

CALIDAD DEL AGUA: CARACTERIZACIÓN ESPACIAL EN ÉPOCAS DE SEQUÍA EN EL RÍO FUERTE, SINALOA, MÉXICO

Water quality: spatial characterization during drought in the Rio Fuerte, Sinaloa, Mexico

Dr. Luis Carlos González Márquez

Profesor Investigador candidato al SNI
Depto. de Ciencias biológicas
Universidad de Occidente. Unidad Guasave

Dr. José Á. Trigueros Salmerón

Profesor Investigador
Depto. de Ciencias biológicas
Universidad de Occidente. Unidad Los Mochis

Recibido: 31/07/2015 Aceptado: 29/02/2016

RESUMEN

Las graves condiciones de calidad del agua se ven más afectadas cuando la cantidad del agua escasea debido a las condiciones climáticas. En la cuenca media del río Fuerte (RF) son muchas las fuentes de contaminación, las cuales se vuelven críticas en periodo de sequía al disminuir el caudal promedio en el cauce, concentrando agentes químicos y biológicos. Para evaluar las condiciones del agua superficial se muestrearon 22 puntos y se calculó el Índice de Calidad del Agua (ICA) durante el verano de 2012. Se evaluaron los valores del ICA junto con el caudal. Los datos se integraron en un Sistema de Información Geográfico (SIG) para determinar la distribución espacial de la calidad del agua. Se identificaron seis puntos de riesgo en la calidad del agua para uso público. Once puntos representan un riesgo para especies sensibles. Ninguna área muestreada es recomendable para uso recreativo. La calidad del agua a lo largo del RF presenta condiciones óptimas para uso agrícola e industrial. En época de sequía, la descarga de aguas del RF y drenes, previas a su desembocadura en aguas continentales, representan un riesgo para la salud. El manejo de las condiciones del agua a lo largo del RF, deben de ser reconsiderados en temporadas de sequía.

Palabras clave: Índice de Calidad del Agua, Agua Residual, Manejo, Contaminación, SIG.

Dr. Hugo B. Rodríguez Gallegos

Profesor Investigador
Depto. de Ingeniería y Tecnología
Universidad de Occidente. Unidad Los Mochis
Contacto: hrodriguez8@icloud.com

M. C. Jeovan A. Ávila Díaz¹ M.C. Marco A. Arciniega Galaviz¹

¹Profesor
Depto. de Ingeniería y Tecnología
Universidad de Occidente. Unidad Los Mochis

ABSTRACT

The severe conditions of water quality are most affected when the amount of water is in short supply due to weather conditions. In the middle basin of the Río Fuerte (RF) there are many sources of pollution, which become critical in dry season when the average flow on the runway drops, concentrating chemical and biological compounds. To assess the conditions of surface water, 22 sites were sampled to determine Water Quality Index (ICA) during the summer of 2012. The ICA and flow rate were evaluated together. The data were integrated into a Geographical Information System (SIG) to determine the spatial distribution of the pollution. Six sites were identified as in risk for public use. Eleven sites represent a risk for sensitive species. None of the sampled areas are recommended for recreational use. The water quality along the RF presents optimal conditions for agriculture and industrial use. During drought season, the water discharge in the RF and drains presents a health risk. The water use management along the RF should be reconsidered during the drought season.

Keywords: Water Quality Index, Wastewater, Management, Contamination, GIS.

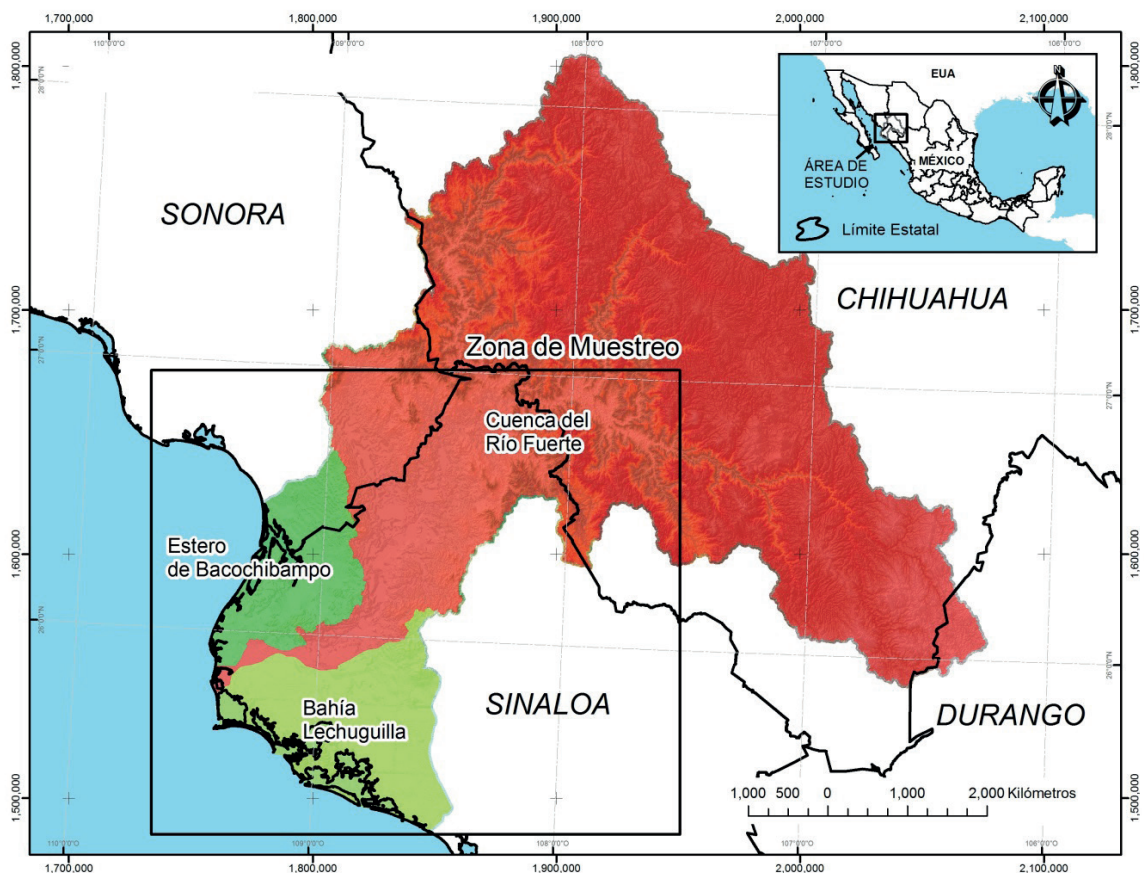
INTRODUCCIÓN

Los ríos son pieza importante para el desarrollo de una región. En México aportan 78 % del agua que se utiliza en la agricultura, la cual, genera la mayor cantidad de contaminación difusa, presentando un riesgo muy alto debido a la utilización de agroquímicos (Aguilar, 2008). En el norte de Sinaloa parte de su infraestructura principal lo comprenden las presas Huites, PH (Luis Donaldo Colosio), Miguel Hidalgo (MH) y Josefa Ortiz de Domínguez (JO). La cuenca alcanza los límites del estado de Sinaloa, Chihuahua y Sonora, y una pequeña parte del estado de Durango (CONAGUA, 2001). La región lagunar se encuentra poblada de estanques acuícolas donde el agua también muestra variaciones estacionales, principalmente de compuestos nitrogenados (Escobedo, 2010). La carga de compuestos químicos en los cuerpos de agua originada por la actividad (Páez *et al.*, 2007) depende de la cantidad de animales presentes en la región. En el año 2006, para el RF SAGARPA reportó un total de 147,659 bovinos; 28,009

porcinos; 32,031 ovinos; 26,843 equinos y 654,626 aves. El agua capturada en la cuenca y todos los agentes que contiene y transporta a lo largo de la zona ganadera, agrícola y minera, la cual se ubica en la parte alta de cuenca. Estos flujos utilizados y descargados en la zona costera del norte de Sinaloa y sur de Sonora. Este mismo escurrimiento incluye aguas residuales, principalmente urbanas, las cuales se mezclan en ocasiones con aguas residuales de origen industrial y agrícola en la región llamada Bahía Lechuguilla-Ohuira-Navachiste y Estero de Bacorehuis, ambas de 4,620 y 1,069 km², respectivamente (Figura 1).

