
Deterioro socio-ambiental

y calidad del agua del río Tinaquillo,
estado Cojedes, Venezuela

Socio-environmental deterioration and water quality
of the Tinaquillo River, Cojedes State, Venezuela

Marlenis Aguilar¹

Edgar Jaimes²

Franklin Paredes Trejo³

¹ Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas. Venezuela.

² Universidad de Los Andes, Núcleo Universitario "Rafael Rangel". Trujillo, Venezuela.

³ Universidad Nacional Ezequiel Zamora, Departamento de Ingeniería Civil. San Carlos, Cojedes, Venezuela.

marlenisaguilar9@gmail.com; jaimes.5060@gmail.ve; <http://orcid.org/0000-0003-3653-0241>;

franklinparedes75@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-3356-602X>

Resumen

El objetivo del trabajo fue determinar el deterioro socio-ambiental y su relación con la calidad física, química y microbiológica del agua del río Tinaquillo. El análisis del deterioro socio-ambiental se realizó con una matriz causa-efecto aplicada a 477 familias, en 39 sectores de la subcuenca. Se capturaron muestras de agua en 8 puntos del cauce del río, cuya longitud de estudio fue 36,99 km. Las muestras fueron procesadas en un laboratorio del Ministerio del Ambiente. Se comprobó que la subcuenca del río Tinaquillo exhibe un fuerte deterioro socio-ambiental que está impactando la calidad de sus aguas a consecuencia de altas concentraciones de contaminantes, sin ningún tratamiento previo, procedentes de las actividades agropecuarias, industriales y urbanas localizadas en los sectores altos y medios de la subcuenca; allí se evidenció que la degradación de la subcuenca contribuye con la degradación de la calidad de vida.

PALABRAS CLAVE: calidad del agua; contaminación socio-ambiental; calidad de vida.

Abstract

The objective of the work was to determine the socio-environmental deterioration and its relationship with the physical, chemical and microbiological quality of the water of the Tinaquillo river. The analysis of the socio-environmental deterioration was made by means of a cause-effect matrix applied to 477 families, in 39 sectors of the sub-basin. Water samples were collected at 8 points of the riverbed, whose study length was 36.99 km. The samples were processed in a laboratory of the Ministry of Environment. It was found that the sub-basin of the Tinaquillo river exhibits a strong socio-environmental deterioration that is impacting the quality of its waters as a result of high concentrations of pollutants, without any previous treatment, coming from agricultural, industrial and urban activities located in high and medium sectors of the sub-basin; Hence, the intensification of the degradation of the sub-basin was demonstrated, contributing to the decrease in life quality.

KEY WORDS: water quality; socio-environmental contamination; life quality.

1. Introducción

Las cuencas son espacios socio geográficos donde las personas y sus organizaciones comparten el territorio, sus identidades, tradiciones y culturas; socializan y trabajan en función de la disponibilidad de recursos (Faustino *et al.*, 2006); de allí que, una cuenca hidrográfica sea entendida y reconocida como un sistema termodinámicamente abierto (Jaimes *et al.*, 2015), en razón de las interacciones existentes entre sus componentes bióticos (suelo, agua, vegetación y actividad humana, actual y pasada) y abióticos (elementos del paisaje natural, que incluye el relieve, la geología y el complejo de geofomas que lo estructuran).

Además, la estructura, dinámica, tendencias evolutivas y, en general, la metaestabilidad de los subsistemas que componen una cuenca hidrográfica van a depender de la oferta, calidad y disposición de los recursos naturales que la componen, los cuales no siempre se encuentran dispuestos de manera coordinada o en armonía entre ellos, en el contexto ambiental donde la gente hace y construye su vida en sociedad (Jaimes *et al.*, 2005); de allí la importancia de caracterizar estos espacios geográficos, determinando el grado de intervención o deterioro, a los fines de establecer, a posteriori, la definición de planes de manejo integrales orientados a la corrección o mitigación de los impactos ocasionados por prácticas indebidas de usos de la tierra.

En efecto, Jaimes *et al.*, (2007; 2006) describieron un esquema metodológico multifactorial-participativo, fundamentado en la identificación de un conjunto de causas y efectos que están relacionados con el deterioro agroecológico y ambiental de cuencas productoras de agua, tomando en cuenta la participación activa de las comunidades y la definición de un conjunto de alternativas que pueden ser difundidas a través de los medios de comunicación locales; concluyendo que el esquema es útil para evaluar el deterioro socio-ambiental

y es adecuado para evaluar diferentes soluciones que surgen para abordar un mismo problema, proponiendo un instrumento que mide la percepción de causas y efectos de dicho deterioro.

El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARN, 2004) y la Empresa Regional para el Desarrollo Hidráulico del estado Cojedes (ERDHC, 1997), determinaron en la subcuenca del río Tinaquillo valores en grado de contaminación que sobrepasaban los valores establecidos en el Decreto 883, de fecha 11/10/1995 referente a 'Normas para el Control de Efluentes o Vertidos Líquidos', para cuerpos de agua debido a que los efluentes que llegan a los cursos de agua no son tratados adecuadamente antes de ser descargarlos en sus cauces.

Resultados similares obtuvieron Aguilar (2006) y Rodríguez (2006), pero considerando efluentes industriales procedentes de la industria textil que son descargados a los ríos Tinaquillo y Tinaco. Encontraron que estas descargas, además de contener altos niveles de color (1500 up /co); presentan concentraciones significativas de sulfuros ($7,20 \text{ mg x m}^{-3}$), sulfatos ($2282,76 \text{ mg x m}^{-3}$) y sólidos totales (3193 mg x m^{-3}); además de otras cargas contaminantes formadas por hidrocarburos, aceites y grasas, materia orgánica, coliformes totales y termo tolerantes, observando en algunos tramos la presencia de metales pesados y detergentes, principalmente en las épocas de estiaje o de caudales mínimos, los cuales ocasionan una alta toxicidad, elevando en forma significativa los costos de potabilización de estas aguas.

