

## Calidad de agua del río Grijalva en la frontera de Chiapas y Tabasco

### Water quality of the Grijalva river in the Chiapas and Tabasco border

Karim Musálem-Castillejos<sup>1,2\*</sup>, Rafaela Laino-Guanes<sup>1,2</sup>, Ricardo Bello-Mendoza<sup>1,3</sup>, Mario González-Espinosa<sup>1</sup>, Neptalí Ramírez-Marcial<sup>1</sup>

<sup>1</sup>El Colegio de la Frontera Sur. Periférico Sur s/n, Barrio María Auxiliadora, CP. 29290, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México.

<sup>2</sup>Centro de Investigación del Chaco Americano, Fundación Manuel Gondra. Estancia Playada, Presidente Hayes, Paraguay.

<sup>3</sup>Universidad de Canterbury. 20 Kirkwood Ave., Upper Riccarton, Christchurch 8041, Nueva Zelanda.

\*Autor de correspondencia: karim.musalem@chacoamericano.org

Artículo científico    recibido: 09 de enero de 2017    aceptado: 24 de mayo de 2017

**RESUMEN.** El objetivo fue caracterizar la calidad de agua en una sección del río Grijalva y en algunos de sus afluentes en la frontera entre los estados de Chiapas y Tabasco, en la época de lluvias y secas. Se determinaron 23 variables que incluyeron parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de contaminantes, los valores obtenidos se compararon con los límites máximos permisibles (LMP) para agua de uso y consumo humano indicados en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, y con la escala de clasificación de calidad del agua de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). La calidad del agua en la sección del río Grijalva estudiada, disminuye en su descenso a las zonas pobladas del estado de Tabasco. La turbidez y los niveles de coliformes y *E. coli* incrementan, tanto en el cauce como en fuentes destinadas al consumo humano. Para las otras variables evaluadas, se tienen características aceptables de calidad del agua, principalmente en la época seca, con excepción del mercurio, que se presenta en niveles superiores a los recomendados. Se sugiere realizar estudios sobre la presencia del mercurio en la cuenca del Grijalva.

**Palabras clave:** coliformes, *Escherichia*, mercurio, metales pesados, turbidez

**ABSTRACT.** The objective was to characterize water quality for a section of the Grijalva River and its tributaries, for rainy and dry season in the border of the States of Chiapas and Tabasco. 23 physical, chemical, and microbiological parameters as well as contaminants were determined and compared with the Mexican norm NOM-127-SSA1-1994 which establishes water quality maximum permissible limits for use and human consumption and with the water quality classification scale proposed by the Comisión Nacional del Agua. Water quality of the Grijalva River in the studied section and tributaries, also locally named Almandros river, decreases as it descends to more populated areas of Tabasco. Water turbidity and high levels of coliforms and *Escherichia* are the main problems associated with the rivers of the studied area, even in water sources destined for human consumption. Other studied parameters have acceptable water quality mainly during the dry season, except for Mercury, which showed higher levels than the recommended by the norm in all sampling sites. The need to further study presence of Mercury in the Grijalva River basin is suggested.

**Key words:** coliforms, *Escherichia*, heavy metals, mercury, turbidity.

## INTRODUCCIÓN

La calidad del agua se relaciona de forma directa con la vida de las poblaciones rurales, especialmente en lugares donde el abastecimiento se realiza de forma directa de los escurrimientos superficiales o donde se depende del recurso hídrico para activi-

dades de pesca y recreación. La calidad de agua es relevante, para determinar su uso, además de que es un indicador del manejo y de la contaminación (Laino-Guanes et al. 2016, Yu et al. 2016). Las variables de calidad de agua permiten tener una visión de un momento determinado, y sirven como línea base para observar los cambios o tendencias en

las cuencas (Musalem et al. 2014). A nivel mundial las cuencas experimentan un declive en su calidad de agua, debido a sus niveles de sedimentación, sales y nutrientes (Lintern et al. 2017).

En los ríos Grijalva y Usumacinta escurre alrededor del 35% del total del agua dulce de México (CONAGUA 2011). Pero las comunidades rurales asentadas sobre estos ríos viven en condiciones de pobreza extrema, con grave deterioro de los recursos naturales y acceso limitado a agua de buena calidad (González-Espinosa et al. 2014, Plascencia et al. 2014). La combinación de varios factores biofísicos, sociales y ambientales genera un alto grado de vulnerabilidad a los desastres ocasionados por eventos como deslizamientos e inundaciones, además en la región hay gran interés por los recursos mineros, actividad que puede causar daños irreversibles al medio ambiente (Laino-Guanes et al. 2015).

