

## INDICE

	<b>Pagina</b>
<b>LISTA DE TABLA.....</b>	<b>iii</b>
<b>LISTA DE CUADROS DE RESULTADOS.....</b>	<b>iv</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>v</b>
<b>LISTA DE ANEXOS.....</b>	<b>vi</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>vii</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3 HIPÓTESIS.....</b>	<b>5</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 El Agua.....	6
2.2 El agua subterránea.....	8
2.3 Contaminación del agua subterránea por metales pesados.....	11
2.3.1 Metales pesados en agua de pozo.....	13
2.4 Toxicología de los metales pesados.....	14
2.4.1 Plomo.....	15
2.4.2 Cadmio.....	17
2.4.3 Manganeso.....	18
2.4.4 Hierro.....	20
2.4.5 Cobre.....	21
2.5 Norma Oficial Mexicana.....	23
2.6 Fundamento de espectrofotometría de absorción atómica.....	24

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1	Localización de la zona de muestreo.....	25
3.2	Población.....	27
3.3	Periodos de estudio.....	28
3.4	Preparación del material.....	29
3.4.1	Contenedores.....	29
3.4.2	Preparación de los estándares.....	29
3.5	Muestreo.....	30
3.6	Digestión de muestra para la determinación de metales	
3.6.1	Determinación de metales por digestión en parrilla de calentamiento.....	31
3.6.2	Determinación de Metales por EAA.....	32
3.6.2.1	Manejo del equipo (SpectrAA-50/55).....	32
3.7	Validación del método.....	34
3.7.1	Precisión.....	34
3.7.2	Exactitud.....	35
3.7.3	Linealidad.....	35
3.7.4	Limite de detección.....	35

### **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1	Niveles promedio expresados en ppm o mg/ L de metales pesados.....	36
4.2	Gráficas de concentración en ppm de metales en agua de pozo.....	38
4.3	Resultados obtenidos para la validación del método.....	43

### **V. CONCLUSIONES.....44**

### **BIBLIOGRAFIA.....45**

### **ANEXOS.....47**

## LISTA DE TABLA

<b>Tabla</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
<b>1</b>	Relación de los constituyentes químicos que deberá contener el agua potable como límite máximo, expresados en ppm.....	23
<b>2</b>	Fechas de muestreo de los pozos ubicados en Navojoa, Sonora.....	28
<b>3</b>	Condiciones óptimas de salidas para el gas.....	32
<b>4</b>	Condiciones de trabajo del espectrofotómetro de absorción atómica SpectrAA 50/55.....	34

**LISTA DE CUADROS DE RESULTADOS**

<b>Cuadro</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
<b>1</b>	Resultados de las concentraciones de metales en ppm o mg/ L en los pozos de agua potable en Navojoa, Sonora.....	37
<b>2</b>	Resultado de los parámetros de validación según la metodología utilizada.....	43

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
1	Ciclo hidrológico.....	7
2	Perfil del suelo.....	8
3	El nivel freático.....	9
4	Distribución del agua subterránea.....	10
5	Aparato de espectroscopia de absorción atómica.....	24
6	Macrolocalización del sitio de muestreo.....	26
7	Localización de los pozos de agua potables en la Cd. de Navojoa, Sonora.....	27
8	Toma de muestra.....	30
9	Transportación de las muestras en hielera.....	30
10	Concentraciones de Plomo (ppm o mg Pb / L) en agua de pozo, proveniente de Navojoa, Sonora.....	39
11	Concentraciones de Manganeso (ppm o mg Mn / L) en agua de pozo, proveniente de Navojoa, Sonora.....	39
12	Concentraciones de Hierro (ppm o mg Fe / L) en agua de pozo, proveniente de Navojoa, Sonora.....	40
13	Concentraciones de Cobre (ppm o mg Cu/ L) en agua de pozo, proveniente de Navojoa, Sonora.....	41
14	Concentraciones de Cadmio (ppm o mg Cd / L) en agua de pozo, proveniente de Navojoa, Sonora.....	42

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
<b>1</b>	Soluciones estándar de trabajo.....	48
<b>2</b>	Graficas de linealidad.....	50
<b>3</b>	Lectura en EEA.....	53
<b>4</b>	Formulas para la determinación de los parámetros de validación.....	54



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SONORA**  
**DEPARTAMENTO DE BIOTECNOLOGÍA Y CIENCIAS**  
**ALIMENTARIAS**

---

---

---

**DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS TRAZA EN**  
**AGUA DE POZO DE NAVOJOA , SONORA.**

**TITULACIÓN POR TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**INGENIERA BIOTECNÓLOGA**

**PRESENTA**

**REYNA LETICIA AYALA MORA**

CD. OBREGÓN, SONORA

OCTUBRE DE 2006



**El presenta trabajo forma parte del proyecto SPORE in GI Cáncer, desarrollándose en el Laboratorio de Análisis especiales de la DES del Instituto Tecnológico de Sonora, durante el periodo comprendido de Marzo a Agosto del 2005, siendo asesorado por la Dra. María Mercedes Meza Montenegro**

**Vo. Bo.**

---

**Dra. María Mercedes Meza Montenegro**



## **RESUMEN**

Todas las formas de vida en la tierra dependen del agua. Cada ser humano necesita consumir varios litros de agua fresca diariamente para vivir. En muchos lugares tanto las aguas superficiales como las subterráneas están contaminadas con desechos industriales, agrícolas y municipales. El objetivo del presente estudio fue determinar los niveles de manganeso, fierro, cadmio, cobre y plomo en muestras de agua potable provenientes de 20 pozos; ubicados en Navojoa, Sonora.

Las muestras fueron digeridas usando ácido nítrico concentrado en una parrilla de calentamiento, y en seguida fueron analizadas mediante Espectroscopia de Absorción Atómica. La metodología utilizada (NMX-AA-051-SCFI2001) fue validada calculando los parámetros de precisión, linealidad, límite de detección y exactitud.

La precisión del método expresada como el coeficiente de variación se encontró en un rango del 1,15-5,92%. La exactitud, determinada por el porcentaje de recuperación para los metales estudiados estuvo entre el 80 y 110%, la linealidad de las curvas de calibración, expresada por el valor de  $R^2$  fueron mayores al 0.99 para Cu, Mn, Pb y Fe (excepto Cd con valor de 0.94) y los límites de detección estuvieron en un rango de 0.006-0.0456 ppm, siendo el menor valor para fierro y el mayor para cadmio.

Las concentraciones obtenidas para cada metal en las muestras de agua estuvieron en los siguientes rangos: cadmio de ND, manganeso (0.015-2.66) ppm, cobre (ND-0.05) ppm, plomo (0.0225-0.575) ppm, fierro (0.047-1.533) ppm. El 95% de los valores de plomo rebasaron los límites permisibles por la Norma Oficial Mexicana, al igual el manganeso con el 50% y el fierro con el 10%, mientras que para cobre y cadmio el 100% de las muestras estuvieron por debajo de los límites permisibles por la norma. Los niveles de Pb fueron los que sobrepasaron un mayor número de veces (hasta 23) el valor de la norma, que es de 0.025 ppm. Mientras que el Mn y Fe rebasaron los niveles permisibles, 17.7 y 5.11 veces respectivamente.

Por los resultados obtenidos se concluye que en todos los pozos del estudio, por lo menos un metal no cumplió con los parámetros de calidad establecidos por la Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-1994), por lo que la ingestión crónica y a largo plazo de esta agua, pudiera provocar riesgos a la salud de los consumidores.

En lo referente a los parámetros de validación determinados, se obtuvieron valores aceptables para esta técnica instrumental.

## INTRODUCCIÓN

El agua es un componente de la naturaleza que ha estado presente en la tierra desde hace más de 3,000 millones de años, ocupando tres cuartas partes de la superficie del planeta.

Se estima que la cantidad total de agua sobre la tierra es un poco más de 1400 millones de  $\text{km}^3$ . De este volumen, aproximadamente 1, 370 millones de  $\text{Km}^3$ , es decir cerca de 95%, es agua de mar. Gran parte del resto, un 2% del total, se encuentra en forma sólida en los glaciares y cosquetes polares. Virtualmente toda el agua restante -el agua que no es de mar y que no está congelada- es agua subterránea. El agua en ríos y lagos, en la atmósfera y en la zona no saturada, comprende en conjunto sólo 1/50 de 1% del agua total susceptible como recurso de abastecimiento.

El agua es el compuesto más importante para la mayoría de los seres vivos en especial para las plantas y los animales pues estamos compuestos de ella en un 70-85%, y es sumamente necesario para todos lo procesos vitales).

---

Todas las formas de vida en la tierra dependen del agua. Cada ser humano necesita consumir varios litros de agua fresca diariamente para vivir. Además el hombre la utiliza para realizar muchas de sus actividades como: la agricultura, la industria, el transporte y otras actividades diarias.

A pesar de que aproximadamente el 71% de la superficie de nuestro planeta está cubierto por mares y océanos, la cantidad de agua disponible para ser utilizada en las actividades mencionada anteriormente es limitada, ya que no puede utilizarse el agua salada.

En muchos lugares tanto las aguas de superficie como las subterráneas están contaminadas con desechos industriales, agrícolas y municipales. De acuerdo con la Comisión Mundial sobre el Agua más de la mitad de los ríos principales del mundo estarán tan agotados y contaminados que pondrán en peligro la salud humana y envenenarán los ecosistemas circundantes.

El agua sufre cambios en su calidad debido a influencias terrestres y atmosféricas. Cuando el agua llega a la superficie terrestre entra en contacto con materia de origen natural como polvo, microorganismos y polen; puede también incorporarse trazas de contaminantes industriales como anhídrido sulfuroso, ácido sulfúrico, metales y/o plaguicidas y a medida que el agua se va infiltrando, su carga de impurezas aumenta.

La contaminación de las aguas en la actualidad es un problema que afecta a gran parte del mundo, sin respetar fronteras. El riesgo para la salud provocado por sustancias químicas en el agua es el efecto tóxico después de un período prolongado de exposición.

En Sonora, México, un estado literalmente desértico, que aunque con variantes, presenta un programa crónico de insuficiencia de agua, tanto para consumo humano como para el desarrollo de las actividades agropecuarias, turísticas e

---

industriales, las fuentes de abastecimiento son de tipo superficial en el centro y sur de la entidad y de explotación de acuíferos subterráneos en el norte de la misma. En Sonora el principal uso del agua es para fines agrícolas ya que el 97% de la exportaciones corresponden a esta actividad, lo que permite abrigar, en promedio anual, poco más de 600, 000 hectáreas, y se constituye en un importantísimo aporte en el valor de la producción y generación de empleos; el 1.5% se destina para uso urbano industrial.

Los metales pesados liberados actualmente en el medio ambiente provienen de emisiones no controladas por las fundiciones de metal y otras actividades industriales, además de la evacuación peligrosa de desechos industriales y el plomo de las cañerías de agua, las pinturas y la gasolina.

El agua que se consume en la Ciudad de Navojoa es proveniente de las aguas subterráneas, y es empleada como de consumo humano y doméstico; la cual debe ser de tal calidad que no provoque daño o enfermedades, por ello la importancia de realizar un análisis de metales pesados en el agua que consumen los habitantes, y además realizar la estandarización de la metodología de la norma mexicana (NOM-127- SSA1-1994).

