

Diagnóstico de la calidad de agua de los pozos de Puerto Ángel, San Pedro Pochutla, Oaxaca

Concepción Martínez-Lievana*, Yolanda Huante-González**, Ivonne Santiago-Morales***,
Gelia Sandoval-Orozco**, Carlos Estrada-Vázquez* & Jesús Madrid-González*

Resumen

En México, el interés en las investigaciones de la microbiología del agua subterránea se ha incrementado por la creciente demanda de esta fuente, ya que es indispensable que no exista riesgo a la salud por su uso. El objetivo de este estudio fue determinar la calidad microbiológica (coliformes totales, coliformes fecales) y fisicoquímica (nitratos, sulfatos, sólidos disueltos totales) del agua de cinco pozos utilizados para uso doméstico, de la localidad de Puerto Ángel, Oaxaca. Para ello, se realizaron cuatro muestreos trimestrales que abarcaron las épocas de lluvia y estiaje. Los resultados obtenidos, mostraron valores altos de coliformes totales y fecales en todos los pozos, tanto en época de lluvias como en época de estiaje, los valores promedio más altos de coliformes totales en época de lluvias se registraron para los pozos 1 y 4 (8,277.80 NMP 100 mL⁻¹ y 11,141.30 NMP 100 mL⁻¹ respectivamente), y para coliformes fecales los valores promedio más altos correspondieron a los pozos 2, 3 y 5 (920 NMP 100 mL⁻¹, 666 NMP 100 mL⁻¹ y 367 NMP 100 mL⁻¹) respectivamente. Para el análisis fisicoquímico, la concentración promedio de sólidos disueltos totales registrados para los pozos 1 y 2 (1691 mgL⁻¹ y 1617 mgL⁻¹, respectivamente) en época de lluvias, mostraron diferencia significativa ($p < 0.05$) con respecto a los pozos 3, 4 y 5, superando los límites permisibles establecidos en la norma. Por otro lado, los valores de nitrato y sulfato tanto en época de lluvias como en época de estiaje, se encontraron dentro de los límites permisibles establecidos por la NOM-127-SSA1-1994.

Palabras clave: Coliformes totales, coliformes fecales, sulfato, nitrato, pozos Puerto Ángel.

Abstract

In Mexico, interest in the investigation of the microbiology of groundwater has increased by growing demand from this source, because it is essential that there is no health risk for your use. The aim of this study was to determine the microbiological quality (total coliforms, fecal coliforms) and physico-chemical (nitrates, sulfates, total dissolved solids) of water five wells used for domestic use, of the town of Puerto Angel, Oaxaca. To do this, four quarterly samples covering the rainy and dry season were made. For analyzes the methodologies described in the Mexican Standards were used, total and fecal coliforms were determined according to the methodology established in NOM-181-SSA1-1998, while the determination of nitrates, sulfates and total dissolved solids was performed following the methodologies described in the NMX-AA-079-SCFI-2001 PROY-NMX-AA-074-SCFI-2010 and NMX-AA-034-SCFI-2001 standards respectively. The results showed high levels of total and fecal coliforms in all wells in both rainy and dry season, the highest average values of total coliforms in the rainy season were recorded for wells 1 and 4 (8,277.80 NMP 100 mL⁻¹ and 11,141.30 NMP 100 mL⁻¹ respectively) and fecal coliforms the highest average values were wells 2, 3, and 5 (920.20 NMP 100 mL⁻¹, 666.55 NMP 100 mL⁻¹ and 366.90 NMP 100 mL⁻¹) respectively. For physicochemical analysis, the average concentration of total dissolved solids recorded for wells 1 and 2 (1,691.5 mg L⁻¹ and 1,617.6 mg L⁻¹, respectively) in the rainy season, showed significant difference ($p < 0.05$) compared to wells 3, 4 and 5, exceed-

* Instituto de Ecología, Universidad del Mar, campus Puerto Ángel, CP. 70902, Puerto Ángel, Oaxaca.

** Instituto de Recursos, Universidad del Mar, campus Puerto Ángel, CP. 70902, Puerto Ángel, Oaxaca.

*** Instituto de Industrias, Universidad del Mar, campus Puerto Ángel, CP. 70902, Puerto Ángel, Oaxaca.

ing the permissible limits in the standard. On the other hand, the values of nitrates and sulphates in both rainy and dry season, were within the permissible limits established by the NOM-127-SSA1-1994.

