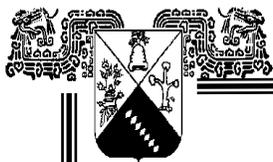


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

Facultad de Ciencias Biológicas



Especialidad en Gestión Integral de Residuos

**IMPACTOS SOCIOAMBIENTALES EN LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS
TRADICIONALES DERIVADOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO
CUAUTLA**

Tesis para obtener el grado de:
Especialidad en Gestión Integral de Residuos

Xóchitl Barrera Cabrera

CODIRECTORES

Director: Dr. Rafael Monroy Ortiz
Codirector: M. en C. Julio Cesar Lara Manrique

CUERNAVACA, MORELOS

Noviembre, 2022



AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT-México) agradezco la beca recibida durante el curso de especialidad, gracias a la cual se pudo solventar el gasto que implicó este proyecto de investigación.

A The Global Water Watch por la asesoría técnica para llevar a cabo el monitoreo de calidad de agua en el río Cuautla, así como también provisión de materiales para las distintas pruebas.

A Coalición Ambientalista y Cultural por la invitación y acompañamiento en las salidas a campo, fueron parte fundamental para este proyecto de tesis.

Expreso mi profundo agradecimiento a mi querido maestro académico y también de vida por haberme impulsado a seguir... aún sin su acompañamiento físico, M. en C. Rafael Monroy Martínez valoro su amistad, solidaridad, guía, enseñanzas que toda la vida llevaré a la práctica, el amor que siempre tuvo a la vida siempre será mi premisa, en la dimensión que se encuentre deseo siempre llegue mi más sincero cariño, respeto, admiración y agradecimiento.

Al Dr. Rafael Monroy Ortiz por darme “casa” y apoyarme en este proyecto junto con todo su gran equipo de trabajo del que me hicieron sentir parte. Por su guía y asesoría, sin duda esto no hubiera sido posible sin ustedes.

Al M. Giovanni Marlon Montes Mata, por su amistad, asesoría y acompañamiento durante todo el proceso de esta investigación, sin duda hizo importantes aportaciones de análisis crítico.

Al Arquitecto Rodrigo Flores Resendiz por su invaluable amistad al motivarme en momentos de crisis para continuar con este proyecto y su asesoría para la elaboración de mapas, sin ti no hubiera sido posible.

Al Dr. César Augusto González Bazán por el seguimiento a las revisiones de tesis y ser parte de mi comité evaluador.

Al M. en C. Julio Cesar Lara Manrique por el acompañamiento y enseñanzas durante el curso de la especialidad.

Al Dr. Alexis Joavany Rodríguez Solís por el tiempo asignado en las clases de la especialidad, así como también a la revisión de esta tesis, y por sus acertadas observaciones.

A la M. I. Ariadna Zenil Rodríguez por haber dedicado tiempo en la revisión y aprobación de esta tesis, además de sus clases durante a especialidad.

Al M. en C. Jacobo Bolaños Ortiz por la invitación al grupo de monitoreo esta contribución fue vital para el estudio de calidad de agua, así como también por su amistad invaluable, acompañamiento y cuidados en las salidas a campo.

A los biólogos Arlette Fuentes Pérez y Daniel González Marín por su amistad, cuidados, buen trato, buenos momentos, motivación... asesoría y acompañamiento durante el trabajo en campo.

Al Biol. Juan Antonio Reynoso Morán director de ANP, por su amistad, acompañamiento y proporción de datos para georreferenciar puntos de descarga, datos que ya eran parte de su: “Diagnostico preliminar de descargas de aguas residuales del Área Natural Protegida del Río Cuautla, Secretaría de Desarrollo Sustentable”.

A mi mamá e hijo por impulsarme a lograr mis metas, por creer en mí y procurar siempre darme su mano amiga e incondicional para enfrentar cualquier obstáculo en este “nuestro camino”.

A mi familia por el apoyo incondicional, por ser ese combustible extra cuando las cosas se ponen difíciles, por dar alternativas para solucionar problemas “en equipo todo fluye mejor”.

A ti ♡ por leer esto, porque estas interesado en esta investigación y está cumpliendo su propósito, deseo que te aporte información importante para tu proyecto, que te motive a seguir haciendo proyectos de lucha, en defensa y resistencia BIOCULTURAL.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi hijo por sacar la mejor versión de mí, por darme fuerza y sentido de amor para enfrentar la vida, por ser el motivo para unirme al equipo que trabaja por el mundo en el que queremos vivir.

A quien me impulsa a luchar por el patrimonio biocultural que nos queda ♡.

A la expresión más grande de amor en mi vida “Axel David Chit Barrera”.

A las manos que sembraron este árbol con raíz pivotante, que sabe que algún día se unirá con entero compromiso a la lucha...

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. EFECTOS SOCIOAMBIENTALES DE LA LÓGICA ECONÓMICA	10
3. CONTAMINACIÓN DE AGUA Y EFECTOS	16
Efectos a la salud	19
<i>Características bacteriológicas</i>	20
<i>Análisis fisicoquímico</i>	21
<i>Estándares de calidad del agua</i>	27
<i>Macroinvertebrados indicadores de calidad de agua</i>	28
<i>Río como un continuo o continuo fluvial</i>	29
<i>Microhábitats</i>	30
<i>Uso de macroinvertebrados para biomonitoreo de calidad de agua</i>	31
<i>Ciclos de vida</i>	34
Marco legal sobre saneamiento y calidad de agua	39
4. CARACTERIZACIÓN DEL RÍO CUAUTLA	41
Residuos líquidos urbanos (RLU)	43
<i>Sobreexplotación y contaminación del río Cuautla</i>	44
5. ANÁLISIS DE CONTAMINACIÓN	47
<i>Estrategia metodológica</i>	50
<i>Técnica análisis fisicoquímico</i>	54
6. RESULTADOS	63
Caracterización del Río Cuautla	80
7. CONCLUSIONES	93
REFERENCIAS	96

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ordenes de ríos en ambientes acuáticos y riberas.....	30
Figura 2. Árbol genealógico de macroinvertebrados acuáticos	33
Figura 3. Macroinvertebrados del grupo I.....	35
Figura 4. Macroinvertebrados del grupo II	36
Figura 5. Macroinvertebrados del grupo III.....	37
Figura 6. Déficit de la Cuenca hidrográfica del Amacuzac Fuente: (CONAGUA, 2017).....	45
Figura 7. Aprovechamientos del agua superficial de la cuenca del Río Amacuzac Fuente:(CONAGUA, 2017).....	46
Figura 8. Área urbana y ejidal de la Cuenca del Río Cuautla. FUENTE: Elaboración propia	48
Figura 9. Nomograma para estimar el % de saturación de oxígeno.....	58
Figura 10. Ubicación de Sitios de descarga en la zona norte del río y cercanas a los HFT de San Pedro Apatlaco Morelos.....	63
Figura 11. Estudio de pH.....	64
Figura 12. pH de los tres sitios de muestreo	65
Figura 13. Vado de Brisas, sitio con agua más turbia	66
Figura 14. Turbidez en los tres sitios de monitoreo “Temporada de secas”	67
Figura 15. Estimación de dureza.....	68
Figura 16. Dureza en los tres sitios de monitoreo.....	69
Figura 17. Estimación de alcalinidad	70
Figura 18. Alcalinidad en los tres sitios de monitoreo.....	71
Figura 19. Cálculo de % Saturación de Oxígeno Disuelto.....	72
Figura 20- % de saturación de oxígeno en los tres sitios de monitoreo	73
Figura 21. Colecta y cultivo de muestra bacteriológica	75
Figura 22. Unidades Formadoras de colonias de <i>E. coli</i> presentes en 100 UFC ml de agua	76
Figura 23. Unidades Formadoras de colonias de Otros coliformes presentes en 100 UFC ml de agua ..	77
Figura 24. Índice biótico y grupo de macroinvertebrados presentes en el Río Cuautla.....	79
Figura 25. 72 HFT cercanos al canal de agua derivado del río Cuautla.....	81
Figura 26. Tipo de irrigación en los HFT de San Pedro Apatlaco Morelos	82
Figura 27. Daños a HFT de San Pedro Apatlaco Morelos.....	83
Figura 28. Enfermedades estomacales asociadas al contacto de agua contaminada.....	84
Figura 29. Enfermedades asociadas al contacto de agua contaminada.....	85
Figura 30 Motivos por los que preservan los árboles frutales asociados a sus valores de uso	86
Figura 31. Motivos por los que cortaron sus árboles frutales.	87
Figura 32. Registro de contaminación del río Cuautla.....	88
Figura 33. Registro de cambios en el recurso vital.....	89
Figura 34. Densidad absoluta en el año 2011 y 2021	90
Figura 35. Categorización de especies nativas y exóticas en los años 2011 y 2021	91

