

80
ley.



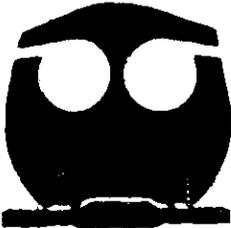
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE QUIMICA

EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

**EVALUACION DEL CONTENIDO DE ARSENICO EN
FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA
POTABLE EN LA ZONA DE ANDOCUTIN,
GUANAJUATO.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICA
P R E S E N T A
VALIA MARITZA GOYTIA LEAL



MEXICO, D. F.

1998

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

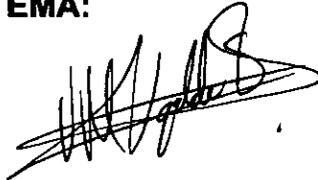
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE	PROF. CAPELLA VIZCAINO SANTIAGO
VOCAL	PROF. SANCHEZ HIDALGO Y ROJAS LUZ M.
SECRETARIO	PROF. UGALDE SALDIVAR VICTOR MANUEL
1ER. SUPLENTE	PROF. GOMEZ PEDROSO GUDIÑO ALBERTO
2DO. SUPLENTE	PROF. ROJO CALLEJAS FRANCISCO

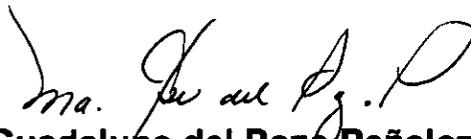
Este trabajo se realizó en la Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua de la Comisión Nacional del Agua.

ASESOR DEL TEMA:



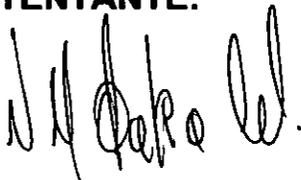
Candidato a Doctor Victor Manuel Ugalde Sladivar

SUPERVISOR TECNICO



Ing. Guadalupe del Pozo Peñaloza

SUSTENTANTE:



Valia Maritza Goytia Leal.

DEDICATORIA

A mi madre Andrea Leal Anaya, por ser la más brillante mujer del mundo, por ser amiga y compañera siempre, por su gran facultad de dar y compartir, por impulsar tenazmente todos mis sueños, por guiarme con su ejemplo de honestidad y valentía, por motivarme día a día con su gran capacidad y fortaleza, por su constante y renovado compromiso, por su infinito amor, dedicación y confianza.

A mi padre Marco Antonio Goytia Jimenez, por su persistente motivación, por su ejemplo, hombre honrado, trabajador y emprendedor comprometido con su actividad, por el apoyo, por su gran amor y confianza.

A mis hermanos; Julio Antonio, Armando y Andrea por compartir, confiar y por todo su amor.

A Salvador por el impulso, fuerza y sobre todo por el inmenso amor.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por la formación científica y humana, por los conocimientos adquiridos en el salón y fuera de él. Por el maravilloso tiempo que pasé en ella. Por que por mi raza hablará el espíritu.

Al Ing. Ignacio Castillo Escalante por la oportunidad y la confianza brindadas, por su calidad humana y profesional.

A la Ing. Guadalupe del Pozo Peñaloza por su decidido y valioso apoyo técnico, por el respaldo, por la confianza, por la amistad.

Al Maestro Víctor Manuel Ugalde Saldivar, por las muchas horas de trabajo, por toda su capacidad de docencia, por el aporte científico, por el compromiso asumido, por creer y compartir el arduo proyecto, por la amistad.

A la Ing. Anabella Ruíz Crespo, por su mentoría, por compartir su especialidad, por su invaluable contribución, por su amistad.

Mi agradecimiento patente a toda las personas que contribuyeron en la realización de este proyecto.

EVALUACION DE LA PRESENCIA DE ARSENICO EN FUENTES DE ABASTECIMIENTO EN LA ZONA DE ANDOCUTIN, GUANAJUATO

INDICE

Capítulo I

Introducción

- 1.1 Antecedentes
- 1.2 Objetivos Generales
- 1.3 Objetivos Particulares

Capítulo II

Consideraciones Generales

- 2.1 Calidad del agua
- 2.2 Monitoreo
 - 2.2.1 Monitoreo ambiental
 - 2.2.2 Programa de muestreo
 - 2.2.3 Toma de muestra
 - 2.2.4 Análisis de muestra

2.3 Normatividad

2.3.1 Protección y mejoramiento de la calidad del agua

2.3.2 Selección y protección de las fuentes de agua

2.3.3 Marco jurídico

Capítulo III

Identificación y cuantificación del arsénico en agua

3.1 Descripción del arsénico

3.1.1 Estado Natural

3.1.2 Propiedades físicas y formas alotrópicas

3.1.3 Aplicaciones del arsénico

3.1.4 Biotransformación

3.1.5 Adsorción sobre sólido y sedimento

3.2 Toxicidad del arsénico

3.2.1 Aspectos químicos

3.2.2 Exposición del arsénico

3.2.3 Límites de exposición

3.2.4 Bioacumulación

3.3 Especiación del sistema As(V)/As(III) en agua

3.4 Métodos para la determinación de arsénico

3.4.1 Método espectrofotométrico de UV

3.4.2 Determinación volumétrica

3.4.3 Espectroscopía de absorción y emisión atómica

Capítulo IV

Zona de estudio

4.1 Hidrología

4.2 Suelo

4.3 Geología

4.4 Geología estructural

4.5 Geología tectónica

4.6 Programa de trabajo

4.6.1 Definición del problema

4.6.2 Programa de trabajo

Capítulo V

Resultados y discusión

- 5.1 Tabla de resultados
- 5.2 Discusión
- 5.3 Propuesta de tratamiento para la eliminación de arsénico en agua

Capítulo VI

Conclusiones

Anexos

- ∇ Método de Análisis
- ∇ Lineamientos de Control de Calidad para Absorción Atómica
- ∇ Procedimiento de muestreo

CAPITULO I

INTRODUCCION

El 1º de Febrero de 1995 la Gerencia Estatal de la Comisión Nacional del Agua en Guanajuato, informó a la Subdirección General de Administración del Agua acerca de la posible contaminación por presencia de arsénico en el agua del pozo que abastece al poblado de Andocutín, Gto., localizado a 16 Km al sur de Acámbaro, Gto.

Lo anterior se derivó de un comunicado emitido por la Secretaría de Salud de la localidad de Acámbaro, debido a la presencia de afectaciones a la salud en pacientes recibidos con tumoraciones en la piel.

Se procedió de forma inmediata a través de las dependencias involucradas y en coordinación con la Gerencia Estatal de Guanajuato a implementar un programa de monitoreo de la calidad del agua, muestreando el agua del pozo problema y los pozos de zonas aledañas, así como el establecimiento de un programa de trabajo para localizar la extensión de la posible contaminación del acuífero que abastece a la zona.

La atención y solución inmediata a los problemas de contaminación de metales pesados, radica en que algunos de ellos tienen la propiedad de ser incorporados a los tejidos u órganos de seres vivos, lo que se conoce como bioacumulación. Se han registrado hasta la fecha, cinco elementos que son potencialmente bioacumulables en gran variedad de organismos, estando el arsénico en esta lista.

1.1 Antecedentes

Los seres humanos dependen de su ambiente para satisfacer sus necesidades de supervivencia, salud y bienestar. Su capacidad para adaptarse al medio que le rodea y, aún más, de modificar su entorno natural y social para satisfacer mejor sus necesidades, le permitió a la especie sobrevivir y prosperar. En forma cada vez más rápida, dichas modificaciones, por una parte, elevaron las condiciones económicas y mejoraron las posibilidades de vida, pero por la otra, originaron riesgos para la salud y la supervivencia humanas.

Las primeras formas de organización social se dieron en torno al agua y fueron condicionadas por ella. Sin embargo, mientras el vital líquido es suficiente, su valor se olvida, hasta que el incremento en la demanda, la contaminación y el agotamiento de las fuentes cercanas, lo convierten de nuevo en el centro mismo de las preocupaciones ciudadanas y del quehacer político.

En el marco de distintas concepciones sobre los propósitos y modelos de desarrollo, el crecimiento demográfico y las actividades económicas asociadas han incrementado las demandas del recurso en la mayor parte del mundo. Durante el presente siglo, las extracciones totales de agua se han multiplicado por diez; conforme a las tendencias actuales, se duplicarán al final de la década del próximo siglo.¹

México no es ajeno a la problemática mundial. Su gran variedad de climas y ecosistemas, resume los problemas derivados de la escasez y el exceso de agua. Dentro de su propia perspectiva histórica, la sociedad mexicana ha planteado sus demandas para satisfacer sus necesidades vitales; hoy en día, enfrenta problemas de rezago en la infraestructura que permita a todos los mexicanos acceder a los servicios básicos de agua potable y saneamiento, así como la que requiere para incrementar el abasto a las zonas agrícolas

con buen potencial. Enfrenta también serios conflictos generados por el propio desarrollo, al hacer más severas las condiciones de escasez, sobreexplotación y contaminación en una buena parte del territorio.

México ocupa el décimo segundo lugar en el mundo por el tamaño de su población. A pesar de haber logrado importantes avances en el control demográfico, su crecimiento poblacional es todavía elevado, por lo que la demanda de alimentos y servicios crece también en forma acelerada.

Considerando que del total de agua dulce disponible en nuestro país, las dos terceras partes se encuentra bajo tierra, surge la necesidad de cuidar este recurso, ya que el 70% de la extracción se dedica al desarrollo de las actividades agrícolas.

La cobertura de los servicios del agua potable y alcantarillado representan uno de los mejores indicadores de bienestar y desarrollo de los pueblos. La carencia de estos servicios está directamente asociada a un bajo nivel de vida y la presencia de enfermedades que afectan la salud, así como el entorno social y económico de los habitantes que la padecen.

Cada día existe mayor conciencia de que la cantidad disponible del agua es finita y de que, al aumentar la población y las actividades productivas se hace más escasa; por lo tanto, cualquier esfuerzo, por sencillo que sea para mejorar las condiciones del agua en las fuentes de abastecimiento, así como mantener e incrementar los volúmenes disponibles para la población, no sólo está coadyuvando al mejoramiento del ambiente, sino que colabora en elevar el nivel de vida de las comunidades.

1.2 Objetivos Generales

- Identificar cualitativa y cuantitativamente la presencia de arsénico en fuentes de abastecimiento de agua potable de la zona del Valle de Andocutín, Gto.
- Identificar las fuentes de abastecimiento de agua potable que sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos por los criterios ecológicos de calidad vigentes en el país.

1.3 Objetivos Particulares

- Identificar áreas donde existen problemas de salud provocados por contaminación de arsénico en agua potable en la zona de Andocutín, Gto.
- Determinar las áreas con alta probabilidad de contaminación con arsénico.
- Aplicar los criterios establecidos para un muestreo adecuado.
- Determinar el contenido de arsénico en los puntos de muestreo elegidos.
- En pozos donde se detecta la presencia de este elemento. Establecer las frecuencias de muestreo y análisis para el monitoreo del contenido de arsénico en los pozos.
- Clasificar, con base en los criterios ecológicos nacionales vigentes, los pozos que sobrepasan los límites máximos permitidos.
- Analizar algunos de los procedimientos existentes para la eliminación de arsénico en agua potable

Referencias:

¹ *Suplemento periódico La Jornada. Mayo 1995*

CAPITULO II

CONSIDERACIONES GENERALES

2.1 Calidad del Agua

Es necesario que los consumidores dispongan de un abastecimiento de agua satisfactorio, haciendo todo lo posible para obtener la mejor calidad. La primera línea para protegerla de la contaminación, es la protección de la fuente; sin embargo, cuando se advierte la existencia de una situación potencialmente peligrosa, debe considerarse los riesgos para la salud, la disponibilidad de otras fuentes y la posibilidad de aplicar medidas correctivas apropiadas antes de decidir si es o no aceptable el abastecimiento.

Las fuentes de abastecimiento deben protegerse principalmente de los desechos de origen humano o animal, que pueden contener una multiplicidad de bacterias, virus, patógenos, así como de helmintos parásitos. Los más expuestos a las enfermedades transmitidas por el agua son los lactantes y los niños, las personas debilitadas o que viven en condiciones antihigiénicas, los enfermos y los ancianos.

Los mayores riesgos que representan los microbios están relacionados con la ingestión del agua contaminada. El riesgo microbiano nunca puede eliminarse por completo porque las enfermedades transmitidas por el agua también pueden difundirse por contacto personal, por aerosoles y por alimentos

El riesgo que presentan para la salud las sustancias químicas tóxicas que se encuentran en el agua potable, es distinto a los que presentan los contaminantes microbiológicos. Son pocas las sustancias químicas presentes en el agua que pueden causar problemas agudos a la salud, salvo por la contaminación accidental masiva del abastecimiento.

Además, la experiencia demuestra que cuando se producen accidentes de este tipo, por lo general, es imposible beber el agua debido a su sabor, olor y/o apariencia inaceptable.

Por no tener habitualmente efectos agudos, los contaminantes químicos representan un problema menos prioritario que los microbianos, cuyos efectos son, por lo general, agudos y generalizados.

Los problemas relacionados con las sustancias químicas presentes en el agua de suministro, se deben a que éstas pueden afectar negativamente a la salud tras periodos de exposición prolongados; en especial, los contaminantes con propiedades tóxicas acumulativas, como metales pesados y sustancias carcinógenas.

Al estimar la calidad del agua, se deben de tener en cuenta las alternativas existentes, como la protección de las fuentes de suministro, la eficacia y la fiabilidad del tratamiento y la protección de la red de distribución.

Las variaciones regionales de la calidad del agua natural hace necesario aplicar normas y criterios según el uso a que ésta se destine; sin embargo, el agua de zonas de abastecimiento público hace necesario aplicar todas las recomendaciones que al respecto se tengan. Las recomendaciones pueden ser tomadas como guías cuando se consideran peligrosas para la salud. La cantidad y el tiempo de permanencia, depende de la naturaleza del contaminante. Las altas concentraciones de contaminantes mantenidas durante periodos cortos pueden producir envenenamiento ya que los efectos son acumulativos. Todos estos factores pueden ser considerados en las decisiones que se tomen en situaciones extremas.

Asimismo, algunas de las sustancias tóxicas consideradas se asocian con la presencia de sólidos suspendidos en aguas superficiales y pueden ser removidas por algún proceso de tratamiento. El grado de remoción de varias sustancias tóxicas disueltas no es ampliamente conocida en procesos prácticos de tratamiento, a nivel internacional.

El desarrollo de los criterios para las recomendaciones para la calidad del agua tiene significados diferentes entre las aguas superficiales y subterráneas. El agua subterránea no está generalmente confinada en un solo lugar, y solo a través del conocimiento de las características geohidrológicas del cuerpo de agua subterráneo y estudios específicos, se puede conocer la calidad. El movimiento de las aguas subterráneas en ocasiones es extremadamente lento, así que si algún punto del acuífero fuera contaminado esto no haría evidente por algún tiempo, incluso en años.

Los tiempos de retención prolongados pueden facilitar las reacciones bacterianas o químicas con componentes del acuífero que resultan de la remoción o descomposición de contaminantes, al grado de no ser capaz de ser degradado por el acuífero, debido a que este tipo de reacciones no son conocidas y no pueden ser predichas, por lo cual se hace necesario realizar un monitoreo del movimiento de los contaminantes en los cuerpos de agua subterránea.

Inadvertidamente o por falta de precaución los cuerpos de agua pueden ser contaminados por acumulación de sales de irrigación, alimentos para animales, fertilizantes para agricultura, productos de las tuberías de petróleo o desechos químicos. Otro tipo de contaminación puede darse por el movimiento de sales como resultado excesivo de sobreexplotación de pozos de agua subterránea inyección de pozos profundos, que puede producir la introducción de desechos.

Estudios realizados en las 218 cuencas que cubren el 77% del territorio, y donde se asienta el 93% de la población, permitieron clasificarlas por su grado de alteración de su calidad natural. ¹

De acuerdo a lo anterior, en 20 cuencas se genera el 89% de la carga contaminante total, medida como DBO. Solo en cuatro cuencas - Pánuco, Lerma, San Juan y Balsas - se recibe el 50% de las descargas de aguas residuales, incluyendo las descargas de las principales ciudades. A estas últimas pueden agregarse las cuencas de los ríos Blanco, Papaloapan, Culiacán y Coatzacoalcos, por la magnitud y las características de la

contaminación industrial recibida, y las cuencas de los ríos que descargan al mar de Cortés, por los agroquímicos que reciben de los retornos agrícolas.

Las áreas con mayores alteraciones en la calidad de las aguas subterráneas son la Comarca Lagunera, por la difusión de las sales arsenicales, así como el Valle de México y otros acuíferos en zonas urbanas (la región del Bajío y el Valle del Mezquital), por infiltración de lixiviados de desechos sólidos y descargas de agua residual no incorporadas al drenaje municipal.

También se presenta un problema general de contaminación difusa de magnitud variable, en los acuíferos que subyacen en las zonas agrícolas, por lixiviados de los agroquímicos utilizados. ²

2.2 Monitoreo

2.2.1 Monitoreo Ambiental

La aplicación práctica de normas o pautas relacionadas con la calidad del agua, requiere que se tomen y analicen muestras. Estas operaciones presentan problemas que si no se resuelven, pueden afectar la vigilancia y control de la calidad del agua.

Muchas sustancias pueden estar presentes en el agua en una serie de formas fisicoquímicas o "especies", cuyas propiedades suelen diferir notablemente. Es preciso seleccionar con cuidado los métodos de análisis para determinar todas las especies de interés y descartar aquellas que no tienen importancia. Por consiguiente, todas las sustancias especificadas para la calidad del agua deben de definirse con precisión y en concentraciones totales.

En un programa de vigilancia de las intoxicaciones por arsénico se pueden desarrollar tanto actividades de monitoreo biológico como de monitoreo ambientales.

Las actividades de monitoreo ambiental comprenden:

- Identificación y selección de lugares en donde se tomarán las muestras
- Recolección de muestras
- Análisis de laboratorio
- Interpretación y aplicación de resultados

Específicamente para el arsénico, las muestras ambientales que se pueden programar son las del aire, suelo, agua y alimentos.

Los métodos de monitoreo ambiental varían según el tipo de contaminación existente. Así, en las minas, donde la cantidad de polvo es grande, la obtención de muestras de aire es de fundamental importancia para conocer las concentraciones a las cuales están expuestos los trabajadores; en cambio para poblaciones generales cercanas a fuentes de contaminación o ubicadas en regiones con contaminación natural con arsénico, deben tomarse principalmente muestras de agua y suelo.

La toma de muestra de agua debe ser hecha en envases apropiados de capacidad mínima de un litro, limpios, libres de otros metales y de otras sustancias químicas que reaccionen con el arsénico.

2.2.2 Programa de muestreo

Para evaluar la calidad del agua potable suministrada a los consumidores es necesario reunir información durante un determinado periodo (en el cual puede variar la calidad). El programa de muestreo debe estar diseñado de tal forma que permita incluir tanto las variaciones aleatorias como las sistemáticas y garantice que las muestras tomadas sean representativas en todo el sistema de distribución. La frecuencia de la toma de muestra debe ser adecuada para que se obtenga información útil, ahorrando al mismo tiempo esfuerzos de muestreo y análisis. No obstante, se puede disminuir cuando se ha confirmado que determinadas sustancias nunca existen en el agua del sistema, o cuando

el agua proviene de fuentes poco expuestas a la contaminación por desechos domésticos, agrícolas o industriales.

El tipo y la magnitud de las variaciones -relacionadas con el lugar y el tiempo en que se toman las muestras- de las concentraciones de los componentes del agua, dependerán del origen de esos componentes y de su comportamiento en los sistemas de distribución. Se pueden clasificar las sustancias en dos tipos principales:

Tipo I. Sustancias cuya concentración difícilmente varía durante la distribución.

Esa concentración está gobernada en gran parte por la existente en el agua que entra en el sistema de abastecimiento, y las sustancias no sufren ninguna reacción dentro de la red de distribución. Son ejemplos de este tipo el arsénico, cloruro, fluoruro, las sustancias que determinan la dureza del agua, los plaguicidas, el sodio y el total de los sólidos disueltos.

Tipo II. Sustancias cuya concentración puede variar durante la distribución comprende:

Sustancias cuya concentración durante la distribución depende principalmente de la existente en el agua que entra en el sistema de abastecimiento, pero que pueden participar en reacciones (que modifiquen la concentración) en su trayecto dentro de la red de distribución: Son ejemplos el aluminio, cloroformo, hierro, manganeso y el ión H^+ . Asimismo, sustancias cuya principal fuente es el sistema de distribución, como el benzopireno, cobre plomo y zinc.

Esta clasificación se aplica sólo al abastecimiento por medio de tuberías. En los otros tipos de sistemas, los componentes del agua deben considerarse como sustancias del tipo I.

° Frecuencia del examen.

El muestreo y el examen frecuentes son necesarios en el caso de los componentes microbiológicos, pero cuando se trata de compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en el agua que están relacionados con la salud, se requieren tomas de muestras y análisis menos frecuentes. Debe realizarse un examen completo cuando se pone en operación una fuente de abastecimiento y analizarlo periódicamente dependiendo de las condiciones locales. Además, es importante conocer la información local sobre los cambios ocurridos en la zona de captación, información que puede utilizarse para conocer posibles problemas de contaminación y, por consiguiente, determinar la necesidad de vigilarla más frecuentemente.

° Puntos de toma de muestras.

Es necesario seleccionar cuidadosamente los lugares exactos para la toma de muestras, a fin de que éstas sean representativas de todo el sistema o de la zona particular donde existen problemas, la selección adecuada del lugar depende de diferentes factores; es preferible basarse en la información local sobre problemas específicos, la fuente de agua y el sistema de distribución.

En el caso de las sustancias de tipo I, por lo general basta con tomar muestras del agua que entra en el sistema de abastecimiento; cuando dos o más fuentes de agua que tienen distintas concentraciones de una sustancia del tipo I alimentan a la misma red de distribución, puede requerirse la toma de muestras de algunos otros puntos dentro del sistema.

Es probable que las concentraciones de sustancias del tipo II se modifiquen entre los puntos de abastecimiento y los grifos de los consumidores.

La naturaleza y la magnitud de las variaciones de la calidad según la ubicación física del punto de muestreo y los objetivos de la vigilancia determinarán cuál de esos métodos (o

combinación de ellos) es el más apropiado. Es conveniente la toma de las muestras al azar cuando las variaciones de la calidad según el lugar del muestreo son totalmente aleatorias, pero puede no ser el método ideal cuando existen diferencias sistemáticas en cuanto a calidad en distintas partes de la red de distribución. Si se opta por la toma de muestras al azar, es importante que los puntos de muestreo se seleccionen con un criterio estrictamente aleatorio, evitando que se tomen muestras con regularidad en ciertos lugares por comodidad o fácil acceso.

° Momento del muestreo

La calidad del agua natural, la eficiencia de los procesos de tratamiento y los efectos del sistema de distribución sobre la calidad del agua de suministro son todos los elementos que varían con el tiempo.

Los principales factores que determinan los momentos y la frecuencia de la toma de muestras son, en consecuencia, la concentración de la sustancia de interés, sus variaciones y la medida en que influye en ella el tratamiento, cuando esto sucede, las concentraciones de las sustancias son afectadas por muchos procesos y, por consiguiente, tienden a presentar variaciones complejas y erráticas con el transcurso del tiempo. Cada situación requerirá un examen por separado.

Los objetivos que persigue la vigilancia influirán considerablemente en la elección de los momentos de muestreo.

Cuando se producen cambios rápidos en la calidad del agua, el lapso real durante el cual se toma la muestra puede afectar significativamente los resultados de los análisis. Una muestra compuesta, que se tarda un cierto tiempo en recoger, proporcionará un valor medio ponderado en el tiempo, mientras que una muestra única dará valores muy dependientes de las variaciones aleatorias y cíclicas.

Los lugares y los momentos en que se realiza el muestreo deben escogerse en forma conjunta ya que la cantidad de muestras y análisis que pueden efectuarse tiene un límite. Dos estrategias pueden consistir en: 1) tomar muchas muestras, una sola vez o en unas pocas ocasiones, 2) tomar pocas muestras, pero con mayor frecuencia en cada uno. Es preciso señalar que el muestreo demasiado frecuente producirá datos innecesarios y aumentará considerablemente los costos³.

2.2.3 Toma de las muestras

Las muestras deben satisfacer dos condiciones:

- 1) el agua que entra en el recipiente debe ser una muestra representativa y,
- 2) la concentración de la sustancia que se va a determinar no debe modificarse entre el momento de la toma y el análisis.

Las concentraciones de las sustancias que se van a determinar en una muestra pueden modificarse entre el muestreo y el análisis, como consecuencia de la contaminación externa durante la toma de la muestra, por la contaminación del recipiente o por procesos químicos, físicos y biológicos dentro de la muestra.

Pueden producirse errores graves a menos que se tomen las precauciones adecuadas pero, en general, existen métodos uniformes o recomendados para evitar contaminación causada por el recipiente y reducir el mínimo las modificación de las concentraciones durante el almacenamiento. Además, el método de preservación de la muestra con frecuencia está determinado por el método del análisis empleado. No obstante, deben realizarse pruebas para verificar que la concentración de la sustancia en cuestión no se modifica en medida inaceptable en el periodo entre la toma de la muestra y su análisis⁴.

2.2.4 Análisis de la muestra

Cuando se analiza una muestra representativa de agua para detectar una determinada sustancia, la exactitud del resultado depende por completo de los errores que surgen en los análisis.

Los estudios internacionales han demostrado que en algunos laboratorios se producen errores graves de análisis, algunas veces de varios cientos por ciento. Comúnmente, este error analítico es mayor para las sustancias que se encuentran en concentraciones bajas. El control de calidad debe ser una parte fundamental de todo programa de muestreo y análisis, en especial cuando los resultados se van a comparar por normas o valores numéricos. Por lo general, se cuenta con procedimientos analíticos adecuados para alcanzar la precisión requerida; el problema práctico es asegurar su aplicación correcta. Si se desea evitar este problema es importante que se establezca cuál es el error total máximo tolerable para cada sustancia, sobre la base de la información que se desea obtener mediante la labor de vigilancia (o identificación), y que se empleen y se apliquen en forma apropiada métodos analíticos adecuados para la precisión requerida.

° Definición de la precisión requerida.

La precisión requerida de un procedimiento analítico está, en principio, determinada por los objetivos del programa de muestreo y análisis que serán diferentes en distintas circunstancias.

La precisión requerida debe definirse en forma cuantitativa y explícita, de tal modo que se disponga de criterios inequívocos para la selección de métodos analíticos adecuados, cuanto mayor es la precisión exigida en cualquier análisis, mayores son el tiempo y esfuerzo requerido. Una práctica frecuente consiste en fijar el límite de precisión únicamente sobre la base de las consideraciones estadísticas y analíticas sin tener en cuenta el significado real de un error dado. En el caso de algunas sustancias presentes en concentraciones bajas, incluso un error del 50% puede no tener importancia desde el punto de vista del saneamiento o de la salud. Por consiguiente, se debe evitar establecer metas innecesariamente estrictas.⁵

2.3 Normatividad

2.3.1 Protección y mejoramiento de la calidad del agua

El respeto de las normas para la calidad del agua potable deberá garantizar la inocuidad del abastecimiento. No obstante, ha de reconocerse que la vigilancia es indispensable para asegurar el cumplimiento permanente de aquéllas y que hay muchas circunstancias algunas de las cuales pueden surgir con rapidez que crean condiciones potencialmente peligrosas.

