

Calidad y clasificación de usos del agua en la cuenca baja del río Papagayo, Guerrero, México

Water quality and classification of uses in the lower Papagayo river basin, Guerrero, Mexico

María Teresa Almazán-Juárez¹, Ángel Almazán-Juárez², Blanca Estela Carreto-Pérez², Elías Hernández Castro¹, Agustín Damián-Nava¹, R. Carlos Almazán-Núñez^{2*}

¹ Maestría en Sistemas de Producción Agropecuaria, Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Autónoma de Guerrero, Unidad Tuxpan: km 2.5 Carretera Iguala-Tupan, CP. 40030, Iguala, Guerrero, México.

² Unidad Académica de Ciencias Químico-Biológicas, Universidad Autónoma de Guerrero, Av. Lázaro Cárdenas s/n, Ciudad Universitaria, CP. 39087. Chilpancingo, Guerrero, México.

* Autor de correspondencia: oikos79@yahoo.com.mx

Artículo científico **recibido:** 25 de agosto de 2014, **aceptado:** 01 de diciembre de 2015

RESUMEN. Se realizaron análisis físico-químicos y microbiológicos durante la temporada de secas y lluvias para conocer la calidad del agua de la cuenca baja del río Papagayo y sus afluentes. Los parámetros analizados se compararon con los criterios ecológicos de calidad del agua y las Normas Oficiales Mexicanas. Algunos valores de los análisis físico-químicos y microbiológicos se encuentran fuera de los límites máximos permisibles en la época de lluvias (coliformes fecales, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales y turbiedad), los cuales difieren de forma significativa con respecto a la época de secas, la dureza total y el oxígeno disuelto aumentaron en algunos sitios de muestreo. La concentración de metales, grasas y aceites presenta valores permitidos en las normas oficiales. La calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de la cuenca del río Papagayo muestra que la estación con mayor grado de contaminación es la del río Omitlán. A pesar de los aportes considerables de materia contaminante al cauce principal del río Papagayo, en las estaciones de muestreo Bellavista Papagayo y Lomas de Chapultepec, se aprecia que tiene capacidad de autopurificación, aun cuando en dichos puntos hay contribuciones importantes de contaminantes. Los resultados revelan que la cuenca baja del río Papagayo presenta contaminantes que causan efectos nocivos al ser humano, como la mayoría de los ríos en México, no puede considerarse como fuente de abastecimiento de agua potable.

Palabras clave: Calidad del agua, microbiología, monitoreo, río Papagayo, salud humana

ABSTRACT. Physico-chemical and microbiological parameters were analyzed during dry and rainy season to verify the water quality of the lower Papagayo river basin and its tributaries. The analyzed parameters were compared with the Ecological Water Quality Criteria and Mexican Official Standards. Some values of the physico-chemical and microbiological analyses were outside of the maximum permissible levels in the rainy season (fecal coliforms, sedimentary solids, total suspended solids and turbidity), and which were significantly different with respect to dry season, whose values of the total hardness and dissolved oxygen increased in some sampling sites during this season. Metal concentrations showed values according to the official regulations, as well as the fats and oils. Physico-chemical and water quality of the Papagayo river basin show that Omitlán river was the station with the highest contamination level. Despite the considerable contributions of pollutants into the principal stream of the Papagayo river, in the two sampling stations located in the lower portion of the basin, termed Bellavista Papagayo and Lomas de Chapultepec, it is appreciated that the river has a good capacity of autoperification, even when in these localities there is an important contribution of pollutants. Based on the results obtained and the application of those rules, it was determined that the water in the downstream basin of the Papagayo river should not be used directly as a source of drinking water for the population centers. This is because they contain dangerous pollutants that cause adverse effects to humans.

Key words: Human health, microbiology, monitoring, Papagayo river, water quality

INTRODUCCIÓN

Los efectos causados por la contaminación de las fuentes de abastecimiento de agua se relacionan con el agotamiento de los recursos hídricos y la disminución de su calidad, así como la pérdida de la flora y fauna acuática existente (Daszak et al. 2001). Cuando se vierten contaminantes antropogénicos y se rebasa el nivel de autopurificación del cauce (Singh et al. 2004), las fuentes de suministro de agua se ven amenazadas (Gambhir et al. 2012). Algunos autores estiman que en el 2025, más de la mitad de la población de la tierra se verá afectada por escasez del agua (Kulshreshtha 1998).

El estado de Guerrero no es la excepción en cuanto a procesos de degradación ambiental (Cervantes et al. 1996). Los problemas ambientales que enfrenta relacionados con el agua son ocasionados por la pérdida de bosques, contaminación de cuencas hidrográficas, descargas de aguas residuales, degradación de acuíferos, uso excesivo de agroquímicos en zonas agrícolas y la presencia de metales tóxicos de origen minero (Challenger 1998). En este sentido, el agua es un componente central del manejo de una cuenca, ya que en ella se manifiesta una síntesis del efecto de las actividades socioambientales realizadas en la misma, pudiendo modificarse las características físicas, químicas y biológicas que determinan su calidad (Hansen y González-Márquez 2010). La cuenca baja del río Papagayo constituye un sistema modelo para la valoración de la calidad del agua desde un enfoque funcional e integrador entre los elementos naturales, sociales y económicos (Torres-Beristáin et al. 2013). En la mayor parte de la región se presentan ecosistemas tropicales perturbados y heterogéneos producto de sus características geomorfológicas y sociodemográficas (García-Romero et al. 2005). El poblamiento de la cuenca data de tiempos prehispánicos y fue hasta hace dos décadas que se observó un crecimiento demográfico acelerado, en gran medida por la influencia turística en diferentes puntos del municipio de Acapulco (Delgado et al. 2004, García-Romero et al. 2005). Por lo anterior el objetivo del estudio fue conocer la calidad del agua de