Key words: Total coliform, fecal coliform, sulfates, nitrates, wells Puerto Angel.

Introducción

Los mantos acuíferos constituyen una de las principales fuentes de abastecimiento de agua potable en México. Por lo general, albergan sólo a ciertos organismos debido a su bajo contenido en materias nutritivas, sin embargo, las actividades humanas, el crecimiento urbano, y las malas prácticas de higiene, son los principales factores para la contaminación de los acuíferos. De esta forma, el agua puede contener contaminantes químicos o biológicos que causan diversas enfermedades. De todos los ambientes acuáticos, la biología del agua subterránea es una de las menos estudiadas; específicamente se conoce poco de los aspectos microbiológicos de la contaminación que ocurren en este ambiente en comparación con las aguas superficiales, principalmente debido a la creencia de que este tipo de agua es esencialmente limpia por la acción filtrante del medio poroso por el cual pasa el agua. Debido a lo anterior, la determinación del número de bacterias en el agua subterránea no se consideraba necesaria (Gerba & Bitton 1984, Zoller 1994). Las actividades humanas, el crecimiento urbano, la falta de decisión de las instituciones e indolencia cultural son los principales factores de riesgo para que un acuífero se contamine. Las principales fuentes de organismos patógenos son los efluentes de agua residual, lodos residuales de tratamientos de desechos y efluentes de tanques sépticos (Gerba & Bitton 1984, Keswick 1984, Eitan 1994, Wallach 1994). De esta forma, el agua puede contener microorganismos que causan enfermedades diarreicas. Estos padecimientos son causados por bacterias, virus y protozoarios que se dispersan a través de la ruta fecal-oral y que potencialmente puede ser transmitidos por el agua de consumo utilizada para diversas actividades en el hogar,

incluyendo la higiene personal o a través del contacto primario con aguas para uso recreativo contaminadas. Las amibas de vida libre (AVL), presentes en estos casos de contaminación, pueden causar daño al sistema nervioso central en el humano y otros animales (Craun 1984, Gerba & Bitton 1984, Bitton & Harvey 1992, Chapelle 1993, Zelikson 1994, Visvesvara et al. 2007, Bonilla & Ramírez 2008). Otros contaminantes de las aguas residuales de origen urbano que provienen de las viviendas y edificios públicos, así como de la escorrentía urbana que se colecta en las corrientes pluviales y en fosas sépticas mal diseñadas son: nutrientes (nitratos, Sulfatos y Fosfatos), materia orgánica biodegradable, metales pesados, sustancias químicas orgánicas sintéticas, hormonas y productos farmacéuticos (Metcalf & Eddy, 2003). La presencia de nitratos y nitritos en el agua se ha asociado con la meta-hemoglobinemia, sobre todo en lactantes alimentados con biberón. La presencia de nitratos puede deberse a la aplicación excesiva de fertilizantes o a la filtración de aguas residuales u otros residuos orgánicos a las aguas superficiales y subterráneas (OMS,2004). Las sales de nitrato son muy solubles, que se pueden encontrar en alimentos y aguas de bebida. Derivan principalmente del empleo de fertilizantes nitrogenados, excretas de animales, descargas de desechos sanitarios e industriales, y del uso como aditivos alimentarios (conservas de pescado y carnes). En las aguas superficiales, como los ríos y lagos, la concentración de nitrato es habitualmente baja, de algunos mg.L-1 (excepto que exista un nivel importante de contaminación). En los acuíferos profundos también suele ser baja. Las características del suelo, las condiciones climatológicas, las cantidades de productos nitrogenados descargadas, las características de las napas subterráneas, etc. determinan los niveles de concentración a los que pueden elevarse los nitratos en los acuíferos. (Consultora de aguas,2009). El sulfato en el agua puede tener su origen en el contacto de ella, con terrenos ricos en yesos, así como por la contaminación con aguas residuales industriales; su concentración no suele presentar problemas de potabilidad en las aguas

de consumo humano, pero contenidos superiores a 300 mgL⁻¹ pueden causar trastornos gastrointestinales en los niños (Orozco et al. 2005). Se sabe que los sulfatos de sodio y magnesio tienen acción laxante, por lo que no es deseable un exceso de los mismos en las aguas de consumo (Guzmán, 2011). En México, el interés en las investigaciones de la microbiología del agua subterránea se ha incrementado por la creciente demanda de esta fuente, ya que es indispensable que no exista riesgo a la salud por su uso. El objetivo de este estudio fue determinar si existía diferencia entre las épocas de lluvias y secas en la calidad microbiológica (coliformes totales, coliformes fecales) y fisicoquímica (nitrato, sulfato, sólidos disueltos totales) del agua de los pozos ubicados en la comunidad de Puerto Ángel, Pochutla, Oaxaca.