Varios estudios que analizan la calidad de agua en la cuenca del Grijalva se concentran en la parte baja de la cuenca, en las zonas urbanas o en ríos principales, donde el monitoreo es factible con mayor frecuencia, aunque comúnmente con pocos parámetros estudiados (Borbolla-Sala, et al. 2003). Por otro lado son escasos los estudios en las partes medias y altas de la cuenca. Los parámetros de calidad de agua reflejan características del agua que pueden provocar efectos de distintos tipos sobre la salud humana y sobre los ecosistemas acuáticos, con diferentes grados de peligrosidad (Ramos-Herrera et al. 2012). Las concentraciones fuera de los rangos permisibles causan contaminación (Kulinkina et al. 2016). Por lo anterior, el presente estudio se realizó para tener una línea base de la calidad de agua en una sección del río Grijalva y algunos de sus tributarios, con el objetivo de obtener datos locales sobre la calidad de agua en afluentes utilizados por la población para consumo y actividades económicas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estudio se realizó en una sección del río Grijalva, conocido de forma local como río Alman-

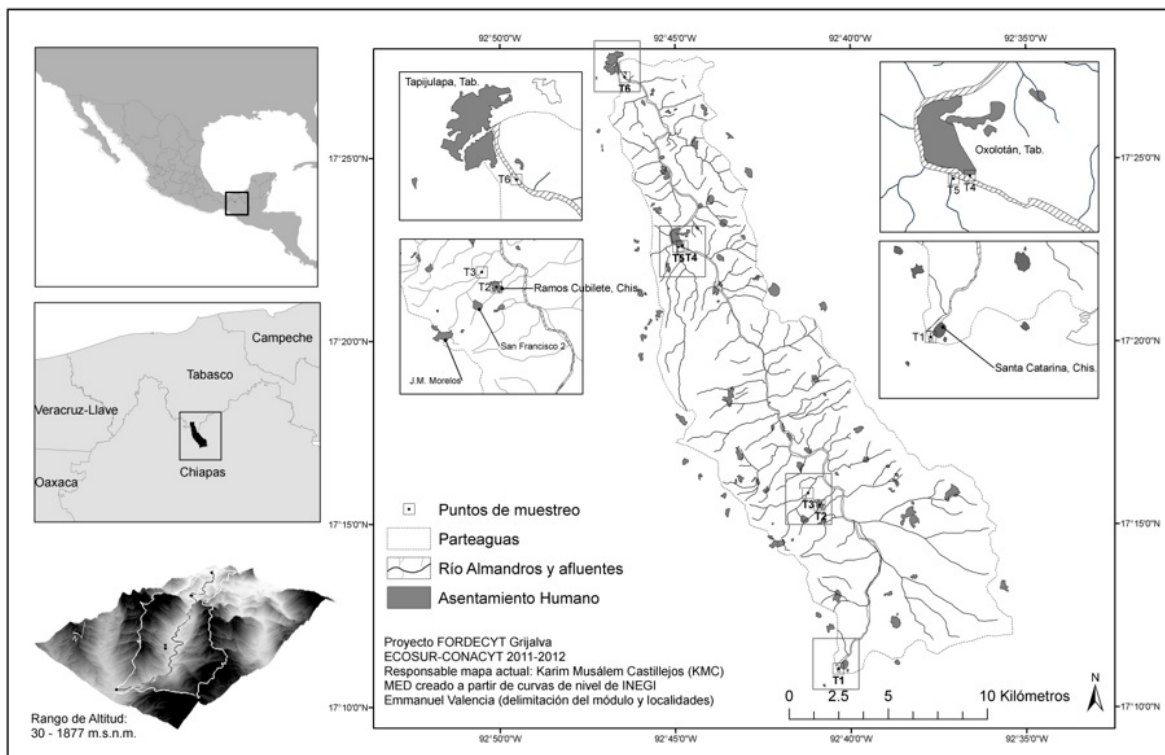
dros (Valencia-Barrera 2014). La sección se encuentra entre la frontera de los estados de Chiapas y Tabasco, forma parte de la red hídrica del río Grijalva. Tiene altitudes que van desde los 30 a los 1 877 msnm, con área de captación de 556.6 km<sup>2</sup>. El área de estudio pertenece a las Regiones XI Frontera Sur y la 30 Grijalva-Usumacinta (CONAGUA 2011). Se localiza en la cuenca media del río Grijalva e incluye territorios del municipio de Huitiupán en el estado de Chiapas y de Tacotalpa en el estado de Tabasco. El tipo de vegetación predominante es de selva mediana perennifolia, con distinto grado de disturbio, que va desde áreas completamente deforestadas para la ganadería, hasta fragmentos de selva con árboles de más de 25 m de altura. Las especies más representadas son *Brosimum alicastrum*, *Cedrela odorata* y *Spondias mombin* (Ramírez-Marcial et al. 2014).

