

**MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL ACUÍFERO DE GUASAVE, SINALOA
(MÉXICO)
SIP 20080587**

Rodríguez-Meza, D.¹, G. Rodríguez-Figueroa², D. Sapozhnikov³, C. Vargas-Ramírez¹, A. Vallejo Soto⁴, G. Verdugo-Quiñonez⁴, A. Michel-Rubio⁴

¹Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Blvd. Juan de Dios Bátiz 250, Apdo. Postal 280, Guasave, Sinaloa, México 81101 gmeza@ipn.mx, ²Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Av. IPN s/n, Col. Playa Palo de Santa Rita, Apdo Postal 592, La Paz, Baja California Sur, 23096, México; ³ Instituto de V. I. Vernadsky de Geoquímica y Química Analítica, Academia de Ciencias de Rusia, Moscú, Rusia, ⁴Universidad de Occidente Unidad Guasave (estudiantes)

RESUMEN

En la actualidad existe un interés mundial por conocer la calidad del 3% de recurso hídrico disponible para los seres vivos, debido a la manifestación de contaminación por diferentes compuestos orgánicos e inorgánicos, al incremento de las actividades antropogénicas, la gran cantidad y complejidad de actividades existentes en un área, sumada a los elevados costos de investigaciones detalladas y del monitoreo hidrogeológico. En Sinaloa, son pocos los estudios realizados para conocer la calidad del agua potable, aspecto relevante si se considera que es una zona de gran interés por el uso constante de agroquímicos. Para conocer la calidad del agua potable que consume la población del Municipio de Guasave, se seleccionaron 15 pozos para el análisis de coliformes fecales y metales pesados, además se incluyó la caracterización de los suelos circundantes al pozo. Los resultados indican que el agua potable del acuífero es de buena calidad, sin embargo, se observó que algunos de los pozos de agua potable como el Toruno es susceptible a la presencia de coliformes fecales debido a la presencia de ganado vacuno. Por otro lado, se observó la presencia de Fe y Mn en el agua potable que se relaciona con las características geológicas de la localidad, debido que los yacimientos minerales Fe.

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación del recurso hídrico es un conflicto mundial, debido que solo un 3% del agua disponible en la Tierra es agua dulce, de este recurso el 79% está en los casquetes polares y sólo el 21% representa los recursos hídricos aprovechables, de los cuales el 20% es agua subterránea y el 1% es agua superficial. A partir de la escasez del recurso vital para los seres vivos, a nivel mundial la mayor preocupación es el manejo y preservación del recurso hídrico debido al incremento de las actividades antrópicas, la gran cantidad y complejidad de actividades existentes en un área, sumada a los elevados costos de investigaciones detalladas y del monitoreo hidrogeológico, obliga a los órganos de control ambiental, a llevar a cabo una estrategia de identificación de actividades o zonas de mayor peligro de contaminación de los acuíferos. La Agencia de Protección al Ambiente (EPA) reconoce que entre los contaminantes que afectan a los acuíferos son las bacterias coliformes, pesticidas, metales pesados y otros. La

actividad agrícola representa el factor contaminante más importante debido a la cantidad de plaguicidas empleados.

México no está exento del impacto por los anteriores compuestos, debido que actualmente se usan alrededor de 900 principios activos de plaguicidas formulados aproximadamente en 60,000 preparaciones comerciales. El país fabrica 36 ingredientes activos entre los que se encuentran el DDT, HCH, toxafeno y endrín (Rueda, 1993). El mayor uso de estos compuestos se realiza en la actividad agrícola no solo del país sino a nivel mundial, aspecto que ha influido para que los plaguicidas organoclorados (OC) se encuentren ampliamente distribuidos en el ambiente terrestre y acuático, como resultado de su uso en las últimas dos décadas para combatir plagas en la industria, la agricultura e incluso durante las campañas de salud donde son aplicados para contrarrestar enfermedades.

Sinaloa es un estado eminentemente agrícola, productor de granos y hortalizas para consumo nacional y para exportación, debido que cuenta con un clima tropical que permite el cultivo de 1 245,638 hectáreas, de las cuales aproximadamente un 40% son de riego, 50% de temporal y un 10% de riego y temporal. Sin embargo, el desarrollo de esta actividad durante las pasadas décadas genera gran preocupación sobre el estado de salud de los ecosistemas terrestres y marinos por el uso de grandes cantidades de agroquímicos, ya que se reconoce que la aplicación indiscriminada y sin control puede ocasionar daños al ambiente, la contaminación del suelo, de mantos freáticos y aguas continentales y costeras (Cristán-Frías *et al.*, 2000). Para el estado se reconoce que no hay un registro de las descargas agrícolas y su efecto en las corrientes superficiales y las bahías, además de incluir la contaminación de carácter físico-químico, bacteriológico y de nutrientes (Consejo de cuenca de los ríos Fuerte y Sinaloa, 2005). Es por ello, que se planteó el presente estudio con el objeto de conocer las condiciones en las que se encuentra la calidad del agua del acuífero de Guasave, con la determinación de coliformes fecales y metales pesados (Fe, Cu, Mn, Ni, Zn, Pb).

II. OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluación de la calidad del agua potable del acuífero de Guasave por coliformes fecales y metales pesados en agua y suelos (Sinaloa, México)

Objetivos específicos

- Determinar la presencia de bacterias coliformes totales y fecales en el agua potable del acuífero
- Determinar el contenido de Fe, Pb, Zn, Ni, Cu, Mn y Cd en el agua potable del acuífero
- Determinar la variación espacial y temporal del contenido de las variables a través de mapas
- Identificación de las zonas susceptibles y factores que modifican la calidad del agua
- Determinar con base en las normas mexicanas la condición actual del acuífero
- Creación de un programa didáctico para la presentación de resultados que sea útil para la presentación de los resultados y su consulta en general.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

IV.1. Área de estudio

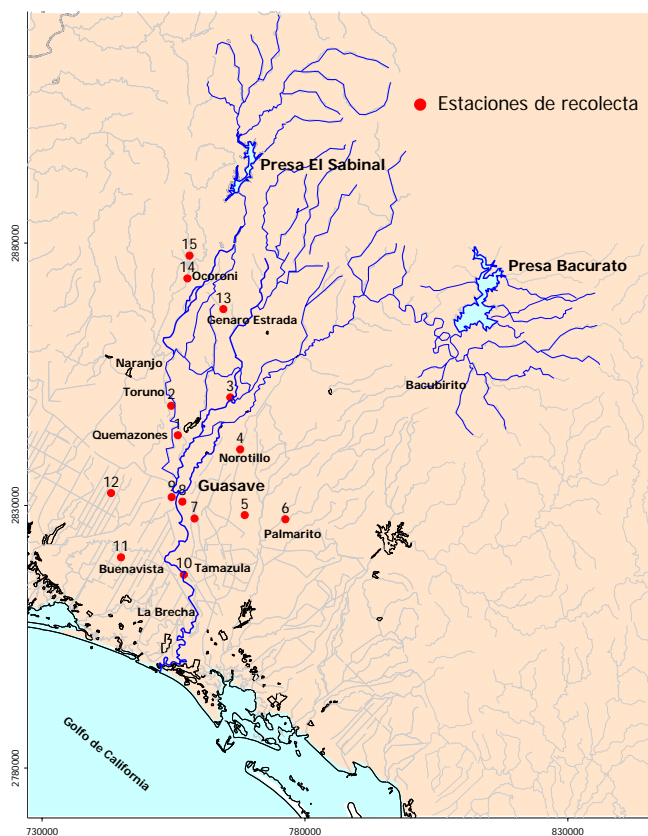


Fig. 1. Localización del área de estudio y de las estaciones de colecta del agua potable en el acuífero de Guasave

El acuífero Río Sinaloa en el valle agrícola de Guasave, se encuentra ubicado entre los meridianos $108^{\circ} 11' 15''$ (783184.0653 UTM) y $108^{\circ} 49' 30''$ (718029.7727 UTM) de longitud oeste y entre los paralelos $25^{\circ} 18' 25''$ (2801941.5653 UTM) y $25^{\circ} 49' 35''$ (2858299.1063 UTM) de latitud norte. Limita al norte con la Sierra de Barobampo y al oeste con el Golfo de California (INIFAP, 2000) (Fig. 1).

La región cuenta con una superficie de $3,464.41 \text{ km}^2$, ocupando el 6% de la superficie de la entidad. El Municipio de Guasave por su superficie territorial, se ubica en el octavo lugar con relación al total de los municipios del estado. Su principal afluente es el Río

Sinaloa que cruza el Valle en dirección noroeste-sureste.

Existen varios municipios que se encuentran localizados dentro del acuífero, como es el caso de Guasave y Sinaloa, estando incluidos en forma parcial Angostura, Salvador Alvarado, Badiraguato y Choix (CNA, 2002). Existen más de 442 localidades, pero las más importantes son Juan José Ríos, Benito Juárez, El Burrión, Nío, Estación Bamao, León Fonseca, Adolfo Ruíz Cortínez, La Trinidad, Tamazula y la Brecha.

El uso principal del agua superficial es el riego agrícola de 213,000 has físicas y de 305,800 has cosechadas. Además de la generación de energía eléctrica (CNA, 2002)

Clima. La temperatura media anual es de 24°C, sin embargo en el mes de julio se registraron los valores máximos que sobrepasan los 30°C. En cambio, valores menores a los 18°C se registran en enero (CNA, 2002). El clima en la zona de estudio, de acuerdo al sistema de Thorntwait, es de D(d)A'(a') nomenclatura que indica que es seco sin excedente de humedad durante el año y cálido con régimen normal de calor (Palafox-Ávila, 2006).

Geología. Las rocas más antiguas que afloran en la región y que constituyen el basamento geológico, están formadas por esquistos y pizarras pertenecientes a la formación conocida como complejo Sonobari; se encuentra afectada por un intrusito ácido de edad Cretácica perteneciente al batolito que aflora en Sonora y Sinaloa, compuesto por granitos, granodioritas, monzonitas y tonalitas. Sobreyaciendo en forma discordante a estas rocas, descansa un paquete de calizas marinas con intercalaciones de margas y lutitas cretácicas (CNA, 2002).

Hidrología. La zona de estudio, comprendida en el Río Sinaloa se ubica dentro de las coordenadas 108° 05' (793815.2481 UTM) y 108° 40' (733565.0786 UTM) de longitud oeste, y 25° 15' (2795859.9955 UTM) y 26° 00' (2877808.7650 UTM) de latitud norte (Fig. 1). La cuenca del Río Sinaloa presenta una superficie aproximada de 12,678 km² (Consejo de cuenca del río Fuerte y Sinaloa, 2005). En el informe presentado por la CNA (2002), señala que se entregó en concesión la infraestructura hidroagrícola a los usuarios de los distritos de riego, dividiendo estos en módulos de riego para su operación y conservación. El acuífero comprende dos distritos de riego; en la margen derecha parte del D.R. 075 Río Fuerte (cinco módulos) y el D.R. 063 (cinco módulos).

IV.2. Colecta de muestras

Se seleccionaron los pozos de agua potable distribuidos en el Valle de Guasave (Fig. 1, Tabla 1), con base a su distribución geográfica, actividad humana circundante, el tipo de pozo y

la presencia de actividad agrícola en el área circundante. Lo anterior, con el objeto de tener mayor representatividad sobre el impacto que puede tener las diferentes actividades humanas en la calidad del agua y en el suelo.

Se realizaron cuatro campañas de recolecta del agua potable (febrero, mayo, agosto, octubre) en el presente año, que abarcan además la época seca y húmeda en la región. En cada mes se recolectaron 15 muestras de agua potable del acuífero de Guasave, aunque por interés

Tabla 1. Datos de localización geográfica (UTM) de los pozos sujetos a estudio en el acuífero de Guasave, Sin.