Material y Métodos

Área de estudio

El área de estudio se encuentra localizada fisiográficamente en la provincia Sierra Madre del Sur, subprovincia Cuesta del Sur, está conformada por la microcuenca más grande de Puerto Ángel, Oaxaca. Los suelos de ésta zona son regosoles de textura gruesa con fase lítica: se caracterizan por tener poco desarrollo y por ello no presentan capas muy diferenciadas entre sí. En general son claros o pobres en materia orgánica, se parecen bastante a la roca que les da origen. Muchas veces están asociados con litosoles y con afloramientos de roca. Frecuentemente son someros, su fertilidad es variable y su productividad está condicionada a la profundidad y pedregosidad. Se incluyen en este grupo los suelos arenosos costeros. El subsuelo está formado por rocas metamórficas, tipo gneis y granito. Las primeras se caracterizan por franjas generalmente de tinte oscuro, ricas en minerales ferromagnesianos, alternando con franjas claras de cuarzo y de feldespatos, éstos últimos abundantes y visibles a simple vista. Las segundas son rocas ígneas de textura granular compuestas esencialmente de feldespato y cuarzo presentes

en forma de cuerpos intrusivos que afloran aislados. (Anónimo, 2000). El drenaje natural superficial está constituido por una red fragmentada de cauces. Los cauces conducen agua en forma intermitente de acuerdo a la temporada de lluvias, en esta región comúnmente llueve de julio a octubre derivado del clima predominante, cálido subhúmedo, Aw''2 (w) i'g, de acuerdo con el Sistema de Clasificación Climática de Koeppen, modificada por García (1981) y a la temporada de huracanes (Leslie, 1992).

Obtención de muestras

Se tomaron muestras trimestrales, durante el periodo de agosto 2011 a mayo 2012 abarcando época de lluvias y de estiaje de cinco pozos ubicados en la localidad de Puerto Ángel, Pochutla, Oaxaca (Tabla I). En cada pozo se determinó in situ la temperatura, pH, salinidad y oxígeno disuelto con un multi parámetro marca HANNA Modelo HI9828.

Nombre del Pozo	Latitud	Longitud
Pozo 1. El Aguaje	15°40'13.10"N	96°28'25.8"O
Pozo 2. Pescadería	15°39'58.8"N	96°29'25.4"O
Pozo 3. Villa Florencia	15°40'1.40"N	96°29'29.20"O
Pozo 4. Aguaje río abajo	15°40'8.5"N	96°29'29.5"O
Pozo 5. Barrio del Sol	15°40'5.0"N	96°29'37.3"O

Tabla I. Ubicación geográfica de los pozos donde se realizó el muestreo.

Evaluación de la calidad microbiológica del agua de pozo

El muestreo para el análisis microbiológico se realizó en base a la metodología de la NOM-230-SSA1-2002. Se analizaron Coliformes Totales y Coliformes Fecales (CT y CF) por el método del sustrato cromogénico definido de marca Colilert, con referencia al apéndice informativo A de la NOM-181-SSA1-1998.

Determinación de coliformes totales y coliformes fecales

Las muestras se tomaron en bolsas estériles Wirlpack con capacidad de 125 mL, llenando las dos terceras partes de la bolsa y dejando

un espacio para mezclar la muestra. Las muestras fueron transportadas al laboratorio en hieleras a una temperatura de 4°C. Todo el procedimiento de inoculación de las muestras se llevó a cabo en condiciones estériles en una campana de flujo laminar. Las bolsas que contenían las muestras se agitaron para homogeneizar la muestra, antes de adicionar 100 mL a los frascos estériles contenidos en el Kit de Colilert, enseguida se adicionó el contenido de la ampolla con el medio de cultivo y se homogeneizó antes de adicionar la mezcla a las charolas Quantitray, se eliminaron las burbujas antes de sellar las charolas y se incubaron a 35°C por 24 horas. Una vez finalizado el periodo de incubación se contó el número de celdas positivas (celdas de color amarillo) y se compararon con la tabla de número más probable incluida en el Kit Colilert para asignar el número de Coliformes Totales (CT) contenidos en las muestras. Para cuantificar los Coliformes Fecales (CF), las charolas se colocaron bajo una lámpara de luz ultravioleta y se consideraron como celdas positivas aquellas que mostraron fluorescencia. El número de CF contenidos en las muestras se determinó igualmente con la ayuda de la tabla de número más probable.