Se seleccionaron seis puntos de muestreo en esta sección del río Grijalva, dos sobre el río principal, y cuatro en manantiales y afluentes (Figura 1 y Tabla 1). El área de estudio está geográficamente aislada e incomunicada con el exterior y en gran parte de los caminos no existe acceso vehicular.

### Variables evaluadas de calidad de agua

Se analizaron 23 variables de calidad de agua, en las muestras tomadas en la época de lluvias (agosto 2011) y en la época de secas (enero 2012). Para el traslado de la muestras al laboratorio se pusieron en refrigeración desde el momento en que se tomaron en los puntos hasta la llegada al laboratorio en menos de 24 h. Las variables evaluadas fueron: oxígeno disuelto (OD), pH, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), nitrógeno total (N), nitritos, nitratos, fósforo total (P), fosfatos, sólidos disueltos totales (SDT), sólidos suspendidos totales (SST), dureza total, turbidez, coliformes totales y *Escherichia coli*. También se determinó el contenido de As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn.

El OD y el pH se midieron *in situ* al momento de tomar la muestra de agua, el OD se midió por electrodos de membrana quimioluminiscente (Jiménez-Cisneros 2001), y el pH por el



**Figura 1.** Ubicación de los puntos de muestreo sobre el río Grijalva y sus afluentes. El parteaguas corresponde a la delimitación del módulo regional del Proyecto Cuenca Grijalva con la metodología Pfafstetter.

método electroquímico o de electrodos específicos (APHA 1998). Mientras que en el laboratorio se determinó la DQO por el método espectrofotométrico (SE 2001c), la DBO por el método volumétrico (SE 2001a), nitrógeno total por digestión de persulfato HACH 10071, nitritos por medio de reducción de cadmio HACH 8039 adaptado del método APHA (1998), nitratos por diazotación HACH 8507 aprobado por EPA y según la norma NMX-AA-099-SCFI-2006 (SE 2006); fósforo total, fosfatos, SDT y SDT por los métodos de molibdovanadato HACH 10127, cloruro estañoso y gravimétrico, respectivamente (SE 2001b), dureza total por la técnica volumétrica por titulación ácido-base, turbidez por el método nefelométrico, coliformes totales y *Escherichia coli* por método microbiológico del número más probable (SCFI 1987).

### Análisis de metales pesados

La determinación del contenido de metales

pesados se realizó de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-O51-SCF1-2001 (SE 2001e). La determinación del contenido de cromo (Cr), cobre (Cu), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn) se realizó por espectrofotometría de absorción atómica, en un espectrofotómetro marca VARIAN modelo SpectrAA220. Los límites de cuantificación fueron para el Cu, Cr y Ni de  $200 \mu\text{g L}^{-1}$ ; para el Pb de  $190 \mu\text{g L}^{-1}$ , y para el Zn de  $340 \mu\text{g L}^{-1}$ . Para el control de calidad se utilizó material de referencia certificado WasteWater<sup>TM</sup> Trace Metals, análisis por triplicado de la muestra y análisis de blanco de reactivo.

La determinación del contenido de arsénico (As), cadmio (Cd) y mercurio (Hg) se realizó en un espectrofotómetro de absorción atómica, marca GBC modelo AVANTA PM, con flama y generador de hidruros marca GBC, modelo HG 3 000. Las muestras se digirieron en un digestor semi-micro Kjeldahl marca Lanconco. Los límites de cuan-

**Tabla 1.** Puntos de colecta y descripción de las corrientes de agua estudiadas del río Grijalva. Fuente: cuencas y variables morfométricas a través del SIATL (2012).

Punto	Características	Cuenca/área drenada	Variables Morfométricas*
T1	Entrada al módulo o subcuenca. Corriente principal del río Grijalva (Almandros) a la altura del poblado de Santa Catarina en el Municipio de Huitiupán, Chiapas.	556 km <sup>2</sup>	No aplica
T2	Manantial. Ubicado en la comunidad Ramos Cubilete en Chiapas. Manantial de un caudal aproximado de 5 Lt/s conducido hacia un tanque de captación. De uso habitual para consumo de la comunidad. Muestra tomada previo al uso (lavado de maíz, uso recreativo).	menor a 1.66 km <sup>2</sup>	TC: 15.66 minutos Pend. media: 25.61% Longitud: 93.71 m Elev. media: 558 m
T3	Río de Montaña. Afluente del río principal con características de poca población y poco impacto de poblaciones.	menor a 7.14 km <sup>2</sup>	TC: 21.98 minutos Pend. Media: 18.87% Longitud: 4 721 m Elev. media: 636
T4	Zona de inundación. A la altura de la comunidad de Oxolotán, Tabasco. Espejo de agua formado por inundaciones y filtraciones, paralelo al río principal. Con flujo permanente (aún en época de estiaje) al río principal.	No aplica	No aplica
T5	Río de montaña antes de su desembocadura al río principal. Afluente en la Margen Izquierda del Río Grijalva (Almandros), en la comunidad de Oxolotán, Tabasco.	12.76 km <sup>2</sup>	TC: 43.68 minutos Pend. media: 16% Longitud: 9 373 m Elev. media: 792 m
T6	Salida del módulo. Corriente principal del río Grijalva (Almandros) a la altura de la comunidad de Tapijulapa, Tabasco.	785.99 km <sup>2</sup>	TC: 476.21 minutos Pend. media: 2.31% Longitud: 76 836 m Elev. media: 908 m