Muchos posibles problemas pueden evitarse salvaguardando la integridad de las fuentes de agua no tratada y de su cuenca hidrogeográfica y mediante el adecuado mantenimiento e inspección de plantas de tratamiento, así como los sistemas de distribución. No obstante, es imprescindible que los responsables del abastecimiento pasen periódicamente revista a sus operaciones para confirmar que no se han visto afectadas las condiciones que pudieran influir en la calidad del agua.

Cuando las viviendas cuentan con agua distribuida por las tuberías de manera regular, la vigilancia en su calidad proporciona indicadores de riesgo de transmisión de enfermedades. No obstante, esta forma de suministro es la excepción más que la regla y mucha gente recoge agua de fuentes distantes del lugar de utilización o la almacena en su vivienda en condiciones antihigiénicas. Aún cuando el abastecimiento es adecuado, otra posible fuente de contaminación es constituida por la instalación y mantenimiento deficientes de los depósitos de almacenamiento y los elementos domésticos de fontanería. Por estas razones, es posible que el agua se contamine en la vivienda, que con frecuencia es la fuente de contaminación microbiológica más importante⁶.

2.3.2 Selección y protección de las fuentes de agua

La selección y protección adecuadas de las fuentes tienen una importancia fundamental para el abastecimiento de agua inocua. Proteger el agua de la contaminación siempre es preferible a tratarla cuando ya está contaminada.

Antes de seleccionar una fuente de agua de bebida, es importante asegurarse de que la calidad del agua es satisfactoria o puede llegar a serlo después de tratamiento y de que la calidad disponible es suficiente para satisfacer la demanda en forma permanente, teniendo en cuenta las variaciones diarias y estacionales, así como el crecimiento de la población.

La cuenca hidrogeográfica debe ser protegida contra la acción humana, aislándola o controlándola de la acción humana y/o de actividades desarrolladas en la zona que puedan contaminarla.

Las fuentes de agua subterránea, como los manantiales y pozos, han de situarse y construirse de tal manera que puedan ser protegidas contra el desagüe de aguas superficiales y las inundaciones. Se debe de cuidar de que el terreno esté en pendiente para evitar que se formen charcos.

La protección de las aguas superficiales que corren al aire libre plantea problemas. Es posible proteger un depósito contra las actividades humanas que pueden influir negativamente en la calidad del agua pero, en el caso de un río quizá solo se pueda proteger una extensión limitada⁷.

2.3.3 Marco Jurídico

El control de la cantidad y calidad de los recursos hídricos disponibles para consumo humano es una de las preocupaciones fundamentales en el desarrollo de la humanidad.

En México, es notable el desequilibrio en la distribución de los recursos hidráulicos: dos terceras partes del territorio nacional son áridas, semiáridas o están en vías de desertificación acelerada, mientras que el resto es de clima tropical y ahí se encuentran los ríos más caudalosos del país.

Se ha establecido una serie de regulaciones y/o normatividades, que le permiten a los Estados -a través de sus respectivos ministerios y secretarías- cuidar y administrar la calidad del agua que se consume en el mundo.

De acuerdo a la Constitución de los Estados Unidos Mexicanos, el agua es un bien común propiedad de la nación.

Dentro de las funciones y atribuciones que se delegan en las unidades administrativas regionales y estatales de la Comisión Nacional del Agua ⁸ se considera en la Ley de Aguas Nacionales: *...que corresponde al Ejecutivo Federal la autoridad y administración en materia de aguas nacionales y de sus bienes públicos inherentes, quien las ejercerá directamente ó a través de la Comisión Nacional del Agua, a la que la propia Ley concede atribuciones para actuar con autonomía técnica, administrativa y de gestión para el cumplimiento de su objeto, asimismo, establece distintos instrumentos que son esenciales para alcanzar los objetivos de la política hidráulica nacional, la cual impulsa especialmente el ordenamiento del uso y aprovechamiento del agua y la preservación de su calidad, con la debida seguridad jurídica de los derechos de los usuarios y en el marco de una planeación y administración integral de recurso, donde las cuencas hidrológicas se constituyen en las unidades de gestión más apropiadas.*

Entre sus características más importantes se destacan:

- Administrar y custodiar las aguas nacionales, preservar y controlar la calidad de las mismas, así como manejar las cuencas en los términos de la Ley.

- Promover el uso eficiente del agua y su conservación en todas las fases del ciclo hidrológico, e impulsar una cultura del agua que considere a este elemento como un recurso vital y escaso.
- Promover y, en su caso, realizar la investigación científica y el desarrollo tecnológico en materia de agua y la formación y capacitación de recursos humanos.

La Ley Federal de Metrología y Normalización en su título tercero en lo referente a normalización señala que corresponde a las dependencias según su ámbito de competencia contribuir en la integración del Programa Nacional de Normalización con las propias Normas Oficiales Mexicanas⁹.

Las Normas Oficiales Mexicanas tienen como finalidad establecer características y/o especificaciones que deban reunir los servicios cuando éstos puedan constituir un riesgo para la seguridad de las personas o dañar la salud humana, animal, vegetal o el medio ambiente general y laboral o cuando se trate de la prestación de servicios de forma generalizada para el consumidor.

Los métodos de prueba y/o procedimientos para comprobar las especificaciones a que se refiere y el equipo y materiales adecuados para efectuar las pruebas correspondientes, así como los procedimientos de muestreo.

Las características y/o especificaciones, criterios y procedimientos que permitan proteger y promover el mejoramiento del medio ambiente y los ecosistemas, así como la preservación de los recursos naturales.

Las características y/o especificaciones, criterios y procedimientos que permitan proteger y promover la salud de las personas, animales o vegetales.

La prevención y control de la contaminación del agua; el control de la calidad del agua que se abastece para consumo humano y otros usos que pudieran afectar la salud

pública y la protección general del medio ambiente y los ecosistemas acuáticos, se sustenta en un conjunto de normas que deben ser emitidas por distintas dependencias, incluida la Comisión Nacional del Agua, conforme al marco jurídico vigente. Esto incluye:

- Las Normas Oficiales Mexicanas relativas a la calidad del agua que compete expedir a la Secretaría de Desarrollo Social, conforme a un programa de transformación y complementación de las normas técnicas ecológicas.
- Las disposiciones de la Ley General de Salud y las Normas Oficiales Mexicanas que competen expedir a la Secretaría de Salud, las cuales se relacionan con la calidad del agua para consumo humano.
- Los criterios ecológicos emitidos por la Secretaría de Desarrollo Social, conforme a lo establecido en la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.
- Los parámetros y límites máximos permitidos que deben cumplir las descargas a los cuerpos receptores, conforme al uso a que estén destinados y en función de las metas sobre calidad del agua que deriven de las Declaratorias de Clasificación de los cuerpos de Aguas Nacionales, que emita y publique la Comisión Nacional del Agua en los términos de la Ley de Aguas Nacionales.
- La emisión de Condiciones Particulares de Descarga por parte de la Comisión Nacional del Agua, las cuales forman parte integral de los permisos de descarga que expida la propia Comisión, y que son resultado de considerar conjuntamente las Normas Oficiales Mexicanas y la Clasificación de los Cuerpos Nacionales.
- La emisión de Condiciones Particulares de Descarga por parte de los municipios o de los organismos encargados de los servicios municipales de agua potable, alcantarillado y saneamiento, conforme a lo dispuesto en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente para el control de las descargas que se vierten a las redes municipales.

El impacto de la normatividad en la prevención y control de la contaminación del agua dependerá, consecuentemente, de los valores absolutos que se asignen a los límites impuestos por las normas, la clasificación de los cuerpos de agua y las condiciones particulares de descarga, mientras que el avance en la aplicación de las mismas dependerá de la efectividad del sistema de permisos de descarga.

La Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, faculta a la Secretaría de Desarrollo Social para formular los criterios ecológicos que deberán observarse en la aplicación de la política general de ecología y que, uno de los asuntos que se le otorga especial atención dentro de dicha política, es el aprovechamiento racional y la prevención y control de la contaminación del agua, así como la protección de la flora y la fauna acuática.

Para poner en práctica la política ecológica en la materia, resulta fundamental definir los criterios ecológicos de calidad del agua, con este marco de referencia en el que se precisan los niveles de los parámetros y de las sustancias que se encuentran en el agua, o sus efectos como son el color, el olor o el sabor, pH y sus niveles permisibles, las autoridades competentes podrán calificar los cuerpos de agua, como aptos para ser utilizados como fuente de abastecimiento de agua potable, en actividades recreativas con contacto primario, para riego agrícola, para uso pecuario, para uso en la acuicultura, o bien, para el desarrollo y la conservación de la vida acuática. Dichos parámetros constituyen la calidad mínima requerida para el uso y aprovechamiento del agua en los casos mencionados.

La presencia de contaminantes en cualquier cuerpo de agua desequilibra el balance natural de las sustancias disueltas o suspendidas, modificando con ello la composición del agua. Los organismos que viven en el medio pueden bioacumular contaminantes en forma directa o indirecta como resultado de su transmisión, a través de la cadena alimenticia.

Para establecer los niveles de los parámetros o de las sustancias que se encuentran en el agua, se tomó en consideración que, en el país, las condiciones naturales de los cuerpos de agua varían ampliamente en calidad y cantidad; el avanzando deterioro que presentan algunos de estos cuerpos, las condiciones ambientales necesarias para la existencia y desarrollo normal de los organismos en un ecosistema y los diversos efectos que ocasiona la variación de las características físicas, químicas y biológicas del agua entre especies y aún entre individuos de la misma especie, así como los principales usos del agua.

La calidad para uso como fuente de abastecimiento de agua potable se considera el grado de calidad del agua, requerido para ser utilizada como abastecimiento de agua para consumo humano, debiendo ser sometida a tratamiento, cuando no se ajuste a las disposiciones sanitarias sobre agua potable.

La calidad para riego agrícola es el grado de calidad del agua, requerido para llevar a cabo prácticas de riego sin restricción de tipos de cultivo, tipos de suelo y métodos de riego.

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89, Para el caso del arsénico establece como límite máximo:

Fuente de abastecimiento de agua potable	0.05 mg/L
Riego agrícola	0.01 mg/L
Pecuario	0.02 mg/L
Protección de la vida acuática	
Agua dulce	0.2 (como As) mg/L
Agua marina (áreas costeras)	0.04 (como As) mg/L

En cuanto a normatividad, las Normas Oficiales Mexicanas en el caso de fuentes de abastecimiento de agua potable, la norma que se empleó para la evaluación fue la NOM-SSA-1994 "AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTO A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU

POTABILIZACION" ; actualmente, se realizó el anteproyecto de Norma que sustituye la anterior y es la NOM-127-SSA1-1994, "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO - LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTO A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION" .

En ambas normas se establece como límite permisible para el Arsénico una concentración de 0.05 mg/L.

La diferencia entre una Norma y un Criterio, radica en que mientras la norma es de observancia obligatoria y cumplimiento, en el caso de los criterios establecen recomendaciones a considerar.

- La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica (USEPA) contempla 0.03 mg/L de Arsénico, como nivel máximo de concentración (MCL, por sus siglas en inglés)
- Las Guías de Calidad de Agua Potable Canadienses de 1987 establecen como concentración máxima permisible (MAC, por sus siglas en inglés) 0.05 mg/L de Arsénico
- La Organización Mundial de la Salud OMS establece como Valor Guía para el arsénico, el de 0.05 mg/L
- La Comunidad Económica Europea establece al Arsénico como sustancia tóxica y su valor máximo admisible es de 50 µg/L.

La Comunidad Económica Europea ha identificado 1500 sustancias que son susceptibles de incluirse en la lista I, de las cuales 1000 son producidas en cantidades de menos de 100 Ton/año y 25 exceden las 100 000 Ton/año.

Ante la imposibilidad de controlar todos los contaminantes, en los Estados Unidos de Norteamérica y Europa se han efectuado varios estudios para determinar cuales son prioritarios en el agua. La diferencia de criterios ha llevado a que se defina un número diferente de compuestos. La Agencia de Protección del Ambiente (EPA, por sus siglas en inglés) seleccionó originalmente una lista de 129 contaminantes y posteriormente redujo la lista a 126.

Referencias:

¹ Comisión Nacional del Agua. Informe 1989-1994. p.p. 21

² Comisión Nacional del Agua. Informe 1989-1994. p.p. 22

³ Comisión Nacional del Agua. Informe 1989-1994. p.p. 112

⁴ Comisión Nacional del Agua. Informe 1989-1994. p.p. 113

⁵ Comisión Nacional del Agua. Informe 1989-1994. p.p. 116

⁶ Comisión Nacional del Agua. Informe 1989-1994. p.p. 136

⁷ Comisión Nacional del Agua. Informe 1989-1994. p.p. 139

⁸ Publicación en el Diario Oficial de la Federación el día 10 de diciembre de 1993.

⁹ Ley Federal sobre Metrología y Normalización. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Diario Oficial de la Federación. 1 de julio de 1992

CAPITULO III

3.1 Descripción del Arsénico

En la antigüedad, el sulfuro de arsénico era conocido y muy usado; los griegos identificaban el sulfuro (oropimente amarillo) con el varón, por lo que lo llamaron *arsenikon* (masculino), de donde proviene el nombre de arsénico. El elemento fue aislado en tiempo de los alquimistas, atribuyéndose a San Alberto Magno (dominico alemán, llamado el Doctor Universal y considerado como el Aristóteles de la Edad Media) su obtención en 1250. Por aleación con el cobre da un producto parecido a la plata, proceso que hizo creer en la conversión del cobre en la plata. Durante la Edad Media, en que la administración de venenos se consideraba como una de las "Bellas Artes", fue ampliamente utilizado el arsénico blanco (anhidro arsenioso).

3.1.1 Estado Natural

Está presente en pequeñas cantidades en toda la corteza terrestre, en un promedio de 2 ppm, bajo la forma mineral y principalmente como impureza de otros minerales. Además puede estar presente en agua, aire y los seres vivos, especialmente los marinos. Según sea su valencia (trivalente o pentavalente) o sus combinaciones, representará mayor o menor riesgo para la salud humana. El arsénico que se encuentra en la naturaleza es en la mayor parte pentavalente, el cual es relativamente tóxico; pero en contacto con el aire y el sudor da origen a los óxidos de arsénico que son más tóxicos.

El arsénico se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza en más de 150 minerales. En estado natural el As es asociado con los sulfuros. Las principales formas de arsénico en minerales incluye¹:

FeAsS :	Pirita Arsenical
NiAsS :	Nicolita
CoAsS:	Cobaltita
Cu ₁₂ As ₄ S ₃ :	Tenantita
Cu ₃ AsS ₄ :	Enargita

3.1.1.1 Principales compuestos

Los principales compuestos producidos por As son trióxido de As (As₂O₃) y metal arsénico, el trióxido de arsénico se obtiene tostando minerales de arsénico; el óxido sublima y se recoge como polvo blanco en la chimenea.

El arsénico se encuentra en impurezas de muchos minerales, como en aquellos que contienen cobre. Muchos compuestos se producen a partir de su trióxido. El disulfuro de arsénico, pentóxido de arsénico, tricloruro de arsénico, trióxido de arsénico y trisulfuro de arsénico; así como también los plaguicidas que contienen arsénico, están clasificados por la EPA como sustancias tóxicas.

3.1.2 Propiedades físicas y formas alotrópicas del arsénico

El arsénico es un sólido quebradizo, cristalino, de color gris de acero. Sublima fácilmente, formando vapores amarillos. Análogamente al fósforo, el arsénico existe en tres formas alotrópicas; gris cristalina, amarilla cristalina, y negra amorfa, aunque se duda respecto a la existencia de esta última como sustancia química definida.

Existen muchas formas de As de significancia ambiental, incluyendo los ácidos arseniosos:(H₃AsO₃, H₂AsO₃⁻, HAsO₃⁻²), arsenicos(H₃AsO₄, H₂AsO₄⁻,HAsO₄⁻²); arsenitos, arsenatos, metilarsénicos (H₂AsO₃CH₃)

3.1.3 Aplicaciones del arsénico

Aunque todos los compuestos solubles del Arsénico son venenosos, algunos tienen uso en la medicina, aunque en pequeñas dosis, como tónicos. El 70 % de todo el As es usado en plaguicidas, principalmente los siguientes:

Arsenato de Metano monosódico:	$\text{HAsO}_3\text{CH}_3\text{Na}$
Arsenato de Metano Disódico:	$\text{Na}_2\text{AsO}_3\text{CH}_3$
Acido Arsénico:	H_3AsO_4
Acido Dimetilarsénico:	$(\text{CH}_3)_2\text{AsO}_2\text{H}$

El arsénico de origen industrial se da bajo la forma trivalente, que es mucho más tóxica para el organismo. La combinación de arsénico con otros compuestos químicos altera su toxicidad según la solubilidad del compuesto. Por combinación con el hidrógeno forma la arsina que es un gas extremadamente tóxico.

Los compuestos de arsénico son ampliamente usados en algunos países en la agricultura como insecticidas, herbicidas, plaguicidas (arsenatos y arsenitos). En la industria farmacéutica, de pinturas y pigmentos, y textil, así como en la elaboración de vidrio, aleaciones, electrónica, catálisis, aditivos de alimentos y químicos veterinarios. En México no está autorizado su uso como plaguicida.

3.1.4 Biotransformación

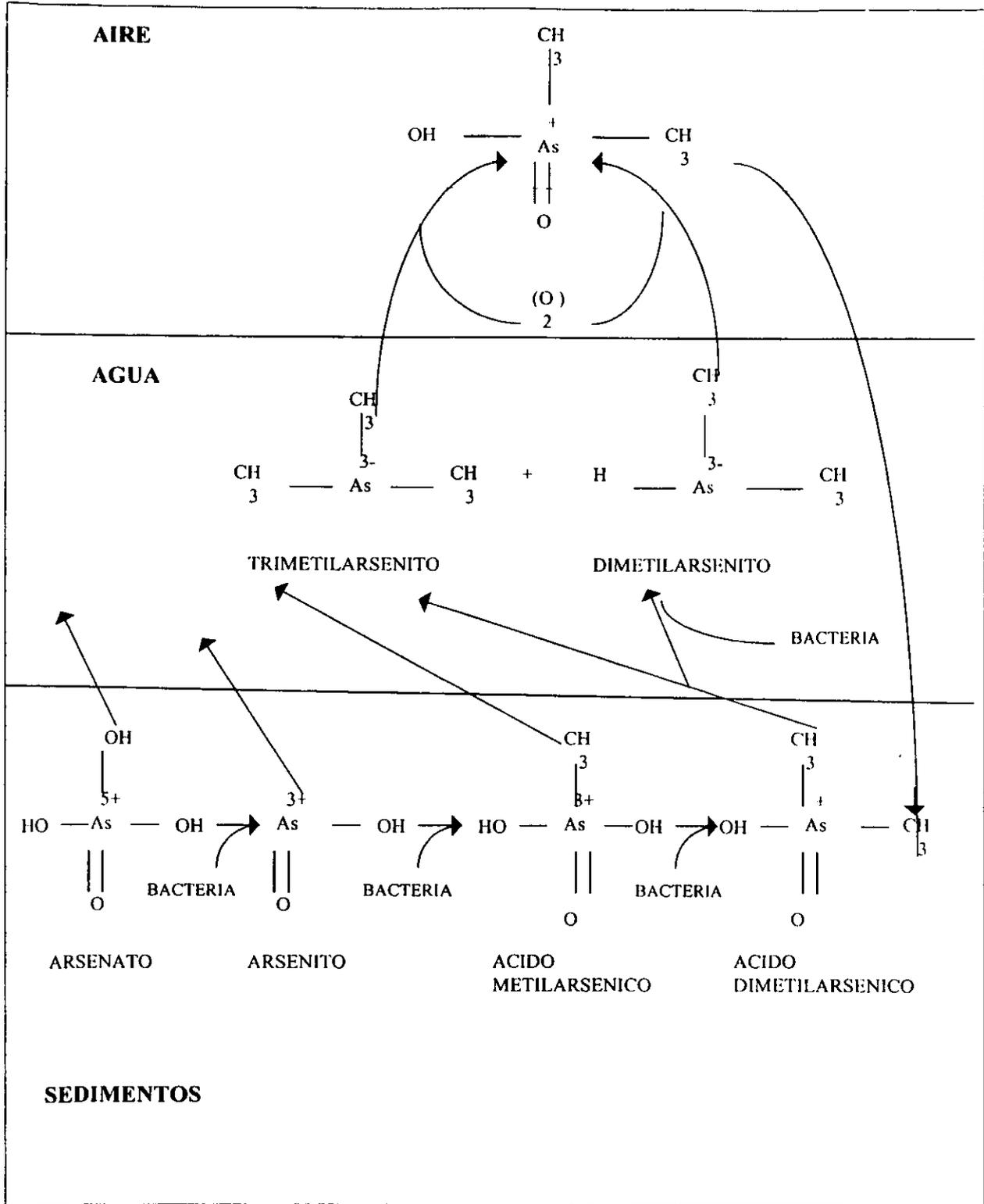
La metilación del arsénico es importante por la extremada toxicidad de sus productos. Como también, este proceso transfiere arsénico de los fondos de sedimentos a la columna de agua en los sistemas acuáticos, incrementando la movilidad en el medio ambiente. La biotransformación del arsénico puede producir compuestos altamente volátiles como arsina (AsH_3), dimetilarsina ($\text{HAs}(\text{CH}_3)_2$) y trimetilarsina ($\text{As}(\text{CH}_3)_3$).

La metilación es uno de los mecanismos para realizar una destoxificación de los microorganismos y es importante en la transferencia del arsénico desde el sedimento al agua y la atmósfera. Las alquilarsinas tóxicas son volátiles, con un olor distintivo como de ajo, y se oxidan rápidamente a productos menos tóxicos en la atmósfera, tales como el ácido dimetilarsínico (ácido cacodílico), el cual ha demostrado ser un intermediario en la síntesis de dimetilarsinas a partir de sales de arsénico.

El proceso dominante en el ciclo del arsénico de un sistema ambiental está determinado por condiciones tales como: aereación, potencial oxidoreducción, pH, contaminación microbiana, etc. (Fig. 3.1²)

Los compuestos de arsénico son metilados por bacterias y hongos para producir dimetil y trimetilarsinas a través de un mecanismo que involucra el reemplazo de los átomos de oxígeno sustituyentes por grupos metilo.

Figura 3.1. Ciclo biológico del arsénico.



3.1.5 Adsorción sobre suelos y sedimentos

El comportamiento como un ligando del arsénico nos plantea la posibilidad que de la presencia de cationes del metal resulten precipitaciones de arsenatos y arsenitos.

El arsénico es absorbido fuertemente en suelos y sedimentos, por lo que la adsorción es el principal medio por el cual el arsénico es removido de una solución.

En la actualidad, los procesos comprenden tres mecanismos³:

1. Adsorción específica en oxihidruro de aluminio y hierro, arcillas y carbonatos
2. Coprecipitación con óxidos de hierro
3. Sustitución isomórfica de arsénico por fósforo en minerales.

La coprecipitación con hidruros de hierro es probablemente el mecanismo mas común en condiciones ambientales.

El AsNO y/o AsS_3 puede formarse en ambientes muy tóxicos donde el sulfuro está presente. Algunos autores sugieren que el FeAsO_4 puede controlar como nivelador en sistemas de condiciones redox altas (p. ej., para $\text{pH} > 12.5$) y el ácido a pH bajos (p. ej., para $\text{pH} < 2.3$).

Se ha sugerido que el $\text{Pb}_3(\text{AsO}_4)$ y el $\text{Mn}_3(\text{AsO}_4)$ se encuentren como sólidos en medio ambiente natural, sin embargo no se ha establecido si el mecanismo es precipitación o adsorción sobre la superficie sólida.

La precipitación del arsénico depende principalmente del potencial redox y pH; sin embargo, la presencia de otros minerales es también importante.

Cada una de las especies del arsénico posee diferentes propiedades químicas que afecta el comportamiento de la adsorción. En sedimentos anaerobios se reporta que los arsenatos tienen mayor grado de adsorción que los ácidos metilarsénicos. El ácido dimetilarsénico presenta menor adsorción que el arsenato o el ácido metilarsénico. Wauchope⁴ fundamentó que el mismo orden de adsorción es aplicado a sedimentos aeróbicos.

Ferguson y Anderson⁵ establecieron que la adsorción de arsenatos sobre hierro e hidróxido de aluminio siguen la isoterma de Langmuir, mientras el arsenito presenta menor adsorción sobre los mismos materiales y presenta variación lineal con la concentración. La superficie del óxido de hierro está cargada positivamente en condiciones particulares de pH y para los arsenatos y arsenitos la adsorción se realiza mejor como iones con carga negativa. Existen algunas especulaciones acerca de la formación de complejos del As (III) y el As (V) con el Fe(III) en solución; la diferencia entre la adsorción del As(V) y el As(III) puede explicarse mediante la alta solubilidad del complejo Fe(III)-As(III). A través de este mecanismo, el As(III) parece ser más débilmente adsorbido que el As(V).

Los factores que afectan la adsorción sobre suelos y sedimentos incluyen condiciones oxidoreducción, pH, la presencia de aniones competencia y iones complejos, salinidad, contenido de arcillas e hidruros óxidos. El As (V) adsorbido en el sedimento puede desorberse si las condiciones son lo suficientemente reductoras para la formación de As(III). El arsénico presenta mayor movilidad bajo condiciones alcalinas. La adsorción máxima del As(V) en arcillas (caolinita y montmorillonita) se presenta a valores aproximados de pH de 5; sin embargo, la adsorción del As(III) se torna importante a valores de pH de 8; el As(III) presenta una adsorción mayor que el As(V). Gupta y Chen⁶ demostraron que la adsorción del As(III) sobre alumina, bauxita y carbón decrece para valores de pH superiores a 9, mientras que para el As(V), el decremento ocurre cuando el pH está por arriba de 7. Se ha demostrado una dependencia similar del pH para la adsorción sobre óxidos de hierro y aluminio.

La velocidad de adsorción del arsénico sobre la alumina, bauxita y carbón decrece cuando se incrementa la salinidad. La presencia de otros iones afectan la adsorción, ya que

compiten por los sitios de adsorción o por los acomplejantes del arsénico. Entre los aniones que tiene poco o ningún efecto se incluyen el Cl^- y SO_4^{2-} . Los compuestos orgánicos, presumiblemente incrementan la movilidad del arsénico y disminuyen la adsorción.

3.2 Toxicidad del arsénico

3.2.1 Aspectos químicos

3.2.1.1 Consumo de agua y peso corporal.

La estimación de la toxicidad de los contaminantes del agua potable se ha efectuado sobre la base de la información procedente de publicaciones, de planteamientos que ya han sido aplicados a nivel internacional; de las estimaciones de riesgos efectuadas por el Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas (IPCS), que se han publicado en las monografías de la Serie Criterios de Salud Ambiental, así como por el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC), las reuniones conjuntas FAO/OMS sobre Residuos de Plaguicidas y el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos de Aditivos Alimentarios.