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Programa Nacional Hídrico 2007-2012: “Así vamos” Fuente: CONAGUA y SEMARNAT..	4
Cuadro 2. Consumo de agua per cápita por año (mundial)	17
Cuadro 3. Valor de <i>E. coli</i> /100 ml de agua establecidos como seguros o inseguros al contacto humano.	21
Cuadro 4. Valores de JTU por cada incremento	59

ANEXOS:

Anexo 1.....	101
--------------	-----

1 INTRODUCCIÓN

La reproducción económica de la sociedad capitalista depende de una creciente tasa de extracción de recursos, que los agota y contamina. Dicho proceso ocasiona una fractura ecológica en el metabolismo ambiental (Bellamy et al., 2010). La contaminación del agua en particular es multidimensional; en primera instancia, las actividades económicas demandan el bien, que una vez utilizado lo devuelven al ecosistema con múltiples contaminantes.

En este estudio, se aborda la contaminación del agua del río Cuautla, como una subclasificación de la generación de residuos; el interés se centra en la correlación directa con los problemas de disponibilidad del bien en los sectores rurales de la comunidad de Apatlaco, Cuautla, Morelos y la mala calidad de agua con la que irrigan sus sistemas productivos tradicionales de los que dependen para subsistir

En términos generales, la contaminación del río Cuautla proviene de diferentes fuentes, las cuales incluyen el sector doméstico, el cual suma 337 mil personas de 8 municipios del estado de Morelos en torno a la subcuenca, cuyo efluente sin tratamiento se estima del 80% del consumo. En segunda instancia, el emplazamiento de 13, 772 industrias en Cuautla (INEGI, 2019) al que se agrega el de la termoeléctrica en Huexca, la cual requiere 50 millones de litros de agua al día (CONAGUA, 2017), generando efluentes cuyo contenido incluye sustancias químicas/biocidas, sulfato ferroso e hipoclorito de sodio. La tercera fuente proviene del sector ganadero, que en Morelos reporta 240,429 cabezas de ganado bovino para las diferentes actividades zootécnicas de las cuales 61,810 se mantienen en corrales (INEGI, 2017) y es precisamente desde donde se descargan aguas residuales sin previo tratamiento al río Cuautla.

La contaminación del agua por efluentes del sector industrial, urbano y ganadero en el río Cuautla se evidencia con base en monitoreos fisicoquímicos, macroinvertebrados, indicadores de la calidad de agua y cultivos bacteriológicos, los cuales detectan la presencia de *E. coli* y otros coliformes (GWW, 2014). Esto tiene

impactos socioambientales en la comunidad agrícola de San Pedro Apatlaco que incluyen: a) la reducción de la disponibilidad necesaria para sostener los Sistemas Productivos Tradicionales (SPT) que guardan una importancia ecológica por albergar especies nativas y el hábitat sustituto de especies silvestres, además de brindar servicios ambientales, b) los riesgos a la salud debido al uso de agua para el riego en la producción de alimentos implican infecciones gastrointestinales, oculares, parasitosis, tifoidea, disentería, poliomielitis, cólera, hepatitis, problemas pulmonares, reproducción de larvas de mosquitos, y en derivado de ello, vectores responsables de enfermedades agudas como zika, dengue, chikungunya (Gleick, 1998). Con base en estas premisas, la pregunta de investigación es ¿Cuáles son los impactos socioambientales de la contaminación del Río Cuautla en los Sistemas Productivos Tradicionales (HFT) de la comunidad de Apatlaco Morelos? Se considera que la contaminación del Río Cuautla a través de descargas de aguas residuales sin tratamiento de los sectores industrial, urbano y ganadero generan impactos socioambientales en los Sistemas Productivos Tradicionales de la comunidad de San Pedro Apatlaco, los cuales disminuyen la riqueza de especies, la abundancia de los Huertos Frutícolas Tradicionales (HFT), la producción de alimento e incrementan los efectos negativos en la salud humana.

El modo de producción capitalista sostiene su principio de acumulación en la producción de mercancías, cuya elaboración requiere de la extracción de recursos y la explotación de mano de obra (Marx, 2014), por lo que es responsable de una fisura ecológica. Esta se caracteriza por un aumento de las tasas de agotamiento de recursos y de los subproductos contaminantes (Bellamy, et al., 2010). Derivado de la racionalidad económica, la distribución de la riqueza es desigual, concentrándose en 1% de la población mundial (Oxfam, 2000).

La fractura ecológica resulta de la apropiación de la naturaleza como fuente de riquezas y vertedero de desechos (O'Connor, 1998); esto es posible dada su libre disposición y aprovechamiento, cuyos procesos de transformación, transporte, empaquetado, almacenaje y comercialización generan residuos. La crisis ambiental es consecuencia de dichos patrones de desarrollo, ocasionando una crisis que se manifiesta

en el cambio climático, la disminución de la abundancia de especies y su correspondiente extinción, así como la deforestación, la contaminación del aire, suelo y agua. La contaminación es considerada un subproducto degradante que resulta de la actividad económica.

La contaminación de agua proviene del consumo en actividades económicas que incluyen al sector doméstico, industrial, agroindustrial y en general, proyectos de desarrollo regional. Además, el cambio de uso de suelo interrumpe el proceso natural de infiltración, se contamina el suelo fértil y los mantos acuíferos. La mayor responsabilidad de los patrones de contaminación proviene de los países del hemisferio norte, donde se demanda un mayor volumen de agua, sin embargo, como sociedad solamente se alcanza una capacidad de tratamiento de 25% de las aguas residuales (AQUAe, 2021), de un total de 3900 km³ anuales.

Esta proporción de agua evidencia la agudización de la ruptura ecológica dado el volumen de contaminación; a pesar de ello, en la sociedad capitalista, el bien es objeto de privatización, consumo productivo y vuelto mercancía (Peña, 2012), expropiando la capacidad local para controlar los recursos hídricos y mantener los derechos sobre el agua (Shiva, 2006) y al mismo tiempo, las intervenciones institucionales para la administración del bien.

En el caso mexicano, las dificultades que entraña la sobreextracción de agua y su contaminación han sido afrontadas institucionalmente en la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). La gestión del agua implica la creación de organismos operadores autónomos y especializados, sin embargo, la participación del gobierno local incluye la participación del sector privado (Pineda y Salazar 2008), lo cual cede el equilibrio del consumo y contaminación.

Debido a ello, el consumo se ha incrementado en las regiones hidrológicas hasta un grado de estrés hídrico, México ocupa el lugar número 24 de la lista de 164 países, 22 de las 32 entidades federativas se encuentran en algún nivel de sequía de extrema a moderada (INFOBAE, 2022), dejando a $\frac{3}{4}$ partes de la población viviendo en zonas de menor disponibilidad de agua, estimando que al menos 10, 000 000 de personas

sobreviven sin servicio de agua y 75 millones más sufren escasez. (CONAGUA, 2008 y Razón, 2021). Los datos que reporta CONAGUA, en los años 2006-2007 para el tratamiento de aguas residuales en México, estimo una mejora de un 38%, alcanzando a tratar el 60% de los residuos líquidos (Cuadro, 1).

Cuadro 1. Programa Nacional Hídrico 2007-2012: “Así vamos” Fuente: CONAGUA y SEMARNAT.

	Situación 2006	Meta 2012	Avance 2007
Cobertura de agua potable	89.6%	95%	89.8%
Cobertura de alcantarillado	86%	88%	86.1%
Tratamiento de aguas residuales	36.1%	60%	38%

No obstante, pese a los datos reportados la realidad es otra, existen plantas tratadoras de aguas residuales registradas como activas, las cuales, pese a recibir financiamiento para mantenimiento o reparación no funcionan y almacenan temporalmente las aguas residuales para posteriormente ser vertidas al medio natural.

