



Análisis de la calidad del agua superficial del río Sabinal, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México

José Humberto Castañón González¹
Patricia Abraján Hernández²

RESUMEN

El río Sabinal es el principal cuerpo de agua que atraviesa en dirección poniente a oriente de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, capital del estado de Chiapas. Debido al acelerado crecimiento de la población y a través de los años, este río se ha contaminado paulatinamente y actualmente está constituido por aguas residuales provenientes de uso doméstico, municipal, industrial, de servicios, agrícolas, así como la mezcla de ellas.

Para el estudio del río Sabinal se ubicaron cinco puntos de muestreo iniciando en las pozas de Berriozábal hasta la desembocadura al río Grijalva. En general, el agua superficial del río Sabinal se encuentra altamente contaminada en la zona media y final de éste. Se registraron altas concentraciones de DBO₅, DQO, nitrógeno amoniacal, sólidos suspendidos y sedimentables, así como de los coliformes totales y fecales, estos parámetros se encuentran fuera de los límites máximos permisibles de la NOM-001-ECOL-1996 y NOM-127-SSA1-1994.

Palabras claves: río Sabinal, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, agua superficial, muestreo, agua residual, contaminación.

ABSTRACT

The Sabinal river is the main body of water flowing through heading west to east the city of Tuxtla Gutierrez, Chiapas state capital. Due to rapid population growth and over the years, this river has been polluted slowly and is currently made up of wastewater from domestic, municipal, industrial, services, agriculture, and the mixture of them.

For this study, in the Sabinal River is located five sampling points, starting in pools of Berriozábal to the mouth river Grijalva. In general, the Sabinal river surface water is highly contaminated in the middle and end of river. There were high concentrations of DBO₅, DQO, ammonia nitrogen, suspended solids and sediments, as well as total and fecal coliforms, these parameters are outside the maximum permissible limits of NOM-001-ECOL-1996 and NOM-127 - SSA1-1994.

Keywords: Sabinal river, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, surface water, sampling, wastewater, pollution.

INTRODUCCIÓN

La calidad del agua, término que agrupa al conjunto de propiedades físicas, químicas y biológicas del agua, es el resultado de dos causas principales: (1) actividades antropogénicas (actividades donde interviene el hombre) y (2) el natural ciclo hidrológico. Existe cierta posibilidad de modificar la primera, influir en la segunda plantea retos muy difíciles de lograr (León, 1992).

¹ Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

² Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Libramiento Norte Poniente S/N Colonia Lajas Maciel. CP 29039 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
abrajanhp@hotmail.com

En el manejo de la calidad del agua según Sanders, *et al.* (1983), los esfuerzos para evaluar y controlar la contaminación deben estar dirigidos a atenuar el impacto que la sociedad impone en su desarrollo. Se ha reconocido a nivel mundial que para la protección efectiva de los recursos naturales se requiere conocer a detalle las condiciones ambientales existentes, así como la habilidad de detectar y medir cambios en dichas condiciones.

En particular, el río Sabinal es un afluente complejo, ya que está integrado a lo largo de su cauce por tramos a cielo abierto (al descampado y superficie de calle), embovedado, y entubado. El río Sabinal y sus tributarios han sufrido varios desbordamientos de sus cauces lo cual se atribuye a diversos factores como son: fuertes precipitaciones, construcciones irregulares en el margen del río, erosiones que provoca asolvamiento, basura, descargas de aguas negras, entre otras. También, se ha detectado que los servicios de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, son insuficientes por la presencia de un sinnúmero de fugas, roturas y asentamientos. Lo anterior, provoca daños y perturbaciones al medio ambiente, alcanzando proporciones que en muchos sitios constituye un grave riesgo para la salud y el bienestar de los habitantes (Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, 2001).

La Comisión Nacional de Agua (Conagua) ha reportado que el río Sabinal presenta un Índice de Calidad de Agua (ICA) de 34, lo cual se interpreta que el agua que corre en el cauce es inaceptable para el abastecimiento público, tolerables sólo para organismos muy resistentes y con previo tratamiento mayor para la industria (Instituto Nacional de Ecología, 2005). Enfermedades a causa de coliformes se pueden transmitir a través del suelo o agua. El mecanismo se da mediante una fuente de contaminación, una vía de transmisión y de habitantes susceptibles a enfermarse (Tebbutt, 1993).