Análisis fisicoquímico

Se tomaron 500 mL de muestra y 200 mL para la determinación de sulfato en envases de polietileno, se taparon y se preservó la muestra a 4°C hasta su análisis en el laboratorio. Se analizaron tres parámetros fisicoquímicos: Sólidos disueltos totales (SDT), Nitrato y Sulfato, siguiendo la metodología de la NMX-AA-034-SCFI-2001, NMX-AA-079-SCFI-2001 y PROY-NMX-AA-074-SCFI-2010, respectivamente.

Sólidos Disueltos Totales

La determinación de los SDT se realizó por diferencia de pesos entre los Sólidos Totales menos Sólidos Suspendidos Totales.

Sólidos Totales

Se adicionaron 100 mL de muestra a una cápsula de porcelana que previamente había sido puesta a peso constante (G), se llevó a sequedad en la estufa a 103°C-105°C y se

determinó su peso. Se registró como peso G1. El cálculo de los sólidos totales se realizó con la siguiente fórmula. $ST = (G1 - G) * 1000/V$

Sólidos Suspendidos Totales

Se filtraron 100 mL de la muestra previamente homogeneizada a través del crisol Gooch preparado anteriormente con filtro de fibra de vidrio y puesto a peso constante (G2). El crisol se dejó secar en la estufa a una temperatura de 103°C a 105°C hasta alcanzar peso constante y se determinó su peso (G3). El cálculo de los sólidos suspendidos totales se realizó con la siguiente fórmula. $SST = (G3 - G2) * 1000/V$.

Determinación de Nitrato

Para la curva de calibración, se prepararon disoluciones en el intervalo de 0.01 a 1.0 mg N- NO₃/L. Se obtuvo un coeficiente de correlación $R^2 = 0.923$ ($y = 0.495x + 0.581$). Se hicieron diluciones 10-1 de las muestras, en volumen de 10 mL y se transfirieron a los tubos de reacción. Se incluyó un tubo para el blanco y uno para el estándar. Se colocaron en baño de agua fría (0-10°C) y se añadieron 2,0 mL de la disolución de cloruro de sodio 5M. Se homogeneizó antes de adicionar 10,0 mL de ácido sulfúrico concentrado. Se mezclaron y se dejaron enfriar. Posteriormente se adicionaron 0.5 mL del reactivo brucina-ácido sulfanílico (NMX-AA-079-SCFI-2001) y se mantuvieron en baño maría a la temperatura de ebullición durante 20 minutos. Pasado este tiempo los tubos se sumergieron en agua fría antes de medir la absorbancia a 410 nm. La cantidad de nitrato en la muestra se cuantificó, utilizando una curva de calibración en el rango de 0.01 a 1.0 mg N-NO₃/L.

Determinación de Sulfato

Método Turbidimétrico. Se transfirieron por triplicado 10 mL de muestra a tubos con tapón de rosca. Se añadió 1 mL de la solución acondicionadora y se mezcló. Enseguida se adicionaron 0.5 g de cloruro de bario, se agitó durante 1 minuto e inmediatamente después se tomó la lectura en el espectrofotómetro a 420 nm.

Para la cuantificación de sulfatos en las muestras se utilizaron disoluciones de referencia en el rango de 0 a 40 mgL⁻¹.

Análisis de datos

Para evaluar diferencias significativas entre los tratamientos, se utilizó un análisis de varianza (ANOVA-dos vías). La asociación entre los tratamientos fue analizada utilizando la prueba a posteriori de Tukey (Zar, 1999). Todos los análisis estadísticos fueron desarrollados utilizando el programa Statistica (StatSoft Inc.).