En Morelos según la CEAGUA actualmente cuenta con 66 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) municipalizadas, de estas, cuatro son operadas directamente por la dependencia estatal y 16 están en convenio con el municipio. Se distribuyen en ocho municipios, operan 20 plantas de tratamiento; siete se encuentran en rehabilitación, dos continúan en proceso de construcción y 17 se encuentran fuera de operación.

El gobierno del estado reporta que actualmente opera el 60.6 por ciento de las plantas de tratamiento y dan tratamiento a un caudal de 1380.22 litros por segundo lo cual “beneficia a un millón 38 mil 736 habitantes, con lo que se confirma que “Morelos se recupera y avanza”(MORELOS.GOB, 2020a).

Particularmente en Cuautla, Morelos registran tres plantas de tratamiento, una en Yecapixtla con capacidad de tratar 35 l/s y tratando 11.6 l/s, otra en Cuautla Nort Poniente con capacidad de 42 l/s, tratando 8 l/s y otra en San Pedro Apatlaco con capacidad de 25 l/s, tratando 8 l/s (MORELOS.GOB, 2020b).

Según la SOAPSC, existen seis plantas de tratamiento de la cuales dos pertenecen al sector privado y cuatro al municipio son operadas por el Sistema Operador de Agua Potable y Saneamiento de Cuautla (SOAPSC), las cuales están ubicadas en la colonia Centro, Santa Inés, Gabriel Tetepa y Centenario; todas presentan problemas en su

funcionamiento(MORELOS.GOB, 2020b). La realidad, es que el 100% de sus plantas de tratamiento “presentan anomalías en su funcionamiento”, sin embargo, los problemas socioambientales derivados de la contaminación por desechar residuos líquidos procedentes del sector doméstico sin previo tratamiento directamente al Río Cuautla se deben a un cuadro de *miopía residual severa* (Montes, 2021)

La sociedad en condiciones de pobreza es sector más afectado por los problemas derivados de la contaminación de agua y consecuentemente de la disminución en su disponibilidad. Esta condición se agudiza debido a la distribución diferenciada de agua debido a la marginación del acceso a este recurso, por lo cual, se ven obligados a usar el agua de fácil acceso en condiciones insalubres. Frente a estos abusos ha surgido una respuesta social para defender sus recursos ejerciendo resistencia a la privatización de este bien vital en contra de las empresas y ejércitos gubernamentales haciendo explotar presas y acueductos que desvían el transcurso natural de sus ríos (Shiva, 2006). En Morelos este grupo organizado se llama “Consejo de Pueblos de Morelos, Puebla y Tlaxcala en defensa del agua, tierra, fuego y aire”.

Esta resistencia social preserva los recursos naturales con base en el conocimiento y manejo tradicional, el cual es producto del cosmos, corpus y praxis de miles de generaciones. La premisa tiene base en la cosmovisión de pueblos originarios sabiéndose parte y no dueños de la naturaleza, por tanto, todo uso y manejo de los recursos naturales tienen una lógica de sostenibilidad para futuras generaciones, generaciones que siguen manteniendo vigente el conocimiento y manejo ancestral dentro de sus sistemas productivos tradicionales (Berkes, 1995 y Boege, 2008).

Los sistemas productivos tradicionales (SPT), tienen importancia social y ecológica porque albergan especies nativas, son hábitats sustitutos de especies silvestres las cuales son facilitadoras de polinización y dispersión entre los distintos sistemas productivos tradicionales, lo cual mantiene la variabilidad genética, estos sistemas productivos tradicionales incluyen la milpa, las cercas vivas, los huertos frutícolas tradicionales, etc., (Boege, 2008).

Particularmente los huertos frutícolas tradicionales (HFT), se caracterizan por localizarse en el traspatio de los hogares y estar compuestos principalmente por especies arbóreas frutales (Monroy, 2009), los cuales son importantes para las sociedades vulnerables económicamente, porque su producción aporta diversos valores de uso durante todo el año, principalmente alimentario, medicinal, combustible, materia prima para construcción, ornamental, etc., lo cual amortigua las condiciones de precariedad y marginación (Monroy y Colín, 2012).

La producción de estos sistemas productivos tradicionales aportan recursos para la supervivencia de manera sostenible, lo cual facilita la supervivencia frente a la limitante económica para adquirir productos de la canasta básica, medicina o fuente de energía para calefacción o cocción de alimentos, razones por las cuales los dueños de estos HFT se han ajustado a las condiciones históricas, de despojo, explotación, marginación y contaminación para seguir preservando su sistema productivo tradicional.

En la comunidad de San Pedro Apatlaco existe una distribución diferenciada de agua, producto del consumo doméstico, industrial y ganadero. Dada la disminución en el acceso de agua potable para las necesidades básicas, la sociedad ha tenido que ajustarse a las condiciones, usando agua contaminada por aguas residuales sin tratamiento proveniente de un canal que se abastece del río Cuautla, para irrigar sus huertos frutícolas tradicionales.

Bajo estas condiciones de irrigación, poco podría dudarse que el deterioro de los sistemas productivos tradicionales sea una consecuencia a dicho fenómeno. Además de que la producción se ve disminuida en cantidad y calidad perturbando los diversos valores de uso que se vinculan con efectos en la salud de los pobladores, particularmente de los propietarios de los HFT, ya que ocupan su producción como medio de subsistencia para proveerse de las mínimas condiciones de alimento, medicina y combustible.

Entre otras afectaciones a la salud derivadas del contacto con aguas residuales, De acuerdo con Gleick (1998), las enfermedades se clasifican en cuatro categorías: 1) por ingesta en el agua, en las que el patógeno se transmite a través del medio acuático, ya sea porque las excretas pasan al agua y luego a los seres humanos o porque se trate de una

transmisión fecal-oral; 2) las que son el resultado de entrar en contacto con agua contaminada que no ha sido desinfectada de manera adecuada; 3) en las que el hospedero de cierto patógeno vive de manera natural parte de su ciclo de vida en el agua y que son transmitidas a través de ojos o piel cuando entran en contacto con el agua, 4) y las que están asociadas con la manera en que el agua es manejada. Por ejemplo, ciertos insectos, que son vectores de enfermedades, aprovechan el agua estancada aún en condiciones de contaminación (Montes y Monroy, 2022), la cual es su hábitat natural. Recientemente se dio a conocer información relevante acerca de que el agua es el vehículo de transmisión que causa enfermedades respiratorias.

Los residuos industriales, pueden provocar intoxicación, la cual provoca daños en la piel o degenerativos sobre alteraciones reproductivas a corto plazo (5 años). Este tipo de daños se acentúa en la edad reproductiva en el caso de mujeres, y en el final de la etapa productiva en los hombres (Guadarrama-Brito y Galván, 2014). Problemas respiratorios (Lara, 2013). La bioacumulación es otro riesgo a la salud, lo cual implica almacenar estas sustancias en el cuerpo, por ejemplo, las tuberculosis derivadas de residuos industriales, en las que el tejido pulmonar se deteriora y un cambio de clima a temperaturas más bajas desencadena el cuadro clínico mortal otro efecto negativo además de la afectación a la salud humana es la disminución de la fertilidad del suelo por los contaminantes tóxicos, como son los metales pesados derivados de los residuos líquidos industriales (CFE-LAPEM, 2011).

En este contexto, se plantea como pregunta de investigación ¿Cuáles son los impactos socioambientales de la contaminación del Río Cuautla en los Sistemas Productivos Tradicionales (HFT) de la comunidad de Apatlaco, Morelos? Se considera como hipótesis que la contaminación del Río Cuautla a través de descargas de aguas residuales sin tratamiento provenientes del sector doméstico e industrial genera impactos socioambientales en los Sistemas Productivos Tradicionales de la comunidad de San Pedro Apatlaco, disminuyendo la riqueza y abundancia de especies de los Huertos Frutícolas Tradicionales (HFT), además de reducir la producción de alimento y ocasionar efectos negativos en la salud humana.

Por tanto, el objetivo general de este trabajo es analizar los impactos socioambientales en términos de la disminución de la riqueza y abundancia de especies de los Huertos Frutícolas Tradicionales (HFT), la reducción de la producción de alimento y la morbilidad referida por la sociedad derivada de la contaminación del Río Cuautla en los Sistemas Productivos Tradicionales (HFT) de la comunidad de Apatlaco Morelos.