## **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar los niveles de metales pesados traza en el agua de pozo en la Ciudad de Navojoa, Sonora mediante espectroscopia de absorción atómica y compararlos con la Norma Oficial Mexicana para evaluar su calidad.

## **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar los niveles de metales totales Cd, Pb, Fe, Mn y Cu en el agua de pozo en diferentes puntos de la Ciudad de Navojoa, Sonora utilizando espectrofotometría de absorción atómica.
- Estandarizar la metodología establecida en la Norma Mexicana NMX- 051-SCFI-2001 mediante la determinación de la precisión, exactitud, límites de detección y la linealidad.

### **1.3 HIPÓTESIS**

El agua de los pozos de la Cd. de Navojoa, Sonora, tiene niveles de metales pesados traza por arriba de los límites establecidos por la norma Oficial Mexicana NOM- 127- SSA1-1994.

## **CAPITULO II. MARCO TÉORICO**

### **2.1 El Agua**

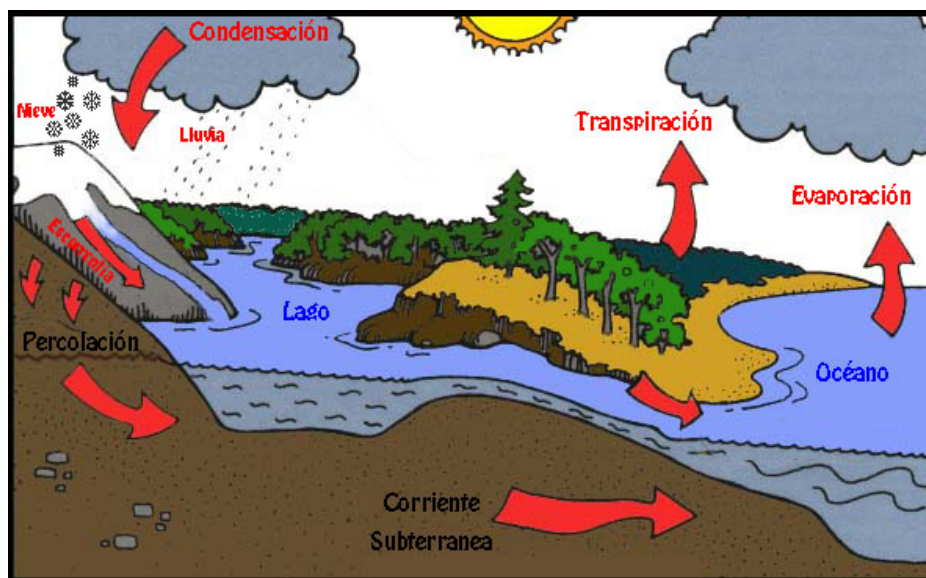
El agua es el elemento en mayor proporción en la tierra. Su abundancia la convierte en la más común de las sustancias, pero sus propiedades combinadas la hacen a la vez exclusiva (Jhonson, 1975).

El agua forma una capa que cubre cerca del 71 % de la superficie del planeta Tierra, la mayor parte es salobre y una parte muy pequeña es agua dulce. El agua disponible se encuentra distribuída de manera irregular en la tierra, el subsuelo y la atmósfera en porciones como aguas superficiales (mares, ríos, lagos dulces y salados), cosquetas polares y glaciares, atmósfera, los océanos y aguas subterráneas. Del total de la masa de agua solo el 97% corresponde al agua utilizable por el hombre y el 0.65% del total corresponde al agua subterránea.



Cada año caen aproximadamente 110 billones ( $10^{12}$ ) de metros cúbicos ( $m^3$ ) de agua en forma de precipitaciones pluviales sobre los continentes del globo terráqueo. La población del planeta se estima en 5, 700 millones de habitantes, lo que significa que cada uno recibe en promedio cerca de 53,000 litros, o 53 toneladas, de agua dulce por día, y esto sin considerar el agua que cae en forma de lluvia o nieve en los océanos. Ciertamente el agua debería alcanzar para todos. (Price, 2003).

Se considera que el agua es un recurso renovable porque se recicla y se renueva continuamente mediante el ciclo hidrológico o del agua (Figura 1). En el ciclo hidrológico están presentes muchos fenómenos físicos: el agua se evapora de la tierra y los océanos; el vapor de agua flota por su baja densidad y es arrastrado por las corrientes de circulación de aire atmosférico hasta que finalmente se precipita como lluvia, granizo o nieve. El agua que cae puede ser interceptada y asimilada por las plantas y de ellas ser transpirada y devuelta a la atmósfera; puede fluir por la tierra hacia corrientes o ríos o filtrarse a depósitos subterráneos de donde es posible sacarla mediante profundos pozos y sistemas de bombeo.

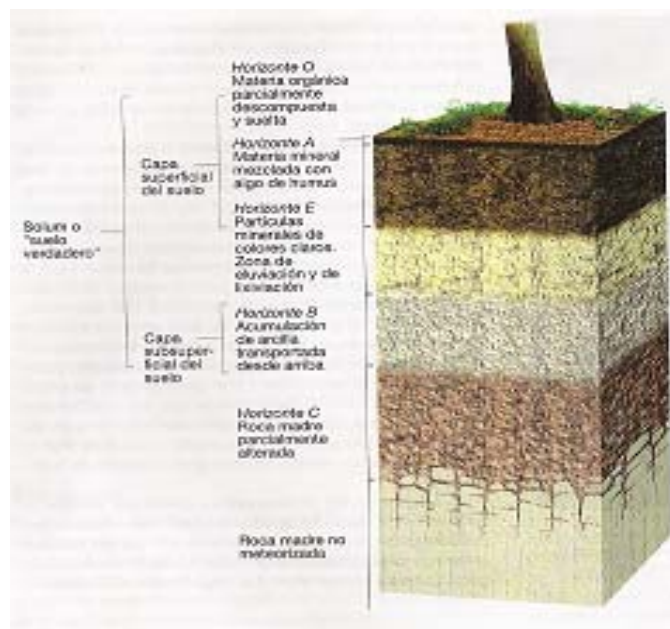


Fuente: Libro de Actividades de la Tercera Semana Nacional de la Ciencia y la Tecnología, Chile, 1997.

Figura 1. Ciclo Hidrológico

## 2.2 El agua subterránea

Para comprender la forma en que el agua se presenta en el subsuelo, primero es preciso considerar un poco al suelo en sí. La corteza terrestre está constituida de rocas de varios tipos; en muchos lugares estas rocas no están expuestas, pues están ocultas por la tierra y el paisaje está cubierto por vegetación (Price, 2003).



Fuente: Tarbuck, 2003

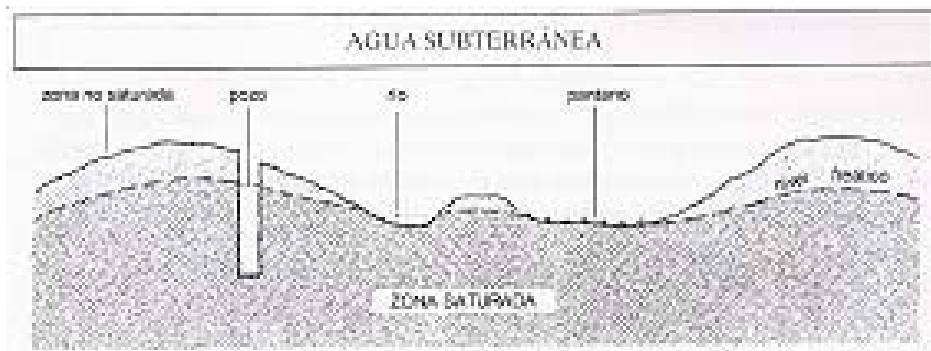
Figura 2. Perfil del suelo

Casi todas las rocas de la parte superior de la corteza terrestre, cualquiera que sea su tipo, edad u origen, contiene aberturas llamadas poros o espacios. Estos espacios tienen formas y tamaños variados. Los cuales no están vacíos; algunos de ellos están total o parcialmente llenos de agua. A la propiedad de una roca de poseer poros o espacios se le llama porosidad.

En general, son los poros pequeños los que están llenos, y los grandes son los que están vacíos. A profundidades mayores se descubrirá que todos los poros están llenos de agua, y se describe a este material como “saturado”. En términos científicos, se ha pasado de la zona no saturada a la zona saturada (Price, 2003).

Figura 4.

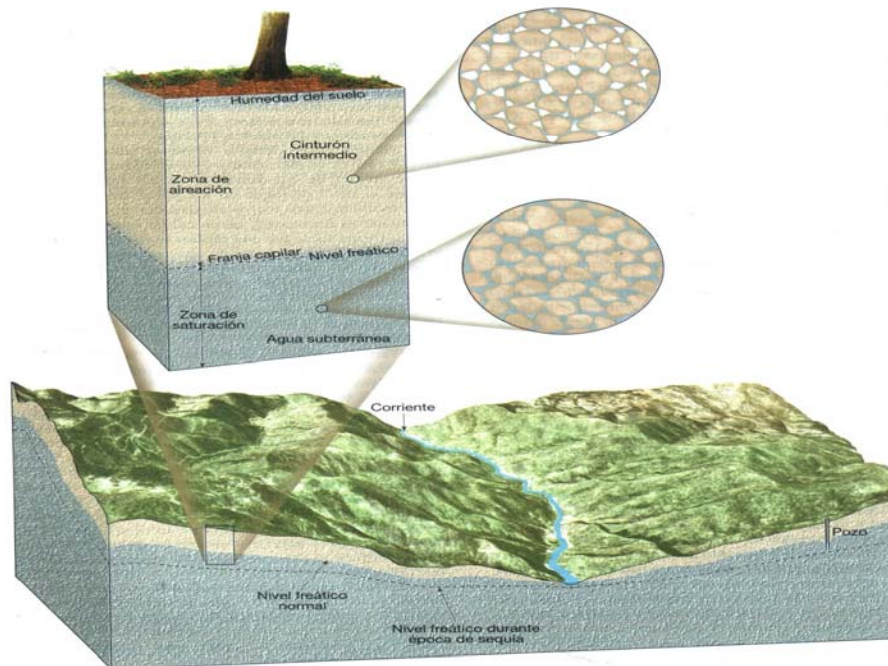
Si se cava una noria o se perfora un pozo, desde la superficie del suelo hacia abajo, y se penetra en la zona saturada, el agua fluirá del material saturado hacia la horadación, hasta alcanzar un nivel constante. Éste estará cerca del nivel debajo del cual todos los poros están llenos de agua, es decir, el nivel superior de la zona saturada, llamado nivel freático (Price, 2003). Figura 3



Fuente: Price, 2003

Figura 3. El nivel Freático

El agua subterránea es el nombre dado al agua dulce que se encuentra en la zona saturada, la cual alcanza hasta 0.6% de la provisión total del agua en el planeta (Baird, 2001). También se define como el agua por debajo del nivel freático, en otras palabras, en los estratos geológicos donde el espacio de los poros está ~100 por 100 ocupado por el agua. (Kiely, 1999). Otros términos empleados para definirla son los de agua de subsuelo y agua profunda (Jhonson, 1975).



**Figura 11.1** Distribución del agua subterránea. La forma del nivel freático suele ser una réplica suavizada de la topografía superficial. Durante los periodos de sequía, el nivel freático desciende, reduciendo el flujo de corriente y secando algunos pozos.

