establecer el efecto del arsénico contenido en las aguas superficiales y subterráneas en la salud de los pobladores rurales del distrito de Sama Las Yaras, para luego proponer un método de abatimiento apropiado a fin de eliminar arsénico, aun ajustándose a la norma de la comunidad europea o a la norma norteamericana.

Se determinó las concentraciones de arsénico de las estaciones de muestreo de las aguas superficiales y subterráneas del distrito de Sama Las Yaras; encontrándose valores superiores a 10 µg/L de acuerdo a lo establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Además, se estableció el efecto que produce el consumo de estas aguas superficiales y subterráneas en la salud de los pobladores rurales de Sama Las Yaras, encontrándose algunos casos de hiperqueratinosis e hiperpigmentación de la piel.

Se propuso un procedimiento adecuado para mitigar la presencia de arsénico en las aguas de la zona, utilizadas para consumo humano; y que sea de manipulación sencilla y ejecutable por cualquier poblador sin experiencia, tomando en cuenta el bajo costo de vida.

ABSTRACT

The Chronic Hydroarsenicism Regional Endemic (HACRE) - a disease that produces skin lesions - a disease that mainly affects rural populations dispersed, lacking potable water and other essential services.

The objective of this research was to establish the effect of arsenic in surface water and groundwater in the health of the rural district of Sama The Yaras and then propose an appropriate abatement method to remove arsenic although conforming to the standard European community or the American standard.

We determined the concentrations of arsenic in the sampling stations of surface water and groundwater district Sama The Yaras, found values higher than 10 µg/L as established by the World Health Organization (OMS).

In addition, we established the effect produced by the consumption of these surface waters and groundwater in the health of rural residents Sama The Yaras, found some cases of hiperqueratinosis and hyperpigmentation of the skin.

Proper procedure was proposed to mitigate the presence of arsenic in groundwater in the area, used for human consumption. Considering the low cost of living, and handling is simple and enforceable by any resident without experience.

INTRODUCCIÓN

Se inició el presente estudio indicando que a través de la historia, la calidad del agua para consumo humano ha sido un indicador de calidad de vida y un factor determinante para el bienestar de la humanidad. En las regiones pobres del Tercer Mundo, la contaminación del agua y el limitado acceso al agua potable ha inducido a problemas sociales, económicos y de salud.

De los 1200 millones de personas con insuficiente acceso al suministro de agua potable, alrededor de 800 millones son habitantes rurales, con alto grado de aislamiento y dispersión. Las condiciones de vida, prestaciones de salud y prevención de enfermedades, son muy inferiores en estas zonas, en comparación con las urbanas.

Los pobladores rurales sin recursos económicos ni apoyo tecnológico del Estado utilizan agua de ríos, vertientes, pozos, estanques y otras fuentes caracterizadas por un elevado grado de contaminación. El problema se da por la falta de técnicas simples, eficientes y económicas para la descontaminación del agua. La eliminación de contaminantes en aguas, mediante metodologías tradicionales; es extraordinariamente cara.

En la zona rural de Sama Las Yaras, distrito de la provincia de Tacna, se destacó la presencia de dos fuentes de aguas superficiales y subterráneas, el elemento químico arsénico como un componente de la composición del agua inherente a su calidad ambiental. Aquí el problema es de origen natural, pues la contaminación del arsénico se provocó por arrastre del elemento en aguas corrientes.

El problema se acentuó en las comunidades rurales de esta zona por la falta de técnicas económicas en la descontaminación de las aguas. Para los habitantes, el tradicional método de hervir el agua para su potabilización puede no ser una solución adecuada; este tradicional procedimiento tampoco elimina contaminantes como el arsénico y otros metales pesados.

La salud pública tiene como propósito prevenir enfermedades, prolongar la vida y fomentar la salud. Así surge una pregunta: ¿es la exposición al arsénico un problema de salud pública? Si se considera un problema de salud pública como un evento de alta frecuencia y peligrosidad, la exposición al arsénico efectivamente es un problema de salud pública.

Los efectos para la salud humana debidos a la presencia de arsénico en el agua de bebida siguen siendo objeto de investigación en muchos países, a pesar del hecho de que en varios lugares, donde habían sido detectadas concentraciones de arsénico superiores a 50 µg/L en el agua de bebida, se ha

logrado suministrar a la población agua con concentraciones de arsénico dentro de los valores orientadores propuestos por las entidades internacionales.

El valor orientador para arsénico, por muchos años, de la Organización Mundial de la Salud (OMS) fue de 50 µg/L. Actualmente esta entidad sugiere un valor orientador de 10 µg/L para arsénico en el agua de bebida. No existe el conocimiento definitivo de cuál es el riesgo de producirse diversos tipos de cáncer a concentraciones de arsénico menores a 50 µg/L.

Actualmente las estimaciones de riesgo son hechas utilizando modelos estadísticos basados en observaciones en humanos haciendo una extrapolación de los datos para bajas concentraciones. Por otro lado, la ingesta de arsénico por los alimentos no fue considerada en esta evaluación (Buchet, Lison, 2000).

Cabe destacar que en muchos países no ha sido posible suministrar a la población agua de bebida con concentraciones de arsénico menores a 50 µg/L, por los altos costos que esto implica; por lo tanto, el problema persiste. Ante esta situación se deben estudiar nuevas tecnologías de bajo costo para que sea factible su aplicación y además dar énfasis al desarrollo de nuevas herramientas que ayuden a prevenir enfermedades relacionadas con la ingesta de arsénico.

El estudio "Efecto del arsénico de aguas superficiales y subterráneas sobre la salud de los pobladores rurales del distrito de Sama Las Yaras", apunta

a dar a conocer que la presencia actual de arsénico en las aguas para consumo humano son nocivas para la salud de los pobladores rurales de la zona y a ofrecer procedimientos simples, eficientes, accesibles, económicos y socialmente aceptables para la purificación de aguas en comunidades aisladas.

Entre los objetivos del proyecto fue encontrar el desarrollo, puesta a punto y aplicación de la tecnología y consumir agua sin arsénico, luego que la tecnología haya sido sometida a un proceso de adaptación a la realidad geográfica del lugar seleccionado para el estudio, a fin de resguardar su eficiencia y su simplicidad en costo para hacerla eficiente en cualquier medio ambiental rural de pocos recursos económicos.

Fue elegida la comunidad de Sama Las Yaras para realizar el estudio por ser la zona más accesible para aplicar la metodología, debido al fenómeno de arsenicismo, propio del lugar. Existen elevadas concentraciones de arsénico, tanto en las aguas de consumo humano como en las aguas superficiales y subterráneas, además de encontrarse en suelos, vegetales y animales.

Los pobladores de esta comunidad rural, ubicados en una zona geográficamente bien definida, se encuentran dispersos y aislados. No están conectados a red de agua potable alguna, salvo los habitantes del pueblo, las condiciones socioeconómicas son altamente desfavorables y las vías de acceso son limitadas en calidad y cantidad. Los valores históricos y actuales de la

concentración de arsénico rondan valores de 150 $\mu\text{g/L}$, en aguas subterráneas y 250 $\mu\text{g/L}$ en aguas superficiales, siendo muy elevado de lo que establece la Organización Mundial de la Salud (10 $\mu\text{g/L}$).

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En diferentes lugares de la región de Tacna, el arsénico está presente en el agua en concentraciones superiores a lo normado y puede ocasionar serios riesgos para la salud de la población. Las características geológicas de nuestros acuíferos destaca la presencia de arsénico y otros minerales disueltos en el agua. Estos elementos constituyen parte de una gran cantidad de minerales y naturalmente a través de procesos geoquímicos las sales que contienen arsénico se solubilizan en los acuíferos.

Se estima que los habitantes de la zona rural de Sama Las Yaras ingieren agua con arsénico inorgánico en concentraciones superiores a 100 µg As/L, lo cual representa un grave problema de salud pública, ya que estas concentraciones son consideradas como peligrosas debido a que pueden producir intoxicaciones agudas o crónicas.

Actualmente, se han desarrollado diversas tecnologías que remueven el arsénico; las cuales, logran remociones superiores al 90%. Es necesario, no sólo conocer adecuadamente las tecnologías de remoción de arsénico, sino también

de recuperación y estabilización de residuos metálicos, con el fin de disminuir la exposición de este elemento al consumo humano.

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La contaminación por arsénico de las aguas superficiales y subterráneas, por años viene siendo un factor determinante en la salud pública de los pobladores de la zona de Sama Las Yaras, en el departamento de Tacna, por lo que se formuló el siguiente problema: ¿Cómo afectan las diversas concentraciones de arsénico, contenidas en las aguas superficiales y subterráneas, en la salud de los pobladores rurales del distrito de Sama Las Yaras?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general del presente trabajo consiste en establecer el efecto del arsénico contenido en las aguas superficiales y subterráneas, en la salud de los pobladores rurales del distrito de Sama Las Yaras.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar las concentraciones de arsénico en las estaciones de muestreo, de las aguas superficiales y subterráneas del distrito de Sama Las Yaras.
2. Establecer el efecto que produce el consumo de estas aguas superficiales y subterráneas en la salud de los pobladores rurales de Sama Las Yaras.
3. Proponer un procedimiento adecuado para mitigar la presencia de arsénico en las aguas utilizadas para consumo.

1.4 HIPÓTESIS

El arsénico contenido en las aguas superficiales y subterráneas afecta la salud de los pobladores rurales del distrito de Sama Las Yaras.

1.5 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo tratará solamente de establecer el grado de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas que se están utilizando, no sólo como agua de bebida humana sino también para los animales (ganado vacuno) y el regadío de plantas de diferentes variedades. Conocidos los parámetros cuantitativos de contenido de arsénico en dichas aguas (superficiales y subterráneas), se verificó el efecto que tiene en la salud humana, mediante la

información obtenida de las dependencias de control de la salud y encuestas realizadas en los diferentes lugares de Sama Las Yaras.

Asimismo se establecerán las estrategias de tratamiento para la eliminación del arsénico de las aguas subterráneas, que en el futuro serán utilizadas para convertirlas en agua potable.

1.6. JUSTIFICACIÓN

La justificación radica en la posibilidad de que el presente estudio permita plantear una solución al problema que se encuentra latente en la población rural de Sama Las Yaras, según muestran diferentes reportes de presencia de arsénico en las aguas superficiales y subterráneas.

Somos conscientes del grado de contaminación que posee Sama Las Yaras y de las enfermedades a las que el pueblo se expone diariamente, estos fueron algunos motivos que impulsaron la presente investigación, con la finalidad de encontrar soluciones idóneas a la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas.

A través de este trabajo de campo se espera brindar información especializada los pobladores sobre las formas y técnicas podrían utilizar para protegerse de la contaminación; además, podría servir como ayuda a otros

investigadores que estén interesados en analizar y resolver el problema de la contaminación que amenaza al departamento de Tacna.

Al proponer un tratamiento para reducir las concentraciones de arsénico, presentes en las aguas superficiales y subterráneas de la localidad, se pretende beneficiar a la población rural de Sama Las Yaras, brindando alternativas que podrían utilizar a fin de mejorar su calidad de vida y reducir aquellos problemas de salud que son directa o indirectamente producidos por el arsénico.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO HISTÓRICO

El arsénico (del persa *Zarnikh*, *oropimente amarillo* o bien del griego *arsenikón*, *masculino*) es un elemento químico cuyo símbolo es **As** y el número atómico es 33. El arsénico se presenta raramente sólido, principalmente en forma de sulfuros. Se conocen compuestos de arsénico desde la antigüedad, siendo extremadamente tóxico, aunque se emplean como componentes en algunos medicamentos y para la fabricación de semiconductores.

Del mismo modo, en lo que respecta al rol biológico, se encuentra que aun cuando el arsénico se asocia con la muerte y el crimen, es más bien un elemento esencial para la vida y su deficiencia puede dar lugar a diversas complicaciones. La ingesta diaria de 12 a 15 μg puede obtenerse sin problemas con la dieta diaria de carnes, pescados, vegetales y cereales, siendo los peces y crustáceos los que más contenido de arsénico presentan generalmente en forma de arsenobetaina, menos tóxica que el arsénico inorgánico.

El arsénico y algunos compuestos arsenicales se conocieron desde tiempos remotos. Dioscórides y Plinio conocían las propiedades y Celso

Aureliano, Galeno e Isidoro Largus sabían de sus efectos irritantes, tóxicos, corrosivos y parasiticidas. También observaron sus virtudes contra las toses pertinaces, afecciones de la voz y las disneas. Los médicos árabes usaron también los compuestos de arsénico en fumigaciones, píldoras y pociones. Durante la Edad Media los compuestos arsenicales cayeron en el olvido, quedando relegados a los curanderos que los prescribían contra la escrófula y el hidrocele.

Roger Bacon y Alberto Magno se detuvieron en su estudio y Paracelso hizo de él una panacea. Leonardo da Vinci lo utilizó mediante endoterapia para controlar a los ladrones de frutas. El primero que lo estudió con detalle fue Brandt en 1633 y Schroeder lo obtuvo en 1649 por la acción del carbón sobre el ácido arsénico. A Berzeliuss se deben las primeras investigaciones acerca de la composición de los compuestos del arsénico. En el siglo XVIII los arsenicales consiguieron un puesto de primer orden en la terapéutica hasta que fueron sustituidos por las sulfamidas y los antibióticos.

Prácticamente la totalidad de la producción mundial de As metal es China, que es también el mayor productor mundial de trióxido de arsénico, el cual se obtiene mediante la fusión de minerales de cobre, plomo, cobalto y oro.

Según datos del servicio de prospecciones geológicas estadounidense (U.S. Geological Survey) las minas de cobre y plomo contienen

aproximadamente 11 millones de toneladas de arsénico, especialmente en Perú y Filipinas, el metaloide se encuentra asociado con depósitos de cobre-oro en Chile y de oro en Canadá. También es un componente del tabaco. El arsénico 73 se usa como trazador para estimar la cantidad de arsénico absorbido por el organismo y el arsénico 74 en la localización de tumores cerebrales.

El arsénico y sus compuestos son extremadamente tóxicos, especialmente el arsénico inorgánico. En Bangladesh se ha producido una intoxicación masiva, la mayor de la historia, debido a la construcción de infinidad de pozos de agua instigada por las ONG occidentales que han resultado estar contaminados afectando a una población de cientos de miles de personas. También otras regiones geográficas, España incluida, se han visto afectadas por esta problemática.

La presencia de arsénico en el agua potable puede ser el resultado de la disolución del mineral presente en el suelo, por donde fluye el agua antes de su captación para uso humano, por contaminación industrial o por pesticidas. La ingestión de pequeñas cantidades de arsénico puede causar efectos crónicos por su acumulación en el organismo. Pueden ocurrir envenenamientos graves cuando la cantidad ingerida es de 100 mg. También se ha atribuido al arsénico propiedades cancerígenas.

Los compuestos arsenicales tienen una larga historia como agentes medicinales y venenos. Su uso medicinal fue descrito desde el año 400 A.C. por Hipócrates, quien recomendó la aplicación de una pasta de rejalgar (As₂S₃) para tratar úlceras cutáneas. Durante la Edad Media, las propiedades tóxicas del arsénico fueron muy utilizadas y el arsénico blanco (trióxido de arsénico) fue el veneno de elección, por su alta toxicidad.

Durante la Primera Guerra Mundial, se desarrollaron y utilizaron como armas químicas los gases arsenicales, entre ellos el gas Lewisita (clorovinildicloroarsina), que es un potente agente vesicante, irritante local y tóxico sistémico.

Desde tiempos remotos, son conocidos los compuestos arsenicales, tanto orgánicos como inorgánicos, que fueron usados como medicamento. El trióxido de arsénico fue utilizado por primera vez en el año 2000 A.C. con fines terapéuticos. En el siglo XVIII se dio a conocer la solución de Fowler cuya composición era arsenito de potasio al 1% utilizada para aliviar diversas enfermedades como: anemia, reumatismo, psoriasis, asma, cólera y la temida sífilis. Este medicamento se mantuvo vigente por más de 150 años. En el siglo XIX esta solución fue usada para tratar el acné y como agente quimioterapéutico para el tratamiento de la leucemia mielolde crónica junto con la irradiación, hasta 1953.

Según Jolliffe (1993), en el año 1900 compuestos arsenicales eran usados para combatir la malaria y en el año 1912 el arsénico fue reconocido como el mejor agente existente en la farmacopea. Durante el siglo XX creció el interés por producir nuevos medicamentos con compuestos arsenicales, es así que Erlich creó un compuesto llamado arsenamina, el cual fue usado como clave en el tratamiento de la sífilis por más de cuarenta años, hasta la llegada de la penicilina (Cullen y Reimer, 1989).

Los arsenicales orgánicos principalmente los derivados del arsénico pentavalente, clasificados como menos tóxicos con relación a la forma trivalente, fueron utilizados en el tratamiento de enfermedades tal como la tripanosomiasis africana, conocida como "enfermedad africana del sueño". El primer compuesto arsenical usado fue triparsamida que contenía 25% de arsénico pentavalente en combinación orgánica. Este medicamento fue asociado a reacciones tóxicas y podía causar ceguera. Al aumentar la resistencia del parásito este medicamento fue reemplazado por otros dos arsenicales orgánicos melarsoprol con 18% de arsénico trivalente y melarsonil (Jolliffe, 1993).

Durante los años noventa, en China, se utilizaron concentraciones micromolares de trióxido de arsénico para combatir la leucemia promielocítica aguda. Los efectos adversos fueron considerados leves y entre ellos se incluyeron mareos, fatiga y dolor muscular. Fue sugerido que la inducción de

apoptosis celular puede ser uno de los mecanismos de los efectos terapéuticos del trióxido de arsénico (Chen et al., 1996).

Los compuestos arsenicales provocan reacciones no deseadas y por eso siempre, a través de la historia, se intentó reemplazarlos por compuestos menos tóxicos. Además de los usos "benéficos", el trióxido de arsénico fue usado popularmente como veneno debido a su bajo costo, por tener apariencia de azúcar y por carecer de olor y gusto, siendo éste el arsenical más tóxico después de la arsina, pero no produce la muerte instantánea. La popularidad de su uso cayó porque con el apareamiento de técnicas analíticas para la determinación de arsénico, se hizo más factible para la toxicología forense detectar una intoxicación aguda por arsénico. Este compuesto continúa siendo utilizado con fines suicidas (Jolliffe, 1993).

Las sales de arsénico fueron empleadas en la fabricación de pigmentos, rodenticidas, fungicidas e insecticidas, en la producción de vidrio, en la industria textil y en la imprenta, pero actualmente existen restricciones para su uso. Uno de sus usos actuales es como parte de componentes electrónicos (WHO, 2001).

Un gran porcentaje de la producción mundial de arsénico es usado en el tratamiento de la madera como arseniato de cromo y cobre, un porcentaje menor en productos químicos para la agricultura, y otro pequeño porcentaje en la fabricación de vidrios, uso farmacéutico y aleaciones no ferrosas (WHO, 2001).

Los arsenicales han tenido una amplia aplicación en la agricultura, siendo que su uso comenzó con la aplicación del arsenito de sodio para destruir la maleza. Más tarde fue empleado el arseniato de calcio como herbicida (Cullen, Raimer, 1989). Hasta la década de 1960 los arsenicales, entre ellos el arseniato de plomo, fue frecuentemente usado como insecticida pero su uso fue reemplazado progresivamente, por compuestos órgano fosforados y organoclorados (Buchet y Lison, 2000).

El arsénico y sus compuestos están presentes con significativa frecuencia en el medio ambiente. La fundición de metales no ferrosos, la quema de combustible fósil y el empleo de plaguicidas son los principales procesos que contribuyen a la contaminación de origen antropogénico del ambiente (WHO, 1981).

El arsénico es liberado a la atmósfera como consecuencia de procesos naturales de alta temperatura tales como: erupción volcánica, quema de vegetación y combustión de carbón. Ha sido estimado que 60% del flujo atmosférico de arsénico es de origen natural siendo la acción volcánica una de las principales fuentes (WHO, 2001).

El arsénico proveniente de estos procesos es liberado, en el material particulado, en la forma de trióxido de arsénico. Esas partículas son dispersadas

por el viento y retornan a la tierra por deposición seca o húmeda (Blimblecombe, 1979).

2.2. MARCO LEGAL

Los aspectos normativos que de alguna manera han cimentado el Marco Legal Nacional en sus diversos niveles, cuya orientación es la conservación y aprovechamiento de los recursos naturales disponibles del país tendientes a lograr un desarrollo sostenible, han originado acuerdos y compromisos universales; situación que se torna más compleja, en vista de que el Perú es uno de los lugares que cuenta con uno de los mayores bancos de biodiversidad del mundo y que paradójicamente no son aprovechados, por el contrario son objeto de depredación y abandono.

A partir de la Conferencia de Estocolmo sobre Medio Humano, realizada en Suecia en 1972 y sobre todo de la Conferencia de la Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, realizada en Brasil en 1992, el Perú ha realizado importantes avances en materia de Legislación Ambiental. Una manifestación de ello, es el ordenamiento legal más organizado, acorde con los principios internacionales del Derecho Ambiental.

La legislación ambiental sobre la que se sustenta cualesquier actividad ordenada, cobra relevancia en la gestión ambiental toda vez que se quiere poner

fin a la depredación de los recursos naturales y explotación no planificada. En el marco de la Constitución Política del Estado, constituyen base legal para la Gestión Ambiental, los siguientes instrumentos:

- a) La Constitución Política del Perú, promulgada el 29 de diciembre de 1993 en sus artículos 14 y 19, entre otras acciones, promueve el desarrollo científico y tecnológico del país. Así mismo, estimula la creación de organismos orientados a dichos fines. Según los artículos 67 y 68 de esta Constitución de 1993, el Estado determina la política nacional del ambiente, promueve el uso sostenible de sus recursos naturales y se impone la obligación de promover la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas.
- b) El Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, aprobado mediante Decreto Legislativo N° 613 del 08-09-90 es la norma que prevalece sobre cualquier otra norma legal contraria a la defensa del medio ambiente y los recursos naturales (Art. XII. Título Preliminar).
- c) Decreto Ley 17752 del 24-07-69. Ley General de Aguas, modificado según 014-92 EM del 03-06-92.
- d) Reglamento de Acondicionamiento Territorial, Desarrollo Urbano y Medio Ambiente. D.S. N° 007-85-VC del 20-02-85.

- e) El Código Penal. Decreto Legislativo N° 635. 03-04-91. Art. N° 304-309. "El que deposita, comercializa o vierte desechos industriales o domésticos en lugares no autorizados o sin cumplir con las normas sanitarias y de protección del medio ambiente, será reprimido con pena privativa de libertad.

- f) Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada. Decreto Legislativo N° 757. del 13-11-91. Art. 9° " toda empresa tiene derecho a organizar y desarrollar sus actividades en forma que juzgue convenientemente... Queda derogada toda disposición legal que fije modalidades de producción... salvo las disposiciones legales referidas a la higiene y seguridad industrial, la conservación del medio ambiente y la salud.

- g) Ley General de Pesca, DL. N° 25977 del 22-12-92. Art., 6°..." el Estado dentro del marco regulador de la actividad pesquera, vela por la protección y preservación del medio ambiente, exigiendo que se adopten las medidas necesarias para prevenir, reducir y controlar los daños o riesgos de contaminación o deterioro en el entorno marítimo, terrestre, y atmosférico.

- h) Reglamento de la Ley General de Pesca. D.S. N° 01-94 PE, sobre Protección del Medio Ambiente.

- l) Aprueban términos de Referencia para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental en el Sector Pesquería. R.M. N° 177-94-PE del 07-05-94.
- j) Resolución Ministerial N° 236-94 PE del 21-06-94, aprueba los lineamientos para la elaboración del programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) de la Actividad de Procesamiento Pesquero.
- k) Ley del Consejo Nacional del Ambiente. Ley N° 26410. 22-12-94. Tiene entre sus funciones: Art.4°... c) ...coordinar con los sectores la fijación de los límites permisibles para la protección ambiental... h) Resolver en última instancia administrativa, los recursos impugnativos interpuestos contra resoluciones o actos administrativos relacionados con el ambiente..."
- l) Decreto Supremo N° 009-97-DE/MGP. 07-02-97. Aprueba Texto Único de Procedimientos Administrativos (TUPA). De la Marina de Guerra del Perú. Parte C. Presentación de Estudio de Impacto Ambiental para la instalación de tuberías submarinas y artefactos flotantes (Chatas).

- m) Resolución Directoral N° 0127-97-DCG. Dictan disposiciones que establecen las definiciones de diversos contaminantes del mar y los criterios para su identificación, del 11-06-97.
- n) D.S. N° 001-97-CD-CONAM, aprueban Marco estructural de Gestión Ambiental, publicado 13-11-97.
- o) Resolución Ministerial N° 721-97-PE. Aprueba el protocolo de Monitoreo de efluentes de la industria pesquera de consumo humano indirecto, del 16-11-97.
- p) Normas ambientales para aguas receptoras y aguas marinas a nivel internacional.
- q) Decreto Supremo N° 013-2005-AG.
- r) Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM. Aprobación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.
- s) LEY N° 29338. Ley de Recursos Hídricos. (30 de marzo del 2009).
- t) Reglamento de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos
DECRETO SUPREMO N° 001-2010-AG.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

2.3.1.1. AGUAS SUPERFICIALES

Las fuentes de agua superficiales son los ríos, arroyos, lagos y presas. Su origen puede ser el agua subterránea que aflora a la superficie a través de manantiales o el agua de lluvia que fluye sobre la superficie del terreno hacia los cuerpos receptores. Si el agua superficial tiene su origen en el subsuelo, ésta contendrá sólidos disueltos; el agua que escurre por la superficie contribuye a la contaminación de los ríos o lagos principalmente con turbiedad y materia orgánica (como sustancias húmicas que dan color al agua), así como con microorganismos patógenos.

Los ríos y arroyos se caracterizan por tener rápidos cambios de calidad. Durante la época de lluvias se presentan incrementos en la turbiedad y otras sustancias orgánicas e inorgánicas debido al lavado y arrastre de los suelos. En lagos y embalses, el cambio estacional en la calidad del agua es gradual y menos drástico que en los ríos.

En los meses de verano el agua se estratifica creando condiciones anóxicas y reductivas en el fondo del embalse que ocasiona la solubilización del

fierro y el manganeso, en caso de estar presentes en los sedimentos, creando problemas de color y sabor. Las capas superiores son susceptibles de presentar un alto crecimiento de algas cuando las condiciones de nutrientes y temperatura son favorables (eutroficación).

El recurso hídrico superficial se corresponde principalmente con los ríos y arroyos que escurren en superficie y configuran una de las fuentes principales de vida y desarrollo. No es solamente un productor de agua potable sino también vía de navegación, producción ictícola, generación de hidroelectricidad, centro turístico u otros tantos usos para los cuales conviene preservarlo.

No es casual que en la historia de la humanidad las grandes ciudades se han formado siempre a las orilla de algún curso de agua importante, pues desde tiempos remotos, éste ha sido el factor principal de producción y transporte. Un buen ejemplo es Sama Las Yaras, cuya pequeña población evolucionó a la vera de uno de los ríos de Tacna: el Río Sama.

El río Sama recibe este nombre a partir de la confluencia de los ríos Salado y Tala, aunque sus orígenes se ubican en el cerro de Llocollocone. En el área de su cuenca se halla el embalse de Condorpico, con una capacidad de almacenamiento de 2 millones de m³ de agua. Al término de la Guerra del Pacífico (1883), por cláusula del tratado de Ancón, el río Sama fue temporalmente fijado como límite entre Chile y Perú.

Destaca la ciudad de Las Yaras (Capital del Distrito de Sama), sobre las faldas de una estribación de los Andes que tiene elevaciones conocidas como las Lomas (provincia) y el Morro de Sama, cuyas laderas descienden suavemente hasta alcanzar la orilla del mar.

El Morro de Sama constituye el accidente topográfico más alto de este tramo de costa y parte de él se encuentra dentro de la nueva provincia Jorge Basadre. Cuando llueve, sus laderas se cubren de pastos, embelleciéndose.

La cantidad de aguas superficiales que logran obtenerse en Sama Las Yaras, son muy bajas ($0,736 \text{ m}^3/\text{segundo}$) en el año 2005.



Fuente: Foto de Ángel Tarapa

Figura 1. Río Sama, Tacna.

2.3.1.2. AGUAS SUBTERRÁNEAS

La mayor parte del agua subterránea se origina del agua de lluvia infiltrada hasta los acuíferos después de fluir a través del subsuelo. Durante la infiltración, el agua puede cargar muchas impurezas; tales como, partículas orgánicas e inorgánicas, detritus de plantas y animales, microorganismos, pesticidas, fertilizantes, etc. Sin embargo, durante su recorrido por el subsuelo mejora significativamente su calidad: las partículas suspendidas y microorganismos se retienen por filtración natural y las sustancias orgánicas se degradan por oxidación.

Por otro lado, las sales disueltas, causantes de problemas como dureza y salinidad, no se remueven e incluso, se pueden incrementar considerablemente por la disolución de minerales del subsuelo. Otras sustancias o elementos frecuentemente presentes en las aguas subterráneas son: sulfatos, nitratos, fierro y manganeso, arsénico y flúor.

En muchos casos el agua es de buena calidad y puede usarse y beber directamente sin tratamiento, aunque siempre es preferible la desinfección como barrera de seguridad para prevenir contaminación durante el manejo del agua. Las aguas de pozos pueden contener contaminación microbiológica proveniente de letrinas cercanas, tanques sépticos, pastoreo de ganado o contaminación de sustancias orgánicas sintéticas de productos agroquímicos.

Actualmente, en Sama Las Yaras, la extracción de aguas subterráneas suministra un volumen aproximado de 0,500 m³/segundo, de los cuales se destinan al abastecimiento de agua a la población y a riegos agrícolas de acuerdo al Decreto Supremo N° 013-2005-AG.

Hay que anotar que el papel que tienen las aguas subterráneas en el suministro de agua es relevante, porque de ella depende el abastecimiento a una población de más de 500 habitantes. No es menos espectacular la utilización de las aguas subterráneas para regadío en Sama Las Yaras, puesto que ha

supuesto importantes beneficios que en muchos casos han sido superiores a los obtenidos con la utilización de las aguas superficiales.

Debido a una serie de actuaciones incontroladas por parte de algunos campesinos, los acuíferos se han visto de sobre manera explotados. Esto ha perjudicado de manera notable, dando lugar a problemas de diversa índole, tales como el agotamiento de las reservas, deterioro de la calidad del agua, e impactos económicos y medioambientales, etc.

El problema de la sobreexplotación afecta a un gran número de acuíferos utilizados como fuente de suministro de agua, se estima que al menos todas las unidades hidrológicas empleadas para este fin, sufren este problema, esto quiere decir que por lo menos entre un 20 y un 30% de los recursos de agua subterránea ven amenazados su sostenibilidad.

La movilidad del agua subterránea depende del tipo de rocas subterráneas en cada lugar. Las capas permeables saturadas capaces de aportar un suministro útil de agua son conocidas como acuíferos, y suelen estar formadas por arenas, gravas, calizas o basaltos. Otras capas, como las arcillas, pizarras y limos tienden a reducir el flujo del agua subterránea. Las rocas impermeables son llamadas acuífugas o rocas basamentarias.

En zonas permeables, la capa superficial del área de saturación de agua se llama nivel freático. Cuando en lugares muy poblados o zonas áridas muy irrigadas se extrae agua del subsuelo en demasía, el nivel freático puede descender con gran rapidez, haciendo que sea imposible acceder a él, aún recurriendo a pozos muy profundos.

El agua subterránea, agua que se encuentra bajo la superficie terrestre. Se encuentra en el interior de poros entre partículas sedimentarias y en las fisuras de las rocas más sólidas. En general mantiene una temperatura muy similar al promedio anual en la zona. El agua subterránea más profunda puede permanecer oculta durante miles o millones de años. No obstante, la mayor parte de los yacimientos están a poca profundidad y desempeñan un papel discreto pero constante dentro del ciclo hidrológico. A nivel global, el agua subterránea representa cerca de un 20% de las aguas dulces, que a su vez constituyen el 3% del total; el 80% restante está formado por las aguas superficiales; un 79% es hielo y el 1% representa el agua presente en ríos, lagos y arroyos. Es de esencial importancia para la civilización porque supone la mayor reserva de agua potable en las regiones habitadas por los seres humanos. El agua subterránea puede aparecer en la superficie en forma de manantiales, o puede ser extraída mediante pozos.

En tiempos de sequía, puede servir para mantener el flujo de agua superficial, pero incluso cuando no hay escasez, el agua subterránea es

preferible porque no tiende a estar contaminada por residuos o microorganismos. En zonas permeables, la capa o zona límite de la superficie de saturación de agua se llama nivel freático. Sobre este nivel se encuentra la zona de aireación, cuya capa más inmediata al nivel freático se denomina franja capilar, ya que en ella el agua se mueve por capilaridad, de forma que existen movimientos ascendentes de agua en sentido contrario a la fuerza de la gravedad.

Sobre la franja capilar, en la zona de aireación, se encuentra la zona intermedia o de agua vadosa, donde el movimiento de agua se produce por gravedad, y es descendente. Evidentemente, en función de la cantidad de agua existente en el acuífero, la zona de saturación y, consecuentemente, la capa freática oscilan en nivel, alcanzando en ocasiones zonas superficiales donde descargan dando lugar a charcas, lagunas o aguas corrientes.

Los ríos se alimentan de aguas superficiales, pero en la mayoría de los casos, la mayor proporción de agua que circula por ellos proviene del subsuelo, alimentado de aguas de precipitación por infiltración que circulan subterráneamente hasta descargar en los propios ríos. Hay tramos en que los ríos no se alimentan del agua subterránea sino que ceden agua a los acuíferos, contribuyendo a elevar su caudal.

Cuando en lugares muy poblados o zonas áridas muy irrigadas se extrae agua del subsuelo de forma continuada y en grandes cantidades, el nivel freático

puede descender con gran rapidez (ya que la velocidad de extracción es mayor que la recarga), haciendo que sea imposible acceder a él, aún recurriendo a pozos muy profundos. El agua subterránea puede localizarse en la zona superior del suelo, denominándose entonces subsuperficial.

La contaminación del agua subterránea, aunque es menor que la del agua superficial, se debe especialmente a la agricultura, al arrastrar el agua infiltrada numerosos compuestos químicos utilizados como fertilizantes o abonos, o también productos fitosanitarios (para la lucha contra las enfermedades y plagas), o incluso por regar con agua salada o salobre, y se ha convertido también en una preocupación en los países industrializados.