La estrategia metodológica incluye:

- a) la identificación y georreferenciación de los puntos de descarga de los residuos líquidos urbanos provenientes del sector doméstico e industrial, cercanos a la comunidad de San Pedro Apatlaco con base en recorridos de campo y su localización territorial en un sistema de información geográfico manipulado en ARC GIS 10.2.
- b) La recolección de muestras en los puntos vado de brisas, barranca Santa María, puente San Pedro Apatlaco, para el cálculo de las condiciones fisicoquímicas del agua del Río Cuautla en términos de dureza utilizado un tubo 4488 de 10 ppm; alcalinidad con un tubo 0970-S de 10 ml; saturación de oxígeno con un tubo 0688-DO validado en otro de 0608 de 20 ml; pH con base en tubo de agua con un código 2218-G de 10 ml; turbidez con un tubo 0835 de 50 ml; siguiendo el protocolo de Global Water Watch, 2014; con base en un kit de laboratorio “Lamotte”.
- c) El monitoreo mensual en el período septiembre-diciembre de 2021 de las condiciones fisicoquímicas del agua del Río Cuautla siguiendo el protocolo de Global Water Watch con base en un kit de laboratorio “Lmotte”.
- d) La recolección de muestras en los puntos vado de brisas, barranca Santa María, puente San Pedro Apatlaco, para el cálculo de las condiciones bacteriológicas del agua del Río Cuautla en términos de contaminación por materia fecal a través de cultivos en Coliscan específico para *E. coli* y otros coliformes, siguiendo el protocolo de Global Water Watch con base en un kit de laboratorio “Lamotte”.
- e) El cálculo del total de unidades formadoras de colonias de coliformes presentes en 1 ml de agua, proveniente de los tres sitios de muestreo, para conocer

el grado de contaminación por materia fecal y calidad de agua considerada en los rangos propuestos Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006).

f) El monitoreo trimestral de enero a diciembre de 2021 de la contaminación del agua del río Cuautla a través de la presencia de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad de agua, con base en una red para el propósito, posteriormente lavada en un recipiente en donde se identifican y separan los individuos, según su clasificación en términos de su tolerancia al agua contaminada descrita en grupos I, II y III (Bio-access, 1999)¹

g) La comparación de los niveles de contaminación de condiciones fisicoquímicas y presencia de macroinvertebrados entre los puntos, Vado de Brisas, Barranca Santa Maria y puente San Pedro Apatlaco con base en un cuadro.

h) La identificación de las viviendas con huertos frutícolas tradicionales cercanas al Río Cuautla, dentro de la comunidad de San Pedro Apatlaco con base en un recorrido de campo y posterior localización en un mapa elaborado en ARC GIS 10.2, utilizando las capas de traza urbana provistas por INEGI (2020) y los puntos georreferenciados trabajados en campo.

i) La aplicación de entrevistas semiestructuradas abiertas a habitantes propietarios de los HFT de la comunidad de San Pedro Apatlaco, considerando una muestra estadística representativa probabilística con base en la notación

$$n = \frac{S^2}{\frac{\epsilon^2}{Z^2} + \frac{S^2}{N}} \text{ en donde}$$

j) , incluyendo los siguientes criterios: tipo de riego, daños a los árboles frutales, riesgos a la salud, identificación de las causas y motivos de la pérdida de especies, percepción del riesgo e identificación de la dinámica de contaminación.

¹ En este estudio se midió la calidad de agua usando un grupo de organismos llamados macroinvertebrados bentónicos. La palabra bentónico significa que pertenecen al bento (grupo de organismos que viven en el fondo de un cuerpo de agua); macro significa “grande” lo cual puede verse a simple vista, mientras que invertebrado se refiere a animales que no tienen vértebras.

- k) Estimar la riqueza de especies y densidad absoluta de los HFT cercanos al Río Cuautla dentro de la comunidad de San Pedro Apatlaco.
- l) Realizar un Sistema de Información Geográfica (SIG) con base en el en el programa ARC GIS 10.2.1 para identificar la riqueza de especies y densidad absoluta dentro de los HFT cercanos al Río Cuautla dentro de la comunidad de San Pedro Apatlaco.
- m) Identificar el número de especies e individuos por especie en cada HFT a través de un muestreo in situ
- n) Categorizar las especies nativas y exóticas en los HFT para dar cuenta de la pérdida o preservación de las condiciones naturales.

2. EFECTOS SOCIOAMBIENTALES DE LA LÓGICA ECONÓMICA

El sistema de “Desarrollo” convencional ha provocado impactos socioambientales, los cuales se comparan con una grieta o fractura ecológica debido a que rompen con el ciclo de muchos procesos geofísicos indispensables para la vida y que además son contaminados con una gran cantidad de compuestos complejos que modifican la composición natural del suelo, aire y agua. Estos procesos tienen afectaciones para la vida, no sólo del reino fungí, protista, monera, vegetal sino también animal incluyendo a la humanidad, todos están estrechamente relacionados por las interacciones tan íntimas que nos hacen dependientes para vivir, a medida que se ve afectada una especie, la abundancia y composición ecológica desencadenan la extinción de muchos otros. La salud de los seres vivos también se ve afectada por la toxicidad y proliferación de micro y microorganismos vectores o causantes de múltiples enfermedades que representan riesgo para la vida, a todo lo anterior se le denomina efectos negativos del capitalismo.

Estos efectos negativos se evidencian con la crisis ambiental, manifestándose en el cambio climático, la extinción de especies, la disminución de abundancias, la deforestación, la contaminación del aire, suelo, la escasez y contaminación del agua. Todo ello es origen antrópico, particularmente del sistema de desarrollo económico que

depende de la extracción de recursos y de la explotación de mano de obra (Marx, 2014). En el capitalismo se prioriza la producción de mercancías destinados a la comercialización y eventual acumulación sin importar los impactos en la sociedad y el ambiente. El efecto social más significativo de ello es la creciente desigualdad; tan solo la riqueza se concentra en 1% de la población mundial (Oxfam, 2000).

En el sistema económico, el valor está tasado por la capacidad de intercambiar “mercancías” en el mercado, sin embargo, esto lleva a la búsqueda de producción y acumulación sin fin, a escalas cada vez mayores (Bellamy, et al. 2010). La mercancía es la unidad básica para generar capital (Marx, 2014), pero para su producción se requiere materias primas, lo cual lleva a la sobreexplotación de recursos y la contaminación, alcanzando los límites ambientales, aumentando las tasas de agotamiento y generando subproductos no deseados (O’Connor, 1998), es decir dando lugar a fracturas ecológicas.

Por tanto, la fractura ecológica es resultado de procesos de transformación de recursos en la elaboración de bienes valorados en el mercado. En principio, la extracción de los recursos y su transporte para el manejo y transformación rompe con el ciclo natural y evita que sean reincorporados a los ciclos biogeoquímicos. De hecho, este mismo proceso es observado en todos residuos generados en cada fase de producción mercantil, los cuales contribuyen de manera agregada a la contaminación del aire, suelo y agua (Bellamy, et al. 2010).

La fractura ecológica puede revisarse desde los efectos de la extracción económica de recursos; por ejemplo, de 1990 al 2016 la sociedad capitalista deforestó 1 millón de km² de selva, además se sustituyeron usos del suelo a costa de área agrícola en 10, 044, millones de km². La generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en particular, se estima pasar de 210 millones de toneladas en 2016 a 31,400 millones en 2046 (Banco Mundial, 2018). En 2018, los países con mayor volumen de emisiones de CO₂ fueron China con 9.528 millones de toneladas (28.1%), Estados Unidos (15.2%), Unión Europea (10.3%), India (7.3%), Rusia (4.6%), Japón (3.4%) y Alemania con 726 toneladas (2.1%) (Es-estadista, 2021).

Las actividades económicas son determinantes de la generación de residuos, pero incluyen la industria, así como los sectores que permiten su operación como las actividades extractivas, la infraestructura de transporte o energía, la agricultura capitalista aeropuertos e incluso, los residuos domésticos. Estas actividades se estructuran en el territorio por el emplazamiento de empresas transnacionales a nivel mundial, las cuales tienden a la apropiación, expoliación o explotación y mercantilización de recursos (Reina, 2008).