Debido a lo anterior, el presente estudio evaluó la calidad del agua del río Sabinal de acuerdo a indicadores fisicoquímicos y microbiológicos, con base en las Normas Oficiales Mexicanas, NOM-001-ECOL-1996, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de *aguas residuales* en aguas y bienes nacionales y la NOM-127-SSA1-1994, en donde establece los límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para uso y consumo humano.

INDICADORES DE CONTAMINANTES FISICOQUÍMICOS

Temperatura

Un aumento de la temperatura produce efectos sobre la concentración de oxígeno disuelto, velocidad de reacciones bioquímicas, pH, toxicidad causando perturbaciones ecológicas en el curso del agua; además de afectar la actividad física de los animales acuáticos (Medina, 2002; Ludevid, 1998).

Conductividad

La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica, depende de la concentración de sustancias disueltas ionizadas en el agua y la temperatura a la cual se haga la determinación. Este factor está íntimamente relacionado con la suma de los cationes o aniones determinados químicamente y constituye un parámetro básico de evaluación en la calidad del agua (Medina, 2002).

pH

La mayor cantidad del agua superficial varía desde 6 hasta 8 de pH. El agua natural puede tener pH ácido por el dióxido de carbono disuelto desde la atmósfera o proveniente de los seres vivos o por ácido sulfúrico procedente de algunos minerales. El agua normal de las corrientes superficiales casi no contiene alcalini-

dad de carbonato y si su contenido de calcio es apreciable debe registrar un pH inferior a 8.2, siendo así la principal sustancia básica en el agua natural que puede reaccionar con el dióxido de carbono formando un sistema amortiguador carbonato/bicarbonato (Peña, *et al.*, 2000; Medina, 2002).

Oxígeno disuelto

El oxígeno libre disuelto es el reactivo esencial para la generación de los procesos aeróbicos; cuando los organismos aeróbicos utilizan los nutrientes orgánicos, consumen al mismo tiempo el oxígeno disuelto, si no se repone el oxígeno disuelto, el crecimiento aeróbico se detiene cuando se agota este elemento y sólo pueden continuar los procesos anaeróbicos lentos y malolientes. La disponibilidad del oxígeno libre disuelto en el agua es, por tanto, el factor clave que limita la capacidad de autopurificación de una corriente de agua (Roldán, 2003).

Demanda química de oxígeno (DQO)

La DQO determina la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar a la materia orgánica de aguas de desecho, por medio de un agente oxidante bajo ciertas condiciones de acidez, temperatura y tiempo, transformando la materia orgánica en bióxido de carbono y agua. Una de las principales limitaciones de la prueba es de oxidar la materia orgánica sin determinar su degradabilidad biológica (García, 2002).

Sólidos totales

Los sólidos totales son materiales suspendidos o disueltos en aguas limpias y aguas residuales. Los sólidos totales, incluyen los sólidos suspendidos totales que es una porción de sólidos totales retenidos por un filtro y los sólidos disueltos totales, es la porción de sólidos totales que atraviesan el filtro. Los sólidos totales pueden afectar negativamente a la calidad del agua o a su suministro de varias maneras, además de actuar como

medio de transporte para microorganismos patógenos. Los contenidos mayores de sólidos pueden impedir la penetración de la luz, disminuir el oxígeno disuelto y limitar entonces el desarrollo de la vida acuática (García, *et al.*, 1998).

Nitrógeno amoniacal

La contaminación de una corriente de agua por un fuerte crecimiento orgánico estimulado por nutrientes inorgánico, se conoce como eutrofización. Los compuestos orgánicos de nitrógeno están presentes en los desechos domésticos y agrícolas; por otra parte, los compuestos inorgánicos de nitrógeno se encuentran en ciertos desechos industriales y fertilizantes agrícolas. Para la fauna acuática el nitrógeno amoniacal es tóxico en concentraciones en el agua de unas cuantas partes por millón. Un incremento súbito del contenido normal de nitrógeno amoniacal en un agua implica la presencia de contaminación de aguas residuales (Romero, 1999).

