

## **Caracterización fisicoquímica y bacteriológica de aguas subterráneas de pozos artesanales y efluentes hídricos en la Costa de Chiapas (México)**

C. OROZCO MAGDALENO, F. RAMÍREZ AGUILAR y J. CRUZ LÓPEZ

Cuerpo Académico de Medicina y Ciencias de la Salud. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Chiapas. Carretera a Puerto Madero, Km. 1.5; CP 30700, Tapachula, Chiapas, México. Telf. (p62)6251555. Correo-e: corozco\_71@yahoo.com

### **Resumen**

Se condujo el estudio en la caracterización de las calidades físico-químicas y bacteriológicas del agua de 6 puntos de muestreo de aguas superficiales y subterráneas, distribuidos en el arroyo Colorado y el río Pumpuapa por un período de 7 meses (marzo a septiembre de 2006). Se analizaron 96 muestras de 6 pozos, de los cuales el 100 % exceden la normatividad vigente para coliformes fecales y color (NOM-127-SSA1-1994). Así mismo, ambos efluentes presentaron alta concentración de coliformes en las zonas de mayor actividad antropocéntrica. La concentración de metales, parámetros físicos y químicos en lo general, no excedieron los límites de la normatividad vigente, a excepción del pH que tiende a la acidez indicando que la calidad del acuífero ha sido modificado probablemente debido a la infiltración de los lixiviados y el escurrimiento de los desechos del basurero hacia el arroyo.

*Palabras clave:* Contaminantes, calidad del agua, lixiviados, basurero

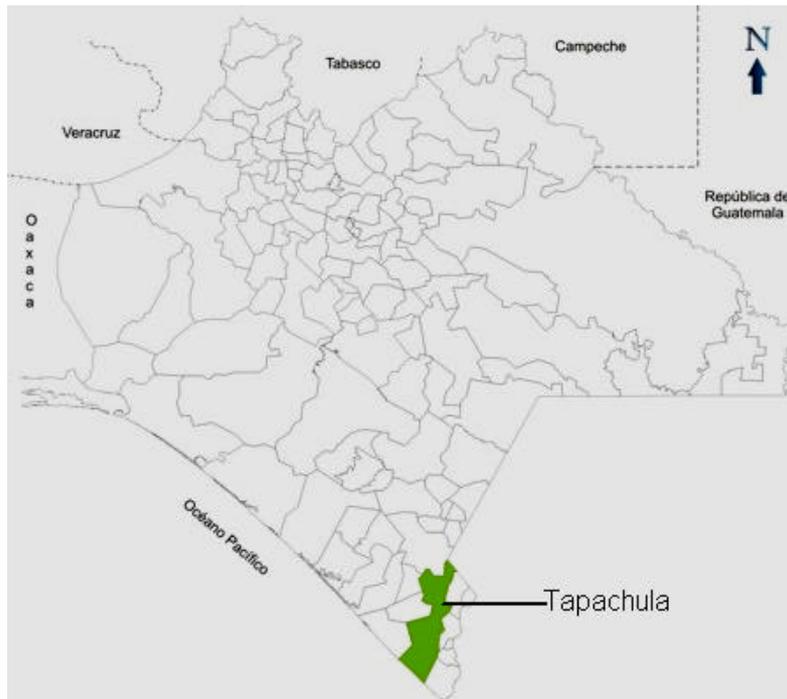
### **INTRODUCCIÓN**

El municipio de Tapachula de Córdova y Ordóñez, se localiza en el extremo Sur del Estado de Chiapas, en la región socioeconómica del Soconusco de la cual es sede regional, ocupando parte de la Sierra Madre, y parte de la Llanura Costera del Pacífico presentando un relieve muy variado. Sus coordenadas geográficas son 14° 32' y 15° 42' de latitud Norte y 92° 05' y son 93° 10' de longitud Oeste. Su altitud sobre el nivel del mar oscila de 0 hasta 2600 m.s.n.m.

Limita al Norte con el municipio de Motozintla, al Noroeste con la República de Guatemala, al Este con los municipios de Cacahoatán, Tuxtla Chico, Frontera Hidalgo y Suchiate, al Oeste con Tuzantán, Huehuetán, Mazatán y al Sur con el Océano Pacífico. En la clasificación climatológica de acuerdo a Köpen, y modificado por García (1973), se describe como un clima cálido húmedo a subhúmedo con lluvias en verano, con temperaturas que varían de 25 a 34 °C en primavera y verano, y para el resto del año las temperaturas tienen valores de 18 a 22 °C.