la cuenca baja del río Papagayo y de sus afluentes principales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El área de estudio se localiza al sur del estado de Guerrero, comprende parte de los municipios de Acapulco, Juan R. Escudero, San Marcos y Tecoaapa (Figura 1). Tiene una superficie de 122 874.19 ha localizada entre los 16° 41' 00" y 17° 14' 23" de LN, y 99° 43' 31" y 99° 19' 11" de LO. En lo hidrológico, se encuentra entre dos ríos, al norte con La Sabana y al sur con El Papagayo, ambos pertenecen a la Región Hidrológica 20, Costa Chica del estado de Guerrero. En el río La Sabana existen 502 aprovechamientos y en el Papagayo 39. El clima predominante es cálido húmedo con lluvias mayores a 1000 mm al año. Las lluvias más intensas y con mayor frecuencia ocurren con intensidad entre 40 y 80 mm (García 2004). Se distinguen 16 unidades de suelos presentes, de los cuales el regosol esquelético es el que cubre la mayor superficie con 55 874.50 ha, que corresponden al 45.5 %, seguido del regosol districo con 18 947.5 ha (15.4 %), feozem háplico 13 954.5 ha (11.4 %) y fluvisol arénico con 10 627.25 ha (8.6 %) (INEGI 1993).

Calidad del agua

Se realizaron muestreos de agua de junio de 2012 a junio de 2013. A partir de la información sobre los escurrimientos secundarios se delimitaron 21 subcuencas y 94 microcuencas. Para conocer la calidad del agua y posibilitar sus diferentes usos potenciales, se aplicaron los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (DOF 1989), de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 (DOF 1996) y la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994c (DOF 1994c).

Se seleccionaron 20 estaciones de muestreo, ocho se ubican sobre el cauce principal de la cuenca baja del río Papagayo (La Unión, Tlalchocohuite, Presa La Venta, Puente Omitlán, Puente Papagayo, Bellavista Papagayo, Lomas de Chapultepec y La Concepción). Las primeras siete se monitorearon en

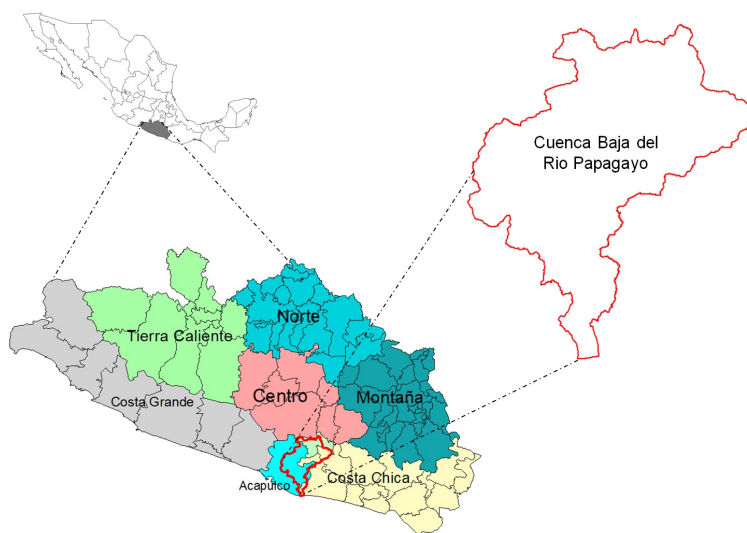


Figura 1. Localización de la cuenca baja del río Papagayo del estado de Guerrero. Los diferentes colores representan las regiones sociopolíticas del estado.

las dos épocas (secas y lluvias) y la octava (La Concepción), sólo se monitoreó en la época de lluvias (Figura 2). Estas estaciones se consideraron por ser sitios susceptibles de contaminación debido a su proximidad a comunidades con más de 500 habitantes (Tabla 1). Las doce estaciones de muestreo restantes se monitorearon sólo en la época de lluvias, de las cuales tres se ubican en corrientes perennes (Barranca de Apanlázar, Plan Grande y el Puente), dos en manantiales (Palo Gordo y Agua Caliente), cuatro en pozos (San Juan del Repar, Ejido Nuevo, Sabanillas y el Campanario), y tres en tanques de almacenamiento (El Zapote, Las Palmas y Amatillo).

En ambas épocas se analizaron en campo y laboratorio los siguientes parámetros físicos y químicos: temperatura, pH, color, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, conductividad eléctrica, turbiedad, oxígeno disuelto, dureza total, alcalinidad total, amonio, sulfatos, salinidad, demanda química de oxígeno (DQO), hierro, manganeso y parámetros microbiológicos, incluyendo coliformes fecales y coliformes totales (DOF 1994c, DOF 1996). En la época de lluvias, además de dichos parámetros se determinó la dureza de calcio, grasas y aceites, materia flotante, manganeso, arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc.

Para las determinaciones se tomaron muestras y se preservaron de acuerdo con los criterios de la Norma Oficial Mexicana NOM-014-SSA1-1993 (DOF 1993). De forma *in situ* se tomaron datos de temperatura, pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, salinidad y turbiedad con analizadores portátiles multiparamétricos marca HACH. La determinación de cloro residual libre se efectuó con un comparador colorimétrico, entre los valores obligatorios de 0.2 y 1.5 mg L⁻¹, con reactivo DPD (dialquil-1,4-fenilendiamina o N,N-dietil -p-fenilendiamina). Para los análisis realizados en laboratorio se aplicaron los métodos establecidos en las Normas Mexicanas: NMX-AA-072-SCFI-2001 (dureza total), NMX-AA-036-SCFI-2001 (alcalinidad), NMX-AA-030-SCFI-2001 (demanda química de oxígeno), NMX-AA-005-SCFI-2000 (grasas y aceites), NMX-AA-004-SCFI-2000 (color, sólidos sedimentables), NMX-AA-034-SCFI-2001 (sólidos suspendidos totales), NMX-AA-006-SCFI-2000 (materia flotante), NOM-112-SSA1-1994b y método de filtración por membrana de millipore (coliformes totales y coliformes fecales), y métodos de merckspectroquant (amonio y sulfatos). Para los metales (hierro, manganeso, arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc) se usó la NMX-AA-051-