También Aguilar (2006) y Balza (2010) encontraron presencia de organismos patógenos, contaminación por aguas residuales e industriales y presencia de metales pesados, lo cual conlleva a considerar la hipótesis de que la cuenca del río Tinaco en el tramo Tinaquillo-Tinaco, presenta un alto grado de deterioro en cuanto a calidad del agua, sin dejar de desestimar que además de esta

condición pudieran existir otras variables que tengan incidencia directa o indirecta en el deterioro de la cuenca, considerando que se requieren tecnologías más avanzadas a las biológicas para la depuración de todos los contaminantes que recibe este cuerpo de agua.

Según Paredes (2009), el río Tinaco ha disminuido su gasto medio diario a razón de 1.072 m³/s por década, aunque la pluviosidad registrada en las estaciones meteorológicas representativas de la cuenca, no muestren tal tendencia; lo que hace suponer que tal comportamiento es consecuencia de los cambios en el uso de la tierra a nivel de la cuenca alta y media, y la sobreexplotación del cauce con fines de abastecimiento de agua para fines agrícolas, industriales y urbanos; de allí la importancia de realizar la caracterización físico, química y microbiológica del agua del río Tinaquillo y poder estimar el nivel de deterioro agroecológico y ambiental de esta subcuenca.

En este contexto es importante resaltar que ciertas prácticas de manejo de las tierras tienen un significativo costo ecológico; por ejemplo, la deforestación del terreno para transformarlo en un agroecosistema, necesario para incrementar la producción de alimentos; no obstante, incide negativamente en la biodiversidad; en la capacidad del epipedón y endopedón para almacenar carbono terrestre y agua, respectivamente; en el balance energético e hidrológico del ecosistema; en el aumento de los riesgos de erosión superficial del suelo y en la creciente contaminación del agua, superficial y subsuperficial, por efectos de los agroquímicos y desechos sólidos, peligrosos o no, que son vertidos directa o indirectamente en sus cauces o depósitos; son los factores-procesos que influyen en la degradación de la calidad del agua y, en general, de los recursos naturales de cualquier cuenca hidrográfica (Lal, 2017).

Teniendo como referencia los antecedentes antes indicados y los resultados obtenidos en

este estudio, los mismos constituirían una base documental para que los organismos públicos y privados conozcan el grado de afectación que actualmente exhiben los recursos naturales de la subcuenca del río Tinaquillo, principalmente el deterioro de la calidad del agua, a consecuencia del crecimiento anárquico de actividades que no están en concordancia con los planes de ordenamiento existentes en el estado Cojedes, y así estar en capacidad de tomar medidas para su mejor uso, manejo y conservación.

El objetivo de este trabajo fue determinar el grado de deterioro de la calidad del agua del río Tinaquillo, a partir de la valoración de sus parámetros físicos, químicos y microbiológicos y su relación con los factores socioambientales que pudieran estar vinculados con dicho deterioro.