La época de lluvia normalmente comprende de abril a noviembre, con mayor intensidad de julio a octubre. Los ríos principales son: Huehuetán, Coatán, Cahuacán y Cuilco. Se presentan sus escurrimientos en las faldas de la Sierra del Soconusco, donde sus pendientes topográficas no permiten que existan sitios para vasos de almacenamiento, con excepción de la Presa de Malpaso sobre el río Coatán, y en general todos desembocan en el Océano Pacífico. Según el último censo de población y vivienda del 2005 la población es de 282,420 habitantes, siendo el segundo municipio más poblado de Chiapas (CONAGUA, 2002; INEGI, 2005).

Las aguas subterráneas constituyen una de las principales fuentes de agua para el consumo humano. Al momento en que la lluvia llega al suelo, diferentes factores comienzan a afectar su uso futuro como fuente de consumo humano. Sin la intervención humana, el agua de lluvia se infiltra en el suelo, fluye en la superficie o se evapora de acuerdo a los patrones naturales (Antón, 1996).



**Figura 1. Localización del Municipio de Tapachula, Chiapas (SPF, 2004).**



**Figura 2. Talud de basura teniendo como ángulo de reposo el arroyo Colorado.**

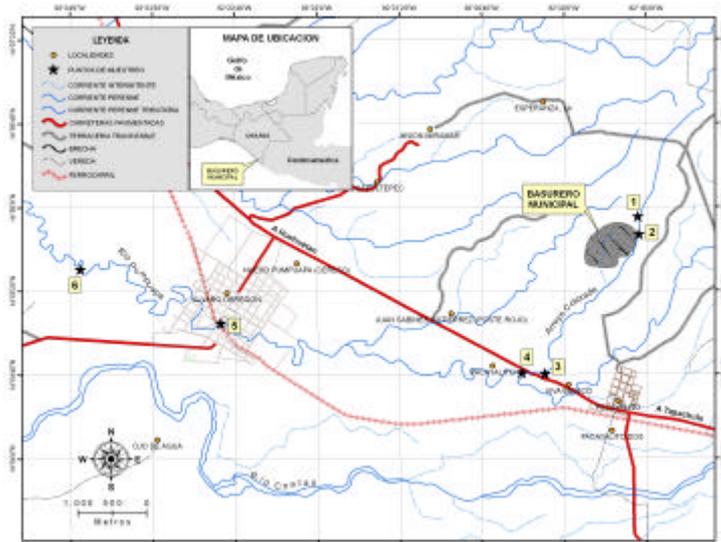
El área de recarga de un acuífero subyacente a un área densamente poblada a menudo lo hace vulnerable a contaminación por causas antropocéntricas. Acentuándose más complejo cuando existen tiraderos de basura a cielo abierto y zonas poblacionales cercanos a efluentes hídricos, como sucede en la Ciudad de Tapachula, en donde el tiradero a cielo abierto, el

cual también es utilizado por los municipios colindantes, da lugar a una creciente producción de residuos sólidos que son depositados, y que provienen principalmente de la basura doméstica, talleres, unidades prestadoras de servicio como hospitales y clínicas en general (Buenrostro, 2004; Pérez *et al*, 2002).

El problema de contaminación ocasionada por este tiradero sobre la fuente de agua se puede considerar crítico, ya que el sitio se ubica a un costado del arroyo Colorado destacando que se encuentra en un ángulo de reposo del talud del basurero, por lo que se considera el arrastre de contaminantes como un problema puntual (Figura 2). Además, El Ejido Álvaro Obregón del Municipio de Tapachula, Chiapas, utiliza este mismo efluente para deshacerse de sus aguas residuales.

Tomando en cuenta las características de los depósitos aluviales y a su funcionamiento hidráulico el acuífero para esta área está clasificado como del tipo libre, es decir, fluye por gravedad. Por lo que la relación que existe entre el régimen de precipitación local que es la principal fuente de recarga de agua infiltrada, se puede considerar la generación de lixiviados del tiradero sobre el intersticios del suelo y subsuelo como parte importante de la contaminación del manto acuífero, así como, la contaminación generada por las aguas de la población (CONAGUA, 2002).