En términos del uso y aprovechamiento del agua, la posibilidad de apropiarse, expoliar o mercantilizar los recursos es resultado de una integración política Estado-sector privado, la cual sigue una regulación afín en términos de la flexibilización para el usufructo económico del bien. Debido a ello, organismos multilaterales como el Banco Mundial promueven la privatización del recurso vital, de forma que los Estados sin la soberanía suficiente otorgan las facilidades a empresas transnacionales que lo posibilitan; el resultado de estas decisiones políticas incluye una explotación del bien desde el interés del sector productivo, pero sin el consenso o reconocimiento social de dicha lógica, lo cual ha llevado a proyectos de una escala y funcionamiento devastador.

Por ejemplo, el traslado de agua a lugares desérticos, dejando sin el bien a los pobladores cercanos al cuerpo de agua; en tal caso se identifica el Río Colorado, el cual fue objeto de privatización por medio de una presa de 221 metros de alto, la cual requirió de 66 millones de concreto para contener el flujo del río, todo ello sin el consentimiento de los indígenas de la cuenca. Debido a esto, California se vio beneficiada por el acueducto de 390 km desde el Río Colorado, a pesar de que un tercio de la potencia hidroeléctrica de la presa se usa para bombear agua. Esto permite que el tercer consumidor mundial agua le destine a sus granjas y cultivos; en consecuencia, la producción crece 300% en el oeste y disminuye 30% en el sur.

En India, se instala una hidroeléctrica en la ribera de Sutlej, donde los habitantes cercanos a la cuenca irónicamente vivían en la oscuridad cuando estaban rodeados de iluminación deslumbrante (Shiva, 2006). Considerando proyectos energéticos como hidroeléctricas o termoeléctricas, se utilizan aproximadamente 50 millones de litros de

agua al día, gas natural y energía cinética del vapor de agua para la generación de electricidad (CONAGUA, 2017), pero los efluentes son vertidos al río, laguna o al mar.

Por otra parte, la contaminación de cuerpos de agua debido a estas actividades aumenta la temperatura y contiene sustancias químicas/biocidas, generalmente sulfato ferroso e hipoclorito de sodio, los cuales no solo tienen efectos negativos sobre la biota riparia y la sociedad que depende de este recurso hídrico, sino que metodológicamente enfrentan subregistros e incapacidad para estimar sus componentes más complejos e impactos correlacionados a ello (Tsygankova et al., 2011)

Por otro lado, derivado de la privatización y búsqueda de aprovechamiento del bien, también se presenta un proceso de cambio de uso de suelo, el cual ve comprometida su fertilidad, capacidad de recarga cualitativa y cuantitativa de mantos acuíferos. La contaminación de agua derivada de la actividad humana encuentra otra contribución desde el sector doméstico; por ejemplo, en los países con mayor grado de desarrollo se trata 80% de las aguas residuales, mientras los países subdesarrollados tratan por debajo del 20%, los cuales no solo son vertidos al subsuelo sino también a ríos, barrancas y el mar (UNWATER, 2017).

Las condiciones políticas resultan fundamentales para la contaminación y sobreexplotación de cuerpos de agua (Peña, 2012), lo cual es consecuencia de la asignación de derechos a empresas privadas, incrementándose el interés por su explotación económica y modificando las lógicas locales de administración, que garantizan su preservación y reparto equitativo (Shiva, 2006).

En este sentido, la gestión comunitaria se basa en los conocimientos tradicionales, garantizando la preservación y el acceso equitativo, particularmente en 80% de las ecorregiones prioritarias, donde habitan pueblos originarios. Se estima que la mitad de los grupos étnicos a nivel mundial sobreviven en estas regiones con importancia ecológica y cultural (Olson y Dinerstein, 2002). Incluso, se ha reconocido que la diversidad biológica y cultural están íntimamente relacionadas, lo cual se comprueba precisamente en las regiones con importancia biológica habitadas por pueblos indígenas (Toledo, 2005).

Los factores que fortalecieron la relación de la diversidad biológica y cultural tienen un origen histórico (Aguirre-Beltrán, 1967). Con la llegada de los españoles y el inicio de la conquista se inició un ciclo de devastación, explotación, despojo de tierras americanas y con ello la exterminación de las comunidades indígenas. Los indígenas que no fueron exterminados se refugiaron en las regiones más inhóspitas del país, zonas de difícil acceso para los humanos como las montañas o selvas en donde reconstruyeron y mantuvieron sus sociedades y su cultura (Aguirre-Beltrán, 1967). Otro factor que ha mantenido la relación biodiversidad-cultura ha sido el sistema de economía de subsistencia de los pueblos indígenas, el cual tiene menos impacto sobre la naturaleza que el de las economías “desarrolladas” (Zúñiga, 2006).

La relación de las comunidades tradicionales con la diversidad de ecosistemas en nuestro país les ha permitido subsistir al encontrar en ellos diferentes especies arbóreas para satisfacer necesidades alimentarias, medicinales, materias primas para construcción, forrajes, ornamentos, artesanías, vestido, leña e incluso necesidades simbólicas, rituales y religiosas. Se estima que alrededor de 5,000 a 7,000 especies de plantas tienen importancia cultural para los pueblos indígenas, de las cuales 4,000 son para uso medicinal y 1,500 con fines alimentarios (CONABIO, 1998); estas especies se han resguardado protegiendo su diversidad genética, promoviendo variedades por especie debido a que se han adecuado a diferentes condiciones altitudinales, climáticas, edáficas y de manejo (Benz, 1999; Boege, 2008).

El conocimiento tradicional se transmite a través cientos de generaciones de pueblos originarios por medio del manejo y sabiduría ancestral del ambiente, practica técnicas con lógica de autoabasto y sostenibilidad, las cuales se deben revalorar porque son la base para generar las herramientas necesarias para el uso y manejo adecuado de la biodiversidad vigente de México (Toledo y Barrera-Bassols, 2008; Ramos, 2011). La combinación del conocimiento tradicional, las prácticas de apropiación y manejo representan aportes importantes de las comunidades tradicionales debido a que a través del tiempo han logrado conservar y manejar de manera sostenible la diversidad biológica en sus territorios, hecho que ha motivado a diversos autores a repensar la conservación

hacia un enfoque biocultural (Toledo, 2005; Boege, 2008), con el cual no solo se favorecería la conservación de la diversidad biológica, los ecosistemas, los servicios ambientales que proveen y la agrobiodiversidad sino también el desarrollo de las comunidades que históricamente han sido marginadas social y económicamente. Entre estos servicios ambientales se identifica precisamente, el manejo comunitario del agua que resulta fundamental para su reproducción social. En este sentido, el efecto contrario sucede en la realidad, donde se priorizan las actividades económicas, provocando el desperdicio excesivo de este recurso, además de su contaminación en gran volumen, la cual es vertida sin tratamiento al medio.

La fractura ecológica originada por la valoración de recursos naturales en términos económicos genera un sinnúmero de efectos negativos, entre esos la contaminación del agua y el nulo interés para su tratamiento. Esto afecta a la sociedad en términos de salud y poca disponibilidad.

Las condiciones políticas favorecen la explotación y privatización del agua y el tratamiento de aguas residuales no es un tema de interés, por lo tanto, actualmente en cualquier cuerpo de agua, ya sea lago, presa, río, estuario, agua almacenada en barrancas, siempre encontramos contaminación, en el menor de los casos estará en un “estatus” de tolerancia para actividades recreativas y mayoritariamente en alto riesgo para contacto humano.

3. CONTAMINACIÓN DE AGUA Y EFECTOS

La contaminación del agua es uno de los tantos efectos negativos resultado de actividades capitalistas, pero sin ser consideradas parte del proceso, esto implica invisibilizar los daños para no asumir responsabilidades y evitar o amortiguar la contaminación. Por tanto, a pesar de ser un recurso vital y además fundamental para cualquier proceso económico no cuenta con ningún tipo de tratamiento antes de ser vertido al ecosistema. Los daños a la salud derivados de esta contaminación pueden ser ligeros o hasta mortales debido a la proliferación de micro y macroorganismos patógenos y a la toxicidad proveniente de efluentes industriales a la que se exponen los seres vivos cercanos a estos cuerpos de agua afectados, la respuesta social de los más afectados ha sido la integración de asociaciones civiles en busca de técnicas a costos accesibles, buscando fondos para demostrar científicamente los niveles de contaminación en sus cuerpos de agua, empleando monitoreos fisicoquímicos, bacteriológicos y de bioindicadores macroinvertebrados de calidad de agua, de esta manera sus denuncias ciudadanas tienen un respaldo científico que representa más peso para las autoridades competentes.