El uso de agroquímicos en la región ya se ha mostrado como un factor que afecta la salud de jornaleros que han estado en contacto con estas sustancias (Martínez-Valenzuela, *et al.* 2009), mientras que la distribución y concentración de pesticidas en el agua superficial o subterránea no han sido claramente determinadas. Las disminuciones de agua en el RF se dan principalmente por extracciones directas al cauce natural a través de canales de riego y/o

Figura 1. Localización de las cuencas asociadas al área de estudio y zona de muestreo, comprende la parte media y baja de la cuenca del RF y regiones de influencia: Estero de Bacochibampo y Bahía Lechuguilla.



© Rodríguez, H., González, L., Trigueros, J., Ávila, J., Arciniega, M., *Revista Ciencia desde el Occidente*, Vol. 3, Núm. 1, 2016

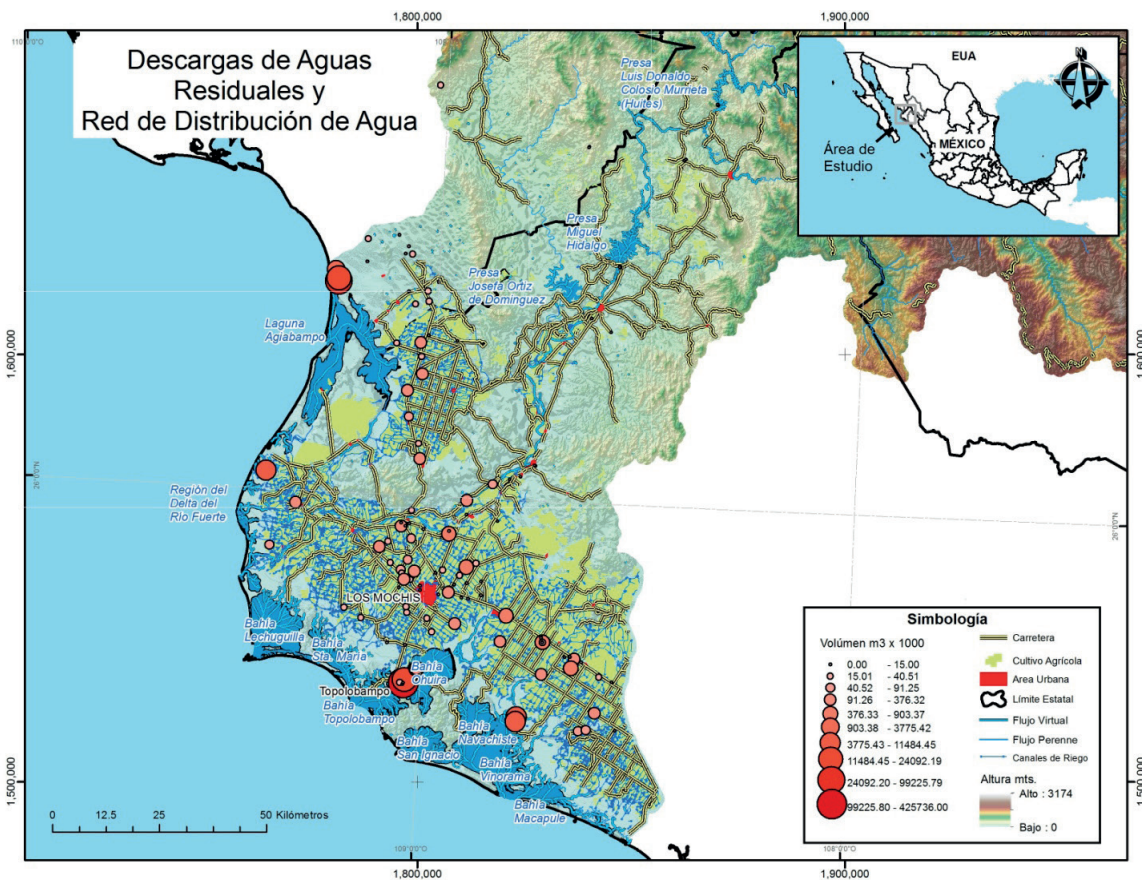
por bombeo directo, y contrastan con la existencia de descargas directas de aguas residuales, las cuales reflejan las principales descargas que aportan agentes químicos y biológicos críticos en periodo de sequía. La densidad de drenes en el área es importante y se pueden presentar como la condicionante de la calidad del agua en la región debido a su extensión agrícola de más de 228,000 hectáreas (Ha) bajo riego, y a la consecuente utilización de agentes agroquímicos (Figura 2).

Indicadores de calidad de agua. Discusión en base al origen (antropogénico vs. natural)

Estudios realizados en humedales costeros y zonas ribereñas con propiedades salinas, sugieren variaciones temporales de algunos compuestos químicos (Walter y Brown, 2008); esto presupone cambios dinámicos de la calidad del agua de la parte baja de la cuenca. Algunos de los parámetros utilizados para caracterizar la calidad del agua en regiones costeras y ribereñas son el nitrógeno

inorgánico disuelto, fósforo y clorofila a (Chl-a) (Walter y Brown, 2008). El fósforo y el nitrógeno se emplean en agricultura y se pueden usar para evaluar efluentes de acuicultura, suelos, industria, aguas municipales, ganadería y atmósfera (Páez *et al.*, 2007). Otros indicadores de contaminación del agua se relacionan con la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y el Oxígeno Disuelto (OD), los cuales son importantes cuando se caracterizan aguas residuales (Rai *et al.*, 2010). Los cambios en el clima, al disminuir los aportes de escurrimiento, agravan la degradación ambiental de los ecosistemas acuáticos y bosques de galería a lo largo del RF. Al mismo tiempo, hace que las personas que dependen directamente de los recursos naturales, como el agua, tengan que adaptarse a las nuevas condiciones que se les presentan (Cruz, 2001). Los eventos climáticos extremos que se han presentado en la región del RF, como ciclones y huracanes entre julio y octubre en distintos años, también afectan el desarrollo regional (CONAGUA, 2001). En febrero del año 2011, un

Figura 2. Lugares y volumen de descarga de agua residual, dentro del área comprendida para este estudio (CONAGUA-SEMARNAT, 2001).