\*Variables morfométricas calculadas por Simulador de Flujos de Agua (SIATL) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). TC = tiempo de concentración, Pend. media = pendiente media, Elev. media = elevación media.

tificación de estos análisis fueron para el As y el Hg de 0.05  $\mu\text{g L}^{-1}$ , y para el Cd de 0.4  $\mu\text{g L}^{-1}$ . Para cada elemento se analizaron cuatro blancos de tratamiento y un triplicado para control de calidad. Además de análisis por triplicado de material de referencia certificado. La determinación se realizó según los procedimientos ET-QU03 (EAA 2008).

### Límites máximos permisibles y análisis comparativo de medias

Los resultados de calidad de agua se compararon con los límites máximos permisibles (LMP) de la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 (SS 1994). Los resultados de DQO y DBO se analizaron con la escala de clasificación de calidad del agua de la CONAGUA (SEMARNAT 2015). Para conocer si hay diferencias entre épocas en las que se tomaron las muestras de agua se realizó una prueba de com-

paración de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) con el software INFOSAT (Di Rienzo et al. 2015).

## RESULTADOS

### Oxígeno disuelto (OD) y pH

En la época de secas se encontraron los mayores valores de OD en todos los puntos de muestreo, con excepción de la muestra del manantial (T2) que presentó mayor OD en la época de lluvias (Tabla 2). En general, en la zona de inundación (T4) se tuvieron las mayores concentraciones de OD (12.9  $\text{mg L}^{-1}$ ), mientras que el manantial tuvo los menores contenidos de OD (5.5  $\text{mg L}^{-1}$ ). Por época de muestreo se observa que en la época de lluvias se tuvo el menor pH (Tabla 3). Pero en ambas fechas de muestreo el pH estuvo dentro de los LMP indicados en la Norma Oficial Mexicana.

**Tabla 2.** Concentraciones de Oxígeno disuelto (OD), pH, sólidos disueltos totales (SDT), sólidos suspendidos totales (SST), demanda química (DQO) y bioquímica de Oxígeno (DBO) en los puntos de muestreo en época de lluvias y en época de secas.

Punto	OD (mg L <sup>-1</sup> )		pH		SDT (mg L <sup>-1</sup> )		SST (mg L <sup>-1</sup> )		DQO (mg L <sup>-1</sup> )		DBO (mg L <sup>-1</sup> )	
	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca
T1	7.6	9.2	7.9	8.5	420	590	186	4	32	3.4	9.4	NA
T2	6.2	5.5	6.8	7.2	660	680	2	1	6	2.7	NA	NA
T3	7.6	7.7	8.1	8.4	420	440	20	6	37	4.2	4.2	2.4
T4	10.7	12.9	7.7	8.2	570	460	21	6	29	2.3	6.2	1.9
T5	7.0	8.7	7.8	8.3	380	410	51	1	19	2.8	4	2
T6	7.8	8.4	8.1	8.4	450	530	304	4	43	3	18.5	2.1

NA = muestra no analizada.

**Tabla 3.** Concentraciones de Nitrógeno total (N), nitritos, nitratos, Fósforo total (P), fosfatos, turbidez, dureza total, coliformes totales, *Escherichia coli*, As y Hg detectadas en los puntos de muestreo en época de lluvias y en época de secas.