La contaminación de cuerpos de agua naturales afecta gravemente a las comunidades marginadas social y económicamente, debido a que son las más afectadas en términos de poca disponibilidad o mala calidad de esta, el argumento tiene base en que a pesar de que el volumen total de agua en nuestro planeta se estime en unos 1460 millones de kilómetros cúbicos; cerca de 70% de la superficie del planeta está cubierta por mares. Esto significa que, desde la escala de una botella de litro, 970 ml serían agua de mar y 30 ml sería agua dulce, incluyendo sus estados de la materia, vapor de agua en la atmósfera, lagos, ríos, hielos polares y agua subterránea, de los cuales solamente 10 ml serían el agua dulce disponible para consumo humano. Esta incluye agua superficial y agua subterránea, de la cual sólo 2 gotas de agua dulce se encontrarían en lagos y ríos (GWW, 2014).

El agua está presente en todas las células animales y vegetales, por tanto, la vida depende de la disponibilidad de este recurso. En los organismos vivos constituye el 97% en los invertebrados marinos y el 50% en las esporas, casi el 70% del cuerpo humano es

agua. Se estima que una persona requiere 25 litros de agua por día para cubrir sus necesidades básicas de bebida y aseo personal. Sin embargo, el consumo varía mucho, dependiendo de la región; desde 20 litros por día en áreas rurales de África hasta 295 litros por día en EE. UU., demostrando un consumo de agua promedio per cápita por año diferenciado, (ver cuadro 2).

Cuadro 2. Consumo de agua per cápita por año (mundial)

Norte América	1280 m ³
Europa y Australia	694 m ³
Asia	535 m ³
América del Sur	311 m ³
África	186 m ³

(fuente: <http://www.lenntech.com>)

Todos los procesos naturales del agua pueden ser revisados de la perspectiva de cuenca hidrográfica, la cual incluye el área total del terreno donde se drena agua, sedimentos y materiales disueltos hacia un punto común; por ejemplo, un río, un estanque, un pantanal, un lago, un estuario y finalmente el mar. Las cuencas son llamadas también áreas de drenaje (GWW, 2014).

El Golfo de México en particular, es una cuenca marítima ubicada entre los litorales de México, Estados Unidos y Cuba. La cuenca más grande dentro de América del Norte y la tercera en el mundo es la del Río Misisipi con 3,2 millones de km² por donde fluye y desemboca un caudal medio de 18.000 m³/s (70.000 m³/s o más en época de lluvias) en el Golfo de México.

En una cuenca, la tierra, el aire y el agua están ligados por el ciclo hidrológico; cuando llueve, una proporción del agua se filtra en el suelo, otra regresa al aire en forma de vapor y otra fluye sobre la superficie o escorrentía. Las plantas liberan agua en forma de vapor, circula sustancias disueltas y cierto grado de suspensión, como sustancias químicas en la transpiración. Debido a ello, el uso que se dé a la tierra en las cuencas afecta directamente la cantidad y la calidad del agua, considerando que el recurso no es ilimitado. El agua no se crea, se recicla constantemente en nuestro ecosistema (GWW, 2014).

En este sentido, un ecosistema sería una asociación de organismos vivos, su ambiente físico no vivo y todas las interacciones entre ellos (depredación, parasitismo,

simbiosis etc.); este puede variar en distancias y tiempo, debido a las condiciones ambientales regionales tales como la geología, altitud y tipo de clima. Entre los ecosistemas acuáticos se encuentran los estanques, lagos, ríos, áreas de inundación y pantanos.

Un ecosistema acuático con diferentes componentes físicos como son: caudal, substrato, temperatura y componentes químicos: oxígeno disuelto, nutrientes; estos factores definen los tipos de organismos que habitan allí, según sus adaptaciones, ciclos de vida, alimento. El río como un continuo fluvial es un modelo que muestra cómo las comunidades acuáticas cambian de manera natural a lo largo del recorrido de un río desde sus nacientes hasta su desembocadura.

Desde que las condiciones del ambiente cambian en el espacio y tiempo, el agua de ríos y lagos tiene gran variación natural debido a las características como el tipo de suelo en la cuenca, mientras que la calidad del agua puede variar debido a factores naturales, incluyendo las fluctuaciones de temperatura durante el día, las temporadas estacionales y los períodos de sequía y de manera relevante, las actividades humanas.

El agua se considera contaminada cuando su composición o cualquiera de sus propiedades físicas, químicas y/o biológicas han sido alteradas, de tal modo que los organismos que viven en ella se ven afectados, provocando cambios en la estructura y composición de sus comunidades.

La erosión en condiciones naturales es responsable de casi el 30% del total de sedimentos; en contraste, la erosión acelerada como resultado de actividades antropogénicas son responsables del 70% restante. De hecho, las liberaciones de sedimentos más concentradas y contaminantes provienen precisamente de dichas actividades, las cuales incluyen todos los sectores económicos y la transformación del territorio. En esta última, sobresale la agricultura y la ganadería donde se utilizan fertilizantes, pesticidas y alimento.

Por su parte, las zonas urbanas contaminan el agua directa o indirectamente, con base en los residuos líquidos domésticos e industriales que mezclan productos químicos

u orgánicos, desechados en cuerpos de aguas naturales sin tratamiento, afectando la calidad a niveles inadecuados para vida acuática o uso humano.

Por tanto, las fuentes de contaminación de agua permiten clasificarles en agropecuaria, municipal e industrial. Según la procedencia de la contaminación también se le suele clasificar en contaminación puntual y contaminación no puntual o difusa. La primera se refiere a una fuente de contaminación identificada, que proviene de un punto específico, como puede ser una tubería de drenaje. Mientras que los sedimentos contaminantes derivados de la urbanización, industrialización u otras actividades productivas que abarcan regiones amplias son un problema grave de la contaminación en ríos.

Cabe destacar que los nutrientes son sustancias necesarias para la vida de plantas y animales, sin embargo, en cantidades excesivas (sobre todo nitrógeno y fósforo) como aquellos provenientes de las actividades antropogénicas causan problemas de calidad de agua. De hecho, los fertilizantes y desechos humanos u otros animales son las fuentes principales de nutrimentos, causantes de riesgos microbiológicos.

En este sentido, los patógenos son microorganismos presentes en desechos animales, incluyendo los humanos, que pueden vivir libremente en el ambiente y causan enfermedades; la mayor parte de estos son virus o bacterias como *E. coli*, las cuales provienen de plantas de tratamiento mal construidas, deterioradas o inactivas. De la misma forma, los productos farmacéuticos son encontrados con mayor frecuencia en agua de consumo humano sin los tratamientos adecuados.

Los efectos de este "cóctel" en la vida acuática y humana son en gran parte desconocidos, sin embargo, se ha comprobado la feminización de especies actuales expuestas a algunos compuestos hormonales. Por su parte, las sustancias tóxicas que tiene efectos negativos en la salud humana y a otras formas de vida incluyen pesticidas, productos químicos caseros, gasolina, metales pesados y aceite de motor. (GWW, 2014).

Efectos a la salud

La calidad de agua determinadas en función de su condición bacteriológica permite identificar los riesgos en la salud humana asociados, particularmente al consumo agua

contaminada con materia fecal. De hecho, el monitoreo bacteriológico está diseñado para identificar cambios en el ecosistema acuático a través del tiempo, espacio y las actividades que podrían estar afectándolo.

En este sentido, es importante entender cómo y por qué el monitoreo de bacterias permite comprender su correlación con niveles dañinos a la salud humana, el cual aumenta debido a la contaminación en ríos, áreas de recreación en lagos, pozos, e incluso en agua "potable". Algunas de las fuentes de contaminación bacteriana son fosas sépticas, plantas de tratamiento de aguas servidas, tubos de drenaje rotos, derrame de drenajes (especialmente durante lluvias), ganadería y animales silvestres.