Longitud	Latitud	No. pozo	Nombre común
755831.6650	2843387.8106	1	Quemasones
754571.9420	2849002.1584	2	Toruno
765800.7226	2850593.9938	3	Zopilote
767680.9959	2840682.0740	4	Norotillo
768551.1982	2828176.0602	5	Palos Blancos
776281.9162	2827380.4629	6	Palmarito
758998.0891	2827525.3022	7	Burrion
756690.1575	2830741.5349	8	Guasavito
754652.9631	2831594.7797	9	Guasave
756967.8533	2816815.0020	10	Tamazula
745007.9003	2820134.1530	11	Buenavista
743129.8164	2832375.1997	12	La Entrada
764485.5157	2867420.3563	13	Genaro Estrada
757647.6929	2873261.4522	14	Ocoroni
758051.4851	2877603.9485	15	Potrero

de los representantes del Modulo Ocoroni la colecta de agua se extendió hasta ese modulo de riego (Tabla 1). En cada pozo se tomo lectura de las coordenadas geográficas con un GPS (Magellan), temperatura, pH y conductividad del agua con un potenciómetro (Ohaus). En cada punto se tomó agua para el análisis bacteriológico y de metales pesados. Por otro lado, en el estudio se considero el análisis de suelo, textura y el tipo de sedimento,

ya que es un parámetro que influye en la velocidad de infiltración del agua, de los nutrientes y de los posibles contaminantes que posiblemente provienen de la actividad agrícola (plaguicidas) que anualmente se practica en la región. Dada la importancia que tiene en la velocidad del flujo de los contaminantes se tomo como referencia la tabla de infiltración presentada por USDA (1999), que se indica más adelante.

Análisis de Agua

Bacteriología. En cada pozo de recolecta se dejo correr el agua por un lapso de 10 min y se procedió a su almacenamiento en bolsas estériles. Para ello, se procedió a flamear la llave o el tubo de extracción para evitar la contaminación de la muestra con polvo o las partículas que

podieran estar alrededor y obtener resultados erróneos. La muestra se preservó en hielo hasta su análisis en el laboratorio con referencia a la NMX-AA-042-SCFI-2005 y procurando que no excediera del tiempo que indica la norma de referencia para llevar a cabo el presente estudio. En el laboratorio se prepararon los medios de cultivo (caldo lactosado, verde bilis brillante y medio EC) para las pruebas presuntivas y confirmativas.

Metales pesados. Con respecto a los metales pesados, el agua se recolectó en contenedores plásticos de 500 ml previamente lavados y enjuagados con agua destilada. El agua se preservó con la adición de ácido nítrico concentrado y su refrigeración hasta el análisis. La absorción de cada elemento se midió con un espectrofotómetro de absorción atómica Avanta GBC, con lámparas monoelementales y de acuerdo a las especificaciones para cada uno de ellos, se utilizó un quemador aire/acetileno. La cuantificación de Fe, Cd, Cu, Pb, Zn, Ni y Mn, se realizó previa construcción de curvas de calibración con estándares certificados Perkin Elmer, tal como se indica en la NMX-AA-051-1985.

Análisis de Suelos

Textura. La separación de las partículas de mayor tamaño, es un proceso que se puede realizar directamente utilizando una serie de tamices, sin embargo, el problema se presenta en la terminación de las partículas más finas (limo y arcilla). Para ello, se utilizó el método de sedimentación basado en la Ley de Stokes, que señala que la velocidad de caída de las partículas esféricas en un medio fluido es proporcional al cuadrado del radio de dichas partículas. El proceso se basó en la NOM-021-RECNAT-2000.

El método consistió en pesar 40 gr de suelo seco y tamizado con una apertura de malla de 2 ml, agregar 100 ml de agua destilada y 10 ml del agente dispersante (hexametáfosfato de sodio). La mezcla se dejó reposar durante 5 minutos y luego se agitó durante 5 minutos en una mezcladora. El contenido se vertió en una probeta de 1 lt, cuidando de no perder material de suelo, luego se aforó a 1 lt con el hidrómetro dentro. El material se agitó con el embolo, unas 10 veces para lograr homogeneidad en la suspensión. A cada lectura efectuada se tomó la temperatura de la suspensión, con el fin de obtener, el factor de corrección. Las lecturas del método se realizaron a los 40 segundos, la primera y a las 2 horas la segunda lectura. La textura del suelo se basó en el uso del triángulo de clases de textura (USDA, 1999), a partir de la estimación del contenido de limo, arcilla y arena.

Materia orgánica. Para cuantificar el carbono orgánico se basó en el método propuesto por Walkley y Black (1934), modificado por Loring y Rantala (1992) (Green-Ruiz, 2000), método también descrito en la NOM-021-RECNAT-2000. El proceso de las muestras consistió en pesar aproximadamente 0.5 g de cada muestra en un matraz Erlenmeyer y añadir 10 ml de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) y 20 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4). Se calentó la mezcla por 30 min a $140^\circ C$ y se dejó enfriar la solución para añadir 200 ml de agua destilada. Se le agregó 10 ml de ácido fosfórico (H_2SO_4) al 85%, 0.2 g de fluoruro de sodio (NaF) y 15 gotas de difelinamina (indicador). La solución se tituló con una solución sulfato ferroso amoniacal.

Oligoelementos. Se cuantificó el contenido de elementos en los suelos adyacentes a cada pozo de colecta, donde se observó que en casi todos los pozos la actividad que se realiza es la agricultura aspecto que se considera puede influir en la calidad del agua debido a la aplicación de constantes cantidades de agroquímicos, que incluyen plaguicidas, herbicidas, fungicidas, así como fertilizantes para proteger los cultivos. Es por ello, que en cada pozo de colecta se tomó una muestra de suelo a una profundidad no mayor de 20 cm de profundidad. El material se recolectó de manera estacional y se almacenó en bolsas de polietileno para su procesamiento en el laboratorio. El material fue puesto a secar a una temperatura de $60^\circ C$ y homogenizado en morteros de porcelana. El material se digirió con agua regia ($HCl:HNO_3$) en plancha de calentamiento por un lapso de 7 hrs, junto con las muestras se corrió un blanco y un material de referencia. La solución se aforó con agua tridestilada a un volumen de 50 ml. La absorbancia de cada elemento se midió con un espectrofotómetro de absorción atómica Avanta GBC. La cuantificación se realizó con base en la NMX-AA-051-1985.