Punto	N (mg L <sup>-1</sup> )		Nitratos (mg L <sup>-1</sup> )		Nitritos (mg L <sup>-1</sup> )		P (mg L <sup>-1</sup> )		Fosfatos (mg L <sup>-1</sup> )		Turbidez (UTN)	
	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca
T1	2.8	0.2	2	0.2	0.01	0	0.04	0.07	0.04	0.07	179	8
T2	2.3	2.6	1.2	1.1	0.01	0	0.05	0.05	0.05	0.05	2	3
T3	1.2	1	0.6	0.8	0.01	0.01	0.03	0.04	0.03	0.04	19	9
T4	1.1	0.3	0.2	0	0.01	0.01	0.06	0.05	0.06	0.05	24	10
T5	1.4	0.3	0.3	0.1	0.01	0.01	0.04	0.05	0.04	0.05	55	5
T6	0.5	0.3	0.4	0.1	0.01	0.01	0.04	0.08	0.04	0.08	311	8

**Tabla 3. Continuación.**

Punto	Dureza (CaCO <sub>3</sub> /100 mL)		Colif tot (NMP/100mL)		<i>E. coli</i> (NMP/100mL)		As (µg L <sup>-1</sup> )		Hg (µg L <sup>-1</sup> )	
	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca
T1	182	243	15 531	7 701	12 033	1 785	< 0.05	0.64	< 0.05	4.62
T2	295	281	3 784	839	161	86	< 0.05	0.03	< 0.05	2.33
T3	190	174	738	2 602	462	410	< 0.05	0.30	< 0.05	1.65
T4	260	183	548	1 076	122	63	< 0.05	0.13	< 0.05	4.92
T5	173	181	3 314	987	1 529	85	< 0.05	0.56	0.20	3.23
T6	189	238	24 196	1 664	> 24 196	269	< 0.05	0.47	< 0.05	3.68

### Sólidos disueltos totales (SDT) y sólidos suspendidos totales (SST)

Los valores de SDT detectados en los puntos de muestreo, en las dos épocas del año no superan el LMP de la Norma Oficial Mexicana (Tabla 2). En la época de secas se detectaron mayores contenidos de SDT, con excepción del punto T4. El mayor contenido SDT se encontró en el manantial (T2, 680 mg L<sup>-1</sup>) y el menor contenido en el río de montaña (T5, 380 mg L<sup>-1</sup>). Para el contenido de SST los mayores valores se encontraron en la época de lluvias, los niveles más altos se encontraron en los puntos de entrada al módulo o subcuenca (T1) y la salida del módulo o subcuenca (T6) con 186 mg L<sup>-1</sup> y 304 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. Mientras que las menores concentraciones se tuvieron en el manantial (T2) y en el río de montaña antes de su desembocadura al río principal (T5), con 1 mg L<sup>-1</sup>

en ambos puntos.

### Demanda química (DQO) y bioquímica de oxígeno (DBO)

En todos los puntos de muestreo los valores de DQO y DBO fueron superiores en la época de lluvias (Tabla 3), observándose que en la época de secas la calidad de agua es adecuada en todos los puntos de muestreo para la DQO y la DBO. En la época de lluvias, la calidad de agua varía desde excelente hasta aceptable; aunque en la salida del módulo o subcuenca (T6) presenta agua con altos valores de DQO. Para la DBO, en la época de lluvias la calidad de agua varía entre buena y aceptable.

### Contenido de minerales.

En la época de lluvias se tuvieron las mayores concentraciones de nitrógeno, con excepción del

manantial (T2) que tuvo el mayor contenido de nitrógeno en la época de secas (Tabla 3). Mientras que las concentraciones de nitratos y nitritos en todos los puntos de muestreo, en ambas épocas del año no sobrepasan los LMP establecidos en la Norma Oficial Mexicana. Presentándose los mayores contenidos de nitratos en la época de lluvias. En todos los puntos de muestreo y en ambas épocas del año se encontraron concentraciones de P y fosfatos inferiores a  $0.1 \text{ mg L}^{-1}$ .

### Turbidez y dureza

Los valores de turbidez son superiores en la época de lluvias en todos los puntos de muestreo, con excepción del manantial (T2), donde se encontraron valores de turbidez que no sobrepasaron los LMP por Norma Oficial Mexicana de 5 UTN. Los mayores valores se encontraron en la entrada al módulo o subcuenca (T1) y en la salida del módulo (T6) en la época de lluvias, con 179 UTN y 311 UTN, respectivamente. Los valores de dureza encontrados en todos los puntos de muestreo y en ambas épocas del año no superaron los LMP de la Norma Oficial Mexicana (Tabla 3).

### Coliformes totales y *Escherichia coli*

Se detectó la presencia de coliformes totales y *E. coli* en todos los puntos de muestreo en ambas épocas de muestreo. Para coliformes totales los valores encontrados en ambas épocas de muestreo superaron los LMP de la Norma Oficial Mexicana, siendo mayores los valores encontrados en la época de lluvias. Los mayores valores de coliformes se encontraron en la entrada al módulo o subcuenca (T1) y en la salida del módulo (T6) con valores de  $15\,531 \text{ NMP } 100 \text{ m.L}^{-1}$  y  $24\,196 \text{ NMP } 100 \text{ m.L}^{-1}$ , respectivamente. Para *E. coli* las mayores concentraciones se encontraron en la época de secas en todos los puntos de muestreo (Tabla 3). Encontrándose las mayores concentraciones de bacterias en los puntos T1 y T6.