Resultados

Parámetros físico-químicos

Para el caso del Oxígeno disuelto, se observó un incremento significativo ($p < 0.05$) en la época de secas con respecto a la época de lluvias, pero no se observó diferencia entre los diferentes puntos de muestreo en una misma época (Tabla II). Los valores de pH se mantuvieron semejantes entre los diferentes puntos de muestreo para la época de secas, sin embargo en la época de lluvias los pozos 1 y 2 presentaron valores significativamente mayores ($p < 0.05$) que los pozos 3, 4 y 5 (Tabla II).

Los valores de pH fluctuaron entre 6.75 y 9.12, correspondiendo los valores más altos a los pozos 1 y 2. A su vez, la salinidad presentó valores entre 0.43 y 0.86 UPS, el valor más bajo se registró para el pozo 3 (Tabla II). La temperatura se registró en un rango de 27.41 a 30.33, correspondiendo la temperatura más alta al pozo 2.

Sitio de muestreo	pH		Oxígeno disuelto (mgL ⁻¹)		Salinidad (UPS)	
	lluvias	secas	lluvias	secas	lluvias	secas
P1	9.12 ^a	6.83 ^{a,b}	3.65 ^a	30.0 ^b	0.80	0.83
P2	8.99 ^a	6.81 ^{a,b}	4.7 ^a	26.35 ^b	0.86	0.80
P3	6.22 ^b	6.75 ^{a,b}	3.0 ^a	28.75 ^b	0.47	0.43
P4	6.33 ^b	6.89 ^{a,b}	2.8 ^a	22.7 ^b	0.66	0.56
P5	6.42 ^b	6.82 ^{a,b}	2.9 ^a	27.0 ^b	0.64	0.65

Tabla II. Parámetros físico-químicos in situ

Análisis físico-químicos

Los valores promedio de nitrato, sulfato y SDT, obtenidos en los pozos analizados, mostraron que, con respecto al contenido de nitratos, se observó diferencia significativa ($p > 0.05$) entre la época de lluvias y secas (Fig. 1), a excepción del pozo 3, el cual presentó una concentración de nitratos de 3.749 mgL⁻¹ en época de lluvias y 3.309 mgL⁻¹ en época de secas.

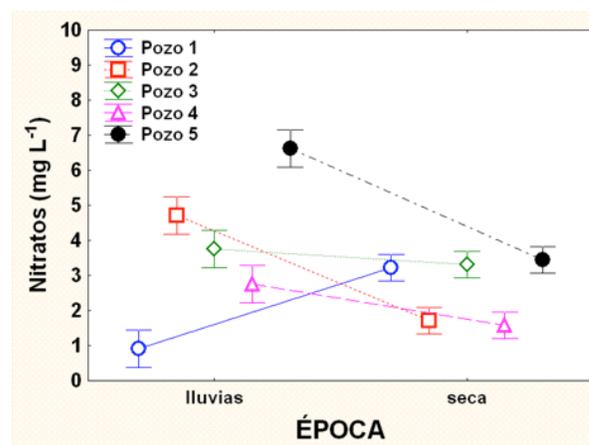


Figura 1. Análisis de varianza (ANOVA-dos vías). Nitratos.

El análisis de sulfato mostró un incremento significativo ($p > 0.05$) entre la época de lluvias y secas (Fig. 2), presentándose valores altos en época de secas, para todos los pozos, siendo los valores más altos para los pozos 1 y 2 (208.764 mgL⁻¹ y 180.915 mgL⁻¹ respectivamente). El análisis de los SDT mostró que los pozos 1 y 2 presentaron valores significativamente mayores ($p > 0.05$) tanto en época de lluvias como en

secas (Fig. 3), sobrepasando los límites permisibles por la NOM-127-SSA1-1994 (1,000 mgL⁻¹), mientras que los valores más bajos correspondieron al pozo 3 en ambas épocas (Fig. 3).

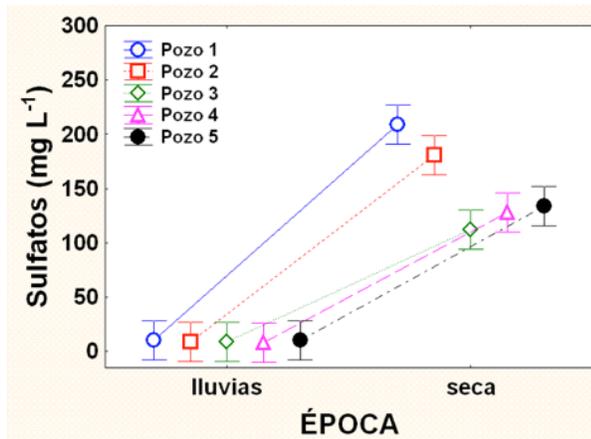


Figura 2. Análisis de varianza (ANOVA-dos vías). Sulfatos.