Distribución espacial. A partir de los datos del número más probable (NMP) de coliformes, la concentración de los metales en el agua y de las características del suelo se obtuvieron mapas de las distribuciones que han permitido identificar las zonas susceptibles y las posibles fuentes o actividades que se realizan en la zona que contribuyen al deterioro de la calidad del agua. Para ello, se emplea el programa SURFER (Surface Mapping System, Golden Software, Inc.) versión 8.0.

Tratamiento estadístico. Para una mejor descripción de los datos de concentración de los metales pesados en agua se realizará la corrección con las otras variables detectadas y se usará el análisis de componentes principales y de factores para identificar asociaciones geoquímicas, variables determinantes en la distribución y comportamiento de los metales y las bacterias coliformes en el acuífero de Guasave.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

V.I. Suelos

V.I.1. Textura

Los datos que a continuación se describen corresponden a muestras de suelo colectadas en la zona adyacente a cada pozo de agua potable, que en la mayoría de los casos fue de campos agrícolas. La muestra se tomó a aproximadamente 15 cm de profundidad. Con base a los resultados el componente de mayor abundancia en los suelos fue arena > arcillas > limos.

Arena. Los valores obtenidos del análisis textural indican que la arena fue el componente predominante de los suelos, el valor promedio obtenido fue 47%. Este resultado se asocia al intemperismo de las rocas que se encuentran en el acuífero y que son dispersadas a través del arrastre de material por las precipitaciones pluviales y a la influencia de los vientos (transporte eólico).

La distribución espacial del porcentaje de arena indica que los suelos con más del valor promedio (> 47%), se localizaron adyacentes al río y en la parte baja del acuífero (Fig. 1). La importancia de la textura se asocia a la permeabilidad de los suelos con los diferentes contaminantes que se pueden presentar en el acuífero, como es la presencia de organofosforados y organoclorados por la agricultura, así como coliformes fecales por la presencia de fosas sépticas. La menor presencia de arena se registró en el módulo Bamoa, donde se observó menos de 40% de arena.

Con base en la textura que se determinó de las muestras, el tipo de suelos con mayor predominancia en el área fueron los suelos franco-limosos, areno-francos y franco-arenosos. La particularidad de estos, es que son materiales característicos de la zona de ríos que para la zona son aportados por los escurrimientos de material por el Río Sinaloa. Similares resultados registró Monroy-Contreras (2006), quien a través de perforaciones realizadas en Guasave observó que los suelos con mayor predominio en la superficie de los estratos fueron los franco-limosos, arcillosos y franco-arcillosos, que se comportan como cuerpos impermeables por la abundancia de las arcillas. Además de señalar que la geometría del acuífero superior no es regular, sino variable y alcanza hasta los 50 m. Tanto el tipo de suelo como la geometría, son características importantes porque influyen la fertilidad y ayudan a determinar la velocidad de consumo de agua, el almacenaje de agua en el suelo, la laborabilidad y al amplitud de la aireación (USDA, 1999). Dada la importancia que tiene en el flujo de los contaminantes se tomó como referencia la velocidad de infiltración presentada por USDA (1999) del agua dependiendo del tipo de suelo,

parámetro que es sensible a condiciones cercanas a la superficie y los cambios derivados del uso de suelo, el manejo y el tiempo.

A partir de los datos obtenidos, los suelos que caracterizan al acuífero de Guasave presentan una velocidad de muy lenta a moderadamente lenta de infiltración, lo que indica la retención del agua y otros compuestos en la capa más superficial del suelo y contribuye que la zona se emplee con buenos resultados en la agricultura. Estimaciones realizadas por Monroy-Contreras (2006) indican en perforaciones realizadas una velocidad en estratos franco-arenosos de $0.0107 \text{ cm min}^{-1}$, franco-arcillosos de $0.0097 \text{ cm min}^{-1}$, franco limoso de $0.0117 \text{ cm min}^{-1}$ y para las arcillas $0.0117 \text{ cm min}^{-1}$. Los anteriores datos corroborar que el desplazamiento de los contaminantes orgánicos en la zona son lentos.

Actualmente, para predecir el comportamiento de un contaminante es necesario conocer las interacciones entre los suelos o sedimentos y un contaminante orgánico. Las partículas finas a muy finas, que son las que predominan en la zona, se caracterizan por tener la mayor capacidad de adsorción de contaminantes, debido que actúan como ligandos (López-Geta *et al.* 1992). En los procesos sorcitivos de algún metal por las arcillas y la materia orgánica participan las siguientes interacciones: fuerzas de Van der Waals, puentes de hidrógeno, interacciones dipolo-dipolo, intercambio iónico, protonación, intercambio de ligandos y/o reparto hidrofóbico (Galán-Huertos *et al.*, 2003). Dichos procesos son señalados como una forma eficiente en la reducción de la movilidad, afectan su bioactividad y toxicidad. Tomando en cuenta la importancia de la materia orgánica como ligando de metales pesados para el agua subterránea, se determinó el contenido en el suelo adyacente a cada pozo de agua potable.

Materia orgánica

La concentración promedio en los suelos en cada uno de los periodos se presenta en la Tabla 2. Los resultados indicaron mayor contenido de materia orgánica en el mes de mayo y agosto (MO > 2.0%), con respecto a lo obtenido en

Tabla 2. Concentración promedio y desviación estándar de la materia orgánica en suelos

Mes	Concentración
Febrero	1.7 ± 0.9
Mayo	2.1 ± 1.8
Agosto	2.0 ± 1.0
Octubre	1.3 ± 0.8

febrero y octubre del presente año. El incremento en la materia orgánica, sobretudo en el periodo de primavera-verano pueden ser resultado de la presencia de restos de vegetales producto de la cosecha anterior, debido a que en estos meses la mayoría de los campos

agrícolas cosecha y trilla los restos de vegetación para crear composta, como abono para los suelos y para el pastoreo del ganado.