© Rodríguez, H., González, L., Trigueros, J., Ávila, J., Arciniega, M., *Revista Ciencia desde el Occidente*, Vol. 3, Núm. 1, 2016

frente frío proveniente del norte ocasionó bajas históricas en la temperatura, provocando que el 90 % de la producción de 715 mil hectáreas se perdieran (Cabrera, 2011) y como consecuencia, algunas de las reservas de agua en la zona tuvieran que ser utilizadas para responder a un nuevo ciclo agrícola. Este manejo se realizó en un área que se mantuvo desde el 2010 bajo condiciones de sequía moderada a anormalmente seca (CONAGUA, 2010). En el 2010, después del periodo de lluvia, la región baja de la cuenca se mantuvo como anormalmente seca (CONAGUA, 2010). Estas tendencias continuaron en el año 2012, por lo que, se tendrán que evaluar los cambios en las condiciones debidos al clima, demanda y calidad del agua. Estudios locales realizados hace ya más de 26 años, reportaban que las condiciones de agua en las presas eran adecuadas y con volúmenes suficientes para llevar a cabo los cultivos agrícolas de manera normal. Asimismo, aseguraban que la degradación de la calidad del agua comenzaba inmediatamente después de los primeros asentamientos y después se acentuaba a partir de poblados como El Fuerte, Sinaloa (CONAGUA, 2001). Este trabajo pretende describir las condiciones del agua superficial, en la cuenca media y baja del RF. Su objetivo es integrar holísticamente los sistemas antropogénicos junto con los naturales, permitiendo una mejor comprensión actual y futura de las condiciones del agua en la región.

JUSTIFICACIÓN

Mediante el uso del ICA, se busca evaluar y describir las condiciones del agua del RF bajo la influencia de un periodo de sequía. Para analizar la calidad del agua se han utilizado en numerosas ocasiones los SIG (Ojeda *et al.*, 2007), que permiten asociar resultados con base en su proximidad y entender mejor las posibles correlaciones entre áreas muestreadas. Usando estas herramientas, se propone evaluar dónde hay efectos por baja calidad del agua, en qué magnitud, quiénes son afectados y cuáles pueden ser los mecanismos dinámicos, de acuerdo a las interconexiones dinámicas del agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio presenta una temperatura media anual entre 16 y 26 °C y una precipitación anual entre 500 y 1000 mm. El Río Fuerte (RF), asentado en una región con alta vocación agrícola, está incluido dentro de la Región Hidrológica III (RHA III) y aporta el 3.1 % del Producto Interno Bruto.

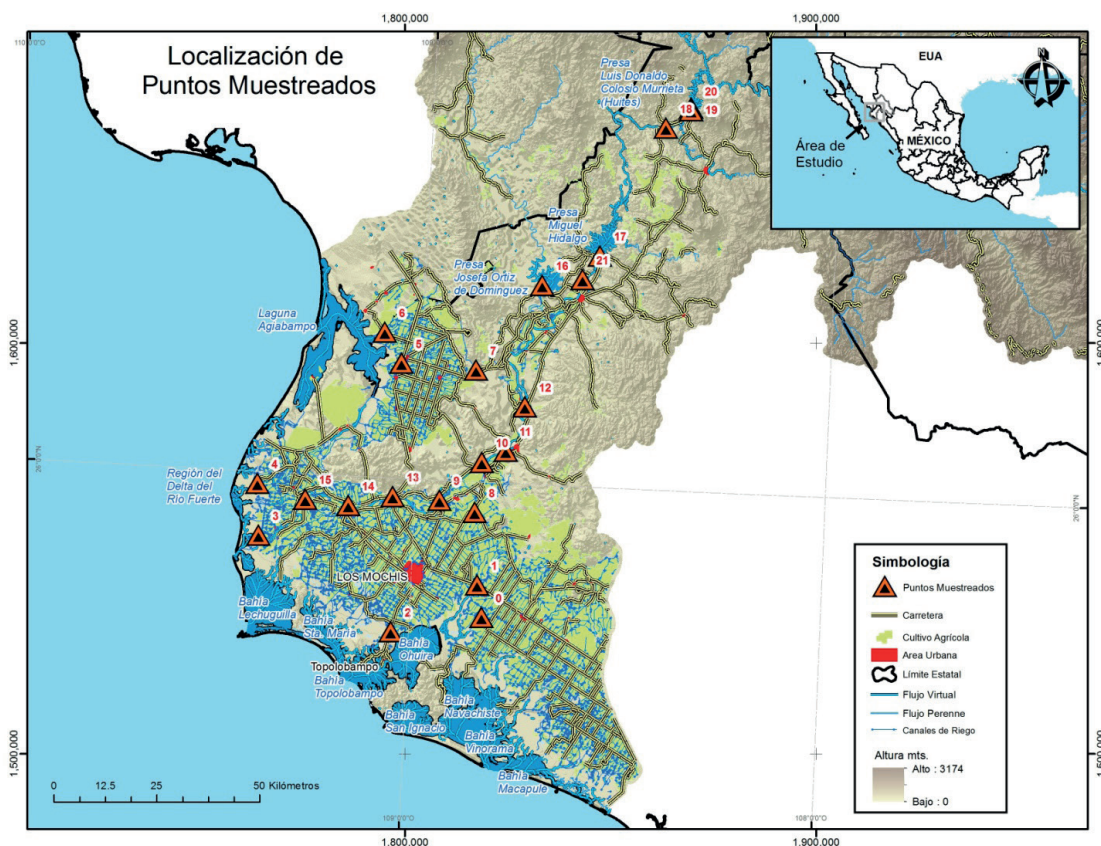
Presenta un escurrimiento superficial natural medio de 5,176 millones de m³/año, en un área de 33,590 km² y una

longitud de 540 km (CONAGUA, 2010) (Figura 1). En esta región, se muestrearon cinco drenes agrícolas, 14 afluentes y tres presas (Tabla 2). Estos cauces corren a lo largo de tierras arables, agostaderos, vegetación semidesértica y asentamientos humanos que van desde la presa Huites hasta la desembocadura del río en el Golfo de California. Durante el verano de 2012, el cauce del RF se encontró en uno de sus niveles más bajos (~0.15 m³/s) en temporada de sequía, registrado cerca del poblado de Ahome, Sin., previo a las primeras lluvias en la parte alta de la cuenca, las cuales iniciaron a finales de julio y continuaron durante agosto y septiembre.