Fuente: Tarbuck, 2003.

#### Figura 4. Distribución del agua subterránea.

Las aguas subterráneas son parte del programa de reciclaje más antiguo - el ciclo hidrológico. Donde el agua que no se evapora fluye a través de los subsuelos (infiltración) y llega hasta el nivel freático. La distancia que atraviesa el agua por medio de espacios abiertos en las rocas se llama la zona no saturada. El nivel freático se encuentra en la parte superior de la zona saturada. En áreas donde el nivel freático ocurre en la superficie de la tierra, las aguas subterráneas descargan en marismas, lagos, manantiales o arroyos y a causa de la evaporación, vuelven a la atmósfera para ser parte del ciclo hidrológico otra vez (<http://www.epa.gov/safewater/protect/pro>).

Las aguas subterráneas se encuentran debajo de muchos tipos de formas geológicas. Las áreas donde existen grandes cantidades de aguas subterráneas que pueden abastecer pozos o manantiales se llaman acuíferos <http://www.epa.gov/safewater/protect/pro>.

La importancia del agua subterránea queda de manifiesto al considerar que el 70% del volumen que se suministra a la población, el 33% del que se destina a la agricultura y el 62% del que utiliza la industria tienen ese origen (<http://www.epa.gov/safewater/protect/pro>).

### **2.3 Contaminación del agua subterránea por metales pesados**

Los metales están presentes en la tierra desde su inicio hace billones de años. Se encuentran en casi todos los tipos de rocas, pero se concentran en minas a lo largo del mundo, dependiendo de la historia geológica de cada región. Son llevados hacia la superficie de manera natural mediante la erosión y la actividad volcánica y son lavados en los arroyos y a la larga se depositan con los sedimentos en los ríos, lagos y océanos (Harte y col., 1995)

La calidad de la fuente de agua varía dependiendo de la geología local, actividades agrícolas y fuentes industriales y/o municipales de contaminación (Harte y col, 1995). La mayor parte del agua subterránea extraída para uso doméstico, industrial y agrícola es agua meteórica, derivada directamente de la lluvia y de su infiltración como parte del ciclo hidrológico (Price, 2003).

Las sustancias que pueden contaminar las aguas subterráneas se pueden dividir en dos categorías: las sustancias que ocurren naturalmente y las sustancias introducidas por las actividades humanas. Las sustancias que ocurren de manera natural incluyen minerales como hierro, calcio, y selenio. Las sustancias que resultan de las actividades humanas incluyen sal, bacterias y virus, productos químicos e hidrocarburos (por ejemplo los solventes, pesticidas, y productos petrolíferos), y lixiviación de depósitos de basura (líquidos que se han filtrado del

depósito y que llevan sustancias disueltas de la basura) que contienen sustancias como metales pesados (<http://www.epa.gov/safewater/protect/pro>)

El agua subterránea, al escurrir a través de las diferentes capas de terreno, entra en contacto con sustancias orgánicas e inorgánicas, alguna de ellas muy solubles (Enkerlin, 1997). Por lo tanto, la química del agua varía dependiendo de la naturaleza de los subsuelos y las rocas a las que atraviesa (Kiely, 1999).

El movimiento relativamente lento del agua que percola a través del suelo le permite a ésta mantener un contacto prolongado y estrecho con los minerales que constituyen la corteza terrestre (sin autor, 1975). Los principales problemas de calidad del agua subterránea natural vienen causados por la dureza, hierro, manganeso, sulfuro de hidrógeno, sulfato, cloruro sódico y por contribuciones industriales como químicos industriales y agrícolas (Kiely, 1999).

Los metales son esenciales para los organismos vivos. Se utilizan en pigmentos respiratorios (hierro, cobre, vanadio), enzimas (zinc), vitaminas (cobalto) y otros procesos metabólicos y su deficiencia puede producir enfermedades. Los metales pesados resultan tóxicos tan sólo cuando exceden las concentraciones normales (Kiely, 1999).

Los metales pesados más peligrosos para la salud son el plomo, mercurio, cadmio, arsénico, cobre, zinc y cromo. Estos metales se encuentran naturalmente en el suelo en cantidades mínimas, que presentan pocos problemas. Pero cuando están concentrados en ciertas áreas, constituyen un serio peligro ([http://www.infoforhealth.org/pr/prs/sm15/m15chap2\\_2.shtml](http://www.infoforhealth.org/pr/prs/sm15/m15chap2_2.shtml)).

### 2.3.1 Estudios sobre metales pesados en agua de pozo

Wyatt Jane. \*y col. (1998) Desarrollaron un estudio para determinar la presencia de metales pesados en los abastecimientos de agua de pozos o de sistemas de almacenaje, en la ciudad de Hermosillo, Guaymas y Nacoziari. Donde encontraron que el 43% de las muestras excedieron los niveles de Pb (0.015ppm) según lo establecido por la EPA, y para el As sólo el 8.92% excedió los límites (0.002-0.305ppm). Además que se encontró un posible acoplamiento de As y F.

Lara (2004) determinó la exposición a metales pesados traza (As, Cu, Cd, Fe, Mn, Pb y Zn) provenientes del agua de consumo y cuantificó su excreción en la orina de los niños residentes del ejido Guadalupe Victoria, Valle del Yaqui, realizando un estudio epidemiológico de tipo transversal. Las concentraciones promedio para As, Cu, y Mn en agua fueron de  $0.0043 \pm 0.00017$ ,  $0.032 \pm 0.020$  y  $0.02 \pm 0.0081$   $\mu\text{g}/\text{l}$  respectivamente, los cuales no rebasaron la NOM- 127-SSA1-1994.

Piña M., (1997) analizó la calidad del agua en la ciudad de Navojoa, Sonora; de lo 15 pozos estudiados únicamente 6 pozos llegaban al tanque de bombeo y cloración denominado "Dátil", donde una vez clorado con gas cloro a una concentración aproximada de 1.5 mg/L de cloro libre residual se bombeaba al sistema de distribución que abastece la zona centro de la ciudad que es la más densamente poblada. Los pozos que abastecen el tanque "Dátil" son los pozos número 2, 3, 7, 12, 13 y 14; y el mayor aportador de Mn es el pozo No. 14, además de ser el que tiene un gasto mayor (120 lps), por tal motivo se decidió tratar el agua de dicho pozo colocando la planta móvil justo antes de la entrada al tanque y se hizo un "By pass" de la tubería de llegada del pozo 14, donde el agua tratada se descargó al mismo tanque.

## 2.4 Toxicología de los metales pesados

El término de metal pesado refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones bajas. Los ejemplos de metales pesados incluyen el mercurio (Hg), cadmio (Cd) el arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl), y plomo (Pb)

En un grado pequeño se incorporan al cuerpo vía el alimento, el agua potable y el aire. Dichos metales (arsénico, cadmio, cobre, fierro, plomo y manganeso, entre otros) son extremadamente venenosos y por desgracia poco puede hacerse en las plantas de tratamiento de aguas residuales para eliminarlos. (<http://www.lenntech.com/espanol/metales%20pesados.htm>)

Los metales ejercen sus efectos de muchas maneras, pero por lo general lo hacen dentro de las células corporales. Algunos interrumpen las reacciones químicas, otros bloquean la absorción de los nutrimentos esenciales, mientras que otros cambian las formas de los compuestos químicos vitales, inutilizándolos. El resultado de estas acciones depende del tipo de metal y del órgano corporal afectado (Harte y col, 1995).

El envenenamiento agudo por metales no es algo que la mayoría de las personas experimenten. Los trabajadores expuestos a los metales pueden sufrir daño pulmonar reacciones cutáneas y síntomas gastrointestinales. El envenenamiento crónico por exposición a largo plazo a concentraciones bajas de metales produce acumulación en el cuerpo con el tiempo, alcanzando concentraciones tóxicas después de años de acumulación. Provocando cáncer, mutaciones, daños renales, fibrosis pulmonar, entre otras enfermedades.



Las sales solubles en agua de los metales pesados como el plomo, cadmio y mercurio son muy tóxicas y acumulables por los organismos que los absorben, los cuales a su vez son fuente de contaminación de las cadenas alimenticias al ser consumidos por alguno de sus eslabones. Al ser estos ingeridos por el hombre en el agua y en alimentos contaminados por compuestos de mercurio, plomo o cadmio le pueden provocar ceguera, amnesia, raquitismo, miastenia o hasta la muerte.

#### **2.4.1 Plomo**

El plomo es un metal blando que ha sido conocido a través de los años por muchas aplicaciones. Este ha sido usado ampliamente desde el año 5000 antes de Cristo, para aplicaciones en productos metálicos, cables y tuberías, pero también en pinturas y pesticidas. El plomo es uno de los cuatro metales que tienen un mayor efecto dañino sobre la salud humana. Este puede entrar en el cuerpo humano a través de la comida (65%), agua (20%) y aire (15%) (<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Pb.htm>).

La contaminación del agua por plomo no se origina directamente por el plomo sino por sus sales solubles en agua que son generadas por las fábricas de pinturas, de acumuladores, por alfarerías con esmaltado, y por algunas actividades mineras.

Las dos principales vías de acceso de los compuestos de plomo al organismo son el tracto gastrointestinal y los pulmones. Los signos más comunes de intoxicación por plomo vía gastrointestinal comprende los síntomas de anorexia, náusea, vómito, diarrea y constipación, seguida de cólicos, además de los efectos de

perturbación de la biosíntesis de hemoglobina y anemia, incremento de la presión sanguínea, daño a los riñones, abortos, perturbación del sistema nervioso, daño al cerebro, disminución de la fertilidad del hombre a través del daño en el espermatozoides, disminución de las habilidades de aprendizaje de los niños, perturbación en el comportamiento de los niños como es agresión, comportamiento impulsivo e hipersensibilidad (<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Pb.htm>)

El plomo se encuentra de forma natural en el ambiente, pero las mayores concentraciones que son encontradas son el resultado de las actividades humanas. Debido a la aplicación del plomo en gasolinas un ciclo no natural del plomo tiene lugar. En los motores de los coches el plomo es quemado, eso genera sales de plomo (cloruros, bromuros, óxidos) (<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Pb.htm>).

Estas sales de plomo entran en el ambiente a través de los tubos de escape de los coches. Las partículas grandes precipitarán en el suelo o la superficie de aguas, las pequeñas partículas viajarán largas distancias a través del aire y permanecerán en la atmósfera. Parte de este plomo caerá de nuevo sobre la tierra cuando llueva (<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Pb.htm>). Hoy en día la mayor parte del plomo que se encuentra en las aguas proviene de las emisiones de los vehículos automotores (Lara, 2004).

## 2.4.2 Cadmio

De forma natural grandes cantidades de cadmio son liberadas al ambiente, cerca de 25,000 toneladas al año. La mitad de este cadmio es liberado en los ríos a través de la descomposición de rocas y alguna cantidad es liberada al aire a través de fuegos forestales y volcanes. El resto del cadmio es liberado por las actividades humanas, como es la manufacturación.

(<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Cd.htm>).