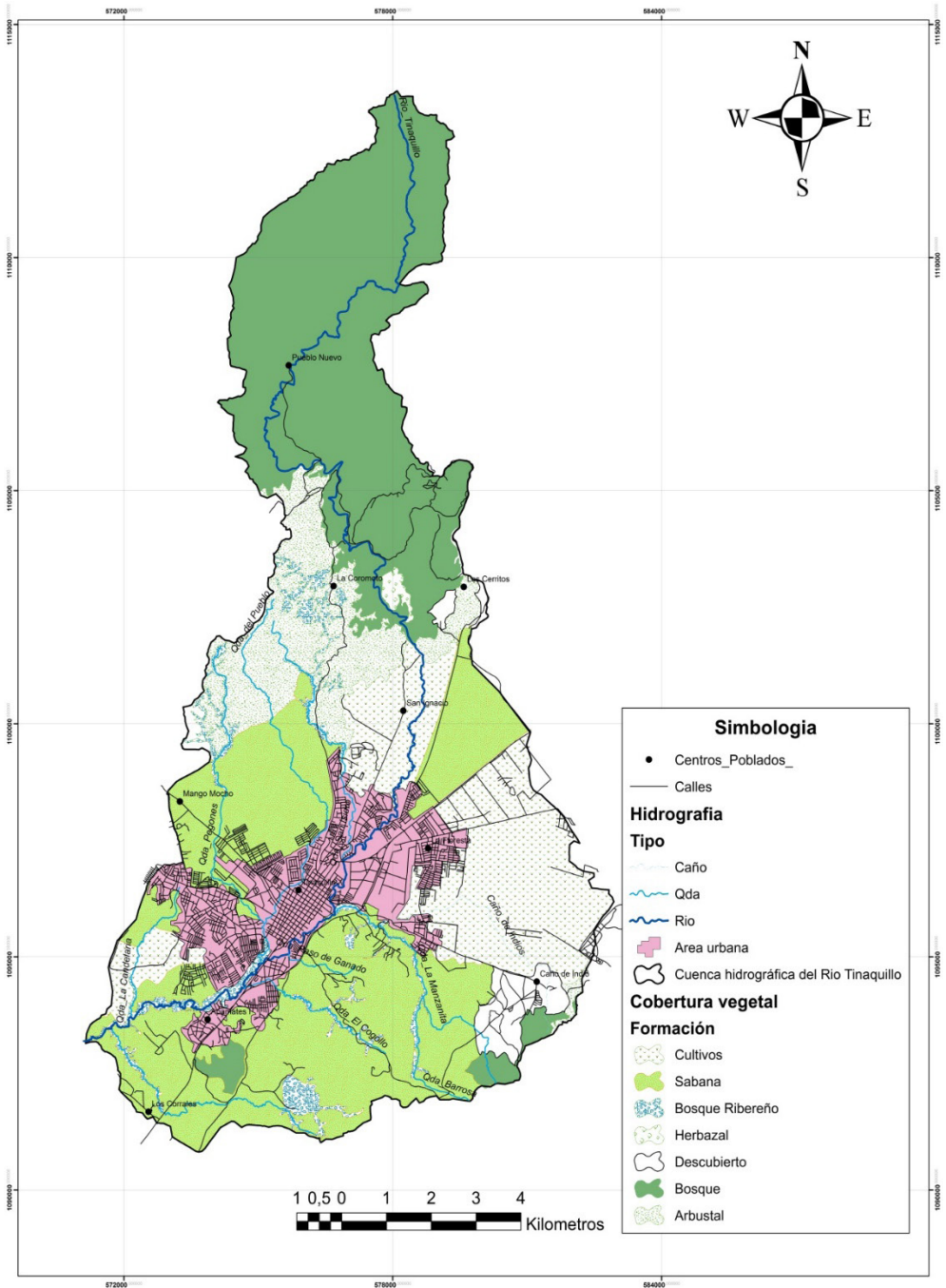
2. Metodología

2.1 Descripción y localización del área de estudio

El estado Cojedes cuenta con una cuenca (río Tinaco) que nace en su territorio, específicamente en la parte norte del municipio Tinaquillo, comprendiendo cuatro subcuencas (Tinaquillo, Tinapún, Tamanaco y Tinaco bajo), distribuidas en la parte alta, media y baja de la cuenca (FIGURA 1).

La importancia regional de la subcuenca del río Tinaquillo está asociada a que en sus tramos intermedios y bajos se ubican actividades rurales, periurbanas y urbanas, que requieren de las aguas del río para usos productivos agrícolas, industriales y consumo humano, concentrándose este uso en el eje urbano San Carlos-Tinaco-Tinaquillo, donde se localizan sistemas de acueductos para abastecer a las ciudades de San Carlos y Tinaco (MPPA, 2008). La ciudad de Tinaquillo se abastece de fuentes subterráneas (hasta ahora no cuantificadas) y del río Tírgua a través de la derivación de Las Mercedes, con un gasto de 150 a 300 lps

FIGURA 1 Área de la investigación subcuenca del río Tinaquillo, Venezuela, 2017



en el período seco y de lluvia, respectivamente. La producción actual de las Mercedes es de 800 lps, el excedente no utilizado por la ciudad de Tinaquillo suple el eje Tinaquillo-Tocuyito, este último en el vecino estado Carabobo.

La zona rural del municipio Tinaquillo cuenta con acueductos rurales y está previsto incorporarlos al acueducto matriz del municipio Tinaquillo. Los acueductos rurales de las poblaciones de Macapo y la Aguadita, también se abastecen con pozos de agua subterráneos (MPPA, 2008). Adicionalmente, existe un inventario de aguas subterráneas de 51 pozos con un nivel estático frecuentemente entre 5 y 6 m de profundidad en el municipio Tinaquillo, de los cuales 11 se destinan para uso industrial y 8 para consumo humano; el resto se utiliza principalmente para riego y consumo animal, en el municipio Tinaco (ERDHC, 1997).

Con respecto a las características socioeconómicas, se tiene que la subcuenca del río Tinaquillo concentra un 24% de la población del estado Cojedes, considerando solo al casco urbano y no la periferia de ésta (MINEA, 2017). La dinámica económica formada por la zona industrial de Tinaquillo, actividades mineras y el comercio en general impulsa a esta ciudad como principal centro receptor de la fuerza de trabajo y de las localidades vecinas. La actividad minera se orienta hacia la extracción de minerales no metálicos (arena y feldespatos), ya que Tinaquillo es considerada como el principal centro receptor de la fuerza de trabajo de las localidades y municipios vecinos. En cuanto a la dotación de servicios urbanos se puede afirmar que son críticos, en particular el del agua potable y deficientes los de eliminación de excretas, salud pública, electricidad, teléfono, saneamiento ambiental y recreación.

Entre las actividades económicas productivas predominantes se encuentra la agrícola, en renglones como maíz, batata y yuca; la pecuaria principalmente es dominada por la producción porcina y

avícola, constituyendo ambas la base económica principal de la subcuenca. En segundo orden de importancia, figuran los servicios prestados por los organismos de la administración pública, tanto nacionales, regionales y parroquiales. En tercer término, las actividades de comercio al mayor y minoristas (MPPA, 2008).

Al contrastar esto con el grado de afectación que presenta la subcuenca, se aprecia un avanzado grado de deterioro de la masa boscosa, producto de la intervención antrópica que desde varios años viene ocurriendo acorde con sus características climáticas; mientras que la sección alta de la subcuenca del río Tinaquillo, y en la que se localizan sus nacientes presenta una cobertura boscosa; en la sección baja predominan los usos agropecuarios, intensivos y semi-intensivos, parques industriales, centros poblados, lo que trae como consecuencia una fuerte intervención de la subcuenca, lo cual incide en el incremento del grado de deterioro socio-ambiental que afecta significativamente la calidad del agua del río Tinaquillo.