Nitratos

Algunas veces el amoníaco del agua proviene de la descomposición del agua negra y del escurrimiento agrícola. Este amoníaco se oxida fácilmente a través de la reacción de ciertos organismos, formando nitratos; a este proceso se le conoce con el nombre de nitrificación. En casi toda el agua natural existe pequeñas cantidades de nitratos y generalmente su concentración varía de 0 a 70 mg/l. En 1940 se descubrió que las aguas con un alto contenido de nitratos producen enfermedades en los niños, especialmente en los menores de 3 años (Perdomo, *et al.*, 2001).

Nitritos

La presencia de nitritos en el agua es un indicio de la contaminación por aguas negras o desechos animales; también puede existir si los abastecimientos de agua que contienen nitrato entran en contacto con ciertos

materiales reductores. Cuando el agua usada para preparar alimentos contiene nitritos se corre el riesgo de que se puedan formar sustancias carcinogénicas llamadas nitrosaminas, por combinación con los compuestos de nitrógeno orgánico que se forman a su vez por la descomposición de la proteína presente en los alimentos (Medina, 2002).

Fósforo

El fósforo es un elemento esencial en el crecimiento de plantas y animales. Actualmente es considerado como uno de los nutrientes que controla el crecimiento de algas. Un exceso de fósforo produce un desarrollo acelerado de algas, las cuales consumen el oxígeno deteriorando la calidad del agua. Cabe señalar, que en el crecimiento microbiano se asimila al fósforo en forma de fosfatos. Teniendo en cuenta la importancia del fósforo como nutriente, su determinación es necesaria en estudios de contaminación de ríos, lagos y embalses, así como en los procesos químicos y biológicos de purificación y tratamientos de agua residual (Kemmer y col., 1989).

Alcalinidad

La alcalinidad de un agua residual está provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, el magnesio, el sodio, el potasio o el amoníaco. La alcalinidad ayuda a regular los cambios de pH producidos por la adición de ácidos y se determina por titulación con un ácido normalizado, expresándose los resultados en carbonato de calcio, CaCO_3 (Romero, 1999).

Dureza

La dureza se origina al contacto del agua con los suelos de formaciones rocosas y en áreas donde la capa de suelo es gruesa y hay calizas presentes. No presenta problemas aparentes para la biota acuática (Romero, 1999).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

La DBO₅ es una prueba que mide la cantidad de oxígeno consumido en la degradación bioquímica de la materia orgánica mediante procesos biológicos aerobios, por ejemplo el oxígeno requerido por las bacterias para descomponer la materia orgánica bajo condiciones aeróbicas. Existen diversas variantes de la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno, entre ellas las que se refieren al período de incubación. La más frecuente es la determinación de DBO a los cinco días (DBO₅). Es un método aplicable en aguas superficiales continentales (ríos, lagos, acuíferos, etc.), aguas residuales o cualquier agua que pueda contener una cantidad apreciable de materia orgánica (Doménech y col., 2006).

Indicadores microbiológicos

Los agentes patógenos transmitidos por el agua constituyen un problema mundial, que demanda un urgente control mediante la implementación de medidas de protección ambiental, a fin de evitar el incremento de las enfermedades relacionadas con la calidad del agua (Vargas, 1996).

Con respecto a la composición biológica de las aguas superficiales y aguas residuales, que es la parte viva natural de la materia orgánica, contiene un número incalculable de organismos, como bacterias y otros microorganismos vivos más complejos, cuyas actividades son las que causan el proceso de descomposición (Jones, *et al.*, 1998; Escamiroso, 1999).

En la actualidad se conoce una gama de enfermedades transmitidas por el agua, causadas por diferentes microorganismos: bacterias, protozoarios (gusanos), helmintos (lombrices) y virus. Además, las enfermedades hídricas (fiebre tifoidea, disentería, cólera, etc.) más comunes son aquellas que se propagan por el agua contaminada con heces u orina humana, localizadas en las aguas residuales municipales (Escamiroso, 1999; Hildebrandt, *et al.*, 2006).