2.3.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL ARSÉNICO

El arsénico (As) es un elemento ubicuo, está clasificado como metaloide junto con el nitrógeno y el fósforo, con los que comparte sus propiedades, pertenece al grupo V de la Tabla Periódica. En estado oxidado, el As puede tener las valencias +3 [As (III)] y +5 [As (V)]. Los compuestos de As (III) forman derivados piramidales con un par de electrones no compartidos, lo que le permite formar complejos con ácidos de Lewis y metales de transición. En contraste, los compuestos de As (V) tienen una estructura trigonal bipyramidal, en la cual los enlaces axiales suelen ser más

largos que los ecuatoriales. El As (V) no tiene electrones no compartidos, lo que probablemente contribuye a su estabilidad en la naturaleza.

Es el 52º elemento en abundancia de la corteza terrestre con 2 ppm (5×10^{-4} %) y es uno de los 22 elementos conocidos que se componen de un solo nucleído estable. El arsénico se encuentra en forma nativa y, principalmente, en forma de sulfuro en una gran variedad de minerales que contienen cobre, plomo, hierro (arsenopirita o *mispickel*), níquel, cobalto y otros metales.

El arsénico presenta tres estados alotrópicos: gris o metálico, amarillo y negro. El arsénico *gris metálico* (forma α) es la forma estable en condiciones normales y tiene estructura romboédrica, es un buen conductor del calor pero pobre conductor eléctrico, su densidad es de $5,73 \text{ g/cm}^3$, es deleznable y pierde el lustre metálico expuesto al aire. El arsénico *amarillo* (forma γ) se obtiene cuando el vapor de arsénico se enfría rápidamente. Es extremadamente volátil y más reactivo que el arsénico metálico y presenta fosforescencia a temperatura ambiente.

El arsénico es un elemento considerado entre los veinte más abundantes sobre la tierra. Está presente en cantidades trazas en rocas, suelo, agua y aire. Este elemento puede existir en cuatro estados de valencia como As^{3-} , As^0 , As^{3+} y As^{5+} . El arsénico se encuentra en el ambiente principalmente como arsenito y arseniato (WHO, 2001).

La concentración natural de arsénico en agua de mar usualmente es menor que 2 $\mu\text{g/L}$, siendo que en aguas superficiales y subterráneas la concentración varía entre 1 y 10 $\mu\text{g/L}$. Niveles elevados han sido relatados en aguas de origen geoquímicas y asociadas a la actividad hidrotermal. El arsénico elemental no es soluble en agua (WHO, 2001).

La concentración de arsénico en el aire varía entre 1 y 10 $\mu\text{g/m}^3$ en áreas rurales y es levemente más alto en áreas urbanas alcanzando valores cercanos a los 20 $\mu\text{g/m}^3$. En áreas próximas a plantas que queman carbón pueden encontrarse valores de hasta 1 $\mu\text{g/m}^3$. La concentración de arsénico en rocas y suelos no contaminados son generalmente menores que 20 mg/kg de suelo (Buchet y Lison, 2000).

El arsénico en los alimentos se encuentra en forma orgánica e inorgánica. Los compuestos arsenicales orgánicos identificados son: arsenobetaina, arsenocolina, sales del ácido trimetilarsónico, arsenoazúcares y lípidos que contienen arsénico. Estos compuestos son principalmente encontrados en organismos marinos, aunque algunos de ellos han sido identificados en especies terrestres y organismos de agua dulce (WHO, 2001).

La arsina (AsH_3) es un gas altamente tóxico y puede estar presente en ambientes ocupacionales. La American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) recomienda un valor de TLV-TWA (TLV Threshold Limit

Values-TWA Time-Weighted Average) de 0,05ppm. Estudios por vía respiratoria en humanos o animales que relacionen exposición a arsina y cáncer no han sido desarrollados, por lo tanto no existe información disponible de los efectos crónicos de la arsina para humanos (EPA, 2003).

2.3.3. EFECTOS AMBIENTALES DEL ARSÉNICO

El arsénico puede ser encontrado de forma natural en la tierra en pequeñas concentraciones. Esto ocurre en el suelo y minerales y puede entrar en el aire, agua y tierra a través de las tormentas de polvo y las aguas de escorrentía. El arsénico es un componente que es extremadamente duro de convertir en productos soluble en agua o volátil.

En realidad el arsénico es naturalmente un compuesto móvil, básicamente significa que grandes concentraciones no aparecen probablemente en un sitio específico. Esto es una buena cosa, pero el punto negativo es que la contaminación por arsénico llega a ser un tema amplio debido al fácil esparcimiento de este. El arsénico no se puede movilizar fácilmente cuando este es inmóvil. Debido a las actividades humanas, mayormente a través de la minería y las fundiciones, naturalmente el arsénico inmóvil se ha movilitado también y puede ahora ser encontrado en muchos lugares donde ellos no existían de forma natural.

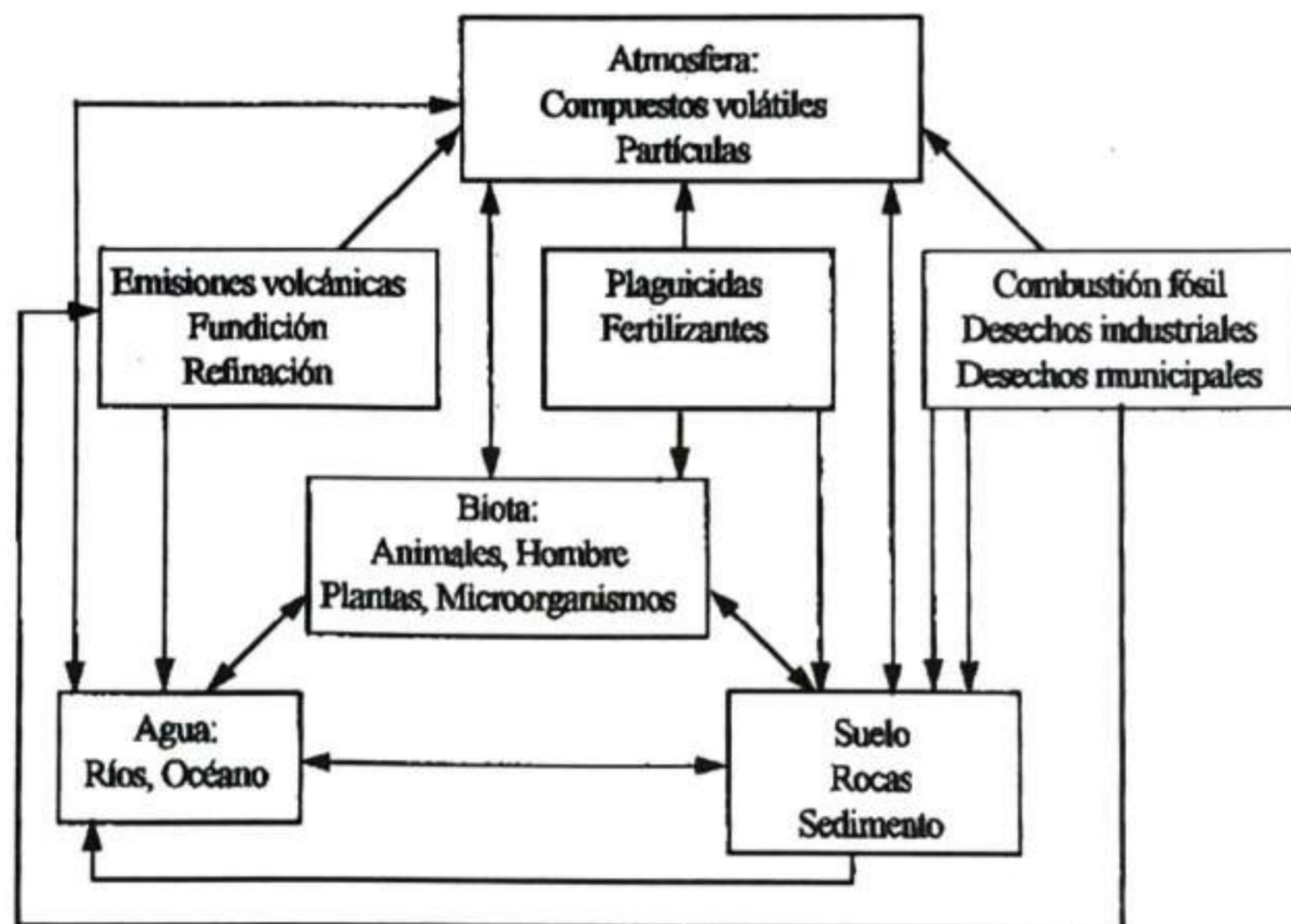
2.3.3.1. CICLO DEL ARSÉNICO EN EL MEDIO AMBIENTE

El ciclo del arsénico ha sido ampliado como consecuencia de la interferencia humana y debido a esto, grandes cantidades de arsénico terminan en el ambiente y en organismos vivos. El arsénico es mayoritariamente emitido por las industrias productoras de cobre, pero también durante la producción de plomo y zinc y en la agricultura. Este no puede ser destruido una vez que este ha entrado en el ambiente, así que las cantidades que hemos añadido pueden esparcirse y causar efectos sobre la salud de los humanos y los animales en muchas localizaciones sobre la tierra.

Las plantas absorben arsénico bastante fácil, así que altos rangos de concentraciones pueden estar presentes en la comida. Las concentraciones del peligroso arsénico inorgánico que está actualmente presente en las aguas superficiales aumentan las posibilidades de alterar el material genético de los peces.

Esto es mayormente causado por la acumulación de arsénico en los organismos de las aguas dulces consumidores de plantas. Las aves comen peces que contienen eminentes cantidades de arsénico y morirán como resultado del envenenamiento por arsénico como consecuencia de la descomposición de los peces en sus cuerpos.

En este sentido se debería prestar más atención a las generalizaciones hechas a este respecto para países y situaciones diferentes. El ciclo del arsénico en el ambiente se presenta en la Figura 2.



Fuente: Diaz Barriga et al., 1992

Figura 2. Ciclo del arsénico en el ambiente.

El arsénico se encuentra como materia de desecho en muchos minerales, también puede ser liberado al ambiente por la actividad volcánica, la erosión de depósitos minerales y por diversas actividades humanas. México es uno de los principales productores de arsénico en el mundo, con cerca del 20% de la producción mundial. Además de su presencia natural en pequeñas cantidades en prácticamente todos los ecosistemas, las principales

actividades humanas que liberan este elemento al ambiente son el uso de combustibles fósiles en plantas termoeléctricas, los procesos de fundición y refinación de metales no ferrosos (Pb, Zn y Cu), el uso para la protección de maderas, en especial el método conocido como cobre-cromo-arsénico, la manufactura de semiconductores a base de arseniuro de galio e indio para la industria electrónica y el almacenamiento inadecuado de desechos industriales que contienen arsénico.

Las concentraciones de arsénico en el aire en sitios alejados de actividades antropogénica son de 1 a 3 ng/m³ mientras que, en áreas industriales emisoras de arsénico, los niveles de este elemento pueden ser de 100 hasta 300 ng/m³.

Las concentraciones de arsénico en el agua son usualmente menores a 10 µg/L mientras que, en sitios cercanos a minas o contaminados con minerales arsenicales, fluctúan entre 200 y 1 000 µg/L. Las concentraciones de arsénico en el suelo varían de 1 a 40 mg/kg y, en áreas agrícolas, pueden ser aún más altas por la presencia de residuos de plaguicidas arsenicales.

El principal aporte de arsénico a la dieta son los alimentos de origen marino, pues los crustáceos y peces marinos comestibles tienen las concentraciones más altas de arsénico (0,1 a 90 µg/g). Sin embargo, el arsénico presente en este tipo de alimentos es arsénico orgánico, que es

considerado como menos tóxico. La ingestión de As en el agua de bebida (principalmente arsénico inorgánico) es una fuente de exposición muy importante para algunas poblaciones, por lo que puede ser un problema grave de salud pública. Este problema ha sido descrito en Taiwán, Chile, Argentina, México e India, en todas las regiones afectadas por la presencia de As en el agua de bebida se rebasa varias veces el límite máximo permisible para el agua de bebida (50 µg As/L). El ingreso de As al organismo a través del aire y suelo es mucho menor, pero puede ser importante en poblaciones vecinas a fuentes de emisión.

2.3.3.2. EFECTOS DEL ARSÉNICO SOBRE LA SALUD

2.3.3.2.1. METABOLISMO DEL ARSÉNICO

Cabe destacar que una cantidad considerable de información se refiere al tema del arsénico como un problema de contaminación, a pesar de que en la mayoría de los casos a los que se hace referencia tales como los registrados en Perú, Argentina, Chile, India, Taiwán y Vietnam entre otros, corresponden a la presencia natural de altas concentraciones de arsénico en el ambiente. Solamente en algunos países como México y China las elevadas concentraciones de arsénico encontradas en el ambiente han sido derivadas de una acción antropogénica como son la actividad minera y la quema de carbón, respectivamente (Díaz-Barriga et al., 1992 y Liu et al., 2002).

El arsénico es uno de los más tóxicos elementos que pueden ser encontrados. Debido a sus efectos tóxicos, los enlaces de arsénico inorgánico ocurren en la tierra naturalmente en pequeñas cantidades. Los humanos pueden ser expuestos al arsénico a través de la comida, agua y aire. La exposición puede también ocurrir a través del contacto con la piel con suelo o agua que contenga arsénico. Los niveles de arsénico en la comida son bastante bajos, no es añadido debido a su toxicidad, pero los niveles de arsénico en peces y mariscos puede ser alta, porque los peces absorben arsénico del agua donde viven. Por suerte esto está mayormente en la forma de arsénico orgánico menos dañina, pero peces que contienen significantes cantidades de arsénico inorgánico pueden ser un peligro para la salud humana (Emsley, 2001).

La exposición al arsénico puede ser más alta para la gente que trabaja con arsénico, para gente que bebe significantes cantidades de vino, para gente que vive en casas que contienen conservantes de la madera y gente que viven en granjas donde el arsénico de los pesticidas ha sido aplicado en el pasado. La exposición al arsénico inorgánico puede causar varios efectos sobre la salud, como es irritación del estómago e intestinos, disminución en la producción de glóbulos rojos y blancos, cambios en la piel, e irritación de los pulmones. Es sugerido que la toma de significantes cantidades de arsénico inorgánico puede intensificar las posibilidades de desarrollar cáncer, especialmente las posibilidades de desarrollo de cáncer de piel, pulmón, hígado, linfa. (Holding, 2009).

A exposiciones muy altas de arsénico inorgánico puede causar infertilidad y abortos en mujeres, puede causar perturbación de la piel, pérdida de la resistencia a infecciones, perturbación en el corazón y daño del cerebro tanto en hombres como en mujeres. Finalmente, el arsénico inorgánico puede dañar el ADN. El arsénico orgánico no puede causar cáncer, ni tampoco daño al ADN. Pero exposiciones a dosis elevadas puede causar ciertos efectos sobre la salud humana, como lesión de nervios y dolores de estómago (Holding, 2009).

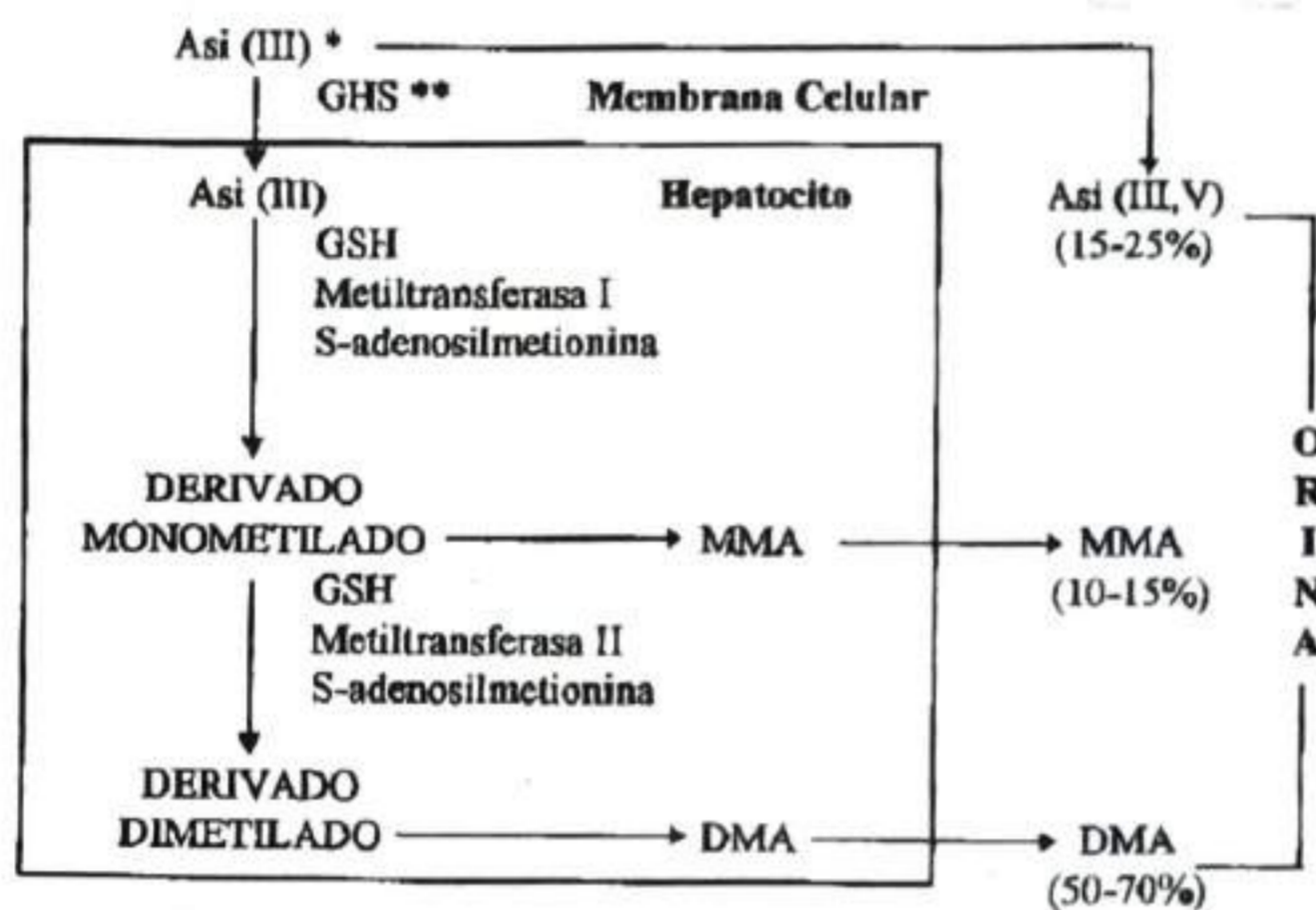
En los seres humanos y en la mayoría de las especies animales, la absorción de compuestos arsenicales a través del TGI es alta (95 %) cuando se administran en solución acuosa. La absorción de As por vía respiratoria depende del tamaño de las partículas inhaladas, de su solubilidad y de la forma química del compuesto. La principal forma química presente en el aire es el As (III), el cual es de origen antropogénico (Albores et al., 1979).

Las partículas grandes se depositan en las vías superiores, son removidas por el movimiento ciliar y transportadas al TGI, en donde son absorbidas dependiendo de su solubilidad. Las partículas menores de 7 μm se absorben en un 75 a 85 %. Los arsenicales tienden a acumularse principalmente en hígado, riñón, pulmón y bazo. El As (III) se une preferentemente a los grupos sulfhídrico de proteínas como la queratina, por lo que se deposita en pelo y uñas. (Albores et al., 1979).

El metabolismo del As se realiza principalmente en el hígado y, aunque su mecanismo no está bien establecido, se propone que en el hígado intervienen dos procesos:

- a) Reacciones de reducción que convierten el As (V) en As (III), y
- b) Reacciones de metilación oxidativa que transforman el As (III) en especies metiladas (Figura 3).

La metilación del As que se ha propuesto requiere, primero, una reducción del As (V) a As (III); enseguida, la adición del primer grupo metilo para obtener ácido monometil-arsónico (MMA); se postula que ésta es seguida por una segunda reducción de MMA (V) a MMA (III) previa a la segunda metilación, lo que produce el ácido dimetil-arsínico (DMA). Se ha propuesto a la S-adenosilmetionina como donador de los grupos metilo y al glutatión reducido (GSH) como principal agente reductor y transportador de As. (Albores et al., 1979).



*Arsénico inorgánico ** Glutation reducido
Fuente: Diaz Barriga et al., 1992

Figura 3. Biotransformación del arsénico inorgánico.

En microorganismos puede ocurrir una tercera metilación, que genera compuestos trimetilados, los cuales se consideran poco tóxicos. El metabolismo de los arsenicales orgánicos es pobre, sólo un 13 % del MMA (V) se convierte a DMA; sin embargo, una vez que los arsenicales han sido metilados no son desalquilados. Varios factores pueden influir en la capacidad de metilación del As, entre ellos, dosis y tiempo de exposición, una dieta alta en metionina y proteínas y el probable polimorfismo genético de la(s) enzima(s) metilante(s). Se ha encontrado un incremento significativo en la cantidad de MMA y una disminución en el contenido de DMA que son excretados en la orina de individuos que han estado expuestos crónicamente a altas concentraciones de As en el agua de bebida. (Albores et al., 1979).

El As se elimina principalmente por el riñón en forma de DMA (50-70 %). Una parte (20 %) se excreta sin metilar, en la orina (figura 2). El As tiene una vida media corta, los valores descritos en orina de hámster son de 28,6 hs para arsénico inorgánico, 7,4 hs para MMA y 5.6 hs para DMA. Las proporciones relativas de As (III), As (V), MMA y DMA en la orina pueden variar, dependiendo de la forma química, el tiempo de exposición, la dosis y la especie animal expuesta. En comparación con el hombre, en la mayoría de las especies animales la excreción de MMA es muy baja (<4 %) mientras que, en la rata, la retención y distribución de arsénico difieren de las observadas en otras especies, pues la mayoría del DMA formado se une a los eritrocitos. (Albores et al., 1979).

2.3.3.2.2. TOXICIDAD DEL ARSÉNICO

Es conocido desde hace años que la exposición crónica al arsénico por la ingestión de agua puede causar efectos adversos a la salud humana. Gracias a los estudios realizados en 1888 por el investigador Hutchinson se tienen los primeros antecedentes históricos que relacionaron la presencia de arsénico en el agua y lesiones en la piel como hiperpigmentaciones, hiperqueratosis y cáncer cutáneo (Galetovic y De Fernicola, 2003)

En el año 1913, en Argentina, fueron identificados dos pacientes que presentaban los síntomas de una intoxicación por arsénico, siendo que en un

primer momento fue considerada como accidental. El número de casos fue en aumento y la enfermedad llegó a ser conocida como enfermedad de Bell Ville, en la provincia de Córdoba, por ser este el lugar donde se registró el mayor número de casos, en regiones rurales, en donde los niveles de arsénico en el agua eran superiores a 1000 µg/L. En 1917, esta enfermedad pasó a ser conocida como hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE). Se llegó a la conclusión de que la etiología de la enfermedad era debida a la ingestión de agua con arsénico (Astolfi et al., 1982).

En Chile, en el año 1923, se describió por primera vez una enfermedad considerada original y característica de este país llamada enfermedad del salitre o cáncer de los salitreros. Las personas presentaban hiperqueratosis y alteraciones degenerativas en la piel (Prunes, 1939).

Actualmente el problema de la presencia de arsénico en el agua de bebida no ha cesado y existen poblaciones expuestas en regiones de Perú, Argentina, Chile, China, Estados Unidos de América, Hungría, India, Japón, México, Taiwán y Vietnam. En Brasil, están siendo recopilados los datos de la presencia de arsénico en suelos, sedimentos y aguas subterráneas, en áreas que tuvieron por más de 300 años una fuerte actividad minera, como es el caso de Ouro Preto, Santa Bárbara y Nova Lima en Minas Gerais, en estos lugares se ha detectado la presencia de arsénico y el potencial daño a la salud de la población precisa ser evaluado (Gardenal, 2003).

En varios países se ha logrado suministrar a la población, agua con concentraciones de arsénico dentro de los límites permitidos, pero en la India la situación persiste siendo un problema de salud pública (Jain y Ali, 2000).

Se estima que alrededor de un millón de habitantes, en la India, está consumiendo agua con elevadas concentraciones de arsénico y en algunas regiones se han detectado concentraciones de arsénico de aproximadamente 2 000 µg/L, siendo este hecho considerado como la mayor exposición de una población en la historia (Tondel et al., 1999).

En la Conferencia de Bangkok, realizada en marzo de 2002, fue destacado que el problema de la presencia de arsénico en el agua de consumo, persiste en la India (WHO, 2002b).

En la ciudad de Hanoi, Vietnam, es utilizada directamente para consumo humano, agua subterránea con arsénico presente naturalmente. La ingestión de esta agua no tratada constituye una seria amenaza a la salud de un grande número de habitantes (Berg *et al.*, 2001).

Por medio de numerosos estudios se sabe que una exposición a largo plazo causa lesiones características en la piel, incluyendo modificaciones en la pigmentación, principalmente en el tronco y las extremidades, queratosis en las

palmas de las manos y plantas de los pies, hiperqueratosis, hiperpigmentaciones y cáncer a la piel (Shannon y Strayer, 1989).

Las hiperpigmentaciones han sido descritas como manchas decoloradas en forma de gotas de lluvia, manchas difusas color marrón oscuro o como el oscurecimiento generalizado de la piel en los miembros y el tronco. Poblaciones expuestas al arsénico muestran esas lesiones en la piel, siendo éstas una manifestación tardía de su toxicidad. La prevalencia de estas lesiones cutáneas no cancerosas ha sido relatada en más del 80% de las poblaciones estudiadas (Meek y Hughes, 1992).

La ingestión de agua con arsénico puede llevar a un incremento de abortos espontáneos y de recién nacidos muertos. Una exposición prolongada a concentraciones de arsénico inorgánico dentro del valor sugerido por la OMS en el agua de bebida puede causar efectos cardiovasculares, incluyendo arritmias, hipertensión, isquemia cardíaca y cerebral, diabetes mellitus y alteraciones arteriales periféricas como la enfermedad del "pie negro" que resulta en gangrena. Los estudios sobre el potencial neurotóxico y desarrollo de efectos reproductivos adversos asociados con la ingestión de arsénico en el agua de bebida, son no concluyentes (Buchet y Lison, 2000).

Efectos cardiovasculares adversos tales como: infarto del miocardio y problemas arteriales, han sido observados en la población de niños en Chile, que

consumen agua con un contenido de arsénico en el agua de bebida superior a 600 µg/L. Sin embargo, estos efectos no han sido observados en estudios de poblaciones expuestas a concentraciones de arsénico similares en otras partes del mundo (Meek y Hughes, 1992).

En Taiwán fue observada una relación entre la exposición a arsénico y la prevalencia de cáncer en la piel como también una relación entre la concentración de arsénico en el agua y la enfermedad denominada "pie negro" (Tseng, 1977). Sin embargo ha sido sugerido que otros compuestos presentes en el agua sean los responsables de esta enfermedad (Buchet y Lison, 2000).

Por algún tiempo se pensó que una población indígena del norte de Chile que ha bebido agua con concentraciones de arsénico entre 750-800 µg/L y con nutrición adecuada, tenía una biotransformación diferente del arsénico, que la hacía menos susceptibles a desarrollar enfermedades, cuando comparada con poblaciones en otras partes del mundo como Taiwán y la India. Un grupo de investigadores llevó a cabo un estudio en este pueblo indígena de Chile y encontraron lesiones cutáneas en los hombres y niños de la población estudiada. Esta prevalencia fue similar a lo relatado, con la correspondiente concentración de arsénico en agua de bebida, en las poblaciones de la India y Taiwán, donde existe mala nutrición, que era el factor que las hace diferente de este pueblo de indígenas atacameños (Smith et al., 2000).

También fueron encontrados algunos casos de cáncer en la vejiga y en el pulmón, y la presencia de micronúcleos en células de la vejiga lo cual proporciona la evidencia de que existe daño genético inducido por el consumo de agua con concentraciones de arsénico tan altas como 700 $\mu\text{g/L}$. Por otra parte, el análisis de los productos de la biotransformación de los compuestos arsenicales en muestras de orina de esta población de indígenas, mostró un patrón similar al encontrado en otras poblaciones estudiadas, lo que sugiere que el proceso de biotransformación no sería diferente del conocido hasta ahora (Smith et al., 1998).

En este estudio, sin embargo, no es considerado cuál es el aporte del arsénico que se tiene por el consumo de vegetales, granos, frutas, carne y leche que son la principal fuente de alimentación de los pueblos de Sama - Las Yaras en el norte de Tacna. En otro estudio realizado en dos pueblos indígenas, en Chile, fue encontrado un contenido de arsénico de 1850 $\mu\text{g/kg}$ en maíz en el pueblo de Socaire y 860 $\mu\text{g/kg}$ en papas en el pueblo de Talabre, siendo que ambos valores sobrepasan el patrón nacional para alimentos que es de 500 $\mu\text{g/kg}$ (Queirolo et al., 2000).

La toxicidad del As es compleja pues depende de la vía de exposición, del estado de valencia y de la forma química (inorgánica u orgánica) del compuesto, El arsénico inorgánico es el responsable de la mayoría de los casos de intoxicación en humanos. El gas arsina es considerado como la forma

más tóxica del As, lo que se debe a su actividad como potente agente hemolítico, sin embargo, este gas difícilmente alcanza niveles tóxicos en el ambiente. En cuanto a las especies oxidadas, generalmente las sales inorgánicas de As (III) son más tóxicas que las de As (V) (Tabla I) y la solubilidad de los compuestos de arsénico inorgánico está relacionada con su toxicidad. Existen pocos estudios sobre la toxicidad de los compuestos orgánicos del As y los mecanismos enzimáticos del proceso de metilación, las consecuencias de la formación de especies de arsénico orgánico y su disposición en los tejidos son poco conocidos (Albores et al., 1979).

Tabla I. Comparación de la toxicidad aguda de los compuestos arsenicales.

COMPUESTO	DL ₅₀ (mg/Kg)	Animal/Vía
Arsenito de sodio	4,5	Rata/intraperitoneal
Arseniato de sodio	14 – 18	Rata/intraperitoneal
MMA(ácido monometil-arsónico)	1,800	Ratón/oral
DMA (ácido dimetil-arsínico)	1,200	Ratón/oral
Arsenobetaina	10,000	Ratón/oral

Fuente: Yamauchi y Fowler, 1994.

El mecanismo más importante que se ha postulado para explicar la toxicidad de los arsenicales trivalentes es a través de su afinidad por los

grupos sulfhídrico de las proteínas. Las enzimas son particularmente afectadas si el grupo -SH está ubicado en un sitio crítico para su actividad. El As (V) puede substituir al grupo fosfato en las reacciones que son catalizadas enzimáticamente, afectando procesos como la producción del ATP y la síntesis del ADN; sin embargo, su contribución tóxica es difícil de evaluar pues el As (V) se reduce a A (III) en el organismo (Albores et al., 1979).

Los efectos característicos de la exposición aguda al As son alteraciones gastrointestinales, cardiovasculares, nerviosas, renales y hepáticas. Es posible observar vasodilatación e hiperemia, edema debido a daño capilar de la presión arterial, lo que a menudo conduce a un estado de choque. También ocurre pérdida de los movimientos voluntarios, confusión, psicosis, delirio, coma y muerte. Otras manifestaciones incluyen cambios de la piel, como hiper pigmentaciones y la aparición de líneas transversales blanquecinas en las uñas. Algunos arsenicales, como el trióxido de arsénico, son muy irritantes. La dosis fatal de As en adultos es de 70 a 180 mg (Albores et al., 1979).

Los efectos de la exposición crónica a As dependen de la vía de exposición y se presentan en varios sistemas incluyendo piel, sistema cardiovascular, vías respiratorias, riñón, hígado y sistema nervioso. El As es un agente teratogénico, mutagénico y carcinogénico. Los efectos crónicos más importantes se resumen a continuación.

- 1) Lesiones cutáneas.-** La exposición crónica al As en el agua de bebida causa lesiones muy características. Se presentan hipocromías e hiperpigmentaciones (en forma de gota de agua) principalmente en las partes no expuestas del cuerpo, hiperqueratosis palmo plantar e hiperqueratosis papular en cualquier parte del cuerpo excepto palmas y plantas, así como lesiones ulceradas compatibles con un diagnóstico de carcinoma epidermoide.
- 2) Alteraciones en el sistema cardiovascular.-** La exposición crónica por inhalación de compuestos de arsénico inorgánico afecta el sistema cardiovascular, pues altera la despolarización del miocardio y causa arritmias cardíacas. Se presentan dilatación e incremento de la permeabilidad capilar, lo que ocasiona hipovolemia, hipoproteïnemia y choque. En trabajadores y en poblaciones expuestas a As en el agua de bebida en Taiwán, Suecia y Chile se han descrito efectos vasculares periféricos caracterizados por cianosis y pérdida progresiva de la circulación en las extremidades, que puede finalizar en gangrena seca, mejor conocida como enfermedad del pie negro.
- 3) Alteraciones en el metabolismo del grupo hemo.-** La ruta metabólica del grupo hemo puede sufrir alteraciones por la exposición al As, algunos metales y diversos compuestos químicos. La administración de As (III) causa un incremento en las actividades de la sintetasa del ácido 5-

aminolevulínico y la hemo oxigenasa, así como una depresión en las actividades de las descarboxilasas del uro- y el coproporfirinógeno. Otros autores han observado una porfirinuria caracterizada por incremento en la concentración de uroporfirina y coproporfirina, en roedores expuestos a arseniato de sodio y a arseniuro de galio. De igual manera, se ha observado una alteración en la excreción urinaria de intermediarios de la síntesis del grupo hemo en poblaciones humanas crónicamente expuestas a As en el agua de bebida.

4) Efectos neurológicos.- Se han observado signos de neuropatía central y periférica en trabajadores expuestos a arsénico por las vías oral e inhalatoria, lo que afecta tanto a las fibras motoras como a las sensoriales y produce degeneración y desmielinización axonal.

5) Mutagenicidad y cáncer.- El arsénico inorgánico es un agente carcinogénico, está clasificado por la IARC en el grupo A (con suficientes evidencias en humanos). Los trabajadores expuestos a As por vía aérea presentan un incremento en cáncer de pulmón, poco diferenciado del carcinoma broncogénico: epidermoide, mientras que la exposición oral a As incrementa el riesgo de presentar cáncer de piel, aunque también se presentan tumores en vejiga, riñón, hígado y pulmón. Aún no se conoce el mecanismo por el cual el As induce daño al material genético. El As no parece alterar directamente al ADN, sino que, posiblemente inhibe una o

más de las enzimas que intervienen en su replicación y reparación. También se ha propuesto: (1) que el As actúa como co-carcinógeno con otros agentes, o bien interviniendo con la respuesta inmunológica de los individuos, y (2) por los radicales libres que este elemento produce. Asimismo, la capacidad del As (V) para simular al fosfato en los enlaces diéster del ADN también puede dañar al material genético.