El cadmio puede ser encontrado mayoritariamente en la corteza terrestre. Este siempre ocurre en combinación con el zinc. El cadmio también existe en las industrias como inevitable subproducto del zinc, plomo y extracciones de cobre. Después de ser aplicado este, entra en el ambiente mayormente a través del suelo, porque es encontrado en estiércoles y pesticidas (<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Cd.htm>)

El cadmio presente en los fertilizantes derivados del cieno o lodo puede ser absorbido por las cosechas; es un contaminante residual que se encuentra en concentraciones mínimas (Harte y Col., 1995) y de ser ingerido en cantidad suficiente, el metal puede producir un trastorno diarreico agudo, así como lesiones en el hígado y los riñones, afecta principalmente a los huesos (produce descalcificación y lesiones en la médula ósea) e inhibir algunos procesos enzimáticos y dañando al sistema nervioso central.

El cadmio es tóxico y el envenenamiento se produce al inhalarlo o ingerirlo. La alta exposición puede conducir a la enfermedad obstrucciona del pulmón y se ha ligado al cáncer de pulmón, también producir efectos en el tejido óseo (osteomalacia,

osteoporosis) en seres humanos y los animales  
(<http://www.lenntech.com/espanol/metales%20pesados.htm>)

La contaminación del agua por cadmio es provocada por las principales áreas de aplicación que arrojan sus desechos a las alcantarillas, como son el acabado de metales, la electrónica, la manufactura de pigmentos (pinturas y agentes).

### 2.4.3 Manganeso

El manganeso es un metal de transición blanco grisáceo, parecido al hierro. Es un metal duro y muy frágil, refractario y fácilmente oxidable. Es un compuesto muy común que puede ser encontrado en todas partes en la tierra. Es uno de los tres elementos trazas tóxicos esenciales, lo cual significa que no es sólo necesario para la supervivencia de los humanos, pero que es también tóxico cuando está presente en elevadas concentraciones (<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Mn.htm>)

Constituye el 0.09% de la corteza terrestre como bióxido de manganeso, el cual es muy insoluble en agua que contenga bióxido de carbono. Los compuestos del manganeso existen de forma natural en el ambiente como sólidos en suelos, en pequeñas partículas en el agua y en las partículas de polvo las cuales se depositan en el suelo. (<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Mn.htm>)

El manganeso que deriva de las fuentes humanas puede también entrar en la superficie del agua, aguas subterráneas y aguas residuales. A través de la aplicación del manganeso como pesticida.

(<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Mn.htm>)

---

Se admite una concentración de 0.01 mg/ L de manganeso en las aguas destinadas para la bebida, a la que confiere un sabor desagradable en cantidades mayores. El manganeso produce tenaces manchas en la ropa de lavado y en los accesorios de instalaciones sanitarias.

El ión manganeso al igual que el hierro, puede producir al precipitarse un óxido negro o marrón oscuro o un gel de  $Mn(OH)_4$ , que normalmente no crea problemas graves por estar en pequeñas cantidades.

Los efectos del manganeso mayormente ocurren en el tracto respiratorio y el cerebro. Los síntomas por envenenamiento con manganeso son alucinaciones, olvidos y daños en los nervios. También, puede causar parkinson, embolia de los pulmones y bronquitis (<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Mn.htm>)

El manganeso es un oligoelemento; es considerado un elemento químico esencial para todas las formas de vida. Siendo necesario un aporte de entre 1 a 5 mg por día, cantidad que se consigue a través de los alimentos.

En humanos, el manganeso se absorbe en el intestino delgado, acabando la mayor parte en el hígado, de donde se reparte a diferentes partes del organismo.

#### 2.4.4 Fierro

Este metal de transición es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre, representando un 5% y, entre los metales, sólo el aluminio es más abundante. Igualmente es uno de los elementos más importantes del Universo, y el núcleo de la Tierra está formado principalmente por hierro y níquel, generando al moverse un campo magnético (<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Fe.htm>)

Principalmente la mayoría de las partículas suspendidas contiene hierro y los óxidos elementales de hierro (emisiones vehiculares, centrales eléctricas, erupciones, fundidoras y meteoritos). Otras formas de compuestos del hierro son el resultado de reacciones químicas de los óxidos de hierro con los ácidos del aire. El hierro es uno de los compuestos principales de los aerosoles atmosféricos, que contiene partículas insolubles (Meléndrez, 1998).

La forma más común en que se encuentra el hierro en los abastecimientos de agua es en forma de bicarbonatos ferrosos  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$  esta es una sal incolora, soluble.

El hierro en concentraciones superiores a 0.2 mg/ L transmite un sabor astringente al agua de bebida e interfiere con numerosos procesos industriales (Custodio, 1983). En el agua puede ocasionar manchas en la ropa y en la porcelana. Causa también problemas de incrustaciones, causando depósitos característicos de color pardo rojizo.

Esta agua cuando se obtienen inicialmente de una bomba pueden ser claras e incoloras, pero al dejar fluir está, el hierro se separa de la solución dando una apariencia turbia al agua y formándose un depósito rojizo.

La presencia del hierro en el agua provoca precipitación y coloración no deseada. El hierro, que produce un sabor desagradable en el agua potable, puede extraerse por medio de la ventilación y sedimentación, o pasando el agua a través de filtros de zeolita. También se puede estabilizar el hierro añadiendo ciertas sales, como los polifosfatos.

#### **2.4.5 Cobre**

Es uno de los metales más importantes a nivel industrial. Es de coloración rojiza, dúctil, maleable y buen conductor de la electricidad. El cobre es un oligoelemento esencial para muchas formas de vida, entre ellas para los humanos en los que, al igual que el hierro (para cuya absorción es necesario) contribuye a la formación de glóbulos rojos y al mantenimiento de los vasos sanguíneos, nervios, sistema inmunológico y huesos.

El cobre puede ser encontrado en muchas clases de comidas, en el agua potable y en el aire. Este metal puede ser liberado en el medioambiente tanto por actividades humanas como por procesos naturales. Ejemplo de fuentes naturales son las tormentas de polvo, descomposición de la vegetación, incendios forestales y aerosoles marinos. Otros ejemplos son la minería, la producción de metal, la producción de madera, la producción de fertilizantes fosfatados y plantas de incineración municipales (<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Cu.htm>).

Cuando el cobre termina en el suelo este es fuertemente atado a la materia orgánica y minerales. Como resultado este no viaja muy lejos antes de ser liberado y es difícil que entre en el agua subterránea. En el agua superficial el

cobre puede viajar largas distancias, tanto suspendido sobre las partículas de lodos como iones libres.

El cobre es liberado en el agua a través de la corrosión de las tuberías; el agua con contenidos superiores a 1 mg/ L puede ensuciar con cobre las ropas y objetos lavados con ella y contenidos por encima de 5 mg/ L la colorean y le dan un sabor desagradable. La OMS en la *Guía para la calidad del agua potable* recomienda un nivel máximo de 2 mg/ L, mismo valor adoptado en la Unión Europea como valor límite, mientras que la Agencia de Protección Ambiental ha establecido un límite de 1,3 mg/ L.

Las actividades mineras pueden provocar la contaminación de ríos y aguas subterráneas con cobre y otros metales tanto durante su explotación como una vez abandonada.



## 2.5 Norma Oficial Mexicana

La norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 “Salud ambiental, de agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos, a que debe someterse el agua para su potabilización”. Los límites permisibles de calidad del agua de acuerdo a él contenido de constituyentes químicos se presentan en la tabla 1. (Diario oficial, 18 de Enero de 1996).

Tabla 1. Relación de los constituyentes químicos que deberá contener el agua potable como límite máximo, expresados en ppm.

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE	CARACATERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Aluminio	0.20	Fluoruros (F <sup>-</sup> )	1.50
Arsénico	0.050	Manganeso	0.15
Bario	0.70	Mercurio	0.001
Cadmio	0.005	Nitratos (N)	10.00
Cianuros (CN)	0.07	Nitritos (N)	0.05
Cloro residual libre	0.2-1.50	Nitrógeno amoniacal	0.50
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	250.0	PH	6.5-8.5
Cobre	2.00	Plomo	0.025
Cromo total	0.05	Sodio	200.00
Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> )	500.0	Sólidos Disueltos totales	1000.00
Fenoles y Comp. Fenólicos	0.001	Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	400.00
Hierro	1.50	Sust. Activas al azul de metileno	0.50
Trihalometanos Tot	0.20	Zinc	5.00

Fuente: Diario Oficial de la federación, 18 de enero de 1996.

## 2.6 Fundamento de espectrofotometría de absorción atómica

La espectroscopía de absorción atómica es una técnica de análisis instrumental utilizada para la cuantificación de elementos químicos. Se fundamenta en la propiedad de los átomos los cuales en presencia de energía pasan de su estado fundamental a niveles de mayor energía para luego decaer. En estos cambios pueden absorber y/o emitir energía en forma de luz.

Esta técnica usa la absorción de la luz para medir la concentración de la fase gaseosa de átomos. La mayoría de las muestras son sólidas o líquidas, los átomos o iones de los analitos deben ser vaporizados a la flama o en un horno de grafito. Los átomos absorben luz visible o ultravioleta y hacen transiciones a niveles de energía más altos. La concentración del analito es determinada por la cantidad de absorción.



Figura 5. Aparato de espectroscopia de absorción atómica  
SpectrAA-50/55

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Localización de la zona de muestreo**

El estudio se llevo a cabo en el Valle del Mayo: el municipio está ubicado en el sur del Estado de Sonora en una extensión de 4,381 Km<sup>2</sup>, representando el 2.36% del territorio estatal y el 0.22% del nacional.

Su cabecera es la población de Navjoa y se localiza en el paralelo 27° 03' de latitud norte y a los 109° 25' de longitud al oeste del meridiano de Greenwich, a una altura de 33 metros sobre el nivel del mar (Figura 6). Pudiéndose observa los sitios de muestreo donde se colectaron las muestras para el estudio en la figura 7.



Fuente: Enciclopedia Encarta, 2005.

Figura 6: Macrolocalización del sitio de muestreo.