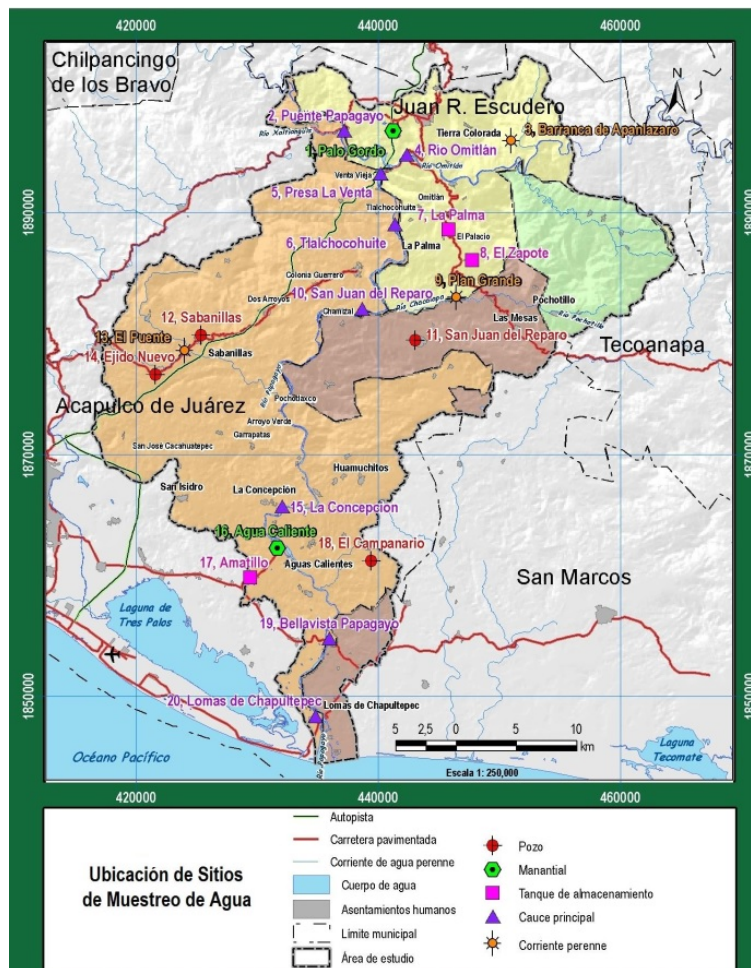


Figura 2. Ubicación de los sitios de muestreo de agua a lo largo del área de estudio.

SCFI-2001 (DOF 1994a, DOF 2001d) y en pozos y tanques de almacenamiento la Norma Oficial Mexicana NOM-117-SSA1-1994 (DOF 1994a).

Se evaluaron las diferencias entre los parámetros físicoquímicos muestreados en ambas épocas del año (secas y lluvias), para lo cual se efectuó un análisis de varianza de una vía, previo análisis de normalidad y homocedasticidad. Las variables que no cumplieron con dichos supuestos, sus valores se transformaron a Log (x + 1). Para los análisis se utilizó un límite de confianza del 95 % y significancia $\alpha = 0.05$, los análisis se realizaron con el programa SPSS 17.0.

RESULTADOS

Fisicoquímica y calidad del agua del río Papagayo

De los dos monitoreos realizados en el cauce principal del río, en la época de secas se observó un menor caudal comparado con el de lluvias, aumentando la turbiedad, debido a que por las lluvias el río presenta fuertes corrientes con considerable arrastre de materia suspendida (Tabla 1). En la época de lluvias los sólidos sedimentables, suspendidos totales y la turbiedad presentaron valores fuera de la norma

Tabla 1. Resultados de los parámetros físicos *in situ*, físico-químicos, bacteriológicos y de metales del cauce principal del río Papagayo en la época de secas y lluvias.

Parametro	Época de seca					Época de lluvias				
	La Unión	Tlalcho-cohuite	Presa La venta	Río Omilán	Papagayo	Bellavista Papagayo	Lomas de Chapultepec	La Unión	Tlalcho-cohuite	Presa La Venta
<i>Determinaciones in situ</i>										
Profundidad cm	25	25	25	20	35	35	35	20	20	0
pH	7.3	7	7.4	7.5	7.2	6.9	7.1	7.19	7.3	7.08
Conductividad Eléctrica μS	763	731	678	880	183	727	709	247	226	268
Oxígeno Disuelto $mg L^{-1}$	5.1	5.7	6.8	8.6	4.7	7.2	6.9	3.9	4.1	4.4
Temperatura $^{\circ}C$	27.6	28.7	30	29.9	32	32.5	31.5	28	29.5	29.3
Salinidad %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Turbiedad UTN	7.63	9.35	9.13	14.86	2.69	9.73	12.25	73.8	65.5	55.6
<i>Determinaciones en laboratorio</i>										
Dureza Total $mg L^{-1} CaCO_3$	460	444	406	566	142	420	430	150	170	160
Dureza de Ca $mg L^{-1} CaCO_3$	122	100	104	98	88	102	106	90	100	90
Alcalinidad $mg L^{-1} CaCO_3$	0.013	0.029	0.035	0.117	0.035	0.032	0.037	0.117	0.062	0.111
Amonio $mg L^{-1}$	206.36	148.76	68.07	154	26.18	127.51	115.19	98	81.1	70.3
Sulfatos $mg L^{-1}$	2.16	1.81	1.99	3.37	2.16	1.64	1.99	37	38	29
DQO $mg L^{-1}$	20	150	50	500	15	20	30	356	385	301
Color escala Pt-Co	0.05	0.05	0	1.4	0.1	0.1	0.2	2.00	2.0	1.5
Sol. Sed. $mg L^{-1}$	20	36	18	94	12	31	19	90	94	64
Grasas y Aceites mg/l								3.91	4.47	2.3
Materia Flotante	2000	2000	3000	20000	1200	4000	8000	16	16	16
CT UFC/100 mL	1000	2000	1000	4000	100	1000	2000	1600	1600	1600
CF UFC/100 mL	0.021	0.03	0.021	0.072	0.048	0.058	0.059	0.44	0.48	0.37
Hierro $mg L^{-1}$	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	1.89	2.3	1.9
Manganeso $mg L^{-1}$								0.00721	0.00612	0.006
Arsénico $mg L^{-1}$								<0.001	<0.001	<0.001
Cadmio $mg L^{-1}$								<0.001	<0.001	<0.001
Cobre $mg L^{-1}$								<0.001	<0.001	<0.001
Plomo $mg L^{-1}$								<0.001	<0.001	<0.001
Zinc $mg L^{-1}$								<0.001	<0.001	<0.001

Tabla 2. Resultados del análisis de varianza entre los valores físico-químicos en las estaciones de muestreo durante dos temporadas del año. Los datos representan el promedio \pm el error estándar.