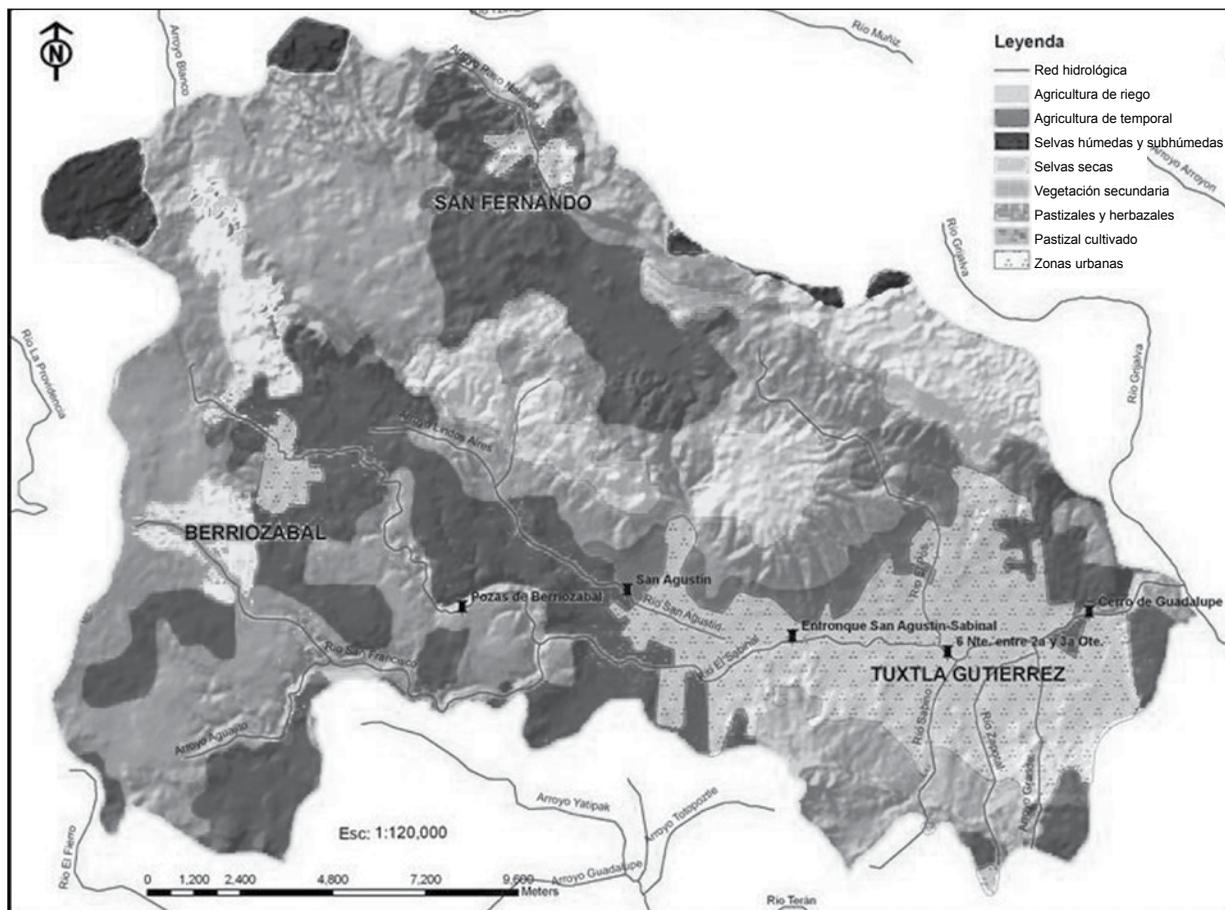


Figura 1 ■ Ubicación geográfica de los puntos de muestreo en el río Sabinal.

La evaluación de la calidad microbiológica del agua se basa en la determinación de indicadores en el grupo de coliformes totales y fecales. Los coliformes totales son resistentes naturales en el suelo y agua. Los coliformes fecales provienen del tracto intestinal de animales de sangre caliente, los cuales son los mejores indicadores de riesgo de afecciones humanas. La especie, *Escherichia coli* es el principal indicador de los coliformes fecales en el agua. (Perdomo, *et al.*, 2001; Cáceres, 1990).

METODOLOGÍA

El estudio se llevó al cabo en el periodo de abril a octubre de 2007. En un mapa se marcaron 5 puntos de muestreo y se georeferenciaron (cuadro y figura 1).

Se realizaron los muestreos, en temporadas de estiaje y de lluvia, en cada salida de muestreo se determinaron parámetros en campo como fue: temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto. En total se recolectaron 33 muestras de agua para el análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Se realizaron los análisis de laboratorio de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas y se compararon con las: NOM-127-SSA1-1994 y NOM-001-ECOL-1996.