Protocolo de muestreo y análisis. Se seleccionaron 22 sitios, cinco drenes, catorce canales y tres presas; los cuales se visitaron de dos a tres ocasiones durante el verano de 2012. Se considera que el agua es distribuida más allá de la cuenca del RF a través de canales de riego para ser utilizada en cultivos agrícolas (Figura 3). Se utilizaron 18 parámetros para estimar el ICA. Se colectaron muestras por triplicado para nueve de ellos (fósforo soluble, alcalinidad, turbidez, detergente aniónico, color, cloro total y dureza total); se tomaron muestras individuales para grasas y aceites, y coliformes fecales y totales y, usando dos multiparamétricos, se tomaron lecturas de temperatura, salinidad, conductividad eléctrica (CE), pH y amoníaco (Tabla 1). Cada sitio se valoró seleccionando aquellos de fácil acceso. En cada uno se estableció un transecto usando dos estacas metálicas y una cuerda previamente medida. Se determinó el flujo del río seccionando en partes iguales el ancho del cauce y midiendo la velocidad, con un medidor de flujo marca Hach FH 950. Se utilizó un Kayak cuando las dimensiones del cauce lo requerían. Las muestras de agua se tomaron al centro de los cauces, a una profundidad de 10 a 20 cm de la superficie. En el caso de las presas, se navegó más de 200 m de la orilla para tomar muestras representativas y medir con el multiparamétrico a una profundidad de 50 cm, tomando la lectura después de cinco minutos de que se estabilizaran los sensores. Las muestras tomadas se llevaron para su análisis al laboratorio, indicando las coordenadas geográficas y el valor de cada parámetro. Posteriormente, se determinó el ICA, utilizando la siguiente ecuación (Jáuregui *et al.*, 2007):

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Figura 3. Puntos de muestreo evaluados (21) a lo largo de la red de distribución de agua capturada dentro de la cuenca del RF.



© Rodríguez, H., González, L., Trigueros, J., Ávila, J., Arciniega, M., *Revista Ciencia desde el Occidente*, Vol. 3, Núm. 1, 2016

Donde, I_i = simboliza el valor obtenido para cada parámetro representado en un subíndice i ; W_i = Ponderación asignada dependiendo de la importancia que representa el valor de cada parámetro representado en un subíndice i . La sumatoria de cada multiplicación obtenida entre su valor multiplicada por su ponderación, nos refleja el numerador de la ecuación; el cual, al dividirse por la sumatoria de las ponderaciones totales nos arroja un valor numérico adimensional que refleja las condiciones de Calidad del Agua o ICA. Este índice es comúnmente usado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en lugares limitados. Los resultados obtenidos se integraron dentro de un SIG para determinar su relación espacial y analizar el impacto que cada valor presentaba, en base al uso potencial del agua.

A cada sitio muestreado se le tomaron lecturas de CE, Temperatura, OD, salinidad y pH, usando un multiparamétrico, previamente calibrado, marca Hanna HI 9828. El amoníaco se determinó con un multiparamétrico YSI PRO plus. Los análisis microbiológicos se realizaron en las

instalaciones de la Universidad de Occidente, Unidad Los Mochis, Sinaloa. Se utilizaron bolsas bacteriológicas, previamente etiquetadas y puestas a temperatura de entre 3 y 4 °C. Estas muestras fueron inoculadas dentro de las cuatro primeras horas después de haber sido tomada la muestra. Las muestras de agua tomadas para determinar grasas y aceites se acidificaron a un pH < 2, con H_2SO_4 , se conservaron a 4°C y se analizaron en los primeros 14 días después del muestreo. En campo se midió alcalinidad y dureza total; la turbidez se determinó dentro de las primeras 24 horas de haber tomado la muestra.

Las muestras para analizar amoníaco, se acidificaron con H_2SO_4 , a pH < 2; y para fosfatos, las muestras de agua se filtraron con papel filtro, refrigeraron y se analizaron antes de 24 horas.

Integración de la información espacial y no espacial. La integración de atributos espaciales y no espaciales se realizó reuniendo datos ya generados en diferentes sitios. La integración de los tipos de datos, fuentes y formatos, se llevó a cabo con ayuda de un GPS marca Garmin

Tabla 1. Parámetros físico-químicos evaluados (equipo y método usado), en la cuenca media y baja del RF.

Parámetro	Unidad	Material/Equipo	Método
Fósforo Total	mg/l	Fotómetro/Hanna HI 83099	Método AminoÁcido
Fosfatos	mg/l	Fotómetro/Hanna HI 83099	Método AminoÁcido
Sólidos Suspendidos	mg/l	Cono de sedimentación	Método Gravimétrico
Alcalinidad	mg/l	Kit de análisis químico Hanna para alcalinidad	Titulación
Turbidez	NTU	Turbidímetro/Hanna LP 2000	LED Infrarojo 890 nm.
Grasas y Aceites	mg/l	Extracción de Soxhlet	SM 5-52
DBO ₅	mg/l	Botellas Winkler, Multiparamétrico/Hanna HI 9828	Método electroquímico
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	Laboratorio	Número más probable
Coliformes Totales	NMP/100 ml	Laboratorio	Número más probable
Detergentes Aniónicos	mg/l	Kit de análisis químico Hanna para detergentes	Azul de metileno
Amoniaco	mg/l	Fotómetro/Hanna HI 83099	Método Nessler
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	YSI PRO Plus	D1426-92.*
Color	UPtCo	Fotómetro/Hanna HI 83099	SM, Colorimétrico Platino Cobalto
Cloro Total	mg/l	Fotómetro/Hanna HI 83099	Método 330.5. •
Dureza Total	mg/l	Kit de análisis químico Hanna para dureza total	Titulación

Adaptación, ASTM Manual del tecnología del agua y ambiente, SM= Standard Methods

•Adaptación del Método EPA DPD

© Rodríguez, H., González, L., Trigueros, J., Ávila, J., Arciniega, M., *Revista Ciencia desde el Occidente*, Vol. 3, Núm. 1, 2016

eTrex H. Se generaron bases de datos relacionadas (BDR), dentro de las cuales se categoriza y relaciona la información de los parámetros junto con las entidades geográficas correspondientes. Los datos fueron integrados en un SIG para facilitar el análisis y la organización de la información espacial (Assaf y Saadeh, 2008). Parte de la información espacial relacionada con los límites de cuenca, cauces y sus atributos geográficos se descargaron digitalmente utilizando la aplicación Simulador de Flujo de Agua de Cuencas Hidrológicas, SIATL (INEGI, 2012). Los modelos digitales de terrenos se obtuvieron mediante la aplicación disponible a través de la página web del INEGI (2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características de las represas afectan la calidad del agua dependiendo de sus variaciones temporales relacionadas con la profundidad, descarga, régimen lóxico, y las características de usos de suelo a sus alrededores, entre otros. En periodo de sequía, cuando baja el caudal y disminuye la profundidad en represas y cauces, se espera una mayor concentración de contaminantes debido a la evaporación y falta de lluvias. La mayoría de las descargas

ajenas al sistema, en este periodo, son principalmente de origen antropogénico. Pasando los embalses principales de la cuenca, existe una carga adicional que influyen en la calidad del agua del RF aguas abajo, debido a las descargas de aguas residuales, disminuyendo aún más la calidad del agua. Esto se refleja en la disminución del valor del ICA a medida que se avanza hacia la costa. En algunos casos, el agua utilizada es nuevamente liberada en drenes, o en su defecto, regresada al cauce natural del RF con una carga de contaminantes de origen industrial.