La distribución espacial de este componente para cada mes fue muy similar, con excepción del mes de octubre. Para ello, los máximos de la materia orgánica se localizaron adyacentes a los pozos de agua potable de las localidades de Guasavito y El Burrión (Fig. 1).

La materia orgánica es un factor clave en la fertilidad del suelo, ya que actúa sobre las propiedades físicas (porosidad, capacidad de retención hídrica, estabilidad de agregados, etc.), sobre las químicas, aportando nutrientes mediante los procesos de mineralización, y a través de su capacidad de cambio de cationes, que actúa como una reserva nutricional, y sobre las biológicas, ya que mantiene la actividad microbiana del suelo.

Datos de referencia en el contenido de materia orgánica indican 1% para los suelos agrícolas de Sinaloa (INEGI, 1999) que es valor próximo a los datos obtenidos en el presente estudio, sin embargo, dicho contenido se considera para suelos pobres, mientras que valores que oscilan de 1.5% a 2.5% son suelos suficiente y ricos con 2.5% a 3.5% (NOM-021-RECNAT-2000). Con base en estos valores de referencia, se considera que los suelos de la margen derecha del acuífero son ricos en materia orgánica, lo que se considera contribuyen a la adsorción de diferentes compuestos orgánicos de origen natural como antropogénico.

El contenido en materia orgánica del suelo influye en dos sentidos, sobre la cantidad de metales que pueden alcanzar las aguas subterráneas y la biodisponibilidad de estos elementos al agua como la biota. Por un lado, la materia orgánica es una fuente de energía para los microorganismos y éstos son uno de los principales responsables de la degradación de plaguicidas, por lo que, al incrementarse aquella aumenta la bioactividad y, consecuentemente la degradación de los mismos. Por otra parte, la adsorción de 105 plaguicidas se incrementa con el contenido de materia orgánica (López-Geta *et al.*, 1992).

V.1.2. Oligoelementos (metales pesados)

La Tabla 3 muestra el contenido promedio de los oligoelementos en la fracción biodisponible y el contenido total de los suelos adyacentes a los pozos de agua potable. La concentración de Fe, Cu, Zn, Ni, Mn y Pb se analizaron por espectrofotometría de absorción atómica; mientras que Ba, Sc, Cr, Co y As por activación neutrónica.

Los resultados de la fracción biodisponible indican mayor contenido de Cu, Zn, Ni, Mn y Pb en los suelos recolectados en los meses de mayo como octubre del 2008, en cambio febrero

y agosto presentaron valores menores. De acuerdo a los valores, los elementos más abundantes de esta fracción son Fe > Mn > Zn > Cu > Pb > Ni, los primeros de ellos, indicadores de la contribución terrígena debido que las formas más comunes en que se encuentran son formando óxidos de Fe y Mn. Con respecto a la concentración total en los sedimentos, el comportamiento fue similar, aunque se consideraron otros elementos que se obtuvieron por activación neutrónica, la secuencia fue la siguiente: Fe > Ba > Mn > Zn > Cr > Ni > As > Co > Sc > Cu.

A partir de los resultados, Fe y Mn fueron de los elementos más abundantes en la zona, que de acuerdo a Siegel (2002) ambos se encuentran en los minerales comunes de suelos y sedimentos como óxidos de Fe y Mn, componentes importantes debido que permiten que varios elementos precipiten o sean adsorbidos en estos, dependiendo de su tamaño y el área superficial. Turner (2000) observó una correlación significativa entre óxidos de Fe ó Mn (ó ambos) y los elementos Cu, Zn y Pb, sugiriendo que los óxidos ejercen un control dominante en la adsorción o coprecipitación, sin embargo variaciones en la acumulación de los elementos se esperan como resultado de las características del elemento, la naturaleza de la fuente, la habilidad del ambiente para amortiguar o dispersar los elementos a través de la energía de la marea.

Tabla 3. Concentración promedio de oligoelementos (mg kg^{-1}) en la fracción biodisponible y total en los suelos agrícolas en los municipios de Guasave y Sinaloa (con excepción de Fe en %)

Elemento	Fracción biodisponible				Concentración total	
	Febrero	Mayo	Agosto	Octubre	Febrero	Octubre
Fe	0.26	0.30	0.32	0.52	2.60	1.90
Cu	6.70	16.7	7.4	15.5	11.2	22.8
Zn	10.7	31.5	17.0	27.8	68.4	67.0
Ni	4.3	9.2	4.8	7.3	19.6	10.8
Mn	138.0	444.0	349.0	402.0	687.0	587.0
Pb	8.0	10.0	9.0	10.0	11.0	9.0
Ba	-	-	-	-	737.0	-
Sc	-	-	-	-	13.2	-
Cr	-	-	-	-	48	-
Co	-	-	-	-	13.7	-
As	-	-	-	-	14.3	-

En el presente estudio los coeficientes de correlación entre los oligoelementos con valor mayor a 0.6 se observaron principalmente con Fe y en menor proporción con Mn. Entre los elementos que destacaron fueron Sc, Cr, Co, Ni, Cu, Zn que son algunos de los que indican Turner (2000) y Siegel (2002). Los resultados muestran similar comportamiento con lo que señala Libes (1992), quien indica que entre los elementos arrastrados por el material

transportado por los ríos se encuentran: Al > Fe > Ti > Mn > Zn > V > Cr > Ni > Cu, que se relacionan con el material erosionado e intemperizado de las rocas de las cuencas de drenaje por donde fluye el agua, además que en zonas con yacimientos minerales, como ocurre en la región se pueden observar: Fe > Al > Mn > Cu > Zn > Pb > Cr, que son algunos de los elementos característicos de los depósitos minerales principalmente de Au y Ag en la región, además de los elementos ya señalados, como yacimientos secundarios.