Parámetro	Secas	Lluvias	Valor de p
pH	7.20 \pm 0.08	7.10 \pm 0.05	NS
Cond. Elec.	667.30 \pm 84.3	255.50 \pm 7.21	***
Oxig. Disuelto	6.40 \pm 0.51	3.98 \pm 0.07	***
Temperatura	30.31 \pm 0.68	29.9 \pm 0.34	NS
Turbiedad	9.38 \pm 1.43	59.38 \pm 9.75	***
Dureza Total	409.71 \pm 48.88	168.75 \pm 9.34	***
Alcalinidad	102.86 \pm 3.88	93.12 \pm 1.62	*
Amonio	0.04 \pm 0.01	0.10 \pm 0.01	**
Sulfatos	120.87 \pm 22.37	74.86 \pm 6.73	NS
DQO	2.16 \pm 0.21	44.75 \pm 7.99	***
Sólidos Sed.	0.27 \pm 0.19	2.75 \pm 0.94	*
Sol. Sus.Tot	32.85 \pm 10.65	103.13 \pm 20.3	*
Hierro	0.044 \pm 0.007	0.47 \pm 0.071	***
Manganeso	0.00 \pm 0.00	2.34 \pm 0.46	***

*p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001, NS = no significativo.

en el punto río Omitlán (Tabla 1), mientras que el punto de Puente Papagayo, presentó la mayor transparencia y los menores contenidos de sólidos sedimentables y suspendidos totales (Tabla 1). La diferencia en los valores de dichos parámetros en ambas épocas del año fue significativa ($p < 0.05$, Tabla 2). La conductividad mostró valores mayores en la época de secas, hasta 880 μS en la estación río Omitlán (Tabla 1), con diferencias significativas en la época de lluvias ($p < 0.001$, Tabla 2). La dureza se clasifica de moderadamente dura hasta muy dura con valores en lluvias de 120 mg L^{-1} CaCO_3 en la estación Puente Papagayo, y en secas aumentó hasta 460 mg L^{-1} en la estación La Unión (Tabla 1), diferencias que fueron significativas en ambos períodos del año ($p < 0.001$, Tabla 2). En la época de lluvias la alcalinidad se encontró dentro de los límites normales, y aumentó en la época de secas ($p = 0.03$, Tabla 1). En referencia a la DQO, en lluvias se presentaron valores altos (5 a 79 mg L^{-1}) en comparación con las secas (1.64-3.37 mg L^{-1} , Tabla 1). Las diferencias de la DQO fueron significativas entre las dos épocas del año muestreadas ($p < 0.001$, Tabla 2). Mientras que los nutrientes amonio y sulfatos mostraron incrementos en la época de secas (Tabla 1), aunque sólo el amonio tuvo cambios significativos en las dos épocas ($p < 0.01$). Esta misma tendencia se observó con el oxígeno disuelto ($p < 0.001$, Tabla 2). En tanto las concentraciones

del hierro y el manganeso variaron de forma significativa en las dos épocas del año ($p < 0.001$). La determinación de grasas y aceites en el monitoreo de lluvias estuvo dentro de la normatividad en todas las estaciones de muestreo (Tabla 1).

En cuanto a la bacteriología del agua, en la temporada de lluvias se encontraron valores de coliformes fecales por encima de los límites normales establecidos en todos los puntos de muestreo, a diferencia del muestreo realizado en junio que presentó los menores valores. No obstante en Tlalchocoquite, río Omitlán y Lomas de Chapultepec, siguen estando fuera de la norma (Tabla 1). En el monitoreo de lluvias los niveles de metales pesados se encontraron por debajo de lo indicado en la Norma Oficial Mexicana y los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua (Tabla 1).

Fisicoquímica y calidad del agua de corrientes perennes afluentes del río Papagayo

Los valores de los sólidos sedimentables fueron de 1.0 mL L^{-1} y de sólidos suspendidos totales de 10 mg L^{-1} en la estación El Puente. En las tres estaciones de muestreo, la conductividad varió de 117.6 a 274.0 μS y la dureza mostró valores de 30.0 a 122.0 mg L^{-1} CaCO_3 , por lo que el agua se considera suave a moderadamente dura. La alcalinidad fue baja, y los nutrientes de amonio y sulfatos estuvieron dentro de los límites normales. Las grasas y aceites tuvieron valores de hasta 4.73 mg L^{-1} en la estación Plan Grande, valor que se encuentra fuera de norma (Tabla 3).

En cuanto a la contaminación por patógenos, los valores de coliformes fecales estuvieron por abajo de los límites normales en las tres estaciones monitoreadas. Sin embargo, se observaron aportes de 72 a 220 unidades de coliformes fecales como número más probable (NMP) por cada 100 mL de agua. La concentración de metales pesados en las corrientes perennes estudiadas presentó valores inferiores a lo señalado en la normatividad (Tabla 3).

Fisicoquímica y calidad del agua de manantiales

En la caracterización fisicoquímica y

Tabla 3. Resultado de los parámetros físicos *in situ*, físico-químicos, bacteriológicos y de metales de corrientes perennes y manantiales en la época de lluvias.