Esta evaluación exploratoria de las condiciones de la calidad del agua de la parte media y baja del RF en época de sequía, se resume en las Tablas 2, 3, y 4. Durante este periodo la corriente Mochichahui (10), condujo más de 40,000 m³ de aguas que se vertieron a la red de canales del RF, las cuales, en partes del cauce del RF, se mezclan en proporciones menores de regreso con caudales de menos de 0.2 m³/s de agua pluvial. La presencia de niveles bajos de DBO₅ con alto grado de coliformes totales y fecales 2400 NMP/100 ml, nos hacen pensar que existe contaminación directa de coliformes fecales debido a la presencia de ganado en la orillas del río; siendo de los más altos Mo-

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos obtenidos en los 22 sitios visitados en la parte media de la cuenca del RF*

ID	Nombre	SDT ppm	SST ml	CE $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	pH	Temp °C	Δ Temp °C	Turbidez		Color		
								NTU	+/-	UC	+/-	
0	Dren Bachoco	17.86	<0.1	3500	7.87	36.4	0.4	21.75	2.44	93	56	
1	Estero JJR	5507	<0.1	11.03	8.08	32	4	34.6	3.57	126	56	
a	2	Dren Paredones	1064	<0.1	2155	8.37	32.1	3.9	10.99	0.57	188	8
	5	Desemboque RF Norte -Canal-	403	<0.1	623	8.68	35.5	0.5	24.68	4.02	129	25
	6	Campo Mendoza	400	<0.1	306	8.4	29.1	6.9	7.72	2.14	71	19
	3	Desemboque RF Sur	4880	<0.1	9700	8.3	30	6	1.98	0.38	29	13
	4	Desemboque RF Norte	15	<0.1	30	8.1	31.1	4.9	16.23	1.06	41	7
	7	Bacorehuis	5708	1	11	7.6	27.8	8.2	39.44	3.38	74	36
	8	Rancho Nuevo	101	<0.1	201	7.89	27.5	8.5	16.48	0.45	24	4
	9	Km. 19, Canalón	189	<0.1	377	8.1	27.6	8.4	8.09	1.84	15	15
	10	Mochicahui	1006	<0.1	2016	7.56	30.7	5.3	9.47	2.26	20	4
b	11	San José de Cahuinahua	135	<0.1	271	7.41	28.2	7.8	1.87	0.78	20	12
	12	El Sufragio	156	<0.1	306	8.4	29.5	6.5	14.6	3.68	34	32
	13	San Miguel Zapotitlán	400	<0.1	800	7.91	29.1	6.9	0.64	0.33	7	2
	14	Ejido Cohuibampo	258	<0.1	514	8.8	32.3	3.7	0.8	0.27	11	3
	15	San José	14	<0.1	28	7.4	29.2	6.8	0.99	0.4	15	3
	18	Salida PH	124	<0.1	62	8.5	26.7	9.3	15.78	3.62	147	11
	19	Manantial PH	458	<0.1	918	6.98	50.3	14.3	1.93	0.28	23	5
	21	Salida PMH	139	<0.1	279	7.94	31.9	4.1	6.17	0.57	51	13
c	16	Presa JO	137	<0.1	274	8.62	29	7	6.18	0.68	56	6
	17	Presa MH	132	<0.1	110	9.28	29.5	6.5	9.14	1.67	51	13
	20	Presa Huites	169	<0.1	338	9.28	30.4	5.6	9.61	0.42	61	12

Grupos: a, b, y c; PH = Presa Huites, JO = José Ortiz, MH = Miguel Hidalgo, PMH = Presa Miguel Hidalgo, JJR = Juan José Ríos; SDT= sólidos disueltos totales; SST= Sólidos suspendidos totales; Δ Temp=Diferencia en temperatura sobre el promedio diario. * La diferencia en temperatura se obtuvo en base a una temperatura media de 36°C. Turbidez y color se analizaron en base a un intervalo de confianza del 95% y con un error de $\alpha = 0.05$.

© Rodríguez, H., González, L., Trigueros, J., Ávila, J., Arciniega, M., *Revista Ciencia desde el Occidente*, Vol. 3, Núm. 1, 2016

chicahui (10), junto con dos de drenes muestreados: Estero JJR (1) y Dren Paredones (2). Los puntos El Sufragio (12) y Presa JO (16) tuvieron mínima presencia de coliformes totales y fecales, seguro por la poca o nula presencia de descargas de aguas residuales reportadas en estos puntos (ver Figura 2). Sin embargo, no se encontraron valores de

menos de 15 NMP/100 ml en lugares río arriba, más que en el Sufragio (12), Presa Huites (20) y la Presa JO (16); sitios como Salida PMH (21), Presa MH (17), Salida PH (18), se reportaron con valores por arriba de 150 NMP/100 ml, aun no teniendo descargas registradas de acuerdo a la CONAGUA-SEMARNAT (2001), (Figura 2).

Tabla 3. Parámetros bacteriológicos obtenidos en los 22 sitios visitados en la parte media de la cuenca del RF.

ID	Nombre	DBO5 Mg·l ⁻¹	Col. Fecales NMP/100 ml	Col. Totales NMP/100 ml	ICA	
0	Dren Bachoco	6.86	150	1100	47	
1	Estero JJR	3.39	>2400	>2400	47	
a	2	Dren Paredones	4.25	>2400	>2400	44
	5	Desemboque RF Norte -Canal-	2.56	80	210	50
	6	Campo Mendoza	4.31	150	2400	64
	3	Desemboque RF Sur	2.95	23	460	47
	4	Desemboque RF Norte	3.28	93	240	51
	7	Bacorehuis	5.83	93	1100	66
	8	Rancho Nuevo	3.8	1100	2400	56
	9	Km. 19, Canalón	2.45	43	210	59
	10	Mochicahui	0.65	>2400	>2400	65
b	11	San José de Cahuinahua	1.15	75	150	63
	12	El Sufragio	4.31	9	150	69
	13	San Miguel Zapotitlán	2.24	93	210	63
	14	Ejido Cohuibampo	2.53	93	210	66
	15	San José	3.59	75	150	67
	18	Salida PH	3.5	210	210	65
	19	Manantial PH	0.91	1	1	69
	21	Salida PMH	2.17	150	460	54
c	16	Presa JO	2.2	9	43	57
	17	Presa MH	6.14	1100	1100	53
	20	Presa Huites	4.27	15	240	66

Grupos: a, b, y c; PH = Presa Huites, JO = José Ortiz, MH = Miguel Hidalgo, PMH = Presa Miguel Hidalgo, JJR = Juan José Ríos

© Rodríguez, H., González, L., Trigueros, J., Ávila, J., Arciniega, M., *Revista Ciencia desde el Occidente*, Vol. 3, Núm. 1, 2016

El Manantial PH (19) fue muestreado debido a las altas temperaturas (> 50 °C) que presentaba, y mostró bajos niveles de coliformes fecales, las cuales son esperadas (Gómez-Marín *et al.*, 2007). En sitios como Dren Bachoco (0) y Desemboque RF Norte (4), aun no teniendo descargas registradas dentro de un radio de 5 km de aguas residuales, el contenido de sales San José (15) y Desemboque RF Norte puede ser debido a su cercanía con el océano y la presencia de granjas acuícolas en la zona; esto puede explicar la baja concentración de coliformes fecales, debido

a la posible fuerte presión osmótica que se ejercen sobre los microorganismos (Gómez-Marín *et al.*, 2007).

Las diferencias en la temperatura se deben a las variaciones en la hora en la cual se tomó la muestra en cada sitio. Solamente en Manantial PH (19) a la salida de la PH se tiene un efluente de temperatura muy elevada (50 °C) con posible presencia de actividad geotérmica. Este sitio presenta calidad de agua que podría indicar descarga directa de origen geotérmico en el cauce del RF, las cuales tienen la posibilidades de diluir la presencia de agentes de tipo

Tabla 4. Criterios comparativos de uso, en base al ICA, aplicados a todos los sitios muestreados.