Los datos mundiales sobre el consumo de agua son escasos. En estudios realizados en el Canadá, los Países Bajos, el Reino Unido y los Estados Unidos de América se ha llegado a la conclusión de que el consumo medio diario por persona es inferior a 2 litros pero con considerables variaciones según los individuos². Como es probable que la ingesta varíe con el clima, la actividad física y la cultura, los mencionados estudios pudieron reflejar que es una visión parcial de las pautas de consumo.

Para establecer los valores de sustancias químicas potencialmente peligrosas, se usó para el consumo diario por persona una cifra general de 2 litros para un peso corporal de 60 Kg. En promedio, los valores guía establecidos para el agua potable a partir de este supuesto son de excesiva cautela. No obstante, la hipótesis quizá constituya una

subestimación del consumo de agua por unidad de peso y, por lo tanto, de la exposición, en el caso de la población que vive en climas cálidos y de los lactantes y los niños, que consumen más líquidos por unidad de peso que los adultos.

Las mayores ingestas y, por lo tanto, la mayor exposición de los lactantes y niños sólo tienen lugar durante un periodo de tiempo limitado, pero éste puede coincidir con una sensibilidad mayor a algunos agentes tóxicos y menor a otros.

Cuando se consideró que este segmento de la población corría un riesgo especialmente elevado como resultado de la exposición a ciertas sustancias químicas los valores guías se calcularon a partir de un consumo de 1 litro diario para un niño de 10 Kg y de 0.75 litros para un lactante de 5 Kg³. Las ingestas diarias de líquidos por kilo de peso que así se obtienen son mayores que para los adultos.

Inhalación y adsorción cutánea.

La contribución del agua bebida durante la exposición diaria comprende la ingestión directa y algunas vías indirectas, como la inhalación de sustancias volátiles y el contacto cutáneo durante el baño o la ducha.

No obstante, la parte de la ingesta diaria tolerable (IDT) total asignada a el agua potable es generalmente suficiente para cubrir esas vías adicionales.

Estimación del riesgo para la salud.

Al calcular los valores sobre los efectos que tiene para la salud la exposición de sustancias químicas, se han considerado los estudios sobre poblaciones humanas de información cuantitativa sobre las concentraciones a que se ven expuestas las personas o sobre su exposición simultánea a otros agentes, que en muchas ocasiones es reducida. Otros estudios de toxicidad que son los más comúnmente utilizados son los realizados con animales de laboratorio. Las limitaciones que éstos presentan por lo general se deben al uso de números relativamente reducidos de animales y de dosis relativamente altas.

Además, es necesario extrapolar para aplicar los resultados obtenidos a las dosis bajas que son las más frecuentes en el caso de las poblaciones humanas.

Ingesta Diaria Tolerable.

La IDT es una estimación de la cantidad de una sustancia presente en los alimentos o en el agua potable, expresada en función del peso corporal (mg/Kg o µg/Kg de peso corporal), que se puede ingerir diariamente a lo largo de toda la vida sin riesgo apreciable para la salud.

Para la mayor parte de los tipos de toxicidad, se cree generalmente que existe una dosis por debajo de la cual no aparecen efectos negativos. En el caso de sustancias químicas que provocan esos efectos tóxicos, se puede calcular una ingesta diaria tolerable (IDT)⁴.

$$IDT = \frac{NSENO \text{ o } NICENO}{FI}$$

donde:

NSENO = nivel sin efectos negativos observados
NICENO = nivel inferior con efectos negativos observados
FI = factor de incertidumbre

Naturaleza del Valor Guía

En el caso de los componentes del agua potencialmente peligrosos se han establecido valor guía, que proporcionan una base para estimar la calidad del agua bebida.

- a) Un valor guía representa la concentración de un componente que no supone un riesgo significativo para la salud del consumidor si éste bebe el agua durante toda su vida.

- b) La calidad definida en las Guías es la adecuada para el consumo humano y para todos los usos domésticos habituales, incluida la higiene personal. Sin embargo, se puede necesitar una mejor calidad para propósitos especiales, como la diálisis renal.

Valor Guía :

$$VG = \frac{IDT \times pc \times P}{C}$$

donde:

- pc = peso corporal (60 Kg para los adultos, 10 Kg para los niños, 5 Kg para los lactantes)
- P = fracción de la IDT asignada al agua potable
- C = consumo diario de agua (2 litros para adultos, 1 litro para los niños, 0.75 litros para los lactantes)

A lo largo de muchos años, el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios y la Reuniones Conjuntas FAO/OMS sobre Residuos de Plaguicidas han establecido ciertos principios para el cálculo de las ingestas diarias admisibles (IDA).

Las IDA se establecen para los aditivos alimentarios y los residuos de plaguicidas presentes en los alimentos por razones de necesidad tecnológica o protección de vegetales. En el caso de los contaminantes químicos que, por lo común, no desempeñan ninguna función en el agua potable la expresión ingesta diaria tolerable se considera más apropiada que ingesta diaria admisible, ya que se trata de tolerar más que de admitir.

Como la IDT representan ingestas tolerables durante toda la vida, no son tan precisas que no puedan sobrepasarse durante breves periodos. La exposición a corto plazo a concentraciones superiores no es motivo de inquietud, siempre que la ingesta media del individuo a lo largo de lapsos más prolongados no sobrepase apreciablemente el nivel fijado. Los factores de incertidumbre que intervienen generalmente en el establecimiento de una IDT hacen improbable que la exposición durante breve tiempo a cantidades

superiores tenga efectos perjudiciales para la salud. No obstante, se debe pensar en los efectos tóxicos agudos que podrían aparecer si se supera considerablemente la IDT durante periodos breves.

Se partió de la IDT calculada para obtener el valor guía, que después se redondeo a una sola cifra significativa. En algunos casos, se utilizaron para el cálculo valores de la IDA con una sola cifra significativa establecidos por el Comité Mixto o las Reuniones Conjuntas.

El valor guía se redondeo en general de ese modo para reflejar la incertidumbre de los datos sobre toxicidad procedentes de la experimentación con animales y de las hipótesis formuladas sobre la exposición. Sólo se utilizó más de una cifra significativa en los valores guía cuando se pudo lograr una mayor certidumbre con información sobre toxicidad y exposición en los seres humanos.

El NSENO se define como la dosis o concentración más elevada de una sustancia química que no tiene efectos negativos detectables en la salud determinada por experimento u observación en un estudio. Siempre que es posible se basa en estudios a largo plazo, preferiblemente de la ingestión en agua bebida.⁵

Si no se dispone de NSENO, se puede utilizar un NICENO, que es, para una sustancia dada, la dosis o concentración más baja observada con efectos negativos detectables en la salud, cuando se usa un NICENO en lugar de un NSENO se incorpora habitualmente un factor de incertidumbre adicional.

Al calcular los valores guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para la calidad del agua potable, se aplicaron valores de incertidumbre más bajos obtenidos para la respuesta considerada más significativa desde el punto de vista biológico. Esos valores se determinaron por consenso dependiendo de la variación entre especies, variaciones dentro de las especies, insuficiencia de estudios o conjunto de datos y, naturaleza y gravedad del efecto.

Evaluación del riesgo de carcinogenicidad

La evaluación del carcinogenicidad potencial de las sustancias químicas se basa, por lo general, en estudios a largo plazo realizados con animales. A veces se dispone de información sobre la carcinogenicidad para los seres humanos, procedente en su mayor parte de estudios sobre la exposición ocupacional.

A partir de los datos disponibles por el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC), se clasifica a las sustancias químicas en los siguientes grupos, según su riesgo potencial que representan:

- Grupo 1 El agente es carcinógeno para los seres humanos.

- Grupo 2A El agente es probablemente carcinógeno para los seres humanos.

- Grupo 2B El agente es posiblemente carcinógeno para los seres humanos.

- Grupo 3 El agente no es clasificado sobre la base de su carcinogenicidad para los seres humanos.

- Grupo 4 El agente probablemente no es carcinógeno para los seres humanos.

El agente, la mezcla o las circunstancias se describen de acuerdo con la definición de una de las categorías siguientes, indicando el grupo correspondiente. La clasificación de un agente, una mezcla o unas circunstancias de exposición es una cuestión de apreciación científica, que refleja la fuerza de las pruebas resultantes de estudios con seres humanos y con animales de experimentación y de los demás datos pertinentes.

En el primer grupo el agente o mezcla es carcinógeno para los seres humanos; esta categoría se utiliza cuando existen pruebas suficientes de la carcinogenicidad para los seres humanos. Excepcionalmente, puede clasificarse en ella, un agente cuando los datos referentes a los seres humanos no llegan a ser suficientes pero existen pruebas

suficientes de la carcinogenicidad en los animales de experimentación y elementos de juicios sólidos que indican que en los seres humanos expuestos, el agente actúa a través de un mecanismo de carcinogenicidad pertinente.

El segundo grupo comprende agentes o mezclas de exposición respecto de los cuales, en un extremo, las pruebas de la carcinogenicidad para los seres humanos son casi suficientes y, en el otro extremo no se dispone de datos sobre los seres humanos pero hay pruebas de la carcinogenicidad para los animales de experimentación.

En el tercer grupo el agente no puede clasificarse sobre la base de su carcinogenicidad para los seres humanos, esta categoría se utiliza para los agentes de exposición respecto a los cuales las pruebas de la carcinogenicidad son insuficientes para los seres humanos e insuficientes o limitadas para los animales de experimentación.

En el cuarto grupo el agente probablemente no es carcinógeno para los seres humanos, esta categoría se utiliza para los agentes respecto de los cuales las pruebas parecen indicar una falta de carcinogenicidad para los seres humanos y los animales de experimentación.

El CIIC considera los datos disponibles en su conjunto a fin de llegar a una evaluación global de la carcinogenicidad de un agente, una mezcla o unas circunstancias de exposición para los seres humanos.⁶

Efectos carcinógenos del arsénico

Está demostrado que el arsénico inorgánico es cancerígeno para los seres humanos, y el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer lo ha clasificado en el grupo 1 en poblaciones que consumen agua con altas concentraciones de arsénico, se ha observado una incidencia relativamente elevada de cáncer en la piel y posiblemente de otros tipos, que aumenta con la dosis y la edad.

IDENTIFICACION Y CUANTIFICACION DE ARSENICO EN AGUA

En las biovaloraciones límites realizadas en especies animales disponibles no se ha demostrado que el arsénico sea carcinogénico pero se han obtenido resultados positivos en estudios encaminados a evaluar el potencial de promoción tumoral. No se ha comprobado que el arsénico sea mutagénico en valoraciones efectuadas con bacterias y mamíferos, aunque se ha confirmado que provoca alteraciones cromosómicas en diversos tipos de cultivos celulares, en particular de células humanas; esos efectos no se han observado *in vivo*.

Los datos disponibles sobre la relación entre el cáncer de órganos internos y la ingestión de arsénico en el agua bebida eran suficientes para realizar una estimación cuantitativa del riesgo. En cambio, dada la carcinogenicidad demostrada del arsénico presente en el agua bebida para las poblaciones humanas, se estimó el riesgo de cáncer de la piel durante toda la vida mediante el modelo en fase múltiples. Sobre la base de observaciones realizadas con una población que bebía agua contaminada con arsénico, se calculó que la concentración asociada con un riesgo adicional de cáncer de la piel durante toda la vida de 10^{-5} era de 0.17 mg/litro. Sin embargo, esto puede ser una sobre estimación del riesgo real, debido a la posible contribución de otros factores a la incidencia de esa enfermedad en la población y a posibles variaciones metabólicas dependientes de la dosis, que no pudieron tenerse en cuenta. Además este valor queda por debajo del límite práctico de cuantificación de 10 mg/litro.

A fin de reducir la concentración de este contaminante carcinogénico, se ha establecido un valor guía provisional para el arsénico en el agua potable de 0.01 mg/litro. El riesgo adicional estimado de cáncer de la piel durante toda la vida asociado con la exposición a esa concentración es de 6×10^{-4} .

Se puede obtener un valor similar (partiendo de una asignación de 20 % al agua potable) a partir de la ingesta diaria tolerable máxima provisional (IDTMP) de 2 mg/Kg de peso corporal, establecida por el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios para el arsénico inorgánico y confirmada como ISTP de 15 mg/Kg de peso corporal en 1988. El comité de expertos señaló, no obstante, que el margen entre la ISTP y las ingestas que producen efectos tóxicos según los estudios epidemiológicos era estrecho.

Para seleccionar los métodos para el análisis toxicológico del arsénico, deben tenerse en cuenta los niveles que se quiere conocer, así como las posibilidades de diferenciar las formas químicas del arsénico en compuestos orgánicos, inorgánicos y arsina. Las determinaciones hechas en el ambiente han sido muy cuestionables por problemas de contaminantes del muestreo. De la misma forma, las muestras recogidas del ser humano deben ser manipuladas con cuidados especiales teniendo en cuenta la posibilidades de contaminación de éstas.

Existen algunos métodos tradicionales y otros recientemente desarrollados que posibilitan la detección del arsénico en concentraciones muy bajas, con determinación del tipo de compuesto, en varios órganos, sangre, orina y materia fecal. Los métodos utilizados son espectrofotometría de emisión atómica, cromatografía en fase gaseosa, análisis por activación neutrónica, espectrofotometría de ultravioleta y fluorescencia de rayos x.

3.2.2 Exposición del arsénico

Toxicidad del arsénico

El arsénico está ampliamente distribuido por toda la corteza terrestre y se utiliza comercialmente, sobre todo en agentes aleadores. El presente en el agua procede de la disolución de minerales y menas, de efluentes industriales y de la atmósfera; en algunas zonas, las concentraciones que existen en las aguas subterráneas son elevadas, de resultas de la erosión. Se estima que la ingesta diaria media de arsénico inorgánico en el agua es similar a la procedente de los alimentos; la aportación del aire es insignificante.

El riesgo por intoxicación por arsénico se relaciona con su presencia en el ambiente, aún en concentraciones no necesariamente muy altas. Concentraciones consideradas medianas, del orden de 0.3 a 0.5 mg/L de agua, han sido suficientes para el desarrollo de cuadros graves de intoxicación; por el contrario, en ocasiones se han detectado que altas concentraciones no han ocasionado enfermedad. Aún cuando es evidente la importancia

IDENTIFICACION Y CUANTIFICACION DE ARSENICO EN AGUA

que tiene el arsénico en las intoxicaciones, hay algunos factores todavía no identificados, que hacen que algunos individuos de las poblaciones expuestas no presenten los cuadros esperados.

En las poblaciones expuestas hay que tomar en cuenta la forma química que presenta el arsénico, principalmente en lo que respecta a los compuestos en la forma trivalente, que son los mas tóxicos del arsénico. Otros compuestos menos tóxicos, como las sales insolubles o los pentavalentes, en contacto con otros compuestos, con el aire o a través de procesos biológicos, se pueden transformar en compuestos trivalentes, que son más tóxicos para el ser humano.

Los compuestos arsenicales metilados tienen una toxicidad baja. Incluso los complejos orgánicos del arsénico presentes en crustáceos y peces marinos se consideran prácticamente como no tóxicos.

El arsénico cuenta con clasificaciones internacionales como⁷:

-CAS 7440-38-2 .- Chemical Abstract Service Registry, da acceso a MEDLARS. Servicio de Literatura o Información por Computación de la Biblioteca Nacional de Medicina en Washington, D.C.

-RTECS CG0525000 .- Registros de Efectos Tóxicos de Substancias Químicas, del Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH); también da acceso a MEDLARS.

-UN 1558 .- Código de las Naciones Unidas para las sustancias químicas. Este número es usado por el Departamento de Transporte de los Estados Unidos de América para la designación de materiales peligrosos.

Existen diferentes regulaciones en cuanto a las concentraciones máximas permitidas en agua, y son establecidas en varias fuentes, el caso del arsénico, lo encontramos como:

- Protección de la vida acuática de agua dulce no exceder de 440 mg/L de arsénico trivalente inorgánico.
- Protección de la vida acuática de agua salada 508 mg/L para toxicidad aguda.

3.2.3 Límites de exposición

Límites ocupacionales

El establecimiento de un valor límite para el aire de los ambientes de trabajo no implica que con concentraciones por debajo de este valor, no se produzcan efectos adversos en los expuestos, sino que dicho valor debe considerarse como guía o referencia para proteger a los trabajadores expuestos.

Para arsénico metálico y sus compuestos solubles⁸

- La administración para la salud y seguridad ocupacional (por sus siglas en inglés OSHA) establece como Time Weighted Average (TWA) : 0.01 mg/m³
- La American Hyginists (ACGIH) establece como Time Weighted Average (TWA) : 0.02 mg/m³
- El instituto para la seguridad y salud ocupacional (por sus siglas en inglés NIOSH) establece como Threshold Limit Value (TLV) : 0.002 mg/m³ (NIOSH)

Para gran parte de los países que tienen establecidos estos valores, ellos varían entre 0.2 y 0.5 mg/m³

Para arsénico orgánico⁹

La administración para la salud y seguridad ocupacional (por sus siglas en inglés OSHA) establece como Threshold Limit Value (TLV) : 0.5 mg/m³

Para arsina¹⁰

La administración para la salud y seguridad ocupacional (por sus siglas en inglés OSHA) establece como Time Weighted Average (TWA) : 0.05 mg/m³

En trabajadores expuestos a una concentración en el aire de 0.5 mg de arsénico/ m³, la eliminación debe ser cerca de 1 mg de arsénico /litro de orina. Valores superiores a 6 mg de arsénico/litro de orina se consideran compatibles con intoxicación.

3.2.3.1 Límites ambientales

El establecimiento de los límites ambientales está de acuerdo con las concentraciones que se han verificado en varias partes del mundo y con las cuales no se han detectado efectos en la salud de la población expuesta. Con excepción del agua, la que fue demostrada como fuente de contaminación importante en el caso de hidroarsenicismo crónico regional endémico, y de los casos de exposición ocupacional, donde se logró encontrar una relación dosis-efecto bien establecida; los otros límites necesitan de mayores estudios y evaluaciones. Así puede ser que nuevos hallazgos o cambios en las condiciones en que hoy se presenta el arsénico modifiquen los límites¹¹ establecidos actualmente, que son los siguientes:

- Aire urbano: 0.02 mg/m³
- Agua de océanos: 0.001-0.008 mg/L
- Agua de ríos 0.01-0.05 mg/L
- Agua potable: 0.05 mg/L (límite establecido por OMS)
- Suelo: 2 mg/Kg

- Alimentos: 0.002 mg/Kg peso corporal (Limite establecido por FAO/OMS)

3.2.3.2 Fuentes de contaminación de arsénico

La información relacionada con la identificación y la evaluación de las fuentes de contaminación debe obtenerse en las instituciones que, por su naturaleza o actividad, normalmente poseen o recolectan este tipo de información o información relacionada.

Estas instituciones pueden proporcionar información relativa a:

- Datos sobre minas, industrias y actividades agrícolas que trabajan con arsénico.
- Mediciones de contaminantes ambientales en grandes centros urbano-industriales o urbano-mineros
- Regiones del territorio nacional con concentraciones naturales de arsénico elevadas.
- Características fisicoquímicas de las fuentes de agua potable.
- Medicamentos con contenido arsenical que se elaboran o expenden localmente o en el país.
- Tipo de procesamiento del tabaco.

3.2.4 Bioacumulación

El arsénico en general no se presenta en altas concentraciones en los tejidos de los organismos vivos, aunque puede contaminar las cadenas alimentarias.

Interacción con otras sustancias

En muchas especies el arsénico parece actuar como protector de los efectos tóxicos del selenio.

IDENTIFICACION Y CUANTIFICACION DE ARSENICO EN AGUA

La exposición conjunta a arsénico y plomo presenta efectos aditivos en los tejidos respiratorios y en el sistema nervioso central.

Tabla 3.1 Bioacumulación relativa y bioconcentración típica de metales traza tóxicos¹²

Metal	Mamíferos	Moluscos	Plantas Grandes	Helechos Algas
	Aves y Peces	Crustáceos, Animales pequeños		
Antimonio	X	X	X	X
Arsénico	XX	XXX	XX	XX
Berilio	X	X	X	X
Boro	X	XX	XXX	X
Cadmio	XXX	XXX	XXX	XXX
Cromo	XX	XXX	XXX	XXX
Cobalto	X	X	XXX	X
Cobre	XXX	XXX	XXX	XXX
Plomo	XXX	XXX	XXX	XXX
Mercurio	XXX	XXX	X	X
Níquel	XX	XXX	XXX	XXX
Selenio	XX	X	XXX	X
Estaño	XX	X	XXX	X
Vanadio	X	XXX	XX	XX

Escala de bioacumulación

X.- Límite ó Bajo

XX.- Moderado

XXX.- Alto ó muy alto

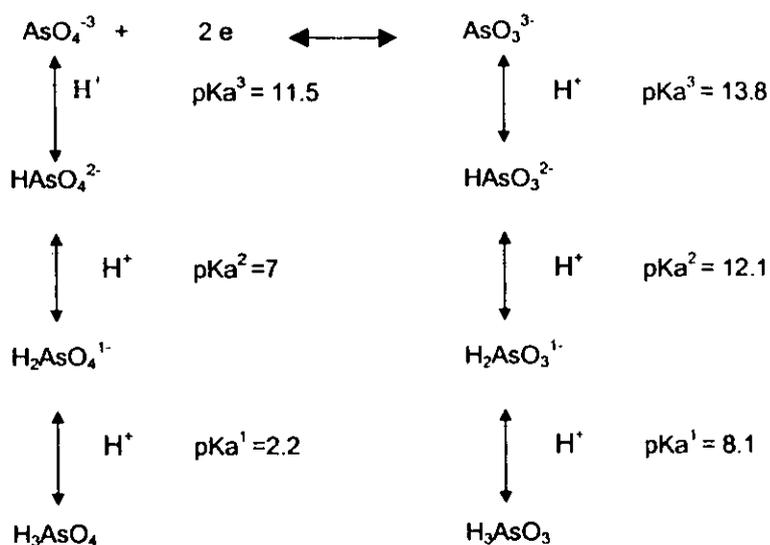
3.3 Especiación del sistema As(V)/As(III) en agua

El arsénico en el agua puede encontrarse en forma natural y a veces en concentraciones muy altas, debido a su presencia en la corteza terrestre y por procesos de erosión y vulcanismo, pero generalmente proviene de desechos industriales (Fig. 3.2).

La química del arsénico (v) es similar a la del fósforo (v). En sistemas acuosos, expone un comportamiento aniónico; en aguas aerobias, el ácido de arsénico es el que predomina en condiciones de presión a $\text{pH} < 2$; dentro de un rango de pH de 2 a 11, éstos son reemplazados por H_2AsO_4^- y HAsO_4^{2-} . Los ácidos arseniosos aparecen a pH bajos y en condiciones indulgentes de reducción, pero son reemplazados cuando el pH se incrementa. Sólo cuando el pH excede 12 el HAsO_3^{2-} aparece. A pH bajos en presencia de sulfuro puede formarse HAsS_2 .

El arsénico no forma complejos con aniones simples como Cl^- y SO_4^{2-} como pueden los cationes metálicos. Sin embargo los complejos arsenicos aniónicos actúan como ligandos en agua. Las formas del As se enlazan con sulfuro orgánico, nitrógeno y carbón. El As (III) reacciona con grupos sulfurosos y sulfhidrilos como son: proteínas y enzimas, pero no reacciona con grupos aminos u orgánicos en compañía de constituyentes de nitrógeno reducidos como aminas; por otra parte, el arsénico (+V) reacciona con el nitrógeno reducido agrupado como aminas pero no con grupos sulfhidrilos. El carbón forma compuestos organoarsenicales con ambas formas (As III y As V). La complejación de el arsénico (+III y +V) por la materia orgánica disuelta en ambientes naturales provienen de la adsorción y coprecipitación con el sólido - fase orgánica e inorgánica; esencialmente, aumenta la movilidad de el arsénico en sistemas acuáticos y en el suelo (fig. 3.2).

Figura. 3.2 Equilibrios ácido-base y redox de Arsénico en agua.



De acuerdo a las constantes de acidez de los equilibrios que presenta el arsénico pentavalente y trivalente en medio acuoso podemos definir ecuaciones que nos representen el comportamiento del arsénico en disolución como función del pH.

$$0 < \text{pH} < 2.2$$

$$E' = 0.56 - 0.06 \text{ pH}$$

$$11.5 < \text{pH} < 12.1$$

$$E' = 1.046 - 0.12 \text{ pH}$$

$$2.2 < \text{pH} < 7.0$$

$$E' = 0.626 - 0.09 \text{ pH}$$

$$12.1 < \text{pH} < 13.8$$

$$E' = 0.683 - 0.09 \text{ pH}$$

$$7.0 < \text{pH} < 8.1$$

$$E' = 0.842 - 0.12 \text{ pH}$$

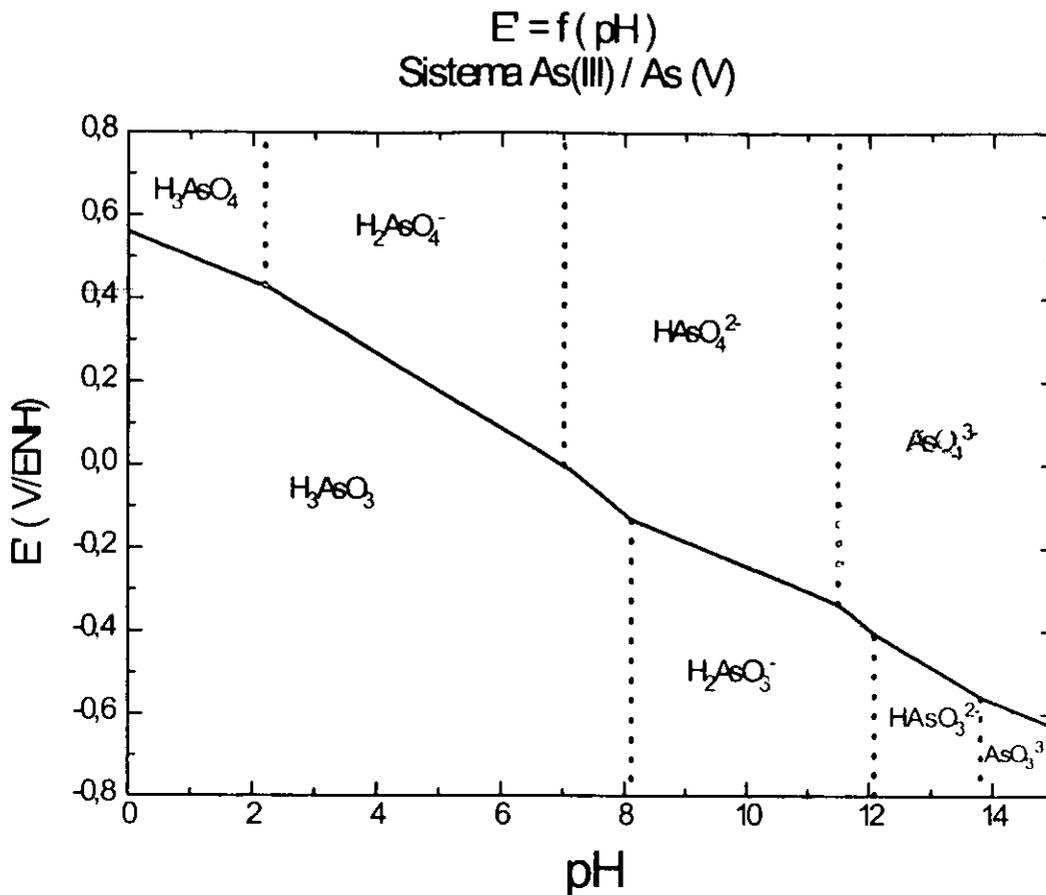
$$13.8 < \text{pH} < 14$$

$$E' = 0.269 - 0.06 \text{ pH}$$

$$8.1 < \text{pH} < 11.5$$

$$E' = 0.356 - 0.06 \text{ pH}$$

Figura 3.3. Diagrama logarítmico de predominio de especies.