La subcuenca del río Tinaquillo es parte del paisaje del sistema montañoso del Caribe, separado por una falla tectónica de la cordillera de la Costa. Nace con el nombre de río Tinaquillo en la fila Naranjales, al norte de la ciudad de Tinaquillo, en los límites del estado Cojedes con Carabobo, cambiando de nombre al unirse, aguas abajo, con los ríos Tamanaco y Tinapún, donde comienza a llamarse río Tinaco. Posteriormente recibe otros afluentes importantes como son el río Macapo, río Orupe, Caño la Canoa, desembocando finalmente en el río Cojedes (MARNR, 2004). El área de la subcuenca del río Tinaquillo, objeto de esta investigación, es de 267,2 km².

2.2 Métodos de estudio

2.2.1 Relación causa-efecto

Se utilizó la matriz causa-efecto propuesta por Jaimes *et al.* (2006), modificada por Aguilar (2017),

con el propósito de establecer la relación entre las causas y los efectos que más inciden en el deterioro ambiental de la subcuenca del río Tinaquillo. Este instrumento se fundamenta en el principio de la causalidad como una forma de organizar y representar diferentes ideas sobre un problema.

La matriz causa-efecto (CUADRO 1) está estructurada por un conjunto de filas y columnas. En la columna 1, se asigna un código a cada una de las causas (p.ej. C1; C2....C6); en la 2, se describen, por medio de palabras clave, las diferentes causas que fueron consideradas en el estudio; desde la columna 3 hasta la 10, se colocan los códigos de cada uno de los efectos identificados (p.ej. E1; E2....E6). El cruce entre las causas y los efectos produce un total de 36 celdas en las que se colocan las valoraciones, que se indican más abajo y que se consideren pertinentes según la realidad de campo observada al momento de establecer la relación causa-efecto.

La columna 11 totaliza la sumatoria por cada una de las causas. La última columna indica el porcentaje de cada causa, considerando la totali-

dad de los efectos; así mismo, las dos últimas filas totalizan las sumatorias y el porcentaje para cada uno de los efectos, considerando todas las causas.

La leyenda para los 06 efectos asociados al deterioro ambiental de la subcuenca del río Tinaquillo es la siguiente: E1: Deficiencia de la calidad y cantidad del agua para consumo; E2: Insalubridad socio-ambiental; E3: Inexistencia de agua para uso recreacional, potable e industrial, previo tratamiento adecuado; E4: Enfermedades dermatológicas y neurológicas por contaminación con metales; E5: Deterioro de la calidad del agua superficial y sub-superficial a consecuencia de la contaminación provenientes de las actividades urbanas, industriales y agrícolas y, E6: Daños en la infraestructura y servicios socio-ambientales relacionados con la calidad del agua superficial y sub-superficial.

El llenado de las celdas de la matriz causa-efecto se realiza a través de una escala de valoración en función a la intensidad de la causa y del efecto considerada; es decir: efecto mínimo (1), cuando la intensidad de los procesos degradativos no es

CUADRO 1 Matriz causa-efecto para evaluar el deterioro ambiental de la subcuenca del río Tinaquillo, estado Cojedes

	Causas específicas	Efectos específicos						Subtotales	
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	Σ	%
		Valoración de la relación Causa-Efecto							
C1	Vertido de efluentes urbanos, industriales y agrícolas en ríos y quebradas								
C2	Disposición de desechos sólidos, peligrosos o no, provenientes de la actividad urbano-industrial-agrícola, en bermas y/o cauces de ríos y quebradas								
C3	Construcción de infraestructuras para desarrollos industriales en zonas protectoras del río								
C4	Utilización de agroquímicos o biocidas en sistemas de producción y/o servicios urbanos, industriales y agrícolas en cuencas y subcuencas hidrográficas								
C5	Disminución del caudal del río durante la época de sequía								
C6	Carencia o mala definición de políticas públicas en materia de saneamiento ambiental								
	Subtotales Σ								
	%								100

FUENTE: AGUILAR (2017)

apreciable en ninguna parte del sistema; efecto leve (2 o 3), en aquellos casos donde la intensidad de los procesos degradativos es ligeramente apreciable en algunas partes del sistema (<25%); efecto moderado (4 o 5), al percibirse que la intensidad de los procesos degradativos es moderadamente apreciable en algunas partes del sistema (25-50%); efecto elevado (6 o 7), cuando se considera que la intensidad de los procesos degradativos es evidentemente apreciable en gran parte del sistema (50-75%); y efecto máximo (8 o 9), en aquellos casos donde la intensidad de los procesos degradativos es fácilmente apreciable en la mayor parte del sistema (>75%). Es pertinente acotar que esta valoración porcentual debe ser apreciada bajo el enfoque sistémico y de visión compartida entre los productores, las comunidades, los técnicos y los investigadores que apliquen esta metodología.

2.2.2 Cálculo del índice de deterioro socio-ambiental

El análisis global del deterioro en la subcuenca se realizó con base en la información obtenida de la aplicación de la matriz causa-efecto (**CUADRO 1**) a 477 familias, localizadas en 39 sectores distribuidos en el ámbito de la subcuenca del río Tinaquillo. Para la valoración de los índices de deterioro socio-ambiental, asociados a las causas o a los efectos, se utilizaron las ecuaciones 1 y 2 (Jaimes *et al.* 2006), indicadas a continuación:

$$VDC = (\sum C / V \text{ máx. D}) \times 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

$$VDE = (\sum E / V \text{ máx. D}) \times 100 \quad (\text{Ec. 2})$$

VDC = Valor de deterioro asociado a las causas, expresado en %

VDE = Valor de deterioro asociado a los efectos, expresado en %

$\sum C$ = Sumatoria de causas que inciden en el deterioro de la subcuenca

$\sum E$ = Sumatoria de causas que inciden en el deterioro de la subcuenca

V máx. D = Valor máximo de deterioro que se

esperaría en toda la subcuenca que se obtendría si cada una de las causas tuviese un valor de incidencia que maximice los efectos asociados con aquellas. Luego, su magnitud sería el producto de $9 \times 100 = 900$.