RESULTADO Y DISCUSIÓN

Parámetros de campo

La temperatura del agua registró una temperatura promedio de 26.0 °c y una desviación estándar de

Cuadro 1 ■ Puntos de muestreo georeferenciados del río Sabinal.

PUNTO DE MUESTREO	UBICACIÓN
1. Pozas de Berriozábal	Latitud: 16° 45´ 57.5´´ Longitud: 93° 13´ 46.7´´
2. San Agustín	Latitud: 16° 46´ 11.9´´ Longitud: 93° 11´ 22.0´´
3. San Agustín-Río Sabinal	Latitud: 16° 45´ 33.5´´ Longitud: 93° 08´ 57.7´´
4. 6 Nte. entre 2ª y 3ª Ote.	Latitud: 16° 46´ 12.1´´ Longitud: 93° 11´ 22.1´´
5. Cerro de Guadalupe	Latitud: 16° 45´ 53.6´´ Longitud: 93° 04´ 37.7´´

±3.7. El pH, nos indicó que el río Sabinal contiene agua superficial moderadamente básica. Por otra parte, el oxígeno disuelto en la mayoría de los puntos de muestreo registró niveles muy bajos.

El oxígeno disuelto bajo, indica que como reactivo esencial para la generación de los procesos aeróbicos, al no haber una concentración suficiente de este compuesto el proceso aeróbico se detiene y sólo pueden continuar los procesos anaeróbicos que son lentos y malolientes, como se observaron en los tres últimos puntos de muestreo 3, 4 y 5 (San Agustín-río Sabinal, 6ª Nte. Ote. y Cerro de Guadalupe). Así también, la conductividad con un valor promedio de 911 µS/cm no representa ningún riesgo para el desarrollo de la vida acuática y del medio ambiente (cuadro 2).

Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Los análisis de laboratorio se registraron concentraciones de DBO₅ dentro del límite máximo permisible de la NOM-001-ECOL-1996, la cual es de 75 mg/L.

De acuerdo a los resultados obtenidos de dureza total en la subcuenca del río Sabinal, los valores se encuentran dentro del límite permitido de 500 mg/L que estipula la NOM-127-SSA1-1994. Sin embargo,

el promedio que se registró en el cuerpo de agua es de 379.98 mg/L, lo cual nos indica que el agua superficial pertenece a una clasificación de muy dura; debido a la disolución de sulfatos cálcicos o magnésicos que no precipitan.

La NOM-127-SSA1-1994 establece para el nitrógeno amoniacal una concentración de 0.5 mg/L y los resultados arrojaron una concentración mayor en los cinco puntos de muestreo. Las concentraciones más altas se registran en el punto de muestreo 5 (cerro de Guadalupe) y es en este sitio donde el nitrógeno amoniacal es tóxico para la fauna acuática. Cabe mencionar que el incremento del contenido normal de este parámetro en el agua, implica la presencia de agua residual.

Cabe mencionar, que la presencia de nitritos en el agua es un indicio de la contaminación por agua negra, deshechos animales o por la reducción de nitratos que contenga el cuerpo de agua y en este estudio los puntos que están fuera de la concentración de 0.05 mg/L de nitritos de la NOM-127-SSA1-1994, son el 1 y 3 (pozas de Berriozábal y río San Agustín-río Sabinal). La causa de las concentraciones altas se registraron en los meses de julio y agosto, las cuales corresponden a la temporada de lluvias, es debido que éstas arrastran contaminantes del suelo hacia el río. Además, la filtración del contenido de fosas sépticas o drenajes fragmentados, cuyo contenido llega al agua superficial del río Sabinal.

En la determinación de la demanda química de oxígeno se obtuvieron concentraciones que nos indican el contenido de materia orgánica del río Sabinal en la categoría de aguas naturales de acuerdo a la literatura, un río no contaminado registra valores de DQO en un rango aproximado de 1 a 5 mg/L y por los resultados registrados las concentraciones fuera de ese rango lo presentan los tres últimos puntos de muestreo 3,4 y 5 (San Agustín-río Sabinal, 6ª Nte. Ote. y Cerro de Guadalupe).

Cuadro 2 ■ Resultados de los parámetros de campo.