3.4 Métodos para la determinación de arsénico

3.4.1 Método espectrofotométrico de UV

Principio del método

Arsenitos que contienen arsénicos trivalentes, son reducidos selectivamente por una solución acuosa de borohidruro de sodio a arsinas AsH_3 en un medio acuoso a pH 6. Arsenatos, ácido metilarsénico y ácido dimetilarsénico no son reducidos bajo éstas condiciones. La arsina generada es barrida por una corriente de oxígeno libre de nitrógeno del recipiente de reducción durante el lavado con la fibra de vidrio o

algodón impregnado de una solución de acetato de plomo dentro del tubo absorbedor conteniendo la dietilditiocarbamato de plata y morfolina disuelta en cloroformo. Desarrolla un color rojo, la absorción puede ser determinada a 520 nm.

Para determinar el arsénico orgánico total en la ausencia de los compuestos metilarsenatos, debe reducirse las muestras a un pH alrededor de 1.

Alternativamente, se determina el arsenato en una muestra de la cual el arsenito ha sido removido por reducción del pH de 6, después de acidificación con ácido clorhídrico y la adición de otra porción de una solución de borohidruro de sodio. La arsina formada a partir del arsenato es absorbida en solución¹³.

Interferencias

Aunque algunos metales - cromo, cobalto, cobre, mercurio, molibdeno, níquel, platino, plata y selenio interfieren en la generación de arsina, sin embargo, la concentración de estos metales normalmente presentes en el agua no interfieren significativamente, en diferentes concentraciones rara vez altas pero basta para presentarse interferencia. El ácido sulfhídrico interfiere, pero su interferencia es removida por el acetato de plomo.

Las sustancias oxidantes que pueden impedir la reducción de los iones arsénico a arsenamina, se reducen antes de la determinación con solución de cloruro estañoso. Los iones antimonio interfieren en la determinación, pues forman igualmente un complejo rojo con el dietil-ditiocarbamato de plata.

3.4.2 Determinación volumétrica

En la determinación volumétrica se utiliza una solución décimo normal de iodo para determinar el contenido de arsénico cuando está presente en niveles porcentuales y hasta concentraciones cercanas a partes por millón (ppm)¹⁴.

- Principio de método

La muestra se digiere con ácidos concentrados (HNO_3 Y H_2SO_4) o en su defecto, con H_2SO_4 y una sal (Na_2SO_4 , KHSO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$). El arsénico es separado por destilación y determinado por volumetría, utilizando como valorante una solución décimo normal de iodo y almidón como indicador.

3.4.3 Espectroscopías de adsorción y emisión atómica

- Introducción

La espectroscopía de emisión atómica (AES, de *atomic emission spectroscopy*, o EEA) ha sido, desde hace mucho, un método estándar para el análisis de metales. Desarrollos recientes en fuentes de plasma sin combustión han extendido el número de sus aplicaciones y despertado un interés renovado en la AES (o EEA). Tiene pocas restricciones sobre la muestra; y ésta última puede ser desde un aleación hasta un mineral, o bien desde una ceniza de material orgánico hasta el polvo atmosférico. Como en el análisis por adsorción atómica, una de sus mayores limitaciones es que la AES es incapaz de distinguir entre los estados de oxidación de un elemento dado.

En la espectroscopía de emisión atómica, una diminuta parte de la muestra se vaporiza y se excita térmicamente hasta alcanzar la emisión atómica. La energía que se requiere para estos procesos la suministra un arco o una chispa eléctricos o, más recientemente, un rayo laser o un plasma compuesto de un gas inerte. Es conveniente distinguir estas fuentes respecto de las fuentes químicas de flama, utilizadas para obtener espectros de emisión.

El espectro de emisión de una muestra sirve para determinar su composición elemental. La longitud de onda a la que se determina la medición de intensidad, identifica al elemento, mientras que la intensidad de la radiación emitida cuantifica su concentración.

3.4.3.1 Fuentes de Arco y Chispa

Para la espectroscopía de emisión atómica no existen fuentes únicas e inmejorables, por lo que dependiendo de los requisitos que plantee el análisis deseado, estará la elección de la fuente de excitación; existen otras fuentes además que son:

3.4.3.1.1 Arcos de corriente directa (CD)

La descarga eléctrica más simple se da en el arco de CD entre dos electrodos sólidos. En el caso típico un electrodo soporta la muestra mientras que el otro es el electrodo contador. En Estados Unidos el ánodo es generalmente el electrodo que contiene la muestra, en tanto que en Europa el cátodo es el que se usa como el soporte de la muestra.

El arco de CD produce una descarga de alta corriente (5-30 A) y bajo voltaje (10-25 V) que, por lo general, se obtiene en el aire. Las temperaturas del arco se encuentran en el intervalo de 4000 a 6000 °K. La excitación de los átomos de la muestra por un arco de CD tiene entonces un origen tanto eléctrico como térmico. El plasma resultante, de iones, electrones y átomos de alta velocidad, produce los espectros de emisión atómica. La energía asequible para la excitación varía a lo largo de la descarga del arco: cerca de los electrodos la energía del plasma es mayor y la muestra se vaporiza rápidamente en la región de alta temperatura. En tal región las líneas de excitación son provocadas por energía térmica casi en su totalidad.

3.4.3.1.2 Chispas de corriente alterna de alto voltaje

La descarga de la chispa de CA de alto voltaje no es tan sensible como la fuente de arco de CD, pero da la mayor estabilidad y precisión de todas las fuentes de descarga eléctrica.

Este es el método adecuado de Espectroscopía de Emisión Atómica para realizar análisis de metales féreos en la industria.

Las chispas tienen picos de corriente y densidades de potencia elevadas, que originan la población de los niveles electrónicos de alta energía de los átomos además de una ionización extensa, mayor que la que se encuentra en los arcos¹⁵.

3.4.3.2 Espectroscopía de emisión con fuentes de Plasma Acoplados Inductivamente (ICP)

- Principio

Una fuente de ICP, consiste en un flujo de vapor de gas de argón ionizado al que se le aplica sobre un campo de radio frecuencia con un oscilación típica de 27.1 Mhz. El soplete de plasma acoplado inductivamente (ICP o ICAP, de Inductively coupled argon plasma) es un tipo especial de plasma que basa su potencia operativa en la introducción de un campo magnético de alta frecuencia¹⁶.

El problema de encender y mantener activo un soplete cuyo combustible es un gas inerte (argón) resulta muy interesante. Inicialmente el gas argón pasa a través de un tubo de cuarzo de 25 mm y, al salir por la punta, se encuentra rodeado por una bobina de inducción. Una CA, circula por esta bobina, con frecuencia de aproximadamente 30 Mhz y a niveles de potencia del orden de 2 kW¹⁷

Las altas temperaturas producidas por el plasma generalmente requieren una segunda corriente de gas, comúnmente argón, para tener un flujo de vértice de argón destinado a enfriar el interior de la superficie de cuarzo del soplete. Las intensidades de flujo de argón típicas son 1 L/min en el gas portador de la muestra, 0-1 L/min en gas soporte y 15 L/min para la corriente enfriante¹⁸. Este equipo requiere de un gasto importante de argón, por lo que es un sistema demasiado caro para los objetivos.

3.4.3.3 Espectroscopía de Absorción Atómica (AAS)

La espectroscopía de Absorción Atómica (AAS) está basada en la capacidad que tienen los átomos "libres" (en estado fundamental) de excitarse cuando se hacen incidir en ellos radiaciones de una determinada longitud de onda. La excitación del átomo se lleva a cabo cuando cambia de un nivel electrónico de baja energía a uno de alta, la emisión se tiene como resultado de la absorción de la radiación electromagnética. La cantidad de fotones absorbidos aumenta con la concentración.

La espectroscopía de Absorción Atómica, se lleva a cabo en diferentes etapas, la introducción de las muestras requiere de:

- 1) Nebulizador; dispersa el líquido en gotas pequeñas
- 2) Modificador de aerosol, elimina las gotas mas grandes de la corriente para permitir el paso sólo a las más pequeñas
- 3) Atomizador, que convierte al analito en átomos libres.

Para la elección de un método viable para la determinación de metales en general y arsénico, en particular, deben considerarse entre otros las ventajas y desventajas listadas con anterioridad, como vemos, se plantean como recomendables la de Absorción Atómica y Emisión de Plasma, sin embargo, considerando los costos para la determinación de metales en aguas potables y residuales, la absorción atómica resulta más conveniente.

Si comparamos los límites de detección de Absorción Atómica e ICP, encontramos que el primero, alcanza límites más bajos y por otro lado, las interferencias espectrales son menores.

Desde otro punto de vista, el México, existe normatividad acerca de los métodos de análisis a utilizar en el caso de las aguas residuales y potables, para el caso de los metales como el arsénico, está establecido el método de Absorción atómica; en vista de

IDENTIFICACION Y CUANTIFICACION DE ARSENICO EN AGUA

esta y las demás consideraciones hechas con anterioridad, se concluyó que no sólo desde el punto de vista técnico y económico representa la mejor opción, sino que es el método que está actualmente autorizado para llegar a cabo análisis de calidad del agua que sean reconocidos oficialmente. Además de ser el equipo con el que se cuenta en la Comisión Nacional del Agua.

TABLA 3.1 . Cuadro comparativo de las diferentes técnicas de instrumentación.¹⁹

	FAES	FAAS	EAAS	DCPS	ICPS	Arco	Chispa
VENTAJAS							
Instrumento no costoso	X	X	X			X	X
Mantenimiento no costoso	X	X	X			X	X
Amplio intervalo dinámico	X			X	X		
Bajas interferencias de matriz				X	X		
Bajas interferencias espectrales	X	X	X				
Análisis multielemental				X	X	X	X
Capacidad muestras pequeñas			X				
DESVENTAJAS							
Instrumento costoso				Moderado	X		Moderado
Mantenimiento costoso				Moderado	X		
Intervalo dinámico limitado		X	X				
Altas interferencias de matriz	X	X	X				
Altas interferencias espectrales				Moderado	X	Moderado	X
Análisis de un solo elemento	X	X	X				
Baja presión			X			X	

Referencias:

- ¹ Environmental Inorganic Chemistry. Properties, Processes, and Estimation Methods. Itamar Baker, Warren J. Lyman, William F. Reehl. Pergamon Press. p.p. 7.2-1
- ² Guías para la Calidad del Agua Potable. Segunda Edición Vol. 1 Recomendaciones. Organización Mundial de la Salud Ginebra p.p. 31
- ³ Guías para la Calidad del Agua Potable. Segunda Edición Vol. 1 Recomendaciones. Organización Mundial de la Salud Ginebra p.p. 32
- ⁴ Guías para la Calidad del Agua Potable. Segunda Edición Vol. 1 Recomendaciones. Organización Mundial de la Salud Ginebra p.p. 33
- ⁵ Guías para la Calidad del Agua Potable. Segunda Edición Vol. 1 Recomendaciones. Organización Mundial de la Salud Ginebra p.p. 34
- ⁶ Guías para la Calidad del Agua Potable. Segunda Edición Vol. 1 Recomendaciones. Organización Mundial de la Salud Ginebra p.p. X
- ⁷ Contaminantes Tóxicos Prioritarios en agua. Ma. del Rosario García Mateos. Universidad Autónoma de Chapingo. 1992. p.p. 75
- ⁸ Arsénico. Folleto de divulgación. Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud.
- ⁹ Arsénico. Folleto de divulgación. Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud
- ¹⁰ Arsénico. Folleto de divulgación. Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud
- ¹¹ Arsénico. Folleto de divulgación. Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud
- ¹² Arsénico. Folleto de divulgación. Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud
- ¹³ Standard Methods. For the examination of water and wastewater. 18 th Edition 1992. APHA, AWWA, WEF. P.P. 3-50
- ¹⁴ Curso Teórico-práctico sobre la determinación de arsénico en muestras de aguas naturales, residuales, sedimentos y rocas. Q:B. Agustín Gómez Alvarez. Universidad de Sonora . p. p. 16
- ¹⁵ Curso Teórico-práctico sobre la determinación de arsénico en muestras de aguas naturales, residuales, sedimentos y rocas. Q:B. Agustín Gómez Alvarez. Universidad de Sonora p p. 256
- ¹⁶ Standard Methods. p.p. 3-34
- ¹⁷ Métodos Instrumentales de Análisis. Hobart H. Willard, Lynne L. Merrit, Jr, John A. Dean, Frank A. Settle, Jr. Grupo Editorial Iberoamérica. 1991. p.p. 259
- ¹⁸ Métodos Instrumentales de Análisis. Hobart H. Willard, Lynne L. Merrit, Jr, John A. Dean, Frank A. Settle, Jr. Grupo Editorial Iberoamérica. 1991. p.p. 259
- ¹⁹ Métodos Instrumentales de Análisis. Hobart H. Willard, Lynne L. Merrit, Jr, John A. Dean, Frank A. Settle, Jr. Grupo Editorial Iberoamérica. 1991. p.p. 254

CAPITULO IV

El estado de Guañajuato ocupa una superficie de 30,471.06 km², teniendo una colindancia por el norte con los estados de Zacatecas y San Luis Potosí; al sur con el estado de Michoacán; al este con Querétaro, y por el oeste con Jalisco.

La zona afectada se encuentra en el Valle de Andocutín, al sureste de Guanajuato, colindando con el noroeste del estado de Michoacán.

El estado de Guanajuato está constituido por cuarenta y seis municipios, en esta superficie está distribuida una gama de contrastes que van desde serranías escarpadas, con pocos habitantes y vías de comunicación (Sierra Madre Oriental), hasta ciudades importantes como León e Irapuato; enclavadas en el Bajío, gran llanura fértil, con obras de irrigación que han convertido a la región en la zona agrícola más importante del país.

Además de la agricultura, la ganadería, minería y prestación de servicios son las principales ramas de las actividades productivas del estado; los recursos geológicos son de tal importancia que en el renglón minero han hecho de la entidad una de las principales zonas productoras de plata en el mundo, situación que a la luz de las explotaciones actuales resulta todavía altamente promisorio. Dentro de las características físicas de la zona encontramos:

4.1 Hidrología

Este estado, comprende parte de las regiones hidrológicas "Lerma Chapala-Santiago" (No. 12), que abarca la mayor parte del estado (25,590 km²) y "Alto Río Pánuco" (No. 26)

en la zona norte (4,872 Km²); la división entre esta dos regiones es un tramo del parteaguas continental, ya que una región drena al Golfo de México y otra al Pacífico.

La principal corriente dentro de la zona es el río Lerma que fluye de oriente a poniente en la región sur. Existen cuencas como son las siguientes: río Lerma Toluca, río Lerma Salamanca, río Lerma Chapala, lago de Pátzcuaro-Cuitzeo-Yuriria, parte sur de la cuenca del río Lajas.

En la zona se ubica la región hidrológica "Lerma-Chapala Santiago" (aguas subterráneas) encontrada en el bajo Guanajuatense que presenta aparatos volcánicos de tipo basáltico y fosas tectónicas en las que se alojan lagos como el de Yuriria, cuya condición geohidrológica es buena, explotándose acuíferos formados por piroclásticos basálticos y sedimentos terciarios de gran espesor que reciben recargas de los ríos Lerma, Lajas y Turbio.

Existen 23 obras hidráulicas de las que sobresalen por su importancia: presa Solís, que es la mas importante, presa Ignacio Allende, presa La Purísima y presa La Gavia. El resto de las obras son de menor capacidad y son utilizadas para riego a excepción de las presas: La Gavia, Los Castillos y Chichimequillas; que son utilizadas para el control de ríos.

Las condiciones de explotación que prevalecen en las diversas zonas son variadas, presentándose algunas como León, Celaya, Silao e Irapuato, en donde los acuíferos se encuentra sometidos a una sobre explotación, que está minando gradualmente el almacenamiento subterráneo.

El río Lerma, más que un río, se ha transformado en un colector público de aguas residuales sin signos de vida acuática con impactos ofensivos a la vista y al olfato, repercutiendo negativamente en la ecología de la zona. La explotación anual es mayor que la recarga.

En general casi todo el estado se encuentra bajo el control de vedas. La entidad presenta una situación difícil, debido a la sobre-explotación de sus acuíferos y a la escasez de la cubierta vegetal.

El acuífero de Acámbaro se encuentra constituido por una alternancia de depósitos lacustres (arcillas, tobas y cenizas volcánicas), brechas y derrames basálticos y por tobas e ignimbritas riolíticas; se estima que son cubiertos por los materiales más recientes. El aluvión es de poco espesor y por lo mismo carece de importancia geohidrológica.

La zona en estudio ha sufrido tectonismo y vulcanismo intenso que han propiciado el ascenso de soluciones hipotermas mineralizadas, que a su paso contaminan las rocas de mayor permeabilidad. Las sales de arsénico pueden estar depositados con las sedimentos lacustres, mismas que son disueltas por el agua subterránea.

4.2 Suelos

Sobre este paisaje fisiográfico dominan, lo mismo que en Bajío Guanajuatense, suelos de tipo vertisol. Por supuesto, debido a la diversidad de toposformas de la zona, estos vertisoles se encuentran asociados a otros tipos de suelo (litosol, feozem háplico, luvisol vértico y férrico y gleysol mólico)¹. La distribución de estos suelos depende de varios factores, entre los que cabe mencionar la roca subyacente, el clima, la topografía y la vegetación.

Por su origen los suelos de la región son de dos tipos: los derivados de los aluviones y los desarrollados a partir de la roca o material que los sustenta. Los suelos de éstas áreas provienen del cuaternario y son originados de las rocas ígneas y sedimentarias del terciario, así como aluviones que han llenado valles y llanuras, según tabla 4.1

4.3 Geología

La importancia geológica del estado radica principalmente en la minería, donde Guanajuato ha destacado como gran productor de oro y plata, habiendo alcanzado en 1978 volúmenes de 1,379 kg del primero, y 191,050 Kg de la segunda², sin contar con la posibilidad de explotación de otros minerales.

Además la peculiar conformación geológica ha permitido la existencia y explotación de acuíferos subterráneos, principalmente en la zona central y sur de la entidad.

De acuerdo a su origen particular y características geológicas distintivas, el estado se divide en tres grandes regiones: la Mesa Central, la Sierra Madre Oriental y el Eje Neovolcánico . La zona de estudio está colocada en esta última región; por lo que profundizaremos en ella.

La región cuenta con algunos recursos minerales, en menor magnitud y más dispersos que la Mesa Central del estado. Cuenta con yacimientos de minerales no metálicos como: ópalos, ágatas y diatomitas.

Existen manantiales termales, localizados en: Abasolo, Acámbaro, Apaseo el Alto, Celaya, Irapuato, León, Pénjamo, Salvatierra y Silao que tienen origen tanto en las últimas fases del vulcanismos cuaternario de la región, como en la actividad tectónica que mantiene abiertas las fallas que permiten que las aguas superficiales lleguen a zonas de alto gradiente geotérmico; su valor principal radica en la posible explotación de éstos como fuentes de energía.

TABLA 4.1. CUADRO GEOLOGIA

EJE NEOVOLCANICO				
EDAD	LITOLOGIA	CLAVE	UBICACION	
C E N O Z O I C O	Rocas ígneas extrusivas andessita, riolita, toba ígneas, basalto, brecha volcánica	(Ige)	Al noroeste de León	
			Al norte de Silao	
			La porción suroeste del estado en sus límites con Jalisco y Michoacán	
	(T) Terciario	Rocas sedimentarias caliza y travertino calizas, areniscas y tobas	(Quim)	La Sierra de Pénjamo
				Valle de Santiago y alrededores de Yuriria
				Al oeste de Irapuato
	(Q) Cuaternario	areniscas-conglomerado y tobas	(cl)	Al sur de Salvatierra
				Alrededores de Acámbaro
				En el extremo sureste del estado, en sus límites con Querétaro
	Rocas Igneas Extrusivas	(Ige)	El Cerro Godoy	
Al sur de Jesús del Monte				
Al norte de Irapuato				
Rocas Sedimentarias	(cl)	Alrededores de San Francisco del Rincón		
		Al noroeste de Silao		
		Al sur de Guanajuato, Gto.		
arenas y gravas	(S)	Al oriente de Juventino Rosas		
		Al oriente de Irapuato		
		Al norte de Romita de Liceaga		
Suelos aluvial residual lacustre	(S)	Al occidente de San Francisco del Rincón		
		Al norte de Jesús del Monte		
		Al sur de Irapuato		
Suelos aluvial residual lacustre	(S)	Al norte y noroeste de Salamanca		
		Al norte de Apaseo el Grande		
		Al sur de Cortázar		
Suelos aluvial residual lacustre	(S)	Al sur y sureste de Celaya		
		Alrededor de Apaseo el Alto		
		Alrededor de Jerécuaro		
Suelos aluvial residual lacustre	(S)	Borde oriental de la Sierra de Pénjamo		
		Borde sur de la Sierra de los Agustinos		
		Al norte de Jerécuaro		
Suelos aluvial residual lacustre	(S)	Toda la planicie del Bajío		
		Al norte y occidente de Acámbaro		
		Margen occidental de la Laguna de Yuriria		
Suelos aluvial residual lacustre	(S)	Al sur de San Francisco del Rincón		

4.4 Geología estructural

La zona de Acámbaro se localiza en la región del Sistema de fallas de Cuitzeo. Las fallas de éste sistema se inclinan con gran ángulo tanto al NO como el SE, para así definir estructuras en pilares y fosas tectónicas, como la fosa de Cuitzeo-Acámbaro, el pilar de Santa Ana Maya y la fosa de Irámucó que es la continuación al SO de la fosa de Acámbaro. Este sistema de fallas afecta una secuencia de rocas volcánicas, cuyas edades varían desde el oligoceno hasta el cuaternario. Es evidente que el material volcánico alcanzó la superficie a través de fallas ya que las estructuras volcánicas se alinean en la misma dirección de las fallas.

4.5 Geología Tectónica

El análisis del eje neovolcánico transmexicano, es abordado por numerosos autores y como resultado se tiene un sin número de modelos geodinámicos que intentan explicar su comportamiento estructural y el origen de su volcanismo. Demant (1981, 1984)³, para mencionar el último modelo propuesto, descarta la posibilidad de una relación entre los fenómenos de subducción de la placa de Cocos debajo de la placa de América del Norte y el fallamiento en el eje neovolcánico; sostiene que el origen de éste, en esta parte del país debe buscarse en el Mioceno; supone que las fallas, localizadas al oriente del meridiano 102°, están ligadas a los movimientos entre placas del Caribe y de América del Norte, y las que están al poniente de este mismo meridiano, a aquellos relacionados con la apertura del Golfo de California.

Independientemente de los modelos propuestos, es evidente que las fallas de la zona de estudio son una consecuencia de la continuación de esos movimientos hasta el presente. La falla facilitó, la manifestación del volcanismo en la región retomando las fallas existentes para llegar a la superficie.

El origen del volcanismo plio-cuaternario ha sido asociado (Demant, 1984)⁴ a procesos de subducción de la Placa de Cocos debajo de la Norteamericana, falla pre-existente a manifestarse en la superficie.

En la porción centro y formando parte del límite norte del Bajío entre las ciudades de León y Silao, se encuentran aflorando rocas y sedimentos que por su porosidad y permeabilidad secundaria presentan condiciones favorables para la formación de acuíferos subterráneos

La región geológica llamada Eje Neovolcánico, colinda al norte con la meseta central y sus límites están definidos a partir del cambio morfológico de las mesetas a vertientes montañosas. Se considera que se trata de una antigua sutura reabierto a fines del Cretácico que formó un sistema volcánico transversal a las sierras Madre Oriental y Madre Occidental.

La característica principal del Eje Neovolcánico es la presencia de un número considerable de aparatos volcánicos (conos, calderas y coladas); así como también gran cantidad de fracturas y fallas asociadas al vulcanismo terciario y cuaternario que han dado lugar a fosas largas y de alguna profundidad, y que han formado lagos como el de Yuridia.⁵

4.6 Programa de trabajo

4.6.1 Definición del problema

La Secretaría de Salud, notificó a la Comisión Nacional del Agua, Gerencia Estatal en el Estado de Guanajuato, la presencia en la población de Andocutín, casos clínicos con características de posible envenenamiento por arsénico, ingerido a través del agua. Posteriormente se notificó a la Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua en la

Ciudad de México para coordinar acciones en la resolución del problema, las cuales se determinaron mediante las siguientes actividades:

4.6.2 Estrategias de trabajo

Identificación de las regiones donde existen problemas de salud provocados por contaminación de arsénico en agua potable, mediante la recopilación de la información disponible, a acerca de las localidades afectadas, características y ubicación de las fuentes de abastecimiento, sintomatología clínica, etc. . Así como también determinación de zonas con alta probabilidad de contaminación con arsénico.

Aplicación de los criterios establecidos para un muestreo adecuado de acuerdo a el Procedimiento de Muestreo de la Comisión Nacional del Agua.(Anexo II), mediante el monitoreo en el menor tiempo posible, de muestras de agua de las fuentes de abastecimiento, y aquellos sitios donde se crea que existe posible contaminación por arsénico.

Establecer las frecuencias de muestreo y análisis para determinar el contenido de arsénico en los puntos de muestreo sugeridos, a través de la identificación y cuantificación analítica, para que con los resultados obtenidos se realicen planteamientos inmediatos de las posibles acciones preventivas y correctivas.

Los análisis serán realizados siguiendo los procedimientos analíticos de la Comisión MA-AA-02 Método espectrofotométrico de absorción atómica por generador hidruros (Anexo I).

Asi mismo se clasificará con base a las normas oficiales mexicanas y a los criterios ecológicos nacionales, los pozos que sobrepasan los límites máximos permitidos.

Y por último revisar algunos de los procedimientos existentes para la eliminación de arsénico en agua potable derivados de este estudio.