Parámetro	Corriente perenne			Manantial	
	Barranca de Apanlazaro	Plan Grande	El Puente	Palo Gordo	Agua Caliente
Determinaciones <i>in situ</i>					
Profundidad cm	20	15	15	20	20
pH	7.1	7	7.3	6.9	7.1
Conductividad Eléctrica. μS	117.6	236	274	289	267
Oxígeno Disuelto $mg L^{-1}$	3.83	3.84	4.14	4.05	3.62
Temperatura $^{\circ}C$	25.3	32.2	32.4	30	33.3
Salinidad %	0	0	0	0	0
Turbiedad UTN	6.8	26.1	28.8	7.9	9.6
Determinaciones en laboratorio					
Dureza Total $mg L^{-1} CaCO_3$	30	122	110	110	14
Alcalinidad $mg L^{-1} CaCO_3$	65.13	107.24	107.24	59.16	57.31
Amonio $mg L^{-1}$	0.005	0.011	0.014	0.009	0.012
Sulfatos $mg L^{-1}$	43.29	52.05	36.81	62.68	45.58
DQO $mg L^{-1}$	0.64	1.44	2.24	5.76	3.68
Color escala Pt-Co	15	45	42	35	29
Sol. Sed. $mL L^{-1}$	0	0	1	0	0.5
SST $mg L^{-1}$	0	0	10	9	21
Grasas y Aceites $mg L^{-1}$	4.05	4.73	4.1	5.62	4.73
Materia Flotante	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
CT NMP/100 ml	220	330	409	193	225
CF NMP/100 ml	72	190	220	39	80
Hierro $mg L^{-1}$	0.022	0.046	0.039	0.064	0.066
Manganeso $mg L^{-1}$	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Arsénico $mg L^{-1}$	0.00266	0.00436	0.00293	0.00289	0.00267
Cadmio $mg L^{-1}$	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Cobre $mg L^{-1}$	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Plomo $mg L^{-1}$	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Zinc $mg L^{-1}$	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.002

bacteriológica realizada en la temporada de lluvias de los manantiales, se encontraron valores de sólidos sedimentables de $0.5 mL L^{-1}$ y de sólidos suspendidos totales de $21 mg L^{-1}$ en la estación Agua Caliente (Tabla 3). En ambas estaciones (Palo Gordo y Agua Caliente), la conductividad fue de 267.0 a $289.0 \mu S$, mientras que la dureza osciló entre 14.0 y $110.0 mg L^{-1}$ de $CaCO_3$, por lo que el agua es suave a moderadamente dura. La alcalinidad fue baja, el amonio tuvo valores de 0.009 a $0.012 mg L^{-1}$, los sulfatos tuvieron valores entre 45.58 y $62.68 mg L^{-1}$, las grasas y aceites de 4.73 a $5.62 mg L^{-1}$, valores que están fuera de norma, la DQO fue de 3.68 a $5.76 mg L^{-1}$ (Tabla 3). En Palo Gordo se obtuvieron 39 coliformes fecales en NMP y 80 coliformes fecales para Agua Caliente (Tabla 3), valores que se encuentran por abajo de los límites permisibles en la normatividad. Este fue el mismo caso que tuvieron los metales pesados de-

terminados en los manantiales estudiados (Tabla 3).

Fisicoquímica y calidad de agua de pozos

En las determinaciones fisicoquímicas y bacteriológicas de los pozos ubicados en San Juan del Reparo, Ejido Nuevo, Sabanillas y El Campanario, se encontraron valores de sólidos sedimentables de $0.25 mL L^{-1}$ en el Campanario y de $32.0 mg L^{-1}$ en Sabanillas, resultados que se encuentran dentro de los valores indicados en las Normas Oficiales. La conductividad osciló entre 734.3 y $949.0 \mu S$, con dureza, de dura a muy dura, alcalinidad moderadamente baja, sulfatos entre 71.76 y $158.0 mg L^{-1}$, grasas y aceites de 1.86 a $6.87 mg L^{-1}$ y la DQO de 1.12 a $9.76 mg L^{-1}$. Con respecto a la calidad bacteriológica, el agua no es aceptable, ya que tiene valores por encima de lo indicado en la Norma Oficial, con contenido de metales pesados inferiores a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana (Tabla 4).

Tabla 4. Resultado de los parámetros físicos *in situ*, físico-químicos, bacteriológicos y de metales de pozos y tanques de almacenamiento.

Parámetro	Pozo				Tanque de almacenamiento		
	San Juan del Reparo	Ejido Nuevo	Sabanillas	El Campanario	El Zapote	La Palma	Amatillo
Determinaciones <i>in situ</i>							
Profundidad cm	15	15	15	15	0	15	15
pH	7.4	7.1	7.3	7	7	7.2	6.9
Conductividad Eléctrica μS	949	751	843	734.3	461	497	369
Oxígeno Disuelto mg L^{-1}	2.97	5.08	4.34	4.15	3.79	3.81	4.88
Temperatura $^{\circ}\text{C}$	27.5	30.9	29.2	31.3	29	32.6	32.1
Salinidad %	0	0	0	0	0	0	0
Turbiedad UTN	8.7	7.5	7.9	8.1	5.1	4.8	6.4
Determinaciones en laboratorio							
Dureza Total $\text{mg L}^{-1}\text{CaCO}_3$	288	298	386	325	184	284	193
Alcalinidad $\text{mg L}^{-1}\text{CaCO}_3$	312	240.37	221.76	260	205.23	227	180
Amonio mg L^{-1}	0.011	0.017	0.019	0.013	0.009	0.009	0.007
Sulfatos mg L^{-1}	158	71.76	119.04	98.93	48.82	61.29	92.71
DQO mg L^{-1}	9.76	1.12	1.76	3.69	0.8	1.12	1.44
Color escala Pt-Co	25	33	20	23	22	15	17
Cloro residual libre	ND	ND	ND	ND	ND	0.9	0.3
Sólidos Sedimentados mL L^{-1}	0.1	0	0	0.25	0.3	0	0
SST mg L^{-1}	8	25	32	12	51	8	6
Grasas y Aceites mg L^{-1}	1.86	6	5.84	6.87	3.84	47.69	7.3
Materia Flotante	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
CT NMP/100 ml	130	127	>103	150	157	8	33
CF NMP/100 ml	42	62	93	59	36	1	3
Hierro mg L^{-1}	0.034	0.041	0.036	0.022	0.045	0.032	0.029
Manganeso mg L^{-1}	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Arsénico mg L^{-1}	0.00403	0.00262	0.00235	0.00278	0.00618	0.00495	0.00379
Cadmio mg L^{-1}	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.0060
Cobre mg L^{-1}	<0.001	<0.001	<0.0020	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Plomo mg L^{-1}	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Zinc mg L^{-1}	<0.001	<0.001	0.058	<0.001	<0.001	0.138	<0.001

ND = No Detectable.