FECHA DE MUESTREO	PUNTO DE MUESTREO	TEMP. AMBIENTE	TEMP. DEL AGUA	PARÁMETROS DE CAMPO		
				pH	OXIG.DISUELTO mg/l	CONDUCTIVIDAD μ S/cm
26/04/07	1	30 °C	29.9 °C	8.30	7.67	973
	5	34 °C	31.0 °C	7.60	0.07	1386
17/07/07	1	24 °C	23.1 °C	8.37	7.36	851
	2	27 °C	24.3 °C	8.02	6.82	682
	3	30 °C	26.0 °C	8.18	4.05	754
	4	31 °C	31.8 °C	7.58	2.68	1114
	5	32 °C	31.3 °C	7.74	2.77	1100
21/08/07	1	24 °C	23.5 °C	8.06	7.10	850
	2	25 °C	23.0 °C	8.11	6.62	512
	3	27 °C	24.8 °C	7.87	2.50	752
	4	29 °C	28.0 °C	7.64	2.72	1092
	5	28 °C	27.7 °C	7.59	0.01	1201
30/10/07	2	23 °C	22.0 °C	8.37	3.89	701
	3	25 °C	21.5 °C	7.75	2.15	762
	4	24 °C	22.0 °C	7.50	1.89	935

Cabe mencionar que la relación entre los valores de DBO₅ y DQO es indicativa de la biodegradabilidad de la materia contaminante. En agua residual un valor de la relación DBO/DQO menor de 0.2 se interpreta como un vertido de tipo inorgánico y si es mayor de 0.6 de tipo orgánico (Doménech y col., 2006).

Los sólidos suspendidos y sedimentables obtenidos del análisis de laboratorio la mayoría se encuentran dentro de los límites máximos permisibles de la NOM-001-ECOL-1996. Sin embargo, haciendo un énfasis con respecto a las fechas de muestreo, los niveles altos de sólidos se encuentran en los meses de estiaje (abril y octubre) y en particular en los puntos de muestreo 3, 4 y 5 (San Agustín-río Sabinal, 6^a Nte. Ote. y Cerro de Guadalupe). En general, los sólidos pueden afectar negativamente la calidad del agua para su aprovechamiento, ya que, el agua con abundantes sólidos suele ser de inferior potabilidad.

Las Normas Oficiales Mexicanas NOM-127-SSA1-1994 y NOM-001-ECOL-1996 establecen estrictamen-

te el valor de 0 Unidad Formadora de Colonia por 100 mL (UFC/mL) de coliformes fecales en aguas naturales. Sin embargo, este indicador esta fuera de norma en los cinco puntos de muestreo. Como puede observarse en el cuadro 4, la concentración menor se registró en el punto 1 (pozas de Berriozábal) con un valor de 1010 UFC/100 mL y el más alto en el punto 5 (Cerro de Guadalupe) con 680 x 10⁵ UFC/100 mL en la misma fecha de muestreo. Es indudable que a lo largo del caudal del río Sabinal se incrementa paulatinamente en cada punto de muestreo estos microorganismos, ya que el agua superficial transporta las descargas del agua negra o domiciliaria de la ciudad.

La NOM- 127-SSA1-1994 establece el límite máximo permisible de 2 UFC/mL para los coliformes totales (cuadro 4). Los organismos patógenos se encontraron en mayor cantidad en los puntos de muestreo 3, 4 y 5 (San Agustín-río Sabinal, 6^a Nte. Ote. y cerro de Guadalupe) en los meses de julio y agosto (temporada de lluvia).

Cuadro 3 ■ Resultados de los parámetros fisicoquímicos.