REFERENCIAS:

- ¹ *Anuario Estadístico de la Minería. Consejo de Recursos Minerales, 1978. C.R.M.*
- ² *Anuario Estadístico de la Minería. Consejo de Recursos Minerales, 1978. C.R.M*
- ³ *Anuario Estadístico de la Minería. Consejo de Recursos Minerales, 1978. C.R.M*
- ⁴ *Anuario Estadístico de la Minería. Consejo de Recursos Minerales, 1978. C.R.M*
- ⁵ *Síntesis Geográfica del Estado de Guanajuato, publicada por la SSP.*

CAPITULO V

RESULTADOS

5.1 Tabla de resultados

Con la notificación de casos de arsenismo en la piel de habitantes de la zona de Andocutín, Gto., se procedió a rastrear las fuentes de abastecimiento, y se definieron puntos de muestreo, a partir de la información sobre casos reportados de personas con lesiones cutáneas, los cuales se extendían en un área de 52,960.37 km² (Fig. 5.2) además de la información disponible sobre el acuífero de Andocutín.

El muestreo se realizó de acuerdo a los lineamientos del procedimiento de muestreo de la Comisión Nacional del Agua, (Anexo I).

Las muestras de agua provenientes de la zona afectada se analizaron en el Laboratorio Central de la Comisión Nacional del Agua, mediante la técnica de generación de hidruros de absorción atómica, de acuerdo a los procedimientos analíticos de la misma Comisión MA-AA-02 Método espectrofotométrico de absorción atómica por generación de hidruros. (Anexo I)

Los análisis se desarrollaron siguiendo los lineamientos de control de calidad para el área de absorción atómica del laboratorio central de la Comisión Nacional del Agua. A continuación se listan los resultados de los análisis realizados en diferentes fechas.

Para cada lote de muestras analizadas, se realizó una curva de calibración con estándares preparados en el momento del análisis, de acuerdo al siguiente protocolo:

De una disolución de arsénico de Merck "Titrisol" de 1000 ppm, Lote Núm. 50104 se trasvasa un poco en un vaso de precipitados de 100 mL. Se realiza diluciones empleando agua desionizada para preparar estándares cuya concentración sea de 1, 0.1, 0.01, 0.025, 0.005 y 0.0025 ppm.

Se realizan las mediciones de absorbancia para las disoluciones de 0, 0.025, 0.01, 0.005, 0.0025, ppm y se registra la intensidad de la señal para cada disolución. Las mediciones de cada disolución estándar se realizan por triplicado; los registros que se obtienen para ambos casos se muestran en la figura 5.2, las primeras señales muestran una curva de calibración y en seguida la lectura de una muestra.

SEÑAL	1	2	3	4	5	6	7	8
CONC.	BCO	0.0025	0.005	0.010	0.0250	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA



FIGURA 5.2.- Registros de las señales por triplicado de una muestra y de una curva de calibración

Se realiza el análisis estadístico de los datos empleando una regresión lineal de acuerdo con las siguientes ecuaciones para el cálculo del coeficiente de correlación (R) pendiente (b) y la ordenada al origen (a).

$$r = \frac{\sum_i \{(X_i - X_m) (Y_i - Y_m)\}}{[\sum_i (X_i - X_m)^2] [\sum_i (Y_i - Y_m)^2]}$$

La ordenada al origen y la pendiente de la línea a partir de:

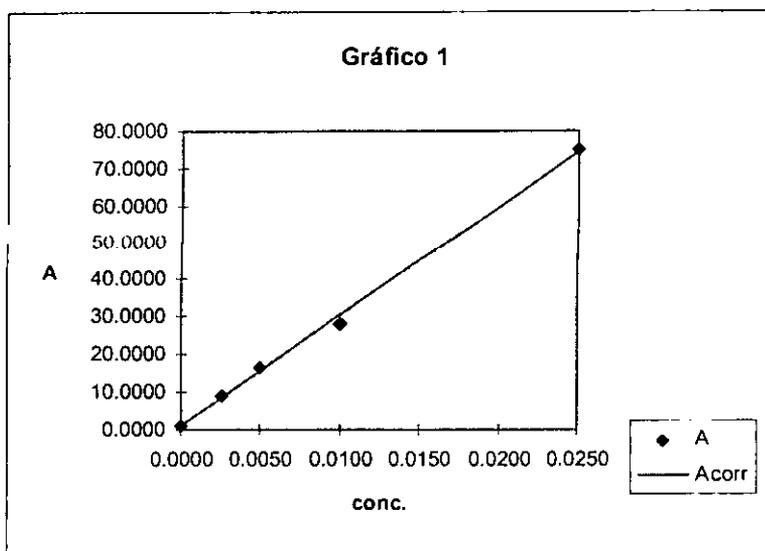
$$b = \frac{\sum_i \{(X_i - X_m) (Y_i - Y_m)\}}{\sum_i (X_i - X_m)^2}$$

$$a = Y_m - b X_m$$

Donde X_i representa la concentración de cada estándar preparado; X_m representa la media aritmética de las concentraciones de los estándares de la curva; Y_i representa la señal emitida por el espectrofotómetro de A. A. para cada estándar y Y_m representa la media aritmética de las señales emitidas por el espectrofotómetro para los estándares de la curva de calibración. A continuación se muestran dos ejemplos de curvas de calibración realizadas durante la determinación de arsénico, una con cinco puntos y otra con cuatro puntos.

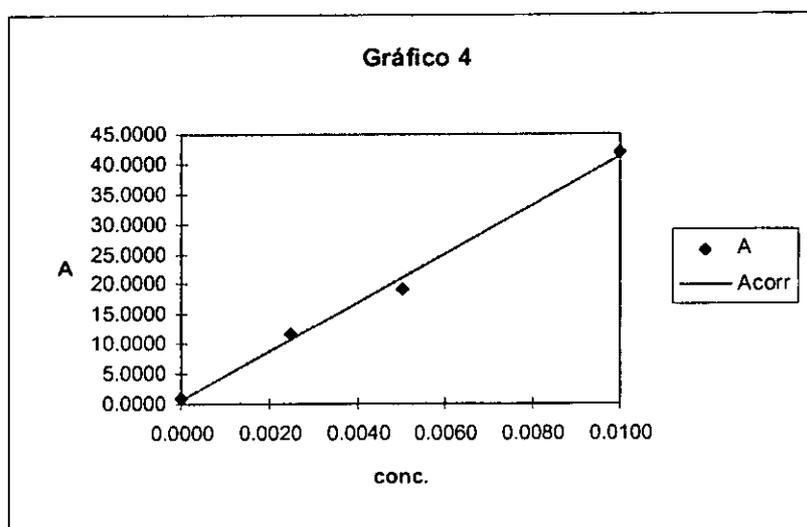
Gráfica construida con cinco concentraciones estándar diferentes.

Conc.	A	Acorr		
0.0000	1.0000	0.9541	<i>a</i>	0.9541
0.0025	9.0000	8.2911	<i>b</i>	2934.8101
0.0050	16.5000	15.6282		
0.0100	28.0000	30.3022	<i>r</i>	0.9990
0.0250	75.0000	74.3244	<i>L.D.</i>	0.0010



Gráfica construida con cuatro concentraciones estándar diferentes.

Conc.	A	Acorr		
0	1	0.66	<i>a</i>	0.66
0.0025	11.5	10.8257143	<i>b</i>	4066.28571
0.005	19.3	20.9914286	<i>r</i>	0.9978561
0.01	42	41.3228571	<i>L.D.</i>	0.0008



De esta manera se calcula una línea recta de regresión de y sobre x . Esta línea calculada, se empleó para estimar la concentración de las muestras problema, a partir de interpolación, donde las señales de absorbancia de las muestras deben estar en el intervalo cubierto por los estándares de la curva de calibración. En los casos en que la señal de la muestra sobrepasó este intervalo, se realizó una dilución que permitiera a la señal de dicha muestra, entrar en el intervalo de la curva de calibración considerándose al final, el factor de dilución.

Los errores aleatorios en los valores de pendiente y ordenada al origen son importantes, por lo que se calcularon. Inicialmente calculamos la desviación estándar de los residuos de y ($S_{x/y}$)¹:

$$S_{xy} = \left[\frac{\sum_i (Y_i - Y_0)^2}{n - 2} \right]^{1/2}$$

Donde Y_0 son los puntos de la recta de regresión calculada, correspondientes a los valores de X ; es decir, los valores de Y ajustados, que fueron calculados para cada X , con la ecuación de la recta resultante de la regresión lineal.

Para calcular la concentración a partir de una lectura de absorbancia medida -en la recta de regresión- es necesario considerar que tanto la pendiente como la ordenada al origen a utilizar están sujetos a error; por lo que se requiere la determinación de la desviación estándar para cada valor calculado de concentración. Como se realizaron mediciones por triplicado para cada muestra problema, la ecuación aproximada para el cálculo de desviación estándar es²:

$$S_{x_0} = \frac{S_{xy}}{b} \left[\frac{1}{m} + \frac{1}{n} + \frac{(Y_0 - Y_m)^2}{b^2 \sum_i (X_i - X_m)^2} \right]^{1/2}$$

Para esta ecuación se define n como el número de estándares utilizados en la construcción de la curva de calibración, y m el número de repeticiones de cada lectura, para una muestra.

Los límites de confianza para cada concentración se calcularon a partir de³:

$$X_0 \pm t \cdot S_{x_0}$$

Y se consideró un valor de $t_{95\%}$ utilizando 2 y 3 grados de libertad de acuerdo al número de estándares de cada curva. En cada curva de calibración se determinó límite de detección. Los límites de detección que se definen como "la cantidad de

concentración de analito que proporciona una señal igual a la señal del blanco Y_B , más dos veces la desviación estándar del blanco, S_B y se calcularon de acuerdo a la siguiente relación⁴.

$$Y - Y_B = 3S_B$$

Con el valor de la ordenada al origen (Y_B) y de 3 veces la desviación estándar de la ordenada al origen (S_B) despejamos el valor de Y , y lo sustituimos en la ecuación de la recta correspondiente. Por lo que tenemos:

$$Y = mx + b$$

$$X = \frac{(Y - B)}{m}$$

$$Y = 3S_B + Y_B$$

Como Y_B es la ordenada al origen, entonces el valor de Y a sustituir en la ecuación es igual a tres veces la desviación estándar de la ordenada al origen ($3S_B$).

Para cada caso se leyeron por triplicado tanto los estándares como las muestras problema (las lecturas de señal, están registradas como A_1 , A_2 , A_3 y A_4), se calculó una media, la cual está registrada como X_m . Con esta media aritmética de las señales de absorbancias y la ecuación de la recta respectiva, se calculó la concentración. En los casos donde la señal dada por la muestra excedía el intervalo lineal de los estándares, se realizaron diluciones de acuerdo a las necesidades, éstas están marcadas en la tabla como DILUCION.

Del análisis estadístico podemos afirmar que, los resultados obtenidos por el laboratorio central de la CNA son confiables. El error encontrado es aceptable, debido a que -aún considerando el error calculado- ninguna de las muestras que fueron reportadas fuera y dentro de los límites máximos permisibles se ve modificada; ya que en este caso, el objetivo de los análisis era la identificación de los pozos con contenidos de arsénico

inaceptables para riego y/o consumo humano, de acuerdo a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana y en las Guías de Calidad del Agua de la Organización Mundial para la Salud.

Durante el desarrollo de éstos análisis, se realizó un muestreo por triplicado, enviando el mismo lote de muestras a 3 diferentes laboratorios, Laboratorios ABC, Estudios e Investigaciones, S. A., Laboratorio de Calidad del Agua del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y Laboratorio Central de la Comisión Nacional del Agua. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 5.1 Fecha de muestreo: 2 de febrero de 1995

MUESTRA/PROCEDENCIA	CIECCA mg/L	REGIONAL NORTEMg/L	IMTA mg/L	LABORATORIOS ABC mg/L
P. agua potable Jariepo	0.0922	0.0738	0.106	0.0941
P. agua potable La Soledad	0.0458	0.0204	0.047	0.0539
P. agua potable Andocutín	1.0354	0.6200	1.06	1.1290
P. agua potable Irámuco	0.0098	0.0060	<0.03	0.1500
P. agua potable La Ortiga	0.0140	0.0094	<0.03	0.246
P. agrícola No. 1	0.1969	0.1054	0.213	0.1955
P. agrícola No. 2	0.4390	0.2604	0.424	0.3800
P. agua potable Cútaró	0.1325	0.1002	0.147	0.1840
P. agrícola No. 3	0.1820	0.1290	0.186	0.1050

Si observamos en la tabla anterior, se puede decir que la mayoría de las variaciones mostradas entre los laboratorios, se deben a los diferentes intervalos de trabajo que tiene el equipo de cada laboratorio, así como las condiciones de alineación y calibración en cada uno. Lo que refrenda la validez de los resultados de éste trabajo.

Los resultados obtenidos son:

Tabla 5.2 POZOS AGUA POTABLE

FECHA DE MUESTREO	SITIOS DE MUESTREO	A ₁	A ₂	A ₃	X _m	DILUCION	CONC. Mg/L	t [*] S _{xo}	S _{xo}
2/02/95	Jaripeo	28.0	28.0	28.0	28.00	1/10	0.0922	0.0016	0.0004
	La Soledad	28.0	28.0	27.5	27.83	1/5	0.0458	0.0016	0.0004
	Andocutín	31.5	31.5	31.0	31.33	1/100	1.0354	0.0017	0.0004
	Irámuco	29.5	30.0	29.5	29.67	-	0.0098	0.0016	0.0004
	La Ortiga	21.5	21.5	21.5	21.50	5/10	0.0140	0.0016	0.0004
	Cútaró	40.0	40.0	39.5	39.83	1/10	0.1325	0.0017	0.0004
5/02/95	Malayas I	31.5	31.5	31.5	31.50	-	0.0104	0.0017	0.0004
	Acámbaro Dr. Yoly	16.0	16.0	15.5	15.83	-	0.0051	0.0017	0.0004
	Acámbaro San. Isidro No. 2	28.0	28.0	27.5	27.83	-	0.0092	0.0016	0.0004
	El Pionero	13.5	14.0	14.0	13.83	-	0.0044	0.0017	0.0004
	Palo Blanco	26.0	26.0	26.0	26.00	1/10	0.0853	0.0016	0.0004
	Rancho Viejo	12.0	12.0	12.0	12.00	-	0.0038	0.0017	0.0004
	La Merced-El Ranchito	27.5	28.0	28.0	27.83	1/10	0.0916	0.0016	0.0004
	Chamácuaro	40.0	40.0	40.0	40.00	-	0.0133	0.0017	0.0004
	Inchamácuaro	33.5	33.0	33.5	33.33	5/10	0.0221	0.0017	0.0004
	Chipicuaró	21.0	22.0	21.0	21.33	-	0.0069	0.0016	0.0004
	Los Organos	44.5	44.0	45.0	44.50	5/10	0.0297	0.0018	0.0004
	Araró, Mich.	35.0	35.5	35.5	35.33	5/10	0.0234	0.0017	0.0004
	Zinapécuaro, Mich.	14.0	14.0	14.0	14.00	2/10	0.0222	0.0017	0.0004
	Balneario Atzimba, Zinapécuaro	33.0	32.5	32.0	32.50	-	0.0107	0.0017	0.0004
	Fco. Villa, Zinapécuaro	34.5	34.5	35.0	34.67	-	0.0115	0.0017	0.0004
	B. Domínguez, Zinapécuaro	33.0	33.5	34.0	33.50	5/10	0.0222	0.0017	0.0004
	Tzintzimeo, Alvaro Obregón	35.0	35.5	35.0	35.17	-	0.0117	0.0017	0.0004
	Indaparapeo	33.5	34.0	33.5	33.67	-	0.0111	0.0017	0.0004
	Queréndaro	27.5	26.5	27.0	27.00	-	0.0089	0.0016	0.0004
	Tócuaro, Acámbaro	2.0	2.0	2.0	2.00	-	0.0004	0.0019	0.0004
	El Moral, Acámbaro	11.0	10.0	10.5	10.50	-	0.0033	0.0017	0.0004
	Santa Clara, Acámbaro	3.0	4.0	3.5	3.50	-	0.0009	0.0018	0.0004

RESULTADOS

FECHA DE MUESTREO	SITIOS DE MUESTREO	A ₁	A ₂	A ₃	X _m	DILUCION	CONC.	T*S _{xo}	S _{xo}
	Pantaleón, Acámbaro	27.5	28.5	28.5	28.17	2/10	0.0464	0.0016	0.0004
	Puerto de Cabras, Acámbaro	3.5	3.5	4.0	3.67	-	0.0009	0.0018	0.0004
	Santa Ana Maya, Cuitzeo	24.5	24.0	24.0	24.17	-	0.0079	0.0016	0.0004
8/02/95	Las Pilas	4.5	5.0	5.0	4.83	-	0.0011	0.0011	0.0003
	El Romero	13.0	12.5	13.0	12.83	-	0.0035	0.0010	0.0002
	San Francisco Rancho Viejo	21.5	21.5	21.5	21.50	2/10	0.0305	0.0010	0.0002
	Loma Bonita (anexo)	23.5	23.0	23.0	23.17	-	0.0066	0.0011	0.0002
	Oyamel	21.0	21.5	22.0	21.50	5/10	0.0122	0.0010	0.0002
	22 de Marzo	9.0	8.5	8.5	8.67	5/10	0.0045	0.0010	0.0002
	Malayas II	26.5	26.0	26.0	26.17	1/10	0.0751	0.0011	0.0003
8/02/95	No. 1, Santa Ana Maya	10.0	10.0	9.5	9.83	5/10	0.0045	0.0012	0.0003
	No. 2, Santa Ana Maya	17.0	17.0	17.0	17.00	2/10	0.0201	0.0011	0.0003
	Tzintimeo, Alvaro Obregón	30.5	30.0	30.5	30.33	5/10	0.0146	0.0013	0.0003
	B. Domínguez, Alvaro Obregón	20.5	20.5	20.0	20.33	2/10	0.0242	0.0011	0.0003
	Francisco Villa	34.5	35.0	35.0	34.83	5/10	0.0168	0.0014	0.0003
	Manantial Balneario	27.5	27.5	27.0	27.33	5/10	0.0131	0.0012	0.0003
	Araró, Zinapécuaro	22.5	23.0	22.5	22.67	2/10	0.0271	0.0011	0.0003
	Manantial Araró, Zinapécuaro	2.0	2.5	2.5	2.33	-	0.0004	0.0014	0.0003
	Manantial Taimeo, Zinapécuaro	18.0	18.5	18.5	18.33	2/10	0.0217	0.0011	0.0003
	Tinajas, Zinapécuaro	19.0	19.0	19.5	19.17	5/10	0.0091	0.0011	0.0003
	La Mora, Queréndaro	17.0	17.0	17.5	17.17	5/10	0.0081	0.0011	0.0003
	Agua rodada Indaparapéo	2.0	2.5	2.5	2.33	-	0.0004	0.0014	0.0003
9/02/95	Irámuco Nuevo	9.0	8.5	8.5	8.67	-	0.0022	0.0010	0.0002
	Malayas II	23.5	24.0	23.5	23.67	1/10	0.0676	0.0011	0.0002
10/02/95	María Vega Galván	24.5	24.5	24.0	24.33	0.5/100	1.3912	0.0018	0.0004
	San Juan Jariepo (pozo viejo)	36.5	37.0	36.5	36.67	2/10	0.0533	0.0024	0.0006
	Héctor Calderón	26.0	26.0	25.5	25.83	0.5/100	1.4814	0.0018	0.0004
	J. Jesús Chávez	27.5	27.5	27.0	27.33	1/100	0.7858	0.0019	0.0004
	Rosa Avila	25.5	26.0	26.0	25.83	0.5/100	1.4814	0.0018	0.0004

RESULTADOS

FECHA DE MUESTREO	SITIOS DE MUESTREO	A ₁	A ₂	A ₃	X _m	DILUCION	CONC. mg/L	I'S _{x0}	S _{x0}
13/02/95	Parcialidad Irámuco	20.5	20.0	20.5	20.33	-	0.0086	0.0019	0.0005
14/02/95	Lomas Verdes	36.5	36.0	36.0	36.17	-	0.0163	0.0036	0.0008
	Diego Rivera	27.5	27.5	28.0	27.67	-	0.0122	0.0027	0.0006
	Guanavilito	22.0	22.5	22.0	22.17	-	0.0095	0.0021	0.0005
	López Rayón	14.0	14.0	13.0	13.67	-	0.0053	0.0016	0.0004
	Carranza	15.0	15.0	15.0	15.00	-	0.0060	0.0016	0.0004
	Velasco Ibarra	10.0	11.0	11.0	10.67	-	0.0038	0.0016	0.0004
	Loma Bonita	14.5	15.0	15.5	15.00	-	0.0060	0.0016	0.0004
	Zaragoza	12.0	12.0	12.5	12.17	-	0.0046	0.0016	0.0004
	Luis Echeverría	19.5	19.0	19.0	19.17	-	0.0080	0.0019	0.0004
	Jarípeo No. 1	40.0	39.5	40.0	39.83	5/10	0.0362	0.0041	0.0010
	Jarípeo No. 2	25.5	26.0	25.5	25.67	2/10	0.0559	0.0024	0.0006
15/02/95	El Charcón y La Gloria	23.5	23.5	23.5	23.50	5/10	0.0249	0.0011	0.0003
	Puente Nuevo	31.0	31.5	31.5	31.33	5/10	0.0332	0.0016	0.0004
	Maravillas	12.5	12.5	12.5	12.50	2/10	0.0331	0.0007	0.0002
	San José del Paso	22.5	22.0	22.0	22.17	2/10	0.0588	0.0011	0.0003
	Prolongación 5 de Febrero	16.5	16.5	17.0	16.67	5/10	0.0177	0.0008	0.0002
	Col. Solidaridad FFCC	16.0	15.5	15.0	15.50	5/10	0.0164	0.0008	0.0002
	Tanque Calabaza	14.0	14.0	14.0	14.00	5/10	0.0148	0.0007	0.0002
	Ferrocarrilera INFONAVIT	13.0	13.0	13.5	13.17	5/10	0.0140	0.0007	0.0002
16/02/95	Parácuaro Presidencia Mpal.	10.5	10.0	10.0	10.17	-	0.0054	0.0007	0.0002
	Parácuaro Junta Municipal	14.0	14.0	13.5	13.83	-	0.0073	0.0007	0.0002
	El Español	8.0	8.5	9.0	8.50	-	0.0045	0.0007	0.0002
	Jaral	12.0	11.0	12.0	11.67	-	0.0062	0.0007	0.0002
	San Juan Viejo	7.0	7.0	6.5	6.83	-	0.0036	0.0007	0.0002
	Loreto	4.5	4.5	4.0	4.33	-	0.0023	0.0007	0.0002
	Monte Prieto	3.0	3.5	3.5	3.33	-	0.0018	0.0007	0.0002
	S. Juan Rancho Viejo Hda. Nueva	3.5	3.5	3.0	3.33	-	0.0018	0.0007	0.0002
	Las Jicamas	21.0	21.5	21.0	21.17	2/10	0.0561	0.0010	0.0002
	San Diego	3.0	2.5	3.0	2.83	-	0.0015	0.0007	0.0002
	Obrajuelo	17.0	17.0	16.5	16.83	2/10	0.0446	0.0008	0.0002

RESULTADOS

FECHA DE MUESTREO	SITIOS DE MUESTREO	A ₁	A ₂	A ₃	Xm	DILUCION	CONC. mg/L	t'S _{xo}	S _{xo}
17/02/95	Las Trancas	6.5	6.0	6.5	6.33	-	0.0024	0.0004	0.0001
	La Compuerta	9.5	9.5	9.5	9.50	-	0.0036	0.0004	0.0001
	San Lorenzo	9.5	9.5	9.5	9.50	-	0.0036	0.0004	0.0001
	Los Fresnos	9.5	9.5	9.5	9.50	5/10	0.0072	0.0004	0.0001
	Jaripeo No. 1	13.0	13.0	12.5	12.83	5/10	0.0098	0.0004	0.0001
	Jaripeo No. 2	34.0	33.5	33.5	33.67	2/10	0.0648	0.0007	0.0002
	Loma Bonita (anexo)	9.5	9.5	9.5	9.50	-	0.0036	0.0004	0.0001
	Estanzuela de Romero	5.0	5.5	5.5	5.33	-	0.0020	0.0004	0.0001
	Jerécuaro No. 1	7.0	7.5	7.5	7.33	-	0.0028	0.0004	0.0001
	Jerécuaro No. 2	5.5	5.5	5.5	5.50	-	0.0021	0.0004	0.0001
	Jerécuaro No. 3	9.0	10.0	9.5	9.50	-	0.0036	0.0004	0.0001
	Puruagua	2.5	2.0	2.5	2.33	-	0.0008	0.0004	0.0001
	El Terrero	14.5	14.5	15.0	14.67	-	0.0056	0.0004	0.0001
	Munguía	11.5	11.5	11.5	11.50	-	0.0044	0.0004	0.0001
	Santiaguillo	11.5	12.0	11.0	11.50	-	0.0044	0.0004	0.0001
	Piedras de Amolar	10.0	9.5	9.0	9.50	-	0.0036	0.0004	0.0001
	Encarnación	27.5	27.0	27.0	27.17	-	0.0104	0.0005	0.0001
	San Cayetano	15.0	15.0	15.5	15.17	-	0.0058	0.0004	0.0001
21/02/95	San Francisco	4.5	4.0	4.5	4.33	-	0.0016	0.0004	0.0001
	Santa Inés	5.5	5.5	5.5	5.50	-	0.0021	0.0004	0.0001
	Arroyo de La Luna	3.0	3.5	3.5	3.33	-	0.0012	0.0004	0.0001
	La Virgen	5.0	5.0	4.5	4.83	-	0.0018	0.0004	0.0001
	San. José de Porto	6.0	6.5	6.5	6.33	-	0.0024	0.0004	0.0001
	Tarandacuao Col. Las Flores	7.0	8.0	7.5	7.50	-	0.0028	0.0004	0.0001
	Tarandacuao Ojo de Agua	5.0	5.5	5.5	5.33	-	0.0020	0.0004	0.0001
	Agua Caliente	8.5	8.5	9.0	8.67	-	0.0033	0.0004	0.0001
	San Nicolás	14.5	14.5	14.5	14.50	-	0.0055	0.0004	0.0001
	Los Desmontes	1.5	1.0	1.0	1.17	-	0.0004	0.0005	0.0001

Tabla 5.3 POZOS DE AGUA PARA RIEGO AGRÍCOLA.

FECHA DE MUESTREO	SITIOS DE MUESTREO	A ₁	A ₂	A ₃	X _m	DILUCION	CONC. mg/L	t ^o S _{xo}	S _{xo}
2/02/95	Agrícola No. 1	29.5	30.0	30.0	29.83	5/100	0.1969	0.0016	0.0004
	Agrícola No. 2	13.5	14.0	14.0	13.83	1/100	0.4390	0.0017	0.0004
	Agrícola No. 3	28.0	27.5	27.5	27.67	5/100	0.1820	0.0016	0.0004
8/02/95	Camino Pionero-Rancho Viejo	37.0	37.0	37.0	37.00	5/10	0.0179	0.0014	0.0003
	San Fco. del Rincón (frente)	38.5	38.0	39.0	38.50	5/10	0.0186	0.0015	0.0003
	Camino Rancho Viejo El Rancho	30.0	30.0	30.0	30.00	5/10	0.0144	0.0013	0.0003
13/02/95	Ejido Acámbaro	29.5	29.0	29.5	29.33	3/10	0.0432	0.0028	0.0007
	Alegra No. 2	16.5	17.0	17.0	16.83	-	0.0069	0.0017	0.0004
	Siranda	23.5	24.0	24.5	24.00	2/10	0.0518	0.0023	0.0005

Tabla 5.4 Resumen de pozos de agua potable con altos contenidos de arsénico.