### Contenido de metales pesados

Se detectó la presencia de arsénico (As) en todos los puntos de muestreo en la época de lluvias

(Tabla 3), los cuales no superan los LMP indicados en la Norma Oficial Mexicana. Mientras que el mercurio (Hg) se detectó en la época de secas en todos los puntos de muestreo, y en la época de lluvias sólo se detectó en la desembocadura del río de montaña (T5). Para ambos elementos en la época de secas se tuvieron los mayores valores, observándose diferencias estadísticas entre épocas de muestreo. Los valores encontrados en todos los puntos de muestreo en la época de secas sobrepasaron los LMP indicados en la Norma Oficial Mexicana. No se detectó presencia de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ni Zn.

### DISCUSIÓN

Se detectó la presencia de Hg y As en la época de secas, presentando el Hg valores superiores a los LMP indicados en la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-O51-SCF1-2001 (SE 2001e). Valores similares de As y Hg en la parte alta de la cuenca del río Grijalva han sido reportados por Laino-Guanes *et al.* (2015), mientras que Alvarado-Arcia *et al.* (2015) reportan la presencia de Cd en suelos y sedimentos del cauce principal del río Grijalva. El Hg es uno de los diez contaminantes más peligrosos a la salud pública, por lo que se justifican los estudios sobre su biodisponibilidad y afectaciones al ser humano (Bjørklund *et al.* 2017). A pesar de lo anterior, aún es escasa la literatura para esta cuenca y en general para el país, al respecto Leal-Ascencio *et al.* (2009) resaltan la falta de normas para metales en México. Los datos obtenidos de Hg en este estudio van desde  $1.65$  a  $4.92 \text{ ug.L}^{-1}$  en la época de secas, lo cual se encuentra por arriba del rango reportado por Guentzel *et al.* (2017) para un sistema lagunar en la Cuenca del río Papaloapan. Mientras que Guentzel *et al.* (2017) encontraron que las concentraciones de Hg se correlacionaron con mayores valores de SST. La presencia de Hg puede originarse desde fuentes naturales o antropogénicas, entre las causas se pueden encontrar la actividad volcánica, los incendios forestales, la erosión de las rocas, la minería, los crematorios y las descargas de aguas residuales (Pirrone *et al.* 2010, Laino-Guanes *et al.* 2015).

No se detectó presencia de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ni Zn, estos resultados coinciden con Laino-Guanes *et al.* (2015) que encontraron en la cuenca alta del río Grijalva concentraciones por debajo de los LMP de estos minerales. Pero Leal-Ascencio *et al.* (2009) reportan para la laguna El Limón, en la cuenca del río Grijalva, contenidos de Zn, Ni, Cr, Cd y Cu superiores a los LMP, situación que podría atribuirse a la acumulación del contenido de metales en las lagunas debido a la sedimentación propia de los sistemas lagunares (Bryan y Langston 1992).

Los valores de DBO de 4 a 18.5 mg L<sup>-1</sup> en la época de lluvias y de 1.9 a 2.4 mg L<sup>-1</sup> en la época de secas, y los valores promedio de DQO de 27.6 mg L<sup>-1</sup> en la época de secas y de 3.06 mg L<sup>-1</sup> en la época de lluvias encontrados, se encuentran dentro de los valores reportados por Ramos-Herrera *et al.* (2012) para el río Almandros. Para el contenido de SST se encontraron valores de entre 1 y 6 mg L<sup>-1</sup> en la época de secas, mientras que en la época de lluvias los valores se encontraron entre 2 y 304 mg L<sup>-1</sup>, al respecto Ramos-Herrera *et al.* (2012) reportan un valor promedio de 102.3 mg L<sup>-1</sup> y Laino-Guanes *et al.* (2016) valores entre 1.8 y 4.3 mg L<sup>-1</sup> para la época de secas, mientras que en la época de lluvias los valores oscilaron entre 31.1 y 548.8 mg L<sup>-1</sup>.

Las concentraciones de coliformes totales y *E. coli* superaron los valores permisibles en todos los puntos de muestreo en las dos épocas de muestreo,

lo que coincide con los reportes de contaminación microbiológica superiores a los LMP de la Norma Oficial Mexicana en distintos puntos de la cuenca Grijalva, principalmente a ríos asociados a áreas urbanas (Castañón y Abraján 2009, Laino-Guanes *et al.* 2016) e incluso en los sistemas de abastecimiento de agua potable tanto en ciudades como en comunidades rurales (Sánchez-Pérez *et al.* 2000, Galdos-Balzategui, A. *et al.* 2017).