Los efluentes tributarios del área de trabajo son, aguas abajo, utilizadas en la agricultura, la pesca y con fines recreativos y el uso del agua subterránea está orientado en actividades de casa-habitación. Por lo tanto, el objetivo de este estudio es generar información actualizada sobre los niveles de contaminación en los efluentes hídricos y pozos artesanales como conse-



**Figura 3. Localización del arroyo Colorado, río Pumpuapa y los puntos fijos de monitoreo de la calidad del agua.**

cuencia de la actividad humana (tiradero y descargas de aguas residuales).

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Área de estudio

En la figura 3, el basurero municipal está ubicado entre las coordenadas 14° 55' 52", 14° 55' 35.6" de

Para alcanzar los objetivos del estudio se colocaron seis diferentes puntos de muestreo a lo largo de ambos efluentes para la toma de agua subterránea y agua superficial (Figura 3 y Tabla 1).

En el arroyo Colorado de menor dimensión y homogeneidad, se fijaron cuatro puntos de muestreo para agua superficial y subterránea; dos antes de la zona del basurero (1P y 2P), y dos después de esta zona (3P y 4P). En el mismo punto de muestreo 4P por ser este el punto de confluencia entre ambos efluentes, se decidió tomar muestras de agua superficial del arroyo Colorado y del río Pumpuapa y una de agua subterránea, el punto 5P se fijó en el río Pumpuapa que atraviesa en el ejido Álvaro Obregón y el punto 6P pasando el ejido, en ambos puntos se tomó muestra de agua superficial y subterránea. Se consideró que los puntos de muestreo tenían que ser zonas habitadas que dependieran del agua de pozo para sus necesidades principales.

### Técnicas de análisis y muestreo utilizados

En las muestras de agua se evaluaron los contenidos de cromo hexavalente ( $Cr^{+6}$ ), zinc (Zn), cobre (Cu), y hierro (Fe), así como 9 parámetros físico-químicos y uno bacteriológico, siendo estos: color,

**Tabla 1. Coordenadas cartográficas de los puntos de muestreo**

Proyección y Coordenadas Universal Transversal Mercator (UTM)	Puntos de muestreo					
	1P <sup>c</sup>	2P <sup>c</sup>	3P <sup>c</sup>	4P <sup>c</sup> yP	5P <sup>p</sup>	6P <sup>p</sup>
Altitud (m)	150	153	59	53	36	25
15P	572765	572784	571422	571083	566709	564673
UTM	1650816	1650556	1648509	1648523	1649245	1650032

C= Arroyo Colorado; P= Río Pumpuapa

latitud Norte y 92° 19' 38.2" y 92° 19' 49.2" de longitud Oeste, con una extensión de 42 hectáreas y una altura de 174 a 168 m.s.n.m. El arroyo Colorado fluye en la parte Oeste del basurero y desemboca en el río Pumpuapa. Este río fluye hacia el Este pasando por la parte posterior del Centro de Readaptación Social No 3 (1,500 habitantes), y cruza el ejido Álvaro Obregón del municipio de Tapachula (4,654 habitantes), hasta desembocar en el río Huehuetán. El nivel estático para el polígono estudiado, fluctuó entre 20 y 40 m, salvo al Sur del ejido Álvaro Obregón donde se presentan valores de 10 m (CONAGUA, 2002; Orozco C, 2005; INEGI, 2005).

sólidos suspendidos, potencial de hidrógeno (pH), temperatura, conductividad, sulfato ( $SO_4$ ), fósforo total (PT), demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y coliformes fecales (CF).

Para los análisis de metales, color, sólidos suspendidos y fósforo total se utilizaron los métodos analíticos del manual de procedimiento de HACH (2002), utilizando un espectrofotómetro DR2500. Para los análisis de DBO y DQO se utilizaron los métodos estandarizados (APHA, 1998) y Normas Oficiales Mexicanas (NMX-AA-028-SCFI-2001 y NMX-AA-030-SCFI-2001). Los coliformes fecales se determinaron con la técnica de filtración por membrana

(APHA, 1998). La temperatura, conductividad y pH se determinaron *in situ* utilizando un potenciómetro PC18 Conductronic (NMX-AA-007-SCFI-2000; NMX-AA-093-SCFI-2000 y NMX-AA-008-SCFI-2000).

Las muestras fueron recolectadas, para los análisis físicos y químicos utilizando recipientes de plásticos, limpios y descontaminados de 10 L, y frascos de vidrio estériles de 100 mL de capacidad para el análisis bacteriológico.