Hasta el momento, son pocos los estudios que determinan la fracción disponible, algunos de estos se presentan en la Tabla 4 para comparar y establecer las condiciones de los suelos agrícolas y el efecto que pueda representar para la biota.

Los datos que se presentan indican que los niveles que se encuentran para esta zona no representan un riesgo debido que localidades (Mazatlán, Laguna de La Paz, Guaymas, Ohuira-Topolobampo) con mayor actividad antropogénica (minería, asentamientos humanos, actividad industrial, puerto pesquero) presentaron concentraciones elevadas de Fe, Pb y Cu que sobrepasaron varias veces los detectados en los suelos. En el caso de Ni, el contenido fue mayor al registrado por Green-Ruiz y Páez-Osuna (2004); mientras con Zn, los datos fueron semejantes a los reportados por Green-Ruiz (2000).

Tabla 4. Concentración de la fracción biodisponible (mg kg^{-1}) de oligoelementos en los sedimentos y suelos de diferentes localidades

Localidad	Fe (%)	Mn	Ni	Pb	Zn	Cu
Río Rímac ^{1c}	-	-	-	22.5	-	-
Pabellón-Altata ²	-	-	<1 - >3	<15 - >45	2-76	<0.3->0.8
Navachiste-Macapule ³	0.49	-	-	0.42	30	6.4
Bahía Mazatlán ^{4c}	10.5	-	-	34.9	17.6	32.2
Ohuira-Topolobampo ^{4c}	9.2	-	-	46.2	30.8	35.6
Bahía Guaymas ^{4c}	10.8	-	-	51.6	18.8	48.8
Laguna de La Paz ^{4nc}	26.5	-	-	39.7	18.1	31.8
Suelos agrícolas	0.3 - 0.5	138 - 444	4 - 9	8 - 10	11 - 32	7 - 17

¹Juárez-Soto (2006), ²Green-Ruiz y Páez-Osuna (2004), ³Ayala-Baldenegro (2004), ⁴Green-Ruiz (2000)

La concentración total del Fe en los suelos indica valores elevados en la zona de Guasave, donde se caracteriza por presentar la mayor cantidad de limos y arcillas, que comprenden la fracción más fina del sedimento. La principal fuente que se considera de este material es el arrastre por el río Sinaloa, sin embargo hay que considerar que para la producción de granos y hortaliza se aplican diferentes fertilizantes que contienen diferentes oligoelementos que pueden estar contribuyendo a enriquecer los suelos, sobretodo de la parte central donde

hay mayor actividad agrícola. Además que puede favorecer a la presencia de otros elementos, que incluyen Zn, Mn, Cu y otros. De acuerdo a la asociación de agricultores, entre los productos que se aplican se encuentran nitrato de amonio, nitrato de calcio, fosfato de amonio, fósforo, amoniaco anhidro, urea 11-520, sulfato de potasio, sulfato de amonio, cloruro de potasio, Triple 17 (N, P, K) y nutrientes foliares.

Hasta el momento, los datos de concentración total indican que los oligoelementos provienen de una fuente natural, en este caso del intemperismo de las rocas donde destacan los yacimientos de Au, Ag, Fe, Ni, Pb y Cu, principalmente. Sin embargo, la zona es susceptible a impacto por la aplicación de diferentes productos que incorporan elementos en exceso.

Los niveles de elementos con respecto a otras localidades no se comparan con lo reportado para otras localidades con actividad industrial, portuaria y minera. Para esta zona, una de las principales fuentes de aporte es el continental, por la presencia de yacimientos minerales (Au, Ag, Fe, Ni, Zn, Cu) que favorecen el incremento del contenido de los elementos. Sin embargo, se considera que es una zona expuesta a impacto por la aplicación de diferentes productos agrícolas que facilitan el crecimiento de los diferentes tipos de cultivos.

V. 2. Agua

En la Tabla 5 se presentan los datos promedio y desviación estándar de los parámetros determinados en las muestras de agua subterránea del acuífero de Guasave. Los datos corresponden al potencial de hidrógeno (pH), temperatura, conductividad y sólidos disueltos totales, que se tomaron en cada mes de colecta.

Tabla 5. Datos promedio y desviación estándar de los parámetros tomados en el agua subterránea

Parámetro	Febrero	Mayo	Agosto	Octubre
Temperatura (°C)	27.0 ± 2.0	27.0 ± 3.0	29.2 ± 1.2	29.0 ± 1.2
pH	7.3 ± 0.2	7.3 ± 0.3	7.3 ± 3.0	7.3 ± 3.0
Sólidos totales disueltos (mg/l)	715 ± 459	626 ± 434	777 ± 494	788 ± 512
Conductividad (mS/cm)	1.0 ± 0.6	0.9 ± 0.6	1.0 ± 0.7	1.0 ± 0.7

pH. El valor promedio de pH en el agua para los cuatro meses de recolecta fue de 7, no se observó variación temporal de este parámetro en el agua. De acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994 el pH en el agua potable puede oscilar de 6.5 a 8.5, lo que indica que el agua potable del acuífero se encuentra dentro de los valores aceptables para su consumo. La distribución espacial de este parámetro indica similar comportamiento entre los meses de febrero-octubre y mayo-agosto. En el primer caso, los valores de $pH > 7.7$ se observaron en los pozos de la Entrada y

Buenavista, además de Norotillo sobretodo en el mes de febrero. El resto de los pozos obtuvo valores inferiores a 7.6, aunque dentro de lo aceptable de acuerdo a la norma mexicana. En cambio, en los meses de mayo-agosto se observó mayor número de pozos (Guasavito, Tamazula, La Entrada, Buenavista, Palos Blancos, Palmarito) con pH mayor a 7.4, sobretodo en la zona cercana a Guasave. La diferencia que se pudo apreciar es que los pozos de la parte más alta, del Modulo Ocoroni, así como los pozos localizados en la margen derecha presentaron valores de pH menores a 7.4. Probablemente, la diferencia en el comportamiento se asocia que en los meses calurosos (mayo y agosto) la evaporación del recurso y la extracción de mayor cantidad de agua para cubrir la demanda de la población, contribuyan a incrementar la cantidad de sales disueltas en estos pozos.