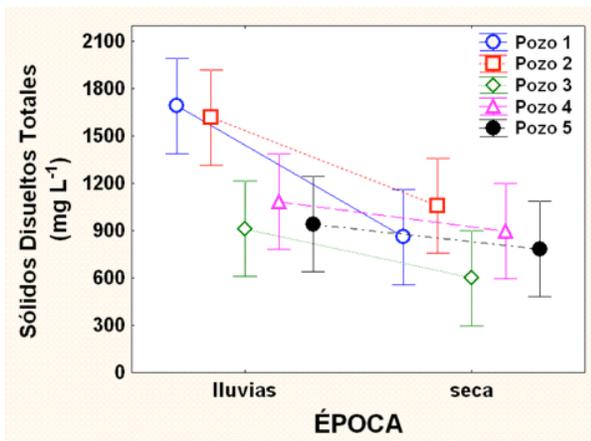


Figura 3. Análisis de varianza (ANOVA-dos vías). Sólidos Disueltos Totales

Análisis microbiológico

El análisis microbiológico mostró que todos los pozos están contaminados, presentando valores mayores a 1000 NMP 100 mL⁻¹ para CT, correspondiendo los valores más altos para los pozos 1 y 4 (8,277.80 y 11,141.30 NMP 100 mL⁻¹, respectivamente), los cuales sobrepasan los límites permitidos por la NOM-127-SSA1-1994. Para el caso de los CF, en época de secas, se registró el valor más bajo

para el pozo 4 (7.40 NMP 100 mL⁻¹) y el valor más alto (920.20 NMP 100 mL⁻¹) para el pozo 2, ambos sobrepasan los límites establecidos por la Norma. Los CF si mostraron diferencia significativa ($p < 0.05$) entre la época de secas y lluvias para los pozos 1, 2, 3 y 5 (Fig. 4).

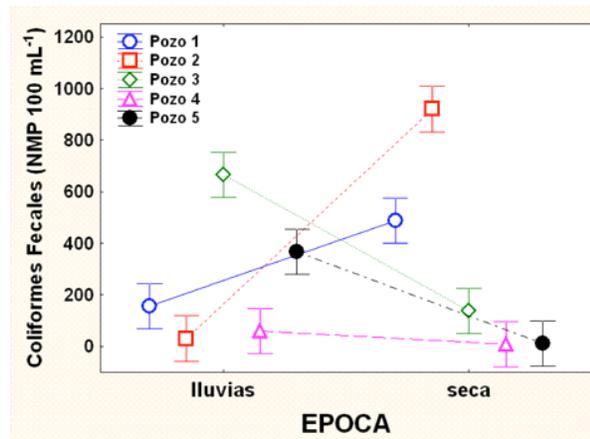


Figura 4. Análisis de varianza (ANOVA-dos vías). Coliformes Fecales.

Discusión

Con los resultados obtenidos, podemos decir que dentro de los parámetros físico-químicos que se analizaron en las muestras de agua de los pozos de Puerto Ángel, los Nitratos y Sulfatos, tanto en época de lluvias como en época de estiaje, se encontraron dentro de los límites permisibles por la Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-1994), que para el caso de Sulfato, establece como límite máximo permisible 400 mgL⁻¹, siendo los valores promedio más altos de 208.764 mgL⁻¹ y 180.915 mgL⁻¹, correspondientes a los pozos 1 y 2. En cuanto a los CT y CF, se encontraron valores altos en todos los pozos, tanto en época de lluvias como en época de estiaje, se observaron los valores promedio más altos de CT en época de lluvias para los pozos 1 y 4 (8,277.80 NMP 100 mL⁻¹ y 11,141.30 NMP 100 mL⁻¹ respectivamente), y para CF se encontraron los valores más altos en promedio para los pozos 2, 3 y 5 (920.20 NMP 100 mL⁻¹, 666.55 NMP 100 mL⁻¹ y 366.90 NMP 100 mL⁻¹) respectivamente. La alta contaminación por CT y CF, se puede atribuir a la filtración de bacterias provenientes de descargas de aguas residuales,