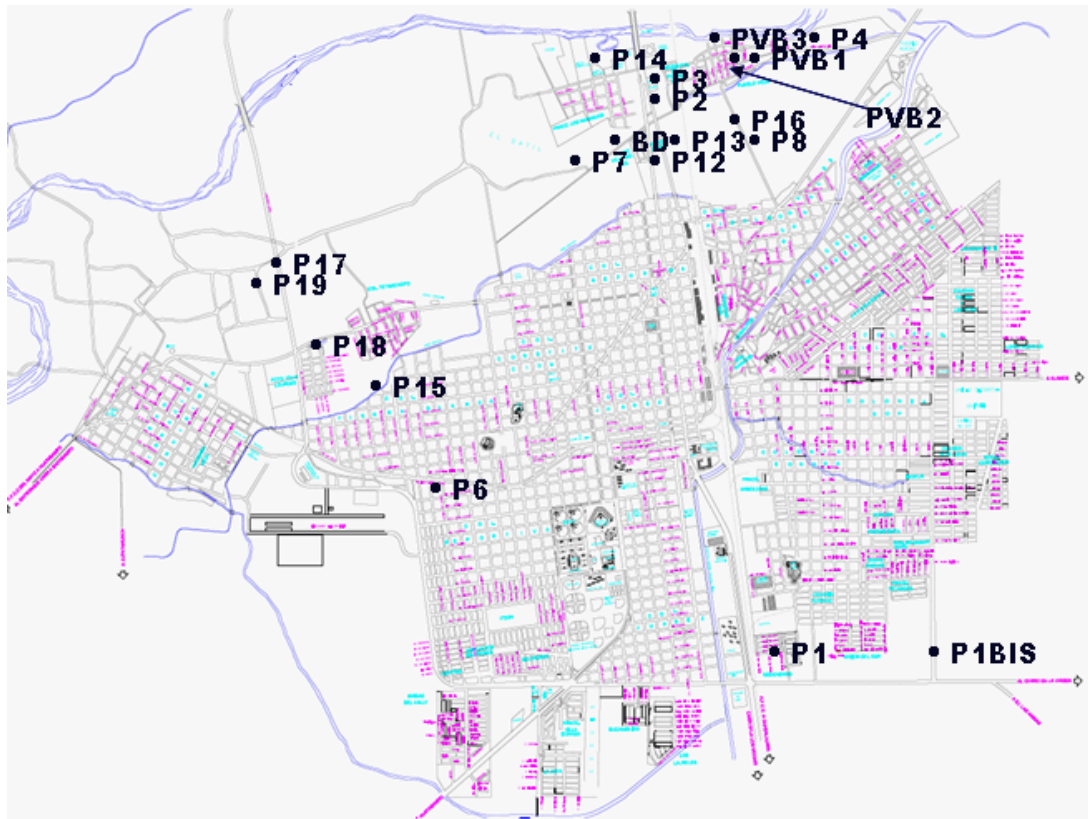


Figura 7. Localización de los pozos de agua potables en la Cd. de Navojoa, Sonora.

### 3.2 Población

El 94.9% de la población navojoense, que se encuentra asentada en la cabecera municipal y 83 localidades más, cuentan con el servicio de agua potable.

Este servicio se abastece con 52 pozos profundos y otras 39 fuentes más, tales como galerías, filtros y norias.

Un total de 29,633 tomas domiciliarias se tienen instaladas en el municipio, de las cuales el 95.3%, o sea, 28,237 tomas son domésticas; mientras que, el 4.5% que equivale a 1,336 tomas son comerciales y únicamente el 0.2%, que significa 60 tomas, son industriales.

Los problemas que enfrenta el municipio en cuanto al suministro de agua, son: sistema e infraestructura obsoleta, contaminación por manganeso disuelto en el agua en 6 pozos, superando los máximos permitidos por la Secretaría de Salud.

De los 52 pozos existentes, para este proyecto solo se muestrearon 22 de los que están hábiles. Estos abastecen a la ciudad y su uso es principalmente de consumo.

### 3.3 Periodo de estudio

El presente trabajo se realizó durante el período comprendido de Agosto de 2005 a Noviembre de 2005.

Tabla 2. Fechas de muestreo de los pozos ubicados en Navojoa, Sonora.

Muestreo	Fecha	Cantidad de pozos
1	01 de agosto de 2005	7
2	02 de agosto de 2005	16

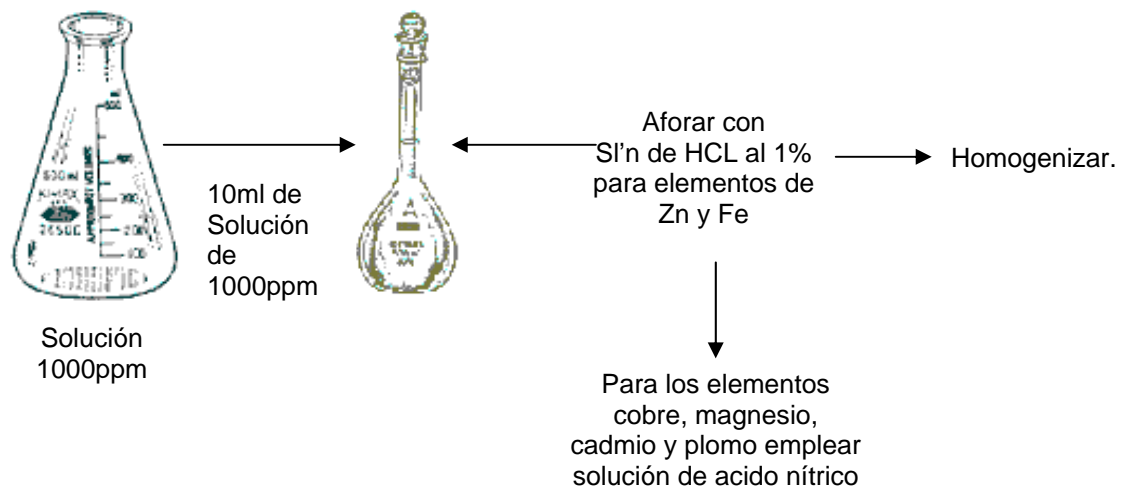
### 3.4 Preparación del material.

#### 3.4.1 Contenedores

Se utilizaron envases de plástico con capacidad de 1 litro, los cuales previamente se limpiaron con una solución de detergente libre de metales (extrán neutro), se enjuagaron con agua corriente y se pusieron en remojo en solución ácida; (ácido nítrico en solución al 10%). Posteriormente se enjuagaron con agua destilada y agua desionizada.

#### 3.4.2 Preparación de los estándares

- Soluciones estándar de 100 ppm.



### 3.5 Muestreo

Las muestras se tomaron directamente de la llave del pozo, en las cuales se dejó correr el agua unos 5 minutos y después se enjuagó el frasco varias veces para ambientarlo. Posteriormente se tomó aproximadamente 1 litro de agua en los frascos de plástico, sin adicionar ningún preservador químico, transportando las muestras en hieleras a una temperatura aproximada de 4°C a los laboratorios de ITSON, donde se preservaron adicionándoles 1mL de ácido nítrico concentrado con pureza del 65% ( $\text{pH} < 2$ ). Después de acidificadas se almacenaron en refrigeración (4°C) para prevenir cambios en el volumen y evitar evaporación de la muestra hasta su análisis.



Figura 8. Toma de Muestra.



Figura 9. Transportación de las muestras en hielera



### **3.6 Digestión de muestra para la determinación de metales**

La digestión de la muestra se realizó mediante una digestión húmeda (ataque con ácidos) y parrilla de calentamiento.

#### **3.6.1 Procedimiento de digestión.**

1. Se homogenizó perfectamente la muestra y se tomó una alícuota de 100 mL transfiriéndose a un vaso de precipitado de 250 mL para la digestión. Se manejaron duplicados y se preparó un blanco de reactivo colocando un volumen de agua desionizada igual al volumen empleado para la muestra.
2. Se añadieron 3 mL de ácido nítrico concentrado al blanco y muestras, cubriendo los vasos con vidrio de reloj y calentando en parrilla de calentamiento, hasta evaporación, cuidado que las muestras no hirvieran hasta reducir el volumen de muestra entre 2-5 mL.
3. Cuando la digestión se completó (aparición cristalina constante) se retiró el blanco, muestra y duplicado, dejando enfriar a temperatura ambiente.
4. Se lavaron las paredes del vaso y vidrio de reloj con agua destilada y la muestra se pasó a un matraz volumétrico aforando a 100 mL.
5. La muestra quedó lista para ser analizada en el equipo de absorción atómica.

### 3.6.2 Determinación de metales en EAA

#### 3.6.2.1 Manejo del equipo (SpectrAA-50/55)

1. Revisar los tanques de acetileno, y el compresor. El tanque acetileno consta de 2 manómetros, el manómetro derecho indica el llenado del tanque, si es menor a 100 psi este debe ser reemplazado. El manómetro izquierdo nos indica la presión de salida del gas, la cual debe de ser de 9 a 15 psi. El cual se debe nivelar a 11 psi siendo este el nivel óptimo.
2. Se enciende el compresor y se abre la palanca que libera el aire hacia el equipo. El compresor se detiene automáticamente cuando alcanza los 50 psi.
3. En la tabla 3 se indican las condiciones optimas de salida para el gas acetileno, oxido nitroso y aire.

Tabla 3. Condiciones óptimas de salida de lo gases.

Gas	Presión óptima (psi)	Velocidad del flujo (L/ min)
Acetileno	11	0 a 10
Aire	60	11
Oxido nitroso	50	8.8

4. Encender el regulador.
5. Encender el equipo.
6. Colocar en el aparato la lámpara del metal a analizar.
7. Seleccionar la posición en donde se encuentra la lámpara.
8. Alinear el haz de luz con los controles.

9. En el menú de inicio que aparece en la pantalla, seleccionar cookbook para la elección de los parámetros del instrumento: elegir el metal que se va a determinar, seleccionando el ancho de banda espectral óptimo, el cual depende de cada elemento en particular, verificar que los parámetros instrumentales son acorde al metal que se va a determinar si es así oprimir optimizar.
10. Esperar de 10 a 20 min para que se estabilice el equipo, una vez encendida la lámpara.
11. Alinear la lámpara hasta obtener la máxima energía.
12. Encender la flama.
- 13.- Ajustar la velocidad de flujo del nebulizador con los controles, hasta obtener la máxima sensibilidad, siendo la optima de 6 ml / min.
14. En el menú de pantalla seleccionar la opción señal y aspirar un blanco (matriz libre de analitos a la cual se le agregan todos los reactivos en los mismos volúmenes y proporciones usadas en el procesamiento de la muestra) para optimizar, oprimiendo las teclas alt + read, el valor obtenido debe ser igual a cero.
15. Oprimir el botón calíbrate e introducir las concentraciones de los estándares.
16. Aspirar una disolución estándar del metal a analizar, oprimir read para leer esperar mínimo 3 seg. Entre las lecturas de cada estándar.
17. Presionar alt + calibrar para obtener la curva de calibración del metal a analizar,
18. Oprimir la opción result, para proceder a la lectura de la muestra.
19. Aspirar la muestra a analizar y oprimir read para leer.
20. Ya obtenidos todos los datos, apagar la flama y la lámpara.
21. Apagar el aparato y el regulador.
22. Se apaga el compresor y se cierra el tanque, revisando que queden bien cerradas las llaves de los tanques de gases.

Las condiciones de trabajo de espectrofotómetro Spectr-AA-50/55 donde se realizaron los análisis de los metales se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Condiciones de trabajo del espectrofotómetro de absorción atómica Spectr-AA-50/55

<b>Metal</b>	<b>Longitud de onda (nm)</b>	<b>Corriente de lámpara (mA)</b>	<b>Ancho de banda (nm)</b>	<b>Descripción de la flama</b>
Cd	228.8	3.0	1.0	Aire-acetileno
Cu	324.7	5.0	1.0	Aire-acetileno
Fe	248.3	8.0	0.3	Aire-acetileno
Mn	279.5	5.0	1.0	Aire-acetileno
Pb	217.0	5.0	1.0	Aire-acetileno

### 3.7 Validación del método

#### 3.7.1 Precisión

Es el grado de concordancia entre resultados analíticos individuales cuando el procedimiento analítico se aplica repetidamente a diferentes alícuotas o porciones de una muestra homogénea.

Se determinó leyendo la concentración de los estándares del metal 30 veces y calculando la desviación estándar.

### **3.7.2 Exactitud**

Mide la concordancia entre el valor medido y el valor verdadero. El valor verdadero nunca se alcanza, y por lo tanto se usa como valor verdadero el valor generado por un material de referencia (consultar el apéndice normativo A).