Las muestras de agua superficial se tomaron a la orilla de la columna de agua a una profundidad de

10 L se tomó un volumen de 1L y se conservó a pH menor de 2 con ácido, para el análisis de metales.

Se realizaron dos muestreos por mes, de marzo a septiembre de 2006, siendo un total de 208 muestras distribuidas de la siguiente manera: 96 muestras de pozo y 112 muestras de río.

#### Análisis estadístico

La concentración de los parámetros analizados fue comparada con la norma oficial Mexicana (NOM-SSA1-127-1994). El total de los constituyentes fueron estadísticamente analizados usando

**Tabla 2. Valores promedios de parámetros fisicoquímicos en pozos y efluentes hídricos.**

Parámetros fisicoquímicos	Norma Mexicana <sup>1</sup>	Pozos						Arroyo Colorado				Río Pumpuapa		
		1P	2P	3P	4P	5P	6P	1R	2R	3R	4R	4R	5R	6R
Temperatura (°C)	—	26.6 <sup>a</sup>	27.3 <sup>a</sup>	26.9 <sup>a</sup>	27.4 <sup>a</sup>	28.9 <sup>a</sup>	27.8 <sup>a</sup>	27.1 <sup>b</sup>	26.4 <sup>b</sup>	26.9 <sup>b</sup>	26.7 <sup>b</sup>	26.3 <sup>b</sup>	27.6 <sup>b</sup>	27.2 <sup>b</sup>
pH	6.5-8.5	7.3 <sup>a</sup>	6.3 <sup>a</sup>	6.6 <sup>a</sup>	6.7 <sup>a</sup>	6.5 <sup>a</sup>	6.5 <sup>a</sup>	6.1 <sup>b</sup>	7.3 <sup>b</sup>	7.2 <sup>b</sup>	7.3 <sup>b</sup>	7.3 <sup>b</sup>	7.2 <sup>b</sup>	7.1 <sup>b</sup>
Conductividad (µS/cm)	—	71 <sup>a</sup>	84 <sup>a</sup>	225 <sup>a</sup>	128 <sup>a</sup>	496 <sup>a</sup>	248 <sup>a</sup>	63 <sup>b</sup>	61 <sup>b</sup>	274 <sup>b</sup>	306 <sup>b</sup>	126 <sup>b</sup>	98 <sup>b</sup>	104 <sup>b</sup>
Color (Pt/Co)	20	48 <sup>a</sup>	47 <sup>a</sup>	26 <sup>a</sup>	44 <sup>a</sup>	50 <sup>a</sup>	56 <sup>a</sup>	45	40	47	45	47	35	46
Sólidos suspendidos (mg/L)	1000	9 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	10 <sup>a</sup>	14 <sup>b</sup>	23 <sup>b</sup>	14 <sup>b</sup>	34 <sup>b</sup>	25 <sup>b</sup>	34 <sup>b</sup>	27 <sup>b</sup>
Sulfatos (mg/L)	400	145	121	127	45	68	82	142	132	145	43	38	39	39
Fósforo (mg/L)	—	2.3	1.3	1.6	1.3	1.7	1.6	1.6	1.4	1.3	1	1.2	1.1	1.2
DQO (mg/L)	—	89 <sup>a</sup>	83 <sup>a</sup>	57 <sup>a</sup>	83 <sup>a</sup>	70 <sup>a</sup>	73 <sup>a</sup>	99 <sup>b</sup>	100 <sup>b</sup>	116 <sup>b</sup>	139 <sup>b</sup>	98	89 <sup>b</sup>	92 <sup>b</sup>
DBO (mg/L)	—	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	11 <sup>b</sup>	10 <sup>b</sup>	11 <sup>b</sup>	23 <sup>b</sup>	11 <sup>b</sup>	11 <sup>b</sup>	13 <sup>b</sup>

NOTA: Letras diferentes (a y b), denotan diferencias significativas ( $p < 0.05$ )

Los parámetros que no tienen letras no presentaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ )

**Tabla 3. Valores promedios de parámetros fisicoquímicos en pozos y efluentes hídricos.**

Parámetros bacteriológicos y metales	Norma Mexicana	Pozos						Arroyo Colorado				Río Pumpuapa		
		1P	2P	3P	4P	5P	6P	1R	2R	3R	4R	4R	5R	6R
Coliformes fecales (UFC/100 ml)	0	3500 <sup>a</sup>	1467 <sup>a</sup>	457 <sup>a</sup>	3138 <sup>a</sup>	1342 <sup>a</sup>	4358 <sup>a</sup>	1983 <sup>b</sup>	3200 <sup>b</sup>	9033 <sup>b</sup>	22000 <sup>b</sup>	7700 <sup>b</sup>	4183 <sup>b</sup>	12183 <sup>b</sup>
Cobre en mg/L	2	0.20	0.15	1.5	0.14	0.15	0.19	0.17	0.20	0.19	2.22	0.20	0.19	0.17
Cromo <sup>VI</sup> (mg/L)	—	<LD	<LD	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D	<L.D
Fierro (mg/L)	0.30	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Zinc (mg/L)	5	0.23	0.20	0.55	0.22	0.14	0.14	0.27	0.34	0.32	0.41	0.29	0.31	0.28
		0.07	0.04	0.05	0.05	0.10	0.09	0.05	0.05	0.08	0.06	0.07	0.04	0.07

NOTA: Letras diferentes (a y b), denotan diferencias significativas ( $p < 0.05$ )

Los parámetros que no tienen letras no presentaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ )

aproximadamente 30 cm. Para las muestras de agua de pozo, los sitios se encontraban de 10-50 m de distancia de la columna principal del río, y sus profundidades eran menores a 20 m; de los seis pozos evaluados, solo dos tenían el sistema de bombeo (puntos 4P y 5P), en los otros el agua se obtenía con la ayuda de una polea, lazo y recipiente de plástico. Las letrinas y fosas sépticas.

Las muestras se conservaron con refrigerantes y se analizaron dentro de las 8 horas siguientes. Adicionalmente en el laboratorio, de las muestras de agua de

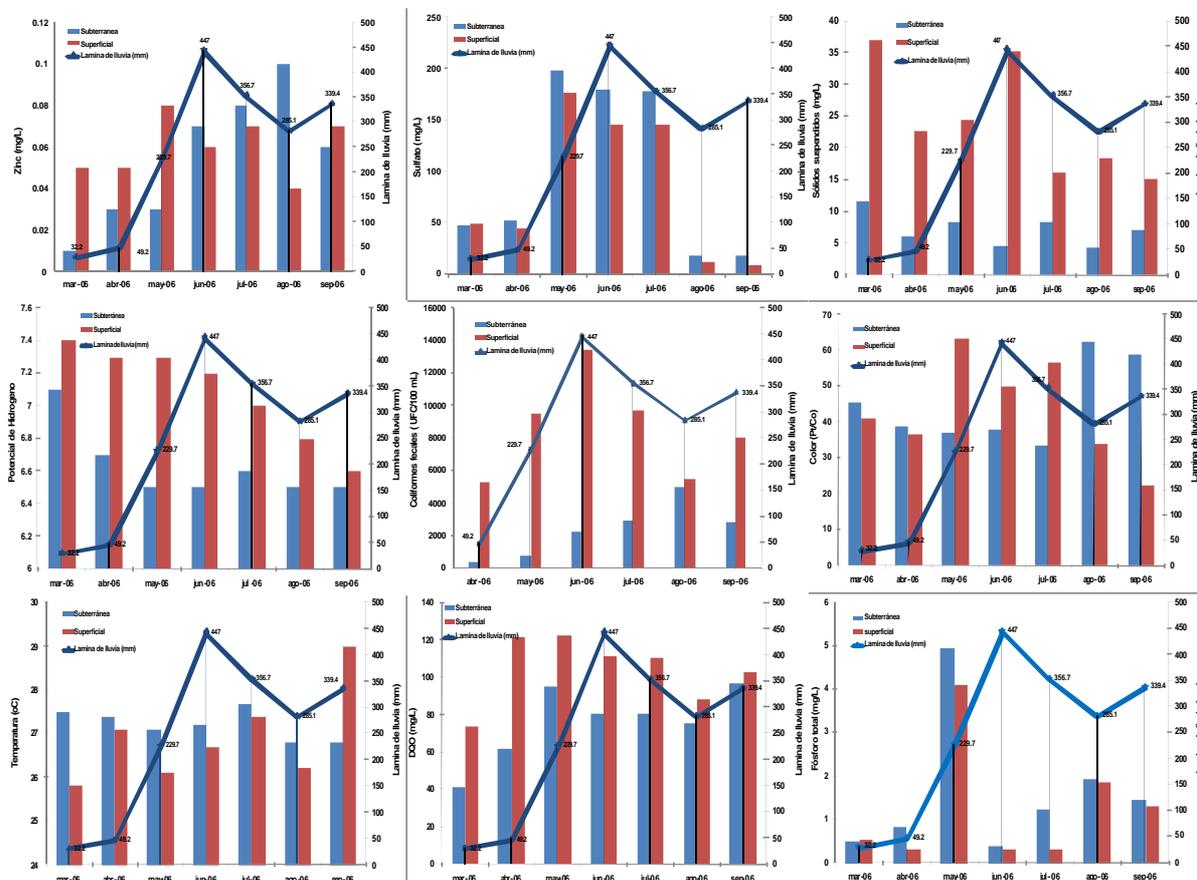
análisis de varianza (ANOVA), con los sitios de muestreo y los eventos de cada mes como la mejor fuente de variación. La comparación múltiple se realizó usando prueba estadística de Tukey. El ANOVA y el análisis de Tukey proveen resultados para cada constituyente por sitio de muestreo y evento.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Sitios de muestreo