ya sean directas o a través de fosas sépticas, lo cual se agrava por la falta de drenaje en la zona, además de la mala ubicación y construcción de los pozos, ya que no cumplen con las especificaciones de la NOM-003-CNA-1996, que establece los requisitos para la construcción de pozos de extracción y la NOM-004-CNA-1996, que establece los requisitos para la protección de acuíferos. Las altas concentraciones de CT y CF registrados en época de secas para los pozos 1 y 2 (Fig. 4), se puede atribuir a la ubicación de los mismos, ya que el pozo 1 se encuentra ubicado en la periferia de una fosa séptica y está descubierto, el pozo 2 se encuentra ubicado en una pescadería, por lo que están expuestos a un flujo de contaminación constante por desechos orgánicos, en tanto que los valores observados para los pozos 3, 4 y 5 se asocia con la época de lluvias.

Los valores promedio de SDT fueron altos para los pozos 1 y 2 (1691.5 mgL-1 y 1617.6 mgL-1, respectivamente) observándose una diferencia significativa ($p < 0.05$) en época de lluvias, con respecto a los pozos restantes. A diferencia de la existencia sobre estudios de calidad del agua de mar para uso recreativo, no existen datos sobre la calidad del agua de los pozos de Puerto Ángel, por lo cual la presente investigación será de utilidad para posteriores estudios. De acuerdo con los criterios ecológicos de calidad del agua (SEDUE, 1989), los límites permisibles de CF que debe tener el agua para uso y riego agrícola es de 1,000 NMP 100 mL-1, con los resultados obtenidos, podemos decir que, en cuanto a CF, el agua de los pozos de Puerto Ángel, Pochutla, Oaxaca, es apta para uso y riego agrícola. Sin embargo, considerando que el agua de los pozos de Puerto Ángel, es utilizada por la comunidad para uso doméstico y que la NOM-127-SSA1-1994, establece que los CT y CF deben estar ausentes en agua para uso y consumo humano, y que debe haber como límite máximo de SDT 1,000 mgL-1, se puede concluir con respecto al contenido de CT y CF que el agua de los pozos de Puerto Ángel, Pochutla, Oaxaca no es apta para consumo humano. Por otra parte, es importante mencionar que el agua de dichos pozos no recibe ningún tratamiento de potabilización, ya que se utiliza directamente, por lo que un tratamiento

de cloración permitiría mejorar la calidad de la misma.

Recomendaciones

Con los resultados obtenidos se recomienda realizar un saneamiento de los pozos de Puerto Ángel, Pochutla, Oaxaca y someter el agua a un tratamiento de potabilización. Es necesario un sistema de saneamiento que reduzca el impacto de las aguas residuales sobre las aguas de pozos para uso y consumo humano, el cual incluye el diseño adecuado de las fosas sépticas (ubicación, material de construcción) o uso alternativo de biodigestores. Con este manejo integral de las aguas residuales, se busca llegar al uso sustentable del recurso agua.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad del Mar, por el financiamiento para la realización de la presente investigación. Agradecemos a Faustino Canseco Sánchez por su colaboración a través del servicio social.

Referencias

- Bitton, G. & R.W. Harvey 1992. Transport of pathogens through soils and aquifers. Pp: 103-124 In: Mitchell R. (ed). Environmental Micro-biology. Wiley-Liss, Inc., Nueva York.
- Bonilla, P. & E. Ramírez 2008. Amebas de vida libre asociadas a patologías en seres humanos. Pp: 22-30 In: Becerril M.A. (ed). Parasitología Médica McGraw-Hill Interamericana, Ciudad de México.
- Chapelle, H.F. 1993. Groundwater Microbiology and Geochemistry. John Wiley & Sons, Inc., Nueva York, 448 pp.
- Consultora de Aguas. Nitratos en agua potable. 2009. Consultado el 10 de septiembre de 2012)., http://www.cdaguas.com.ar/pdf/aguas/06_Nitratos_en_agua_potable.pdf
- Craun, G.F. 1984. Health aspect of groundwater pollution. Pp: 135-180. In: G. Bitton & Ch. P. Gerba(eds.). Groundwater pollution microbiology. John Wiley & Sons, Nueva York.
- Eitan, G. 1994. Groundwater contamination by septic tanks. Pp: 203-208. In: U. Zoller, (ed.). Groundwater contamination and control Marcel Dekker Inc., Nueva York.
- García, E. 1981. Modificaciones al Sistema de