ID	Nombre	Criterio General	Público	Recreación	Pesca y Vida Acuática	Industria	Agricultura
2	Dren Paredones						
0	Dren Bachoco						
1	Estero JJR						
3	Desemboque RF Sur	CO	D	D	SOR	RT	RT
5	Desemboque RF Norte -Canal-						
4	Desemboque RF Norte						
17	Presa MH						
21	Salida PMH						
8	Rancho Nuevo						
16	Presa JO						
9	Km. 19, Canalón				DES	No requiere tratamiento para uso en la industria	
11	San José de Cahuinahua						
13	San Miguel Zapotitlán						
6	Campo Mendoza						
10	Mochicahui	PCO	MNT	ACNR			A
18	Salida PH						
7	Bacorehuis						
14	Ejido Cohuibampo						
20	Presa Huites				AESS		
15	San José						
12	El Sufragio						
19	Manantial PH						

CO= Contaminado; PCO=Poco Contaminado; MNT=Mayor necesidad de tratamiento; ACNR=Aceptable No Recomendable; D=Dudoso; MNT=Mayor Necesidad de Tratamiento; SOR=Solo Organismos muy Resistentes; RT=Requiere Tratamiento; DES=Dudosos para Especie Sensibles; AESS= Aceptable excepto para especies muy sensibles; A=Aceptable.

© Rodríguez, H., González, L., Trigueros, J., Ávila, J., Arciniega, M., *Revista Ciencia desde el Occidente*, Vol. 3, Núm. 1, 2016

antropogénico en el cauce normal del RF, justo a la salida de la Presa Huites, Salida PH (18).

En relación al pH se tiene que, en las presas, los valores registrados están por arriba del intervalo presente en los cuerpos de agua (6.5 a 8.2) en condiciones naturales (Posada, 2000). Sin embargo, se comporta dentro de los encontrados para cuerpos de agua lacustres (Posada, 2000).

En el caso de San José de Cahuinahua (11) y San José (15), a excepción de Manantial PH (19), se nota una tendencia a la alcalinidad, lo cual podría explicarse en base a factores internos: capacidad de amortiguamiento, mezcla y evaporación. Esta sección presenta una gran cantidad de rocas calcoalcalinas de composición granítica (Servicio Geológico Mexicano, 2009), su presencia puede explicar las pro-

piedades alcalinas del agua.

La baja turbidez a lo largo del río está asociada a la presencia de sólidos suspendidos y disueltos, demostrando las propiedades que se han visto en la parte media de la cuenca, en donde la carga de materia se considera en equilibrio, en comparación con la parte baja (acumulación) y alta de la cuenca (erosión). Esto posiblemente se deba a que la erosión y deposición no difieren mucho entre sí en temporada de sequía cuando el arrastre de sedimentos es menor. En caso contrario, se esperaría que en las partes altas de la cuenca, donde tienen lugar tanto deforestación como erosión superficial, se incrementen esos valores. Esta misma propiedad se puede encontrar asociada con los valores fluctuantes de CE, la cual en sistemas naturales varía dependiendo de la posible carga de sales: se observa que en el sitio 19 (manantial PH) se reporta mayor CE muy probablemente debido a la actividad geotérmica. Tomando la CE de referencia en las presas dentro de la cuenca del RF: Huites con $338 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, Josefa Ortiz $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, y Miguel Hidalgo $110 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, nos indica que río abajo, un aumento del CE a lo largo de los sitios muestreados, con valores por arriba de los presentados explicaría la presencia de diferentes contaminantes con carga alta de sales minerales disueltas, que puedan estar siendo vertidas al RF. Algunas descargas se presentan a lo largo de áreas con actividad industrial y agrícola, lo cual puede representar un riesgo para la salud y para la condición de los suelos, si llegaran a utilizarse para riego.

Las condiciones de calidad del agua se hacen evidentes al comparar los tres grupos **a**, **b** y **c** que se muestran en la Figura 5. En los drenes con un valor del ICA de 50.4 (+/- 9.8), las condiciones del agua representadas se aproximan en ocasiones a las encontradas a lo largo del cauce del RF 61.43 (+/- 4.00) y raramente a las condiciones de ICA en las presas 58.65 (+/- 12.23). Sin embargo, con base a los valores estimados para el ICA, se deben tomar algunas consideraciones importantes, de acuerdo a los principales usos del agua (SEMARNAT, 2002). Empleando el ICA para evaluar la calidad del agua para uso público, encontramos valores de 40-50 %, lo que implica que las aguas son de uso riesgoso. En esta categoría se encontraban casi todos los puntos analizados, previos a su liberación a cuerpos receptores, excepto Campo Mendoza (6). El agua de los sitios muestreados con ICA entre 50-80 %, necesita de un tratamiento previo, si va a utilizarse para consumo humano. Casi todos los puntos muestreados a lo largo del RF, incluyendo las presas, caen dentro de esta categoría (Figura 4). Ninguno de los sitios muestreados presentó valores recomendables para uso recreativo (todos están por deba-