PUNTO DE MUESTREO	1. Pozas de Berriozábal				2. San Agustín		
	26/04/07	12/06/07	17/07/07	21/08/07	17/07/07	21/08/07	30/10/07
PARAMETROS/UNIDADES	mg/l	Mg/l	mg/l	mg/l	Mg/l	mg/l	mg/l
DBO ₅	1.17	<3.0	6.14	<3.0	6.22	<3.0	<3.0
Dureza Total	ND	382.99	353.81	342.86	288.15	282.68	316.57
Alcalinidad Total	ND	316.62	274.11	285.41	255.17	243.09	285.57
Nitrógeno Amoniacal	ND	0.59	0.77	0.93	0.83	0.82	0.71
Nitrógeno Orgánico	ND	<0.4	0.83	0.55	0.83	0.60	<0.4
Nitrógeno Total Kjendhal	ND	0.99	1.61	1.47	1.67	1.42	ND
Fósforo Total	0.62	0.43	0.75	0.9	<0.108	<0.11	<0.11
Nitritos (N)	0.01	<0.01	0.078	0.04	<0.010	<0.01	<0.010
Nitratos (N)	6.49	7.18	9.03	8.8	1.66	1.38	0.00
DQO	<13.25	8.14	20.57	20.46	<5.0	6.30	<5.0
Sólidos Sedimentables	7	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.20
Sólidos Suspendidos T.	<0.1	32	28	20	44.00	46.00	104.00

ND: No Determinada.

CONCLUSIONES

Sin lugar a duda, la mayor contaminación al río Sabinal es la de origen domiciliario, de residuos sólidos y orgánicos. Esto se refleja en las concentraciones altas que se registraron de DBO₅, DQO, nitrógeno amoniacal, y por temporada de estiaje en los sólidos

suspendidos y sedimentables. Estos parámetros afectan el desarrollo de la fauna y la flora acuática.

Los microorganismos forman la parte biológica de la contaminación del agua superficial del río Sabinal y éstas pueden causar un riesgo a la salud pública. Los resultados de la cantidad de coliformes fecales y

3. San Agustín - Sabinal			4. 6 Nte. Entre 2ª y 3ª Ote.			5. Cerro de Guadalupe			
17/07/07	21/08/07	30/10/07	17/07/07	21/08/07	30/10/07	26/04/07	12/06/07	17/07/07	21/08/07
Mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
10.41	8.50	<3.0	14.50	7.16	<3.0	140.62	8.89	15.01	7.91
335.57	333.74	673.63	372.04	346.51	669.95	ND	324.63	339.22	337.39
310.99	350.37	313.91	343.88	370.05	287.75	ND	346.27	433.59	362.18
6.84	13.33	0.59	12.73	13.38	0.71	ND	18.04	33.54	13.27
0.77	0.82	0.59	7.49	2.51	0.53	ND	7.7	27.24	7.21
7.61	14.14	1.18	20.22	15.89	1.24	ND	25.74	60.78	20.48
1.3	0.46	1.00	4.80	1.90	1.00	7.93	6.42	5.01	1.8
0.098	0.09	<0.01	<0.010	<0.01	0.03	<0.00054	<0.01	<0.010	<0.01
0.73	0.44	1.85	0.82	1.44	1.70	0.041	<0.16	0.472	0.91
46.63	98.38	60.09	205.72	183.63	ND	291	252.98	205.72	216.43
0.1	0.10	1.60	0.50	1.20	1.80	45	1.1	0.20	3.1
20	64.00	920.00	116.00	128.00	868.00	1.7	214	100	172

totales, se encuentran fuera de las normas, obteniendo las mínimas concentraciones en la temporada de estiaje del mes de octubre.

En resumen, los sitios más impactados de acuerdo a los indicadores de contaminantes analizados son los puntos 2, 3, 4 y 5 (río San Agustín, entronque río

San Agustín-río Sabinal, 6ª Nte. Ote. y Cerro de Guadalupe) principalmente en temporada de lluvia. La ubicación de estos puntos de muestreo, se encuentran dentro de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, por lo que, éstos han sido afectados por las actividades antropogénicas de la urbanización.

Cuadro 4 ■ Resultados de los parámetros microbiológicos

PARÁMETRO	COLIFORMES FECALES				COLIFORMES TOTALES			
	FECHA DE MUESTREO	26/04/07	17/07/07	21/08/07	30/10/07	26/04/07	17/07/07	21/08/07
PUNTO DE MUESTREO ↓	UFC/100 ml				UFC/100 ml			
1. Pozas de Berriozábal	1.07 x 10 ²	>2 x 10 ³	1.01 x 10 ³	ND	1.04 x 10 ²	>2 x 10 ³	6.06 x 10 ³	ND
2. San Agustín	ND	9.5 x 10 ³	1.41 x 10 ⁴	2.12 x 10 ³	ND	> 2 x 10 ⁴	2.73 x 10 ⁴	1.20 x 10 ⁴
3. San Agustín - Sabinal	ND	> 2 x 10 ⁴	1.8 x 10 ⁷	2.42 x 10 ⁵	ND	> 2 x 10 ⁴	3.9 x 10 ⁷	7.27 x 10 ⁵
4. 6 Nte. entre 2ª y 3ª Ote.	ND	2.5 x 10 ⁷	3.4 x 10 ⁷	8.89 x 10 ⁵	ND	> 2 x 10 ⁸	5.96 x 10 ⁷	1.24 x 10 ⁶
5. Cerro de Guadalupe	26 x 10 ⁶	6.8 x 10 ⁷	3.64 x 10 ⁷	ND	37 x 10 ⁶	>2 x 10 ⁸	>2.02 x 10 ⁸	ND