Fisicoquímica y calidad del agua de tanques de almacenamiento

Los resultados de los sólidos sedimentables y suspendidos totales en los tanques El Zapote, Las Palmas y Amatillo, indicaron que los valores se encuentran dentro de los límites. La conductividad varió de 369.0 a 497 μS , la dureza se clasifica en dura con valores de 184 a 284 $\text{mg L}^{-1}\text{CaCO}_3$, alcalinidad moderadamente baja, valores de sulfatos bajos, color fuera de la norma en El Zapote y no se detecta cloro libre residual (Tabla 4). Los resultados de la contaminación bacteriológica oscilaron entre 1 y 3 unidades de coliformes fecales en NMP para la Palma y Amatillo, respectivamente. En el tanque de almacenamiento del Zapote se encontraron 36 unidades de coliformes fecales en NMP, estos valores demuestran que el agua en cuanto a

calidad microbiológica no se encuentra dentro de los límites permisibles establecidos en la Norma Oficial Mexicana y que el mantenimiento en cuanto a las acciones de lavado, desinfección y conservación no está siendo el adecuado. La concentración de metales pesados es inferior a lo indicado en la norma oficial respectiva (Tabla 4).

DISCUSIÓN

La turbiedad aumentó en la época de lluvias, debido al incremento en el caudal del río Papagayo y por la presencia de hierro y manganeso en todos los puntos de muestreo. Esto mismo ha sido reportado para los ríos Huacapa-Azul (IMTA 1998) y Atoyac (Jiménez *et al.* 2000). El contenido de sólidos sedimentables y sólidos suspendidos totales en la época de lluvias tuvo valores fuera de norma,

en el punto río Omitlán con 9.0 mL L^{-1} y 219 mg L^{-1} , respectivamente, lo que indica que el agua de lluvia arrastra la basura acumulada o depositada a orillas de los afluentes en la época de secas, aunado a los deslaves y pérdida de suelo. Estos resultados son iguales a los encontrados en otras cuencas de Guerrero como la del río Atoyac (Jiménez et al. 2000) y la subcuenca del río San Juan (Almazán et al. 2004), lo que demuestra el grado de deterioro y la problemática socioambiental que existe en la entidad.

A partir de los resultados de la dureza del agua, se determina que los habitantes del área consumen agua rica en sales, aunado a que no hay plantas potabilizadoras que las disminuyan. Aun en la época de lluvias cuando hay una mayor disolución de estos compuestos, se tuvo valores altos, considerando como límite para denominar a un agua como dura, valores superiores a 120 mg L^{-1} de CaCO_3 (Julián-Soto 2010). Al respecto, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA 1998) encontró que 8 % de las muestras del río Huacaparío Azul, no cumplieron con la Norma Ecológica en cuanto al parámetro dureza. Dicho porcentaje es bajo, lo cual obedece en parte a que el estudio se realizó durante las lluvias, además de que las rocas que componen la subcuenca son menos ricas en carbonatos que las que geológicamente se localizan en el norte del estado (Sierra-Rojas y Molina-Garza 2014).

En época de lluvias la alcalinidad se encuentra dentro de los límites normales establecidos en la normatividad (DOF 1989), aunque tiende a incrementar en la época de secas, debido a que no hay disolución de las aguas residuales domésticas, las cuales tienen por lo general una alcalinidad ligeramente mayor que el agua de la que provienen. La importancia de esta determinación radica, entre otros factores, en el daño que ocasiona a la población que se encuentra en contacto directo e indirecto con las aguas alcalinas y el daño a la infraestructura (Rivera et al. 2004). La DQO es un parámetro importante para medir la calidad de un sistema de agua natural, cuya importancia radica en la relación DQO/DBO₅, ya que con ésta se tiene un antecedente significativo

al momento de decidir el tipo de tratamiento aplicable a las aguas naturales y/o residuales (Torres-Beristain et al. 2013). A partir de los resultados obtenidos y de acuerdo con los lineamientos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para la calidad del agua, el oxígeno disuelto (OD) se considera aceptable en la época de secas, pero de mala calidad en la de lluvias. Este tipo de resultados reflejan una tendencia a la disminución de poblaciones de peces y crustáceos de agua dulce (Matuk et al. 1997).

Las concentraciones de amonio fueron mayores durante la época de lluvias, situación esperada si se considera que el agua de lluvia puede presentar trazas de amonio. Sin embargo, los valores obtenidos fueron altos, incluso para los estimados en aguas contaminadas por vertidos residuales domésticos, cuyas concentraciones pueden llegar hasta 50 mg L^{-1} (Espinal-Carreón et al. 2013). Lo contrario sucedió en la época de secas, ya que los parámetros en todas las estaciones de muestreo se encontraron dentro de la estimación de 0.100 mg L^{-1} para aguas superficiales bien aireadas.

Los valores obtenidos de sulfatos mostraron altos contenidos durante la época de secas, pero no en lluvias. No son altos si se comparan con los valores de los ríos del norte de América y Europa que oscilan entre 20 y 50 mg L^{-1} , o bien con los ríos de zonas mediterráneas, con contenidos de sulfatos mayores de 400 mg L^{-1} (Robles et al. 2002). Las grasas y aceites en el monitoreo de lluvias se encontraron dentro de la normatividad, en todas las estaciones de muestreo. Valores similares fueron encontrados en un estudio de impacto ambiental para la misma cuenca en la época de secas (Delgado et al. 2004). En cuanto a la bacteriología del agua, en la época de lluvias se obtuvieron valores de coliformes fecales por encima de los límites establecidos en la normatividad, en todos los puntos de muestreo. En el muestreo de secas, los valores que se tuvieron en los sitios de muestreo fueron bajos, con excepción de Tlalchocohuite, río Omitlán y Lomas de Chapultepec, que tuvieron valores fuera de norma. Lo anterior indica que en lluvias hay aportes considerables de materia fecal por arrastre del agua

pluvial, descargas de aguas residuales de las comunidades asentadas al margen del río y descargas contaminantes de las corrientes de agua perenne, que desembocan al cauce principal del río Papagayo.