6) Efectos sobre el sistema inmunitario.- Los estudios sobre la inmunotoxicidad del As han dado resultados contradictorios, posiblemente por la variedad de sales de As y de las especies animales que se han empleado en su investigación, incluyendo al humano. Uno de los arsenicales más estudiados es el arseniuro de galio, al cual se le han atribuido efectos como:

- disminución en el número total de células T, B y macrófagos,
- disminución de la función de linfocitos T citotóxicos y células asesinas naturales (NK), y
- alteración en la producción de diferentes interleucinas.

También se ha observado que pacientes inmunodeprimidos desarrollan lesiones y cáncer de piel, similares a aquéllas que se observan en individuos expuestos crónicamente a As.

7) Metilación del As y sus efectos tóxicos.- Aunque se acepta que la metilación del As inorgánico es un mecanismo de detoxificación, se ha observado que algunas especies orgánicas del As presentan efectos tóxicos. Tal es el caso del DMA, el cual es un agente teratogénico en ratas, cause daño pulmonar, degeneración de la corteza renal y necrosis de los túbulos proximales. El DMA ocasiona rupturas del ADN, probablemente por la formación de radicales peróxidos, así como por entrecruzamientos entre el ADN y proteínas. Estos datos sugieren que, durante el proceso de metilación del As, pueden formarse metabolitos reactivos capaces de afectar macromoléculas críticas, por lo cual es necesario realizar estudios específicos para establecer su toxicidad. (Albores et al., 1979).

Los niveles de concentración de As en orina, sangre, cabello y uñas se consideran como marcadores de exposición. Hasta el momento, la cuantificación del As en la orina es el mejor de estos indicadores, aunque es necesario distinguir a las especies arsenicales provenientes de la dieta, de las formas de arsénico inorgánico y de los metabolitos MMA y DMA. Los valores típicos de As urinario en individuos no expuestos son menores de 10 $\mu\text{g/L}$ y el límite de intervención ambiental que se ha propuesto es de 100 $\mu\text{g/L}$. La cuantificación de As en el cabello y uñas es un buen indicador de la exposición crónica, mientras que los niveles de As en sangre no lo son, debido a su corta vida media. (Albores et al., 1979).

Las lesiones en la piel son los signos clínicos más evidentes de la exposición crónica al As y hasta ahora se han utilizado como los indicadores clásicos de diagnóstico de exposición al metaloide. Como indicadores preclínicos de exposición al As se pueden utilizar sus efectos sobre varias enzimas de la ruta metabólica del grupo hemo, incluyendo la inhibición de la coproporfirinógeno oxidasa y la hemosintetasa, así como la activación de la hemo oxigenasa. Las alteraciones en la síntesis y degradación del grupo hemo causan un incremento en la excreción urinaria de sus metabolitos (porfirinas), por lo que se ha sugerido que las alteraciones en el patrón de excreción de las mismas, así como de metabolitos del As se utilicen como indicadores preclínicos de intoxicación. (Albores et al, 1979).

2.3.4. TECNOLOGÍAS PARA LA REMOCIÓN DEL ARSÉNICO

2.3.4.1. TRATAMIENTO MEDIANTE PROCESOS DE ADSORCIÓN

A. INTERCAMBIO IÓNICO

En el agua los estados de oxidación más comunes del arsénico son As(V), o arsenato, y As(III), o arsenito. El As(V) prevalece en aguas superficiales mientras que es más probable encontrar especies de As(III) en aguas subterráneas anaerobias. En el intervalo de pH natural del agua las especies de As(V) se encuentran cargadas negativamente y las de As(III) son eléctricamente neutras. Las eficiencias de remoción para As(V) son mucho

mejores que la remoción de As/(III), debido a sus propiedades eléctricas. Así, para incrementar la eficiencia de remoción cuando está presente el As/(III) es necesaria su preoxidación a especies de As(V), lo que se logra con la aplicación de cloro, aunque puede utilizarse también permanganato de potasio (KMnO_4) u ozono (O_3) (Rivera y Piña, 2002).

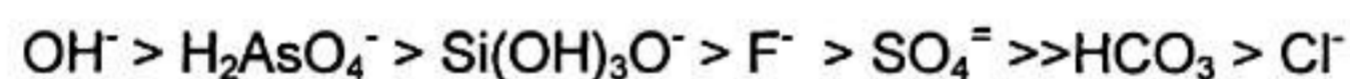
Las tecnologías usuales para remoción de este contaminante son coagulación-filtración, intercambio iónico, adsorción en alúmina activada y ósmosis inversa. Si bien cualquiera de ellas tiene alta eficiencia también tienen limitaciones en términos de sus altos costos de inversión y mantenimiento, el requerimiento de personal calificado para la operación de las plantas y la generación de desechos tóxicos (Rivera y Piña, 2002).

B. ALUMINA ACTIVADA

Alúmina activada es una forma granulada de óxido de aluminio. En un proceso a nivel comercial, el agua que contiene el contaminante se pasa por un cartucho o canastilla de alúmina activada. La alúmina absorbe al contaminante y el agua fresca continua al fregadero. El cartucho de alúmina activada debe ser reemplazado regularmente. Es importante determinar a través de exámenes cuando la capacidad de eliminar el contaminante en el dispositivo ha llegado al agotamiento, para que la técnica de tratamiento elimine, no que contribuya, al contaminante. También dispositivos de alúmina activada acumulan gérmenes, así que el agua tratada tiene contenido más alto de gérmenes que agua sin tratar (Cáceres, 2007).

En nuestro procedimiento, el agua a purificar se hace pasar a través de un reactor de lecho fijo cargado de alúmina activada, una sustancia adsortiva que es una mezcla de óxidos de aluminio cristalinos y amorfos de composición aproximada Al_2O_3 . Frecuentemente, la alúmina activada es preparada como un subproducto de la producción de aluminio: un barro de hidróxido de aluminio es calentado para remover agua de hidratación y luego activado con ácido o vapor para incrementar su área superficial y, consecuentemente, sus propiedades adsortivas (Cáceres, 2007).

De acuerdo a CH2Mhill (1999) la selectividad de la alúmina activada sobre los iones presentes en el agua de alimentación es la siguiente:



por lo que es necesario realizar previo al tratamiento:

- una oxidación fuerte del agua, por ejemplo con cloro, para oxidar todo el arsénico presente a $\text{As}(\text{V})$,
- el ajuste del pH.

A escala de laboratorio, Rosenblum y Clifford (1984) estudiaron la influencia que sobre la capacidad de adsorción de la alúmina activada tienen el pH, la temperatura y la presencia de otros aniones en el agua que compiten con los del $\text{As}(\text{V})$.

Kepner y otros (2000) ensayaron el agregado de óxido de manganeso a la alúmina activada a efectos de mejorar su capacidad de adsorción. El procedimiento de la alúmina activada mostró ser también muy efectivo en aguas de subsuelo de Finlandia donde la adsorción de arsénico fue superior a 99%; el contenido de arsénico en el agua cruda varió entre 50 a 500 ppb (Heinonen y et al., 1999).

A escala de planta piloto, CH2Mhill (1999) presenta una interesante propuesta para aguas de la ciudad de Albuquerque (New Mexico), EE.UU., donde se realizó un estudio comparativo a planta piloto de las tecnologías alúmina activada, intercambio iónico y floculación-microfiltración. El agua del subsuelo de Bangla Desh contiene As/(III), As/(V) y en la mayoría de los casos altas concentraciones de Fe.

El proceso de adsorción de alúmina activada es muy eficiente para abatir el As/(V) del agua, pero no ocurre lo mismo con el As/(III); el hierro presente degrada el comportamiento del lecho de alúmina por obstrucción o atascamiento. Sin embargo el hierro puede ser usado beneficiosamente para remover, en un pretratamiento, parte del arsénico del agua a través de co-precipitación y adsorción. La etapa de pretratamiento incluye la oxidación del As (III) y la remoción del hierro (Jalil y Ahmed, 2001).

La ventaja principal del uso de alúmina activada es que es un procedimiento relativamente bien conocido y está disponible comercialmente. Los principales problemas en la aplicación de esta técnica en pequeñas instalaciones son: la necesidad de reajustes del pH del agua cruda y tratada, la regeneración de la alúmina agotada con hidróxido de sodio (que produce lejías muy contaminantes que deben ser tratadas previo a su deposición) y la necesidad de mano de obra especializada.

C. ADSORCIÓN BASADA EN HIERRO

1) Hierro férrico como agente floculante

La utilización de cloruro férrico para la eliminación del arsénico de aguas es un procedimiento muy conocido y difundido. Consiste en oxidar con cloro el agua a tratar, agregar cloruro férrico (el cual forma por hidrólisis un sol de Fe_2O_3 que atrae a los aniones de la solución) y finalmente separar por filtración un floculo de hidróxido férrico que contiene el arsénico. En la ciudad de Albuquerque, EE.UU., CH2Mhill (1999) efectuó un estudio comparativo a planta piloto de las tecnologías alúmina activada, intercambio iónico y floculación-microfiltración, en el que quedan claras las ventajas de este último procedimiento.

En la Universidad de California, EE.UU., Hering y Elimelech (1996) realizaron estudios comparativos entre esta metodología y la de aplicación de

membranas. Ambas tecnologías mostraron su capacidad de alcanzar valores muy bajos de arsénico en el agua refinada (2 a 20 ppb).

Han y otros (2002) investigaron el abatimiento de arsénico por floculación y microfiltración. Se usaron como coagulantes cloruro férrico y sulfato férrico. Los resultados mostraron que la floculación permite una significativa remoción de arsénico en el permeado. También estudiaron el uso de pequeñas cantidades de floculantes catiónicos poliméricos; éstos mejoraron significativamente el flujo del permeado durante la microfiltración.

Se estudió el efecto de silicatos, sulfatos y carbonatos sobre el abatimiento de As (III) y As (V) por coprecipitación con cloruro férrico (Xiaoguang Meng y otros, 2000). Los resultados indican que sulfatos y carbonatos tienen efecto despreciable sobre la remoción de As (III) y As (V); sin embargo los silicatos pueden disminuir significativamente la eficiencia de remoción de As (III).

Se llevaron a cabo experiencias discontinuas para investigar el efecto combinado de fosfatos, silicatos y bicarbonatos sobre la remoción de arsénico de aguas de subsuelo por hidróxido férrico. La afinidad de los aniones por el hidróxido disminuyó en el siguiente orden: arseniato > fosfato > arsenito > silicato > bicarbonato. Los fosfatos, silicatos y bicarbonatos disminuyeron la remoción de As (III). Actuando separadamente, estos iones no tienen efecto sobre el abatimiento de As (V); sin embargo en presencia de los tres se

magnificaron los efectos adversos del fosfato sobre la adsorción de As (V), es decir que bicarbonatos y silicatos disminuyen sensiblemente el abatimiento del arsénico (Xiaoguang Meng et al., 2002).

Existen importantes experiencias de plantas en gran escala que trabajan por este procedimiento. Fields y otros (2000) presentan resultados de un año de operación de una planta en EE.UU. que utiliza este procedimiento. En el norte de Chile existen cuatro plantas con una capacidad de tratamiento de 1,730 m³ / s, para proveer agua a las ciudades de Antofagasta y Calama (Sancha et al., 1998).

Tras tres años de arduos trabajos, análisis y comparación de muestras y resultados, la empresa de servicios sanitarios de Antofagasta, Chile, logró que la concentración de arsénico en el agua potable bajara al mínimo propuesto por la Organización Mundial de la Salud (10 ppb). Para poder abatir a estos niveles fue necesario aumentar notablemente las dosificaciones de coagulante (Granada Meneses et al., 2003).

Existen adaptaciones de esta tecnología a pequeñas instalaciones domiciliarias. En Argentina, Castro de Esparza (1999) efectuó una experiencia utilizando una mezcla de un agente oxidante (hipoclorito de calcio), un agente floculante (cloruro férrico) y arcilla para ayudar a la separación del flóculo por decantación.

En Calcutta (School of Environmental Studies, 2000) se desarrolló en 1993 un procedimiento basado en una tableta conformada con un agente oxidante, hierro férrico y carbón. La técnica utiliza un filtro para la separación del floculo. Este procedimiento propone la deposición de los barros en estercoleros de vacunos.

En la zona profunda de un estercolero existe un fuerte ambiente reductor que transforma al arsénico en gas arsina. Das y otros, 2001, utilizaron este último desarrollo exitosamente en Bangla Desh, donde una tableta mostró ser suficiente para tratar 20 litros de agua con un contenido de 1.000 ppb. Las ventajas del uso de este procedimiento han provocado su amplia difusión a pequeña y gran escala.

2) Hierro como agente reductor

Nikolaídis y otros (1998) de la Universidad de Connecticut, USA, proponen un procedimiento que parte de la premisa que el hierro elemental en presencia de soluciones acuosas se puede oxidar, proporcionando los electrones para la reducción de otras especies químicas redox sensibles (arseniatos, arsenito y sulfato) y propone la utilización de un lecho de limaduras de hierro para la inmovilización de las especies arsénicas inorgánicas como coprecipitados de hierro, precipitados mezclados y, en presencia de sulfatos, arsenopirita.

El agua contaminada con arsénico Inorgánico, a la que se le agrega pequeñas concentraciones de sulfatos si careciera de este ión, pasa a través de un lecho de arena con limaduras de hierro, dando lugar a la remoción de la mayor parte del arsénico de la solución. Una modificación a este procedimiento presentada por Kahn y otros (2000) usa tres recipientes en serie: el primero tiene chips de hierro y arena gruesa, el segundo carbón vegetal y arena fina y el tercero es el colector para el agua filtrada.

Se realizaron estudios de laboratorio y de campo para encontrar parámetros de diseño y mecanismos de remoción del arsénico de aguas de subsuelo contaminadas utilizando hierro metálico. Ensayos a escalas mayores demostraron que los filtros de hierro pueden remover eficientemente por más de ocho meses arsenito de aguas a niveles menores de 10 ppb (Nikolaidis y otros, 2003). Esta forma de eliminar el arsénico es muy apropiada para ser utilizada en pequeñas instalaciones ya que es una tecnología muy simple de operar y que utiliza materiales de muy bajo costo.

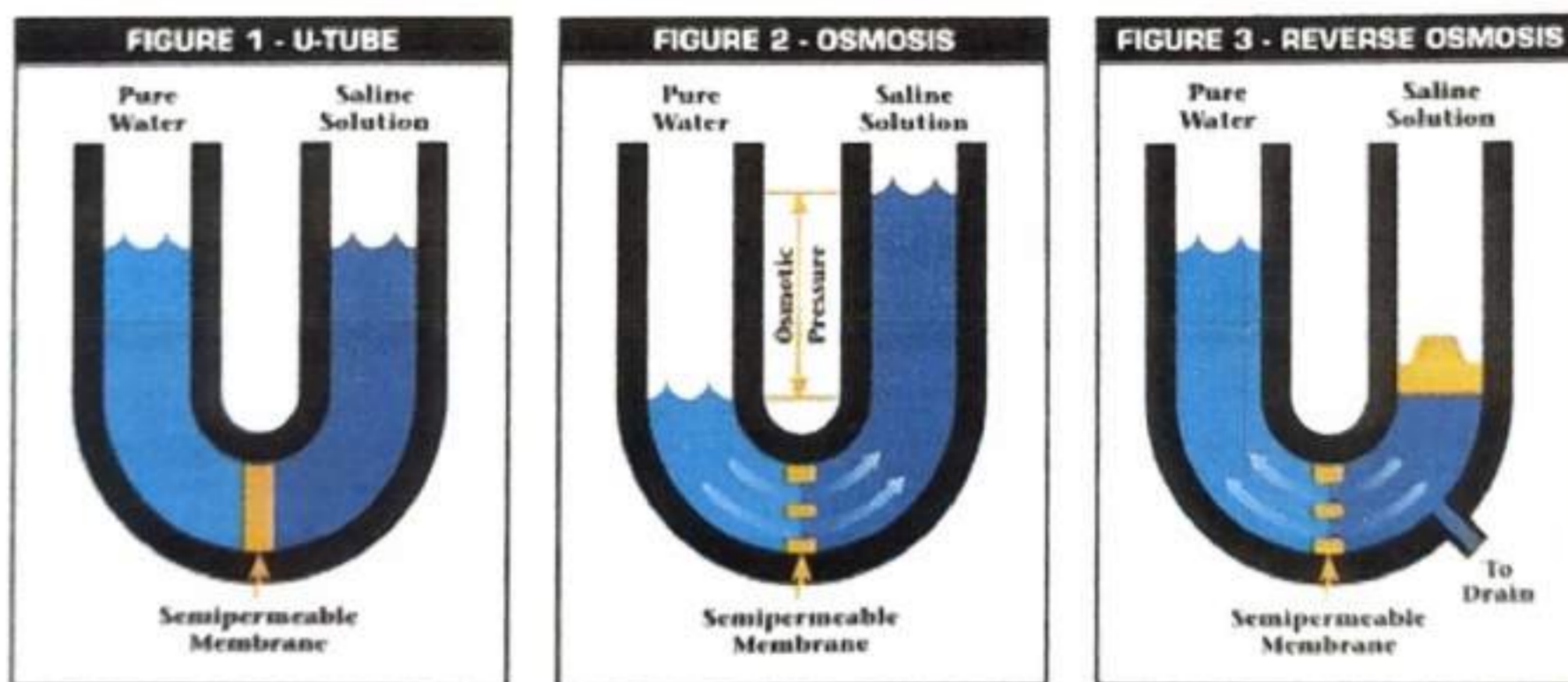
2.3.4.2. TRATAMIENTO MEDIANTE PROCESOS DE MEMBRANA

A. ÓSMOSIS INVERSA

Para entender el proceso de la ósmosis inversa, empecemos por recordar la ósmosis natural, mecanismo de transferencia de nutrientes en

las células de los seres vivos a través de las membranas que la recubren. En tal sentido, cuando se ponen en contacto dos soluciones de diferentes concentraciones de un determinado soluto (por ejemplo sales), se genera un flujo de solvente (por ejemplo agua) desde la solución más diluida a la más concentrada, hasta igualar las concentraciones de ambas. (Ver Figura 4).

Es decir, en otras palabras: si ponemos en contacto, a través de una membrana, agua salada y agua destilada obtendremos un equilibrio entre ambas y quedarán moderadamente saladas. El agua que atraviesa la membrana es "empujada" por la presión osmótica de la solución más salada y el equilibrio del proceso se alcanza cuando la columna hidrostática iguala dicha presión osmótica.



Fuente: EPA Office Of Water, 2000

Figura 4. Mecanismo de la ósmosis del agua salada.

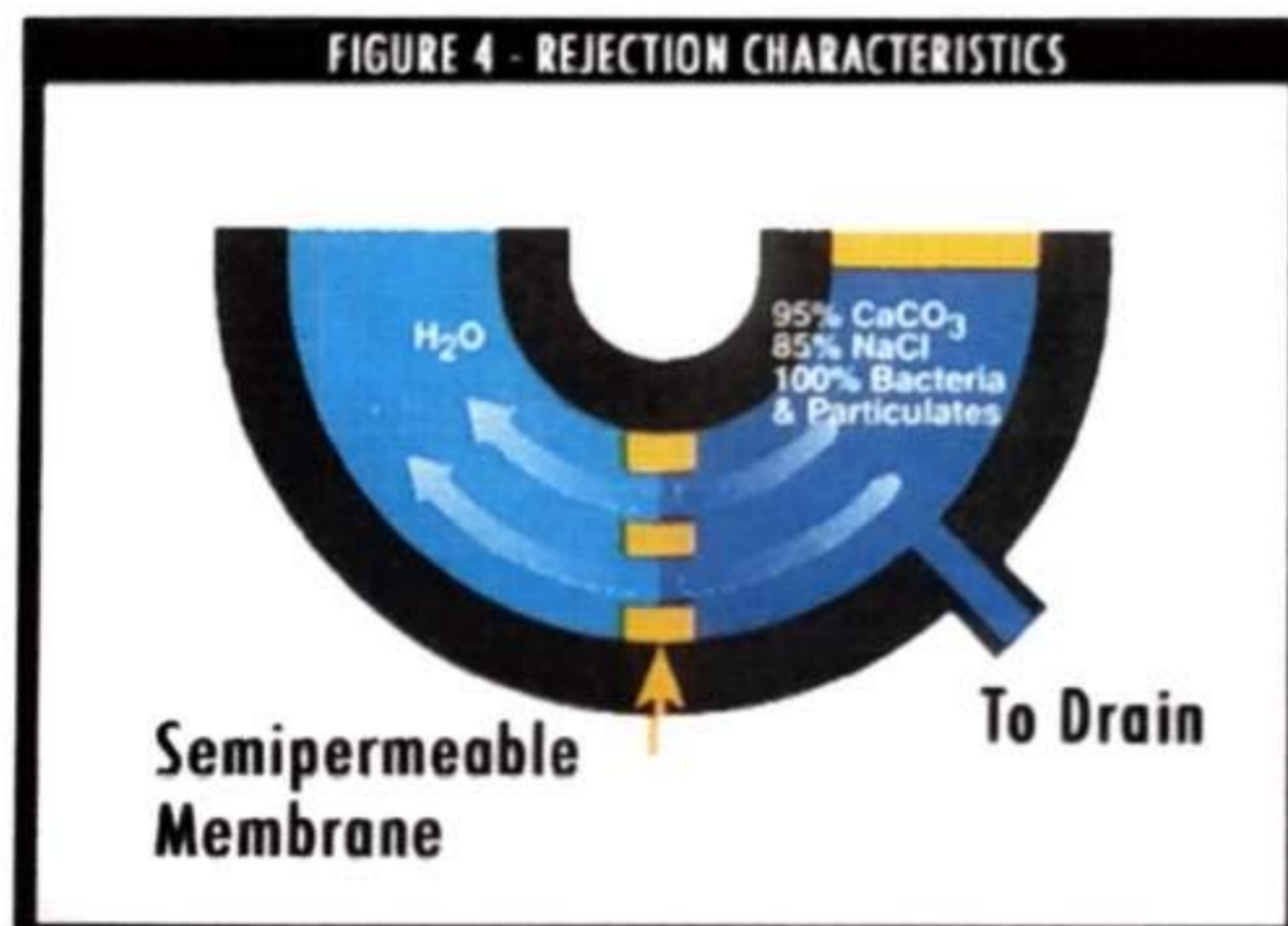
De aquí se deduce que si nuestro interés en el tratamiento es obtener una corriente de agua lo más diluida posible deberemos invertir el fenómeno. Para ello hay que vencer la presión osmótica natural mediante la aplicación en sentido contrario de una presión mayor. (Ver Figura 4). Cuando se logra invertir el fenómeno estamos en presencia de ósmosis inversa o invertida como se ha dado en llamarla.

En resumen: si a una corriente de agua salada se le aplica una fuerte presión, lograremos obtener un equilibrio distinto del anteriormente descrito en el cual se generan simultáneamente dos corrientes: Una que es la que atraviesa la membrana, queda libre de sólidos disueltos (minerales, materia orgánica, etc.) y de microorganismos (virus, bacterias, etc.): **producto o permeado**. La otra se va concentrando en esos mismos productos sin que lleguen a depositarse en la membrana, porque la taparían y se eliminarían en forma continua, constituyendo el **concentrado**. La relación entre producto y concentrado constituye la recuperación, expresada en porcentaje los rechazos para: Sulfatos (98%), arsénico (99%), fluoruros (97%), nitratos (91%), bacterias, virus y hongos más del 98%.

1) Membrana de la Osmosis Inversa

Es una membrana que tiene un área "microporosa" que rechaza las impurezas y que no impide al agua pasar. La membrana rechaza las

bacterias, pirógenos, y 85%-95% de sólidos inorgánicos. Iones "polivalentes" son rechazados más fácilmente que los iones "monovalentes". Los sólidos orgánicos con un peso molecular superior a 300 son rechazados por la membrana, pero los gases pasan a través. La ósmosis inversa es una tecnología de rechazo en porcentaje. La pureza del agua producida depende de la pureza del agua en el ansa. La pureza del agua producida por la ósmosis inversa es más grande que en el agua de alimentación (Ver Figura 5).



Fuente: EPA Office Of Water, 2000

Figura 5. Ósmosis inversa.

2) Agua Rechazada

Un gran porcentaje (50-90%) del agua de alimentación no pasa por la membrana pero corre del otro lado, limpiando el agua continuamente y

trayendo los sólidos inorgánicos y orgánicos para drenarlos. Esa agua se llama agua "rechazada".

3) Factores del agua de Alimentación

Los factores del agua de alimentación que afectan la membrana:

- **Presión**

La presión del agua de alimentación afecta la cantidad y la pureza del agua producida por la ósmosis inversa. Baja presión del agua de alimentación causa baja corriente y baja pureza.

- **pH**

Determinar la variedad del pH en agua de alimentación es muy importante. Es recomendado de usar una variedad más amplia de membranas cuando el agua de alimentación es básica, ácida o inestable.

- **Índice de Saturación de Langlier (ISL)**

El ISL indica el principio de la formación de una escala sobre el área de la membrana. El ISL necesita examen de la temperatura, del total de sólidos inorgánicos, de de la dureza alcalina, y pH del agua de alimentación. Si él índice ISL es positivo, le recomendamos que usted instale un suavizador de agua ante del sistema de ósmosis inversa.

- **Cloro Libre (TFC) y Bacterias**

Las membranas de acetato de celulosa necesitan una limpieza constante de TFC para impedir la propagación de bacterias y que se dañe la membrana. En contrastó, la poliamida y las membranas finas, como cintas, son dañadas por el TCF. El carbón activado es usado para remover el TCF cuando la poliamida y las membranas finas lo necesitan.

- **Temperatura**

La duración de la membrana se basa sobre la temperatura del agua de alimentación que debe ser de 25°C. Por cada 1°C bajo 25°C, la cantidad de la producción del agua es reducida por 3%. Cuando el agua de alimentación se tiende a quedarse regularmente bajo 25°C, es recomendado que el agua caliente y fría se mezcle para que la temperatura suba a 25°C. El agua de alimentación que tiene una temperatura superior a 35°C dañará la mayoría de las membranas.

- **Índice de densidad Silt (IDS)**

El IDS es una medida que sirve para medir las partículas de submicrones que tienen tendencia a bloquear las membranas. La corriente del agua a una presión específica es filtrada a través una membrana en forma de disco y que es recuperada durante un periodo de tiempo fijo. La rapidez de la corriente del agua y el volumen total recogido determina el índice.

- **Turbidez**

La turbidez es la medida que sirve para detectar las partículas suspendidas de submicrones que oscurecen los rayos de luz.

B. NANOFILTRACIÓN (NF)

El desarrollo de nuevas membranas de nanofiltración (NF) con alta selectividad y permeabilidad a bajas presiones de operación (bajo costo) sumadas a su efectividad para remover iones divalentes aparece como una alternativa potencial en la remoción de arsénico (dado que se encuentra en las aguas naturales como HAsO_4^{2-}), y otros contaminantes.

Las membranas son un método comprobado para la remoción de arsénico y tanto la osmosis inversa como la nanofiltración son métodos comprobados. Aunque la ultrafiltración (UF) y la microfiltración (MF) pueden ser utilizadas en algunos casos, el rendimiento de la membrana puede ser mejorado con el pre-tratamiento apropiado del agua cruda con química de coagulación, prefiltración y suavizado.

Además, el pre-tratamiento puede limitar el ensuciamiento que disminuye los tiempos de operación y la duración de la membrana. Las membranas pueden ser más costosas, aunque para los sistemas de muy pequeña escala estas pueden ser una solución económica.

2.3.4.3. TRATAMIENTO MEDIANTE PROCESOS DE PRECIPITACIÓN/ FILTRACIÓN

A. COAGULACIÓN / FILTRACIÓN

La coagulación-floculación usando sales de hierro (III) es un método de tratamiento en el que el hierro reacciona con la alcalinidad del agua para formar hidróxidos férricos, estos compuestos forman pequeños conglomerados insolubles llamados flocs. El arsénico se liga a los flocs de hidróxido férrico formados, que posteriormente son removidos por sedimentación y/o filtración en lechos granulares. Este tratamiento tiene la desventaja de requerir valores de pH neutros o ligeramente ácidos en el agua para tener altas eficiencias de remoción además de que consume alcalinidad del agua.

1) *Coagulación-filtración*

En las plantas de tratamiento de agua, el As^{+5} puede ser removido en forma efectiva tanto por coagulación con sulfato de aluminio o hierro, como por los procesos de ablandamiento con cal y soda. Los coagulantes señalados se hidrolizan formando hidróxidos, sobre los cuales el As^{+5} se adsorbe y coprecipita con otros iones metálicos (Miliarium, 2008). De acuerdo con la literatura, aguas naturales con gran cantidad de coloides requieren de altas concentraciones de

coagulantes para lograr las eficiencias de remoción señaladas en la siguiente tabla:

Tabla II
Eficiencia de coagulantes en la remoción de arsénico.

COAGULANTE	ARSENATO As^{+5}		ARSENITO As^{+3}	
	remoción (%)	pH	Remoción (%)	pH
Sulfato férrico $Fe_2(SO_4)_3$	100	< 9,0	20	< 9,0
Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$	90	< 7,0	50	< 7,0

Fuente: Avilés y Pardón, 2000

La remoción de arsénico con procesos convencionales de coagulación con sales de aluminio y hierro y ablandamiento con soda son dependientes de la concentración inicial de este elemento, el pH del agua tratada, y el tipo y la dosis del coagulante.

Tabla III
Remoción de arsénico por coagulación

Formas Arsénicales	Método de tratamiento	Dosis del coagulante (mg/L)	Concentración inicial (mg/L)	Remoción (%)	pH inicial
As ⁺⁵	FeCl ₃	5	0,050	100	7,0
As ⁺³	FeCl ₃	6	0,005	72	8,0
As ⁺³	FeCl ₃	18	0,005	84	8,0
*	Aereación, coagulación con alúmina, sedimentar 6 días y filtración	7	0,8	70	7,4
*	Aereación, coagulación con FeCl ₃ , sedimentar 10 días y filtración	18,5	0,69	60	7,4
*	Aereación, coagulación con alúmina, sedimentar 12 días y filtración	21	0,70	46	7,4
*	Cloro (20 mg/L), oxidación, aereación, coagulación con FeCl ₃ , sedimentar 20 días y filtración	51	0,83	100	7,0
*	FeCl ₃	30	1	92	6,8
As ⁺⁵	Cloruro férrico	20	0,045	96	7,5
As ⁺⁵	Cloruro férrico	40	0,045	95	7,5
As ⁺⁵	Cloruro férrico	40	0,043	97	8,0
As ⁺⁵	Sulfato de Aluminio	60	0,043	97	8,0
As ⁺⁵	Coagulación con sulfato de aluminio	30	< 1 - 2	≥90	6,4-7,5
As ⁺⁵	Coagulación con sulfato férrico	30	< 1/2	≥90	6,4-7,5
As ⁺³	Cloruro férrico y arseniato de metano	*	30-40	90-95	5,5
As ⁺⁵	Alúmina	> 5	0,2	97,5	7,0
As ⁺⁵	Sulfato férrico	5	0,2	97,5	7,0
As ⁺⁵	Óxido de manganeso hidratado	20	0,2	76	7,0
As+3	Cloruro férrico	200	31	86	10,0
As+3	Cloruro férrico	500	31	92	10,0
As+3	Cloruro férrico	1000	31	93	10,0
As+5	Adición de hierro electroquímico, oxidación con peróxido de hidrógeno, sedimentación y filtración	*	56	99,8	6,5
As+3	Coagulación con sulfato férrico	10	0,2	62	7,5
As+3	Coagulación con sulfato férrico	10	0,2	75	7,5
As+3	FeCl ₃	10	0,2	76	7,5
As+3	Coagulación con sulfato cúprico	10	0,2	88	7,5
As+3	Coagulación con cloruro Cuproso	10	0,2	85	7,5
As+3	Coagulación con cloruro de zinc	10	0,2	84	7,5
As+3	FeCl ₃ .6H ₂ O	300	100	78	8,0
As+3	Ag ₂ SO ₄	625	100	82	8,0
As+3	CuSO ₄ .5H ₂ O	300	100	85	8,0
As+3	Al ₂ SO ₄ ..18H ₂ O	300	100	73	8,0
*	KMnO ₄ (13.8 mg/L), oxidación, coagulación con sulfato férrico y filtración	28	0,7	86	7,4

Fuente: Avilés y Pardón, 2000

2) Coagulación-adsorción

La coagulación-adsorción con sales de hierro o aluminio es el método de tratamiento más documentado tanto para la remoción de arsénico, como de los compuestos disueltos y suspendidos del agua (arsénico, turbiedad, hierro, manganeso, fosfato y flúor). Con este método también se pueden obtener reducciones significantes de olor, color y precursores de trihalometanos. Sin embargo, las condiciones óptimas para remoción del arsénico dependerán de las características del agua y del proceso de tratamiento.

Debido a la dificultad de remover As^{+3} por coagulación, se requiere de su oxidación a As^{+5} . En rangos de pH alto y bajo, la eficiencia de este método disminuye significativamente (Johnston, Heinjnen, Wurzel, 2001). Para asegurar la remoción del arsénico, un paso importante es la filtración (ej. uso de filtros de arena) (Cheng et al., 1994).

El sulfato de aluminio es el coagulante más usado en el tratamiento del agua debido a su bajo costo y manejo relativamente sencillo (Avilés, Pardón, 2000), aunque también se usan otros productos como el sulfato ferroso y férrico, clorosulfato férrico, cloruro férrico (Madiec et al., 2000), alumbre, y carbonato de magnesio. Estas sales se hidrolizan en el agua formando hidróxidos de hierro y aluminio, los cuales producen flóculos gelatinosos que se aglutinan facilitando el proceso de separación de los materiales disueltos y coloidales.

Los estudios realizados por Cheng *et al.*, usando dosis de coagulantes de 10, 20 y 30 mg/L a valores de pH de 7,0; 6,3 y 5,5 muestran que la remoción del arsénico es dependiente del pH, de la dosis del coagulante y de la turbiedad del agua cruda. Un alto nivel de turbiedad puede afectar a la remoción de As^{+5} , pero esta mejora en forma significativa cuando se usan dosis óptimas de coagulantes (para la remoción de la turbiedad) menores de 20 mg/L. De los dos coagulantes empleados, el cloruro férrico es más efectivo que el sulfato de aluminio (considerando dosis similares en peso). La remoción de As^{+5} con sulfato de aluminio es dependiente del pH (mejores resultados a pH menores de 7), mientras que la remoción de arsénico con cloruro férrico es menos dependiente del pH y mejora con dosis mayores del coagulante (Cheng *et al.*, 1994).