AGRADECIMIENTOS

Por su apoyo a este estudio, al personal del laboratorio de monitoreo ambiental del IHN y al laboratorio de Conagua, unidad Tuxtla Gutiérrez.

LITERATURA CITADA

CÁCERES, L. O., 1990, *Desinfección del agua*, Ministerio de Salud-OPS, Lima, Perú.

DOMÉNECH, X. y PERAL, J., 2006, *Química ambiental de sistemas terrestres*, Reverté, Barcelona, España.

ESCAMIROSA, L. F., 1999, *Caracterización y tratamiento del agua residual de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*, Dirección de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Chiapas.

GARCÍA, C. J., 2002, *Estado actual de la contaminación por metales pesados y pesticidas organoclorados en el parque natural de Monfragüe*, Tesis de doctorado, Ciencias Ambientales, España.

GARCÍA, C. J., MARTÍNEZ, S., COLÓN, T. L., CUEVAS, M. R. Y MEMIJE, N. P., 1998, *Técnicas alternativas de evaluación de la calidad del agua en el sistema lagunar del Carmen, Tabasco*, Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua.

HILDEBRANDT, A., LACORTE S., AND BARCELÓ, D., 2006, "Sampling of Water, Soil and Sediment to Trace Organic Pollutants at a River-Basin Scale", en *Anal Bioanal Chem. Review*, 386(4): 1075-1088, s.l.

INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA, 2005, *La cuenca de los ríos Grijalva y Usumacinta*, México, <http://www.institutonacionaldeecologia.gob.mx>.

JONES, J. G., 1998, "Calidad microbiológica del agua: características del problema", en *Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, no. 37, pp. 48- 53.

KEMMER, F. N., y McCALLION, J. 1989, *Manual del agua, su naturaleza, tratamiento y aplicaciones*, tomo I, 1ª ed. McGraw Hill, México.

LEÓN, V. L. F., 1992, "Sistemas de información geográficos en calidad del agua", en *Anuario IMTA*, México, D.F., pp. 20-25.

LUDEVID, M., 1998, *El cambio global en el medio ambiente. Introducción a sus causas humanas*, Alfa Omega, Barcelona, España, 25-32. p.

MEDINA, P. N., 2002, *Estudio hidrobiológico de la cuenca del río Armería para las predicciones de un desarrollo sustentable*, Universidad de Colima, México.

PEÑA, C., CARTER, D., y AYALA-FIERRO, F., 2000, Toxicología ambiental. Evaluación de riesgos y restauración ambiental, The University the Arizona, USA.

PERDOMO, C. H., CASANOVA, O. N. y CIGANDA, V. S., 2001, "Contaminación de aguas subterráneas con nitratos y coliformes en el litoral sudoeste del Uruguay", en *Agrociencia*, 5(1):10-22.

ROLDÁN, G., 2003, *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia*, 1ª edición, Universidad de Antioquia, Colombia.

ROMERO, L., 1999, *Calidad del agua*, 2ª edición, Alfa Omega, México.

SANDERS, T.G., WARD J. C., LOFTIS T. D. and STEELE D.D., 1983, "Design of Networks for Monitoring Water Quality", en 1ª edition, *Water Resources Publications*, Colorado, USA.. 270. p.

SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGÍA, 2001, *Actualización del Programa de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas 2001-2020*, México.

TEBBUTT, T. H. Y., 1993, *Fundamentos de control de la calidad del agua*, versión en español, Limusa, México.

VARGAS, G. C., 1996, *Control de calidad del agua en la red de distribución*, CEPIS, s.l.