## CONCLUSIONES

La presencia de Mercurio y Arsénico fue mayor en la época de secas. Aunque algunos otros parámetros indican mejor calidad de agua en la época de secas, como el contenido de SST y DQO, no se tuvo diferencias entre épocas de muestreo. Las concentraciones de coliformes totales y *E. coli* superaron los valores permisibles en todos los puntos de muestreo en las dos épocas de muestreo.

## AGRADECIMIENTOS

Al FORDECYT por el apoyo al proyecto No.143303 ECOSUR-CONACYT que fue apoyado con fondos concurrentes de la SERNAPAM del Estado de Tabasco. Además del apoyo del Programa Nacional de Incentivo a la Investigación del CONACYT Paraguay durante la etapa de redacción de este artículo.

## LITERATURA CITADA

- Alvarado-Arcia A, Ilizaliturri-Hernández CA, Martínez-Salinas RI, Torres Dosal A (2014) Riesgos ambientales y de salud por metales (cadmio y mercurio) presentes en suelos y sedimentos del río Grijalva. En: González-Espinosa M, Brunel-Manse MC (eds) Montañas, pueblos y agua. Dimensiones y realidades de la Cuenca Grijalva. Editorial Juan Pablos. México. pp: 240-256.
- APHA (1998) Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th Edition. American Public Health Association. California, USA. 1220p.
- Bjørklund G, Dadar M, Mutter J, Aaseth J (2017) The toxicology of mercury: Current research and emerging trends. *Environmental Research* 159: 545-554.
- Borbolla-Sala M, de la Cruz-Vázquez L, Piña-Gutiérrez OE, Fuente-Gutiérrez JC, Garrido Pérez SMG (2003) Calidad de agua en Tabasco. *Salud en Tabasco* 9: 170-177.

- Bryan GW, Langston WJ (1992) Bioavailability, accumulation and effects of heavy metals in sediments with special reference to United Kingdom Estuaries: a review. *Environmental Pollution* 76: 89-131.
- Castañón JH, Abraján P. Análisis de la calidad del agua superficial del río Sabinal, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México (2009) *Lacandonia* 3:67-77.
- CONAGUA (2011) Atlas del agua en México 2011. Comisión Nacional del Agua, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos
- Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW (2015). InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>. Fecha de consulta 15 febrero de 2017.
- Galdos-Balzategui A, Carmona-de la Torre J, Sánchez-Pérez H J, Morales-López J J, Torres-Dosal A, Gómez-Urbina S. (2017). Evaluación cuantitativa del riesgo microbiológico por consumo de agua en San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*. 8: 133 -153.
- González-Espinosa M, Ramírez-Marcial N, Gómez-Pineda E, Parra-Vázquez M, Díaz-Hernández BM, Musálem-Castillejos K (2014) Vulnerabilidad ambiental y social. Perspectivas para la restauración de bosques en la Sierra Madre de Chiapas. *Investigación Ambiental Ciencia y Política Pública* 6: 89 -108.
- Guentzel JL, Portilla E, Keith KM, Keith EO (2007) Mercury transport and bioaccumulation in riverbank communities of the Alvarado Lagoon System, Veracruz State, Mexico. *Science of the Total Environment* 388:316-324
- Jiménez-Cisneros BE (2001) La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada. Editorial Limusa. México, Distrito Federal, México. 926p.
- Kulinkina AV, Mohan VR, Francis MR, Kattula D, Sarkar R, Plummer JD, *et al.* (2016) Seasonality of water quality and diarrheal disease counts in urban and rural settings in south India. *Scientific Reports*. 6:20521. doi: 10.1038/srep20521
- Laino-Guanes R, González-Espinosa M, Ramírez-Marcial N, Bello-Mendoza R, Jiménez F, Casanoves F (2016) Human pressure on water quality and water yield in the upper Grijalva river basin in the Mexico-Guatemala border. *Ecohydrology and Hydrobiology* 16:149-159.
- Laino-Guanes R, Bello-Mendoza R, González-Espinosa M, Ramírez-Marcial N, Jiménez-Otárola F, Musálem-Castillejos K (2015) Metal concentrations in water and sediments in the upper Grijalva river basin, Mexico-Guatemala border. *Water Technology and Sciences* 6: 61-74.
- Leal-Ascencio MT, Miranda S, Sánchez E, Prieto-García F, Gordillo A (2009) Metals pollution in the El Limon lagoon, Chiapas, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10: 415-421.
- Lintern A, Webb JA, Ryu D, Liu S, Bende-Michl U, Waters D, Leahy P, Wilson P, Western AW (2017) Key factors influencing differences in stream water quality across space. *Wiley Interdisciplinary Reviews*. 31p. doi: 10.1002/wat2.1260
- Musalem K, Jiménez F, Mc Donald M (2014) Application of a rapid assessment tool for integrated watershed management: a case study from La Plata River Basin in South America. *Aqua-LAC* 5:31-39.
- Pirrone N, Cinnirella S, Feng X, Finkelman RB, Friedli HR, Leaner J, *et al.* (2010) Global Mercury emissions to the atmosphere from antropogenic and natural sources. *Atmospheric Chemistry and Physics* 10: 5951-5964.