En estudios de coagulación y adsorción para remover el arsénico mediante coagulación con cloruro férrico y adsorción dentro de óxido férrico acuoso, se evaluó la influencia de diferentes variables (concentración inicial del arsénico y estado de oxidación, concentración del adsorbente o dosis del coagulante, pH y presencia de solutos inorgánicos). Se observó que en condiciones similares la remoción del As^{+5} es mejor que la del As^{+3} . Para ambas formas de arsénico la remoción es dependiente de la dosis del coagulante y de la concentración del adsorbente. Con dosis mayores de 5 mg/L de cloruro férrico, se obtuvieron las mejores tasas de remoción. La coagulación es independiente

de las concentraciones iniciales de arsénico, pero con concentraciones iniciales bajas de As^{+3} se presenta una mejor adsorción de esta forma de arsénico.

En presencia de iones sulfato y a pH menores de 7 la remoción del As^{+3} es ineficiente, mientras que para la remoción de As^{+5} estas condiciones no la afectan en forma significativa. En presencia de calcio y pH alto se incrementa la remoción de As^{+5} .

La remoción de As^{+5} con cloruro férrico a pH 8-9 disminuye cuando hay presencia de materia orgánica. La eficiencia de la remoción de As^{+3} con cloruro férrico se afecta con la composición del agua, la presencia de sulfato (a pH 4-5) y materia orgánica natural (a pH 4-9). Durante la remoción del arsénico son importantes los procesos de oxidación de las formas de As^{+3} a As^{+5} y de su adsorción del hidróxido férrico amorfo formado durante la coagulación (Hering et al., 1996).

Las remociones del As^{+5} usando las sales de hierro y aluminio (a igual concentración molar) a un pH < 7,5, son igualmente efectivas. Sin embargo, el hierro es más efectivo que el sulfato de aluminio, en la remoción de As^{+3} y en la remoción de As^{+5} a pH > 7,5, previniendo la formación de residuos del coagulante a un pH arriba de 8. Un factor limitante en la remoción de As^{+5} , son las bajas dosis de coagulante (Hering et al., 1996).

El sulfato ferroso tiene mayor efectividad y ventajas que cloruro ferroso, debido a que los flóculos (de buena calidad) de hidróxido de hierro formados con el sulfato ferroso ayudan a una mejor filtración, lo que evita el lavado frecuente de los filtros. El Fe^{+2} es más fácil de usar y controlar que el Fe^{+3} en el proceso de coagulación ya que requiere menor mantenimiento, se opera con más facilidad y es más económico (Jekel y Seith, 2000).

Un hidrogel (hidróxido de aluminio) preparado en Alemania en base a sulfato de aluminio hidratado, hipoclorito de calcio en polvo, hidróxido de amonio y agua destilada, puede lograr la remoción casi total del arsénico ($<0,01$ mg/L) (Luján, 2001).

La remoción de arsénico As^{+5} con sales de lantano III es dependiente del pH y de la dosis del coagulante. Las condiciones óptimas de trabajo están en el rango de pH 5-10 y con una dosis de coagulante tres veces mayor o igual que la concentración de As^{+5} . Se ha obtenido una concentración residual menor a 0,010 mg/L y una remoción de As^{+5} mayor de 83% en el rango de pH de 6,54- 10,6 y un tiempo de reacción de cinco minutos. La remoción del As^{+3} se desarrolla en un rango pequeño de pH, con una eficiencia menor de 60%. Las ventajas que ofrece el uso de sales de lantano como coagulante son su abundancia, su bajo costo, amplio rango de pH en el que trabaja, uso de pequeñas dosis de coagulante, su baja concentración residual a dosis óptima y su rápido tiempo de reacción (Tokunaga, Yokoyama y Wasay, 1999).

B. ELECTROCOAGULACIÓN

La electrocoagulación (EC) es una alternativa de tratamiento para la remoción de este elemento del agua. A diferencia de la coagulación química, el catión coagulante es generado en el agua contaminada por la oxidación electrolítica del ánodo. En este proceso las especies iónicas son removidas por reacción con: a) un ión de carga opuesta y b) con los flocs de hidróxidos metálicos generados.

La electrocoagulación tiene las siguientes ventajas: requiere equipos relativamente simples, es fácil de utilizar y su operación es flexible; los flocs formados por EC son similares a los producidos por coagulación química, excepto que los primeros tienden a ser mucho más largos, contienen menos agua superficial, son ácido-resistentes y son más estables por ello pueden ser separados más fácilmente por filtración; Los procesos electrolíticos en la celda de EC son controlados eléctricamente sin dispositivos mecánicos lo que requiere menos mantenimiento, además de que los componentes del sistema pueden ser fabricados en el país.

2.3.4.4. TRATAMIENTO MEDIANTE PROCESOS DE FITOTECNOLOGÍA

En los últimos años se han desarrollado las llamadas fitotecnologías que involucran el uso de plantas acuáticas para la remoción de metales tóxicos del agua, siendo el principal mecanismo de captación de metales la adsorción a través de las raíces (Miretzky et al., 2004; Denny y Wilkins, 1987).

Las macrófitas flotantes se han utilizado en nuestro laboratorio para la remoción simultánea de metales pesados del agua (Cu^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} y Cr^{2+}) con muy buenos resultados (Miretzky et al., 2004; Miretzky et al., 2006).

Esta metodología extensiva o blanda, también se adapta para la remoción de arsénico del agua, sin embargo, su uso no ha sido completamente desarrollado. Los resultados obtenidos en ensayos de laboratorio de abatimiento de arsénico del agua utilizando macrófitas flotantes (*Lemna minor* y *Spirodela intermedia*) han sido muy óptimos.

2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

ABUNDANCIA: Número total de los individuos de una población.

ADVECCIÓN: O, movimientos de aguas advectivas, transporte horizontal de masa de agua por corrientes.

AERÓBICO: Proceso respiratorio en el cual hay consumo de oxígeno.

AFLORAMIENTO: Proceso por el cual se levanta de una baja o una alta profundidad, usualmente con un resultado de divergencia y corrientes fuera de la costa. Ascenso de agua profunda, rica en nutrientes, producido por la acción de vientos regulares a lo largo de una costa.

AIREACIÓN: Introducción de aire dentro del agua.

ALGA: Planta que vive en el agua o en ambientes muy húmedos. De estructura simple y carece de flores (luce, cochayuyo, huiro).

AMBIENTE: Medio biótico y abiótico que rodea a un organismo. Conjunto de circunstancias y condiciones externas a un organismo.

ANÓXICOS: Pobre en oxígeno libre; sin oxígeno libre.

ANTROPOGÉNICO: Que es de origen humano, que es producido por el hombre.

BIODEGRADABLE: Que se descompone por la acción biológica. Material de residuos que puede ser llevado a sus componentes básicos por acción de las bacterias.

BIOACUMULACIÓN: efecto biológico pertinente con la capacidad que tiene un tejido vivo para acumular contaminantes, estos pueden ser eliminados o magnificados.

BIOENSAYO: Prueba en la cual la naturaleza peligrosa de una sustancia es determinada por su reacción con un tejido o un organismo vivo.

BIOMASA: Cantidad de materia viva. Es la cantidad de materia en los organismos por unidad de superficie o volumen expresado en unidad de peso. masa de material viviente. Es la cantidad de materia en los organismos por

unidad de superficie o volumen expresada en unidad de peso. Cantidad total de material vivo de un cuerpo de agua particular.

BIÓSFERA: Corresponde a toda la superficie de la tierra que mantiene vida. Es la integración de todos los ecosistemas del planeta.

CALIDAD AMBIENTAL: El grado en que el estado actual o previsible de algún componente básico permite que el medio ambiente desempeñe adecuadamente sus funciones de sistema que rige y condiciona las posibilidades de vida en la Tierra. Este grado no se puede cuantificar; solo se lo califica con fundamentos, a través de un juicio de valor.

COLIFORME: Microorganismos indicadores de contaminación fecal, restringido a coliformes fecales.

CONCENTRACIÓN LETAL AL 50 % (LC50): Concentración a la cual cierta proporción de los organismos ensayados produce una respuesta en un período definido de tiempo, generalmente 12, 24 ó 96 horas.

CONTAMINACIÓN: Cambio perjudicial en las características físicas, químicas o biológicas del ambiente y que puede afectar la vida humana y de otras especies. La presencia en el ambiente, por acción del hombre, de cualquier sustancia química, objetos, partículas, microorganismos, formas de energía o componentes del paisaje urbano o rural, en niveles o proporciones que alteren la calidad ambiental y, por ende, las posibilidades de vida.

CONTAMINADOR: El agente o actor, individual o institucional, responsable de la operación de cualquier sistema que genere contaminación.

CONTAMINANTE: Cualquier factor cuya presencia en un determinado ambiente y circunstancia, constituyan o desencadenen contaminación. Es la sustancia, o forma de energía que normalmente no está presente en el medio ambiente marino, al menos en los niveles que se encuentran con frecuencia y que aparentemente no causan efectos nocivos, Si la concentración se incrementa con el tiempo puede producir efectos nocivos.

CONTAMINANTES: Se definen como todos los elementos, compuestos o sustancias, su asociación o composición, derivado químico o biológico, así como cualquier tipo de energía, radiación, vibración o ruido que, incorporados en cierta cantidad al medio ambiente y por un periodo de tiempo tal, pueden afectar negativamente o ser dañinos a la vida humana, salud o bienestar del hombre, a la flora y la fauna, o causen un deterioro en la calidad del aire, agua y suelos, paisajes o recursos naturales en general.

CRITERIOS DE CALIDAD (Del agua): Usos dados al agua, mejor uso. Vienen definidos por Normas de Calidad que incluyen parámetros y establecen límites.

CUERPO DE AGUA RECEPTOR: masa de agua marina o continental, individualizable por sus características naturales, sus usos o por sus límites administrativos, cuya definición espacial es expresamente definida por la Autoridad Marítima, y que recibe descargas de residuos líquidos.

CUENCA HIDROGRÁFICA: Territorio que contribuye con aguas de escurrimiento a un mismo río, lago o mar.

D.B.O.: Demanda Bioquímica de Oxígeno. Es la cantidad de oxígeno requerida, para estabilizar la materia orgánica contenida en aguas contaminadas o aguas

industriales residuales, que pueden descomponerse por la acción de microbios aéreos. Cantidad de oxígeno absorbido por un residuo en descomposición.

DEGRADACIÓN: Transformación de una sustancia a un estado tal que disminuyen sus características de impacto ambiental.

DENSIDAD DE POBLACIÓN: Número de individuos de una población por unidad de superficie o volumen.

DESCARGA CONTÍNUA: Vertimiento único diario de residuos líquidos, sin interrupción de flujo.

DESECHOS METABÓLICOS: Productos derivados de los procesos vitales y que son eliminados del organismo.

DETRITUS: Restos que quedan de la desintegración y deterioro de vegetales y animales. Residuos de descomposición de un cuerpo. Término dado para un fragmento de material orgánico generalmente proveniente de la descomposición animal o vegetal.

DISPERSIÓN: Movimiento de los organismos o de sus elementos de diseminación hacia adentro o hacia afuera del área de la población.

DISPERSANTES: Son mezclas que incluyen agentes de superficie activa a fin de reducir la tensión superficial entre el aceite y el agua de mar.

DIVERSIDAD: Número y abundancia relativa de las especies de un área determinada.

DIVERGENCIA: Lo opuesto a Convergencia, se refiere a aguas que se mueven aparte de, o divergen de otras.

DOSIS LETAL (LD50): Dosis de una sustancia, la que bajo ciertas condiciones de la prueba mata el 50 % de los animales a los que les es suministrada.

D.Q.O.: Demanda Química de Oxígeno. Es la cantidad de oxígeno requerida para oxidar la materia orgánica e inorgánica contenida en el agua después de corregir la influencia de los cloruros. Es la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación de la materia orgánica a partir de un oxidante químico fuerte.

ECOSISTEMA: Es la integración de la biocenosis y del biotipo que interactúan a un área dada. Componentes de una comunidad, bióticos y abióticos, asociados en una misma situación.

ECOTOXICOLOGÍA: Nueva división de la toxicología que trata del estudio de químicos persistentes que pueden ejercer varios efectos tóxicos en varios sitios de un ecosistema.

EFEECTO AMBIENTAL: Una consecuencia medible sobre algún componente básico del ambiente, provocada o inducida por cualquier acción del hombre.

EFLUENTE: Que emana o se desprende de algo. Aguas contaminadas descargadas.

EFLUENTE DOMÉSTICO: Residuos producidos por los asentamientos humanos-colectividades, incluyen principalmente aguas negras de las ciudades.

EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL (E.I.A.): La predicción o presunción del impacto ambiental de una actividad o proyecto específico, y la proposición de alternativas para prevenir o atenuar los efectos degradantes o deteriorantes del ambiente que puedan seguirse de su realización o ejecución. Se la representa normalmente en un documento público que tiene el mismo nombre de la

actividad. Actividad diseñada para identificar, predecir, interpretar y comunicar información sobre el impacto de la acción sobre la salud del hombre o su bienestar.

EMIGRACIÓN: Movimiento de los individuos de sentido único hacia afuera del área de la población.

EMISARIO: Cañería o colector que recibe el agua efluente de toda una red de alcantarillado, llevándola hasta una planta de tratamiento y/o hasta el punto de descarga final.

ENDÉMICO: Animal o planta que se considera autóctono o indígena del país o región en que vive. Propio de un lugar.

E.P.A.: Environmental Protection Agency. (Agencia de Protección Ambiental).

EROSIÓN: Desagregación, desprendimiento y arrastre de sólidos desde la superficie terrestre por la acción del agua, viento, gravedad, hielo u otro. Proceso por el cual el sustrato es resquebrajado y acarreado lejos de un área.

EUTROFICACIÓN: Enriquecimiento de las aguas con nutrientes a un ritmo tal que no puede ser compensado por su eliminación definitiva por mineralización, de manera que el exceso de materia orgánica producida hacen disminuir enormemente el oxígeno en las aguas profundas. Estado de un cuerpo de agua con un gran aporte de nutrientes y, por tanto, con una gran producción de materia orgánica. Viene a significar un enriquecimiento indeseable del agua. Acumulación de nutrientes en un área.

FILTRADORES: Animales acuáticos que obtienen su alimento filtrando las partículas suspendidas en el agua (cholga, piure, picoroco).

FOTOSÍNTESIS: Proceso mediante el cual las plantas captura la luz solar para sintetizar compuestos ricos en energía, como glucosa, a partir de agua y dióxido de carbono. Proceso natural de singular importancia y altamente complejo en virtud de la cual las plantas verdes sintetizan compuestos orgánicos de anhídrido carbónico y agua en asociación con clorofila, bajo la acción de la luz del sol.

GEOMORFOLOGÍA: Ciencia que estudia las formas de la corteza terrestre.

GESTIÓN AMBIENTAL: gama de actividades de un programa regional sobre ordenación del medio ambiente.

GRADIENTE TÉRMICO: Aumento o disminución gradual de la temperatura a lo largo de un espacio, geográfico o del tiempo.

HIDRÓSFERA: Es toda la superficie del planeta cubierta de agua.

INDICADORES BIOLÓGICOS: Organismos que por su presencia (o ausencia) tienden a indicar condiciones medio ambientales.

K (CAPACIDAD DE CARGA): Corresponde a la densidad máxima que alcanza una población que se encuentra limitada por los recursos ambientales, en ausencia de depredadores y parásitos.

LÍMITE DE TOLERANCIA: Condiciones extremas que es capaz de soportar un organismo antes de morir.

LIXIVIACIÓN: Tratamiento de una sustancia compleja con el disolvente adecuado para obtener la pasta soluble de ella.

MANEJO MEDIO AMBIENTAL: consiste en la formulación de estrategias en las que los recursos de un ecosistema dado puede ser utilizado de una manera ecológicamente eficiente y sosteniblemente.

MATERIAL INERTE: Refiérase en contaminación proveniente de fuentes mineras, a las escombreras o material diferente de los minerales que se explotan.

MÁXIMA CONCENTRACIÓN PERMISIBLE: la mayor concentración de un contaminante considerada no peligrosa a la salud de organismos adultos.

MEDIO AMBIENTE: Es todo lo que rodea a un organismo; los componentes vivos y los abióticos. Conjunto interactuante de sistemas naturales, construidos y socioculturales que está modificando históricamente por la acción humana y que rige y condiciona todas las posibilidades de vida en la Tierra, en especial humana, al ser su hábitat y su fuente de recursos. Es todo lo que naturalmente nos rodea y que permite el desarrollo de la vida y se refiere tanto a la atmósfera y sus capas superiores, como la tierra y sus aguas, a la flora y fauna; a los recursos naturales, todo lo cual conforma la naturaleza con su sistema ecológico de equilibrio entre los organismos y el medio en que vive.

METALES PESADOS: Iones de elementos metálicos como cobre, zinc, hierro, cromo y mercurio, los cuales generalmente son removidos del agua mediante la formación de precipitados insolubles, generalmente como hidróxidos metálicos.

MICROORGANISMO: Organismo pequeño que no se ve a simple vista (bacteria, virus).

MIGRACIÓN: Movimiento de salida y regreso periódico de los individuos o sus elementos de diseminación, respecto del área de la población.

MONITOREO: (Seguimiento) Medida de los contaminantes y de sus efectos con objeto de ejercer control sobre la exposición del hombre o de elementos específicos de la biósfera a esos contaminantes.

NAPA: Capa de agua subterránea.

NECTON: Organismos flotantes capaces de navegar, como peces, anfibios, pulpos, etc. Conjunto de organismos que nadan activamente venciendo los movimientos propios de las masas líquidas. Su tamaño fluctúa entre unos pocos centímetros a varios metros.

OMS: Siglas Organización Mundial de la Salud.

PARÁMETRO: Constante numérica cuyo valor caracteriza a un miembro de un sistema. Como función matemática, es una cantidad a la cual el operador puede asignarle un valor arbitrario, se distingue de variable, la cual puede tomar sólo aquellos valores que haga la función posible.

PLATAFORMA CONTINENTAL: Proyección submarina del continente, y que alcanza, por convección, una profundidad de 200 m.

PLANTA DE TRATAMIENTO: Facilidades para la purificación de residuos o efluentes, mediante métodos mecánicos, físicos, químicos y biológicos o combinación de éstos.

PLAN DE CONTINGENCIA NACIONAL: Es un instrumento que define los mecanismos de organización, recursos y estrategias de un país para hacer frente a una emergencia de contaminación, incluyendo la información básica necesaria.

PLANCTON: Está constituido por todos aquellos organismos que flotan más o menos pasivamente en el agua. En general carecen de movimientos propios, o los tienen en muy pequeña escala. Es la parte viva del seston. Organismos acuáticos que flotan más o menos pasivamente en el agua. Organismos suspendidos en el agua, sin o con movilidad limitada, que no pueden mantener su distribución contra el efecto de las corrientes.

POLUCIÓN: Es sinónimo de contaminación. Es un concepto legal y se refiere a lo que hace que un medio determinado, generalmente fluido, el agua o la atmósfera, se considere ya inapropiado para determinado uso.

POBLACIÓN: Grupo de organismos que habitan un espacio en un tiempo dado y se reproducen entre ellos. Conjunto de individuos de una misma especie que habitan áreas comunes y presentan un nivel de organización y estructura propia, con un patrón reproductivo, comportamiento, crecimiento y tasa de renovación similar.

POLUTANTE: Es una sustancia que causa contaminación y por definición puede causar algún efecto peligroso.

PORCIÓN DE AGUA: espacio de mar, río o lago, destinado a mantener cualquier elemento flotante estable.

POZO DE INFILTRACIÓN O ABSORCIÓN: Es toda excavación en terreno o conducto perforado o taladrado de cierta profundidad donde las aguas se infiltran al subsuelo a través de las paredes y piso permeable.

PRODUCTIVIDAD PRIMARIA: Producción de biomasa por unidad de tiempo. Cantidad total de materia orgánica que es formada en cierto tiempo por actividad fotosintética de las plantas.

PRODUCTO QUÍMICO PROHIBIDO: Todo aquel cuyos usos, por razones sanitarias o ambientales, hayan sido totalmente prohibidos por decisión gubernamental firme.

PRODUCTO QUÍMICO RIGUROSAMENTE RESTRINGIDO: Todo aquel cuyos usos, por razones sanitarias o ambientales, hayan sido prohibidos prácticamente en su totalidad en el ámbito nacional por decisión gubernamental firme, pero del que se sigan autorizando algunos usos específicos.

PRODUCTO QUÍMICO PELIGROSO: Todo aquel que represente una amenaza para la salud de las personas o los animales para el medio ambiente.

PRESERVACIÓN: La mantención del estado natural original de determinados componentes ambientales, o de lo que reste de dicho estado, mediante la limitación de la intervención humana en ellos al nivel mínimo, compatible con la consecución de dicho objetivo.

RÉGIMEN DE EVACUACIÓN: variación del caudal de descarga del efluente en función del tiempo, vertido desde las instalaciones de un establecimiento.

RESIDUOS BIOLÓGICOS: Desechos producidos por organismos vivos, mirado desde un punto de vista del hombre.

RESIDUO LÍQUIDO: Efluente residual evacuado desde las instalaciones de un establecimiento productivo o de servicios de carácter público o privado, cuyo destino directo o indirecto son los cuerpos de agua receptores.

RECURSO SOBREEXPLOTADO: Es aquel recurso hidrobiológico cuyo nivel de explotación es mayor al recomendado técnicamente para su conservación en el largo plazo.

RECURSOS NATURALES: Todos aquellos recursos no creados por el hombre, tales como la tierra, el agua, los minerales, el aire, etc. Normalmente se clasifican en recursos naturales renovables y recursos naturales no renovables. Ejemplo de los primeros son los bosques, los peces, el ganado, etc. Ejemplo de los segundos son los minerales, el petróleo, etc.

SECCHI: Disco-Método para medir la penetración de la luz en el mar.

SEDIMENTACIÓN: Proceso en el cual las sustancias en suspensión se depositan en el fondo.

SEDIMENTO: Material (minerales, materia orgánica, etc.) que habiendo estado suspendido en un líquido, se deposita en el fondo.

SÓLIDOS TOTALES: es la suma de los sólidos disueltos y los sólidos en suspensión.

SÓLIDOS SUSPENDIDOS: Son los residuos filtrados del agua, desecados a la temperatura normalizada, después de haberlos lavado con un disolvente orgánico con el fin de eliminar aceites.

SÓLIDOS DISUELTOS: Son los residuos de la evaporación del agua filtrada, desecados a la temperatura normalizada.

SOLUBILIDAD: Capacidad de ser disuelto.

TASA DE MORTALIDAD: Fracción de la población existente al comienzo de un año que morirá en el transcurso del mismo.

TASA DE SUPERVIVENCIA: Fracción de la población que sobrevive en el transcurso de un año.

TÓXICO: Venenoso, que posee las propiedades de un veneno.

TRATAMIENTO: Proceso que se lleva a cabo con objeto de purificar un efluente en una forma tal que su disposición no induzca a peligros a la salud humana, la vida marina, etc.

TRATAMIENTO PRELIMINAR: Grado de tratamiento de residuos, generalmente flotación, filtraje, remoción por filtración con arena.

TRATAMIENTO QUÍMICO: Tratamiento de efluentes, generalmente oxidación química, reducción, neutralización ácido-álcali, precipitación, coagulación y sedimentación.

TRATAMIENTO SECUNDARIO: Tratamiento de residuos mediante filtros de arena, lodos activados, lagunas de oxidación, etc.

TRATAMIENTO TERCIARIO: Tratamiento de residuos mediante absorción, electrodiálisis, intercambio iónico.

TURBIEDAD: Es el aspecto que ofrece un líquido a causa de la presencia de materias en suspensión. Su intensidad puede servir para apreciar la concentración de estas materias.

VARIANZA: Dispersión que presenta un conjunto de datos en torno a la media. Medida de dispersión de los datos con respecto al promedio.

VARIABILIDAD: Medida de la incertidumbre de la medición. El conocimiento de la confiabilidad de una medición expresada en términos de la variabilidad del error, da un índice de la utilidad de los datos.

VERTIMIENTO: (Derrame) Principalmente en petróleos, descarga de cualquier cantidad de material o sustancias ofensivas a la salud pública.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente estudio es de tipo epidemiológico porque trata de establecer el efecto del arsénico de las aguas superficiales y subterráneas sobre la salud de los pobladores rurales del distrito de Sama Las Yaras. Se ha considerado conveniente utilizar el estudio descriptivo transversal para la evaluación del riesgo potencial a nivel distrital. Esta etapa identificará demográfica y geográficamente las localidades del distrito con mayor riesgo potencial de enfermar o morir por los efectos del arsénico en aguas de consumo en base a la revisión de la bibliografía disponible.

Asimismo, se estableció determinar la concentración de arsénico de las estaciones de muestreo de las aguas superficiales y subterráneas del distrito de Sama Las Yaras, el efecto que produce el consumo de estas aguas superficiales y subterráneas en la salud de los pobladores rurales de Sama - Las Yaras y la proposición de un procedimiento adecuado para mitigar la presencia de arsénico en las aguas utilizadas para consumo.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Dado que el objetivo primario del estudio es determinar la prevalencia del arsénico en el distrito de Sama Las Yaras, se usó un diseño epidemiológico de tipo transversal. La distribución del HACRE en la población se analizó en función de la edad, sexo, lugar de residencia actual y anterior y tiempo en los lugares de residencia. El lugar de residencia se clasificó según el servicio de agua centralizado que lo sirve, según si es agua subterránea y según los niveles de concentración de arsénico en el agua.

La magnitud de la exposición se evaluó en función de la concentración histórica promedio del arsénico en el agua de consumo y del tiempo de exposición. Como manifestaciones clínicas del HACRE se emplearon signos y síntomas relativos a alteraciones de la piel. No se investigó en esta ocasión otras manifestaciones atribuibles a la intoxicación crónica con arsénico, más difíciles de detectar mediante un examen clínico básico. En el examen de piel se buscó específicamente:

- a. Hiperqueratosis palmar y plantar.
- b. Hiper e hipopigmentación.
- c. Epitelioma en zonas cubiertas.

La recolección de la información se hizo mediante una encuesta domiciliaria. La encuesta recogió antecedentes del grupo familiar y de las personas mayores de 10 años, datos de la vivienda, antecedentes del tiempo de

residencia actual y anteriores, identificación del servicio de agua que sirve a la vivienda y datos de carácter socioeconómico y educativo.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. Población

Para los fines de este estudio, se evaluará la población bajo riesgo del distrito de Sama Las Yaras a través de una muestra representativa de las localidades con alto tenor de arsénico en agua así como de su población. Se considera población bajo riesgo a aquella que consume agua con contenido de arsénico de más de 0,05 mg/L. Estos sectores geográficos en donde se ubican, han sido identificados para el presente estudio. El análisis se hizo por localización de aguas superficiales y subterráneas según diversas categorías de concentraciones de arsénico por encima de 0,05 mg/L. La población se evaluó en función de estratos por edades a partir de los 10 años de edad, dado que el efecto acumulativo de la exposición al arsénico debiera resultar en una mayor frecuencia del daño a medida que se avanza en edad. Se decidió examinar a la población mayor de 30 años atendiendo a los antecedentes epidemiológicos de otros países, a las estadísticas clínicas del HACRE en otros países y a los hallazgos obtenidos en un estudio exploratorio previo hecho para aclarar algunas variables relativas al diseño.

Se define como población base aquella a la que el estudio hace referencia, por ejemplo los pobladores del distrito de Sama Las Yaras. En la

mayoría de los estudios no se obtiene información de todos los sujetos que integran la población bajo estudio (N), sino sobre un grupo de ellos llamado muestra (n). Para el estudio se consideró a los 2387 habitantes como población total (N), pertenecientes a la población de Sama Las Yaras, comprensión de la provincia de Tacna, distribuida de la manera como se indica en la Tabla IV. Todos los antecedentes disponibles sobre:

- Concentraciones de arsénico en aguas superficiales y subterráneas sobre el distrito de Sama Las Yaras, comprensión de la provincia de Tacna.
- Información sobre morbilidad relacionada a la exposición crónica al arsénico.
- Datos demográficos y sociales.

Fuente de datos:

- Búsqueda bibliográfica (artículos científicos, informes de situación, etc).
- Información de instituciones que controlan la calidad del agua a nivel provincial.
- Otras fuentes distritales, provinciales y municipales.
- Censo de Población y Vivienda. INEI 2005.

El proceso de determinación de la muestra tuvo en cuenta los siguientes antecedentes disponibles al inicio del año 2009:

- El universo será la población de la localidad del Distrito de Sama Las Yaras que reciben agua potable de fuentes subterráneas y que contienen arsénico en niveles superiores a 0,05 mg/L.
- En el Distrito existen localidades abastecidas por servicios centralizados con aguas subterráneas y localidades abastecidas por servicios con aguas superficiales.
- De las localidades con aguas subterráneas, todas proporcionan agua con niveles de arsénico sobre 0,05 mg/L y sirven a 1684 personas, que es la población de la zona urbana bajo riesgo.
- De las localidades con aguas superficiales, todas proporcionan agua con niveles de arsénico sobre 0,05 mg/L y sirven a 703 personas, que es la población de la zona rural bajo riesgo.

El diseño de investigación para obtener respuestas a las interrogantes para comprobar la hipótesis de investigación, desglosa las estrategias básicas que se adopta para generar información exacta e interpretable. Los diseños son estrategias con las que intentamos obtener respuestas a preguntas como: Contar, medir y describir. El diseño de investigación estipula la estructura fundamental y especifica la naturaleza global de la intervención.

Los diseños transversales implican la recolección de datos en un solo corte en el tiempo, mientras que los diseños longitudinales reúnen datos en dos o más momentos. La aplicación de un diseño longitudinal es recomendable para

el tratamiento de problemas de investigación que involucran tendencias, cambios o desarrollos a través del tiempo, o bien, en los casos en que se busque demostrar la secuencia temporal de los fenómenos. Los estudios de tendencias investigan un particular fenómeno en curso del tiempo, con base en la toma repetida de diferentes muestras provenientes de la misma población general.

La metodología empleada en el presente estudio permitirá determinar las concentraciones promedios de la presencia del arsénico en las aguas superficiales y subterráneas del distrito de Sama Las Yaras, para establecer un modelo de gestión ambiental en el tratamiento de las aguas de consumo humano, a fin de disminuir el riesgo en la salud de los pobladores de este distrito.

Tabla IV
Distritos de la provincia de Tacna

Distritos de TACNA	Superficie (km ²)	Viviendas Censo	Población (Hab)	Densidad (Hab/Km ²)	Altitud (msnm)	Distancia A Tacna (Km)
Tacna	3 141,37	29 635	94 428	30,06	562	0,0
Gregorio Albarracín	175,80	27 872	69 989	392,43	554	2,6
Alto de la Alianza	3,20	8 299	35 439	11 074,69	559	3,1
Ciudad Nueva	6,25	9 039	34 231	5 476,96	580	3,8
Pocollay	16,62	2 477	17 113	1 029,66	613	4,0
Calana	124,45	1 180	2 625	21,09	890	11,0
Pachía	1510,96	805	1 945	1,29	1 159	18,0
Palca	604,62	937	1510	2,50	3142	52,0
Sama Las Yaras	1 148,99	1 846	2 387	2,08	374	47,0
Sama Inclán	1 333,85	1 256	4 064	3,05	550	46,0

Fuente: INEI 2005

3.3.2. Muestra

La muestra seleccionada debe reflejar las características de la población base que se busca estudiar; por ejemplo, si se quiere determinar la prevalencia de arsénico en las aguas superficiales y subterráneas y los factores de riesgo asociados, se debe incluir sujetos provenientes de todos los sitios del área de estudio. Si al investigador le interesa estudiar características de algún subgrupo específico de la población, en ese caso se puede aumentar la proporción de sujetos en la muestra que pertenecen a ese subgrupo.

El tamaño de muestra (n) fue de 71 pobladores y se obtuvo mediante la fórmula descrita por Thrusfield (1995), a través del paquete estadístico EPISCOPE 2.0 utilizando un nivel de confianza del 95%, un error del 5% y una prevalencia esperada del 10% (se tomó la máxima probabilidad por carecer de información). La selección de las explotaciones muestreadas fue completamente al azar, se contactó a los propietarios de los ranchos ganaderos y chacras de cultivo, solicitando el permiso respectivo.

- **Cálculo del tamaño de muestra**

Para determinar el tamaño de muestra el investigador necesita fijar algunos criterios y, además conocer ciertos datos de la población. Los criterios que el mismo fija son: el nivel de significancia estadística, cuyo valor

mayormente aceptado es 95%; la precisión (d), es decir, en cuanto acepta que difiera el porcentaje de la muestra del P del Universo, en otras palabras cual es la amplitud del intervalo que él está dispuesto a aceptar para el parámetro.

Finalmente, se requiere tener una idea acerca de la prevalencia de la característica en la población o de la varianza si se trata de alguna medición de tipo cuantitativo. La seguridad (nivel de significancia) y la precisión compiten entre sí, por lo que debe llegarse a una combinación aceptable que asegure que el tamaño de muestra sea factible de estudiar desde el punto de vista de los recursos y del tiempo disponible. La fórmula general es:

$$n_o = z^2 (PQ)/d^2$$

Donde:

n = tamaño de muestra

z = es el valor de la desviación normal, igual a 1,96 para un nivel de significación del 5%

P = Prevalencia de la característica en la población.

Q = 1 – P

d = precisión (en cuanto se aleja la muestra del verdadero porcentaje del universo).

Suponiendo que se desea estimar la prevalencia de arsénico en la población de Sama Las Yaras, con una confianza del 95% y una precisión de

5%. Basándose en la información disponible en otros estudios, se estima que $P = 5\%$.

Reemplazando en la formula se obtiene:

$$n_o = \frac{1,96^2 (5 \times 95)}{5^2} = 72,9904 \approx 73$$

Esto significa que necesitamos una muestra de 73 personas para estimar con un 95% de confianza la prevalencia de arsénico, no alejándose más del 5% del verdadero porcentaje del universo.

Como hemos considerado la población de Sama Las Yaras (N) es necesario realizar un ajuste en la determinación del tamaño de la población y se realizó de la siguiente manera:

$$n = n_o / 1 + n_o/N$$

$$n = 73/1+n_o/N$$

$$n = 73/1+73/2387$$

$$n = 70,8337$$

$$n = 71$$

El tamaño de la muestra para el presente estudio consistió de 71 pobladores establecidos en el distrito de Sama Las Yaras, incluyendo las familias que forman parte del pueblo y las familias que se encuentran en el campo. La mayoría de familias con propiedades en el campo viven en el pueblo.

3.4. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Durante el muestreo se aplicó una encuesta la cual proporcionó información relativa al:

- 1) Número de habitantes permanentes y estables en la vivienda (edad y sexo).
- 2) Tiempo de residencia (en días, meses y años).
- 3) Situación económica (muy buena, buena, regular, mala y muy mala).
- 4) Ocupación (actividad dependiente e independiente (agricultura, ganadera, institucional y otros).
- 5) Fuente de agua para consumo humano (servicio de agua potable (tanquetas), pozo con agua de río, pozo con agua subterránea, envasada o embotellada y otros).
- 6) Magnitud de consumo de agua por día (menos de un litro, un litro, más de un litro, no precisa).
- 7) Conocimiento de pobladores que consumen agua del río, canales o pozos (del pueblo y de la zona rural).
- 8) Calidad de agua del río y agua subterránea.
- 9) Conocimiento de personas con problemas de salud por consumir agua con arsénico. Si marca sí debe indicar ¿cuántas personas? y ¿qué problema de salud?
- 10) Conocimiento de algún método o proyecto para mejorar la calidad de agua de la zona. Si marca "sí" debe indicar ¿Cuál?