Se determinó fortificando muestras duplicadas con concentraciones conocidas de cada metal

### **3.7.3 Linealidad**

Se preparó una curva de calibración para cada metal bajo estudio (incluyendo 5 puntos) en el rango lineal. Y se determinó el coeficiente de regresión para cada uno.

### **3.7.4 Limite de detección**

Es la mínima concentración de un analito o sustancia en una muestra, la cual puede ser detectada pero no necesariamente cuantificada bajo las condiciones en que se lleva a cabo el método.

Se determinó calculando 3 veces la desviación estándar obtenida para cada metal por su concentración.

## **IV. RESULTADOS**

### **4.1 Niveles promedio expresados en ppm o mg/ L de metales pesados**

Los resultados de las concentraciones de los metales en las aguas de pozo de Navojoa, Sonora obtenidos se expresan (en ppm o mg/ L) en el cuadro 1.

**Cuadro 1. Resultados de las concentraciones de metales en ppm o mg/ L en los pozos de agua potable en Navojoa, Sonora.**

Nombre del pozo	Clave	Cadmio (Cd)	Manganeso (Mn)	Cobre (Cu)	Plomo (Pb)	Fierro (Fe)
Planta de Rebombear el Datil	BD	ND	0.0305	0.05	0.0225	0.0902
Pozo 12	P12	ND	0.02	ND	<b>0.035</b>	0.0477
Pozo 2	P2	ND	<b>0.485</b>	ND	<b>0.07</b>	0.074
Pozo 3	P3	ND	<b>0.805</b>	ND	<b>0.12</b>	0.1265
Pozo 14	P14	ND	<b>2.66</b>	ND	<b>0.07</b>	0.2395
Pozo 8	P8	ND	0.08	ND	<b>0.17</b>	0.059
Pozo 16	P16	ND	0.045	ND	<b>0.0575</b>	<b>1.533</b>
Pozo 19	P19	ND	<b>1.26</b>	ND	<b>0.095</b>	0.186
Pozo 17	P17	ND	<b>1.235</b>	ND	0.02	0.2035
Pozo 18	P18	ND	0.06	ND	<b>0.095</b>	0.0965
Pozo 15	P15	ND	0.04	ND	<b>0.12</b>	0.103
Pozo 6	P6	ND	0.10	ND	<b>0.11</b>	0.1485
Pozo 1	P1	ND	0.03	ND	<b>0.11</b>	0.16
P1 BIS	P1B	ND	0.015	ND	<b>0.09</b>	0.0662
Pozo Valle Buey 3	PVB3	ND	<b>0.5125</b>	0.05	<b>0.065</b>	<b>1.280</b>
Pozo Valle Buey 2	PVB2	ND	<b>0.1475</b>	ND	<b>0.575</b>	0.0622
Pozo Valle Buey 1	PVB1	ND	<b>0.51</b>	ND	<b>0.07</b>	0.0705
Pozo 4	P4	ND	<b>1.745</b>	ND	<b>0.11</b>	0.12
Pozo 13	P13	ND	<b>0.185</b>	ND	<b>0.17</b>	0.103
Pozo Bahuises	PB	ND	<b>0.525</b>	ND	<b>0.115</b>	0.103
NORMA		0.005	0.15	2.00	0.025	0.300

- ❖ Los resultados de color rojo sobrepasaron los límites permisibles por la norma

Los resultados mostraron que el 95% de los valores de Pb rebasaron los límites permisibles por la Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-1994), al igual el Mn con el 50%, y el Fe con el 10%, mientras que para Cu y Cd, el 100% estuvo por debajo de los límites permisibles por la norma.

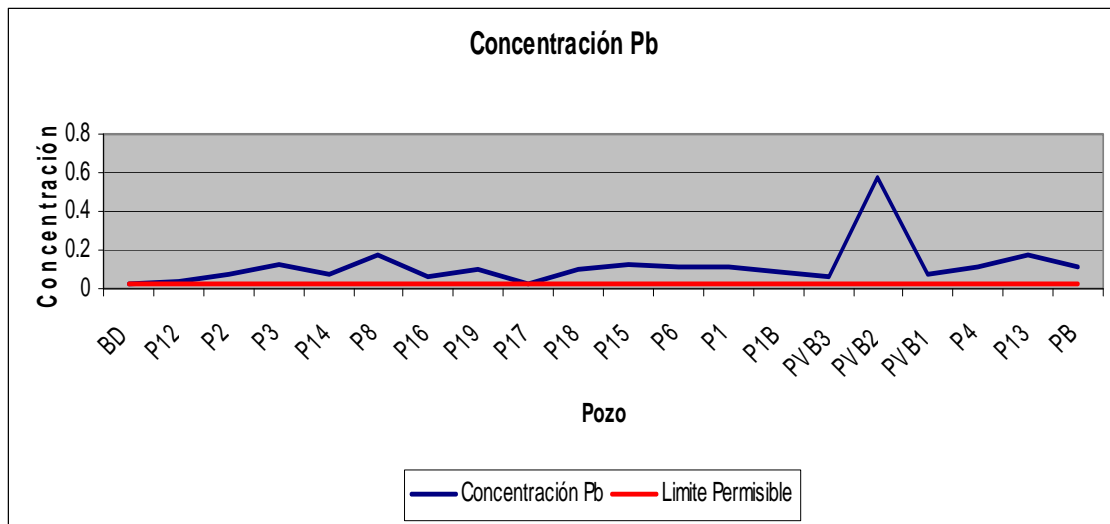
Las concentraciones promedio obtenidas para los metales cadmio, manganeso, cobre, plomo y hierro se encontraron en un rango desde: ND, 0.015 - 2.66 ppm, ND - 0.05 ppm, 0.02 - 0.575 ppm, 0.047- 1.5333 ppm, respectivamente.

## **4.2 Gráficas de concentración de metales en agua de pozo**

La siguiente gráfica representa el resultado de la concentración en ppm o mg/ L del metal pesado plomo en agua de pozo en la cd. de Navojoa, Sonora comparándose con los niveles de concentración permitidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.

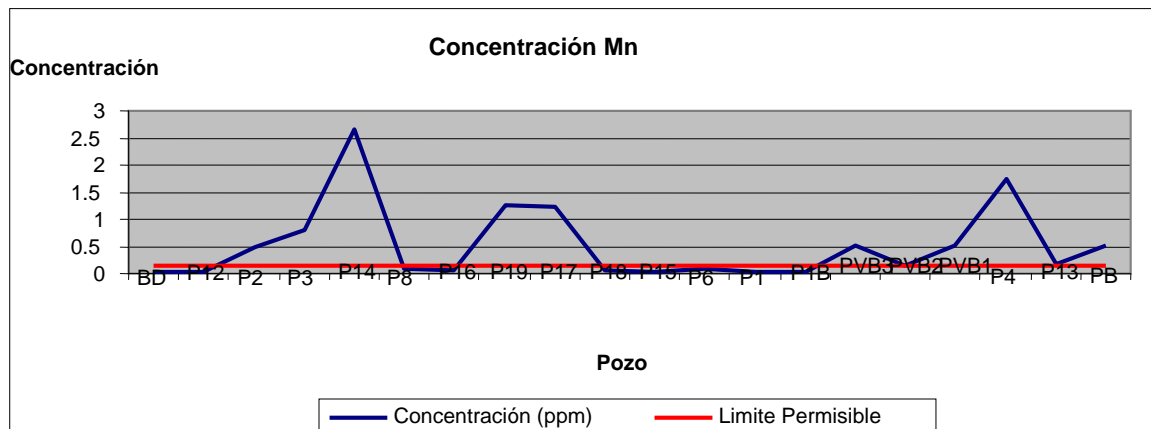


**Figura 10. Concentraciones de plomo (ppm o mg Pb/L) en agua de pozo, proveniente de Navojoa, Sonora.**



De las 20 muestras analizadas para este metal, el 95 % de ellas estuvieron por arriba de los límites permisibles señalados por la norma, detectando las concentraciones de Pb en el agua en un rango 0.02 a 0.575 ppm, observando que estos sobrepasan hasta 23 veces de los valores reportados por la norma. Probablemente la procedencia principal de este metal es por ser aplicado en productos metálicos, tuberías, pinturas, pesticidas, gasolina (al ser quemado y arrojado al ambiente por el escape de los automóviles)

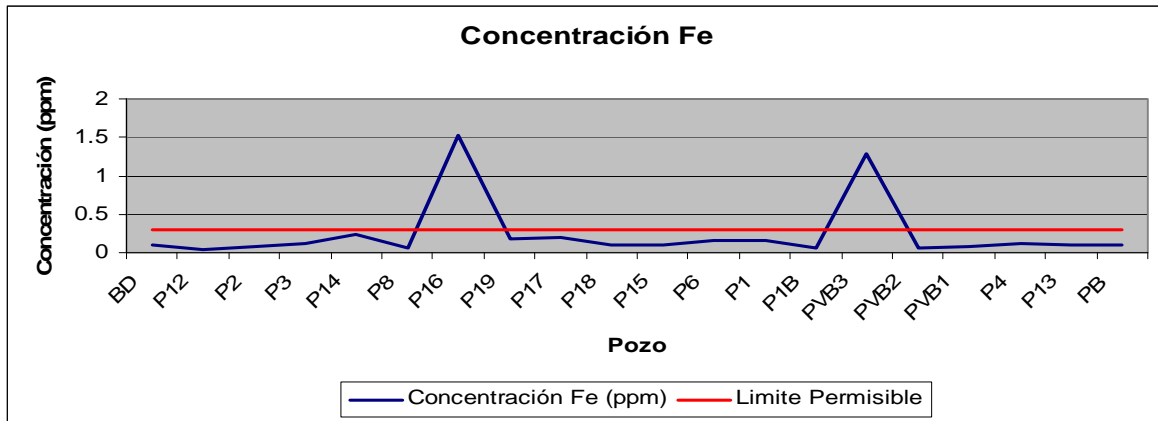
**Figura 11. Concentraciones de manganeso (ppm o mg Mn /L) en agua de pozo, proveniente de Navojoa, Sonora.**



De las concentraciones promedio del metal manganeso, 11 de las 20 muestras analizadas estuvieron por arriba de los límites permisibles señalados en la NOM-127-SSA1-1994. Las concentraciones fueron detectadas en un rango de 0.015-2.66 ppm. Observando que estos sobrepasan los límites permisibles hasta 17.7 veces. Probablemente la principal fuente de procedencia de este metal se debe en forma natural por la geología de la tierra donde constituye el 0.09% de la corteza terrestre y es insoluble al contacto con el agua.