De todos los parámetros evaluados solo 8 pudieron ser comparados con los límites permisibles de la

**Figura 4. Comportamiento de los parámetros evaluados con diferencia estadística en las diferentes etapas de muestreo.**



Norma Mexicana. No habiendo regulación para temperatura, conductividad, fósforo, DQO, DBO y  $Cr^{+6}$ . De acuerdo a los resultados, en el punto 4R situado en el río Colorado, cuatro de los ocho parámetros comparados sobrepasan los límites de la Norma Mexicana. Además, el agua en este punto presenta una alta concentración de sedimentos.

Las Tablas 2 y 3 muestra la concentración promedio de los parámetros evaluados en cada punto de muestreo, así como los límites permisibles de la Norma Mexicana. Se observa una alta variabilidad de los niveles físico-químicos y bacteriológicos en ambos efluentes tributarios, y en los pozos artesanales. No así, en los metales evaluados, sulfato y fósforo total. Aunque no fue posible hacer comparaciones con los niveles basales locales, ya que no hay datos de estos parámetros en esta zona.

La prueba de ANOVA indica que solo 6 parámetros ( $SO_4$ , P, Cu,  $Cr^{+6}$ , Fe y Zn) no presentan diferencias entre sitios de muestreo ( $p > 0.05$ ), pero si presentan efecto de dilución en 4P y 4R (Pumpuapa), por efecto de la confluencia del arroyo con el río. Cobre excede los límites en el punto 4R del arroyo

Colorado. Hierro excedió el límite de la norma en el punto 3 (pasando el basurero) tanto para el agua subterránea como para la superficial, así como el punto 4R y el 5R (confluencia de ambos efluentes).

De los 8 parámetros que presentan diferencia entre los sitios de muestreo ( $p < 0.05$ ), solo coliformes fecales sobrepasa la norma Mexicana en todos los puntos de muestreo, resultado coherente debido a las descargas de aguas negras directas al río en las áreas pobladas, siendo esto un peligro potencial de salud por el carácter persistente de la fuente de contaminante. Con respecto a este parámetro, los resultados indicaron que el 100 % de los pozos estudiados se encuentra fuera de norma (0 UFC/100 mL), registrándose el nivel más alto en el punto 6 que se encuentra pasando la población Álvaro Obregón (4,358 UFC/100mL). Sin embargo, la existencia de alguna correlación de influencia puede deberse a factores, que además del basurero municipal, pueda deberse a la descarga directa de las aguas negras de las comunidades a los efluentes. Este mismo comportamiento se observa para el río Pumpuapa, ya que el mismo punto de muestreo, la concentración se eleva

considerablemente (12,183 UFC/100 mL). La temperatura de los puntos muestreados son superiores a los 26 °C, características de las condiciones ambientales del trópico húmedo, siendo 4R (Pumpuapa) el de menor temperatura (26.3°C) y el 5P el de mayor temperatura (28.9°C), este último punto está ubicado en una zona urbana. El pH presenta variabilidad en los pozos y entre los efluentes, pero se percibe algún efecto asociado al basurero en el agua subterránea ya que los datos de pH del punto 2 al 6 están por debajo de las 7 unidades, indicando que el manto acuífero tiende a la acidez, esta conducta no se presenta en los puntos de los efluentes. La conductividad se incrementó en las aguas de pozos gradualmente en los puntos de muestreo. El efecto de dilución se observa claramente en el punto 4P (128  $\mu$ S/cm), que es el punto de unión de ambos efluentes. Entre los puntos muestreados de los efluentes, pasando el área de influencia (puntos 1 y 2), las concentraciones se incrementaron pasando de 63 y 61 a 274 y 306  $\mu$ S/cm, este efecto está directamente relacionado con el aporte del basurero por la escorrentía, que va directamente hacia el arroyo, y se aprecia el efecto de dilución en 4R (Pumpuapa). Color sobrepasa el límite de la norma, y presenta alta diferencia entre los pozos, pero no entre los efluentes. Sólidos suspendidos no sobrepasa los límites de la norma. La DBO y la DQO no presentan variabilidad entre los puntos muestreados (pozos y agua superficial). No observándose el efecto de dilución en los pozos, pero si en la convergencia de los efluentes (4R).