Datos registrados del pH por Norzagaray-Campos *et al.* (2003) indica una variación de 6.6 a 7.3 en el agua subterránea de Guasave, y por otro lado, en otro estudio realizado por el mismo autor los datos registrados en el acuífero oscilaron de 7.6 a 7.8. En ambos casos, los datos son semejantes a lo obtenido en el presente estudio e indica que el agua esta dentro del rango de aguas neutras. Las posibles variaciones que llegan a observarse se asocian a las sales disueltas y a las reacciones químicas por la presencia de sustancias disueltas que alteran el equilibrio de disociación.

Respecto a los sólidos disueltos totales, el mayor contenido se observó en los meses de febrero, agosto y octubre (> 700 mg/l), que de acuerdo a su distribución las mayores concentraciones se encontraron en la porción central del acuífero. Con base a la Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-1994), los datos no pasaron el límite permisible de 1000 mg/l, sin embargo, no así tomando en cuenta los datos reportados en el agua potable de Tucson, que indican un promedio de 275 mg/l y en el estándar secundario de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los E.U.A. (USEPA) para sólidos disueltos totales es de 500 mg/l (EMPACT). Tomando en cuenta ambos datos reportados, los niveles de sólidos en los pozos de Guasave y Sinaloa sobresalieron, principalmente en el mes de octubre que llega ser casi 800 mg/l.

La conductividad en el agua no presento variación espacial ni temporal. El límite máximo que se indica para el agua potable es de $1.05 \mu\text{S}/\text{cm}$, además que la conductividad es directamente proporcional a la cantidad de sólidos disueltos, en este caso valores mayores a $1 \mu\text{S}/\text{cm}$ se presentaron en febrero, agosto y octubre, mientras en mayo fue $0.9 \mu\text{S}/\text{cm}$.

Coliformes fecales. El análisis de bacterias coliformes en el agua potable es uno de los indicadores más importantes para descartar la contaminación orgánica en los pozos de agua

potable. La contaminación del agua es de gran preocupación a nivel nacional e internacional, sobretodo si se considera que en el acuífero de Guasave el tratamiento de aguas residuales es escaso y se vierten directa o indirectamente a la zona marina adyacente. Sin embargo, la presencia de fosas sépticas y pastoreo de ganado es otro serio problema debido al flujo de las bacterias a través del arrastre de material a los alrededores y al subsuelo.

Los resultados obtenidos para febrero y mayo del presente año, indican la presencia de bacterias en la prueba presuntiva, sin embargo, solamente en un pozo denominado el Toruno la prueba confirmativa dio positiva para el mes de mayo. De acuerdo a los valores de referencia de la OMS y NOM-127-SSA1-1994, el agua potable debe presentar 0 NMP de coliformes fecales hasta <2.2 NMP de acuerdo a la norma de Buenos Aires.

Con base al análisis de los cuatro meses de recolecta de agua se observó la presencia de coliformes en algunas estaciones, sobretodo la que ya se indicó anteriormente, que fue la del Toruno (Fig. 1). Otras localidades susceptibles son Norotillo y en Ocoroni, debido que son zonas donde se encuentra ganado alrededor, además que en Ocoroni, la cantidad de basura en los alrededores es alta y puede representar un foco de infección por los desechos orgánicos que se depositan en ese lugar. El resto de los pozos no presentaron coliformes fecales, lo cual indica que el agua potable de la zona es de buena calidad, aunque debe monitorearse debido a la presencia de sólidos disueltos totales y en algunos de coliformes.

Oligoelementos. Las concentraciones de cuatro elementos se presentan en la Tabla 6, solamente de estos se encontró presencia en el agua y sobretodo fueron altos en Mn, ya que sobrepasaron el límite permisible de 0.15 mg/l (NOM-127-SSA1-1994) con más 0.10 mg/l, con excepción del mes de octubre donde el contenido promedio fue menor a la NOM (0.09 mg/l).

Tabla 6. Concentración promedio de oligoelementos en el agua potable del municipio de Guasave y Sinaloa

Elemento	Febrero	Mayo	Agosto	Octubre
Fe	0.10 ± 0.12	0.22 ± 0.5	0.04 ± 0.30	0.07 ± 0.1
Mn	0.21 ± 0.56	0.25 ± 0.6	0.25 ± 0.63	0.09 ± 0.30
Pb	0.25 ± 0.11	0.05 ± 0.07	0.04 ± 0.04	ND
Ni	0.06 ± 0.040	0.08 ± 0.02	0.04 ± 0.02	ND

La Fig. 2 muestra la distribución espacial del contenido de Pb en el agua potable, ya que fue, junto con Mn, de los elementos más abundantes en la zona. Hay que destacar que en la zona se hay descrito yacimientos minerales que favorecen que Pb se detecte en los suelos