Características bacteriológicas

Las bacterias son capaces de metabolizar materia orgánica en descomposición localizada en cuerpos de agua o dentro de los intestinos de animales (incluidos humanos); convierten el nitrógeno atmosférico en compuestos que es crítico para la producción agrícola; son esenciales en el ciclo del hierro, fósforo y azufre; fermentan la materia orgánica para producir muchos alimentos y bebidas como leche agria, crema ácida, yogurt, cerveza, vino, queso; reducen contaminantes como derrames de petróleo y desechos tóxicos; son componentes de productos industriales tales como acetona, alcohol, metano, algunas vitaminas y muchos fármacos (penicilina, insulina, hormonas de crecimiento humano, entre otros).

Sin embargo, las bacterias que dañan a la salud² contribuyen en la toxicidad de alimentos, la formación de caries en los dientes, las enfermedades en cultivos agrícolas y animales. La presencia de *Escherichia coli* y otras bacterias coliformes en el agua es indicador de contaminación por excretas humanas o de otros animales. La concentración de *E. coli* (número por unidad de volumen de agua) está relacionada directamente a la probabilidad de que también esté contaminada por otros microorganismos dañinos como lo son *Salmonella* y *Shigella*. *Escherichia coli* (*E. coli*) forma parte de las coliformes fecales de la cual existen alrededor de 700 variedades (la mayoría de las cuales son inofensivas), sin

² En EEUU más de 48 millones de personas se enferman cada año por causa de *Salmonella* o *E. coli*, con un costo de casi 77 mil millones de dólares derivado de su tratamiento.

embargo, esta es una bacteria que vive principalmente en el intestino de animales y por consiguiente está presente en las heces; una persona excreta un promedio de 20 a 200,000 millones de *E. coli* al día, por tanto, el agua se contamina fácilmente de esta bacteria.

La cantidad de *E. coli* que un ser humano puede recibir antes de identificar sus efectos secundarios depende de la cantidad de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) por volumen que un cuerpo de agua pueda tener dependiendo su uso. La razón es que en la mayoría de los casos el agua para consumo humano es tratada a fin de eliminar bacterias y otros organismos patógenos. Sin embargo, la mayoría de los países en vía de desarrollo trata de seguir los lineamientos de calidad del agua promovidos por la Organización Mundial de la Salud, tanto para el agua potable a fin de ampliar la protección de la salud pública, como en las aguas de uso recreativo para proteger a los humanos de enfermedades debidas a la exposición a estos microorganismos dañinos.

En México, la NOM-001-SEMARNAT (1996) establece que el máximo permitido para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas nacionales es de 1000 y 2000 coliformes por 100 ml diarios. En contraste, la EPA en EEUU establecen que *E. coli* no debe exceder una media geométrica de 126 unidades formadoras de colonias (UCF) en 100 ml de muestra de agua, o no exceder 235 UCF en 100 ml de agua cuando solo se tiene una muestra de agua. Por su parte, GWW usa el símbolo de semáforo (Cuadro, 3) para indicar los niveles relativamente seguros e inseguros de *E. coli* en el agua.

Cuadro 3. Valor de *E. coli*/100 ml de agua establecidos como seguros o inseguros al contacto humano.

Acción		Número de <i>E. coli</i> en 100 ml
¡Alto!		600 muy peligrosa al contacto humano
¡Precaución!		200 – 600 > riesgo de causar enfermedad
¡Siga!		< 200 relativamente seguro para contacto humano

Fuente: (OMS, 2006; US-EPA)³

Análisis fisicoquímico

La temperatura está influenciada por la altitud, las condiciones, patrones, así como formas de vida; afecta las propiedades físicas y químicas del agua; influye en la alimentación, reproducción y tasas metabólicas de organismos acuáticos; afecta la

³ El valor de 200 *E. coli*/100 ml que define si el agua es relativamente segura e insegura para contacto humano corresponde estrechamente con los criterios de la US-EPA de 235 *E. coli*/100 ml, el valor establecido si se considera solo un análisis bacteriológico.

cantidad de oxígeno que el agua puede retener y la rapidez con que los nutrientes pasarán por el sistema acuático.

El agua forma capas (estratos) de diferentes temperaturas en embalses, lagos y estanques. Debido a las descargas industriales o por la escorrentía de las superficies impermeables puede aumentar la temperatura del agua; esta contaminación térmica es un problema en algunos arroyos y lagos, cuya temperatura es más baja que la temperatura del aire debido al agua subterránea o al sombreado de la vegetación. La mayoría de los organismos acuáticos pueden tolerar cambios graduales de temperatura, pero los cambios drásticos pueden causar estrés térmico, el cual se presenta por arriba de 32 °C siendo letal para muchos organismos acuáticos.

El oxígeno disuelto juega un papel vital en el mantenimiento de la calidad del agua, el hábitat de la vida silvestre acuática y la salud; en los ambientes acuáticos, el oxígeno ingresa al agua físicamente, cuando el aire se mezcla con el agua, la cual es la principal fuente de ríos, y, por otro lado, biológicamente, cuando las plantas acuáticas liberan oxígeno durante la fotosíntesis siendo la principal fuente en lagos y océanos.

El oxígeno de la atmósfera ingresa al agua más fácilmente a través de la acción del viento y las olas, o cuando el agua pasa sobre cascadas, el OD está naturalmente al menos 10,000 veces más concentrado en el aire que en el agua. La materia orgánica, tanto natural como de la contaminación, puede crear altas demandas biológicas de oxígeno (DBO) y eliminar el oxígeno del agua, causando "muertes de peces" y alteración de las comunidades de organismos acuáticos. Se estima que un valor de OD de 5.0 ppm es deseable para la mayoría de los organismos acuáticos, y se requiere para las corrientes clasificadas como "peces y vida silvestre" o superior.

El oxígeno disuelto también disminuye con el aumento de la temperatura, por lo que se espera que los valores de OD sean más altos durante el invierno y más bajos durante el verano; también disminuye con el aumento de la profundidad, por lo que se espera que los valores de OD sean más altos en la superficie de un lago y más bajos hacia el fondo. En lagos y estanques con alta concentración de nutrientes, el DO puede cambiar drásticamente a lo largo del día debido a la fotosíntesis de las plantas acuáticas, mientras

que en invierno es más bajo en verano (opuesto a la temperatura) porque la solubilidad del oxígeno es mayor en el agua más fría (GWW, 2014).

En ambientes acuáticos, la saturación de oxígeno es una relación entre la concentración de oxígeno disuelto (O_2) en el agua y la cantidad máxima de oxígeno que se disolverá en el agua a la temperatura y presión bajo equilibrio estable. El agua bien gaseada sin productores o consumidores de oxígeno está 100% saturada; es posible que el agua estancada se sobresatura un poco con oxígeno, debido a la presencia de productores de oxígeno acuático fotosintético o a un cambio de las condiciones atmosféricas.

En contraste, el agua estancada con materia en descomposición tendrá una concentración de oxígeno mucho menor que el 100%. La insuficiencia de oxígeno (hipoxia ambiental), a menudo causada por la descomposición de la materia orgánica y / o la contaminación por nutrientes, puede ocurrir en cuerpos de agua como estanques y ríos, tendiendo a suprimir la presencia de organismos aeróbicos como los peces. La desoxigenación aumenta la población relativa de organismos anaeróbicos como las plantas y algunas bacterias, lo que resulta en la muerte de peces y otros eventos adversos. Los cálculos de saturación de oxígeno se realizan teniendo en cuenta la temperatura del agua, la salinidad y la presión atmosférica donde se toma la muestra de agua (GWW México, 2021).

La alcalinidad es una medida de la capacidad de amortiguación del agua, de forma que un registro mayor proporciona un "amortiguador" contra los cambios en el pH, lo que lo hace más estable para la vida acuática. La piedra caliza es una fuente natural de alcalinidad (carbonato de calcio $CaCO_3$ o carbonato de magnesio $MgCO_3$). Cuando la piedra caliza se disuelve en agua, se producen carbonatos y bicarbonatos, y la alcalinidad aumenta. Con baja alcalinidad existen cambios rápidos en el pH si los ácidos o las bases entran en el agua.

El agua con mayor alcalinidad tiene un pH más alto. El agua salobre o agua de mar típicamente tiene una alcalinidad de 100 a 125 mg/l. Agua con baja alcalinidad tiene poca capacidad de amortiguación, y es susceptible a cambios rápidos en el pH a causa de

la adición de ácidos o bases. Las mediciones de alcalinidad y la dureza totales del agua en áreas con impacto industrial tienden a tener valores similares.