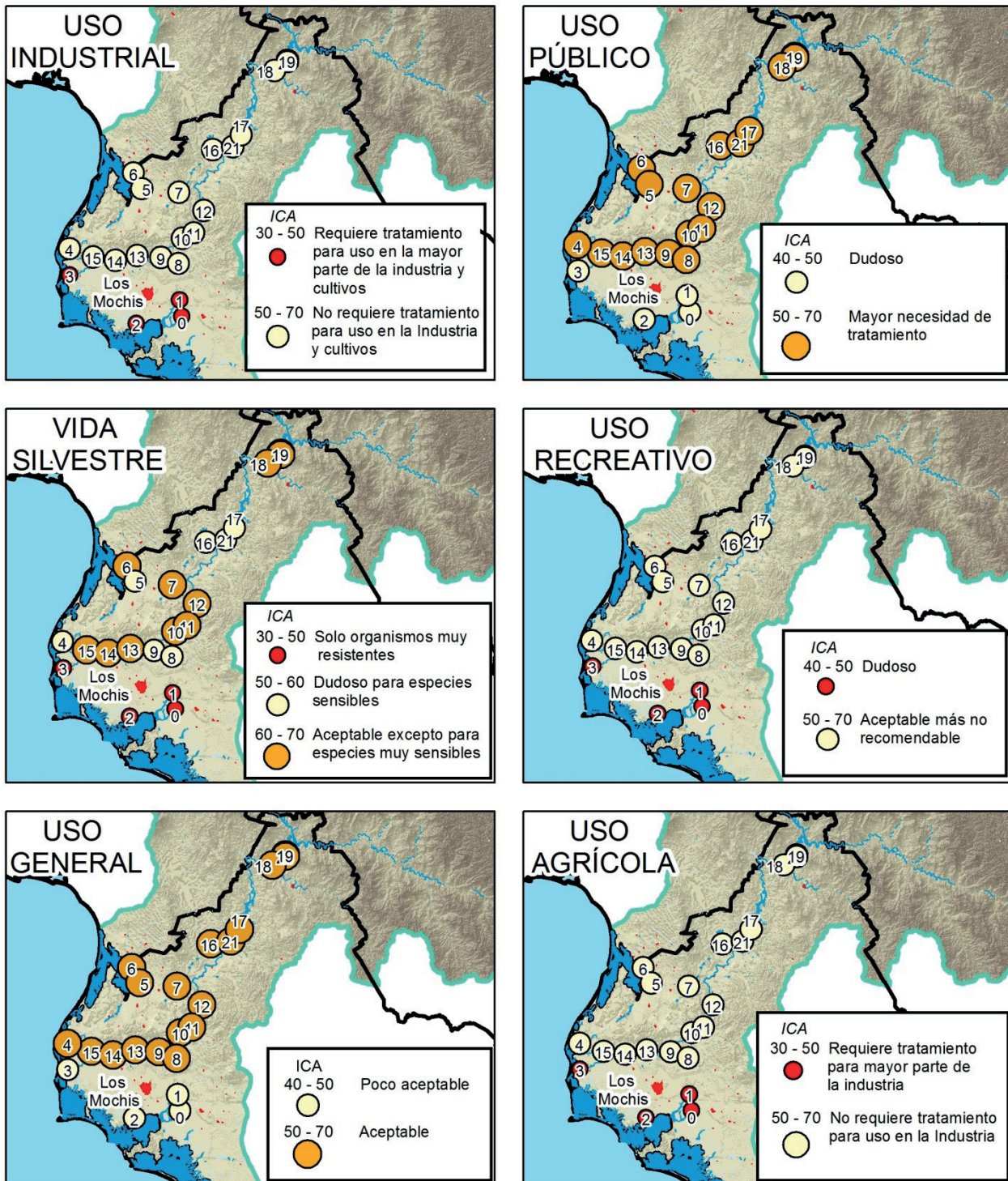
jo del 70 %). Aunque los drenes no sean áreas consideradas recreativas, es importante notar que de acuerdo a los valores obtenidos, el riesgo por salinización está presente debido a sales minerales que podrían producir la pérdida de suelo agrícolas si el agua no es manejada correctamente. El agua del RF no presenta condiciones idóneas para ser usada con ese fin en época de sequía. Para la pesca y la vida silvestre en general, esta agua puede ser de riesgo para especies nativas por presentar un valor del ICA por debajo de 50, principalmente por alta concentración de sales minerales y presencia de alto contenido de sólidos totales disueltos (SDT); las especies nativas son las que normalmente presentan mayor dependencia a la especificidad de las condiciones del ambiente local. La Figura 4 –Vida Silvestre– muestra condiciones delicadas para especies sensibles o nativas en siete lugares muestreados: Desemboque RF Norte (4), Desemboque RF Norte–Canal– (5), Rancho Nuevo (8), Km. 19, Canalón (9), Presa JO (16), Presa MH (17), y Salida PMH (21). Por otro lado, las condiciones en la calidad del agua en el resto de los sitios muestreados, a excepción de los drenes, son menos severas. Los sitios con valores mayores a 50 % no presentan riesgo cuando el agua es usada con fines industriales o agrícolas. En esta categoría, a excepción de los drenes, se sitúan todos los puntos a lo largo del RF, incluyendo las presas.

Para hacer una comparación individual se utilizaron varios criterios de uso del agua en base al ICA (SEMARNAT, 2002), se aplicaron a cada sitio con base al uso potencial que el agua pudiera tener en la región, utilizando un SIG, ver Tabla 4. Los resultados se muestran en la Figura 4. Los tres grupos seleccionados, **a**, **b** y **c**; se analizaron determinando el intervalo de confianza a 90 % y un error del 5 % ($\alpha/2$). El grupo **a** presenta un rango de 50.40 +/- 9.80, el **b** de 61.43 +/- 4.00 y el **c**, de 58.67 +/- 12.23. Para comparar cada grupo y sitio se graficaron los resultados del ICA a lo largo de los muestreados en la cuenca del RF. (Figura 5).

CONCLUSIONES

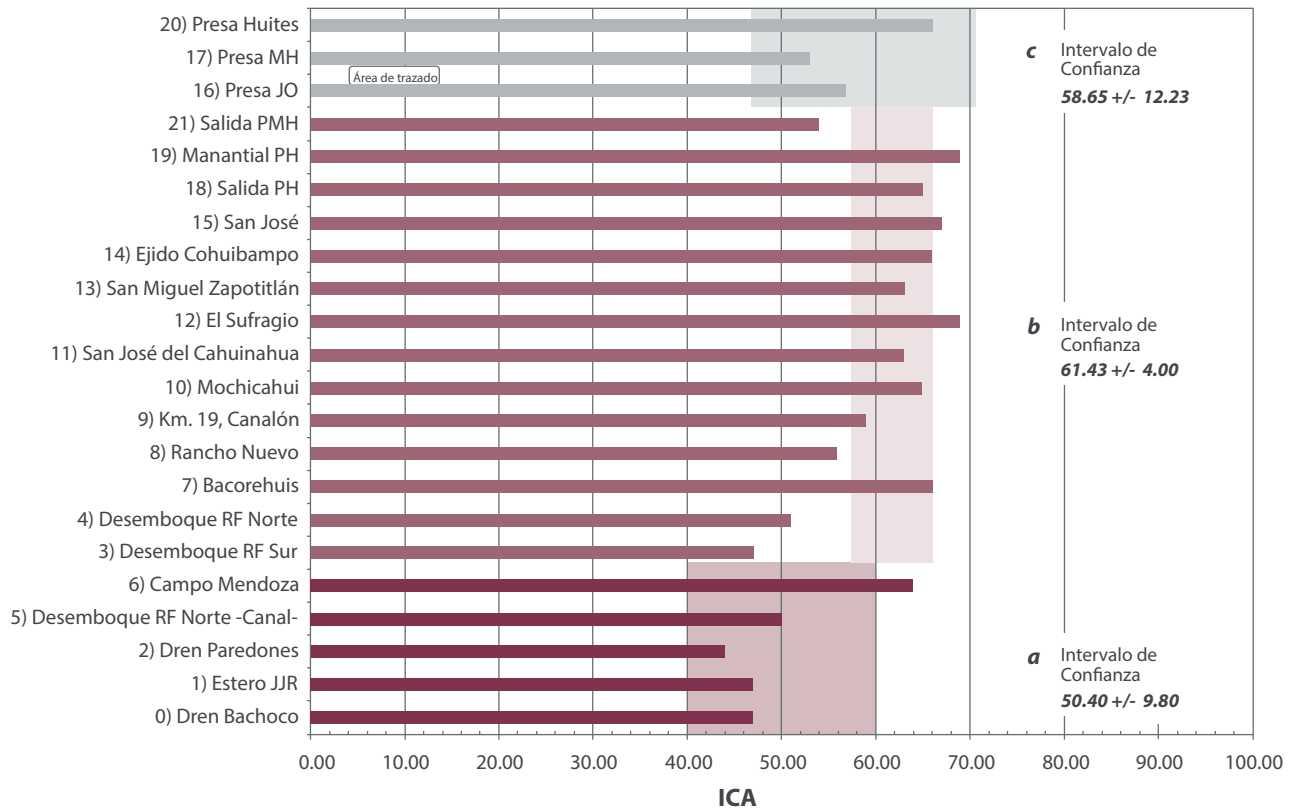
De acuerdo a la CONAGUA en los años 2011 y 2012 se registró una precipitación nacional acumulada por debajo de la normal <600 mm para el 2011 y 670.8 mm para el 2012 siendo que el promedio anual registrado desde 1951 hasta 2011 es de 708.6 mm, esto los hace años registrados con periodo de sequía. En el RF hay variabilidad de la calidad del agua dentro de su cauce, el cual presenta una serie de condiciones que varían drásticamente en el ecosistema acuático. En periodos de sequía el riesgo está latente para especies sensibles en: Dren Paredones (2), Dren Bachoco (0), Estero JJR (1), Desemboque RF Sur (3), Desemboque

Figura 4. Distribución de puntos muestreados y condiciones de utilización aplicados por tipo de uso potencial que se le puede dar al agua en el área de estudio.