2.2.3 Muestreo del agua del río Tinaquillo

Este muestreo se realizó con el propósito de determinar las características físicas, químicas y microbiológicas del agua del río Tinaquillo. El procedimiento consideró la sectorización de la subcuenca en tramos de igual distancia, a lo largo de todo el cauce, cuya longitud es de 36.99 km. La mayoría de los puntos de muestreo se ubicaron en las zonas de mayor incidencia de actividades industriales, agropecuarias y residenciales; solo uno estuvo localizado en un sector cercano a las nacientes del río Tinaquillo, el cual fue asumido como el muestreo de control. En total se establecieron ocho (8) puntos de muestreo, los cuales se describen en el **CUADRO 2**.

La toma de muestras se realizó siguiendo los métodos de ensayo descrito por la APHA, AWWA y WPCF, insertos en el *Estándar for Examination of Water and Wastewater* (2012). Se tomó una alícuota simple de agua en un sector representativo del cauce principal del río (Santos, 1989), durante los meses de marzo y abril del año 2016, que es la época de estiaje o de aguas con menor caudal (Paredes, 2009).

La comparación de los valores obtenidos para cada uno de los parámetros mostrados en los **CUADROS 4 Y 5**, se realizó con base en las normas para descargas a cuerpos de agua establecidas en el Artículo 10, del Decreto 883

Por razones de espacio, solo se presentarán los resultados de la caracterización físico-química y microbiológica de las muestras de agua del río Tinaquillo captadas cerca de su nacimiento (puntos 1; **CUADRO 4**) y en la parte baja de la subcuenca (puntos 7; **CUADRO 5**).

3. Resultados y discusión

3.1 Análisis del deterioro socio-ambiental de la subcuenca del río Tinaquillo

Producto de la aplicación de la matriz causa-efecto (**CUADRO 1**) a las 477 familias que fueron encuestadas en los 39 sectores seleccionados de la subcuenca del río Tinaquillo, se obtuvieron los valores porcentuales del Índice de Deterioro Socio-Ambiental (IDSA), (**CUADRO 3**), según el cual el IDSA global promedio para la subcuenca del río Tinaquillo está alrededor de un valor de $72,22 \pm 2,40$; calificando con un deterioro fuerte; no obstante, se pudo detectar que 6 de 39 sectores (el 15,4% de la subcuenca) exhiben un deterioro socioambiental severo (valores de IDSA $> 75\%$). Es importante señalar que estos altos índices de deterioro socio-ambiental están en su mayor parte asociados a los sectores medios y bajos, correspondientes a los puntos de muestreo 3, 4 y 5; 6, 7 y 8, respectivamente (**CUADRO 2**), donde los habitantes tienen una mayor percepción de este deterioro, lo cual fue detectado en estudios previos realizados por Aguilar (2006), Rodríguez (2006) y Balza (2010), y confirmado por esta investigación, realizada con base en información levantada y procesada por Aguilar (2017).

En efecto, el fuerte deterioro socio-ambiental en estos sectores está asociado a que en ellos se concentra la mayor parte de las actividades rurales, periurbanas y urbanas, las cuales utilizan las aguas del río para usos agrícolas, industriales y consumo humano, sin considerar las buenas prácticas establecidas por normas nacionales e internacionales, ocasionando con ello el continuo deterioro agroecológico y ambiental de la subcuenca; a diferencia de los sectores altos de la misma (puntos de muestreo 1 y 2), que muestran un ligero o bajo IDSA, debido a la poca intervención antrópica en las nacientes del río Tinaquillo (Aguilar, 2017).

3.2 Análisis del deterioro de la calidad física, química y microbiológica del agua del río Tinaquillo

De acuerdo con los resultados del **CUADRO 4**, el efluente del punto de muestreo 1 no presentó valores significativos en el contenido de materia orgánica e inorgánica, además de bajos tenores de metales pesados, grasas vegetales, minerales y de componentes cloacales; lo cual era presumible por cuanto en este sector no existen actividades capaces de degradar el ambiente; por lo tanto, el agua es apta para los usos establecidos en la

CUADRO 2 Ubicación geográfica de los puntos de muestreo de aguas, río Tinaquillo

Puntos	Ubicación	Coordenadas	
		Norte	Este
1	Ubicado a 2 km de la naciente del río	1111557	578472
2	Aguas abajo, en Pueblo Nuevo y la Coromoto	1107270	575782
3	Aguas abajo de la actividad minera	1101468	578677
4	Aguas abajo poblado San Ignacio	1096948	576920
5	En Tinaquillo, sector Miranda	1096284	576632
6	Aguas abajo del sector El Palomar	1095523	576058
7	Aguas abajo del sector Apamates	1093959	573900
8	Después de la unión con quebrada la Candelaria	1093498	571888

CUADRO 3 Valores porcentuales de los IDSA, obtenidos en los 39 sectores evaluados en la subcuenca del río Tinaquillo