Como en la mayoría de los afluentes loticos y lenticos en el estado de Guerrero y en general del país, el río Papagayo y sus ramales están fuertemente contaminados por aguas negras. Éste sin duda constituye el principal problema de contaminación (Hansen y González-Márquez 2010, Torres-Beristáin *et al.* 2013). En estudios realizados para conocer la contaminación de aguas en México y otras partes de Latinoamérica, el análisis bacteriológico es un parámetro que usualmente está fuera de normatividad (Jiménez *et al.* 2000, Almazán *et al.* 2004, Álvarez *et al.* 2008).

En lo que respecta a los niveles de metales pesados en el río Papagayo, durante las lluvias se encontraron valores por debajo de los indicados en las normas oficiales. Sólo se ha encontrado en el norte del estado concentraciones elevadas de metales pesados con As, Fe, Al, Ba, Mn y Cd, en norias que son fuentes de abastecimiento para consumo humano (Almazán *et al.* 2004). Por lo anterior, la fisicoquímica y calidad del agua de la cuenca del río Papagayo, muestra que la estación que presenta un mayor grado de contaminación es la del río Omitlán. A pesar de los aportes considerables de materia contaminante al cauce principal del río Papagayo, en las estaciones de muestreo de Bellavista Papagayo y Lomas de Chapultepec ubicadas en la parte baja de la cuenca, se aprecia que el río tiene capacidad de autopurificación, aun cuando en estos puntos hay contribuciones importantes de contaminantes. Es importante señalar que el agua del río Papagayo de manera directa no debe considerarse como fuente de abastecimiento de agua potable para centros de población o asentamientos humanos, ya que contiene contaminantes que causan efectos nocivos al ser humano. Por lo que debería realizarse un tratamiento de potabilización, para mejorar su calidad bacteriológica, dureza, turbiedad, hierro, manganeso y otros contaminantes (Mora-Bueno *et al.* 2012). El agua del río Papagayo en época de lluvias no se recomienda su uso para actividades recreati-

vas de contacto primario, pero si para actividades recreativas de contacto secundario, riego agrícola y uso pecuario. Sin embargo, en secas en los puntos de La Unión, Presa La Venta, Bellavista Papagayo y Puente Papagayo el agua puede ser considerada para uso recreativo de contacto primario.

Las determinaciones de calidad del agua de las corrientes perennes, manantiales, pozos y tanques de almacenamiento en general son usados para consumo humano, aun cuando el análisis de calidad bacteriológica indica que el agua de estas estaciones no es apta para consumo. Debido al uso recreativo al que se destina este recurso, pueden ocasionarse daños a la salud de los usuarios, además de que la detección de concentraciones elevadas de coliformes totales y coliformes fecales podría deberse a la carencia de servicios sanitarios y drenaje, lo que está deteriorando la calidad del agua (Robles *et al.* 2013). Otra causa también podría ser el incumplimiento de las normas en la construcción y en la protección de los pozos.

CONCLUSIONES

La calidad del agua en la cuenca baja del río Papagayo no es apta para el consumo humano. Sin embargo, a lo largo de la cuenca la tendencia de la calidad del recurso hídrico, depende de la temporada del año, de las condiciones sociodemográficas, de los factores ambientales y de la ubicación geográfica del afluente. El uso principal de este recurso en la región es principalmente de uso secundario como la pesca, riego agrícola o uso pecuario, excepto en sitios donde los parámetros estuvieron dentro de lo permisible, cuyo uso podría ser considerado como primario. No obstante, dado que el agua con la que se abastecen los habitantes de la zona no es potable, es recomendable una planta potabilizadora en la región que permita tratarla.

LITERATURA CITADA

- Almazán JMT, Almazán JA, Carreto PBE (2004) Calidad del agua del río San Juan. En: Almazán JA, González R, Urbán G, Tapia J, Villerías S, Beltrán E, Almazán MT (coords). Diagnóstico Ambiental y Propuestas de Ordenamiento para la Subcuenca del río San Juan. Serie Técnico Científica No. 17. UAG-Fundación Produce de Guerrero-SIBEJ. Chilpancingo, Guerrero, México. pp: 18-44.
- Álvarez J, Panta JE, Ayala CR, Acosta EH (2008) Calidad integral de agua superficial en la cuenca hidrológica del río Amajac. *Información Tecnológica* 19: 21-32.
- Cervantes GV, Arriaga V, Carabias J (1996) La problemática socioambiental e institucional de la reforestación en la región de La Montaña, Guerrero. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 59: 67-80.
- Challenger A (1998) Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro. CONABIO, UNAM, Agrupación Sierra Madre, SC. 847p.
- Daszak P, Cunningham AA, Hyatt AD (2001) Anthropogenic environmental change and the emergence of infectious diseases in wildlife. *Acta Tropica* 78: 103-116.
- Delgado J, Garza G, Ortiz MI, Chias JL, Ibarra V, Toscana A, Mendoza H, Gasca J (2004) Descripción del sistema ambiental regional y señalamiento de tendencias del desarrollo y deterioro de la región, Proyecto hidroeléctrico "La Parota". Manifestación de impacto ambiental (MIA), CFE-UNAM, México. pp: 733-1011. <http://app1.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/gro/estudios/2004/12GE2004H0014.pdf>. Fecha de consulta 14 de mayo de 2015.
- DOF (1989) Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. CE-CCA-001/89. Instituto Nacional de Ecología. Diario Oficial de la Federación. México, DF. 12p.
- DOF (1993) Norma Oficial Mexicana NOM-014-SSA1-1993. Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistema de abastecimiento de agua público y privado. Diario Oficial de la Federación. México DF. 6p.
- DOF (1994a). Norma Oficial Mexicana NOM-117-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método de prueba para la determinación de Cadmio, Plomo, Estaño, Cobre, Hierro, Zinc y Mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica. Diario Oficial de la Federación. México. DF. 14p.
- DOF (1994b). Norma Oficial Mexicana NOM-112-SSA1-1994. Bienes y servicios. Determinación de bacterias coliformes. Técnica del Número más probable. Diario Oficial de la Federación. México. DF. 17p.
- DOF (1994c) 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. Diario Oficial de la Federación. México. DF. 71p.
- DOF (1996). Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación. México, DF. 29p.
- DOF (2000a) Norma Mexicana NMX-AA-004-SCFI-2000. Análisis de agua-Determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba- (cancela a la NMX-AA-004-1977). Diario Oficial de la Federación. México. DF. 12p.