#### Por eventos estacionales

De manera general los resultados cobre y cromo hexavalente ( $p > 0.05$ ) para las muestras de pozos y de los efluentes están por debajo de los límites, salvo el mes de mayo para la muestra del efluente que sobrepasa la norma. Entre los meses de abril a julio Fierro en las muestras de pozos ( $p > 0.05$ ) sobrepasan el límite de la norma (0.3, 0.3, 0.35 y 0.37 mg/L), y esto coincide con el incremento de la lámina de lluvia para esta zona, en las muestras de los efluentes ( $p < 0.05$ ) desde el mes de marzo a julio (0.63, 0.41, 0.35, 0.38 y 0.38 mg/L), los meses que sobrepasan el límite de la norma. La DBO ( $p > 0.05$ ) va de valores de 4.1mg/L a 14,8 mg/L. La conductividad ( $p > 0.05$ ) va de moderada 132  $\mu$ S/cm a ligeramente media 228  $\mu$ S/cm. En ambos casos (DBO y conductividad), no se percibió efecto alguno por efecto de la lluvia.

En la Figura 4 se presentan las gráficas para los diferentes parámetros que tuvieron diferencia ( $p < 0.05$ ), así como la lámina de lluvia por meses obtenida del sistema Meteorológico Nacional de la CONAGUA (2006). Zinc, sulfato y sólidos suspendidos en ambos escenarios no sobrepasan los límites de la norma Mexicana, aunque se observa el incremento de la concentración conforme las lluvias aumentan. El pH en ambos escenarios presenta una tendencia a pasar de un pH básico a un pH ácido con-

forme aumentan las lluvias, este efecto se presenta más marcado en las muestras de las aguas obtenidas de los pozos, y estos se encuentran en los límites inferiores de los límites de la norma (6.5). El punto fijo del basurero probablemente juega un rol importante en la contaminación del manto acuífero por proceso de difusión por la contaminación presente.

Coliformes fecales y color sobrepasan los límites de la norma en ambos escenarios. Color en algunos casos fue el doble o triple del límite permitido. Para CF la concentración en las muestras de pozos a partir de junio sobrepasó los límites de la norma coincidiendo el aumento de la concentración con el incremento de la lamina de lluvia, en las muestras de los efluentes la concentración de CF presentó la misma tendencia con el aumento de lluvia, con una concentración de cinco veces arriba del límite de la norma. Coincidiendo el mes de junio como el mes lluvioso con el aumento de la concentración de 15 veces el límite de la norma.

La temperatura en las muestras de pozos osciló entre 26.8 y 27.7 °C, y para los efluentes estos oscilaron entre 25.8 y 29 °C, siendo el mes de septiembre el de mayor temperatura, estas temperaturas son características de un clima cálido húmedo a subhúmedo, y corresponde a la propuesta de que la temperatura de un acuífero desde 10 m hasta 100 m de profundidad sea cercana a la temperatura ambiental promedio de una región y puede resultar en un factor que favorezca a diferentes procesos tanto químicos como biológicos (Lee *et al.*, 1998). La DQO y el fosforo, presentaron en ambos escenarios aumento conforme aumentó la lámina de lluvia y el fosforo presento su máximo pico en el mes de mayo coincidiendo con el aumento gradual de la lluvia. Dentro de este contexto, y siendo la lixiviación y el arrastre del suelo por las escorrentias dos proceso que contribuye en la acumulación de las sustancias, puede explicarse que son probables bajo la acción de fuertes lluvias o lluvias prolongadas.

#### CONCLUSIONES

Los resultados de la presente investigación confirman que el tiradero a cielo abierto y las descargas de aguas sin tratar, son una fuente puntual de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas del área investigada, incidiendo de manera directa en la calidad del agua del acuífero.

En todos los pozos muestreados hay presencia de coliformes fecales en cantidades que sobrepasan las normas de salud vigente. Las variaciones en la mayoría de los parámetros analizados son influenciadas principalmente por las lluvias.