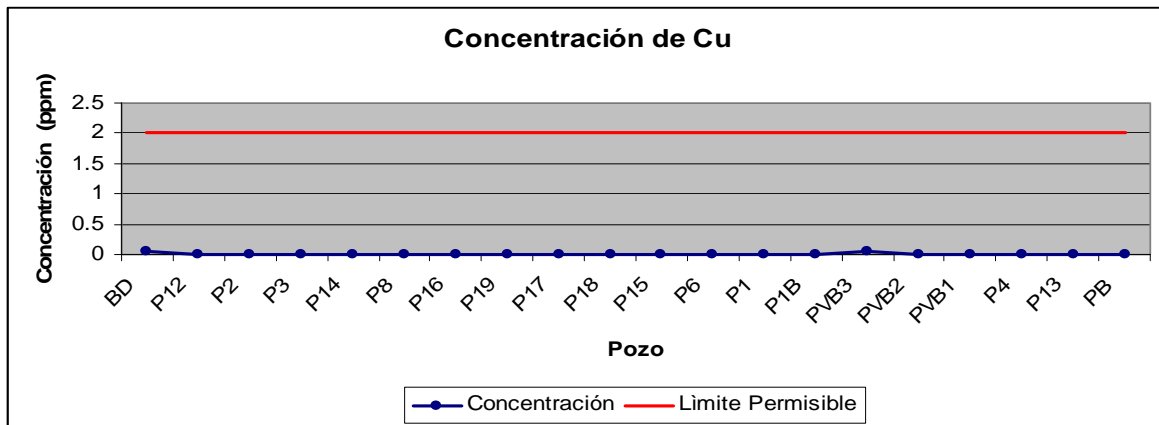
Según los datos proporcionados por la empresa Mexicana Gestión de Agua los pozos que de forma natural están contaminados con manganeso son el pozo 19 (P19) cuya concentración está en 1 ppm, el pozo 17 (P17) con aproximadamente 1-1.2 ppm, y los pozos Valle Buey 2 (PVB2), pozo Valle Buey 1 (PVB1) con 0.2 ppm y 0.15 ppm respectivamente. Los resultados de esta investigación coinciden con los datos proporcionados anteriormente.

**Figura 12. Concentraciones de hierro (ppm o mg Fe/ L) en agua de pozo, proveniente de Navojoa, Sonora.**



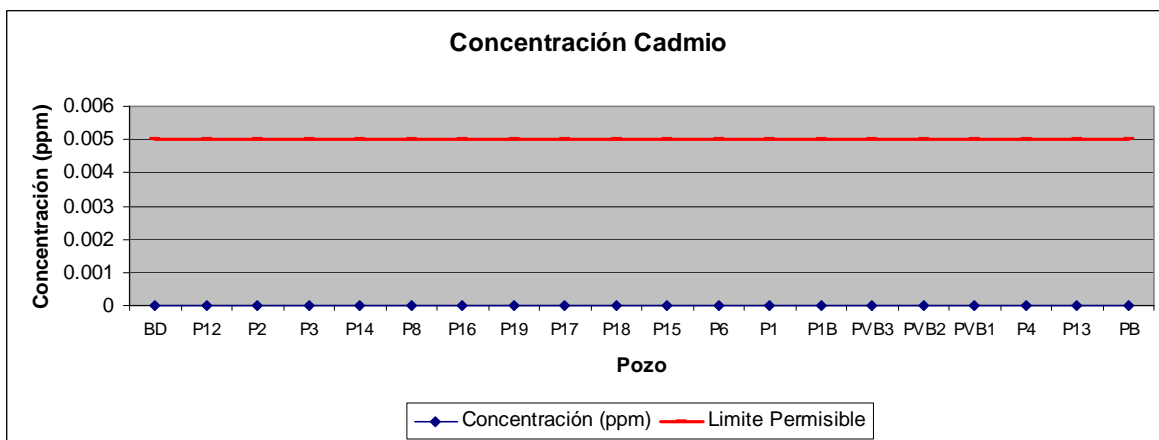
De las 20 muestras analizadas para fierro, el 10% rebasaron los límites permisibles señalados por la norma. Cuyas concentraciones fueron detectadas en un rango de 0.047-1.53 ppm, observando que estas sobrepasan el valor hasta 5 veces. Probablemente la procedencia de este metal se deba a que es un constituyente natural de la corteza terrestre, el núcleo de la tierra está formado principalmente por hierro y níquel. Además que la mayoría de las partículas suspendidas contiene fierro (emisiones vehiculares, centrales eléctricas, erupciones, fundidoras y meteoritos).

**Figura 13. Concentraciones de cobre (ppm o mg Cu/ L) en agua de pozo, proveniente de Navojoa, Sonora.**



Las concentraciones de cobre en el agua potable de los diferentes sitios de muestreo fueron detectados, pero en una cantidad menor al límite establecido por la norma y en un rango menor al límite de detección del instrumento.

**Figura 14. Concentraciones de cadmio (ppm o mg Cd /L) en agua de pozo, proveniente de Navojoa, Sonora.**



Las concentraciones de cadmio en el agua potable de los diferentes sitios de muestreo fueron detectados, pero en una cantidad menor al límite establecido por la norma y en un rango menor al límite de detección del instrumento.

De las concentraciones promedio para los metales cadmio y cobre se encontraron concentraciones menores a 0.04 y 0.019 ppm, respectivamente, siendo valor menor al límite de detección del instrumento. Esto significa que los metales mencionados anteriormente, aunque si fueron detectados, también se encuentran con niveles menores a los establecidos por la NOM-127-SSA1-1994 para agua de consumo. La probable procedencia de cobre se da principalmente por ser constituyente natural de la tierra, por la descomposición de la vegetación, incendios y también por la corrosión de las tuberías. La procedencia de cadmio se da principalmente por la descomposición de las rocas, fuegos forestales y pesticidas.

### 4.3 Resultados obtenidos para la validación del método

Los resultados obtenidos para la validación del método se presenta en el cuadro 2.

**Cuadro 2. Resultado de los parámetros de validación para la metodología NMX-051-SCFI-2001.**

<b>Metal</b>	<b>Coficiente de Variación</b>	<b>Limite de detección</b>	<b>% de Recuperación</b>	<b>Linealidad (R<sup>2</sup>)</b>
<b>Cd</b>	5.92	0.0456	104.3%	0.9491
<b>Mn</b>	1.44	0.0119	108.3%	0.9947
<b>Cu</b>	1.15	0.01918	103.3%	0.9992
<b>Fe</b>	*	0.006	90%	0.9991
<b>Pb</b>	*	0.01	87%	0.9982

\* No se obtuvieron datos

En el cuadro 2 se presentan los resultados obtenidos en las pruebas de validación, donde se aprecia que los valores obtenidos para la precisión fueron menores al 6% para este método instrumental. Los valores para el límite de detección estuvieron en un rango de 0.006 - 0.0456 teniendo el menor valor el fierro y el mayor el cadmio. En cuanto a la exactitud del método determinada por el porcentaje de recuperación, estuvo en el rango del 87 al 108%, con valores sumamente aceptables para cada metal. Por último la linealidad obtenida para cada curva de calibración tuvo valores de R<sup>2</sup> mayores al 99% (Pb, Fe, Cu y Mn) en el caso de cadmio el valor fue de 0.9491.

## **CONCLUSIONES**

En las muestras de agua de los pozos los resultados indican que por lo menos un metal no cumplió con algún parámetro de calidad establecido por la Norma Oficial Mexicana.

La ingestión crónica a largo plazo de esta agua, pudiera provocar riesgos a la salud de los consumidores.

Los resultados en cuanto a la precisión, la exactitud, límites de detección y la linealidad del método utilizado, son confiables.

Es necesario realizar monitoreos y análisis de los pozos periódicamente para saber el comportamiento de la concentración de estos metales pesados, así como detectar el origen de la contaminación de las fuentes de agua subterránea.

De acuerdo a los resultados obtenidos debido a las altas concentraciones de metales pesados en la mayoría de los pozos es necesario implementar un sistema de tratamiento que genere un agua de calidad para el consumo humano.

## **ANEXOS**



**Anexo 1.** Soluciones estándar de trabajo. A partir de las soluciones de 100 ppm tomar las siguientes alícuotas.

**a) Estándares de trabajo de cobre:**

Concentración del estándar (ppm)	Volumen a tomar de la solución de 100 ppm (en $\mu\text{L}$ )	Cantidad de $\text{HNO}_3$ (en $\mu\text{L}$ )	Marca de aforo con agua destilada
0.25	250	150	100 mL
0.5	500	150	100 mL
1.0	1000	150	100 mL
2.0	2000	150	100 mL
3.0	3000	150	100 mL
5.0	5000	150	100 mL

**b) Estándares de trabajo de hierro:**

Concentración del estándar (ppm)	Volumen a tomar de la solución de 100 ppm (en $\mu\text{L}$ )	Cantidad de $\text{HNO}_3$ (en $\mu\text{L}$ )	Marca de aforo con agua destilada
0.25	250	150	100 mL
0.5	500	150	100 mL
1.0	1000	150	100 mL
2.0	2000	150	100 mL
3.0	3000	150	100 mL
4.0	4000	150	100 mL

**c) Estándares de trabajo de manganeso:**

Concentración del estándar (ppm)	Volumen a tomar de la solución de 100 ppm (en $\mu\text{L}$ )	Cantidad de $\text{HNO}_3$ (en $\mu\text{L}$ )	Marca de aforo con agua destilada
0.25	250	150	100 mL
0.5	500	150	100 mL
1.0	1000	150	100 mL
2.0	2000	150	100 mL
3.0	3000	150	100 mL

**d) Estándares de trabajo de cadmio:**

Concentración del estándar (ppm)	Volumen a tomar de la solución de 100 ppm (en $\mu\text{L}$ )	Cantidad de $\text{HNO}_3$ (en $\mu\text{L}$ )	Marca de aforo con agua destilada
0.25	250	150	100 mL
0.5	500	150	100 mL
1.0	1000	150	100 mL
3.0	3000	150	100 mL

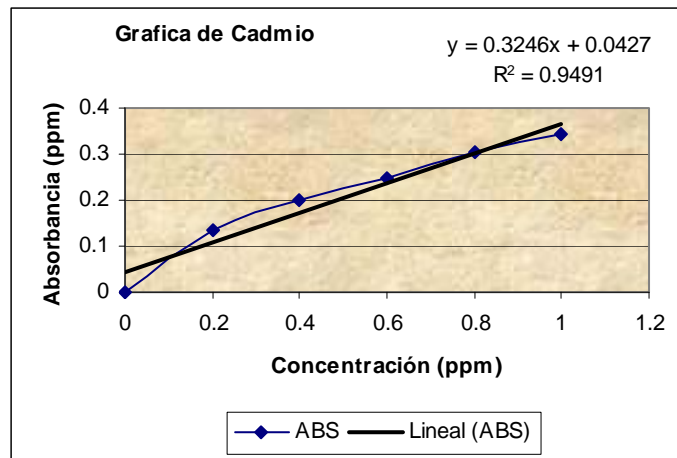
**e) Estándares de trabajo de plomo:**

Concentración del estándar (ppm)	Volumen a tomar de la solución de 100 ppm (en $\mu\text{L}$ )	Cantidad de $\text{HNO}_3$ (en $\mu\text{L}$ )	Marca de aforo con agua destilada
0.25	250	150	100 mL
0.5	500	150	100 mL
1.0	1000	150	100 mL
2.0	2000	150	100 mL
3.0	3000	150	100 mL