Sector	Comunidades	IDSA (%)	Calificación
1	17 de Diciembre	69,21	Fuerte
2	24 de Julio	70,50	Fuerte
3	3 de Mayo	65,91	Fuerte
4	Altos de Buenos Aires	71,09	Fuerte
5	Altos de Caño Claro	71,67	Fuerte
6	Apamates I	69,54	Fuerte
7	Apamates II	69,83	Fuerte
8	San Ignacio	73,86	Fuerte
9	Barrio Tamanaco	69,36	Fuerte
10	Barrio Bolívar 200	70,63	Fuerte
11	Brisas de Buenos Aires	70,86	Fuerte
12	Brisas del Río	69,66	Fuerte
13	Buenos Aires	70,27	Fuerte
14	Caja de Agua I	70,47	Fuerte
15	Caja de Agua II	71,01	Fuerte
16	Caño Claro I	70,14	Fuerte
17	Caño Claro II	72,48	Fuerte
18	Caño de Indio	70,61	Fuerte
19	El Araguaney	69,91	Fuerte
20	El Camoruco II	69,29	Fuerte
21	El Concejo	71,01	Fuerte
22	Juan Ignacio Méndez	74,20	Fuerte
23	La Candelaria el jardín	74,66	Fuerte
24	Candelaria I	72,12	Fuerte
25	Candelaria II	71,09	Fuerte
26	El Paraíso de Buenos Aires	77,21	Severo
27	El Rincón	74,17	Fuerte
28	El Tamarindo	77,16	Severo
29	Ezequiel Zamora	73,92	Fuerte
30	Guayabitos	73,12	Fuerte
31	José Laurencio Silva	73,74	Fuerte
32	La Alborada	72,68	Fuerte
33	La Esperanza	73,49	Fuerte
34	La Floresta	73,68	Fuerte
35	La Fortaleza de Dios	74,22	Fuerte
36	La Isla	75,44	Severo
37	La Quinta	76,75	Severo
38	La Trinidad	76,28	Severo
39	La Voluntad de Dios	75,46	Severo
IDSA Global promedio =		72,22 ± 2,40	Fuerte

CUADRO 4 Caracterización físico-química y microbiológica del agua del río Tinaquillo, captada a 2 km de sus nacientes

Parámetros físico-químicos	Límites máximos o rangos art.10	Límites máximos o rangos. Aguas tipo 4	Resultados
Oxígeno Disuelto	-----	> 5 mg/l	5,6 mg/l
pH	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0	7,1
Temperatura	38 - 40,0 °C	38 - 40,0 °C	39
Coliformes fécales	1000 NMP/100 ml (90 %)	200 NMP / 100 ml (90 %)	< 2
Coliformes totales	1000 NMP/100 ml (90 %)	1000 NMP/100 ml (90 %)	< 2
Aceites y grasas vegetales y animales	20 mg/l	----	12,23
Aceites y grasas minerales	20 mg/l	0,3 mg/l	0,004
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO	60,0 mg/l	----	0,00033
Demanda Química de Oxígeno DQO	350,0 mg/l	----	0,0004
Sólidos suspendidos	400,0 mg/l	Ausentes	Ausentes
Sólidos totales	1600,0 mg/l	Ausentes	Ausentes
Detergentes	350,0 mg/l	< 1 mg/l	0,0023
Sulfatos	400,0 mg/l	0,00	0,00
Sulfuros	2,0 mg/l	----	0,00
Fenoles	0,5 mg/l	0,002 mg/l	0,00
Fósforo total (expresado como nitrógeno)	10,0 mg/l	0,00 mg/l	0,00
Plomo total	0,5 mg/l	0,00 mg/l	0
Zinc	10,0 mg/l	0,00 mg/l	0,00

FUENTE: AGUILAR (2017)

clarificación del Tipo 4, ya que sus características físico-químicas y microbiológicas están por debajo o dentro del límite máximo establecido por la norma.

Resultado similar se observó en el punto de muestreo 2, ubicado después de los centros poblados Pueblo Nuevo y Coromoto, donde aún no se perciben actividades degradantes de la calidad del agua, ya que los valores reportados no sobrepasan los límites máximos o están ligeramente por encima de algunos de los parámetros, cuyos estándares están indicados en el Artículo 10, observándose que el contenido de oxígeno disuelto permanece alto, por lo que la calidad físico-química y microbiológica del agua en este sitio exhibe un ligero deterioro que puede ser fácilmente manejado o corregido

Es pertinente recordar que la DQO para las aguas residuales se sitúa en el rango máximo de 350 mgx l-1 y la DBO₅ en 60 mgx l-1, de acuerdo con el Decreto 883, constituyendo índices del oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica y los microorganismos del agua, constituyendo así un parámetro de control de las aguas contaminadas. Además, los valores del DBO₅ coinciden muy bien con la expresión empírica: $DBO_5 = 2/3 DQO$, propuesta por Arboleda (2000). En definitiva, se aprecia que el tratamiento del agua debe ser orientado hacia la eliminación de las sustancias orgánicas, inorgánicas y químicas, lo que conduciría a una disminución del DBO₅, DQO y, al control de los aniones sulfatos, sulfuros, nitratos y nitritos y metales como el plomo (Pb) y mercurio (Hg), (Aguilar, 2006).

En el CUADRO 5 se muestra los resultados correspondientes al punto de muestreo 7; se aprecia que el agua recoge y concentra la acumulación de todas las descargas líquidas, con o sin tratamiento, que arrastra el río Tinaquillo entre los puntos de muestreos 3 y 8, motivo por el cual todos los parámetros se encuentran fuera de los límites permitidos por la normativa ambiental, observándose que las concentraciones de grasas vegetales, minerales y fenoles son altas o muy altas, lo cual está asociado a los contaminantes provenientes de las empresas que predominan en esta subcuenca, cuya producción de efluentes aceitosos es elevada. Lo mismo se puede decir de los parámetros DBO₅ y DQO. Es importante resaltar la presencia de metales tóxicos y de sustancias cloradas, además de altas concentraciones de compuestos fenólicos, los cuales pudieran estar

vinculados a contaminantes de hidrocarburos o lubricantes utilizados para el funcionamiento y mantenimientos de vehículos y maquinarias agrícolas, industriales o del transporte público o particular. En efecto, la formula estructural de los aceites minerales que debiera pertenecer a la misma familia de sustancias fenólicas, contiene varios átomos de fenol por molécula. Los sulfuros permanecen elevados así como los detergentes. Los sulfatos entran en el rango de los límites máximos permitidos. La concentración de sulfatos, cuando superan los 300 mg/l, se puede traducir en un ataque al hormigón por medio de los aluminosilicatos de calcio, formando sulfo-aluminatos, que aumentan el volumen y favorece fisuras en el concreto de los ductos. Los efluentes líquidos de las industrias son muy agresivos por la presencia de estas sustancias, pero no son las