La información se obtuvo a través de la realización de una entrevista semi-estructurada la cual se aplicó a los residentes de Sama Las Yaras. (Anexo 5).

Las variables de estudio son:

3.4.1. VARIABLES INDEPENDIENTES

Las variables independientes estuvieron constituidas por las estaciones de muestreo en los cuales se han obtenido las muestras de agua para determinar su contenido en arsénico. Asimismo, son variables independientes el tipo de agua muestreada: superficial y subterránea.

3.4.2. VARIABLES DEPENDIENTES

Las variables dependientes estuvieron constituidas por signos y síntomas relativos a alteraciones de la piel como el caso de hiperqueratosis, hiperpigmentación y otros problemas de salud relacionados por el consumo.

3.5. UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREOS

El presente estudio se llevó a cabo en el distrito de Sama Las Yaras, comprensión de la provincia de Tacna y del departamento del mismo nombre.

Dicho distrito está ubicado a 47 Km al norte de la ciudad de Tacna. Tiene una población estimada de 2387 habitantes al 2007 (INEI, 2007) y una superficie territorial de 1148,99 km², con una densidad poblacional de 2,08 habitantes por km² siendo el distrito de menor densidad poblacional de la Provincia de Tacna. Su ubicación geográfica es de 19°30'58" S y 80°06'39" W. Tiene una altura de 374 msnm.

Tiene una temperatura media de 23,6 °C, una máxima de 30,9 °C, siendo la mínima de 12,7 °C tiene una precipitación pluvial de 1528,6 mm con un clima semi-seco. El distrito de Sama Las Yaras es eminentemente agropecuario, existen cabezas de ganado vacuno y propiedades ganaderas catastradas de las cuales son predios lecheros afiliados a alguna de las asociaciones presentes en el distrito y los demás son propiedades que se dedican a la ganadería de cría y recría, además del cultivo de olivo.

En la ejecución del presente estudio se estableció en cinco estaciones de muestreo de aguas (dos corresponden a las estaciones de aguas superficiales y tres de aguas subterráneas) para la determinación de arsénico:

Tabla V
Población urbana y rural expuesta a la contaminación acuática.

LUGAR	ZONA	HOMBRES	MUJERES	POBLACIÓN
Sama Las Yaras	Urbano	929	755	1684
Sama las Yaras	Rural	421	282	703
TOTAL		1350	1037	2387

Fuente: INEI, 2007.

3.6. RECOLECCIÓN DE LAS MUESTRAS

Las muestras de aguas superficiales y subterráneas fueron colectadas durante el tiempo de muestreo en frascos de polietileno de color blanco, agregando a cada frasco la cantidad requerida de ácido para su conservación hasta el momento de análisis correspondiente en los Laboratorios Analíticos del Sur EIRL de la ciudad de Arequipa.

3.7. DETERMINACIÓN DEL ARSÉNICO

Para la determinación cuantitativa del arsénico presente en las aguas superficiales y subterráneas de la zona de Sama Las Yaras, se requiere de los siguientes materiales, reactivos, equipos y métodos que a continuación se mencionan:

3.7.1. MATERIALES

- Pipetas aforadas de 5 - 100 mL.
- Erlenmeyer de 100 - 125 mL.
- Papel de filtro libre de ceniza.
- Matraces aforados de 25 - 1000 mL

3.7.2. REACTIVOS

- Ácido nítrico (HNO_3) 65 %, $d= 1,40$ g/mL, ppa.
- Ácido clorhídrico (HCl) 37 %, ppa.
- Ácido sulfúrico (H_2SO_4) 95-98 % w/V, ppa.
- Solución estándar de arsénico de 1000 mg/L:

3.7.3. EQUIPOS

- Espectrofotómetro de absorción atómica con generador continuo de hidruros.
- Plancha calefactora.
- Balanza analítica de precisión 10 mg.
- Balanza analítica de precisión 0,1 mg.

3.7.4. MÉTODOS: ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA POR GENERACIÓN CONTINUA DE HIDRUIROS.

Esta normativa técnica se usa para determinar arsénico en aguas y efluentes industriales en el rango de 0,001 a 0,050 mg/L*, es posible determinar mayores o menores concentraciones por dilución o concentración de la muestra respectivamente.

*NOTA: Los extremos del rango de concentraciones pueden variar según el equipo utilizado.

A. PRINCIPIO

La muestra es digerida para reducir la interferencia por materia orgánica y convertir todo el metal a una forma libre determinable por Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA) a 193,7 nm. El arsénico es medido previa conversión del mismo al hidruro volátil (AsH_3) por reducción con borohidruro de sodio en solución ácida. Este hidruro es transportado hacia una celda de cuarzo caliente donde es atomizado. Si existe arsénico en estado de oxidación V para generar el hidruro este debe primero reducirse al estado de oxidación III, esto hace que la sensibilidad decrezca levemente. Por esto previamente debe convertirse todo el arsénico presente al estado de oxidación III con ioduro de sodio o potasio. El contenido de arsénico se determina mediante una curva de calibración. Para muestras de aguas con bajo contenido de sólidos en suspensión con una turbidez menor a 1 NTU no es necesario realizar la digestión.

B. MUESTREO Y PRESERVACIÓN

Recolectar en frasco de polietileno de alta densidad de 1L de capacidad de cierre hermético. Ajustar a pH 2 con ácido nítrico. Analizar antes de 6 meses.

C. EQUIPOS Y MATERIALES

- Espectrofotómetro de absorción atómica con generador continuo de hidruros.
- Plancha calefactora.
- Balanza analítica de precisión 10 mg.
- Balanza analítica de precisión 0,1 mg.
- Pipetas aforadas de 5 - 100 mL.
- Erlenmeyers de 100 - 125 mL.
- Papel de filtro libre de ceniza.
- Matraces aforados de 25 - 1000 mL.

NOTA: Todo el material de vidrio utilizado deberá lavarse con detergente y agua y enjuagarse por inmersión en una solución de HNO_3 al 5% v/v durante toda la noche, o un enjuague único con una solución de HNO_3 al 20% v/v. Luego se enjuagan tres veces con agua destilada.

D. REACTIVOS

- Ácido nítrico (HNO_3) 65 %, $d= 1,40$ g/mL, ppa.
- Ácido clorhídrico (HCl) 37 %, ppa.
- Ácido sulfúrico (H_2SO_4) 95-98 % w/V, ppa.
- Solución estándar de arsénico de 1000 mg/L: Disolver 1,3200 g de óxido de arsénico III (As_2O_3) (ppa, para Absorción Atómica) en 25 mL de

solución de hidróxido de potasio (KOH, ppa) 20% w/v. Neutralizar con H_2SO_4 20% v/v. Diluir a 1L en matraz aforado, con H_2SO_4 1%. Almacenar en frasco de plástico. Es estable por 1 año. Pueden usarse soluciones estándar para Absorción Atómica comerciales.

- Solución de borohidruro de sodio (NaBH_4) 0,4% *: Disolver 2,5 g de hidróxido de sodio (NaOH ppa) y 2,0 g de NaBH_4 (ppa para- Absorción Atómica) en 500 mL de agua destilada. El reactivo pierde sensibilidad con el tiempo, prepararlo diariamente. * NOTA: Preparar este reactivo a la concentración indicada por el manual del generador de hidruros utilizado.
- Solución de ácido clorhídrico (HCl) 5 M*: Diluir 210 mL de HCl conc. (5.2.2) a 500 mL con agua destilada. * NOTA: Preparar este reactivo a la concentración indicada por el manual del generador de hidruros utilizado.
- Solución de yoduro de potasio (KI) al 20%: Disolver 20 g de KI (ppa) en 100 mL de agua destilada.
- Agua destilada.

E. PROCEDIMIENTO

1) Digestión de la muestra

- Homogeneizar la muestra.
- Si se dispone de una estimación del contenido total de arsénico en la muestra realizar una toma con pipeta aforada tal que la solución final esté en el rango de medida.

- La toma mínima a realizar será de 5,00 mL, en el caso de muestras muy concentradas diluirlas luego de la digestión.
- En el caso de estimar un contenido de arsénico menor a 0,001 mg/L, y de ser necesario, concentrar la muestra durante la digestión.
- Transferir la toma a un Erlenmeyer de 100 - 125 mL.
- Paralelamente se realiza un blanco de digestión sustituyendo la muestra por agua destilada.

NOTA: Si las características físicas de la muestra son tales que no se puede realizar una toma representativa de la misma con pipeta aforada, se realiza una toma en peso.

- Agregar 5 mL de HNO₃. Calentar en una plancha calefactora tal que se obtenga una ebullición leve, concentrar al menor volumen tal que no ocurra precipitación. Si es necesario agregar más ácido y seguir calentando hasta obtener una solución clara. No permitir que la solución se seque durante el calentamiento. Puede quedar un pequeño precipitado no soluble en agua que es luego filtrado. En caso de que la digestión con HNO₃ no sea suficiente, usar mezcla de ácidos (sulfúrico y/o clorhídrico). En este caso la medida se realizará por adiciones estándar.

- Lavar el Erlenmeyer con agua, si es necesario filtrar con papel de filtro lavando abundantemente el precipitado, y recoger el filtrado en un matraz aforado. Dejar enfriar a temperatura ambiente y llevar a volumen con agua destilada, homogeneizar.
- Agregar KI 20% (antes de llevar a volumen en c) o a una alícuota de la solución obtenida en ese punto), tal que su concentración final sea del 1%, esperar 15 minutos antes de medir.

2) Curva de calibración

- Preparar soluciones estándar entre 0,001 y 0,050 mg/L de arsénico a partir de la solución, con el agregado de HNO_3 tal que su concentración final sea el 1%.
- Agregar también KI 20% tal que su concentración final sea del 1%, esperar 15 minutos antes de medir.

3) Determinación directa

Parámetros instrumentales:

- Lámpara de cátodo hueco o de descarga sin electrodo de arsénico.
- Longitud de onda: 193,7 nm.

- Magnitud medida: concentración, altura de pico o área de pico (depende del equipo usado).
- Realizar la curva de calibración con los estándares de 0,001 a 0,050 mg/L.
- Medir las muestras y blancos.

4) Determinación por adiciones estándar

- Parámetros instrumentales: Lámpara de cátodo hueco o de descarga sin electrodo de arsénico Longitud de onda: 193,7 nm.
Magnitud medida: concentración, altura de pico o área de pico (depende del equipo usado).
- Realizar una medida aproximada del contenido de arsénico en la muestra (x).
- Tomar 4 alícuotas iguales de la muestra con pipeta aforada en matraces aforados. En el matraz A aforar con agua destilada. Realizar en los 3 matraces restantes adiciones de solución estándar de arsénico tal que la concentración en el matraz B sea el doble que la concentración en A; en el matraz C el triple y en el D cuatro veces la concentración de A. Tener en cuenta que la suma del contenido de arsénico de la muestra más la adición no supere los 0,050 mg/L.

5) Cálculos y expresión de los resultados

- Se determina los límites de cuantificación (LC) y detección (LDM). Ver Norma técnica BII01. NTP 122.003:1974. NTP 214.008. Agua potable. Determinación de Arsénico.
- Se determina la concentración de arsénico en la digestión de la muestra y blanco (CM y CB) o en una dilución de los mismos a partir de la curva de calibración obtenida en 7.1, o a partir de la curva de adición obtenida en 7.2.
- Si CM es menor a LDM informar:

No detectable, Límite de detección = LDM * FC, expresado en mg/L. Donde FC es el factor de concentración de la muestra, obtenido según: $FC = V / T$.

Donde:

V = volumen del matraz aforado usado para recoger el filtrado de digestión en mL.

T = toma de la muestra en mL.

- Si CM es mayor a LDM pero menor a LC informar:

Se detecta, $As \text{ (mg/L)} < LC * FC$.

Donde FC es el factor de concentración de la muestra, obtenido como en 8.3.

- Si CM es mayor a LC informar el valor obtenido según:

$$As \text{ (mg/L)} = (CM * FDM - CB * FDB) * FC$$

Donde:

CM = concentración de As en la digestión de la muestra en mg/L.

FDM = factor de dilución de la muestra.

C B = concentración de As en la digestión del blanco en mg/L.

FDB = factor de dilución del blanco.

FC = factor de concentración de la muestra, obtenido como en 8.3.

3.8. DETERMINACIÓN DEL RIESGO POR EXPOSICIÓN AL ARSÉNICO

Para definir el riesgo por exposición al arsénico se siguió parte de la metodología del análisis de riesgo, procedimiento que se lleva a cabo antes de decidir qué acciones se toman para reducir o eliminar un peligro potencial para la salud de la población.

3.8.1 DETERMINACIÓN DE LA POBLACIÓN EXPUESTA

Para evaluar la exposición al arsénico a través del agua para uso y consumo humano, se consideraron los estados donde existen zonas con acuíferos contaminados por este elemento y donde además se cuenta con registros sobre la concentración de los mismos en sistema de distribución de agua potable específico.

Posteriormente se registró los pozos y sistemas de distribución de agua potable para los cuales existía información sobre la calidad del agua, en algunos

casos fue posible relacionar las fuentes o sistemas de abastecimiento de agua con localidades bien definidas pero en otros casos esto no era posible, por lo que se decidió establecer la relación de posible exposición hasta el nivel para todos los estados considerados.

Es importante señalar, que todos los estudios epidemiológicos realizados para evaluar la relación entre la exposición al arsénico en el agua de bebida y el desarrollo de cánceres son estudios de tipo ecológico.

En los estudios epidemiológicos ecológicos es posible establecer una relación entre grupos de una población y una causa y probable efecto, si se considera que se estudian grupos y no individuos de tal manera que las observaciones corresponden a promedios de exposiciones y efectos. Con este antecedente, para este estudio consideramos la exposición y el riesgo promedio del grupo poblacional de Sama Las Yaras.

De la información recopilada sobre las concentraciones de arsénico en los acuíferos de Sama Las Yaras se escogieron los datos exclusivamente de los pozos que se utilizan para abastecimiento de agua potable (aguas subterráneas) y se relacionaron con el número de habitantes donde se localiza cada pozo o sistema de distribución.

Debido a que la información sobre la calidad del agua no es completa, solo se consideró como expuestos al total de los habitantes de Sama Las Yaras cuando los datos de calidad del agua representaban a número total de sistemas de agua potable en ese municipio.

3.8.2. DOSIS DE EXPOSICIÓN (DExp)

Para Sama Las Yaras se determinó la probable dosis de exposición a estos contaminantes en el agua de bebida, en el caso de arsénico solo se consideró un grupo de exposición crónica en relación a un periodo similar a la esperanza de vida de la población.

Las dosis de exposición para arsénico se calcularon de acuerdo a la metodología empleada para determinar la dosis de referencia de las sustancias tóxicas para efectos no carcinogénicos.

Se utilizan las dosis de referencia (DRf) a partir de las cuales se observan efectos adversos y refieren la exposición a una concentración umbral o al límite de la concentración Más Baja de Observación de Efectos Adversos, LOAEL, por sus siglas en inglés.

3.8.3. DOSIS DE REFERENCIA (DRf) DEL ARSÉNICO

La dosis de referencia LOAEL para el arsénico se calcula a partir del valor de 0,17 mg/L de arsénico en el agua, que corresponde a la media aritmética del rango de valores a los que se expuso el grupo de menor exposición en el estudio de Taiwán, referencia de donde derivó el límite máximo permitido de arsénico (Tseng et al, 1968). En la fórmula se incluye una estimación de la ingestión de arsénico a través de los alimentos de 0,002 mg/día, un consumo de 4,5 litros de agua al día y un peso corporal promedio de 55 kg en las personas expuestas.

$$DRf \text{ LOAEL} = [(0,17 \text{ mg/l} \times 4,5 \text{ l/d}) + 0,002 \text{ mg/d}] / 55 \text{ kg} = 0,014 \text{ mg/kg-día.}$$

Las dosis de exposición se calcularon de acuerdo a estas fórmulas en donde se sustituye la concentración de la dosis de referencia por las concentraciones máximas y mínimas registradas.

Posteriormente con estos datos se calculó el coeficiente de peligrosidad para comparar las dosis de exposición con las dosis de referencia. Si la relación de la dosis de exposición entre la DRf de la sustancia es mayor a uno se puede asegurar que la población expuesta está en peligro.

$$HQ = D_{Exp} / DR_f$$

Donde HQ = Coeficiente de peligrosidad

D_{Exp} = Dosis de exposición

DR_f = Dosis de referencia

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ARSÉNICO EN AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

Históricamente existen resultados de mediciones de concentraciones de arsénico durante años anteriores al presente estudio. En 2005 existen referencias de datos de concentraciones de arsénico en diferentes estaciones de muestreo incluyendo en éstas Sama Las Yaras en el canal y en domicilio.

Tabla VI
Valores históricos de arsénico por estaciones de muestreo de algunos lugares del departamento de Tacna.

ESTACIONES DE MUESTREO	pH	Arsénico mg/L	Arsénico µg/L
Calientes	4,5	0,040	40
Sama Las Yaras (canal)	7,0	0,220	220
Sama Las Yaras (domicilio)	6,5	0,140	140
Sama Inclán (canal)	7,0	0,230	230
La Yarada	7,0	0,010	10

Fuente: Rodríguez, Juan. 2005. Tecnología solar aplicada a la purificación del agua.

Los datos considerados se dan en miligramos por litro (mg/L). Se ha considerado conveniente establecer los resultados en microgramos por litro (µg/L) por estar así considerados los valores de la OMS. Como puede apreciarse en 2005, las concentraciones de arsénico correspondientes a Sama

Las Yaras (canal), lo que corresponde a las aguas superficiales son del orden de los 220 $\mu\text{g/L}$, coincidiendo este valor con el correspondiente a Sama Inclán, aunque es un algo mayor. En cambio el valor correspondiente a Sama Las Yaras (domicilio) que es agua de pozo; es decir subterránea, es de concentración menor que las aguas superficiales.

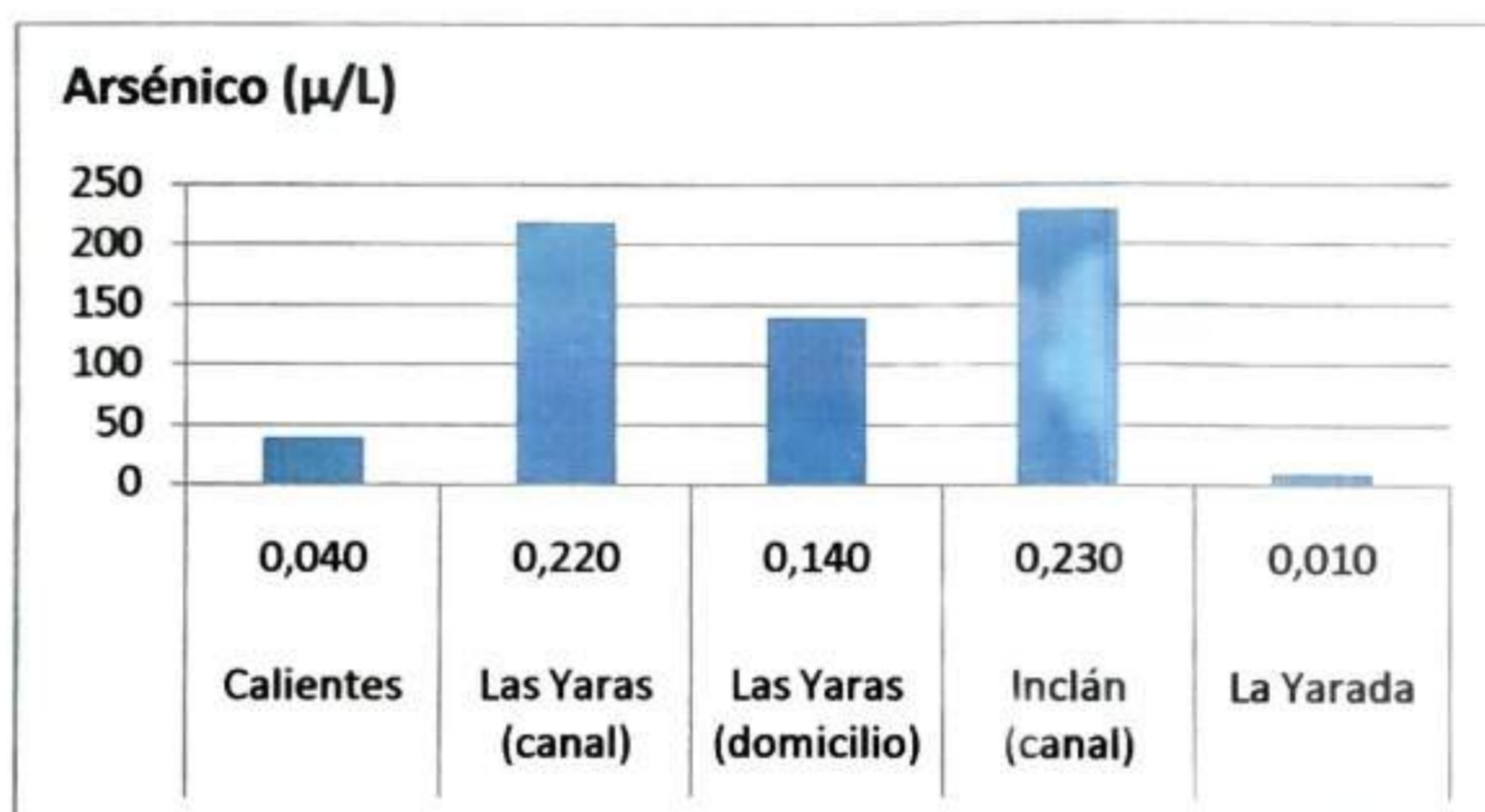


Figura 6. Valores históricos de arsénico en Sama Las Yaras.

Tabla VII
Parámetros químicos en aguas de consumo humano y utilizado en agricultura y ganadería.

PARÁMETROS QUÍMICOS	Sama Las Yaras CONSUMO HUMANO	Sama Las Yaras AGRICULTURA Y GANADERÍA
Alcalinidad (mg/L)	4,64	5,21
Dureza total (mg/L)	512,00	385,40
Sólidos totales (mg/L)	2700,90	2225,40
Sólidos disueltos (mg/L)	2662,40	2176,40
Cloruros (mg/L)	465,51	397,90
Arsénico (mg/L)	0,132	0,170

Fuente: Rodríguez, J., 2005. Tecnología solar aplicada a la purificación del agua.

La Tabla VII muestra los parámetros químicos determinados en el agua de consumo humano (aguas subterráneas) y el agua utilizado en la agricultura y ganadería. En lo que respecta, los valores correspondientes al arsénico siempre son mayores en las aguas subterráneas. Los otros parámetros se encuentran bastante elevados en las zonas de muestreo.

El distrito de Sama Las Yaras comprende una población que se encuentra dividida en habitantes en el pueblo y que mayormente consumen agua proveniente de Tacna. Esta es llevada frecuentemente al pueblo por el EPS Tacna cobrando la suma de ocho nuevos soles por cada cilindro de agua. Aunque el pueblo posee servicio de agua, la cual no es del todo potable, porque solamente es tratada con lejía para eliminar la contaminación bacteriana. Esta agua generalmente se usa para lavar la ropa o para los servicios higiénicos.

Es lógico pensar que esta agua procedente del pozo subterráneo contiene un promedio de 161,2 $\mu\text{g/L}$ de arsénico que es muy superior al considerado por Decreto Supremo N° 002-2008-MINAN y que es de 10 $\mu\text{g/L}$ para agua de consumo humano directo.

Tabla VIII
Concentraciones de arsénico en aguas superficiales y subterráneas
en la zona de Sama Las Yaras. 2009.

Estaciones de muestreo	Código	Marzo	Abril	Mayo	Arsénico
Aguas superficiales		µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
Río Sama, Sector Cuiloma-Las Yaras	E-10	344	345	351	346,7
Río Sama, Sector El Golpe-Las Yaras	E-11	480	489	402	457,0
PROMEDIO		412	417	376,5	401,8
Aguas subterráneas					
Río Sama, Sector El Puente-Las Yaras	E-00	158	162	162	160,7
Río Sama, Sector El ojo	E-15	166	166	160	164,0
Río Sama, Sector La Pileta	E-16	157	166	154	159,0
PROMEDIO		160,3	164,7	158,7	161,2

Fuente: Elaboración propia, 2010.

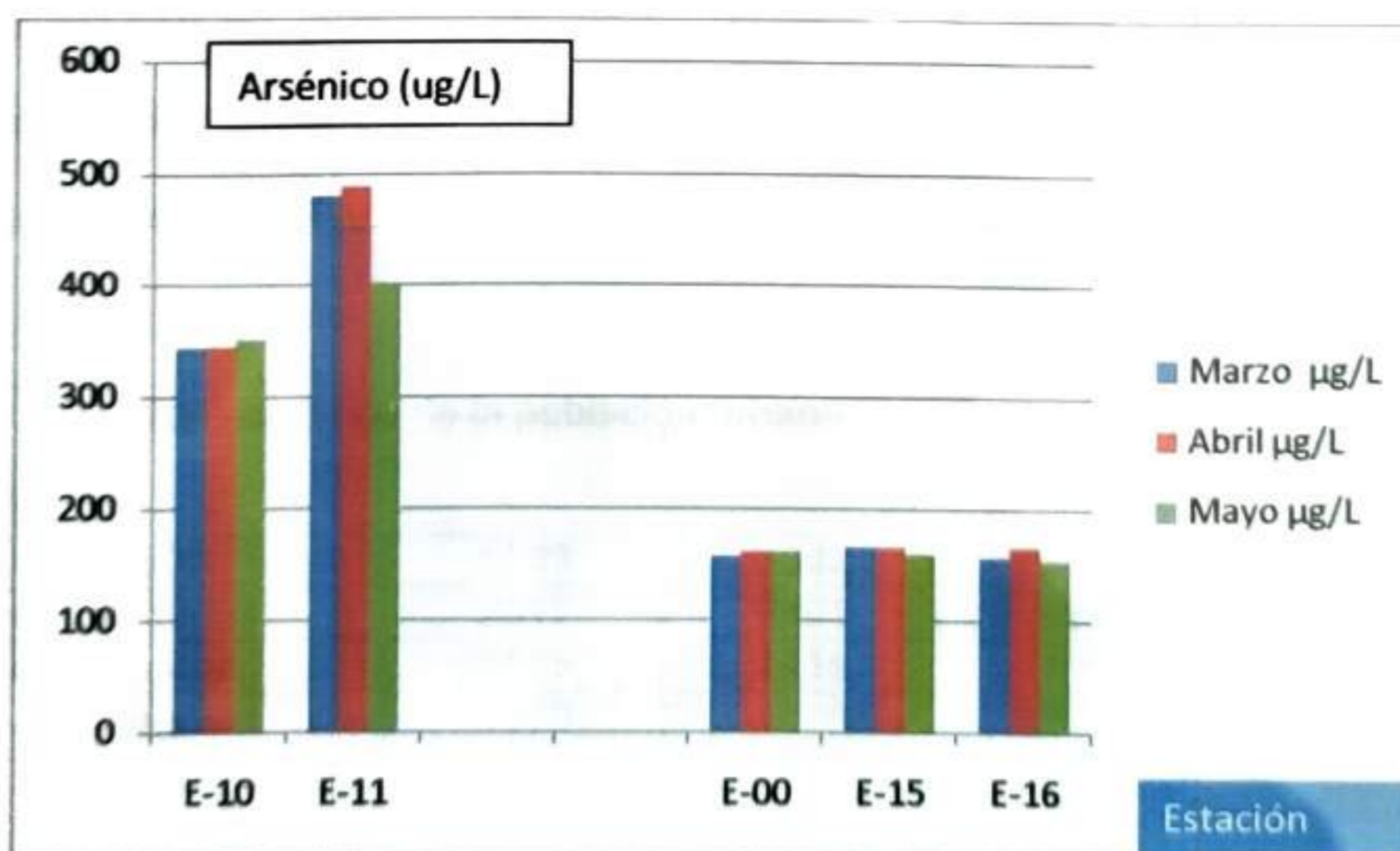


Figura 7. Concentraciones de arsénico en aguas superficiales (E-10 y E-11) y subterráneas (E-00, E-15 y E-16) en la zona de Sama Las Yaras. 2009.

No se debe descartar por mención de los propios pobladores que esta agua contaminada algunas veces es usada para el consumo humano directo, hirviéndola casi siempre.

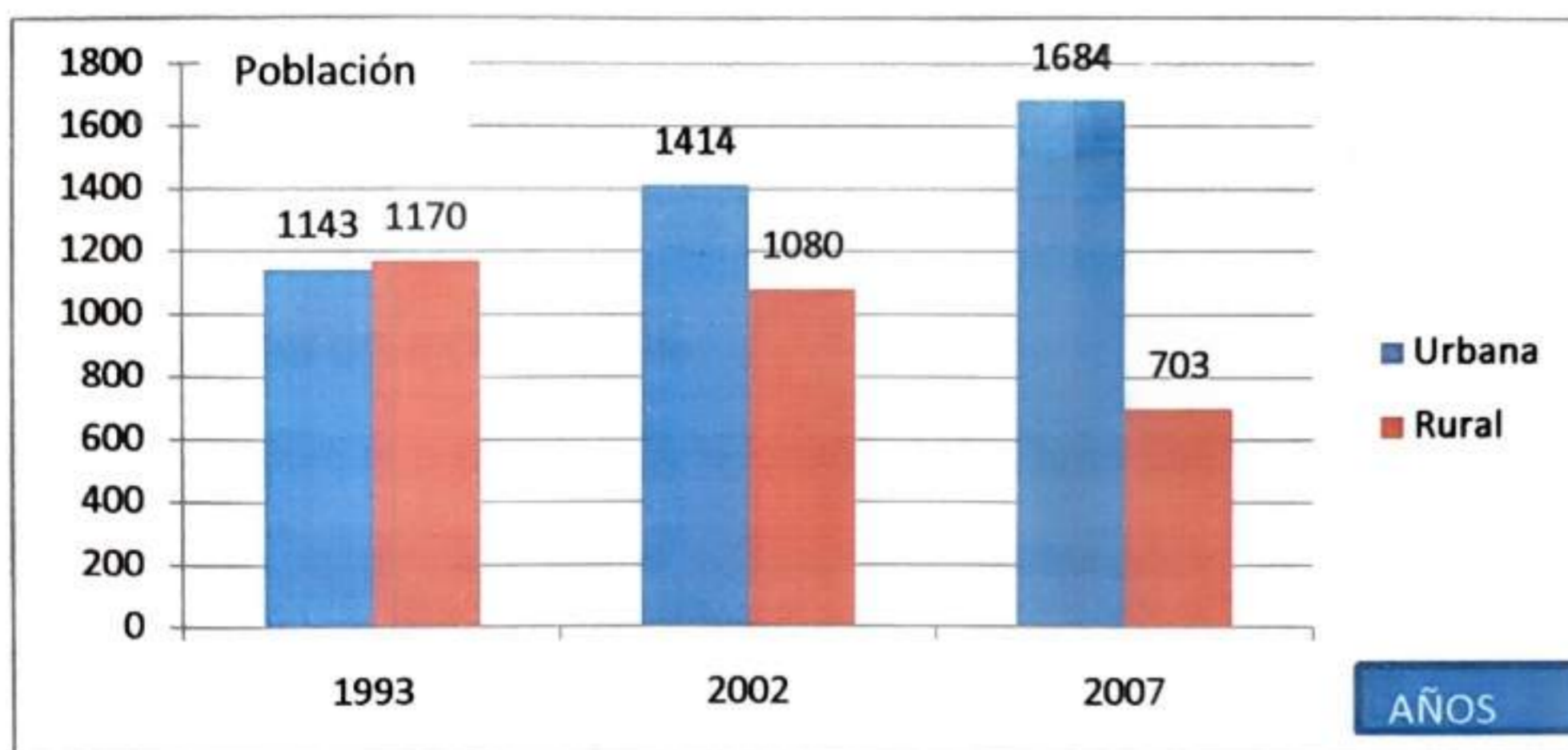
Este proceso no elimina el arsénico. La otra parte de la población de Sama Las Yaras lo constituye la gente que trabaja en el campo, aunque no se descarta que los pobladores del pueblo también van al campo a trabajar su chacra todos los días. La población que permanece en la chacra consume el agua de los pozos que almacenan.

Esta agua generalmente superficial contiene una gran cantidad de arsénico que en promedio es del orden de los 401,8 µg/L sobrepasando la concentración considerada por Decreto Supremo N° 002-2008-MINAN que es de 50 µg/L para la agricultura de tallo corto y largo.

Tabla IX
Registro histórico de la población urbana y rural de Sama Las Yaras

AÑOS	1993	2002	2007	Porcentaje
Sama Las Yaras	2017	2494	2387	100,0
• Urbana	1143	1414	1684	56,7
• Rural	1170	1080	703	43,3

FUENTE: INEI, 2007.



Fuente: INEI, 2007.

Figura 8. Registro histórico de la población urbana y rural de Sama Las Yaras.

De acuerdo al cuadro indicado, a la población urbana le corresponde un 56,7 % y a la población rural un 43,3 %.

La sección de evaluación de exposición en sitios peligrosos se debería iniciar con una secuencia detallada de la visita al sitio, la que a su vez, incluya la información completa del lugar. En el presente caso esta fase no se realizó de acuerdo al manual porque no se consideró necesario. Más importante era realizar el estudio de biomarcadores de exposición para arsénico.

La situación del acuífero se atendió a través de análisis de arsénico en agua, efectuado en muestras de agua doméstica (grifo) en la localidad de Sama Las Yaras (La Pileta). La fase de evaluación de la exposición se realizó desde

marzo de 2009 hasta mayo del 2009, cuatro años después del trabajo correspondiente a la fase de inspección preliminar.

4.2. PUNTOS DE EXPOSICIÓN

El acuífero que abastece a la localidad de Sama Las Yaras, es el mismo de donde se surten los pozos altamente contaminados con arsénico que encontramos en la fase de inspección preliminar. Sin embargo, aparentemente la zona de pozos que abastece de agua potable a esta comunidad, se ubicaría gradiente arriba del punto de contaminación. Persiste la necesidad de vigilar la calidad de este cuerpo de agua.

4.3. CONTAMINACIÓN DE AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA.

Como parte del estudio, se analizó la concentración de arsénico en muestras de agua superficial procedentes de tanques de almacenamiento de agua pluvial, de canales de agua de mina y de dos sistemas de pozos y canales donde circula agua natural.