**Anexo 2. Graficas de linealidad.**

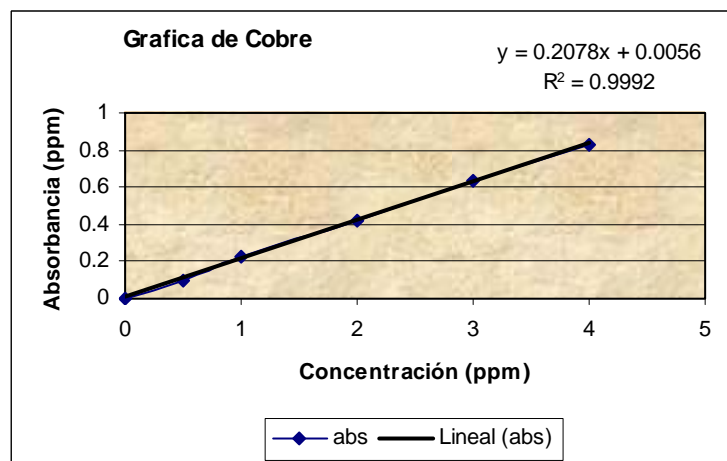
**A) Linealidad de Cadmio**

Cadmio	
Concentración	Absorbancia
0.0	0.000
0.2	0.136
0.4	0.198
0.6	0.249
0.8	0.303
1.0	0.344



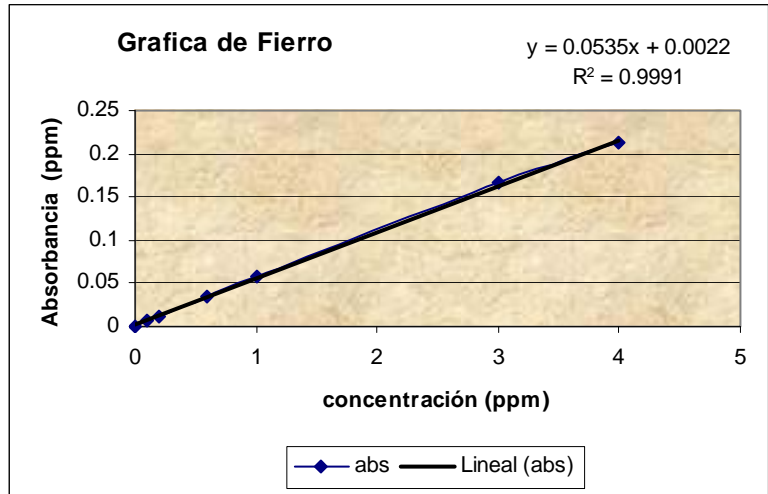
**B) Linealidad de Cobre**

Cobre	
Concentración	Absorbancia
0.0	0.000
0.5	0.101
1.0	0.227
2.0	0.423
3.0	0.636
4.0	0.828



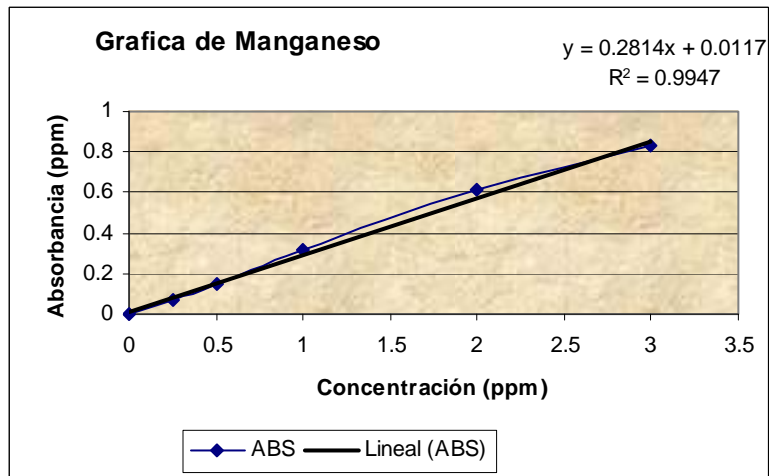
**C) Linealidad de Fierro**

Fierro	
Concentración	Absorbancia
0.0	0.0000
0.1	0.0062
0.2	0.0123
0.6	0.0355
1.0	0.0588
3.0	0.1660
4.0	0.2131



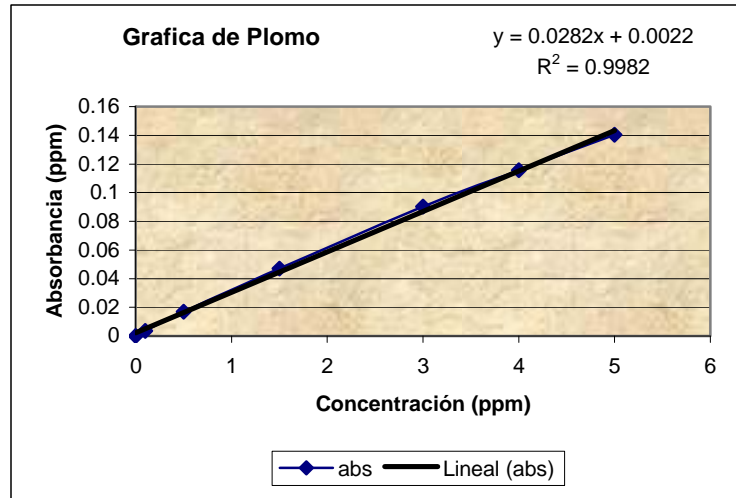
**D) Linealidad de Manganeso**

Manganeso	
Concentración	Absorbancia
0.0	0.000
0.25	0.074
0.5	0.145
1.0	0.313
2.0	0.611
3.0	0.827



### E) Linealidad de Plomo

Plomo	
Concentración	Absorbancia
0.0	0.000
0.1	0.0036
0.5	0.0170
1.5	0.0470
3.0	0.0902
4.0	0.1156
5.0	0.1403



**Anexo3.** Lectura en EEA**Tabla 7. Resultados de las Lecturas en Equipo de Absorción Atómica.**

Pozo – Estandares		Cadmio (Cd)		Manganeso (Mn)		Cobre (Cu)		Plomo (Pb)		Fierro (Fe)	
Nombre del pozo	Clave	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Planta de Rebombao el Datil	BD	0.03	0.03	0.61	0.61	0.1	0.1	0.03	0.06	0.159	0.202
Pozo 12	P12	0.03	0.03	0.04	0.04	ND	ND	0.08	0.06	0.083	0.108
Pozo 2	P2	0.02	0.03	0.49	0.48	ND	ND	0.10	0.04	0.074	0.074
Pozo 3	P3	0.03	0.02	0.80	0.81	ND	ND	0.2	0.04	0.129	0.124
Pozo 14	P14	0.03	0.03	2.29	2.23	ND	ND	0.06	0.08	0.218	0.261
Pozo 8	P8	0.02	0.02	0.08	0.08	ND	ND	0.1	0.07	0.069	0.05
Pozo 16	P16	0.04	0.04	0.09	0.09	ND	ND	0.12	0.11	3.093	3.04
Pozo 19	P19	0.04	0.04	2047	2.57	ND	ND	0.08	0.11	0.378	0.366
Pozo 17	P17	0.02	0.02	1.25	1.22	ND	ND	0.09	0.11	0.163	0.244
Pozo 18	P18	0.04	0.04	0.12	0.12	ND	ND	0.1	0.09	0.18	0.206
Pozo 15	P15	0.03	0.04	0.04	0.04	ND	ND	0.15	0.13	0.092	0.114
Pozo 6	P6	0.04	0.04	0.10	0.10	ND	ND	0.13	0.09	0.136	0.161
Pozo 1	P1	0.03	0.03	0.03	0.03	ND	ND	0.12	0.1	0.167	0.153
P1 BIS	P1B	0.05	0.05	0.03	0.03	ND	ND	0.11	0.07	0.136	0.129
Pozo Valle Buey 3	PVB3	0.04	0.05	1.02	1.03	0.1	0.1	0.14	0.12	2.573	2.548
Pozo Valle Buey 2	PVB2	0.05	0.04	0.29	0.30	ND	ND	0.12	0.11	0.128	0.121
Pozo Valle Buey 1	PVB1	0.04	0.05	1.02	1.02	ND	ND	0.15	0.13	0.146	0.136
Pozo 4	P4	0.04	0.04	1.74	1.75	ND	ND	0.11	0.11	0.12	0.12
Pozo 13	P13	0.04	0.04	0.18	0.19	ND	ND	0.17	0.17	0.103	0.103

---

---

Pozo Bahuises	PB	0.03	0.04	0.52	0.53	ND	ND	0.11	0.12	0.1	0.106
---------------	----	------	------	------	------	----	----	------	------	-----	-------

❖ Los resultados de color azul fueron aforados a 50ml.

**Anexo 4.** Formulas para la determinación de los parámetros de validación.

**a) Coeficiente de Variación**

$$Cv = SD / Xmedia * 100$$

**b) Límite de Detección**

$$LD = SD / Xmedia * 3 * (\text{concentración})$$

La desviación estándar entre la media por tres por la concentración del estándar.



## BIBLIOGRAFÍA

- Price, M., Agua subterránea. Editorial LIMUSA. México, 2003.
- TARBUCK, Edward, LUTGENS, Frederick .Ciencias de la Tierra una Introducción a la Geología Física. Editorial Prentice Hall. México 1999
- Jonson E. El agua subterránea y los Pozos. Jonson Division, VOP, Inc. Saint Paul, Minnesota, 1975.
- Harte, J., C., Schneider, R. y Shirley, C., Guía de las sustancias contaminantes. Editorial Grijalbo. México D.F 1995.
- Meléndrez, A. J. 1998. Determinación de los metales pesados traza en agua potable procedente de Ciudad Obregón, Sonora. Tesis de Químico. Instituto Tecnológico de Sonora, México.
- Lara, S., R., 2004. Exposición a metales pesados traza y su excreción en orina de niños residentes del Ejido Guadalupe Victoria, Valle del Yaqui, Sonora. Tesis de Químico. Instituto tecnológico de Sonora, México.
- Tebbutt, T. H., Fundamentos de control de calidad del agua. Editorial Limusa, México, 2001.
- Enkerlin, Ernesto. Ciencia ambiental y desarrollo sostenible. Thomson Editores, México D.F, 1997.
- Kiely, G. Ingeniería ambiental, fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Editorial McGraw-Hill. España, 1999.

- Albert, Lilia. “Curso básico de TOXICOLOGÍA AMBIENTAL”. Editorial LIMUSA. México D.F. 2001.
- Baird, Colin. “QUÍMICA AMBIENTAL”. Editorial REVERTÉ. México D.F. 2001.
- PIÑA, S., MARTÍN. (1997) “Remoción de hierro y manganeso en Navojoa, Sonora”, Informe interno de la Coordinación de Tratamiento y Calidad del Agua, Subcoordinación de Potabilización, IMTA.

### **Paginas de Internet consultadas**

[http://www.infoforhealth.org/pr/prs/sm15/m15chap2\\_2.shtml](http://www.infoforhealth.org/pr/prs/sm15/m15chap2_2.shtml)

<http://www.lenntech.com/espanol/metales%20pesados.htm>

<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Pb.htm>

<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Cd.htm>

<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Mn.htm>

<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Fe.htm>

<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Cu.htm>

[http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/102/htm/sec\\_5.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/102/htm/sec_5.htm)

<http://www.epa.gov/safewater/agua/plomo.html>

<http://es.wikipedia.org/wiki/cobre>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Manganeso>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Hierro>

<http://www.epa.gov/safewater/protect/pro>

[http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/102/htm/sec\\_6.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/102/htm/sec_6.htm)

<http://www.monografias.com/trabajos12/conpurif/conpurif.shtml#>

<http://www.ceesonora.org.mx/partidos/plataforma2003/pri/38pri.html>