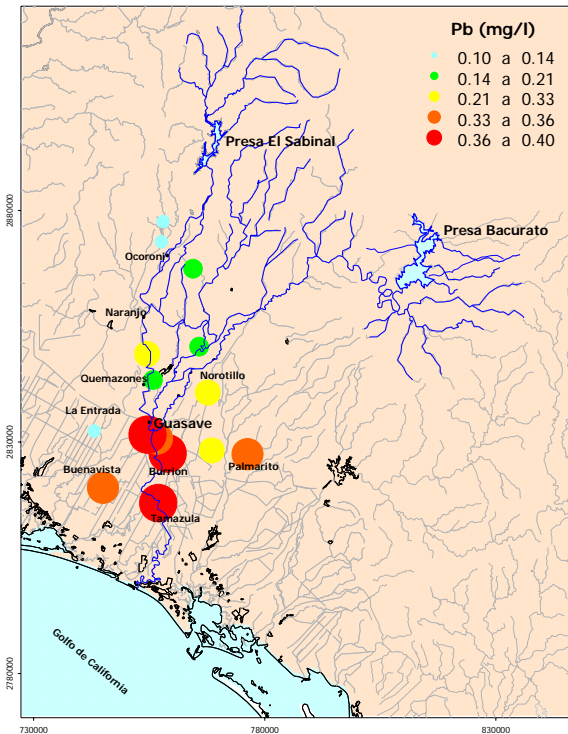


Fig. 2. Distribución del contenido de Mn (mg/l) en el agua potable del municipio de Guasave y Sinaloa

niveles mayores a 10 mg/kg en suelos de la zona. Probablemente, el intemperismo de estos yacimientos y el arrastre del material contribuyan al enriquecimiento del agua con este elemento. Esto permite a continuar con los estudios de la calidad del agua en esta zona. Por otro lado, la presencia de Mn se relaciona a los óxidos de Fe y Mn que fueron señalados como constituyentes importantes en los suelos de la zona y sobretodo en esta misma área, lo que puede influenciar la calidad del agua potable. Otro de los elementos que es importante señalar es la presencia de Pb en el agua, sin embargo.

Los valores de Fe no sobrepasaron el dato reportado por la NOM-127-SSA1-1994, de Ni no hay datos de referencia.

VI. LITERATURA CITADA

- CNA. 2002. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Río Sinaloa, Estado de Sinaloa. Subdirección General Técnica. Gerencia de Aguas subterráneas. 36 p.
- Consejo de cuenca de los Ríos Fuerte y Sinaloa. 2005. Programa de gestión del agua para el saneamiento en las cuencas de los Ríos Fuerte y Sinaloa. Grupo de Seguimiento y Evaluación. 43 p.
- Cristán-Frías, A., C. Rodríguez-Tapia, R. A. Eden Wynter, O. L. Loredó-Medina, J. Castro-Díaz, J. I. López-Olvera. 2000. Características de peligrosidad ambiental de plaguicidas. Manual de trabajo. Instituto Nacional de Ecología. Méx. D.F. 282 p.
- EMPACT. ¿Qué contiene su agua? Minerales y Dureza. Tucson Water.
- Galán-Huertos, E., J. L. Gómez-Ariza, N. Bellinfante Crocci, P. Aparicio-Fernández. 2003. Contaminación de suelos por compuestos orgánicos. Informe final. Sevilla, España. 185 p.
- Green-Ruiz, C. y F. Páez. 1997. Factor de enriquecimiento e índice de geoacumulación de metales pesados en sedimentos de la laguna subtropical Altata- Ensenada Pabellón, Sinaloa, México. Actas INAGEQ.3: 326.
- Green-Ruiz, C. 2000. Geoquímica de metales pesados y mineralogía de la fracción arcillosa de los sedimentos de cuatro puertos del Golfo de California. Tesis doctoral. UNAM-ICMyL. 329 p.
- INEGI. 1999. Estadísticas del Medio Ambiente, México. 185 p.
- INIFAP. 2000. Guía para la asistencia técnica agrícola. Área de influencia del campo experimental. Fundación Produce Sinaloa. Consejo consultivo zona norte. 284 p.
- Libes, S. M. 1992. *An introduction to marine biogeochemistry*. John Wiley. New York. 734 p.
- López-Geta, J. A., C. Martínez-Navarrete, L. Moreno-Merino y P. Navarrete-Marinez. 1992. Las aguas subterráneas y los plaguicidas. Instituto Geológico y Minero de España. Ministerio de educación y ciencia. 119 p.

- Monroy-Contreras, A. 2006. Estimación de la dispersividad hidrodinámica usando trazadores en campo: un caso de estudio. Tesis de maestría. CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa. 70 p.
- Norma Mexicana NMX-AA-051-1985. Análisis de agua-Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas.
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.
- Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
- Norma Oficial Mexicana NOM-AA-042-SCFI-2005. Calidad del agua. Determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y *Escherichia coli* presuntiva (cancelará a la NMX-AA-042-1987)
- Norzagaray-Campos, M. 2003. Flujo regional en acuíferos, sus causas y efectos en la dispersividad hidrodinámica: un caso de estudio. Tesis doctoral. CINVESTAV-Merida. Mérida, Yucatán. México. 169 p.
- Palafox-Ávila, G. 2006. Riesgo potencial a inundaciones en la Ciudad de Guasave, Sinaloa, México. Tesis de maestría. CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa. Guasave, Sin. 115 p.
- Rueda, Q. 1993. Determinación de Plaguicidas Organoclorados en Sedimentos y Organismos (moluscos y peces) de Lagunas Costeras en el Sureste de México. Tesis Licenciatura. Fac. Ciencias. UNAM. 78 pp.
- Siegel, F. R. 2002. *Environmental geochemistry of potentially toxic metals*. Springer. Germany. 218 p.
- Turner, D. R. 2000. Trace metal contamination in sediments from U.K. estuaries: an empirical evaluation of the role hydrous iron and manganese oxides. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.* 50: 355-371
- USDA. 1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Departamento de agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica. 82 p.

IMPACTO

Parte de los resultados se fueron presentados en congreso del Verano científico, donde participo un estudiante de licenciatura de la Universidad de Occidente, además que dichos datos servirán como base para sustentar su trabajo de tesis, la cual ha sido registrada y se sustentará en el presente semestre. Por otro lado, fueron presentados en el II Coloquio Internacional de Medio Ambiente y Desarrollo, así mismo, el informe se hará llegar a JUMAPAG (Junta Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guasave), CNA Pacifico Norte y al modulo de riego de Ocoroni.

Actualmente, los resultados servirán como base para identificar los pozos con niveles altos de Fe y Mn, y para que se tomen medidas para la precipitación de ambos elementos.