La máxima concentración de arsénico en agua de tanques de almacenamiento de agua pluvial recolectada a través de arroyos que drenan el sitio en áreas cercanas a las potenciales fuentes de contaminación (265 $\mu\text{g/L}$), exceden más de 5 veces al límite máximo permisible (50 $\mu\text{g/L}$) establecido por la Norma Oficial Peruana de calidad de agua de uso y consumo humano (2009). La

concentración de arsénico en el agua en estos tanques y en el sedimento de los arroyos disminuye conforme se incrementa la distancia desde las potenciales fuentes de contaminación.

En lo que respecta a los sistemas de pozos y canales donde circula agua natural, uno de ellos inicia atrás del pueblo, siendo el agua recolectada en tanques situados en la comunidad de Sama Las Yaras. Este tanque de recolección de agua, así como las pozas que constituyen el sistema, han sido aprovechados por la población de la región para actividades ganaderas.

En el análisis de muestras de agua procedentes de varios sitios de este sistema de pozos y canales de Sama Las Yaras, se encontraron concentraciones de arsénico en agua entre 160 y 346 $\mu\text{g/L}$. Este contenido de arsénico excede por más de 3 a 7 veces al límite máximo permisible (50 $\mu\text{g/L As}$) por la Norma Oficial Peruana de Calidad de Agua para consumo humano, siendo también 16 a 35 veces superior al contenido de arsénico en agua natural no contaminada en el área (10 $\mu\text{g/L As}$), encontrada en el otro sistema de abastecimiento, que llega a Sama Las Yaras.

La concentración de arsénico disuelto en el agua natural de Sama Las Yaras, es superior al valor máximo reportado hasta ahora en el mundo para aguas naturales contaminadas por arsénico (50 $\mu\text{g/L As}$) y tan elevada como los

valores máximos reportados para aguas ligeramente alcalinas contaminadas por actividad minera.

4.4. RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS

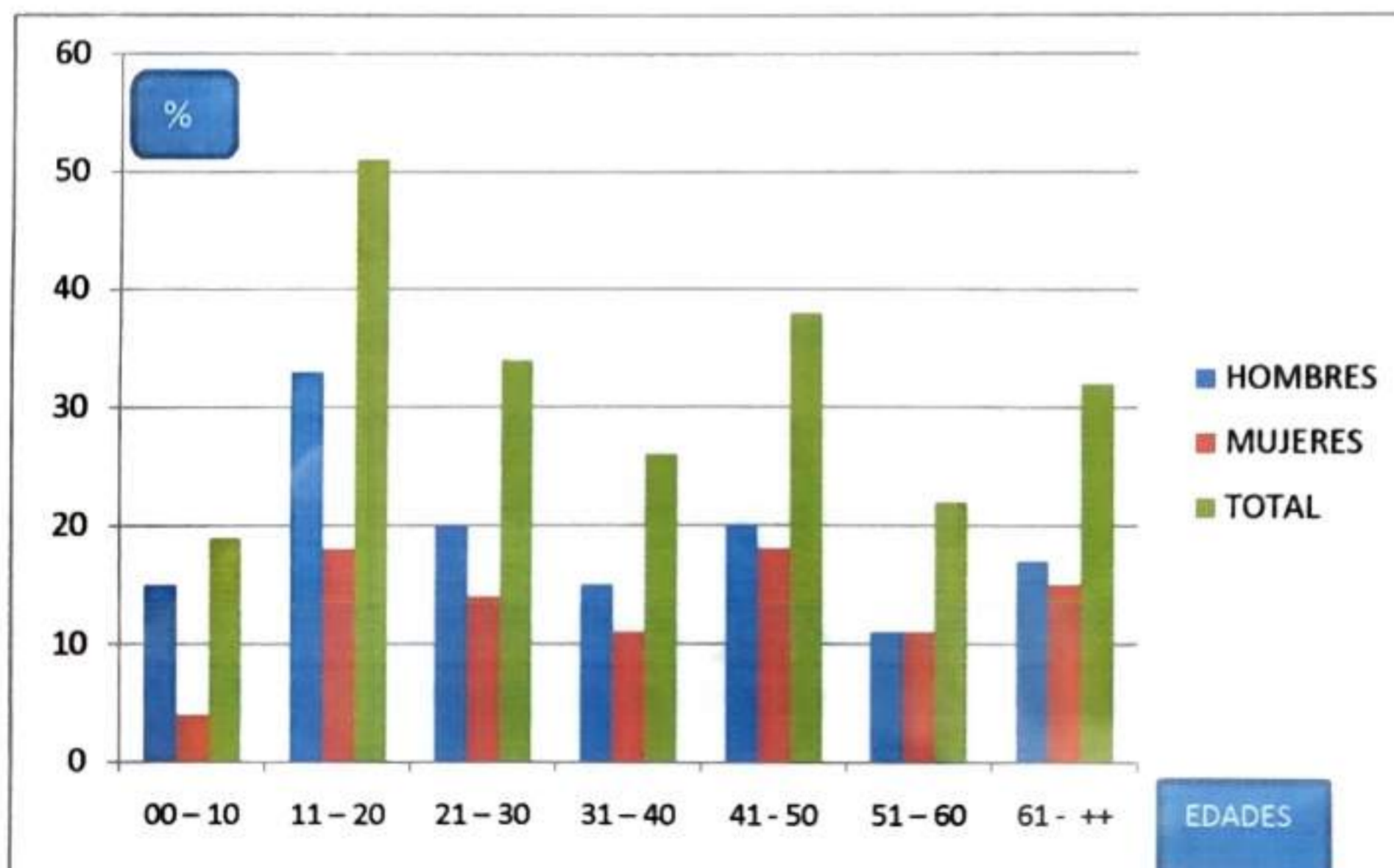
La realización de encuestas en la zona de estudio ha permitido obtener información referente sobre lo que está sucediendo en el pueblo de Sama Las Yaras, en cuanto al problema epidemiológico originado por el arsénico que está presente en el agua tanto superficial como subterránea.

En primer término, la determinación de la proporción entre hombres y mujeres en el distrito de Sama Las Yaras, es diferente en cuanto a la proporción frecuente en la relación de 1:1. Existe mayor número de varones. En cuanto a la proporción sexual por edades, ésta es diferente desde la niñez, juventud y adultez, siendo casi proporcional en la tercera edad, entre 40 y 60 años. La mayor población que puede observarse corresponde a las edades comprendidas entre los 11 y 20 años.

Tabla X.
Número de habitantes por sexo y edades en Sama Las Yaras.

EDADES	HOMBRES	%	MUJERES	%	TOTAL	%
00 – 10	15	11,5	4	4,4	19	8,5
11 – 20	33	25,2	18	19,8	51	23,0
21 – 30	20	15,3	14	15,4	34	15,3
31 – 40	15	11,5	11	12,1	26	11,7
41 – 50	20	15,3	18	19,8	38	17,1
51 – 60	11	8,4	11	12,1	22	9,9
61 - ++	17	13,0	15	16,5	32	14,4
TOTAL	131	59,9	91	40,1	222	100,0

Fuente: Elaboración propia, 2010.



Fuente: Elaboración propia, 2010.

Figura 9. Número de habitantes de Sama Las Yaras por edades y sexos.

En cuanto al tiempo de residencia de los pobladores del distrito de Sama Las Yaras, podemos indicar que la mayor frecuencia de pobladores residentes corresponde a las edades comprendidas entre la niñez y la adultez.

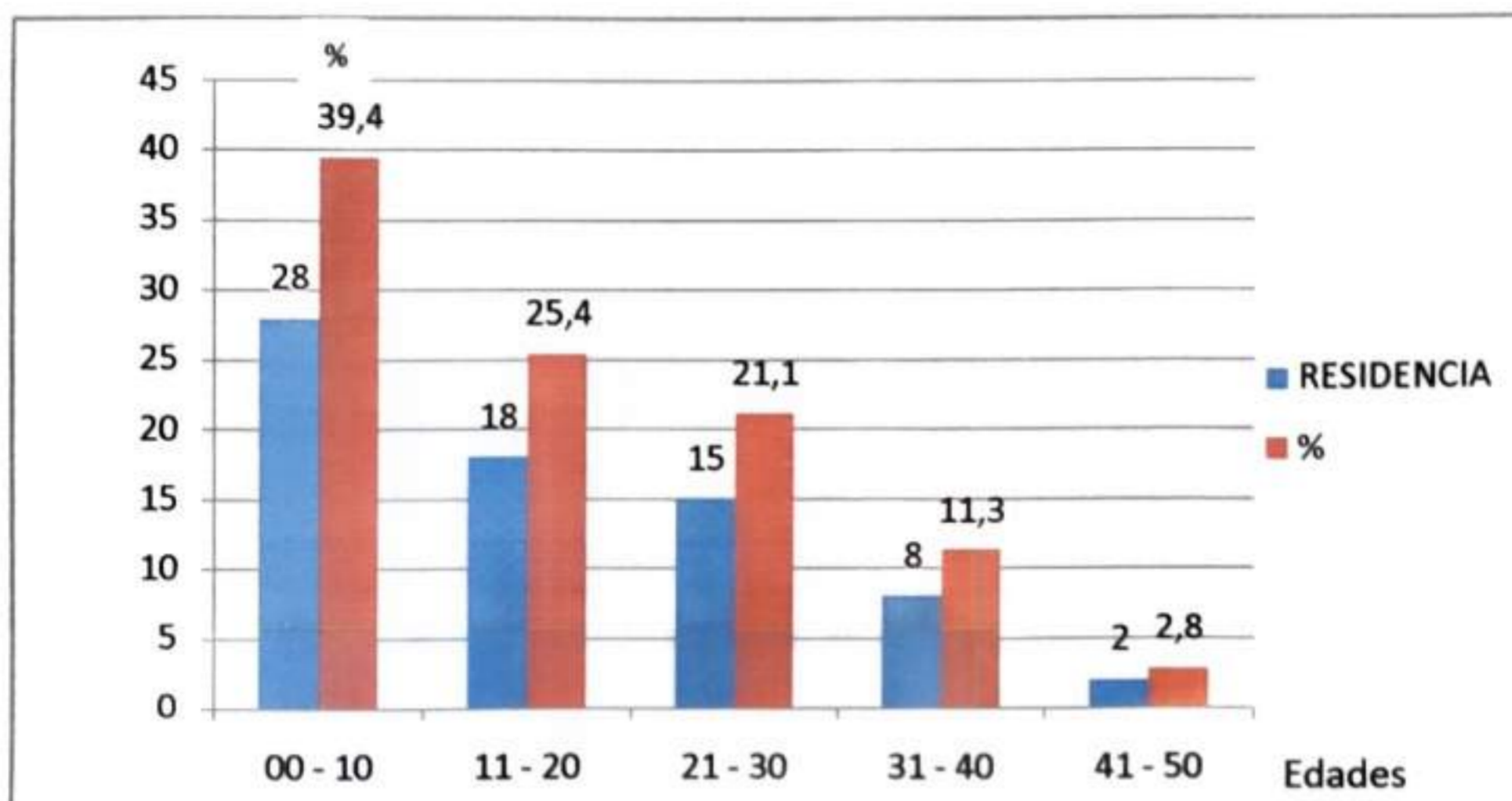
Es preocupante la baja frecuencia de habitantes de edades mayores a los 30 años incluso entre los 41 y 50 años la frecuencia es mucho menor. Se puede especular que los pobladores de la tercera edad se retiran del pueblo o la tasa de morbilidad es mayor a esta edad.

En la Figura 6 podemos observar que la proporción sexual entre hombres y mujeres no es igual, sino que en las primeras edades el número de hombres es mayor que de las mujeres tendiendo entre las edades de 51 y 60 a ser igual. Asimismo, podemos ver que existe una población mayor entre las edades de 11 a 20 años, tendiendo a disminuir en las edades mayores.

Tabla XI
Tiempo de residencia de los pobladores de Sama Las Yaras.

EDADES (Años)	RESIDENCIA	%
00 – 10	28	39,4
11 – 20	18	25,4
21 – 30	15	21,1
31 – 40	8	11,3
41 – 50	2	2,8
TOTAL	71	100,0

Fuente: Elaboración propia, 2010.



Fuente: Elaboración propia

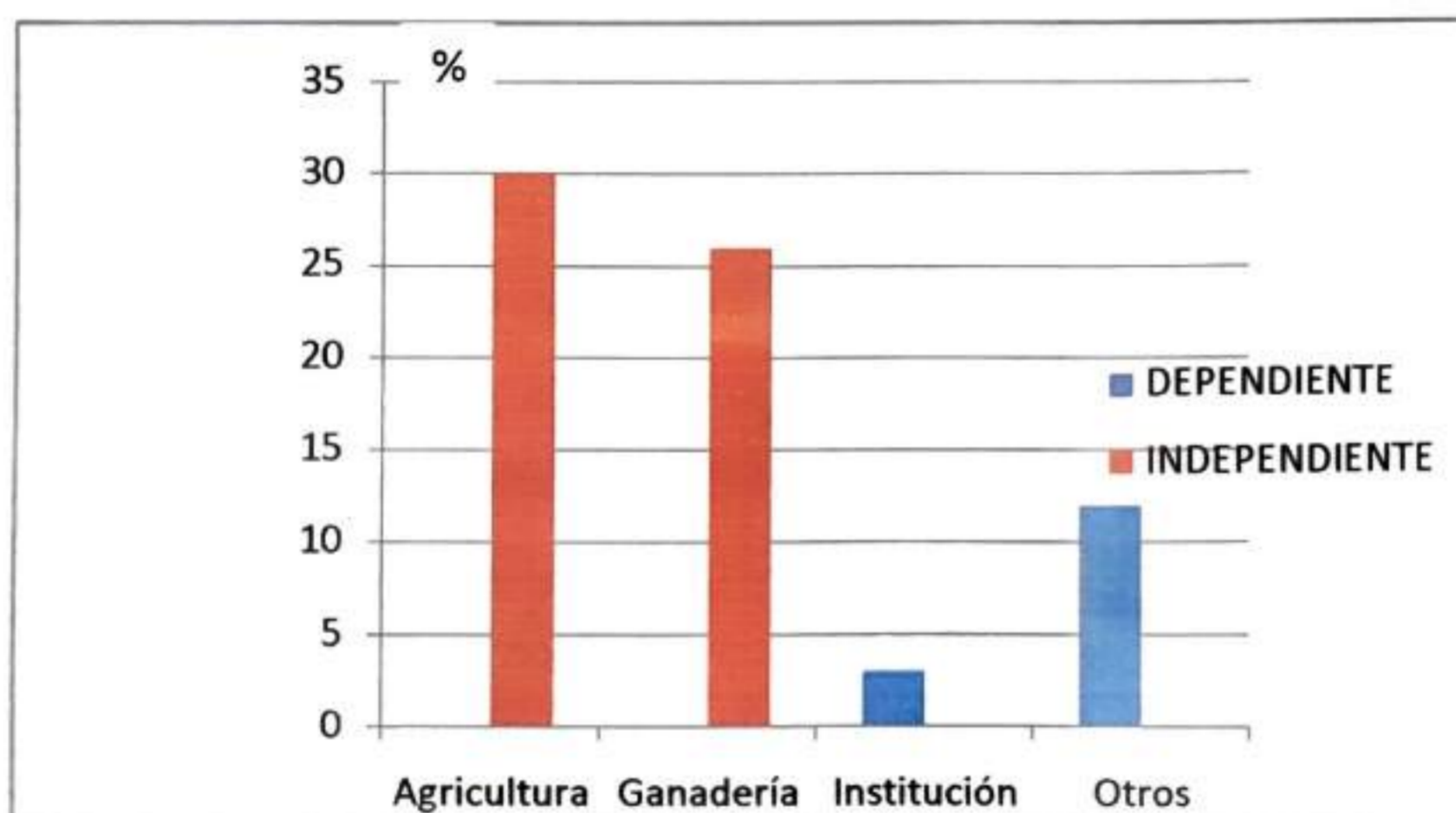
Figura 10. Tiempo de residencia por edades de pobladores de Sama Las Yaras.

Podría constituirse en un asunto preocupante de que esta menor frecuencia de individuos de la tercera edad sea a causa del riesgo que corre los individuos que pertenecen a esta edad por la presencia del arsénico en el agua y en el medio ambiente. Otro factor limitante para que esto suceda es la actividad agrícola y ganadera, en la cual se requiere solamente gente joven para dicha actividad. En la Figura 10 podemos apreciar que la tendencia a disminuir es objetiva. En la Tabla XII en la que figura la ocupación de los pobladores de Sama Las Yaras tienen mayor tendencia en la actividad agrícola y ganadera, con el 47,1 % y 35,3% respectivamente, siendo la actividad institucional y otras de menor significancia. Esto contribuye a sostener por un lado la dedicación del pueblo a la agricultura y ganadería durante toda su vida, sostenido por la independencia de la actividad.

Tabla XII
Ocupación de los pobladores de Sama Las Yaras.

ACTIVIDAD	DEPENDIENTE	INDEPENDIENTE	TOTAL	%
Agricultura	0	30	30	42,3
Ganadería	0	26	26	36,6
Institución	3	0	3	4,2
Otros	12	0	12	16,9
TOTAL	15	56	71	100,0

Fuente: Elaboración propia, 2010.



Fuente: Elaboración propia, 2010.

Figura 11. Actividades de mayor trascendencia en Sama Las Yaras.

La Figura 11 nos muestra a la agricultura y ganadería como las actividades de mayor trascendencia, mientras que la actividad institucional es mínima. En estas dos actividades la frecuencia de contacto con el ambiente, aire, agua y suelo contaminado con el arsénico, es evidente para la existencia de una mayor riesgo a este tipo de contaminante epidemiológico.

En cuanto a la fuente de origen del agua para consumo humano, las encuestas permiten afirmar que aproximadamente el cincuenta por ciento de pobladores de Sama Las Yaras utilizan, el agua proveniente de Tacna, considerada como potable puesto que viene de la Empresa Prestadora de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado. El 20 % utiliza el agua de pozo que almacenan del agua proveniente del río Sama. Un 12 % utiliza el agua proveniente de la pileta o del agua considerada como potable. También es necesario considerar que el 18 % de la población de Sama las Yaras utiliza agua embotellada.

Tabla XIII
Fuente de agua para consumo humano en Sama Las Yaras.

FUENTE DE AGUA	POBLACIÓN	PORCENTAJE
Servicio de agua potable	34	47,9 %
Pozo con agua de río	15	21,1 %
Pozo con agua subterránea	9	12,7 %
Envasada o embotellada	13	18,3 %
Otros	0	0 %
TOTAL	71	100,0 %

Fuente: Elaboración propia, 2010.

La Figura 12 muestra que la población de Sama Las Yaras, considera el servicio de agua el de mayor consumo diario, en segunda instancia se encuentra el agua de pozo del agua del río. Los pozos de agua subterránea son poco utilizados debido a la falta de sistema de obtención del agua.

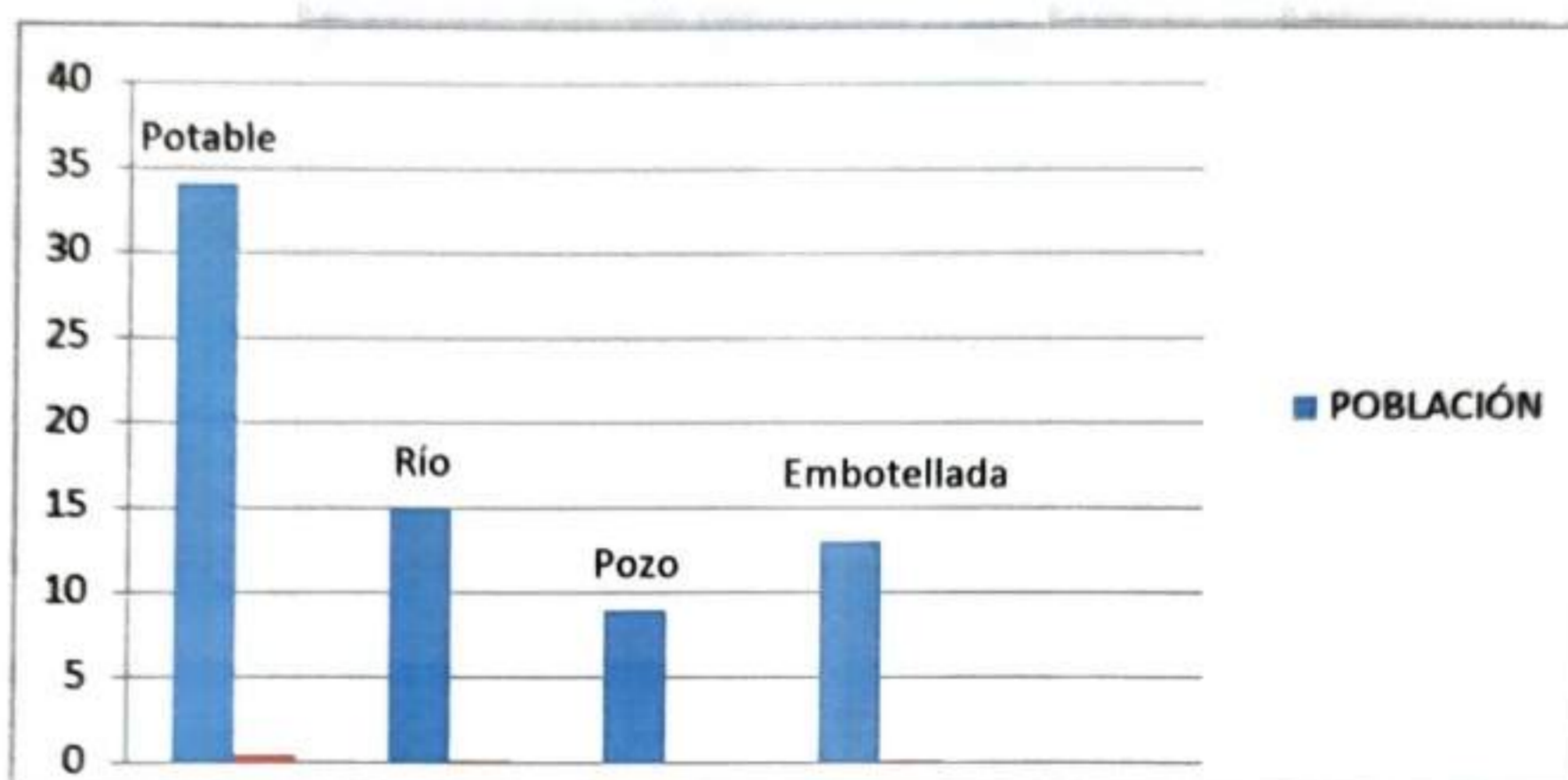


Figura 12. Fuente de agua para consumo humano.

La magnitud de consumo de agua por día en el distrito de Sama Las Yaras, representa la cantidad de agua que la población consume diariamente. Claramente podemos apreciar que el consumo de agua es más de un litro (53,6 %), seguido de un litro (21,4 %).

Tabla XIV
Magnitud de consumo de agua por día en Sama Las Yaras.

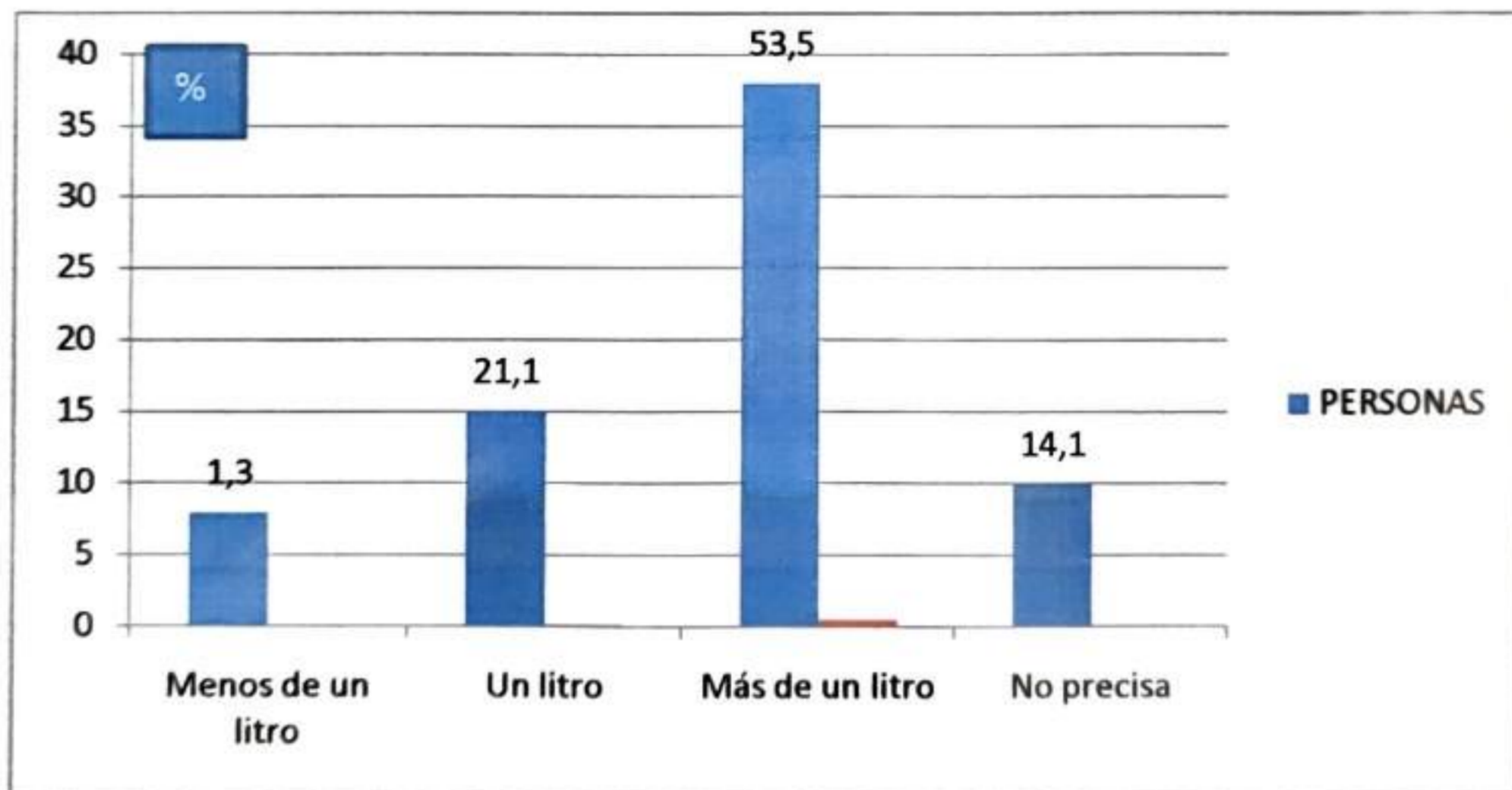
CONSUMO DE AGUA	PERSONAS	Porcentaje
Menos de un litro	8	11,3 %
Un litro	15	21,1 %
Más de un litro	38	53,5 %
No precisa	10	14,1 %
TOTAL	71	100,0 %

Fuente: Elaboración propia, 2010.

La Figura 13 nos permite apreciar que la mayor parte de la población consume más de un litro de agua diariamente.

Esto nos hace pensar que es necesario solucionar el abastecimiento de agua para la población de agua potable sin arsénico, lo cual será considerado en el capítulo de mitigación.

Además debemos considerar que la calidad de vida que se da la población es muy extrema en cuanto a la problemática existente, tanto para su aseo personal como para su consumo.



Fuente: Elaboración propia, 2010.

Figura 13. Consumo de agua diario por persona en Sama Las Yaras.

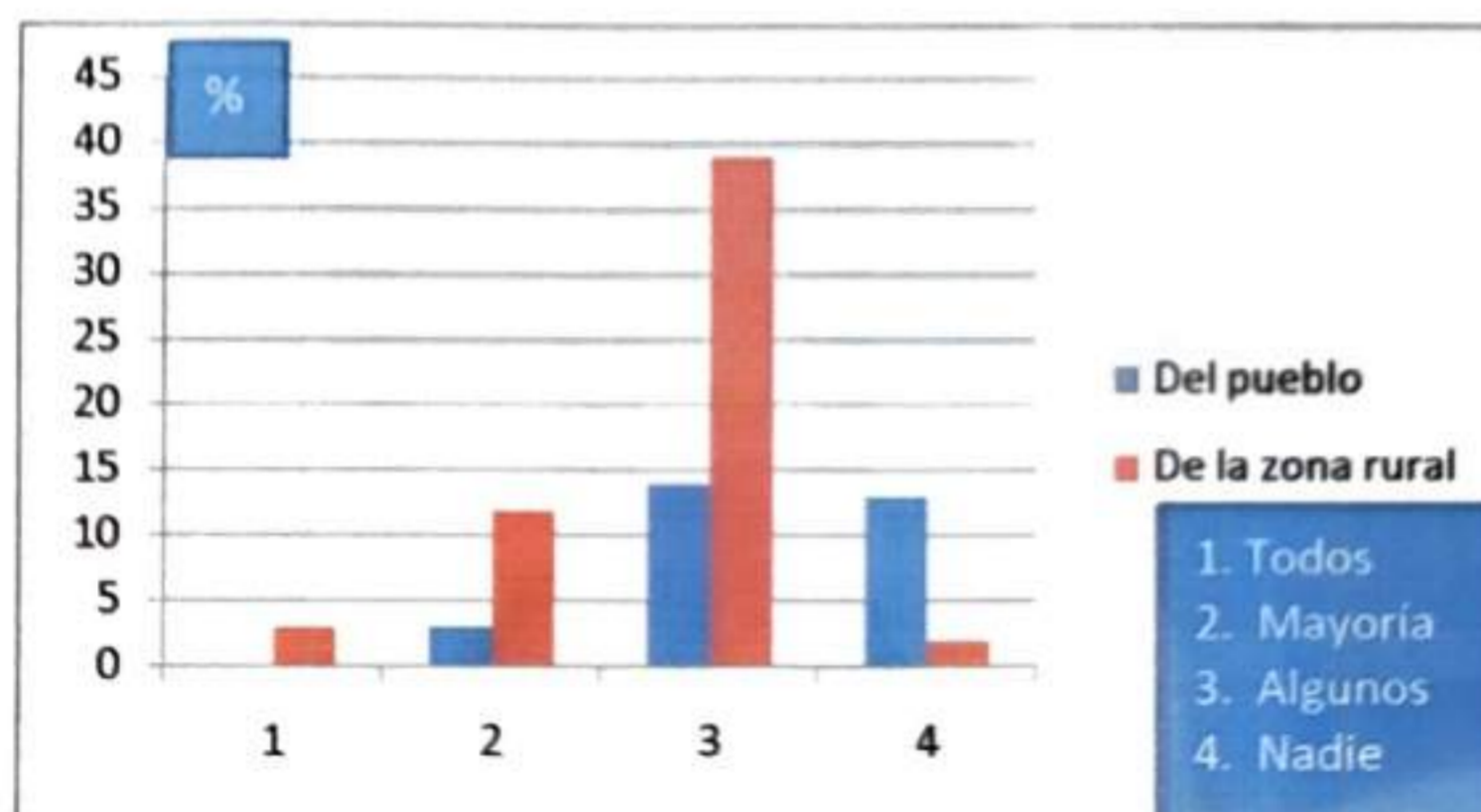
La tabla siguiente pone en consideración el consumo de agua que los pobladores realizan en Sama Las Yaras, es que algunos consumen agua subterránea y que proviene a los domicilios como agua potable.

Igualmente los pobladores de la zona rural algunos utilizan el agua de río almacenado en los pozos. Conviene considerar que la suma de ambos tipos de consumo llega al 61,6 % de la población total (Figura 14).

Tabla XV
Pobladores que consumen agua del río, canales o pozos en Sama Las Yaras

POBLADORES	TODOS	MAYORÍA	ALGUNOS	NADIE	TOTAL
Del pueblo	0 (0,0 %)	3 (10,0 %)	14 (46,7 %)	13 (43,3 %)	30 (100,0 %)
De la zona rural	3 (7,3 %)	12 (29,3 %)	24 (58,5 %)	2 (4,9 %)	41 (100,0 %)
TOTAL	3 (3,5 %)	15 (17,4 %)	38 (61,6 %)	15 (17,4 %)	71 (100,0 %)

Fuente: Elaboración propia, 2010.



Fuente: Elaboración propia, 2010.

Figura 14. Pobladores que consumen agua del río, canales o pozos en Sama Las Yaras.

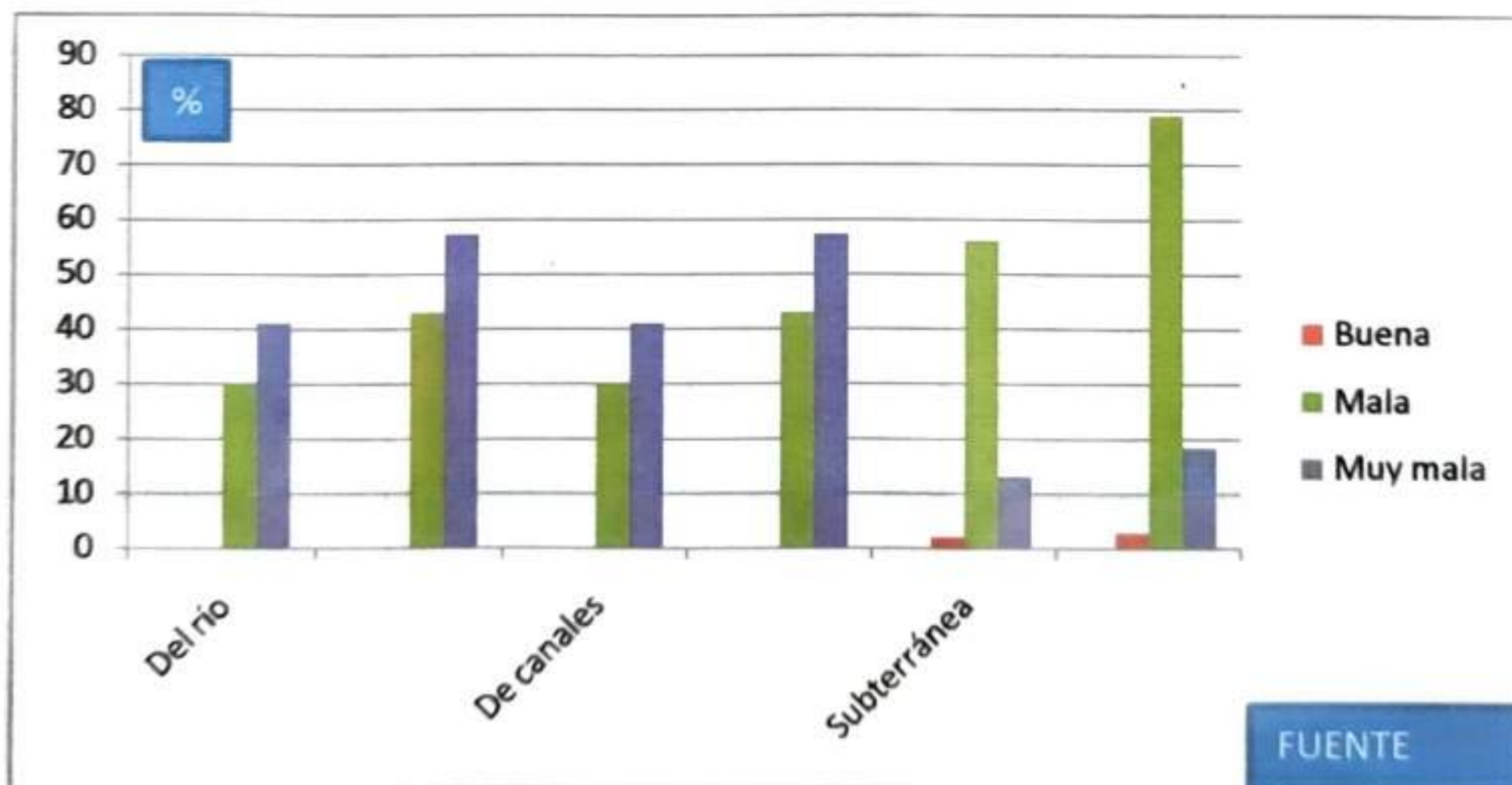
En cuanto a la consideración de la población sobre la calidad del agua del río, canales o pozos en Sama Las Yaras, los resultados de nuestra encuesta

indican claramente que los pobladores consideran que las aguas existentes son de mala y de muy mala calidad, representando el mayor porcentaje (Figura 15).