FECHA DE MUESTREO	SITIOS DE MUESTREO	CONC. mg/L	t ^o S _{xo}
2/02/95	Jaripeo	0.0922	0.0016
	Andocutin	1.0354	0.0017
	Cútaro	0.1325	0.0017
5/02/95	Palo Blanco	0.0853	0.0016
	La Merced-El Ranchito	0.0916	0.0016
9/02/95	Malayas II	0.0751	0.0011
10/02/95	María Vega Galván	1.3912	0.0018
	San Juan Jaripeo (pozo viejo)	0.0533	0.0024
	Héctor Calderón	1.4814	0.0018
	J. Jesús Chávez	0.7858	0.0019
	Rosa Ávila	1.4814	0.0018
14/02/95	Jaripeo No. 1	0.0362	0.0041
15/02/95	San José del Paso	0.0588	0.0011
16/02/95	Las Jicamas	0.0561	0.0010
17/02/95	Jaripeo No. 2	0.0648	0.0007

Tabla 5.5 Resumen de pozos de agua para riego agrícola con altos contenidos de arsénico.

FECHA DE MUESTREO	SITIOS DE MUESTREO	CONC. mg/L	t'S _{xo}
2/02/95	Agrícola No. 1	0.1969	0.0016
	Agrícola No. 2	0.4390	0.0017
	Agrícola No. 3	0.1820	0.0016

5.2 Discusión

Las muestras de agua provenientes de la zona afectada en el estado de Guanajuato, se analizaron en el laboratorio central de la Comisión Nacional del Agua, utilizando la técnica de generador de hidruros de absorción atómica, siguiendo los protocolos analíticos MA-AA-02, "Método espectrofotométrico de absorción atómica por generación de hidruros" y bajo los procedimientos del programa de control de calidad vigente en el laboratorio central (CNA, 19., Anexo 1).

De acuerdo a los resultados obtenidos y comparando con los límites máximos permisibles propuestos por SEDUE (1989) para arsénico en fuentes de abastecimiento y uso agrícola, se tiene lo siguiente:

En la tabla 5.2, se observan los resultados para 110 fuentes de abastecimiento monitoreadas. De los datos, se tiene que 15 de éstos rebasaron el límite establecido por SEDUE (1989), para fuentes de abastecimiento y que es de 0.05 mg/L, este número de pozos representa el 13.64 % del total de fuentes monitoreadas.

El intervalo en que se encontraron estos valores va de una concentración de 0.0535 mg/L (Jariego) a 1.4880 mg/L (Rosa Avila y Héctor Calderón; Fig. 5.1; Tabla 5.4).

Como se puede observar, los valores más altos rebasan casi tres veces el límite permisible para fuentes de abastecimiento, lo cual representa un riesgo para la salud del consumidor.

Una vez analizados los resultados y de acuerdo con la Fig.5.1, se establece que el problema de concentraciones elevadas de arsénico no presenta un patrón de distribución uniforme, por lo que se descarta la posibilidad de una contaminación inducida. Al observar las curvas de concentración equivalente de arsénico, los valores altos se concentran en los flancos de lomeríos que dividen la depresión de Cuitzeo con el Valle de Acámbaro.

En la figura 5.1, se puede observar que la distribución es azarosa, pero presenta una ligera tendencia hacia el noreste del lago de Cuitzeo y oeste de Acámbaro, lo que puede deberse a :

- a) Presencia de arsénico en la zona por la naturaleza geológica del suelo, lo que representa una franja con significativo contenido de arsénico.
- b) Posibles prácticas agrícolas en el pasado que en esa zona utilizaban plaguicidas arsenicales.
- c) Enriquecimiento del contaminante durante el tránsito del agua subterránea hacia ambos valles.

La posibilidad de contaminación inducida es descartada debido a que se realizó un barrido para otros metales pesados, los cuales resultaron en cantidades traza, por lo que pueden considerarse concentraciones naturales.

Con respecto a los pozos para riego agrícola, de los 9 pozos monitoreados, 3 rebasaron el límite máximo permitido para este uso de acuerdo a los criterios ecológicos (SEDUE, 1989) que es de 0.1 mg/L, en un intervalo que va de 0.4376 mg/L (Agrícola No. 2) a

0.1838 mg/L (Agrícola No. 3). Estos pozos representan el 30 % del total monitoreado (Tabla 5.5).

Una vez obtenidos los valores de concentraciones en los pozos monitoreados, se informó de inmediato a las autoridades, ya que existía un alto riesgo para la población. El Gobierno Federal, junto con el Estatal, resolvieron clausurar los pozos con alto contenido de arsénico e iniciar un estudio para obtener fuentes alternativas de abastecimiento de agua potable a las poblaciones afectadas: Andocutín, Jaripeo, Cútaró, Palo Blanco, La Merced-El Ranchito y la parte sur de la ciudad de Acámbaro (pozos Malayas II) (Fig. 5.2).

Con fundamento en estos resultados, se propone que en estudios posteriores se consideren los siguientes aspectos:

- a) Ingesta diaria admisible de la población. Debido a que algunos habitantes presentaban síntomas de arsenicismo, se propone la realización de un estudio de contenido de arsénico en agua de consumo, vegetales, carne, pescados, mariscos, frijoles, etc., para determinar la ingesta diaria de los pobladores y establecer los agentes causales del arsenicismo reales en la zona.
- b) Monitorear el lago de Cuitzeo y los cuerpos de agua que sean utilizados por los lugareños, para determinar si no existe la posibilidad de afectación por tóxicos.
- c) Realizar un estudio epidemiológico en la zona afectada y seleccionar una zona testigo con las mismas características ambientales, pero que no haya presentado problemas de presencia de arsénico, para establecer el riesgo potencial a que puede estar expuesta la población.
- d) Establecer redes de monitoreo de calidad del agua y redes de monitoreo ambiental, que incluya fauna y flora acuáticas y terrestres.

Después de estas consideraciones básicas, se propone un sistema de eliminación de arsénico, cuya aplicación en zonas con problemas similares a la estudiada, ha dado buenos resultados.

5.3 Propuesta tratamiento para remoción de arsénico.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la parte experimental, se llega a la necesidad de tratar el agua de los pozos, para recuperar estas fuentes de abastecimiento y colaborar en el uso eficaz del recurso, por lo que se propone aplicar un proceso de

tratamiento que remueva el arsénico y que considere las condiciones particulares de la región.

En la selección de un proceso de tratamiento de agua deben considerarse diferentes factores, tales como:

- Calidad del agua a tratar

- Calidad requerida del agua

- Requerimientos de operación

- Capacidad y disponibilidad de personal

- Disponibilidad de espacio para el tratamiento

- Inversión y costos de operación y mantenimiento

Para el caso específico de la presencia del arsénico en fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano, se ha utilizado una amplia variedad de tratamientos avanzados o no convencionales.

En la región del estudio a que se refiere el presente trabajo es importante señalar, que la zona de Andocutín y las poblaciones mencionadas con anterioridad el número de pobladores es inferior a 5000 habitantes; señalándose como comunidades rurales.

En la mayoría de los casos los pozos de agua potable abastecen a una sola localidad; por lo que, considerando una dotación - para comunidades rurales - promedio de 150 L/habitantes/segundo, se estima que los gastos de suministro de agua potable son de tres a nueve litros por segundo. Tomando en cuenta - en primera instancia - los niveles de contaminación presentes y los límites máximos de concentración permitidos, así como condiciones - económicas y tecnológicas - específicas de la zona, aunadas a la exigencia

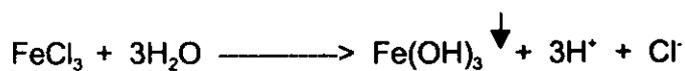
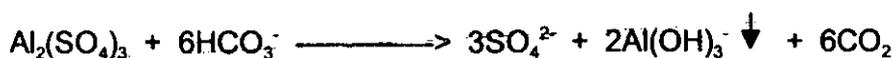
ambiental de considerar el gasto energético, se propone la coagulación con cloruro férrico y posterior filtración como alternativa para la eliminación de arsénico del agua.

- Proceso de Coagulación

La coagulación es un proceso para la combinación de pequeñas partículas en grandes agregados; esto es un componente esencial en la práctica del tratamiento de las aguas como es la coagulación. La sedimentación y filtración se combinan en serie para remover partículas del agua adicionalmente. Esta perspectiva es usualmente sin embargo, incompleta en dos importantes caminos. Primero, muchos contaminantes concernientes a la salud humana son partículas en sí mismas organismos patógenos o están asociados con partículas sólidas ciertamente como metales, pero la coagulación de agregados de partículas es un componente importante en el tratamiento para la remoción de muchos contaminantes relacionados con la salud. Segundo, sustancias reactivas con algunos coagulantes han sido la base para la remoción de color por sales de aluminio y hierro (III). Estas sustancias orgánicas están presentes en todas las aguas superficiales y en muchas aguas subterráneas, ellos acomplejan los metales.⁵ Este tratamiento se aplica en situaciones específicas, por ejemplo, cuando:

1. El agua contiene gran cantidad de compuestos tóxicos
2. Los componentes del agua no son biodegradables
3. Los reactivos para el tratamiento están disponibles a bajo costo
4. Se desea garantizar la sedimentación de los sólidos
5. Se desea aumentar la eficiencia de un tratamiento avanzado

Entre los reactivos más empleados se encuentran iones metálicos de aluminio y hierro, los cuales se hidrolizan rápidamente formando precipitados insolubles. A continuación se muestran algunas de las reacciones químicas que tienen lugar:



El proceso de coagulación es practicado en el tratamiento del agua y puede ser considerado en tres pasos separados y secuenciales: Formación del coagulo, desestabilización de la partícula y colisiones interpartículas.

Cuando el aluminio es usado en la coagulación, las especies químicas reactivas durante el proceso son formadas durante y después de la mezcla del aluminio y sulfato, ya que estos iones no están directamente involucrados en el proceso de la coagulación; por lo que se requiere de agentes coadyuvantes para la coagulación que son materiales usados en concentraciones relativamente pequeñas y que aceleran el fenómeno. Estas se clasifican en: a) oxidantes (cloro y el ozono), b) agentes ponderados (arcilla), c) sílice activado y d) polielectrolitos.

Cuando una sal metálica como el sulfato de aluminio o el cloruro férrico es adicionado al agua en concentraciones suficientemente altas para la precipitación de un hidróxido metálico, partículas coloidales puede ser atrapadas en estos precipitados coloidales. este proceso es una combinación de desestabilización y transporte y es altamente empleado en el tratamiento del agua y utilizándose en combinación con el mezclado, floculación y sedimentación.

La coagulación es una técnica de tratamiento efectiva para la eliminación de arsénico cuando se utilizan Cloruro férrico y alumbre como coagulantes. Ambos compuestos poseen el mismo grado de eficiencia en la remoción de As(V) a pH<7.5 cuando se aplican en cantidades iguales (base molar). Sin embargo, el fierro resulta ser más efectivo que el aluminio en la eliminación de As(III), en la eliminación de As(V) a pH>7.5 y en la prevención de la formación de residuos flotantes de metales coagulantes a pH arriba de 8.0⁶.

En dosis de 30 mg/L de sulfato de aluminio y sulfato férrico (AWWA, 1990) para remover más del 90% de arsénico presente en forma de (arsenato) As(V) presente inicialmente en 0.05 mg/L. El sulfato férrico es efectivo en el rango de pH de 5 a 8 y el aluminio de 5 a 7. La remoción del arsénico(III) (arsenito) ocurre sólo cuando ha sido oxidado a As(V) con cloro. Se ha demostrado que una dosis de 30 mg/L de coagulante es capaz de realizar una remoción elevada de As(V) de muestras que contenían concentraciones de arsénico arriba de 1.5 mg/L.

El incremento de las dosis de coagulación es efectivo al mantener altos niveles de remoción cuando la concentración inicial del arsénico se incrementa. El sulfato férrico ha demostrado que puede llevar a cabo mayor remoción que el aluminio con el mismo incremento de dosis.

Arsénico (V) [- Coagulación con Sulfato Ferroso a pH 6-8
- Coagulación con Aluminio a pH 6-7
- Cal a pH > 10.5

Arsénico (III) [- Coagulación con Sulfato Ferroso pH 6-8, *
- Coagulación con Aluminio a pH 6-7 *
- Cal a pH > 10.5 *

*Sin embargo se requiere la oxidación a As(V) por cloración

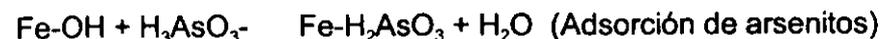
Estudios previos han concluido que el arsenato es eliminado más eficientemente que el arsenito del agua, ya que se requiere de una oxidación del arsenito a arsenato para que se lleve a cabo una remoción efectiva del arsénico.⁷

Por lo anterior de los floculantes disponibles para la eliminación de metales pesados del agua se seleccionó el cloruro férrico; lo cual es reforzado con resultados de trabajos experimentales como:

- La adición de coagulantes de fierro y aluminio al agua facilita la conversión de especies solubles de As(V) y As(III) en insolubles. Estos productos se forman por precipitación, coprecipitación o por mecanismos de adsorción.

La precipitación se refiere a la disminución de la solubilidad de contaminantes al exceder el producto de solubilidad, en este caso $\text{Fe}(\text{AsO}_4)$ ó $\text{Al}(\text{AsO}_4)$ sólidos.

La adsorción se refiere a la formación de complejos entre la superficie del arsénico soluble y los "sitios" en la superficie sólida del oxihidróxido como se indica en las reacciones siguientes:



en donde Fe-OH es un sitio de la superficie de hidróxido.

- También se ha demostrado experimentalmente⁸ que tanto la adición de Fe(III) (FeCl_3) y Al(III) (alumbre) al agua que contiene arsénico (formación de hidróxidos in situ) así como

la adición de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y $\text{Al}(\text{OH})_3$ (adición e hidróxidos) son efectivos para la remoción de arsénico a dosis de 27 mg/L de alumbre y 14mg/L de FeCl_3 a $\text{pH} < 7.5$.

Sin embargo, la remoción de $\text{As}(\text{V})$ utilizando FeCl_3 o alumbre es cinco veces más efectiva que cuando se utilizan los hidróxidos de aluminio y hierro. El análisis de estos resultados sugiere que se forman sólidos de gran área de superficie in situ, o que la coprecipitación es un mecanismo operativo de eliminación.

- La eliminación de $\text{As}(\text{V})$ y $\text{As}(\text{III})$ por coagulación con AlCl_3 y alumbre se ve afectada por el pH, la dosis de coagulante, sin embargo, la sensibilidad a cada parámetro depende de las condiciones específicas del proceso.

- El porcentaje de eliminación de $\text{As}(\text{V})$ es independiente de la concentración del analito.

- No se ha encontrado relación entre la remoción de turbiedad y la remoción de arsénico, sin embargo una buena remoción de turbiedad es prerequisite para tener una buena remoción de arsénico.

- Estudios realizados Scott y Green⁹ han demostrado que una dosis de 6.5 mg/L de FeCl_3 como coagulante elimina arsénico con una eficiencia del orden del 90% sin incrementar significativamente los costos de operación.

El proceso de tratamiento para eliminación de arsénico del agua por coagulación con cloruro férrico es de operación sencilla y económica, por lo cual resulta viable para su aplicación en la eliminación de arsénico en los pozos de agua potable que dan servicio a poblaciones rurales del Valle de Andocutín del estado de Guanajuato.

En vista de que la adquisición de cloruro férrico y del hidróxido de sodio (NaOH) que se utiliza para restablecer el pH del efluente, pudieran incrementar aparentemente el costo del tratamiento, esto se ve compensado, ya que este coagulante, produce mucho menor

cantidades de lodos que los que produce el alumbre por lo que son fácilmente removidos con una filtración sencilla; sin necesidad de tratamiento de residuos (lodos).

Referencias:

¹ Estadística para Química Analítica. J.C. Miller, J.N: Miller. ADDISON-WESLEY IBEROAMERICA

² Estadística para Química Analítica. J.C. Miller, J.N: Miller. ADDISON-WESLEY IBEROAMERICA

³ Estadística para Química Analítica. J.C. Miller, J.N: Miller. ADDISON-WESLEY IBEROAMERICA..

⁴ Estadística para Química Analítica. J.C. Miller, J.N: Miller. ADDISON-WESLEY IBEROAMERICA..

⁵ Water Quality and treatment. American Water Works Associaton. A Handbook of Commiunity Water Supplies. p.p. 269.

⁶ Arsenic removal by coagulation. Karen N. Scott, James F. Green, Hoang D. Do, and Stephen J. McLean

⁷ Arsenic removal by coagulation. Karen N. Scott, James F. Green, Hoang D. Do, and Stephen J. McLean

⁸ Chemistry of arsenic removal during coagulation and Fe-Mn oxidation. Marc Edwards. JOURNAL AWWA

⁹ Arsenic removal by coagulation. Karen N. Scott, James F. Green, Hoang D. Do, and Stephen J. McLean

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

- Siguiendo el Procedimiento de Muestreo (Anexo II) de la Comisión Nacional del Agua, se recolectaron las muestras para la determinación cualitativa y cuantitativa de arsénico en fuentes de abastecimiento de agua potable de la zona del Valle de Andocutín, Gto.
- Se identificaron las fuentes de abastecimiento de agua potable que sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos por los criterios ecológicos de calidad vigentes en el país.
- De un total de 110 pozos de agua potable analizados, en quince de ellos se encontraron concentraciones de arsénico por encima del límite máximo establecido por el criterio ecológico (0.05 mg/L)
- De un total de nueve pozos de agrícolas analizados, en tres de ellos se encontraron concentraciones de arsénico por encima del límite máximo establecido por el criterio ecológico (0.1 mg/L)
- Se identificaron en la región afectada los pozos con mayor probabilidad en base a la incidencia de casos reportados de lesiones cutáneas provocadas por arsénico y la información disponible del acuífero de la región.
- Se aseguró la inocuidad de los abastecimientos de la región con la realización del muestreo en un perímetro mayor al de la zona más afectada.

- Los diversos valores encontrados para las zonas con mayor contenido de arsénico en pozos de agua se ubican en regiones de características muy similares (valles y sitios al pie de formaciones rocosas).
- Las zonas con menor cantidad de arsénico se localizan en el Valle de Acámbaro e Irámuco - Puerto de las Cabras.
- Dadas las características de la zona afectada la revisión de los métodos para eliminación de arsénico, nos permite recomendar el proceso de floculación-coagulación, como una alternativa (sujeta a evaluación) para la eliminación del arsénico en agua potable.

RESIDUOS TOXICOS Y PELIGROSOS

Carlos Martínez Orgado

Madrid Ministerio de Obras Públicas y Transportes

Centro de Publicaciones, 1991

Unidades Temáticas Ambientales de la Secretaria de
Estado para las Políticas del Agua y el Medio Ambiente

LEGISLACION VIGENTE ESPAÑOLA Y DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS

RESIDUOS TOXICOS Y PELIGROSOS

TRATAMIENTO Y ELIMINACION

(Comunicaciones y ponencias del Seminario sobre Tratamiento y Eliminación de residuos tóxicos y peligrosos celebrado en Madrid los días 19 al 20 de Mayo de 1987, Organizado por la U.S.E.P.A. y la Dirección General de Medio Ambiente Ministerio de Obras Públicas y Transportes 1991.

METODOS INSTRUMENTALES DE ANALISIS

Hobart H. Willard, Lynne L. Merritt, Jr. John A. Dean

1991 por Grupo Editorial Iberoamérica S.A. de C.V.

**TRATAMIENTO NO CONVENCIONAL PARA LA REMOCION DE
CONTAMINANTES TOXICOS PRIORITARIOS PRESENTES EN AGUAS
RESIDUALES**

Jiménez Cisneros Blanca, Becerril Bravo Elias, Navaro Gonzalez Ines, Silvia Martinez Ana, Rosales Cristerna Fernando, Ramírez Zamora Rosa María.
Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

TESIS

TRATAMIENTO DE UN EFLUENTE TERCIARIO PARA SU POTABILIZACION

ING. JUDITH GUADALUPE RAMOS HERNANDEZ

FACULTAD DE QUIMICA DE LA UNAM

WATER TREATMENT PLANT DESIGN

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, AMERICAN WATER WORKS
ASOCIATION

SEGUNDA EDICION 1990 UNITED STATES OF AMERICA.

MCGRAW-HILL PUBLISHING COMPANY

Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología

Septiembre 1991

**DETERMINACION DE METALES.****MA-AA-02 METODO ESPECTROFOTOMETRICO DE ABSORCION
ATOMICA****1. OBJETIVO**

Establecer el método por espectrofotometría de absorción atómica por generador de hidruros para la determinación de arsénico, mercurio y selenio que se encuentran disueltos y suspendidos en agua.

2. APLICACION

El método de espectrofotometría de absorción atómica es aplicable en aguas naturales y residuales.

3. IMPORTANCIA SANITARIA

Los efectos de los metales en aguas potables y residuales pueden ser benéficos, tóxicos o simplemente molestos. Algunos metales resultan esenciales, mientras que otros pueden perjudicar a los consumidores del agua, a los sistemas de tratamiento de aguas residuales y a los de aguas de depósitos. En muchos casos el potencial benéfico depende de la concentración.

4. REFERENCIAS

- NOM-AA-3 "Aguas Residuales- Muestreo"
- NOM-AA-14 "Cuerpos Receptores- Muestreo"
- NOM-BB-14 "Clasificación y tamaños nominales para utensilios de vidrio usados en laboratorio"
- NOM-Z-1 "Sistema general de unidades de medida. (SI) Sistema de Unidades.

5. FUNDAMENTO

Este método se basa en la medición de la cantidad de luz monocromática absorbida por el elemento atomizado a determinarse en generador de hidruros, por medio de un detector, siendo dicha energía absorbida proporcional a la concentración del elemento.

6. PRESERVACION Y ALMACENAMIENTO

La muestra se debe coleccionar en frascos de polietileno. Acidificar la muestra a un pH de 2 o menor con ácido nítrico. Se recomienda analizar la muestra lo más rápidamente posible, de no ser así mantenerla en refrigeración a 4 °C.



**COMISION NACIONAL
DEL AGUA**

7. INTERFERENCIAS

A pesar que la técnica está sujeta a una variedad de interferencias, con la generación de los hidruros se es capaz de analizar muchas muestras de naturaleza compleja que son difíciles o casi imposible de analizar por algún otro método. Estos hechos hacen que la absorción atómica con generación de hidruros sea una importante técnica analítica ampliamente usada.

La técnica para eliminar interferencia que se puede usar es la adición de estándares.

Una de las interferencias que podemos encontrar es cuando la muestra al ser atomizada presenta espuma, entonces se debe retirar del generador. Si llega a pasar a la celda de atomización, se debe apagar la temperatura de la camisa, dejar enfriar, se lava la celda con ácido fluorhídrico durante 10 minutos, enjuagar hasta quitar todo el ácido, con agua secar al medio ambiente, las paredes de la celda lavarlas con una solución de ácido nítrico y agua, 3:10 enjuagar con agua destilada y dejar secar al medio ambiente. Instalar la celda al sistema del generador de hidruros y continuar.

8. EQUIPO Y MATERIAL

8.1. Equipo

- Espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer 5000. Este aparato consiste de una fuente de luz que emite el espectro de línea de un elemento (lámpara de cátodo hueco y lámpara de descarga sin electrodos) y un sistema para atomizar la muestra generador de hidruros MHS-20.
- Un medio para aislar la línea de resonancia a un longitud de onda determinada (monocromador), un detector fotoeléctrico con equipo de amplificación y medición electrónica.
- Dispositivos adicionales al instrumento:
- Registrador, fuente de poder para la lámpara de descarga sin electrodos.
- El sistema de hidruros es un accesorio automatizado del espectrofotómetro de absorción atómica que permite altas sensibilidades para la determinación de selenio, arsénico y mercurio.
- El sistema de hidruros consta de analizador, ensamble, celda de cuarzo térmica y una caja de control.



- El analizador consta de dos frascos de depósito, uno del agente reductor y otro de la muestra, los componentes neumáticos portadores del gas nitrógeno y los transportadores de los vapores metálicos a la celda de cuarzo.
- El ensamble y la celda de cuarzo consta de un manto de calefacción. Este es calentado eléctricamente y cubre la celda de cuarzo. Esta celda se pone en dirección longitudinal con respecto al haz de luz del espectrofotómetro. El rango de la temperatura de la celda está entre 100 a 900°C, la cual es monitoreada por un sensor en el manto de calefacción y se mantiene por un circuito de realimentación.
- La celda está conectada al analizador con tubo de manguera flexible. Y los extremos de la celda están cerrados con ventanas de cuarzo fácilmente removibles.
- Los controles de operación están localizados en la caja de control.

8.2. Material

- Matraz aforado de 1000 mL
- Matraz aforado de 500 mL
- Matraz aforado de 250 mL
- Matraz aforado de 100 mL
- Matraz aforado de 50 mL
- Matraz aforado de 25 mL
- Matraz aforado de 10 mL
- Matraz aforado de 5 mL
- Matraz Erlenmeyer de 250 mL
- Pipeta volumétrica de 100 mL
- Pipeta volumétrica de 50 mL
- Pipeta volumétrica de 25 mL
- Pipeta volumétrica de 10 mL
- Pipeta volumétrica de 5 mL
- Pipeta volumétrica de 4 mL
- Pipeta volumétrica de 3 mL
- Pipeta volumétrica de 2 mL
- Pipeta volumétrica de 1 mL
- Pipeta volumétrica de 0.5 mL
- Pipeta serológica de 10 mL
- Pipeta serológica de 5 mL
- Pipeta serológica de 1 mL
- Micropipeta de 1000 μ L
- Micropipeta de 500 μ L



**COMISION NACIONAL
DEL AGUA**

- Micropipeta de 250 μL
- Micropipeta de 100 μL
- Micropipeta de 50 μL
- Micropipeta de 25 μL
- Micropipeta de 10 μL
- Micropipeta de 5 μL
- Probeta de 1000 mL
- Probeta de 500 mL
- Probeta de 250 mL
- Probeta de 100 mL
- Probeta de 50 mL
- Probeta de 25 mL
- Vaso de precipitado de 1000 mL
- Vaso de precipitado de 600 mL
- Vaso de precipitado de 400 mL
- Vaso de precipitado de 100 mL
- Vaso de precipitado de 50 mL
- Botella de polietileno de 1000 mL
- Botella de polietileno de 500 mL
- Botella de polietileno de 250 mL
- Botella de polietileno de 100 mL
- Embudo de tallo largo
- Puntas para las micropipetas
- Papel filtro Whatman 40
- Pizeta
- Espátula
- Perilla de succión
- Embudo Buchner de porcelana

9. REACTIVOS Y PREPARACION DE SOLUCIONES

9.1. Reactivos

Los reactivos que a continuación se mencionan deben ser suprapuros a menos que se indique otra cosa, cuando se hable de agua destilada se debe entender agua destilada o bidestilada y desionizada. Soluciones estándares Tritisol deben almacenarse en recipientes de polietileno.