CUADRO 5 Caracterización físico-química y microbiológica del agua del río Tinaquillo, captada aguas abajo del sector Los Apamates

Parámetros físico-químicos	Límites máximos o rangos art. 10	Límites máximos o rangos aguas tipo 4	Resultados
Oxígeno Disuelto	-----	5 mg/l	3,0
pH	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0	4,3
Temperatura	38 - 40,0 °C	38 - 40,0 °C	39
Coliformes fécales	1000 NMP/100 ml (90%)	200 NMP / 100 ml (90%)	16789
Coliformes totales	1000 NMP/100 ml (90%)	1000 NMP/100 ml (90%)	221267
Aceites y grasas vegetales y animales	20 mg/l	----	352,04
Aceites y grasas minerales	20 mg/l	0,3 mg/l	279,22
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO	60,0 mg/l	----	578,56
Demanda Química de Oxígeno DQO	350,0 mg/l	----	884,56
Sólidos suspendidos	400,0 mg/l	Ausentes	1867,34
Sólidos totales	1600,0 mg/l	Ausentes	2275,45
Detergentes	350,0 mg/l	< 1 mg/l	388,33
Sulfatos	400,0 mg/l	0,00	525,28
Sulfuros	2,0 mg/l	----	5,46
Fenoles	0,5 mg/l	0,002 mg/l	2,88
Fósforo total (expresado como nitrógeno)	10,0 mg/l	0,00 mg/l	2,98
Plomo total	0,5 mg/l	0,00 mg/l	1,05
Zinc	10,0 mg/l	0,00 mg/l	1,03

FUENTE: AGUILAR (2017)

únicas que figuran en las aguas que se vierten al ambiente, sino que ellas contienen concentraciones elevadas de otras sustancias tóxicas tales como metales pesados (plomo, zinc, mercurio) y microorganismos; es decir, coliformes totales y fecales (Rodríguez, 2006).

Con la existencia de una combinación entre sustancias orgánicas e inorgánicas la estabilidad del efluente es tan alta que genera un alto impacto a los cuerpos de agua receptores, así como la proliferación de olores nauseabundos, a consecuencia de la absorción de luz solar y posterior descomposición de su química compleja; de esta manera, las plantas acuáticas y el fitoplancton se ven afectados por la falta de luz solar, disminuyendo su capacidad de auto-purificación. En general, son tóxicas para los organismos que viven en la superficie del agua y no son biodegradables. Estos aspectos se revelan en los valores de los parámetros DBO₅ y DQO e interfieren significativamente en el proceso de autodepuración en el cuerpo receptor.

Otro impacto importante es el causado a los canales por donde circula el agua, que finalmente empobrece el área con olores desagradables, desbordamiento de aguas negras, producto de la acumulación de grasas vegetales y minerales. Como se puede observar en los CUADROS 4 Y 5, su valor excede los límites máximos permisibles, flotan y se aglutinan en la parte superior del conducto, provocando la adhesión de nuevos sólidos, disminuyendo la capacidad portante del canal.

El pH relativamente ácido permite una intensa acción corrosiva, así como la producción de precipitados de sales insolubles. Un ambiente ácido con la presencia de sulfuros (por ejemplo sulfuro de sodio) produce ácido sulfúrico, con el consiguiente problema de corrosión en tuberías y malos olores. Otra causa de problemas en las redes colectoras es el desprendimiento de gases, que pueden dar lugar a toxicidad, explosiones o asfixia, para la gente que trabaja en el manteni-

miento de las redes o circula en las cercanías a éstas. Los valores altos de coliformes fecales y totales, así como de DBO₅ son característicos de aguas domésticas. Éstos representan el mayor porcentaje del efluente que es descargado a cursos de agua que drenan al río Tinaquillo, aunque parte de este DBO₅, está influenciado en un 10% por sólidos disueltos y suspendidos provenientes de otras actividades ubicadas en el área de estudio, y provocan en la parte final del cauce del río un descenso muy importante de los valores de oxígeno disuelto, de allí su alto efecto degradante de la calidad química y bioquímica del agua en estos puntos de muestreo.

Resultados similares encontraron Rodríguez (2006), Aguilar (2006) y Balza (2010), quienes refirieron que el mayor porcentaje de aguas contaminadas que recibe la cuenca del río Tinaco, proviene de las actividades ubicadas en la parte alta de la misma. Por otra parte, considerando la metodología de La Cruz *et al.*, (2006), se concluye que el oxígeno disuelto de un curso de agua va disminuyendo en la medida en que el agua recibe mayor cantidad de contaminantes.

4. Conclusiones

En la presente investigación se comprobó que la subcuenca del río Tinaquillo, específicamente en sus sectores medios y bajos, exhibe un fuerte deterioro socio-ambiental.

Tal deterioro socio-ambiental de la subcuenca impacta significativamente la calidad de sus aguas, como consecuencia de las descargas de efluentes con una alta concentración de contaminantes procedentes de las actividades agropecuarias, industriales y urbanas, sin considerar buenas prácticas productivas.