© Rodríguez, H., González, L., Trigueros, J., Ávila, J., Arciniega, M., *Revista Ciencia desde el Occidente*, Vol. 3, Núm. 1, 2016

Figura 5. Valor del ICA por grupo muestreado: a) cinco drenes agrícolas, b) catorce afluentes y, c) tres presas, donde se muestran los valores encontrados para el intervalo de confianza al 90% de confiabilidad y 5% de error ($\alpha/2$). Las zonas sombreadas muestran el rango que corresponde a cada grupo analizado.



© Rodríguez, H., González, L., Trigueros, J., Ávila, J., Arciniega, M., *Revista Ciencia desde el Occidente*, Vol. 3, Núm. 1, 2016

RF Norte-Canal- (5), Desemboque RF Norte (4), Presa MH (17), Salida PMH (21), Rancho Nuevo (8), Presa JO (16), Km. 19, Canalón (9). Las actividades públicas recreativas en el RF son un riesgo en Dren Bachoco (0), Estero JJR (1), Dren Paredones (2) y Desemboque RF Norte (3), el resto son aceptables más no recomendables. El grupo **b** y **a** presenta valores en el ICA por debajo de 60, con características similares a las de un dren del grupo **a**. En sequía, el cauce del RF presenta condiciones de calidad poco aceptables, a un nivel en el cual se pone en riesgo la salud de la población, al exponerla a concentraciones de químicos relativamente pequeñas pero que podrían causar intoxicación crónica. En cinco canales del grupo **b**: Salida PMH (21), Rancho Nuevo (8), Desemboque RF Norte y Sur presentaron los valores del ICA similares a los del grupo **a** (Drenes) jus-

to antes de su liberación en cuerpos de agua receptores: Dren Bachoco (0), Estero JJR (1), Dren Paredones (2), Desemboque RF Sur (3). El grupo **b**, presentó restricciones en algunos puntos para uso público. En general, no se encontró ningún sitio con calidad de agua aceptable más que para uso agrícola.

AGRADECIMIENTOS

Al Programa de Mejoramiento del Profesorado (PRO-MEP) por permitir el impulso de este tipo de trabajos de investigación y alentar el desarrollo Docente y Académico de nuestros Profesores. Asimismo, a los alumnos Karla Liliana Osornio Armenta, David Martínez y Asbel Itahi de la Cruz, por el valioso tiempo y trabajo invertido en este proyecto.

REFERENCIAS

- Aguilar, A. & R. Pérez (2008). La Contaminación del agua agrícola en México: retos y perspectivas. *Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, 39(153), 10
- Assaf, H. & M. Saadeh (2008). Assessing water quality management options in the Upper Litani Basin, Lebanon, using an integrated GIS-based decision support system. *Environmental Modelling & Software*, 23(10/11), 1327-1337
- Cabrera, J. (2011). Heladas afectan cultivos en Sinaloa. Disponible en línea en: <http://www.eluniversal.com.mx/notas/742933.html> (consultado el 06 de febrero, 2011)
- CONAGUA (2001). Perspectivas de Aprovechamiento de las Aguas Residuales en la Agricultura. SEMARNAT-IMTA, Jiutepec, Mor.
- CONAGUA (2010). Estadísticas del Agua en México, edición 2010. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, D.F.
- Cruz, M. (2001). Local-level responses to environmental degradation in Northwestern Mexico. *Journal of Anthropological Research*, 57(2), 26
- Escobedo, D. (2010). Diagnóstico y descripción del proceso de eutrofización en lagunas costeras del norte de Sinaloa. Maestría en Manejo de Recursos Marinos, Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. La Paz, B.C.S., México, 273 p.
- Gómez-Marín, A., D. Naranjo, A. Martínez y D. Gallego (2007). Calidad del agua en la parte alta de las Cuencas Juan Cojo y El Salado (Girardota-Antioquia, Colombia). *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín*, 60(1), 3735-3749
- INEGI (2011). Datos de Relieve, Continental. Disponible en línea en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/Descarga.aspx> (consultado el 16 de noviembre, 2011)
- INEGI (2012). Simulador de Flujo de Agua de Cuencas Hidrológicas. Disponible en línea en: http://www.inegi.org.mx/red_hidro/SIATL/ (consultado el 12 de agosto, 2012)
- Jáuregui, C., S. Ramírez, M. Espinosa, R. Tovar, B. Quintero e I. Rodríguez (2007). Impacto de la descarga de aguas residuales en la calidad del río Mololoa (Nayarit, México) y propuestas de solución. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 3(1), 65-73
- Martínez Valenzuela, Carmen; S. Gómez Arroyo; R. Villalobos Pietrini; S. Waliszewski; M. E. Calderón Segura; R. Félix Gastélum; y A. Álvarez Torrez. (2009). Genotoxic biomonitoring of agricultural workers exposed to pesticides in the north of Sinaloa State, México. *Environment International*. (35): 1155-1159.
- Ojeda, W., J. González, E. Sifuentes, E. Isidro y L. Rendón (2007). Using spatial information systems to improve water management in Mexico. *Agricultural Water Management*, 89(1-2), 81-88
- Páez, F., G. Ramírez, A. Ruiz y M. Soto (2007). La contaminación por nitrógeno y fósforo en Sinaloa: flujos, fuentes, efectos y opciones de manejo. F. Páez Osuna Ed., UNAM, El Colegio de Sinaloa, SEMARNAT, CONACYT, México, D. F. 304 p.
- Posada J., G. Roldán y J. Ramírez (2000). Caracterización fisicoquímica y biológica de la calidad de aguas de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 48(1), 59-70
- Rai, P., A. Mishra and B. Tripathi (2010). Heavy metal and microbial pollution of the River Ganga: A case study of water quality at Varanasi. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 13(4), 352-361
- SAGARPA (2006). *Sinaloa, existencias ganaderas por especie según municipio. Delegación SAGARPA Sinaloa, Culiacán, Sin., México*. Tabla de datos
- SEMARNAT (2002). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México*. Disponible en línea en: http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas_2000/index.html (consultado en diciembre 2002-agosto 2003)
- Servicio Geológico Mexicano (2009). Carta Geológica Minera. Baca G12-B58. Pachuca, Hidalgo, México: INEGI.
- Walter, N. & C. Brown (2008). Use of probability-based sampling of water-quality indicators in supporting development of quality criteria. *ICES Journal of Marine Science*, 65(8), 1421-1422