9.1.1. Para la determinación de arsénico, mercurio y selenio por atomización de generador hidruros:

- Acido clorhídrico (HCl) concentrado.
- Acido nítrico (HNO_3) concentrado.
- Borohidruro de sodio (NaBH_3)
- Hidróxido de sodio (NaOH)



**COMISION NACIONAL
DEL AGUA**

- Solución de permanganato de potasio al 5% libre de mercurio (Perkin Elmer).
- Ampolleta tritisol Merck de arsénico.
- Ampolleta tritisol Merck de mercurio.
- Ampolleta tritisol Merck de selenio.
- Gas nitrógeno grado absorción atómica.

9.2. Preparación de soluciones

- Borohidruro de sodio.- Disolver 3 g de borohidruro de sodio en una solución de 1 g de NaOH en 100 mL de agua, filtrar.
- Acido nítrico al 1.5 %.- Diluir 25 mL de ácido nítrico en 1000 mL de agua.

10. PROCEDIMIENTO

10.1. Pretratamiento de la muestra.

La muestra se debe coleccionar en frascos de polietileno de acuerdo como se indica en la Norma NOM-AA-3 "Aguas residuales - Muestreo" y la NOM-AA-14 "Cuerpos receptores-Muestreo" según sea el caso.

El tratamiento de la muestra dependerá del tipo de metales que se vayan a determinar. Si se requiere metales totales o extractables no se debe filtrar la muestra; si se desea determinar metales disueltos, la muestra se filtra a través de papel filtro (previamente lavado con una solución de ácido nítrico 1:1 y un enjuague posterior con agua destilada).

En cualquier caso acidificar la muestra con ácido nítrico concentrado hasta un pH de 2 o menor.

Si la muestra contiene materiales suspendidos o materia orgánica se requiere otro tratamiento específico que consistirá en una digestión. De ser posible, filtrar y acidificar la muestra en el momento de su extracción en el campo dependiendo del tipo de análisis que se vaya a efectuar.



**COMISION NACIONAL
DEL AGUA**

10.2. Tratamiento de la muestra para el análisis de metales totales.

Homogenice la muestra y transfiera un volumen de 100 mL a un matraz erlenmeyer de 250 mL, y adicione 2 mL de ácido nítrico, tape y lleve a la digestión en una autoclave por 20 minutos a 120°C y 15 libras de presión. Filtrar con un filtro que ha sido previamente lavado con agua acidulada. Aforar el volumen a 100 mL. La muestra está lista ahora para ser analizada. Las muestras claras se pueden analizar directamente. Reportar los resultados como metales totales, en $\mu\text{g/L}$ o mg/L .

10.3. Tratamiento de la muestra para el análisis de metales suspendidos.

Para la determinación de la concentración de metales suspendidos, se filtra la muestra con un papel filtro y se procede a la digestión del filtro junto con el material que contenga, como se indica en el punto anterior.

Correr un blanco de filtro que permita una corrección de la muestra. Reportar los resultados como metales suspendidos en $\mu\text{g/L}$ o mg/L .

10.4. Determinación de arsénico, mercurio y selenio por generador de hidruros.

Encender el aparato, e instalar una lámpara de cátodo hueco o descarga (mercurio, arsénico o selenio) y aplicar la corriente a ésta según sea el elemento a analizar.

NOTA: Permitir un período no menor a 30 minutos para el calentamiento de las lámparas de descarga sin electrodos.

Alinear la lámpara de acuerdo con la longitud de onda y la abertura de la ranura de acuerdo con la Tabla No. 1.

Tabla No. 1. Condiciones Estándar para Absorción Atómica

Elemento	Corriente de la lámpara (mA)	Longitud de Onda (nm)	Slit (nm)	Límite de detección (mg/L)
Arsénico	8	193.7	0.7	<0.0005
Mercurio	6 - 8	253.7	0.7	<0.0005
Selenio	16 - 16	196.0	2.0	<0.0005

Nota: En caso de que no se logren obtener las condiciones estándar óptimas para los diferentes elementos de acuerdo a esta Tabla, consultar el Manual del Equipo del fabricante para poder trabajar con otras condiciones estándar.



**COMISION NACIONAL
DEL AGUA**

Tabla No. 2. Condiciones Estándar de Operación

Elemento	Purga I (s)	Reacción (s)	Purga II (s)	Temperatura de la Celda (°C)
Arsénico	25	10	40	900
Mercurio	5	15	40	200
Selenio	35	8	30	900

Instalar el generador de hidruros MHS-20. Ver las condiciones estándar de operación en la Tabla No. 2.

Alinear el manto de calefacción verticalmente y transversalmente hasta la mínima absorbancia, colocar la celda de cuarzo y repetir la misma operación, esta celda se pone en dirección longitudinal con respecto al haz de luz del espectrofotómetro. Esperar que se estabilice 30 minutos.

En el frasco de depósito colocar la solución de borohidruro de sodio, se suministra el gas (nitrógeno) y se programan: los tiempos de purga I, II y reacción; y la temperatura en la caja de control. Cuando se tiene la temperatura deseada se dá inicio al análisis.

En el otro frasco se coloca un blanco de reactivos, en la caja de control se oprime el botón de START, se espera a que pase el tiempo de la purga I y cuando empieza el tiempo de la reacción se obtiene la señal de la absorbancia y se grafica en la altura del pico, al término del tiempo de la purga II, el frasco de la muestra se separa y se enjuaga con agua destilada, se procede a hacer lo mismo con los estándares y las muestras.

Los frascos deben tener 10 mL de solución por analizar. El blanco se prepara con una solución de ácido nítrico al 1.5 %. Los estándares se llevan a 10 mL con la misma solución de ácido nítrico al 1.5%. Las muestras que necesiten los 10 mL de ésta, se le agregan 0.5 mL de ácido nítrico. Nota: También se puede usar ácido clorhídrico.



**COMISION NACIONAL
DEL AGUA**

Los estándares se preparan para arsénico:

1 μg de arsénico/mL en 1.5 % de ácido nítrico.
Alícuotas para calibración: 10, 25, 50 μL .
Correspondientes a: 10, 25, 50 ng de As.
Diluyente: Acido nítrico 1.5%.
Volumen de calibración: 10 mL.
Reductor: MHS-20 Borohidruro 3% en Hidróxido de Sodio 1%.

Los estándares se preparan para selenio:

1 μg de selenio/mL en 1.5 % de ácido nítrico.
Alícuotas para calibración: 20, 50, 100 μL .
Correspondientes a: 20, 50, 100 ng de Se.
Diluyente: Acido nítrico 1.5%.
Volumen de calibración: 10 mL.
Reductor: MHS-20 Borohidruro 3% en Hidróxido de Sodio 1%.

Los estándares se preparan para mercurio:

1 μg de mercurio/mL en 1.5 % de ácido nítrico.
Alícuotas para calibración: 100, 200, 500 μL .
Correspondientes a: 100, 200, 500 ng de Hg.
Diluyente: Acido nítrico 1.5%.
Volumen de calibración: 10 mL.
Reductor: MHS-20 Borohidruro 3% en Hidróxido de Sodio 1%.

Para el análisis de mercurio se agregan de 2 a 3 gotas de la solución de permanganato de potasio.

Al término de los análisis. El frasco que contiene el borohidruro de sodio se sustituye con agua destilada; en la caja de control se baja el tiempo a cero de las purgas y se lleva al máximo el tiempo de reacción, se oprime START. Esto se hace con la finalidad de que el sistema se limpie y no tenga problemas de incrustaciones, se repite la operación mínimo tres veces. Se bajan a cero todos los tiempos, se cierra el gas y se apaga la caja de control. Se baja la energía a la lámpara y se lleva la longitud de onda a 320 nm y se apaga el instrumento.

Calibración del equipo:

Es necesario comprobar que se tiene una calibración inicial y periódica aceptable.



**COMISION NACIONAL
DEL AGUA**

La sensibilidad de absorción atómica se considera generalmente como la concentración que representa el 1 % de absorción ó 0.0044 unidades de absorbancia bajo condiciones de operación dada. Si el instrumento está operando a la máxima sensibilidad, este valor es equivalente a la concentración mínima requerida para ser detectada.

El límite de detección es la concentración dada por una señal correspondiente al doble de la señal del ruido, medido al nivel de 0% de absorbancia. Este valor será equivalente a la concentración mínima requerida para ser detectada si el instrumento opera a su máxima sensibilidad y el menor ruido.

El instrumento debe calibrarse para el analito a determinar usando el blanco de calibración, preparados a 3 o 4 niveles de concentración dentro del rango lineal del analito. Se deben registrar al menos dos réplicas de la absorbancia de cada uno.

Para verificar que el instrumento no presenta variación por cada 10 análisis se deberá analizar el blanco de calibración y un estándar de calibración. Si el valor verdadero del analito varía $\pm 10\%$, el instrumento debe calibrarse. Si el error persiste debe identificarse el problema y corregirse.

Si la muestra ha sido sujeta a una digestión se deben tratar a la par un blanco y un estándar del analito a determinar. Si se requiere el método de adiciones los resultados obtenidos por este método son válidos si:

- La curva analítica es lineal;
- la forma química del analito es la misma que en la muestra;
- el efecto de interferencia es constante en el intervalo de trabajo.

Elaborar una curva de calibración graficando absorbancia contra concentración del analito.

10.5. Cálculos.

Preparar una curva de calibración obtenida de las lecturas de los estándares. Determinar el contenido del metal en la muestra, por medio de la curva de calibración dependiendo de la absorción espectral leída. Reportar los resultados en mg/L.



**COMISION NACIONAL
DEL AGUA**

11. INFORME DE LA PRUEBA

Debe incluir lo siguiente:

- Identificación completa de la muestra
- Contenido de metales, en mg/L.
- Referencia a este método de prueba.
- Fecha de prueba.

12. BIBLIOGRAFIA

- Norma Oficial Mexicana NOM-AA-51-1981. "Análisis de Agua".
- Determinación de metales.- Método espectrofotométrico de absorción atómica". México, D.F. 1981.
- APHA-AWWA-WPCF.- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 17a. Edición.- Editado por Clesceri, L.S., Greenberg, A.E y Trussel. R.R.- 1989.
- Manual de Muestreo y Análisis de Agua Potable, Residual y Renovada.- Volumen V, Departamento del Distrito Federal 1986.



**COMISION NACIONAL
DEL AGUA**

MANUAL DE MUESTREO, MEDICIONES DE CAMPO EN CUERPOS DE AGUA Y DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES

CONTENIDO

- 1. INTRODUCCION**
- 2. OBJETIVO**
- 3. EQUIPO Y MATERIAL**
 - 3.1. Equipo
 - 3.2. Material
 - 3.2.1. Recipientes
 - 3.2.2. Tapas y cierres
 - 3.2.3. Pretratamiento y/o limpieza
 - 3.3. Reactivos
 - 3.4. Papelería
 - 3.5. Hoja de registro de campo
 - 3.6. Otros materiales
- 4. ACTIVIDADES EN UN MUESTREO**
 - 4.1. Visita en la estación de muestreo
 - 4.2. Elaboración de croquis
- 5. TECNICAS GENERALES DE MUESTREO**
 - 5.1. Tipos de muestra
 - 5.2. Toma de muestra
 - 5.2.1. Preservación de la muestra
 - 5.2.2. Manejo y transporte de las muestras
 - 5.3. Muestreo de Aguas Residuales
 - 5.3.1. Procedimiento
 - 5.3.2. Muestreo en tomas
 - 5.3.3. Muestreo en descargas libres
 - 5.3.4. Muestreo canales y colectores
 - 5.3.5. Obtención de muestras compuestas



**COMISION NACIONAL
DEL AGUA**

- 5.4. Muestreo en Cuerpos Receptores
 - 5.4.1. Procedimiento
 - 5.4.2. Muestreo en corrientes
 - 5.4.3. Muestreo en lagos, lagunas, presas y embalses
 - 5.4.4. Muestreo de pozos y tanques elevados

- 6. **MEDICIONES DE CAMPO**
 - 6.1. Gasto
 - 6.1.1. Métodos de Determinación más Comúnmente Empleados
 - 6.1.2. Métodos Generalmente Empleados
 - 6.2. Temperatura
 - 6.3. Potencial de hidrógeno (pH)
 - 6.4. Oxígeno disuelto
 - 6.5. Conductividad

- 7. **BIBLIOGRAFIA**



1. INTRODUCCION

El deterioro en la calidad del agua, es consecuencia directa del vertido sin previo tratamiento de las aguas residuales municipales, agrícolas e industriales, que contienen grandes cantidades de sustancias contaminantes; la naturaleza de éstos y sus efectos sobre los cuerpos de agua, variarán dependiendo del origen de las aguas, del tipo de contaminantes y de los volúmenes descargados, motivo por el cual es necesario conocer la calidad del agua de las mismas, iniciando un estudio con el Muestreo.

El muestreo de un cuerpo de agua es de vital importancia e imprescindible para obtener datos concernientes a sus características físicas, químicas y biológicas. Por lo que el muestreo en este caso no es más que la actividad de recolección de una pequeña porción del total de un cuerpo de agua y ello representa el carácter y calidad de la masa volumétrica de la cual se toma.

La realización de un adecuado muestreo es el inicio de un buen análisis, el cual generará resultados de gran confiabilidad que serán utilizados para evaluar y proponer las distintas alternativas de solución a los problemas de contaminación del recurso hidráulico.

La representatividad de la muestra se consigue siguiendo procedimientos apropiados de muestreo y considerando que el agua está sujeta a diversos factores que pueden afectar sus características de calidad.

También en este manual se indican algunos conceptos de interés que deben tomarse en cuenta en el momento de realizar una visita de inspección de instalaciones que descargan aguas residuales.

2. OBJETIVO

El principal objetivo de este manual es el de uniformizar los trabajos de campo y laboratorio para lograr la recolección de muestras representativas de los diferentes cuerpos de agua en estudio.

3. EQUIPO Y MATERIAL

3.1. Equipo.

- Muestreador automático

La aplicación de estos equipos se realiza por lo general en estaciones fijas



- Aparatos para la realización de las pruebas de campo: medidor de oxígeno disuelto, medidor de conductividad con electrodo, termómetro, potenciómetro de campo y malla para determinación de materia flotante.

3.2. Material.

3.2.1. Recipientes

Un recipiente muestreador debe reunir las siguientes características: Debe ser material inerte al tipo de aguas que se vaya a muestrear, estar provisto de un mecanismo que permita el muestreo a diferentes profundidades y su capacidad debe ser tal, que la muestra sea representativa del estrato o nivel muestreado. Generalmente se emplean Equipo Vandor, baldes o cubetas de plástico para análisis fisicoquímicos y metales pesados, y, en el caso de análisis bacteriológicos, fenoles y grasas y aceites, se muestrean directamente en el recipiente.

Los recipientes para las muestras deben ser de materiales inertes al contenido de las mismas. En caso de los recipientes para muestras a las que se les vá a efectuar análisis bacteriológicos deben ser de materiales resistentes a las presiones y temperaturas requeridas para la esterilización.

La capacidad de los recipientes para muestras debe ser mínimo de 3 litros para muestras a las que se les va a determinar parámetros fisicoquímicos entre los que se incluyan además de otros, los siguientes: determinación de DBO, nitrógeno orgánico, total y/o amoniacal por el método de Kjeldahl y determinación de boro.

También para la realización de análisis especiales, los recipientes deben tener capacidad mínima de 3 litros, en especial si se requiere concentrar la muestra para la determinación de trazas o ppb de un compuesto o elemento específico. Este criterio es válido tanto para las muestras líquidas como para las muestras semisólidas (lodos y sedimentos) asociadas con los cuerpos receptores.

En el caso de los recipientes para análisis bacteriológicos la capacidad no debe ser mayor de 250 mL.

3.2.2. Tapas y cierres.

Las tapas deben proporcionar un cierre hermético en los recipientes (de ser posible buscar aquellas que están provistas de corcho o película selladora),



y ser de un material afín al del recipiente. Es decir, deben ser también inertes al contenido de las muestras y en el caso de los recipientes para análisis bacteriológicos, deben también ser de materiales resistentes a las presiones y temperaturas requeridas para la esterilización.

Adicionalmente, las tapas de los frascos para análisis bacteriológicos deben estar cubiertas exteriormente con papel aluminio o con papel estraza esterilizado al mismo tiempo que el frasco y la tapa. En el caso de botellas con tapón esmerilado se coloca una tira de papel entre la tapa y el cuello de la botella para que sea fácil abrirla al momento de muestrear.

Por lo que toca a análisis especiales como trihalometanos, gasolinas, etc., las tapas deben llevar el mismo pretratamiento que los frascos y deben recubrirse interiormente con materiales inertes al contenido de las muestras, según la determinación a realizarse.

3.2.3. Pretratamiento y/o limpieza

Los envases para análisis fisicoquímicos deben estar perfectamente limpios, libres de cualquier residuo químico, enjuagados y luego enjuagarlos con el agua que se va a muestrear, además estarán debidamente identificados.

Es recomendable limpiar los envases de acuerdo al tipo de muestra que se va a tomar.

Grasas y Aceites: Se deberán enjuagar con un solvente y secarlos al aire

Fosfatos: Enjuagarse con agua acidulada y después con agua destilada

Bacteriológicos: Los frascos deben estar estériles, de ser las aguas cloradas (agua potable) adicionar al frasco antes de esterilizar 0.1 mL de tiosulfato de sodio $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ al 10% por cada 100 mL de muestra. Esto se realiza para neutralizar la acción del cloro residual.

Detergentes: Lavar el frasco con mezcla crómica. Una vez limpio enjuagarlo con agua acidulada y posteriormente con agua destilada.



Es importante que los envases de muestreo para estos parámetros sean de uso exclusivo.

3.3. Reactivos

Reactivos para preservación de las muestras. Sólo se permite agregar a las muestras los preservativos indicados en los Métodos Normalizados de prueba (ver cuadro).

3.4. Papelería

- Se pueden emplear bolígrafos, marcadores de tinta indeleble, lápiz graso, plumones para trabajo de laboratorio, etc., tales que no sufran alteraciones con el agua.
- Etiquetas para las muestras: Pueden emplearse etiquetas grandes autoadheribles o cinta autoadherible no transparente (masking tape), libres de humedad, polvo, grasa y cualquier otro factor que dificulte la escritura sobre ellas y cuyo engomado esté en buen estado. Su objetivo es que en cualquier momento sea posible identificar las muestras. Estas etiquetas deben contener como mínimo la siguiente información:
 - a) Identificación de la muestra
 - b) Número de muestra
 - c) Fecha y hora de muestreo

3.5. Hoja de Registro de Campo

Se debe llevar una Hoja de registro de campo con la información que permita identificar el origen de la muestra y todos los datos que en un momento dado permitan repetir el muestreo.

Se recomienda que la hoja de registro de campo contenga la siguiente información:

- a) Los datos citados en etiquetas de muestreo.
- b) Temperatura de la muestra
- c) Profundidad a la que se tomó la muestra
- d) Nombre y firma del muestreador
- e) Resultados de pruebas de campo practicadas en el lugar de la descarga.



- f) Cuando proceda, el gasto o flujo de la descarga de aguas residuales que se muestreó.
- g) Descripción detallada del punto de muestreo de manera que cualquier persona pueda tomar otras muestras en el mismo lugar.
- h) Descripción cualitativa del olor y el color de las aguas residuales muestreadas.
- i) Número de muestra
- j) Fecha y hora de muestreo
- k) Nombre de los análisis a efectuar.

3.6. Otros materiales

- Rollo de papel higiénico
- Hielera o refrigerador móvil
- Pipetas serológicas para los reactivos preservadores
- Pizeta con agua destilada y otra con algún desinfectante
- Cubeta o balde
- Cuerda o lazo 10 m
- Guantes y botas de hule
- Cubrebocas para muestreo de aguas de alta toxicidad, corrosividad y/o insalubridad
- Franela o jerga
- Cámara fotográfica

4. ACTIVIDADES PREVIAS AL MUESTREO

4.1. Visita a la Estación de Muestreo.

Realizar un reconocimiento previo de la zona en donde se establecieron las estaciones de muestreo y las características de las mismas. Posteriormente, visitar la estación a muestrear.

4.2. Elaboración de Croquis.

Realizar un croquis de la ubicación del sitio de muestreo con anotaciones complementarias de la estación. ubicación de estación, aguas arriba y aguas abajo. algún acceso de descarga, canales de retorno, cambios de morfología como caídas rápidas, en caso de (corrientes), etc.



En el caso de cuerpos de aguas subterráneas, como pozos y norias, indicar la obra de construcción del pozo; rudimentario, limpio; medio ambiente sanitario circundante al mismo (porqueriza, animales de corral, etc..), si se encontró con o sin tapa el pozo o noria, profundidad del mismo, medición del ademe y las características de la bomba del pozo y anotaciones simbólicas de lo mencionado en el croquis.

Para cuerpos de agua, lagunas, lagos, presas u otros, anotar la magnitud y morfología. Así como los tipos de descarga que se vierten, las distancias de éstos a las estaciones establecidas (no de las descargas). Lo anterior es con el propósito de observar su área de influencia y la capacidad de autopurificación del mismo, según volumen, magnitud del cuerpo y vertido contaminante.

En ríos, anotar el tipo y número de descargas de aguas residuales cercanas al punto de muestreo, el área de influencia, la cuenca hidrológica a la que pertenece, la población afectada y los diferentes usos a que se destina el agua.

5. TECNICAS GENERALES DE MUESTREO

5.1. Tipo de muestra.

El muestreo consiste en tomar una muestra homogénea que sea representativa del cuerpo de agua. La muestra puede ser simple o compuesta. La primera se toma individualmente y la segunda es una mezcla de muestras individuales tomadas en un período de tiempo determinado y en volúmenes fijos ó proporcionales al gasto.

La recolección de una muestra simple o compuesta se hará según el problema específico de la misma.

Se aplicarán muestras simples para conocer las características generales del agua antes y después de algún "efecto" significativo que pueda cambiar la característica del agua.

Se aplicarán muestras compuestas para conocer las características promedio de un agua de calidad variable.

5.2. Toma de muestra.

En general, las muestras se deberán recolectar en donde el flujo sea más caudaloso y a la vez en la parte más homogénea para asegurar su uniformidad



A continuación se mencionan técnicas de toma de muestra para los siguientes parámetros:

OXIGENO DISUELTO

Se toma con el muestreador para oxígeno disuelto; de no haber la profundidad suficiente para la inmersión de este equipo, se colecta con una botella winkler la cual se tomará lentamente, sin airear, hasta llenarla y tatarla, colocando un sello hidráulico, (sello de agua que se forma al colocar el tapón en la botella winkler).

En donde se pueda introducir el muestreador para oxígeno disuelto con la profundidad suficiente para recolección de la muestra, se introduce este equipo en forma vertical teniendo dentro de éste la botella winkler destapada lo mismo que el cilindro. Al observarse que el cilindro se llena es cuando se puede sacar la botella winkler colocando el tapón con su sello hidráulico.

FISICO-QUIMICOS

Según sean las condiciones del lugar, se podrá tomar la muestra ya sea sumergiendo el recipiente (por lo general de polietileno de 3 L de capacidad), o tomando la muestra en forma directa.

GRASAS Y ACEITES

Las muestras deben tomarse en frascos de vidrio de boca ancha. Durante el muestreo no se debe llenar el frasco para evitar que al tatarlo, se derrame la muestra y se pierda el aceite flotante. No debe enjuagarse el frasco, el muestreo es directo.

La muestra deberá ser representativa, el sitio de muestreo será homogéneo, se tomará en la superficie de una corriente o de otro cuerpo de agua.

METALES PESADOS

La muestra debe ser tomada en botellas perfectamente limpias, de plástico, llevando un tapón del mismo material, acidularla con ácido clorhídrico o nítrico



concentrado Suprapur hasta un pH aproximado de 2.0 para reducir la precipitación y adsorción sobre las paredes del envase.

BACTERIOLOGICOS

Al muestrear se debe llenar el recipiente a 3/4 partes de su capacidad, se deja el espacio de aire necesario, para homogeneizar la muestra y preservar las condiciones microbiológicas reales.

Procedimiento general para la recolección de la muestra:

- a) Introducir el frasco aproximadamente 30 cm bajo la superficie de la corriente.
- b) Destapar el frasco dentro del agua; la boca del envase deberá quedar en sentido contrario al flujo de la corriente.
- c) Una vez que ocupó el volumen correspondiente del frasco, taparlo dentro del agua.

Para la toma de una muestra de un grifo. Se deberá limpiar con alcohol y dejar que el agua fluya por 2 ó 3 minutos (purga de la línea), después cierre parcialmente el flujo y tome la muestra.

En caso de usar bolsas desechables estériles utilizar el siguiente procedimiento:

- a) Quitar el sello de la bolsa.
- b) Introducir la bolsa aproximadamente 30 cm bajo la superficie de la corriente.
- c) Abrir la bolsa dentro del agua; la boca de la bolsa deberá quedar en sentido contrario al flujo de la corriente.
- d) Una vez que ocupó el volumen correspondiente a las 3/4 partes de la bolsa, cerrarla dentro del agua.
- e) Fuera del agua se sella la bolsa dándole dos giros sobre su eje y amarrando los extremos del eje.



A las muestras de agua procedentes de ríos, arroyos, lagos u otros que se presume contengan concentraciones de metales pesados mayores de 0.01 mg/L, es necesario adicionar a la botella 0.3 mL de solución al 15% de ácido etilendiaminotetracético (EDTA) para inhibir la acción bacteriana.

5.2.1. Preservación de la muestra.

Es prácticamente imposible una preservación completa de las muestras, ya sean para aguas naturales, residuos líquidos domésticos o industriales. Sólo se pueden retardar los cambios químicos y biológicos que inevitablemente se producen después de que se toma la muestra. En general mientras más corto sea el tiempo transcurrido entre la toma de la muestra y su análisis, más confiables serán los resultados obtenidos.

Los preservativos que se usan comúnmente, se muestran en los Cuadros Nos. 1 y 2. En ellos, también se puede tener conocimiento del volumen de muestra requerida en función de los parámetros a analizar, el tipo de envases más convenientes, según la muestra, el tipo de preservador y el tiempo máximo de almacenaje.