Tabla XVI. Calidad de agua del río y agua subterránea de Sama Las Yaras.

FUENTE	Del río		De canales		Subterránea	
CALIDAD	N1	%	N2	%	N3	%
Muy buena	0	0	0	0	0	0
Buena	0	0	0	0	2	2,8
Mala	30	42,9	30	42,9	56	78,9
Muy mala	41	57,1	41	57,1	13	18,3
TOTAL	71	100,0	71	100,0	71	100,0

Fuente: Elaboración propia, 2010.



Fuente: Elaboración propia, 2010.

Figura 15. Calidad de agua de río y agua subterránea de Sama Las Yaras.

Tabla XVII
Conocimiento de personas con problemas de salud por consumir agua con arsénico en Sama Las Yaras.

RESPUESTAS	PERSONAS	PORCENTAJE	CARACTERÍSTICAS
SI	23	32,1	Estomacal, ampollas, salpullidos, piel áspera
NO	44	62,5	
NO OPINA	4	5,4	
TOTAL	71	100,0	

Fuente: Elaboración propia, 2010.

En la Tabla XVII en cuanto al conocimiento de las personas sobre los problemas de salud originados por consumir agua conteniendo arsénico, muchas personas comunican haber sentido malestar estomacal, presentando algunos de ellos ampollas en la piel y salpullidos en los niños. La piel áspera está presente en los mayores de edad (Figura 17).

Tabla XVIII
Enfermedades de la piel y cáncer en Sama Las Yaras, Tacna.

MORBILIDAD	GRUPO ETAREO	2001	2003	2004	2007
HIPERQUERATOSIS	15 – 19	1			
	45 – 59			1	
HIPERPIGMENTACIÓN	20 – 44		1		
TUMOR DE PIEL	45 – 60		1		1
CARCINOMA DE PIEL	45 – 60				1
TUMOR PULMONAR	20 – 44				1

Fuente: Dirección Regional de Salud Tacna. 2009.

En cuanto a las enfermedades de la piel y cáncer por grupos etarios en Sama Las Yaras, entre 2001 y 2009 solamente se han comprobado por la Dirección Regional de Salud de Tacna, 7 casos correspondientes a los años 2001, 2003, 2004 y 2007. Contándose con información de buena fuente que han

sido casos de hiperqueratosis, hiperpigmentación, tumor de piel, carcinoma de piel y tumor pulmonar.

Tabla XIX
Mortalidad por residencia según grupos de edad y tipo de cáncer.
Sama Las Yaras (2001 – 2009).

TIPO DE CÁNCER	GRUPO ETAREO	1	2	3	4	5	6	7	8
PULMÓN	50 – 60						2		
PIEL	50 - 60								

FUENTE: Dirección Regional de Salud Tacna. 2009.

En cuanto a la morbilidad por residencia de pobladores de la localidad de Sama Las Yaras por edad, solamente se ha registrado en la Dirección Regional de Salud dos casos de cáncer al pulmón en pobladores de entre 50 y 60 años de edad.

Tabla XX
Conocimiento de métodos o proyecto para mejorar la calidad de agua de la zona de Sama Las Yaras.

RESPUESTAS	PERSONAS	PORCENTAJE	CARACTERÍSTICAS
SI	39	55,4	Fotocatálisis, Cloro, Tratamiento, Filtración, etc.
NO	32	44,6	
TOTAL	71	100,0	

Fuente: Elaboración propia, 2010.

Asimismo el conocimiento de los pobladores sobre métodos o proyectos relacionados al tratamiento del agua contaminada, muchos de ellos respondieron que una de las soluciones era por catálisis, de acuerdo a un experimento que hiciera en el año 2005 Rodríguez y colaboradores en el mismo pueblo de Sama

Las Yaras. Otros pobladores indicaron que por tratamiento con cloro se puede evitar la presencia de arsénico, siendo esto imposible químicamente. Un grupo de pobladores afirmaron tener conocimiento que por tratamiento del agua era posible eliminar el arsénico pero no indicaron que método. También refirieron que por filtración era posible eliminar el arsénico del agua. Todo esto representado por un 55,4 % de la población, el resto (44,6 %) no conocía nada al respecto.

4.5. POBLACIÓN EXPUESTA

La población total asentada sobre los cuales existe información sistemática de la presencia de arsénico en agua de abastecimiento asciende a 2387 habitantes. Del total de habitantes, la gran mayoría se ubica en localidades menores de habitantes, consideradas como poblaciones rurales. De acuerdo con los criterios especificados en la metodología del total, donde existe alguna información sobre presencia de arsénico, solo se consideraron en donde la población probablemente expuesta corresponde al total de habitantes. En el siguiente cuadro se muestra la distribución de la población expuesta al arsénico en el área rural como en el área urbana.

Tabla XXI
Población urbana y rural de Sama Las Yaras expuesta al arsénico.

ZONA	HOMBRES	MUJERES	POBLACIÓN	As µg/L	As µg/L OMS
Urbano	929	755	1684	161,2	10
Rural	421	282	703	401,8	50
	1350	1037	2387		

Fuente: INEI, 2007.

En la Tabla XXII se presenta los rangos de las concentraciones de arsénico en aguas subterráneas (Área urbana) como en aguas superficiales (Área rural).

Tabla XXII
Población por Área Rural y Urbana y Concentraciones Promedio de Arsénico en el Agua de Uso y Consumo Humano.

POBLACIÓN	Número de Habitantes	Concentración Promedio Arsénico µg/L
Área urbana	1684	154 – 166 µg/L
Área rural	703	344 – 489 µg/L

Fuente: Elaboración propia.

4.6. DOSIS DE EXPOSICIÓN AL ARSÉNICO

En la siguiente tabla XXII, se muestra las dosis de exposición para el arsénico y su relación con la dosis de referencia que representa la dosis máxima aceptable antes de presentar efectos adversos provocados por el tóxico.

Tabla XXIII

Dosis de Exposición Mínimas y Máximas al Arsénico y Coeficientes de Peligrosidad.

Número de Habitantes Sama Las Yaras	Dosis de Exposición Al Arsénico Mínima – Máxima $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{día}$	Coeficiente de Peligrosidad
Área urbana (subterránea)	154 – 166 $\mu\text{g}/\text{L}$	0,903 - 1,000
Área rural (superficial)	344 – 489 $\mu\text{g}/\text{L}$	2,012 - 2,860

Fuente: Elaboración propia

COEFICIENTE DE PELIGROSIDAD

$$CP = D_{Exp} / DR_f$$

Donde:

CP = Coeficiente de peligrosidad

D_{Exp} = Dosis de exposición

DR_f = Dosis de referencia

AGUAS SUPERFICIALES

$$CP_{min} = 0,028 \text{ mg/kg-día} / 0,014 \text{ mg/kg-día} = 2,012$$

$$CP_{max} = 0,040 \text{ mg/kg-día} / 0,014 \text{ mg/kg-día} = 2,860$$

AGUAS SUBTERRÁNEAS

$$CP_{min} = 0,013 \text{ mg/kg-día} / 0,014 \text{ mg/kg-día} = 0,903$$

$$CP_{max} = 0,014 \text{ mg/kg-día} / 0,014 \text{ mg/kg-día} = 1,000$$

La dosis de referencia LOAEL para el arsénico se calcula a partir del valor de 161,2 $\mu\text{g}/\text{L}$ que corresponde a las aguas subterráneas; es decir, las

aguas que el pueblo de Sama consume. Este valor lo convertimos a mg/L que es el valor con que trabaja la fórmula (0,1612 mg/L).

En la última columna se registra el coeficiente de peligrosidad que compara la dosis de exposición calculada, contra la dosis de referencia que indica la dosis máxima tolerada, antes de presentarse efectos adversos evidentes y lesiones dérmicas por arsénico en la tabla XXI.

4.7. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

De acuerdo a la formulación de las hipótesis:

Ha: El arsénico contenido en las aguas superficiales y subterráneas afecta la salud de los pobladores rurales del distrito de Sama Las Yaras.

Ho: El arsénico contenido en las aguas superficiales y subterráneas no afecta la salud de los pobladores rurales del distrito de Sama Las Yaras.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio, se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la alternativa (Ha).

CAPÍTULO V

ESTRATEGIA DE MITIGACIÓN DEL ARSÉNICO

5.1. TECNOLOGÍA DE COAGULACIÓN-FILTRACIÓN

En los procesos involucrados, las propiedades físicas o químicas de la materia suspendida o de los coloides presentes, son alteradas de forma tal que se logre una mejor aglomeración de las mismas, permitiendo la simple filtración o la sedimentación por gravedad. Los coagulantes cambian la superficie cargada de los sólidos, permitiendo la aglomeración o entrapamiento de las partículas y formando flóculos que son sedimentados o filtrados más fácilmente. Este proceso no se restringe solo a la remoción de partículas en el agua, ya que los coagulantes empleados, compuestos de aluminio o hierro, forman hidróxidos coloidales a pH adecuados, que pueden adsorber otras especies. Este es el caso para el arsénico. Dado que la remoción del As/(III) es menos eficiente que la del As/(V), y que el agua puede contener relaciones de ambas especies diferentes de acuerdo a ciertos parámetros físicos y químicos, se aconseja siempre incluir una etapa previa de oxidación. El tratamiento convencional incluye las siguientes etapas:

- **Pre-oxidación:** Adición al agua bruta de un agente oxidante que facilite la eliminación de materia orgánica y metales disueltos. La oxidación en los

depósitos de agua bruta tiene lugar con permanganato de potasio, y posteriormente se completa con la adición de cloro gas disuelto en agua en las cámaras de mezcla. Conjuntamente, y de manera puntual, se lleva a cabo la dosificación de carbón activo al agua bruta para favorecer la eliminación de olores y sabores.

- **Coagulación:** La coagulación se refiere al proceso de desestabilización de las partículas suspendidas, de modo que se reduzcan las fuerzas de separación entre ellas.

- **Floculación:** La floculación tiene relación con los fenómenos de transporte dentro del líquido para que las partículas hagan contacto. Esto implica la formación de puentes químicos entre partículas de modo que se forme una malla de coágulos, la cual sería tridimensional y porosa. Así se formaría, mediante el crecimiento de partículas coaguladas, un floc suficientemente grande y pesado como para sedimentar.

- **Sedimentación:** En la potabilización del agua, el proceso de sedimentación está gobernado por la ley de Stokes, que indica que las partículas sedimentan más fácilmente cuando mayor es su diámetro, su peso específico comparado con el del líquido, y cuando menor es la viscosidad del mismo. Por ello, cuando se quiere favorecer la sedimentación se trata de aumentar el diámetro de las

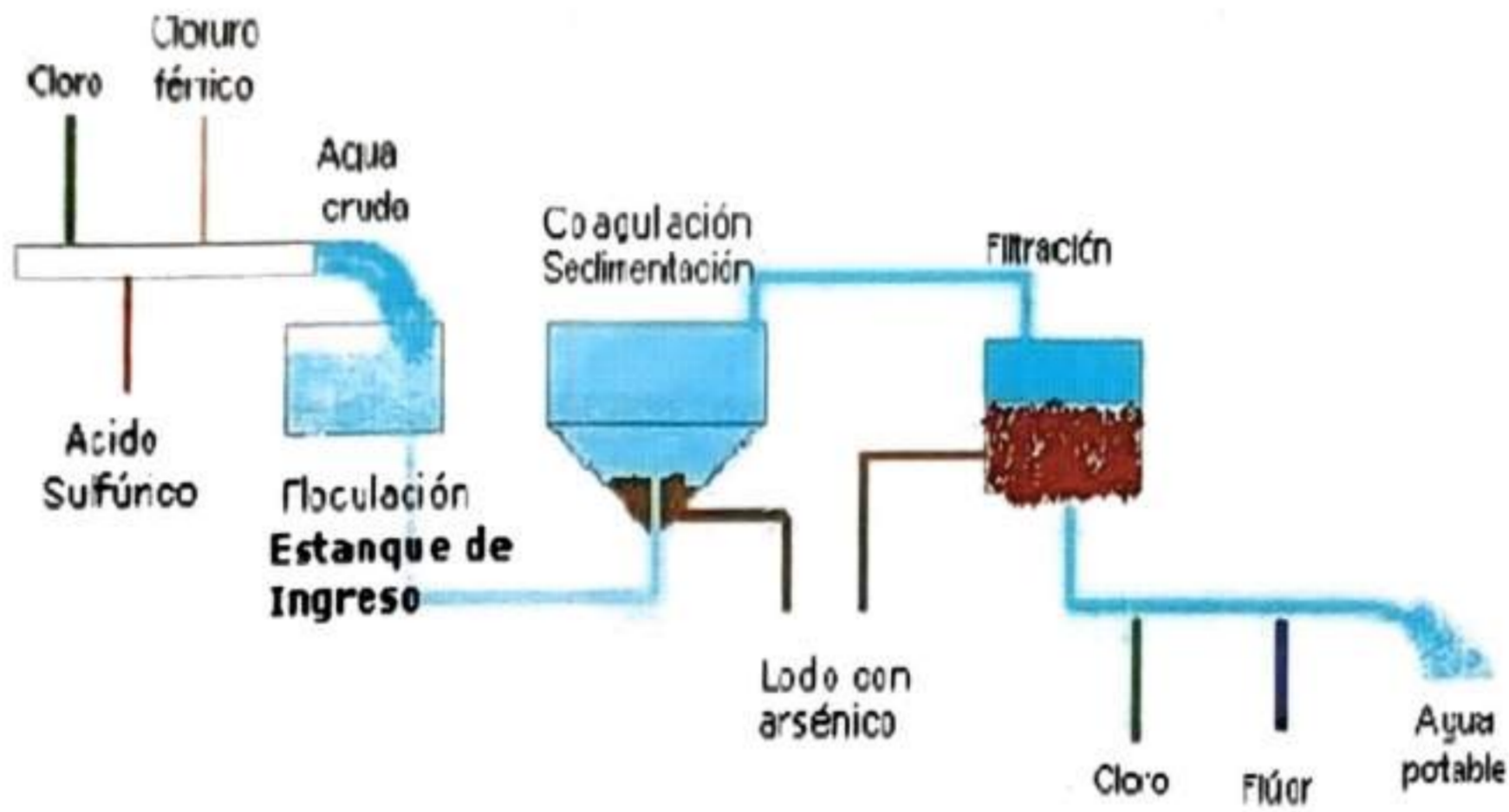
partículas, haciendo que se agreguen unas a otras, proceso denominado coagulación y floculación.

- **Filtración:** La **filtración** es un proceso de separación de fases de un sistema heterogéneo, que consiste en pasar una mezcla a través de un medio poroso o **filtro**, donde se retiene de la mayor parte de los componentes sólidos de la mezcla. Dicha mezcla son fluidos, que pueden contener sólidos y líquidos (como también gases).

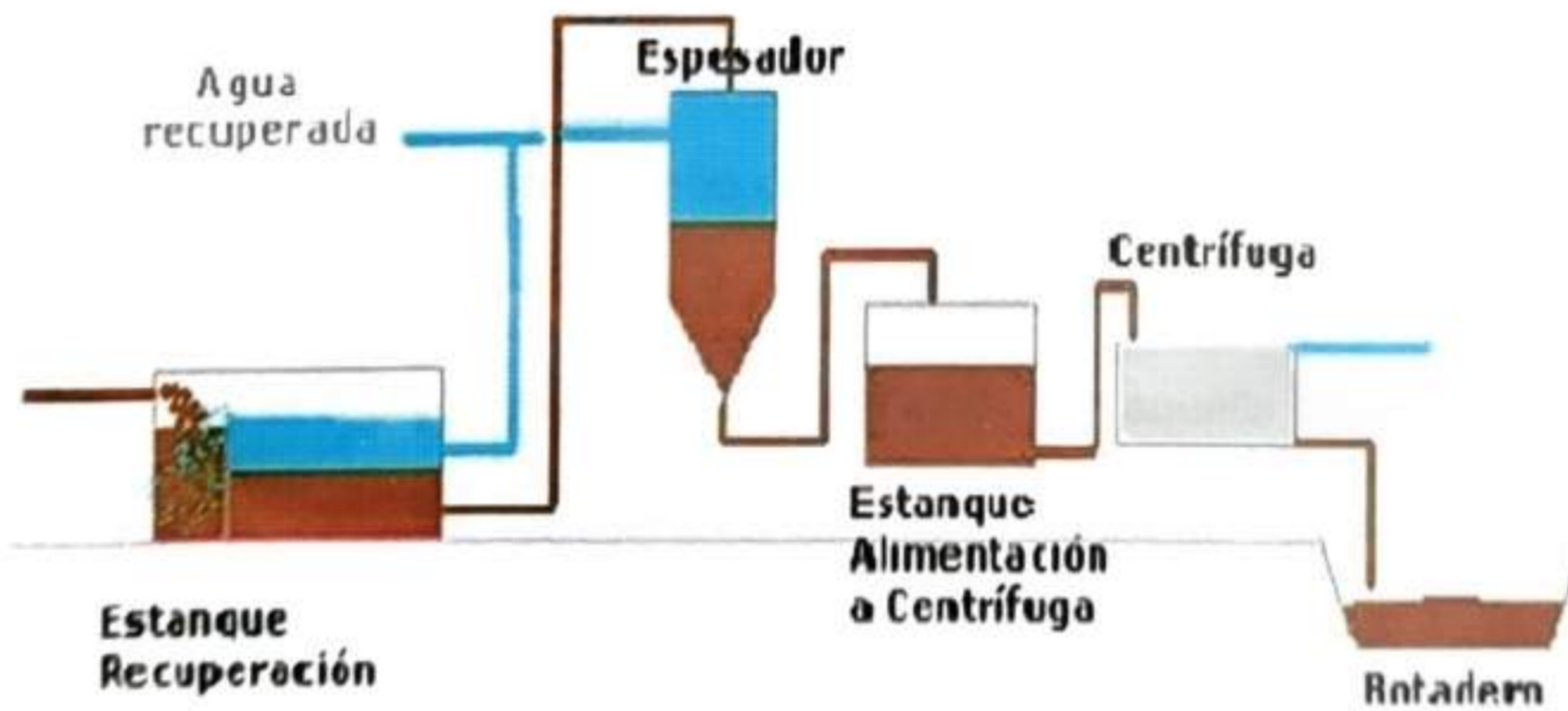
5.2. TRATAMIENTO DEL LODO CON ARSÉNICO

Los residuos de la coagulación/floculación son lodos con materia orgánica e inorgánica arrastrados por el agua, los cuales pasan a un estanque de recuperación. Seguidamente, se lleva a cabo un proceso de espesamiento por gravedad que suele realizarse en decantadores estáticos circulares o rectangulares provistos de rasquetas que arrastran el fango hacia el estanque de alimentación a centrífuga y el agua decantada se extrae por los vertederos situados en la parte superior. La centrifugación tiene lugar en un decantador que gira a gran velocidad, permitiendo por gravedad precipitar el lodo, el cual es depositado en vertederos para ser deshidratados y controlado por su toxicidad.

POTABILIZACIÓN



Tratamiento del lodo



Fuente: Rivera y Piña, M., 2002.

Figura 16. Potabilización y tratamiento de lodo.

5.3. COMPARACIÓN ECONÓMICA ENTRE TECNOLOGÍAS

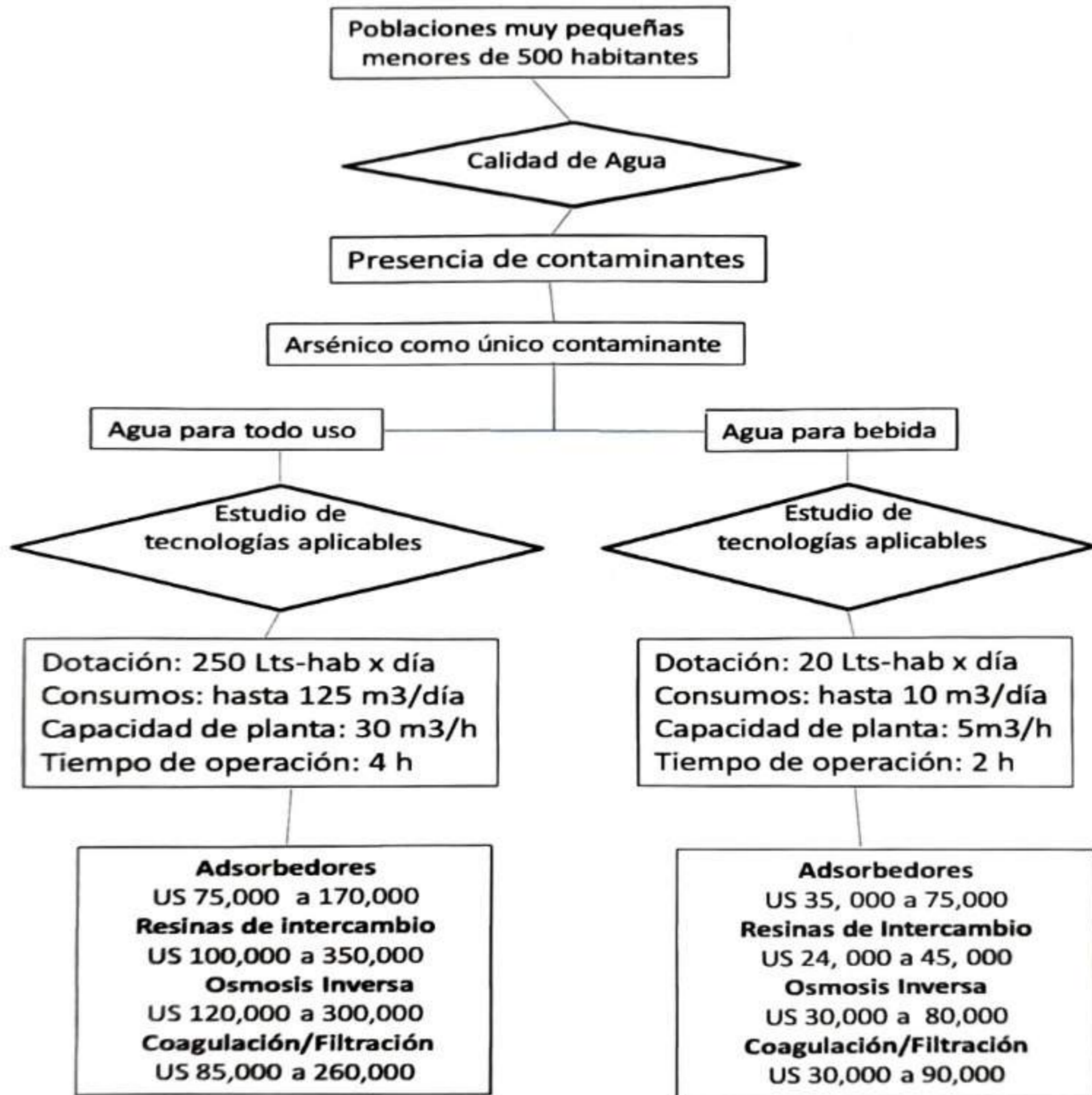
En esta etapa se comparan las tecnologías posibles a aplicar para el caso problema y que fueron analizadas de acuerdo a las etapas anteriores. El abatimiento de arsénico relacionado a la calidad de agua brindado por un sistema de abastecimiento público, no es sólo una cuestión técnica de aplicar una metodología de tratamiento de agua sino que hay que considerar múltiples aspectos relacionados al consumo y el hábito de la población, la fuente de agua y su constancia en el tiempo, el impacto que el emprendimiento produce en el medio ambiente ya sea porque se utiliza un recurso que puede ser o no renovable sino también por los residuos producidos.

Finalmente también se debe considerar la inversión a realizar, los costos operativos y el precio final a pagar por los vecinos que se encuentran conectados a la red y la manera de dar el servicio a aquella población de bajos recursos y sin acceso a los sistemas centralizados. Considerando que cualquier proceso de tratamiento de agua no solo produce el bien deseado, en este caso agua potable, sino también residuos que hay que tratar y disponer, consumo del recurso natural primario, la fuente de agua, insumos, energía, mano de obra etc.; también debe considerarse que el agua potable producida debe ser distribuida de alguna manera (desde la red de distribución domiciliaria, abastecimientos por grifos públicos, hasta el agua provista en bidones o por camiones cisternas).

La distribución del agua potable no es objeto del presente modelo pero no es un tema menor ya que de él depende que un emprendimiento de estas características sea exitoso y logre los objetivos sanitarios y de salud poblacional.

Las siguientes tablas resumen los principales aspectos de las evaluaciones realizadas, para un caso problema considerando el consumo de agua potable para todo uso y el consumo de agua potable sólo para bebida, cocción de alimentos y limpieza de utensilios; mientras se mantiene el abastecimiento de agua para otros usos.

Diagrama de flujo de la metodología empleada



Fuente: INTI QUÍMICA, 2009

Figura 17. Diagrama de Flujo de la Metodología Aplicada.

Se realiza una estimación de costos de inversión y costos de operación y mantenimiento para la tecnología propuesta. Este aspecto es de suma importancia al momento de la selección de la planta a instalar. Los costos son estimados de acuerdo a distintos modelos en función del caudal a procesar o a costos de plantas existentes. Algunos de los modelos utilizados, son los publicados por la EPA para la estimación de costos de tecnologías en tratamientos de agua potable¹.

Estos modelos están basados en datos de plantas existentes y donde se les asignó un porcentaje a cada elemento que conforma el costo, para luego aplicar dichos porcentajes a la estimación de una nueva planta de tratamiento de agua potable. Luego, al costo estimado se lo actualiza mediante la utilización de algún índice de costos, estos pueden ser: Marshall & Swift index, New Records index y BLS index.

La alternativa más económica es la coagulación-filtración. Por lo anterior se considera como mejor alternativa de solución, la implementación de un sistema de tratamiento con coagulación-filtración. Este tipo de sistema es ampliamente utilizado en países como Estados Unidos.

¹ Technologies and costs for removal of arsenic from drinking water. Environmental Protection Agency. EPA (2000).

Si cada poblador consume como agua de bebida 20 litros diarios, 500 habitantes consumirán 10 000 litros; es decir, 10 m^3 de agua por día. El tratamiento anual tiene un costo de \$ 30 000 dólares americanos; por lo tanto, si multiplicamos el consumo de agua diario (10 m^3) x 30 día resulta 300 m^3 mensuales y en un año se consumiría $300 \text{ m}^3 \times 12 \text{ meses} = 3 600 \text{ m}^3$. El costo anual por habitante sería de \$ 30 000 dólares entre $3 600 \text{ m}^3 = \$ 8,33$ dólares por m^3 anuales. Todos los cálculos realizados están elaborados de acuerdo al diagrama de flujo propuesto en la Figura 17.

Si inferimos a la población total del distrito de Sama Las Yaras, tendremos un gasto de 20 litros x 2,387 habitantes = 47 740 litros (47.74 m^3) diarios. En un mes se consumirá $1 432.2 \text{ m}^3$. Lo que representaría un gasto de $17 186.4 \text{ m}^3$ anuales. El costo total a razón de \$ 8,33 dólares por m^3 anual sería de \$ 143 162. 71 dólares americanos. La inversión en nuevos soles sería de S/. 429 488.14.

CONCLUSIONES

1. A la finalización del presente estudio se ha establecido el efecto del arsénico contenido en las aguas superficiales y subterráneas en la salud de los pobladores rurales del distrito de Sama Las Yaras, cuyo elevado contenido determinado en las estaciones de muestreo, influye negativamente en la salud de los pobladores de dicho distrito, ocasionando efectos característicos del arsenismo, indicando que se debe proponer un procedimiento adecuado para mitigar la presencia de arsénico en las aguas utilizadas para consumo.
2. Un total de 2387 habitantes de Sama Las Yaras que conforma la provincia de Tacna enfrentan en algunas localidades un riesgo individual en el consumo de agua que tienen entre 154 y 166 $\mu\text{g/L}$ en aguas subterráneas y entre 344 y 489 $\mu\text{g/L}$ en aguas superficiales.
3. Para mitigar la presencia de arsénico en aguas superficiales y aguas subterráneas se propuso el tratamiento de coagulación-filtración cuyo costo mensual por habitante estaría entre 6 a 18 nuevos soles a razón de 20 litros diarios como agua de consumo libre de arsénico.

RECOMENDACIONES

1. Como prioridad, se deberá proponer el presente estudio al Gobierno Regional de Tacna para que realice la propuesta como proyecto de inversión a corto plazo, a fin de dar solución a la problemática de la contaminación del agua por arsénico en Sama Las Yaras.
2. A la brevedad posible debe iniciarse un programa de vigilancia ambiental epidemiológica (MINSA), para el monitoreo de arsénico en orina en la población infantil y en mujeres en edad reproductiva. El programa incluiría cursos especiales de educación ambiental entre los padres de familia, a fin de reducir los niveles de arsénico al interior del hogar y programas de educación entre los médicos del área, para actualizar los conocimientos toxicológicos.
3. Se debe vigilar los acuíferos de Sama Las Yaras por DIGESA. Por consiguiente, se deberán realizar monitoreos ambientales de arsénico una vez por año. Paralelamente se deberían efectuar estudios para generar medidas de explotación racional, de modo que la zona de pozos no se contamine con el metaloide.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTINI, R. J.; NICKLAS, J. A.; O'NEILL, J. P. 1996. Future research directions for evaluating human genetic and cancer risk from environmental exposures. *Environ. Health Perspect.*, Cary, v. 104, suppl. 3, p. 503-510.

ALBORES, ARNULFO; TÉLLEZ, ISMAEL; VALDEZ, BULMARO; CEBRIÁN, MARIANO E. 1979. Estudio comparativo del hidroarsenicismo crónico en dos comunidades rurales de la Región Lagunera. *Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana*; 86(3): p.196-205.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 1992. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 18th Edition. Washington, APHA. pp 3.9. 3.12.

ASTOLFI, E.; BESUSCHINO, S. C.; GARCIA, J. C.; GUERRA, C.; MACCAGNO, A. 1982. *Hidroarsenicismo crónico regional endémico*. Buenos Aires: Talleres Gráficos de la Cooperativa Gral Belgrano, 144p.

AVILÉS, M.; PARDÓN, M., 2000. *Remoción de Arsénico de Agua Mediante Coagulación-Floculación a Nivel Domiciliario*. Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, FEMISCA. pp. 1-10.

BANU, B. S.; DANADEVI, K.; JAMIL, K.; AHUJA, Y. R.; RAO, K. V.; ISHAQ, M. 2001. In vivo genotoxic effect of arsenic trioxide in mice using comet assay. *Toxicology*, Oxford, v. 162, p. 171-177.

BERG, M.; TRAN, H. C.; NGUYEN, T. C.; PHAM, H. V.; SCHERTENLEIB, R.; GIGER, W. 2001. Arsenic contamination of groundwater and drinking water in Vietnam: a human health threat. *Environ. Sci. Technol.*, Washington, v. 35, n. 13, p. 2621-2626.

BERGESON, L. L. EPA delivers on arsenic rule. *Pollut. Eng.*, Troy, v. 34, n. 1, p. 32-34, 2002.

BORGOÑO, J. M.; VENTURINO, H.; VICENT, P. 1980. Estudio clínico epidemiológico de hidroarsenicismo en la II región. *Rev. Med. Chil.*, Santiago, v. 108, p. 1039-1048.

BRIMBLECOMBE, P. 1979. Atmospheric arsenic. *Nature*, London, v. 280, p. 104-105.

BUCHET, J. P.; LISON, D. 2000. Clues and uncertainties in the risk assessment of arsenic in the drinking water. *Food Chem. Toxicol.*, Oxford, v. 38, p. S81-S85.

CÁCERES, ROBERTO EDGARD. 2007. Proceso en lecho fijo de hierro metálico para la eliminación de arsénico de aguas en pequeñas instalaciones. Universidad Nacional de San Juan. Argentina.

CASTRO DE ESPARZA, M. L. 1999. Remoción de arsénico a nivel domiciliario. Hojas de Divulgación Técnica, CEPIS – OPS, HDT N° 74. www.cepis.org.pe/eswww/proyecto/repidisc/publica/hdt/hdt74/hdt74.html.

CH2MHILL; J. M. CHWIRKA, PROJECT MANAGER. 1999. Arsenic treatment evaluation report. City of Albuquerque, Public Works Department. John M. Stomp, III, P. E., Water Resources Division.

CHENG, R.; LIANG, S.; WANG, H.; BEUHLER, M., 1994. Enhanced Coagulation for Arsenic Removal, *Journal AWWA*, 86(9), pp. 79-90.

CHEN, G-Q.; ZHU, J.; SHI, X-G.; NI, J-H.; ZHONG, H-J.; SI, G-Y.; TANG, W.; LI, X-S.; XONG, S-M.; SHEN, ZX.; SUN, G-L.; MA, J.; ZHANG, P.; ZHANG, T-D.; GAZIM, C.; NAOE, T.; CHEN, S-J.; WANG, Z-Y.; CHEN, Z. 1996. In vitro studies on cellular and molecular mechanisms of arsenic trioxide (As₂O₃) in the treatment of acute promyelocytic leukemia: As₂O₃ induces NB4 cell apoptosis with down regulation of Bcl-2 expression and modulation of PML-RAR α /PML proteins. *Blood*, Washington, v. 88, n. 3, p. 1052-1061.