- Clasificación Climática de Köppen, Adaptado para las Condiciones de la República Mexicana. 3ª Ed. Offset., Lario Ed. S.A. 252 pp.
- Gerba P. & G. Bitton 1984. Microbial pollutants: their survival and transport pattern to groundwater. Pp. 65-88 In: G. Bitton & Ch. P. Gerba(eds.). Groundwater pollution microbiology. John Wiley & Sons, Nueva York.
- Guzmán G. 2011. Evaluación espacio-temporal de la calidad del agua del río San Pedro en el Estado de Aguascalientes, México. Revista internacional de contaminación ambiental(México). 27(2): 89-102.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (2000) carta edafológica D14-03, (Escala 1:250,000).
- Keswick B.H. (1984). Sources of groundwater pollution. Pp: 39-64 In: G. Bitton & Ch.B. Gerba(eds.). Groundwater pollution microbiology. John Willy & Sons, Nueva York.
- Leslie F. 1992. Referencia de la Trayectoria del Huracán Pauline. Musk, "Weather Systems", Cambrige University Press. Inglaterra 159 p.
- Metcalf & Eddy Inc. 2003. Wastewater engineering, treatment and reuse. 4th Edition. The McGraw-Hill Companies, Inc. USA. 1819 pp.
- NMX-AA-034-SCFI-2001. Análisis de agua. Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.
- NMX-AA-079-SCFI-2001. Análisis de agua. Determinación de nitrato en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.
- NOM-003-CAN-1996. Norma Oficial Mexicana. Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos.
- NOM-004-CNA-1996. Norma Oficial Mexicana. Requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general.
- NOM-127-SSA1-1994. Norma Oficial Mexicana. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
- NOM-181-SSA1-1998. Norma Oficial Mexicana Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Requisitos sanitarios que deben cumplir las sustancias germicidas para tratamiento de agua de tipo doméstico.
- NOM-230-SSA1-2002. Norma Oficial Mexicana Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Procedimientos sanitarios para el muestreo.
- Organización Mundial de la Salud (2004). Guías para la Calidad del agua potable. Pp. 17, 3ª. Edición. Volumen 1, Ginebra, Suiza.
- Orozco C., A. Pérez, M. González, F. Rodríguez & J. Alfayate. 2005. Contaminación ambiental. Una visión desde la química. Ed. Thomson, España, 631-650pp.
- Price M. (2007). Agua subterránea. Limusa, Ciudad de México, 330 pp.
- Proy-NMX-AA-074-SCFI-2010. Análisis de agua. Medición del ion sulfato en aguas naturales, potables y residuales. Método de prueba.
- Ramírez, E., E. Robles, M. Sainz, M.G., R. Ayala, & E. Campoy 2009. Calidad Microbiológica del acuífero de Zacatepec, Morelos, México. Revista internacional de contaminación ambiental 25(4): 247-255.
- SEDUE(Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología).1989. Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. CE-CCA-001/89.1 de diciembre de 1989.
- Visvesvara, G.S., H. Moura & F.L. Schuster 2007. Pathogenic and opportunistic free-living amoebae: Acanthamoeba spp., Balamuthia mandrillaris, Naegleria fowleri, and Sappinia diploidea. FEMS Immunology and Medical Microbiology 50: 1-26.
- Wallach, R. 1994. Groundwater contamination by sewage irrigation. Pp: 189-202 In: U. Zoller(ed.). Groundwater contamination and control. Marcel Dekker Inc., Nueva York.
- Zar, J. 1999. Biostatistical Analysis. Fourth Edition. Prentice Hall. USA. 663p.
- Zelikson, R. 1994. Microorganisms and viruses in groundwater. Pp: 425-436 In: U. Zoller(ed.). Groundwatercontamination and control, M a r c e l Dekker Inc., Nueva York.
- Zoller, U. 1994. Fundamentals, scope, and issues. Pp:1-4. In: U. Zoller(ed.). Groundwater Contamination and Control Marcel Dekker Inc., Nueva York.

Enviado: 03 de octubre de 2014

Aceptado: 24 de febrero de 2015