- Plascencia H, González-Espinosa M, Ramirez-Marcial N, Alvarez-Solis D, Musalem K (2014) Características físico-bióticas de la cuenca del río Grijalva. En: González-Espinosa M, Brunel Manse MC (eds). Montañas, pueblos y agua: dimensiones y realidades de la cuenca Grijalva. Editorial Juan Pablos. México. pp: 29-79.
- Ramírez-Marcial N, González-Espinosa M, Musalem K, Noguera-Savelli E, Gómez-Pineda E (2014) Estrategias para una construcción social de la restauración forestal en comunidades de la cuenca media y alta del río Grijalva. En: González-Espinosa M, Brunel Manse MC (eds) Montañas, pueblos y agua: dimensiones y realidades de la cuenca Grijalva. Editorial Juan Pablos. México. pp: 518-554.
- Ramos-Herrera S, Broca-Martinez LF, Laines-Canepa JR, Carrera-Velúeta JM (2012) Tendencia de la calidad del agua en ríos de Tabasco, México. Ingeniería 16: 207-217.
- Sánchez-Pérez HJ, Vargas-Morales MG, Méndez-Sánchez JD (2000). Calidad bacteriológica del agua para consumo humano en zonas de alta marginación de Chiapas. Salud Publica de México 42:397-406.
- SCFI (1987) NMX-AA-42 -1987. Calidad de agua - Determinación del NMP de coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*. México, Distrito Federal, México. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2011/01/nmx-aa-042-1987.pdf>. Fecha de consulta 20 de diciembre 2016.
- SE (2001a) NMX-AA-028-SCFI-2001. Análisis de agua - Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO5) y residuales tratadas. México, Distrito Federal, México. <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2001/nmx-aa-028-scfi-2001.pdf>. Fecha de consulta 20 de diciembre 2016
- SE (2001b) NMX-AA-029-SCFI-2001 Análisis de aguas - Determinación de Fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba. México, Distrito Federal, México. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166773/NMX-AA-029-SCFI-2001.pdf>. Fecha de consulta 20 de diciembre 2016.
- SE (2001c) NMX-AA-030-SCFI (2001) Análisis de agua - Determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. México, Distrito Federal, México. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2011/01/nmx-aa-030-scfi-2001.pdf>. Fecha de consulta 20 de diciembre 2016.
- SE (2001d) NMX-AA-034-SCFI (2001) Análisis de agua - Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. México, Distrito Federal, México. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166146/nmx-aa-034-scfi-2015.pdf> . Fecha de consulta 20 de diciembre 2016.
- SE (2001e) 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. México, Distrito Federal, México. <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/NMX-AA-051-SCFI-2001.pdf>. Fecha de consulta 20 de diciembre 2016.
- SE (2006) NMX-AA-099-SCFI-2006 Análisis de agua - Determinación de Nitrógeno de Nitritos en aguas naturales y residuales - métodos de prueba. México, Distrito Federal, México. <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PPD1/DO3046.pdf>. Fecha de consulta 20 de diciembre 2016.
- SEMARNAT (2015) Estadísticas del Agua en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Ciudad de México.
- SS (1994) 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. México, Distrito Federal, México. [http://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/norma\\_oficial.pdf](http://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/norma_oficial.pdf). Fecha de consulta 20 de diciembre de 2016.

- Valencia-Barrera E (2014) Delimitación de los módulos del proyecto FORDECyT: codificación de cuencas hidrográficas con la metodología Pfafstetter y consideraciones en su aplicación. En: González-Espinosa M, Brunel Manse MC (eds) Montañas, pueblos y agua: dimensiones y realidades de la cuenca Grijalva. Editorial Juan Pablos. México. pp: 735-746.
- Yu S, Zongxue X, Wei W, Zuo D (2016) Effect of Land Use Types on Stream Water Quality under Seasonal Variation and Topographic Characteristics in the Wei River Basin, China. *Ecological Indicators* 60:202-212.