En los sectores medios y bajos de la subcuenca se evidencia la intensificación de la deforestación, tala y quema de la vegetación arbórea que, además

de originar una fuerte fragmentación del paisaje incide en el deterioro del suelo, el agua, la vegetación y la fauna, degradando la calidad de vida de los habitantes de la subcuenca del río Tinaquillo.

El único sector que aún conserva sus cualidades escénico-recreativas y ecológico-ambientales es la parte alta, localizada en las cercanías de las nacientes del río Tinaquillo.

El parámetro químico que mejor refleja el deterioro de la calidad bioquímica y microbiológica del agua del río Tinaquillo a lo largo de su cauce, principalmente en los sectores medios y bajos, es la concentración del oxígeno disuelto, el cual disminuye en dicho tramo, indicativo que el agua en el cauce del río va perdiendo su capacidad de autodepuración por el aumento de la concentración de sustancias contaminantes orgánicas e inorgánicas.

5. Referencias citadas

- AGUILAR, M., 2006. *Evaluación de las tecnologías de Coagulación, Floculación, Oxidación y Ozonificación en efluentes provenientes de industria textiles*. Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela. Tesis de Maestría.
- AGUILAR, M. 2017. *Modelo de deterioro de la calidad del agua de la subcuenca del río Tinaquillo, cuenca del río Tinaco estado Cojedes*. Coordinación del Área de Postgrado. Universidad Nacional Experimental de los Llanos 'Ezequiel Zamora'. San Carlos, Cojedes, Venezuela. Tesis de Doctorado. (Inédito).
- ARBOLEDA J. 2000. *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Tercera Edición, Caracas, Venezuela.
- BALZA A. 2010. *Evaluación de técnicas de depuración del agua contaminada por metales en el estado Cojedes*. Universidad Nacional Experimental de los Llanos 'Ezequiel Zamora'. San Carlos, estado Cojedes, Venezuela. Tesis Maestría.
- DECRETO N° 883. 1995. *Normas para la clasificación y control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos*. Gaceta Oficial de la República de Venezuela. N° 5.021 Extraordinario. Diciembre, jueves 18 de agosto de 1995.
- EMPRESA REGIONAL DESARROLLO HIDRÁULICO COJEDES (ERDHC). 1997. *Caracterizaciones de efluentes líquidos generados por el sector industrial en el municipio Falcón estado Cojedes*. San Carlos, estado Cojedes, Venezuela.
- FAUSTINO J.; RAMIREZ J. y J. BOLONJE J. 2006. *Definición y características de cuencas hidrográficas*. Enciclopedia de cuencas del Ministerio del Ambiente. Caracas, Venezuela.
- JAIMES, E.; N. PINEDA; J. MENDOZA e Y. GARCÉS. 2015. "Análisis de la complejidad ambiental, a través de su homogeneidad multivariada. Ejemplos de aplicación". *Revista Academia*, 14(2): 57-65.
- JAIMES, E.; J. MENDOZA; N. PINEDA e Y. RAMOS. 2007. "Sistematización de procesos para el análisis del deterioro agroecológico y ambiental en cuencas hidrográficas". *Interciencia*, 32(7): 436-443.
- JAIMES, E.; J. MENDOZA; N. PINEDA y H. RODRÍGUEZ. 2005. "Homogeneidad pedogeomorfológica y pedogénesis en la cuenca del río Motatán, Trujillo, Venezuela". *Interciencia*, 30(2): 73-80.

- JAIMES, E.; J. MENDOZA; Y. RAMOS y N. PINEDA. 2006. "Metodología multifactorial y participativa para evaluar el deterioro agroecológico y ambiental de dos subcuencas en el estado Trujillo, Venezuela". *Interciencia*, 31(10): 720-727.
- LA CRUZ F.; PAREDES F. y E. GUEVARA. 2006. "Modelación de la autodepuración del agua en el tramo medio del río San Carlos". *Agrollania*, 6: 141-154.
- LAL, R. 2017. "The ecological costs of soil management practices". *International Union of Soil Sciences*. Disponible en: http://iuss.boku.ac.at/files/iuss_10012017.pdf. [Consulta: septiembre, 2017].
- MÉTODOS NORMALIZADOS. 2012. *APHA, AWWA & WPCF Estándar for Examination of Water and Wastewater*. pp: 57-65. Ediciones Díaz de Santos, S.A. Madrid, España.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE Y DE LOS RECURSOS NATURALES (MARN). 2004. *Problemas ambientales del estado Cojedes, Venezuela*. pp. 23- 45. Caracas, Venezuela.
- MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA EL AMBIENTE. 2008. *Diagnóstico Ambiental de la cuenca del río Tinaco estado Cojedes*. San Carlos, estado Cojedes, Venezuela. (Inédito).
- MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA EL ECOSOCIALISMO y AGUAS (MINEA). 2017. *Información referida al plan de ordenación del estado Cojedes*. pp: 21-34.
- PAREDES F. 2009. *Nociones elementales de la climatología e hidrología del estado Cojedes*. En: D. MORENO (Ed.). Serie Investigación. Universidad Experimental de los Llanos 'Ezequiel Zamora' (UNELLEZ). San Carlos, estado Cojedes, Venezuela.
- SANTOS, J. 1989. *Métodos de toma de muestras naturales superficiales y subterráneas*. Laboratorio del Ministerio del Ambiente. Caracas, Venezuela.
- RODRÍGUEZ, H. 2006. *Plan estratégico para la determinación de la calidad del agua de la cuenca del río Tinaco, control fisicoquímico y microbiológico*. Coordinación del Área de Postgrado. Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales. Universidad Nacional Experimental de los Llanos 'Ezequiel Zamora'. San Carlos, estado Cojedes, Venezuela. Tesis de Doctorado. (Inédita).