**COMISION NACIONAL
DEL AGUA**

CUADRO No. 1

**ACCION Y APLICACION DE ALGUNOS TIPOS DE PRESERVATIVOS USADOS MAS
COMUNMENTE**

PRESERVADOR	ACCION	APLICABLE A:
Cloruro mercurico	Inhibidor bacteriano	Nitrógeno y fósforo en todas sus formas
Acido nítrico suprapur	Solvente de metales, prevenir la precipitación	Metales
Acido sulfúrico	Inhibidor bacteriano	Muestras orgánicas (DQO, grasas y aceites)
Alcali	Formación de sales con compuestos volátiles	Cianuro, ácidos orgánicos
Refrigeración o Congelamiento	Inhibidor	Acidez, alcalinidad, material orgánico, color, olor, análisis bacteriológicos



CUADRO No.2

RECOMEDACIONES PARA EL MUESTREO DE AGUAS Y AGUAS DE DESECHO

PARAMETROS	VOLUMEN MINIMO REQUERIDO mL	PRESERVATIVO	TIEMPO MAXIMO DE ALMACENAMIENTO RECOMENDADO
ACIDEZ	100	REFRIGERACION	24 h
ALCALINIDAD	200	REFRIGERACION	24 h
BACTERIOLOGICO	100	REFRIGERACION	6 h
BORO	100	NO REQUIERE	28 d
CARBONO ORGANICO TOTAL	100	REFRIGERACION Y AÑADIR H ₂ SO ₄ pH < 2	7 d
CIANURO TOTAL	500	AÑADIR NaOH pH >2 REFRIGERAR EN LA OSCURIDAD	24 h
CLORO RESIDUAL	500	ANALIZAR INMEDIATAMENTE	0.5 h
CLOROFILA	500	OSCURIDAD	30 d
CLORUROS	50	REFRIGERACION	24 h
COLOR	500	REFRIGERACION	48 h
CONDUCTIVIDAD	500	REFRIGERACION	28 d
DBO	1000	REFRIGERACION	6 h
DQO	100	H ₂ SO ₄ pH < 2	7 d
DIOXIDO DE CARBONO	100	ANALIZAR INMEDIATAMENTE	0.5 h
DUREZA	100	AÑADIR HNO ₃ pH < 2	6 m
FENOLES	500	H ₂ SO ₄ pH < 2	28 d
FLUORUROS	300	NO REQUIERE	28 d
FOSFATOS	100	REFRIGERACION	48 h
GRASAS Y ACEITES	1000	H ₂ SO ₄ pH < 2 REFRIGERACION	28 d

YODO	500	ANALIZAR INMEDIATAMENTE	0.5 h
NITROGENO AMONICAL	500	H ₂ SO ₄ pH < 2 REFRIGERACION	7 d
NITRATOS	100	H ₂ SO ₄ pH < 2 REFRIGERACION	28 d
NITRITOS	100	ANALIZAR INMEDIATAMENTE	0.5 h
NITROGENO ORGANICO	500	H ₂ SO ₄ pH < 2 REFRIGERACION	7 d
MATERIAL SEDIMENTABLE	1000	REFRIGERACION	7 d
METALES	500	PARA DISOLVER METALES FILTRE INMEDIATAMENTE Y AÑADA HNO ₃ HASTA pH < 2	6 m, PERO VARIA EN CIERTOS METALES
OLOR	500	ANALIZAR INMEDIATAMENTE	
OXIGENO DISUELTO	300	ACIDIFICAR Y TITULAR	8 h
pH	100	ANALIZAR INMEDIATAMENTE	2 h
COMPUESTOS ORGANICOS	—	REFRIGERACION ADICIONAR 100 mg Na ₂ S ₂ O ₃ /L DE CLORO RESIDUAL PRESENTE	7 d
SILICE	500	REFRIGERACION	28 d
SULFATOS	100	REFRIGERACION	28 d
SULFITOS	100	REFRIGERACION ADICIONAR 4 GOTAS DE ACETATO DE ZINC 2N/100 mL	28 d
TEMPERATURA	100	ANALIZAR INMEDIATAMENTE	
TURBIEDAD	200	OSCURIDAD	24 h
SOLIDOS	500	REFRIGERACION	7 d
SAAM	100	REFRIGERACION	48 h



5.2.2. Manejo y transporte de las muestras.

Muestras de Oxígeno Disuelto. Después de fijarlas, se deben refrigerar.

Evitar la exposición a la luz solar y transportarlas en cajas adecuadas para evitar pérdidas de muestra por movimientos.

Muestras para análisis fisicoquímicos. Cuidar que las botellas estén perfectamente cerradas para evitar pérdida de muestra y refrigeradas adecuadamente, manteniendo los recipientes con bastante hielo, durante el tiempo que dure su transporte al Laboratorio.

Muestras para grasas y aceites. Igual que lo anterior, sólo que se debe tener especial cuidado por ser botellas de vidrio.

Muestras para análisis bacteriológicos. Para evitar los cambios producidos por la proliferación de organismos, la muestra deberá mantenerse en la obscuridad (envueltas en papel aluminio, papel manila o estraza), y a baja temperatura (refrigeración) hasta que se analicen.

El tiempo de transporte de las muestras al Laboratorio preferentemente no deberá exceder de 12 horas.

5.3. Muestreo de Aguas Residuales.

En el muestreo de aguas residuales, se define como agua residual aquella de composición variada proveniente de usos municipales, industriales, comerciales, agrícola, pecuario o de cualquier otra índole, ya sea pública o privada y que por tal motivo haya sufrido degradación o alteración en su calidad original.

Debido a que las aguas residuales están sujetas a variaciones en su calidad, es indispensable que para que la muestra de agua sea representativa, se tomen muestras compuestas.

Las muestras compuestas proporcionan resultados promedio en el tiempo de muestreo y éstas no indican las concentraciones máximas o mínimas del parámetro investigado.



Las muestras compuestas no son aplicables para parámetros tales como oxígeno disuelto, pH, temperatura, cianuro libre, metales disueltos, grasas y aceites, cloro residual, sulfuro soluble y bacterias, a causa de las variaciones en el tiempo o por las posibles reacciones químicas entre los constituyentes de varias muestras.

5.3.1. Procedimiento

Las técnicas para la toma de una muestra de agua pueden ser de forma manual y automática, dependiendo de la profundidad del cuerpo de agua por muestrear.

- Muestreo Directo o Manual.

Se utilizará cuando se tenga una profundidad pequeña en el cuerpo de agua, en este caso se colecta la muestra directamente en el envase que va a almacenar la muestra en el caso de fisicoquímicos.

- Muestreo con Equipo automático.

La aplicación de estos equipos se realiza por lo general en estaciones fijas.

La recolección es por medio de una pequeña bomba, que succiona el agua, y la deposita en uno o varios envases, los cuales regulan la velocidad y frecuencia de extracción de la muestra. Es necesario que al equipo se le dé un adecuado mantenimiento.

Generalmente los muestreadores automáticos operan durante 24 horas, por lo que es necesario colocar en el recipiente de muestreo conservadores, lo cual limita el número de parámetros que pueden ser medidos en la muestra compuesta. También en algunos casos, como en el de SST, la aplicación de estos equipos no es satisfactoria, ya que las muestras que se obtienen no son significativas.

Cualquiera que sea el método de muestreo específico que se aplique a cada caso, debe cumplir los siguientes requisitos:

- Las muestras deben ser representativas de las condiciones que existan en el punto y hora de muestreo y tener el volumen suficiente para efectuar en él las determinaciones correspondientes.**



- Las muestras deben representar lo mejor posible las características del efluente total que se descarga por el conducto que se muestrea.
- Al efectuarse el muestreo, deben anotarse los datos requeridos para llenar la Hoja de Registro de Campo.

5.3.2. Muestreo en tomas.

Se recomienda que se instalen tomas en conductos a presión o en conductos que permitan el fácil acceso para muestrear a cielo abierto con el objeto de caracterizar debidamente las aguas residuales. Las tomas deben tener un diámetro adecuado para muestrear correctamente las aguas residuales en función de los materiales que puedan contener, deben ser de la menor longitud posible, y procurar situarlas de tal manera que las muestras sean representativas de las descargas. Se recomienda el uso de materiales similares a los del conducto, de acero al carbón o de acero inoxidable.

Se deja fluir un volumen aproximadamente igual a diez veces el volumen de la muestra y a continuación se llena el recipiente de muestreo. Es necesario enjuagar varias veces el recipiente con el agua a muestrear antes de tomar la muestra.

5.3.3. Muestreo en descargas libres.

Cuando las aguas residuales fluyan libremente en forma de chorro, debe emplearse el siguiente procedimiento:

- Se introduce el muestreador en la descarga o de ser posible, se toma directamente la muestra en su recipiente. Enjuagando repetidas veces el envase antes de efectuar el muestreo.

5.3.4. Muestreo en canales y colectores.

Se recomienda tomar las muestras en el centro del canal o colector de preferencia en lugares donde el flujo sea turbulento a fin de asegurar un buen mezclado. Si se va a evaluar contenido de grasas y aceites se debe tomar en la superficie y en sentido contrario a la corriente en donde no haya mucha turbulencia para asegurar una mayor representatividad. Para grasas emulsionadas, la grasa se debe tomar a una profundidad de 20 ó 30 centímetros de la superficie.



El intervalo entre la toma de cada muestra simple para integrar la muestra compuesta, debe ser el suficiente o el establecido en Normas para determinar la variación del agua residual, y se deben tomar de tal manera que cubran las variaciones de la descarga durante 24 horas como mínimo.

Se deben tomar las precauciones necesarias para que en cualquier momento sea posible identificar las muestras. Se deben emplear etiquetas pegadas o colgadas, o numerar los frascos anotándose la información en una hoja de registro.

Es muy importante tomar las debidas precauciones de seguridad y de higiene en el muestreo en función del tipo de aguas residuales que se estén muestreando.

Se recomienda que el intervalo de tiempo entre la toma de muestra y su análisis sea el menor posible y no exceda de 3 días, y que las muestras se mantengan preservadas a 4°C durante el transporte y almacenamiento de las mismas.

5.4. Muestreo de cuerpos receptores.

5.4.1. Procedimiento.

Cualquier método de muestreo que se aplique, debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Las muestras deben ser representativas de las condiciones que existan en el sitio y hora de muestreo, y debe tener el volumen suficiente para efectuar en él las determinaciones correspondientes.
- Para el muestreo en cuerpos receptores se debe establecer una red de muestreo que represente las condiciones particulares del cuerpo receptor, debiéndose tomar las muestras en lugares donde se considere exista más variación.
- Con el objeto de conocer las variaciones de las condiciones particulares del cuerpo receptor, se debe establecer un ciclo anual de muestreo que cubra las épocas de precipitación pluvial y estiaje.



Al efectuarse el muestreo deben anotarse los datos mencionados anteriormente.

5.4.2. Muestreo en corrientes.

Se debe muestrear y aforar en los siguientes puntos:

- Aguas arriba de la descarga, a una distancia tal que no se manifieste influencia de ésta.
- En la descarga misma, lo más próximo posible a su desembocadura al cuerpo receptor.
- Aguas abajo de la descarga, a una distancia tal que se considere se haya efectuado una mezcla uniforme de la descarga en el cuerpo receptor.
- En el caso de que se tomen muestras individuales, éstas deben tomarse preferentemente a media corriente y a media profundidad.
- Cuando se dispone de equipo muestreador, la muestra será más representativa si se toma en la superficie, a profundidad, sin tocar el fondo y a media corriente. Los volúmenes a tomar estarán relacionados con el caudal de la corriente.
- Se recomienda muestrear a una distancia tal, que se considere que el cuerpo receptor haya absorbido el efecto de la descarga, para apreciar el grado de recuperación del cuerpo receptor.
- Para fines de estudio del cuerpo receptor, se debe muestrear en aquellos sitios en que se aprecien cambios fuertes de sección, caídas, zonas cubiertas de lirio u otros organismos eutroficantes.

La muestra deberá ser recolectada a la mitad del área del flujo para evitar contaminaciones, independientemente de tomarse varias series a diferentes profundidades en el caso de los ríos por su hidrografía respectiva.

5.4.3. Muestreo en lagos, lagunas, presas y embalses.



Los sitios de muestreo, además de los indicados en el inciso 5.4.2., deben ser:

- En los efluentes, antes de desembocar al cuerpo receptor.
- Dentro del cuerpo receptor, donde se aprecie una mezcla uniforme con los afluentes.
- En las salidas del cuerpo receptor.
- La localización del sitio de muestreo dependerá de las condiciones locales y del propósito de la investigación.

Al igual que en los ríos las tomas de muestra se deberán seleccionar a diferentes profundidades y distancias entre las orillas de acuerdo a la periferia de estos cuerpos de agua.

5.4.4. Muestreo de pozos y tanques elevados.

Se deja fluir el agua de 5 a 10 minutos, con ello se desaloja el agua estacionada en la tubería y así se evita contaminación de la muestra al recolectarla en el recipiente de plástico limpio.

6. MEDICIONES DE CAMPO

Las mediciones que se efectúan en el campo son los parámetros que se deberán realizar "IN SITU" (en el lugar) para dar los valores reales y características de la muestra en su lugar de origen, ya que de realizarse hasta llegar al Laboratorio, serían inevitables los cambios químicos y biológicos de la muestra.

Los parámetros más importantes para medir en el campo son:

- Gasto
- Aforo
- Temperatura
- pH
- Oxígeno Disuelto
- Conductividad



6.1. Gasto.

La medida del caudal en el sitio de muestreo es un requisito útil para calcular la masa de contaminantes transportados por el agua a través de la sección transversal seleccionada, además, también es importante para manejar adecuadamente el recurso hídrico.

La medición del caudal de una corriente requiere del conocimiento del área de la sección transversal y de su velocidad en el lugar donde se realice el muestreo.

6.1.1. Los métodos de determinación más comúnmente empleados son:

6.1.1.1. Método de Sección y Velocidad.

Consiste en calcular separadamente la sección transversal de la corriente (por sondeo o algún otro procedimiento topográfico) y la velocidad del agua.

6.1.1.2. Método de Sección y Pendiente Hidráulica.

Consiste en determinar:

- El área de la sección transversal media de la corriente en el tramo considerado para el aforo.
- El radio hidráulico de dicha sección.
- La pendiente hidráulica a lo largo del tramo considerado para el aforo.
- Las características del cauce y el estado en que este se encuentra, a fin de elegir el coeficiente de rugosidad apropiado.

6.1.1.3. Mediciones de Gasto por medio del Aforador Parshall.

Consiste en medir la velocidad de la corriente en un canal abierto que tiene una sección de entrada, con lados levemente convergentes hacia una angostadura o garganta, de dimensiones cuidadosamente fijadas y una sección de salida cuyos lados divergen en mayor proporción hacia la anchura original del canal.



6.1.1.4. Método Volumétrico.

Este método se emplea cuando en la corriente que se va a aforar descargan gastos pequeños de tuberías y canales.

6.1.1.5. Método por Fórmulas.

Este método se utiliza únicamente cuando:

- No es posible calcular la pendiente de la tubería.
- La descarga se hace mediante bombeo.
- La tubería está enterrada, y se aprecia únicamente el chorro del agua.

6.1.2. Métodos generalmente empleados.

6.1.2.1. Método de Sección y Velocidad.

6.1.2.1.1. Medición de la Sección Transversal de la Corriente.

El perfil de la sección transversal del cauce en el sitio del aforo se determina por sondeos o por medio de una nivelación; una forma práctica por sondeos se hace de la siguiente manera.

- Por vadeo

Cuando el río se puede vadear (70 cm de tirante de agua y $v = 1.0$ m/s) se efectúan los pasos siguientes:

- a) Se tiende un cable o cuerda resistente a lo ancho del río, perpendicular al sentido de la corriente.
- b) Se marcan sobre el cable o la cuerda los márgenes de la corriente y se mide el ancho del río.
- c) Se segmenta el ancho del río en varios fragmentos seleccionados a criterio (comúnmente 10); procurando que sean medidas cerradas y se marca la cuerda en esos puntos



- d) Se miden las profundidades en cada punto empleando una sonda ya sea rígida o flexible, o bien, con las varillas del molinete, colocando en el extremo de la primera varilla la zapata de asiento, para que, no se hunda cuando el suelo sea fangoso.
- e) Se anota cada profundidad para que posteriormente se puedan calcular las áreas parciales de los segmentos seleccionados.

- Por puentes

Cuando el río no se puede vadear, se utilizará, siempre que sea posible, la estructura de un puente. Para medir la sección se efectúan los siguientes pasos:

- a) Se marcan los márgenes de la corriente sobre la estructura del puente mediante una plomada o utilizando la sonda.
- b) Se mide el ancho del río y de los segmentos, a criterio, procurando que sean medidas cerradas. Se marcan los segmentos sobre la estructura del puente.
- c) En cada punto marcado se mide la profundidad empleando una sonda flexible. Para lo anterior se baja la sonda hasta que se pose suavemente en el fondo, se marca sobre el cable flexible el punto que coincide con el piso de la plataforma del puente, se eleva la sonda con cuidado hasta que quede sobre el espejo del agua; se marca otra vez el cable tomando la misma referencia. La distancia entre las marcas señaladas es la profundidad del tirante del agua.
- d) Se toma en cuenta un margen de seguridad para que posteriormente se calculen las áreas de los segmentos. El área total es la suma de todas las áreas parciales.

- Por nivelación topográfica

Cuando la medición se va a efectuar por nivelación se elige un banco de nivel en una piedra o tronco que se encuentre completamente fijo, con el objeto de que se conserve ese punto de referencia.



El procedimiento de segmentación es el mismo que en los casos anteriores. La profundidad se conoce midiendo la diferencia de niveles por medio de una estadal.

6.1.2.1.2. Medición de Velocidades

La velocidad de la corriente en la sección transversal seleccionada se puede medir por medio de:

- Flotadores

Son cuerpos más ligeros que el agua y que, conducidos en suspensión por la corriente, adquieren una velocidad, según la clase de flotadores empleados, superficiales o sumergidos, más o menos igual a dicha corriente

Los flotadores superficiales son los que se desplazan en la superficie del agua y por lo mismo, con ellos se obtiene la velocidad superficial. Pueden emplearse, entre otras cosas, recortes de madera, de algunos frutos o aserrín, procurándose que la parte no sumergida presente la menor superficie a la acción del viento.

Los flotadores sumergidos o bastones tienen forma de barra y al ser puestos en la corriente toman una posición vertical, que se extiende desde la superficie hasta cerca del fondo y proporciona por lo tanto, un promedio de las velocidades de la corriente en el tramo que recorren pero solo pueden usarse en cauces de sección muy uniforme.

Existe otro tipo de flotadores sumergidos; consiste en una bandera conectada con unas aspas por medio de vástago. La corriente empuja directamente a las aspas que impulsan al flotador.

El cálculo de la velocidad con cualquiera de los flotadores descritos es el siguiente.

Se escoge un tramo de la corriente que presente la sección más uniforme.

Se mide una distancia sobre cualquiera de los márgenes de la corriente señalando sus puntos extremos.

Se arroja el flotador en uno de los puntos y se empieza a medir el tiempo.



Se mide el tiempo en el cual el flotador recorrió la distancia conocida.

Se repite el procedimiento tres veces; se promedia el tiempo medido y se calcula la velocidad con la fórmula siguiente:

$$V = D/T$$

donde:

V = velocidad en m/s

D = distancia en m

T = tiempo en s

- Molinete

Es un aparato provisto de una hélice o una rueda de copas que, accionada por la corriente, gira alrededor de un eje montado en un dispositivo de suspensión, que transmite su movimiento a un sistema registrador y así permite conocer el número de vueltas que dá la hélice en un tiempo determinado.

En cada aparato la relación entre el número de revoluciones que dá la hélice en un tiempo determinado y la velocidad que lleva la corriente se sabe por observaciones del laboratorio hechas con anterioridad.

Las fábricas de molinetes presentan tablas que relacionan el número de revoluciones de la hélice en un tiempo determinado y la velocidad.

Para medir la velocidad con el molinete se procede de la siguiente manera:

Se observa, al girar la hélice o juego de copas en el aire, el número de revoluciones que dá para mandar la señal al audífono.

Se coloca el molinete a la profundidad deseada y se mide con un cronómetro el tiempo que tarda en mandar un determinado número de señales o sonidos.

El método más comúnmente empleado consiste en colocar el molinete a los 6/10 de la profundidad, contados a partir de la superficie del agua hacia el fondo y en el centro de cada una de las fracciones o segmentos seleccionados en la sección.



Con el tiempo medido y el número de revoluciones contadas, en la tabla del fabricante del molinete se calcula la velocidad.

- Tubo de Pitot

Un tubo de Pitot es un dispositivo que mide la velocidad en un punto. Normalmente consiste en dos tubos concéntricos colocados paralelamente al flujo. El tubo exterior presenta pequeños orificios que comunican con el espacio anular y son perpendiculares a la dirección del flujo.

El espacio anular se encuentra sellado en sus demás partes, excepto en su conexión con la rama de un manómetro. El tubo interior tiene una pequeña abertura frente a la dirección del flujo. Este tubo está conectado con la otra rama del manómetro.

No existe un movimiento de fluido dentro del tubo de Pitot; el espacio anular sirve para transmitir la presión estática. El fluido queda en reposo a la entrada del tubo interior y este tubo transmite una presión de impacto equivalente a la energía cinética del fluido.

Este aparato se usa en tubos cerrados y no es frecuente encontrarlo en descargas; los casos en que se emplea son particulares, por lo que se tendrá que recurrir a la bibliografía.

6.1.2.1.3. Cálculo del gasto.

Con el área transversal previamente medida y con la velocidad determinada por alguno de los métodos descritos se procede a calcular el gasto por medio de las fórmulas siguientes:

- Gasto con flotadores superficiales

Cuando la velocidad se mide por medio de flotadores superficiales, la velocidad promedio se supone que se ve afectada por un coeficiente que varía de 0.8 a 0.9 (promedio 0.85):

Velocidad superficial

$$V_s = D/T$$



Velocidad promedio

$$V_p = 0.85 V_s$$

Al obtener la velocidad promedio se calcula el gasto por la fórmula siguiente:

$$Q = A \times V$$

Q = gasto de la corriente, m³/s

A = área total transversal, m²

V = velocidad promedio, m/s

- Gasto por medición con molinetes

Cuando se ha medido la velocidad por medio de molinete, el gasto total es igual a la suma de los gastos parciales para cada segmento.

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$$

6.1.2.2. Método volumétrico

- Se mide la capacidad o volumen de un cubo o recipiente (generalmente un tambor de 200 L).

Se coloca el cubo o recipiente bajo el tubo o canal que se quiera aforar para que se llene.

- Se mide el tiempo que tarda la descarga en llenar el tubo.

- Con los datos de tiempo (t) y volumen (V) se calcula el gasto aplicando la fórmula siguiente:

$$Q = V/t$$

donde:

Q = gasto en L/s

V = volumen L

t = tiempo s

- Se repite el procedimiento tres veces y se saca un promedio de los gastos obtenidos, el gasto promedio será el valor que se utilizará



6.2. Temperatura.

Se determina con un termómetro de inmersión, el cual se deberá sumergir en el agua de preferencia en movimiento y se anotará la lectura cuando ésta sea constante, será el valor real "IN SITU" del cuerpo de agua por muestrear.

6.3. Potencial de Hidrógeno (pH).

Los métodos más comunes y prácticos en el campo son por medio del uso de un papel indicador de pH o mediante el Potenciómetro portátil de electrodo combinado (Método electrométrico).

- Papel Indicador

En este se tendrá que realizar una buena observación del papel indicador al ser sumergido en el cuerpo de agua. Se debe esperar a que se desarrolle la coloración obtenida y determinar su valor comparándolo con la escala de pH.

- Método Electrométrico

Se cuenta con potenciómetros portátiles de electrodo combinado. El procedimiento de manejo es el siguiente:

- a) Se deberá verificar la buena respuesta del equipo en el Laboratorio (pilas en buen estado).
- b) Se calibra el instrumento con una solución amortiguadora de pH conocido (solución Buffer).
- c) Se procede a medir "IN SITU" el pH del cuerpo de agua por muestrear, ajustando previamente el botón de corrección de la temperatura, de acuerdo a las características propias del instrumento.
- d) Se introduce el electrodo en la muestra y se mueve el botón de comando operacional en la posición de pH. Leer el pH de la muestra, esperando que el electrodo alcance su equilibrio (1 minuto), tomar la lectura.
- e) Regresar el botón operacional a la posición de apagado.
- f) Apagar el potenciómetro.



6.4. Oxígeno disuelto.

Se puede efectuar con el método Winkler modificado o electrométrico.

- Método Winkler Modificado

Se adiciona a la botella winkler 2 mL de $MnSO_4$ cuidando que la punta se introduzca en el seno del líquido sin burbujear, a continuación se adicionan 2 mL del reactivo álcali-yoduro, la adición se realiza de la misma manera que el primer reactivo. Al hacer esta adición se forma un precipitado café si hay oxígeno disuelto, en el caso contrario el precipitado será blanco. Con este segundo reactivo queda fijado el oxígeno disuelto, agitar vigorosamente durante 30 s.

Se procede a colocar las botellas en hielo y en el laboratorio se le adicionan 2 mL de H_2SO_4 , y se agitan a total disolución. Habrá liberación de iodo el cual es estequiométricamente equivalente al oxígeno disuelto de la muestra y se valorará con una solución reductora de $Na_2S_2O_3$ 0.25 N.

- Método electrométrico

Se recomienda para actividades de monitoreo constante de este parámetro o en el caso de encontrar interferencias con el método Winkler.

El instrumento como cualquier otro equipo tendrá que ser verificado en el laboratorio.

Sumergir el electrodo en la muestra y tomar la lectura.
Enjuagar finalmente con agua destilada el electrodo.

6.5. Conductividad.

La conductividad es un parámetro que se puede medir "IN SITU", con un conductímetro portátil que también puede medir salinidad con una celda de conductividad específica de constante $K = 1$.

El procedimiento de operación es el siguiente:

- a) En el laboratorio se tendrá que verificar la energía del equipo (pilas en buen estado),
- b) Revisar el revestimiento y limpieza de la celda.



Se introduce la celda tipo plomada al cuerpo de agua por medir quedando sumergida para tomar la lectura.

Realizar antes la corrección por temperatura.

En caso de que sea una celda de plástico o vidrio se llevará una probeta para tomar la medición, siguiendo el siguiente procedimiento:

- Se recolectará la muestra y se verterá a la probeta, introduciendo posteriormente la celda mencionada, agitándola hasta excluir las burbujas de aire y lograr el equilibrio en la lectura. Se leerá el valor real de la conductividad específica de este cuerpo de agua.

7. BIBLIOGRAFIA

- NMX-AA-14-1980. "Cuerpos receptores.- Muestreo"
- NMX-AA-03-1980. "Aguas residuales.-Muestreo"
- GEMS/AGUA GUIA OPERACIONAL.- Organización Mundial de la Salud. Traducido y publicado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 1983.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Editado por Clesceri, L.S.; Greenberg, A.E., y Trussell, R.R. 17a. Edición, U.S.A. 1989.
- Técnicas de Muestreo y Análisis de Campo, SRH,. 3Ed. 1975. (Manual-Curso)
- Taller de Trabajo de Control de Calidad Analítico de los Laboratorios de Calidad del Agua, SARH, 1987.
- Instructivo para la Toma y Transporte de Muestras de Agua para Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos de la Calidad del Agua. Leal Hernández, María del Pilar. S.A.R.H. México. 1988.
- Manual de Procedimientos para Muestreo. Mediciones de Campo y Visitas de Inspección en Aguas y Aguas Residuales. Cruz Ojeda, Gómez A., Ramírez, B.C., y Lobato Calleros. M.M.D. Primera Versión.- C.N.A. 1993.