COREY, G.; TOMASINI, R. Y PAGURAJ. 2005. Estudio epidemiológico de la exposición al arsénico a través del consumo de agua. Gobierno de Santa Fé. Ente Regulador de Servicios Sanitarios. (ENRESS)

CULLEN, W. R; REIMER, K. J. 1989. Arsenic speciation in the environment. *Chem. Rev.*, Washington, v. 89, n. 4, p. 713-764.

DAS, D.; AMIT CHATTERJEE; GAUTAM SAMANTA; TARIT ROY CHOWDHURY; BADAL KUMAR MANDAL; RATAN DHAR; CHITTA RANJAN CHANDA; DILIP LODH; PARTHA PRATIM CHOWDHURY; GAUTAM KUMAR BASU; BHAJAN KUMAR BISWAS; UTTAM KUMAR CHOWDHURY; MOHAMMAD MAHMUDUR RAHMAN; KUNAL PAUL AND DIPANKAR CHAKRABORTI. 2001. (School of Environmental Studies, Jadavpur University, Calcutta, India). A simple household device to remove arsenic from groundwater and two years performance report of arsenic removal plant for treating 102 ground water with community participation. *Technologies for Arsenic Removal from Drinking Water*. Edited by: M. Feroze Ahmed, M. Ashraf Ali and Zafar Adeel. Bangladesh University of Engineering and Technology, Dhaka - The United Nations University, Tokyo. 231-250.

DÍAZ-BARRIGA, F.; SANTOS, M. A.; BATRES, L.; YÁNEZ, L.; CARRIZALES, L.; MEJÍAS, J. J.; VERA, E.; RAZO, L. M.; CEBRIAN, M. E. 1992. Health effects in children exposed to arsenic, the San Luis Potosí case. In: INTERNATIONAL SEMINAR PROCEEDING. ARSENIC IN THE ENVIRONMENT AND ITS INCIDENCE ON HEALTH, 1, Santiago, Proceedings. Santiago: Universidad de Chile, 1992. p. 41-49.

DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD TACNA, 2009. Morbilidad y Enfermedades de la piel de los pobladores de Sama las Yaras, Tacna.

DUERKSEN-HUGHES, P. J.; YANG, J.; OZCAN, O. 1996. p53 induction as a genotoxic test for twenty-five chemicals undergoing in vivo carcinogenicity testing. *Environ. Health Perspect.*, Cary, v. 107, n. 10, p. 805-812.

EMSLEY, 2001. The 13th Element. *Journal of Chemical Education*. Vol. 78 No. 9. JChemEd.chem.wisc.edu.

EPA U.S. Environmental Protection Agency. 1988. Special Report on Ingested Inorganic Arsenic. Skin Cancer; Nutritional Essentiality. EPA/625/387/013 U.S. Environment Protection Agency Risk Assessment Forum. Washington, D.C.

EPA. Environmental Protection Agency. 2003. Arsenic Compounds. Disponible en: <http://www.epa.gov/ttn/hlthef/arsenic.html>.

EPA; OFFICE OF WATER. 1999. Arsenic in drinking water. Treatment technologies for arsenic decision tree, variances and exemptions. <http://www.epa.gov/ogwdw/ars/trtmnt.html>.

EPA; OFFICE OF WATER. 2000. Arsenic in drinking water. Treatment technologies: removal. <http://www.dainichiconsul.co.jp/english/arsenic/treat1.htm>

FIELDS, K; A. CHEN AND L. WANG. 2000. Arsenic removal from drinking water by iron removal plants. EPA/600/R-00/086. 75 pp.

FONTECOBA, C. Y PÉREZ CARRERA. 2008. Uso de macrófitas flotantes para el abatimiento de arsénico del agua. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Veterinarias, Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua. Comité Académico Aguas: Calidad de agua para distintos usos. cfontecoba@fvet.uba.ar; alpc@fvet.uba.ar.

GALETOVIC, A. Y DE FERNICOLA, N. 2003. Arsénico en el agua de bebida: un problema de salud pública. **Rev. Bras. Cienc. Farm. vol.39 no.4 São Paulo.**

GARDENAL, I. 2003. O arsênio como herança. Disponible en: http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/jornalPDF/198-pag10.pdf.

GÓMEZ-ARROYO, S.; ARMIENTA, M. A.; CORTÉS/ESLAVA, J.; VILLALOBOS-PIETRINI, R. 1997. Sister chromatid exchanges in *Vicia faba* induced by arseniccontaminated drinking water from Zimapan; Hidalgo, Mexico. *Mutat. Res.*, Amsterdam, v. 394, p. 1-7.

GONSEBATT, M. E.; MONTERO, R.; VEGA, L.; BARBA, H.; ESPINOSA, J.; GARCÍA-VARGAS, G.; DEL RAZO, L. M.; CEBRIAN, M. E.; OSTROS KYWEGMAN, P. 1992. Genotoxic and "non genotoxic" effects in arsenic human exposure. In: INTERNATIONAL SEMINAR PROCEEDING. ARSENIC IN THE ENVIRONMENT AND ITS INCIDENCE ON HEALTH, 1, Santiago, 1992. Proceedings. Santiago: Universidad de Chile. p. 15-19.

GRANADA MENESES, J. A.; CERDA ACUÑA, W. E.; GODOY ANDRADE, D. A. 2003. ESSAN: El camino para reducir notoriamente el arsénico en el agua potable. *Revista AIDIS-Chile*. Diciembre 2003. 44-49.

HAN, B; T. RUNNELLSB; J. ZIMBRONB; R. WICKRAMASINGHE. 2002. Arsenic removal from drinking water by flocculation and microfiltration. *Desalination* 145. 293-298.

HARRIS, C. H. 1996. p53 tumour suppressor gene: at the crossroads of molecular carcinogenesis, molecular epidemiology, and cancer risk assessment. *Environ. Health Perspect.*, Cary, v. 104, suppl. 3, p. 435-439.

HEINONEN, S.; P. VUORINANTA AND T. TUHKANEN. 1999. Removal of arsenic from drilled wells by adsorption. Proceedings of the Fourth Finnish Conference of Environmental Sciences. Finnish Society for Environmental Sciences. Tampere, Finland. 4 pp.

HERING, J. G. AND M. ELIMELECH. 1996. Arsenic removal by enhanced coagulation and membrane processes. Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Los Angeles. <http://www.awwarf.com/exsums/90706.htm>.

HERING, J.; CHEN, P.; WILKIE, J.; ELIMELECH, M.; LIANG, S. 1996. Arsenic Removal by Ferric Chloride, *Journal AWWA*, 88(4), 155-167.

HOLDING B.V. 2009. Agua residual & purificación del aire. Lenntech. Universidad Técnica de Delft. Países Bajos. <http://www.lenntech.com/espanol/tabla-periodica/As.htm>.

IARC. INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. 2002. Overall evaluations of carcinogenicity to humans. Disponible en: <<http://193.51.164.11/monoeval/crthgr01.html>>.

INEI. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA, 2005, Lima Perú.

INEI. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA, 2007, Lima Perú.

INTI QUÍMICA. 2009. Modelo de Intervención para el Abatimiento de Arsénico en Aguas de Consumo. Instituto Nacional de Tecnología Industrial. México.

JAIN, C. K.; ALI, I. 2000. Arsenic: Occurrence toxicity and speciation. *Water Res.*, Oxford, v. 34, n. 17, p. 4304-4312.

JALIL, M. A. AND F. AHMED. 2001. Development of An Activated Alumina Based Household Arsenic Removal Unit. *Technologies for Arsenic Removal from Drinking Water*. Edited by: M. Feroze Ahmed, M. Ashraf Ali and Zafar Adeel. Bangladesh University of Engineering and Technology, Dhaka - The United Nations University, Tokyo. 131-145.

JEKEL, M.; SEITH, R., 2000. Comparison of Conventional and New Techniques for the removal of arsenic in a Full Scale Water Treatment Plant, *Water Supply*: 18(1/2): 628-631.

JOHNSTON, R.; HEINJEN, H.; WURZEL, P., 2001. Arsenic in Drinking Water, Cap. 6: Safe Water Technology, OMS, Final Draft.

JOHNSTON, R. AND HAN HEIJEN. 2001. Safe Water Technology for Arsenic Removal. *Technologies for Arsenic Removal from Drinking Water*. Edited by: M. Feroze Ahmed, M. Ashraf Ali and Zafar Adeel. Bangladesh University of Engineering and Technology, Dhaka – The United Nations University, Tokyo. 1-22.

JOLLIFFE, D. M. 1993. History of use of arsenicals in man. *J. R. Soc. Med.*, London, v. 86, p. 287-289.

KAHN, A. H.; S. B. RASUL; A. K. M. MUNIR; M. HABIBUDDOWLA; M. ALAUDDIN; S. S. NEWAZ AND A. HUSSAM. 2000. Appraisal of a simple arsenic removal method for groundwater of Bangladesh. *J Environ Sci Health*, A35(7). 1021-1041.

KARAGAS, M.; TOSTESON, T.; BLUM, J.; KLAUE, B.; WEISS, J.; STANNARD, V.; SPATE, V.; MORRIS, J. 2000. Measurement of Low Levels of Arsenic Exposure: A Comparison of Water and Toenail Concentrations. *Am. J. Epidemiol.*, Baltimore, v. 152, n.1, p. 84-90.

KEPNER, B. E.; J. SPOTS; E. A. MINTZ; J. E. CORTOPASSI; P. ABRAHAMS, C. E. GRAY AND S. MATUR. 2000. Removal of arsenic from drinking water with

enhanced hybrid aluminas and composite metal oxide particles. http://phys4.harvard.edu/~wilson/Apyron_Arsenic_Removal_Technology.pdf.

LIU, J.; BAOSHAN, Z.; APOSHIAN, H. V.; ZHOU, Y.; CHEN, M. L.; ZHANG, A.; WAALKES, M. P. 2002. Chronic arsenic poisoning from burning high-arsenic-containing coal in Guizhou, China. *Environ. Health Perspect.*, Cary, v. 110, p. 119-122.

MADIEC, H.; CEPERO, E.; MOZZICONACCI, D., 2000. Treatment of arsenic by Filter Coagulation: a South American Advanced Technology, IWA Publishing.

MEEK, M. E.; HUGHES, K. Arsenic in the general environment evaluation of risks to health. In: INTERNATIONAL SEMINAR PROCEEDING. ARSENIC IN THE ENVIRONMENT AND ITS INCIDENCE ON HEALTH, 1, Santiago, 1992. Proceedings. Santiago: Universidad de Chile, 1992. p. 173-181.

MIRETZKY, P., SARALEGUI, A., FERNÁNDEZ CIRELLI, A. 2004. Aquatic macrophytes potencial for the simultaneous removal of heavy metals (Buenos Aires)". *Chemosphere* 57, 997-1005.

MIRETZKY, P., SARALEGUI, A., FERNÁNDEZ CIRELLI, A. 2006. Simultaneous heavy metal removal mechanism by dead macrophytes. *Chemosphere* 62, 247-254.

MOORE, L. E.; SMITH, A. H.; HOPENHAYN-RICH, C.; BIGGS, M. L.; KALMAN, D. A.; SMITH, M. T. 1997. Micronuclei in Exfoliated Bladder Cells among Chronically Exposed to Arsenic in Drinking Water. *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.*, Philadelphia, v. 6, p. 31-36.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1999. Arsenic In Drinking Water. The National Academy of Sciences. National Academy Press. Washington, D.C.

NIKOLAIDIS, N. P.; J. LACKOVIC AND G. DOBBS. 1998. Arsenic remediation technology - AsRT. University of Connecticut and United Technologies Research Center. U.S. Application #60/050,250. <http://www.eng2.uconn.edu/~nikos/asrt-brochure.html>.

NIKOLAIDIS, N. P.; G. DOBBS; J. LACKOVIC. 2003. Arsenic removal by zerovalent iron: field, laboratory and modeling studies. *Water Research* 37. 1417-1425.

PRUNES, L. 1939. Cáncer de los salitreros o enfermedad del salitre. *Rev. Argent. Dermatosifilol.*, Buenos Aires, v. 23, n. 1, p. 373-385.

QUEIROLO, F.; STEGEN, S.; MONDACA, J.; CORTÉS, R.; ROJAS, R.; CONTRERAS, C.; MUÑOZ, L.; SCHWUGER, M.; OSTAPCZUK, P. 2000. Total

arsenic; lead; cadmium; copper; and zinc in some salt rivers in the northern Andes of Antofagasta; Chile. *Sci. Total. Environ.*, Edinburgh, v. 255, p. 85-95.

RIVERA, M. y PIÑA, M. 2002. Tratamiento de agua para remoción de arsénico mediante adsorción sobre zeolita natural acondicionada. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

RODRÍGUEZ, J. 2005. Tecnología solar aplicada a la purificación de agua. Instituto Peruano de Energía Nuclear. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.

ROSENBLUM, E. AND D. CLIFFORD. 1984. The Equilibrium Arsenic Capacity of Activated Alumina. EPA-600/S2-83-107. 5 pp.

SANCHA, A. M.; O'RYAN R. AND O. PÉREZ. 1998. The removal of arsenic from drinking water and associated cost, the Chilean case. <http://www.dii.uchile.cl/progea/doc%2010.pdf>.

SCHOOL OF ENVIRONMENTAL STUDIES, Jadavpur University, Calcutta, India. 2000. Removal techniques of arsenic from groundwater. <http://phys4.harvard.edu/~wils on/ asfilter1.html>.

SHANNON, R. L.; STRAYER, D. S. 1989. Arsenic-induced skin toxicity. *Hum. Toxicol.*, London, v. 8, p. 99-104.

SMITH, A. H.; ARROYO, A. P.; GUHA, D. N.; KOSNETT, M. J.; HERNÁNDEZ, A. L.; BEERIS, M.; SMITH, M.M.; MOORE, L. E. 2000. Arsenic-induced skin lesions among atacameño people in northern Chile despite good nutrition and centuries of exposure. *Environ. Health Perspect.*, Cary, v. 108, n. 7, p. 617-620.

SMITH, A. H.; GOYCOLEA, M.; HAQUE, R.; BIGGS, M. L. 1998. Marked increase in bladder and lung cancer mortality in a region of northern Chile due to arsenic in drinking water. *Am. J. Epidemiol.*, Baltimore, v. 147, n. 7, p.660-669.

SMITH, A. H.; HOPENHAYN-RICH, C.; WARNER, M.; BIGGS, M. L.; MOORE, L.; SMITH, M. T. 1993. Rationale for selecting exfoliated bladder cell micronuclei as potential biomarkers for arsenic genotoxicity. *J. Toxicol. Environ. Health*, Philadelphia, v. 40, p. 223-234.

STÖHRER, G. 1991. Arsenic: opportunity for risk assessment. *Arch. Toxicol.*, Berlin, v. 65, p. 525-531.

SUK, W. A.; COLLMAN, G.; DAMSTRA, T. 1996. Human Biomonitoring: Research goals and needs. *Environ. Health Perspect.*, Cary, v 104, suppl. 3, p. 479-483.

TIEMAN M., 2001. Arsenic in drinking water: Recent regulatory developments and issues. Report for Congress. The National Council for Science and the Environment.

TONDEL, M.; MAHFUZAR, R.; MAGNUSON, A.; CHOWDHURY, I.A.; FARUQUEE, M.H.; AHMAD, S. A. ET AL. 1999. The relationship of arsenic levels in drinking water and the prevalence rate of skin lesions in Bangladesh. *Environ. Health Perspect.*, Cary, v. 107, n. 9, p. 727-729.

TSENG, W.P., CHU, H.M., HOW, S.W., FONG, J.M., LIN, C.S., YEN, S. (1968). Prevalence of skin cancer in an endemic area of chronic arsenicism in Taiwan. *J Natl. Cancer Inst.* 40, 3, 453-463.

TSENG, W. P. 1977. Effects and dose-response relationships of skin cancer and blackfoot disease with arsenic. *Environ. Health Perspect.*, Cary, v. 19, p. 109-119.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. 1981. IPCS International Programme on Chemical Safety. Environmental Health Criteria 18: Arsenic. Geneva. 74p.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. 1993. IPCS International Programme on Chemical Safety. Environmental Health Criteria 155: Biomarkers and risk assessment: concepts and principles. Geneva. 82p.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. 2001. IPCS International Programme on Chemical Safety. Environmental Health Criteria 224: Arsenic and arsenic compounds. 2.ed. Geneva. 521p.

WHO. World HEALTH ORGANIZATION. 2001. United Nations Synthesis Report on Arsenic in Drinking Water: Exposure and health effects. Geneva. 84p.
Disponibile en: <http://www.who.int/water_sanitation-health/Arsenic/ArsenicUNReptoc.htm>.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. 2002. Environmental hazards kill 3 million children aged under 5 every year. Disponibile en: <<http://www.who.int/inf/en/pr-2002-12.html>>.

XIAO GUANG MENG; SUNBAEK BANG AND G. P. KORFIATIS. 2000. Effects of silicate, sulfate, and carbonate on arsenic removal by ferric chloride. *Wat. Res.* Vol. 34, No. 4. 1255-1261.

XIAO GUANG MENG; G. P. KORFIATIS; SUNBAEK BANG; KI WOONG BANG. 2002. Combined effects of anions on arsenic removal by iron hydroxides. *Toxicology Letters* 133. 103-111.

YIH, L. H.; LEE, T. C. 2000. Arsenite induces p53 accumulation through an ATM-dependent pathway in human fibroblasts. *Cancer Res.*, Philadelphia, v. 60, p. 6346-6352.

ANEXO 1

NIVELES DE ARSÉNICO EN EL AMBIENTE

NIVELES DE ARSÉNICO EN EL AMBIENTE

En AIRE (mezcla de partículas con arsenatos y arsenitos), en	ng/m³
Interiores libres de humo de tabaco	< 0,1
Lugares públicos (interiores) con humo de tabaco hasta	1
Áreas remotas	< 1
Áreas urbanas periféricas	3
Promedios a largo plazo en áreas urbanas	4-10
Promedios a corto plazo en áreas urbanas	20-30
Máximos urbanos en 24 horas* hasta	100
Vecino a áreas de aplicación de plaguicidas	13
En áreas de aplicación de plaguicidas (máximo)	260
Vecino a fundiciones	2.500
* En aire urbano, gran parte se encuentra unido a partículas.	
En AGUA (mezcla de arsenatos y arsenitos), en	µg/L
Ríos y lagos Variable, en general (promedio 3, EUA)	<10
Agua de lluvia	0,2-0,5
Agua de mar	2 (1-5)
Aguas subterráneas	1-2
Agua potable (Promedio en EUA)	2,4
Agua potable en áreas contaminadas, EUA	90
Aguas superficiales en Chile (II Región)	100-800
Aguas subterráneas en Argentina	100-700
Aguas subterráneas en México	100-500
En SUELO , en	mg/kg
Promedio de corteza terrestre	2
Áreas remotas (promedio)	5
Vecino a fundiciones de cobre	100-250
Vecino a minas	500-
6.000	
Áreas tratadas con plaguicidas	2-140
Límite EPA en lodos para uso agrícola	41
Sedimentos hasta	4.000
En ALIMENTOS , en	mg/kg
Alimentos marinos (predominio orgánico)*	4-5
Carnes	0,15-25
Cereales y granos	0,02
* 10% de arsénico en alimentos marinos es de carácter inorgánico y 100% de arsénico en alimentos de tipo no marino es de carácter inorgánico.	

Fuente: Cáceres, R., 2007

ANEXO 2

INFORMACIÓN PARA INTERPRETAR LA EXPOSICIÓN

INFORMACIÓN PARA INTERPRETAR LA EXPOSICIÓN

1. La magnitud de la absorción del arsénico varía según la vía de contacto, el tipo de compuesto arsenical (forma físico-química y grado de solubilidad en agua o lípidos), si se encuentra en solución o adsorbido a partículas, el tamaño de las partículas a las cuales se encuentra adosado y la cantidad ingresada, entre otras.
 - *Absorción pulmonar*: Variable de 30% en fumadores hasta 40-60% en trabajadores de fundiciones. Compuestos arsenicales insolubles en agua tienden a absorberse menos. No hay diferencias significativas en la absorción entre niños y adultos.
 - *Absorción digestiva*: Alta absorción de arsenitos y arsenatos en solución, de aproximadamente el 95%. Relativamente alta absorción de compuestos orgánicos, de entre 75-85%. Significativa menor absorción cuando el arsénico ingerido está adsorbido a tierra o polvo. Tampoco se observa diferencia significativa en la absorción entre niños y adultos.
 - *Absorción dérmica*: Compuestos inorgánicos disueltos en agua se absorben en ~ 1% y cuando están adheridos a tierra o polvo se absorben en ~ 0,4%.
2. **Aportes relativos de medios al ingreso de arsénico al organismo:**

Además de los valores de absorción presentados en el ítem anterior, que dan una participación relativa muy importante a la exposición por vía digestiva, la cual en líneas generales representa el ingreso de un 80% del arsénico soluble, los estudios en diferentes países coinciden en asignar a los alimentos la mayor participación relativa en el ingreso del arsénico al organismo humano. Para interpretar correctamente esta participación debe separarse claramente el aporte entre lo que procede de alimentos marinos y lo que procede de otros alimentos. Además, los alimentos no marinos también deben evaluarse, ya que algunos tienden a concentrar arsénico más que otros, como sucede con los de tipo follajes, bulbos, tubérculos y raíces.

En los EUA se informó en 1994 que los alimentos aportan el 93% del arsénico ingresado, aun cuando una gran proporción de esta cifra corresponde a arsénico en alimentos marinos. El ingreso total diario de arsénico al organismo en los EUA se estimó en unos 50 µg/día, de los cuales sólo unos 3,5 µg corresponden a arsénico inorgánico, que es el que

realmente interesa toxicológicamente. En Canadá en 1993 se estimó el ingreso diario total en 38 $\mu\text{g}/\text{día}$ y en el Reino Unido en 1984 en 89 $\mu\text{g}/\text{día}$.

En un estudio hecho en Chile en 1994-1995 los alimentos aportaron en la zona sur del país aproximadamente el 80% del arsénico ingresado. Sin embargo, en la zona norte del país (Antofagasta), donde la contaminación natural del agua con arsénico es alta, el agua pasa a tener una participación relativa del orden de 85% y los alimentos participan con sólo con el 14%.

En conclusión, el esquema de aportes relativos de arsénico por parte de los medios, debe evaluarse localmente, ya que el perfil dependerá de variables tales como grado de desarrollo urbano, ruralidad, industrias, actividad minera, tipos de compuestos prevalentes, agua superficial *versus* aguas subterráneas, tipos de alimentos predominantemente consumidos por la población, etc.

Fuente: Corey, G. y Col., 2005.

ANEXO 3

**CUESTIONARIOS FAMILIAR E INDIVIDUAL
E
INSTRUCCIONES PARA COMPLETARLOS**

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN-TACNA
ESCUELA DE POST GRADO**

ENCUESTA DOMICILIARIA

INSTRUCCIONES

El presente instrumento es estrictamente para fines de investigación y tiene como objetivo recoger información útil y personal de los pobladores de Sama Las Yaras en forma anónima. Cada Ítem o pregunta deberá ser marcado con una "x", con valores numéricos o términos según como corresponda.

ENCUESTA DOMICILIARIA N°:
FECHA:
DEPARTAMENTO: TACNA
DISTRITO: SAMA LAS YARAS

- Número de Habitantes permanentes y estables en la vivienda:

Grupo etario	masculino	femenino
00 – 10 años		
11 – 20 años		
21 – 30 años		
31 – 40 años		
41 – 50 años		
51 – 60 años		
61 – a más años		

- Tiempo de residencia:

Días		Meses		Años	
------	--	-------	--	------	--

- Situación Económica:

Muy buena		Buena		Regular		Mala		Muy Mala	
-----------	--	-------	--	---------	--	------	--	----------	--

- Ocupación:

Actividad	Dependiente	Independiente
Agricultura		
Ganadería		
Institución		
Otros		

- Fuente de agua para consumo humano:

Fuente	Sí	No
Servicio de agua potable (Tanquetas)		
Pozo con agua de río		
Pozo con agua subterránea		
Envasada o embotellada		
Otros		

Si marcó "sí" en otros, especifique.....

- Magnitud de consumo de agua por día:

Menos de un litro	
Un litro	
Más de un litro	
No precisa	

- ¿Conoce a Pobladores que consumen agua del río, canales o pozos?

Pobladores	Valoración			
	Todos	La mayoría	algunos	nadie
Del pueblo				
De la zona rural				

- La calidad de agua del río y agua subterránea para Ud. es:

Agua	Valoración			
	Muy buena	Buena	Mala	Muy mala
Del río				
De los canales				
Subterránea				

- ¿Conoce personas con problemas de salud por consumir agua con arsénico?

Sí	
No	

Si marcó sí indique ¿cuántas personas?

¿Qué problema de salud?

- ¿Conoce de algún método o proyecto para mejorar la calidad de agua de la zona?

Sí	
No	

Si marcó "sí" Indique ¿Cuál?.....

ANEXO 4

CRITERIOS DE CALIDAD PARA EL AGUA POTABLE

Cuadro 1. Criterios de calidad para el agua potable.

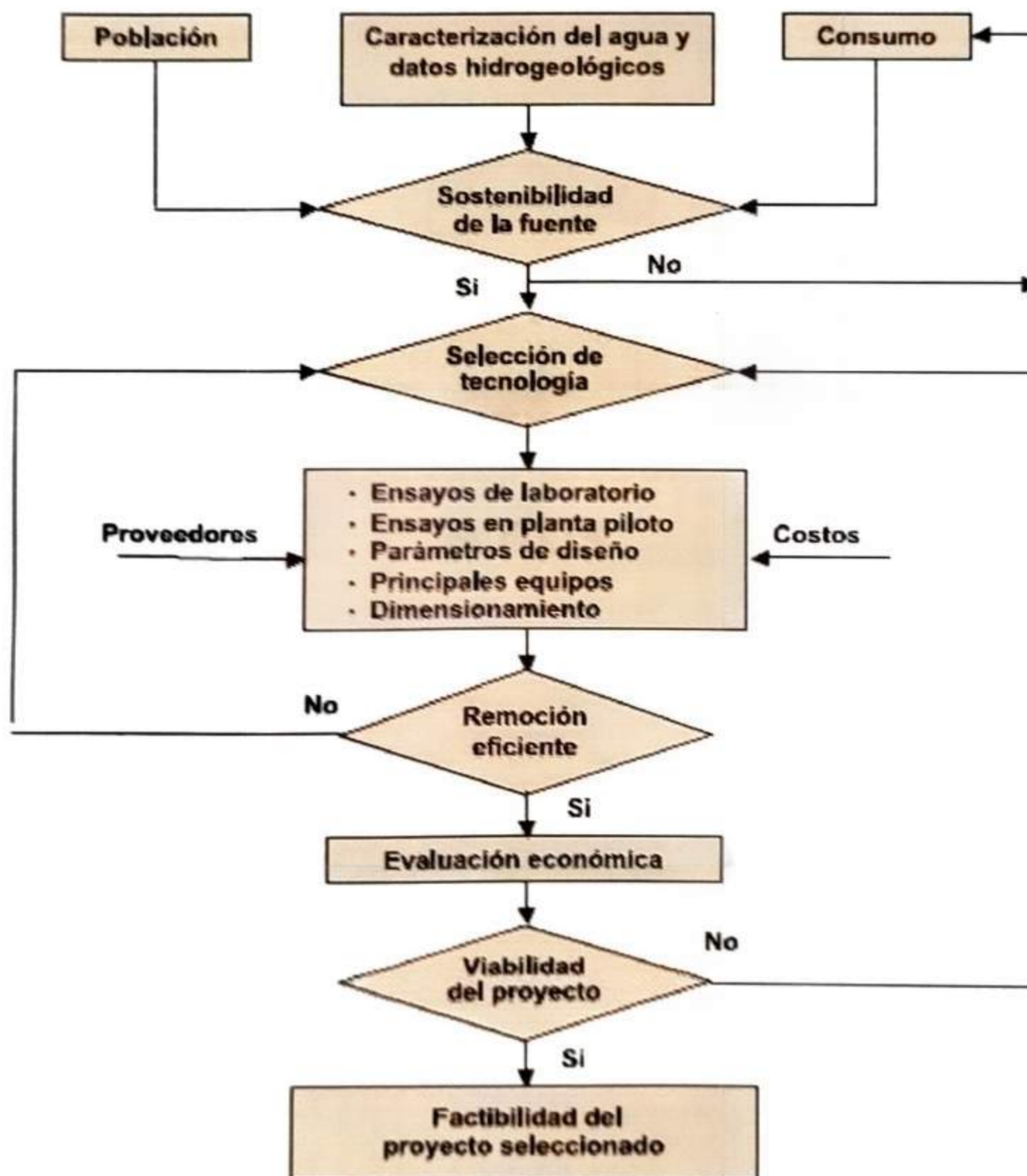
Parámetros		Regulaciones Internas Primarias	Guía de Calidad para el Agua de Bebida del Canadá-1978 (2)	Guidelines for Drinking-Water Quality OMS, 1996 (3)
Unidades		Nivel máximo del contaminante	Concentración máxima aceptable	Valor guía
Físicos				
Color	TCU	—	15	15
Sabor y olor		Aceptable	—	Aceptable
Turbiedad	UNT	5 ^a	5	5 ^b
Inorgánicos				
Aluminio	mg/l	—	—	0,2
Antimonio	mg/l	—	—	1,5
Antimonio	mg/l	0,005	—	0,005 ^m
Artenico	mg/l	0,05	0,05	0,01 ^a
Bario	mg/l	2,0	1,0	0,7
Boro	mg/l	—	5,0	0,3
Cadmio	mg/l	0,005	0,005	0,003
Cianuro	mg/l	0,2	0,2	0,07
Cinc	mg/l	—	5,0	3
Cloro	mg/l	—	—	5 ^d
Cloruro	mg/l	—	250	250
Cobalto	mg/l	1,3 ^{aa}	1,0	2 ^d
Cromo (total)	mg/l	0,1	0,05	0,05 ^m
Fluoruro	mg/l	4	1,5	1,5
Hierro	mg/l	—	0,3	0,3
Manganeso	mg/l	—	0,05	0,5 ^m
Mercurio	mg/l	0,002	0,001	0,001
Nitrato (como N)	mg/l	10	10	50 ^d
Nitrito (como N)	mg/l	1	1,0	3
pH	—	—	6,5 - 8,5	—
Plata	mg/l	—	0,05	*
Plomo	mg/l	0,015 ^{aa}	0,05	0,01
Selenio	mg/l	0,05	0,01	0,01
Sulfato	mg/l	—	500	250
Sulfuros (H ₂ S)	mg/l	—	0,05	0,05 ^{aa}
Sólidos disueltos	mg/l	—	500	1.000

Fuente: American Public Health Association, 1992

ANEXO 5

FACTIBILIDAD DEL PROYECTO SELECCIONADO

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PROPUESTA PARA DISTRIBUCIÓN POR RED



Fuente: INTI QUÍMICA, 2009.

ANEXO 6

FOTOS



MUESTREO DE AGUA



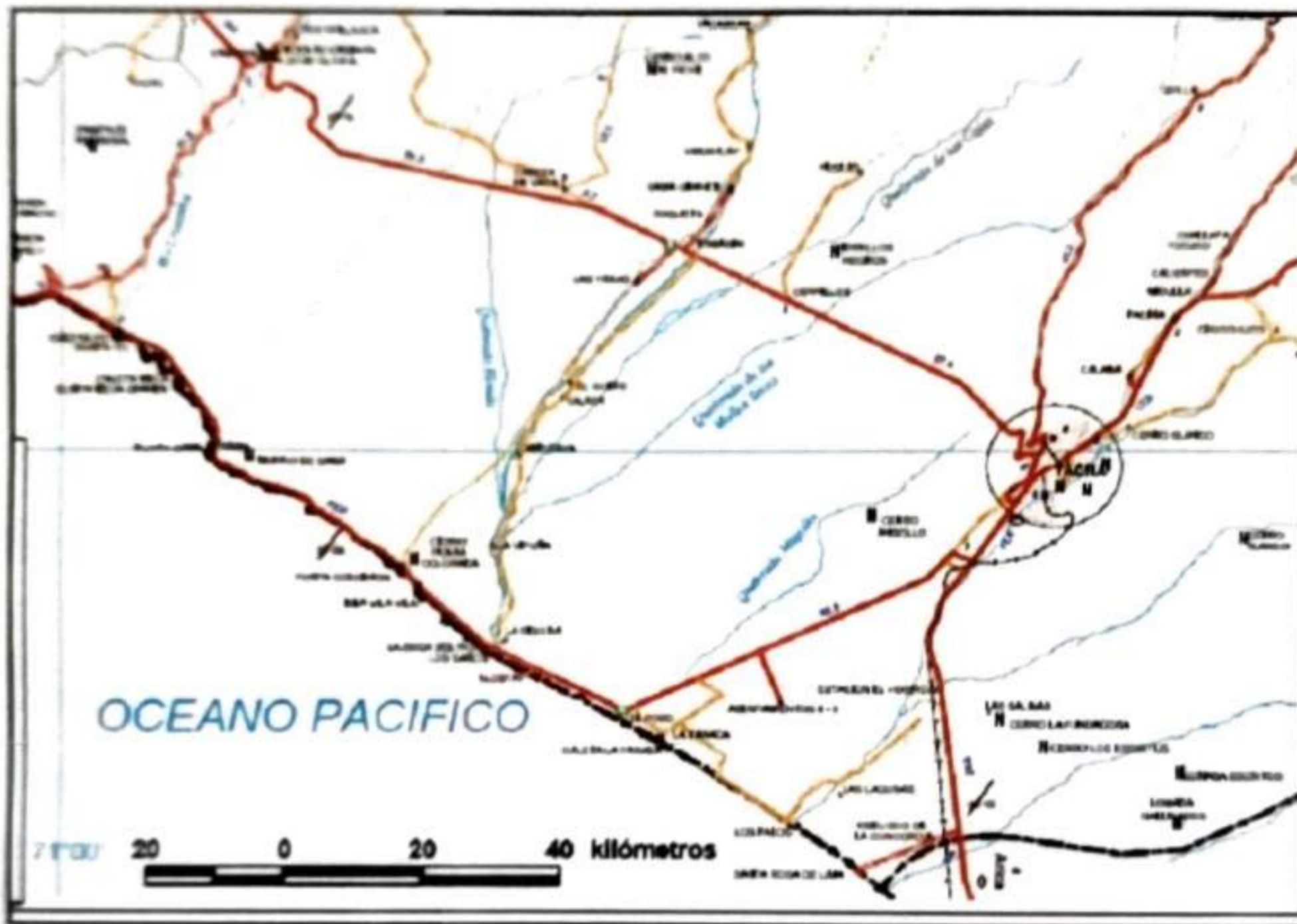
HIPERQUERATOSIS



ENCUESTA



DEPÓSITO DE AGUA



Fuente: Rodríguez J., 2005

SAMA LAS YARAS