- DOF (2000b) Norma Mexicana NMX-AA-005-SCFI-2000. Análisis de agua-Determinación de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba- (cancela a la NMX-AA-005-1980). Diario Oficial de la Federación. México. DF. 16p.
- DOF (2000c). Norma Mexicana NMX-AA-006-SCFI-2000. Análisis de agua-Determinación de materias flotantes, residuales y residuales tratadas-método de prueba- (cancela a la NMX-AA-006-1973). Diario Oficial de la Federación. México. DF. 11p.
- DOF (2001a) Norma Mexicana 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) Diario Oficial de la Federación. México. DF. 23p.
- DOF (2001b) Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2001. Análisis de agua-Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba- (cancela a las NMX-AA-020-1980 y NMX-AA-034-1981) Diario Oficial de la Federación. México DF. 18p.
- DOF (2001c) Norma Mexicana NMX-AA-036-SCFI-2001. Análisis de agua-Determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba- (cancela a las NMX-AA-036-1980) Diario Oficial de la Federación. México. DF. 22p.
- DOF (2001d) Norma Mexicana NMX-AA-051-SCFI-2001. Análisis de agua-Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas-método de prueba- (cancela a las NMX-AA-051-1981). Diario Oficial de la Federación. México. DF. 52p.
- DOF (2001e) Norma Mexicana NMX-AA-072-SCFI-2001. Análisis de agua-Determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba- (cancela a las NMX-AA-072-1981) Diario Oficial de la Federación. México. DF. 19p.
- Espinal-Carreón T, Sedeño JE, López E (2013) Evaluación de la calidad del agua en la laguna de Yuriria. Guanajuato, México, mediante técnicas multivariadas: un análisis de valoración para dos épocas 2005, 2009-2010. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 29: 147-163.
- Gambhir RS, Kapoor V, Nirola A, Sohi R, Bansal V (2012) Water pollution: Impact of pollutants and new promising techniques in purification process. *Journal of Human Ecology* 37: 103-109.
- García E (2004) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Serie Libros No. 6. Instituto de Geografía, UNAM. México, DF. 96p.
- García-Romero A, Mendoza KI, Galicia L (2005) Valoración del paisaje de la selva baja caducifolia en la cuenca baja del río Papagayo (Guerrero), México. *Investigaciones Geográficas Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* 56: 77-100.
- Hansen AM, González-Márquez LC (2010) Estimation of risks to contaminate water in the Arcediano Dam, Jalisco, Mexico. *Journal of Environmental Science and Health Part A* 45: 99-106.
- IMTA (1998) Plan rector para el manejo integral de la cuenca del río Huacapa-río Azul en el estado de Guerrero. *Revista Altamirano Segunda Época* 14: 8-17.
- INEGI (1993) Carta Edafológica, Acapulco Guerrero. Escala 1:250 000. Aguascalientes, México.
- Jiménez VA, Méndez BA, Alvarado GAV, Rivera BC (2000) Diagnóstico Ambiental de la Cuenca del Río Atoyac, Guerrero. *Revista Altamirano Segunda Época* 16: 14-21.
- Julián-Soto F (2010) La dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones en instalaciones domésticas sanitarias. *Ingeniería, Investigación y Tecnología* 9: 167-177.

- Kulshreshtha SN (1998) A global outlook for water resources to the year 2025. *Water Resources Management* 12: 167-184.
- Matuk V, Puerta GI, Rodríguez N (1997) Impacto biológico de los efluentes del beneficio húmedo del café. *Cenicafé* 48: 234-252.
- Mora-Bueno D, Sánchez-Peña LC, Del Razo LM, González-Arias CA, Medina-Díaz IM, Robledo-Marengo ML, *et al.* (2012) Presencia de arsénico y coliformes en agua potable del municipio de Tecuala, Nayarit, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 28: 127-135.
- Robles S, Toro M, Nuño C, Avilés J, Alba-Tercedor J, Álvarez M, *et al.* (2002) Descripción de las cuencas mediterráneas seleccionadas en el proyecto Guadalmed. *Limnetica* 21: 35-61.
- Robles ES, Ramírez E, Durán E, Martínez ME, González ME (2013) Calidad bacteriológica y fisicoquímica del acuífero Tepalcingo-Axochiapan, Morelos, México. *Avances en Ciencias e Ingeniería* 4: 19-28.
- Rivera NR, Encina F, Muñoz-Pedrerros, A, Mejías P (2004) La calidad de las aguas en los ríos Cautín e Imperial, IX región-Chile. *Información Tecnológica* 15: 89-101.
- Sierra-Rojas, MI, Molina-Garza RS (2014) La formación Zicapa del sur de México: revisión estratigráfica, sedimentología y ambientes sedimentarios. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 31: 174-189.
- Singh KP, Malik A, Mohan D, Sinha S (2004) Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India) a case study. *Water Research* 38: 3980-3992.
- Torres-Beristáin B, González-López G, Rustrián-Portilla E, Houbron E (2013) Enfoque de cuenca para la identificación de fuentes de contaminación y evaluación de la calidad de un río, Veracruz, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 29: 135-146.