De acuerdo con los resultados, es muy probable que el aumento en la concentración de coliformes fecales y disminución del pH, este vinculado a la generación de lixiviados consistente con el incremento de lluvia en el área de estudio y a factores tales como deficiencia o carencia de drenajes en las zona

de influencia. Finalmente, la caracterización de la calidad del agua en efluentes y pozos artesanales representa un enfoque práctico a escala local para la estimación de riesgos por contaminantes de tipo fisicoquímico y bacteriológico y de esta manera, poder implementar medidas sanitarias de acuerdo a las normas vigentes en las áreas identificadas.

## AGRADECIMIENTOS

Por su colaboración en el desarrollo de esta investigación, los autores agradecen al Sistema Institucional de Investigación de la UNACH-2006, por su apoyo en el financiamiento de este trabajo, así como al MC. Higinio López de LAIGE de ECOSUR por el apoyo brindado en el sistema de información geográfica.

## BIBLIOGRAFÍA

- APHA(1998) American Public Health Association. Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. 20th Ed. Washington, USA
- Anton, JD (1996). Thirsty Cities Urban Environments and Water Supply in Latin America. 180 p
- Buenrostro O (2004) *Los tiraderos municipales y el impacto ambiental de los residuos sólidos en la Cuenca del lago de Cuitzeo, México*. En Memorias del XIV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Mazatlán, Sinaloa, México. 15p. URL en <http://www.femisca.org.mx/publicaciones/>
- CONAGUA (2002) *Determinación de la disponibilidad de agua en el Acuífero Soconusco, Estado de Chiapas*. Subdirección General Técnica. Gerencia de Aguas Subterráneas. Subgerencias de Evaluación y modelación hidrogeológica. Comisión Nacional del Agua 18 p
- CONAGUA (2007) Comisión Nacional del Agua URL en <http://smn.cna.gob.mx/productos/map-lluv/estados/est-2006.gif>
- García E (1973) *Modificaciones al Sistema de Clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. 246 p.
- HACH (2002). Manual de procedimientos del espectrofotómetro ODYSSEY DR/2500 Hach company U.S.A.
- INEGI (2005). Resultados definitivos del II Censo de población y vivienda para el Estado de Chiapas. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. URL en <http://www.inegi.gob.mx>
- 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". Publicado en el Diario oficial de la federación CVIII 13,18 enero. 1996. 6 p.
- NOM (1996) Norma Oficial Mexicana NOM-083-ECOL-1996, que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales. Publicada en el Diario Oficial de la Federación de fecha 25 de noviembre de 1996. 17 p.
- NMX-AA-007-SCFI-2000 Análisis de agua - determinación de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba (cancela a la NMX-AA-007-1980).
- NMX-AA-008-SCFI-2000 Análisis de agua - determinación del ph - método de prueba (cancela a la NMX-AA-008-1980).
- NMX-AA-028-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (dbó5) y residuales tratadas - método de Prueba (cancela a la NMX-AA-028-1981).
- NMX-AA-030-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba (cancela a la NMX-AA-030-1981).
- NMX-AA-093-SCFI-2000 Análisis de agua - Determinación de la conductividad eléctrica
- Orozco C (2005) *Evaluación de contaminantes como factor para diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales*. Consejo de Ciencia y Tecnología del estado de Chiapas. Programa de apoyo a la creatividad e inventiva de jóvenes Chiapanecos para el desarrollo tecnológico y la innovación. Informe Técnico, 16 p
- Pérez M, Vicencio M, Alarcon M. y Vaca M. (2002) Influencia del basurero municipal en la calidad del agua de acuífero de la Ciudad de Durango, México. *Rev. Int. De Contam. Ambiental* Vol.18 3:111-116
- SPP (2004) Secretaría de Planeación y Finanzas, carta geográfica del estado de Chiapas. URL disponible en [http://www.finanzasChiapas.gob.mx/contenido/assitencia/contenido/pag\\_geografia\\_y\\_estadistica/p\\_atlas](http://www.finanzasChiapas.gob.mx/contenido/assitencia/contenido/pag_geografia_y_estadistica/p_atlas).
- Lee MD, Thomas JM, Borden RC, Bedient PB, Ward CH and Wilson JT (1998) Bioremediation of aquifers contaminated with organic compounds. *CRC Critical Reviews in Environmental Control*; CRC, 1, 29-89.