La alcalinidad no se considera perjudicial para los seres humanos, sin embargo, algunos consideran que su consumo prolongado amortigua la acidez del estómago, pero afecta la capacidad para digerir los alimentos y absorber las proteínas. Eso es una de las causas más comunes de las úlceras y además facilitar la infestación de parásitos en el intestino delgado.

En México, los CECCA-001/89 establecen que, en cuerpos de agua naturales, la alcalinidad no debe reducirse en más del 25% y no debe reducirse del todo cuando la alcalinidad es menor a 20mg/L. Además, el agua potable no debe tener más de 400 mg/L (GWW México, 2021).

La dureza en el agua es principalmente una medida de la cantidad de calcio y magnesio disueltos. La piedra caliza (CaCO_3 o MgCO_3) es una fuente natural de dureza, siendo necesario para animales y plantas requieren. De hecho, el calcio es un componente importante de las paredes celulares, conchas y huesos de muchos organismos acuáticos. El magnesio es un componente de la clorofila, que es necesaria para la fotosíntesis en las plantas verdes.

El agua dura puede causar problemas al dejar depósitos escamosos en tuberías y electrodomésticos, y disminuir la acción de limpieza del jabón y el detergente. La dureza del agua de mar es de 6.000 mg/L o más. La mayoría de los peces y organismos acuáticos viven en aguas con una dureza entre 15 y 200 mg/L. En cuerpos de agua con dureza inferior a 15 mg/L o superior a 500 mg/L la reproducción de los peces puede ser limitada. Beber agua con una dureza superior a 350 mg / L puede ser perjudicial para los seres humanos.

pH significa potencial de hidrógeno (lat. pondus Hydrogenii) y técnicamente, es el logaritmo negativo de la concentración de iones de hidrógeno, el cual disminuye a medida que los iones de hidrógeno (H^+) aumentan. El pH es una medida de qué tan ácida o básica es el agua. Un pH 7 es neutral, valores menores de 7 son ácidos y mayores de 7 son básicos. El pH en aguas naturales refleja el pH de los suelos por los que el agua

ha recorrido y puede variar con la época del año y en el transcurso del día. El rango óptimo de pH para la vida acuática es de 6.5 a 8.5 valores menores de 4.0 o mayores de 10.0 se consideran letales para organismos acuáticos.

Los ácidos orgánicos débiles reducen ligeramente el pH. El pH se ve afectado por el dióxido de carbono (CO₂) porque el CO₂ en el agua forma un ácido orgánico débil llamado ácido carbónico. Los ácidos minerales fuertes (por ejemplo, ácido sulfúrico, nítrico y clorhídrico) pueden reducir el pH a límites letales para la vida acuática. El pH del agua puede cambiar a lo largo de una temporada o incluso en un día. Las aguas industriales, municipales o agrícolas pueden tener un pH significativamente más alto o bajo que las aguas naturales. Las disminuciones en el pH podrían indicar lluvia ácida, escorrentía de suelos ácidos (por ejemplo, drenaje ácido de minas) o contaminación por desechos de ganado. Las aguas de desecho industrial, municipal o agrícola pueden tener un pH de líquidos más altos o bajos que las aguas naturales.

El dióxido de carbono (CO₂) influye en el pH en el agua al formar ácido carbónico, un ácido orgánico débil, resultado de la fotosíntesis de algas y plantas acuáticas. Los ácidos orgánicos débiles bajan un poco el pH del agua. Como dato curioso, dependiendo del pH del suelo, las flores de algunas plantas como la hortensia (*Hydrangea sp.*) puede cambiar totalmente de color. La hortensia en suelos ácidos (pH 5.0 a 5.5) produce flores azules, mientras que en suelos alcalinos (pH > 7) las flores son rosadas (GWW México, 2021).

La turbidez es una medida de la nubosidad del agua, la cual es causada por materia en suspensión como arcilla, limo y materia orgánica y por plancton y otros organismos microscópicos que interfieren con el paso de la luz a través del agua (Asociación Americana de Salud Pública, 1998); está relacionada con los sólidos suspendidos totales (TSS) y aunque no es un problema de salud importante, la alta turbidez interfiere con la desinfección y proporciona un medio para el crecimiento microbiano e incluso, indica la presencia de microbios

Los principales factores que afectan la turbidez son los sólidos en suspensión total y la materia orgánica, los cuales pueden cambiar de acuerdo con diferentes condiciones, incluyendo:

Altos caudales: el caudal de un cuerpo de agua es un factor primario que influye en las concentraciones de turbidez; la corriente rápida puede transportar más partículas y sedimentos de mayor tamaño. Las fuertes lluvias pueden recoger arena, limo, arcilla y partículas orgánicas de la tierra y llevarla a las aguas superficiales. Un cambio en el caudal también puede afectar la turbidez; si la velocidad o la dirección de la corriente de agua aumenta, las partículas de los sedimentos del fondo pueden ser resuspendidas.

Erosión del suelo es causada por la perturbación de la superficie de una tierra, incluyendo la construcción de edificios y carreteras, incendios forestales, tala y minería e incluso, las partículas erosionadas pueden ser transportadas por las aguas pluviales a las aguas superficiales.

Escorrentía urbana generados durante los eventos de tormenta, transportan partículas de suelo, escombros de las calles y residuos industriales, comerciales y residenciales pueden ser arrastrados a los arroyos. El pavimento en las áreas urbanas ha eliminado áreas de asentamiento natural y los sedimentos se transportan a través de los desagües pluviales a arroyos y ríos.

Efluente de aguas residuales y sistemas sépticos proveniente de las plantas de tratamiento de aguas residuales (EDAR), los cuales pueden agregar sólidos en suspensión y material orgánico a una corriente. Las aguas residuales del sector doméstico contienen residuos de alimentos, desechos humanos y otros materiales sólidos vertido en desagües. La mayoría de los sólidos y materiales orgánicos se eliminan del agua en la EDAR antes de ser descargados al arroyo, pero el tratamiento no puede eliminarlo todo.

Plantas y animales en descomposición que muertos se descomponen, las partículas orgánicas en suspensión.

Peces que se alimentan en el fondo (como la carpa) agitan los sedimentos a medida que eliminan la vegetación.

Floraciones de algas la cual aumenta cuando los nutrientes se liberan de los sedimentos del fondo durante las rotaciones estacionales y los cambios en la corriente de agua.

Inundación que traen partículas inorgánicas y orgánicas de la superficie de la tierra, y contribuirán a esto a la corriente.

Estándares de calidad del agua

Según la EPA, la turbidez no debe ser superior a 1 NTU (0,5 NTU para filtración convencional o directa) en al menos el 95% de las muestras diarias en cualquier mes⁴.

El agua contiene muchas sales; en el agua de mar son cloruro, sodio, magnesio, sulfato, calcio, potasio, bicarbonato y bromo, muchos de los cuales también están en fuentes de agua dulce, pero en cantidades menores. Las composiciones iónicas del agua continental dependen del entorno circundante; los lagos y ríos tienen sales metálicas y alcalinas con calcio, magnesio, sodio, carbonatos y cloruros. En condiciones de laboratorio, el agua pura contiene solo átomos de oxígeno e hidrógeno, pero en condiciones naturales, muchas sustancias a menudo se disuelven en agua, como la sal. La salinidad es la concentración de sal en el agua medida en partes por mil (ppm)⁵; varía a lo largo del ciclo de marea en el caso del mar, mientras que en los estuarios generalmente disminuyen en la primavera cuando el deshielo y la lluvia aumentan el flujo de agua dulce de los arroyos y las aguas subterráneas, las temperaturas más altas aumentan los niveles de evaporación en el estuario.

Los organismos estuanos tienen diferentes tolerancias y respuestas a los cambios de salinidad. Muchos animales que viven en el fondo, como las ostras y los cangrejos, pueden tolerar algún cambio en la salinidad, pero las salinidades fuera de un rango

⁴ La Regla de Tratamiento de Aguas Superficiales de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) requiere que los sistemas que utilizan agua superficial o subterránea bajo la influencia directa de las aguas superficiales (1) desinfecten su agua y (2) filtren su agua o cumplan con los criterios para evitar la filtración, de modo que en ningún momento la turbidez pueda superar las 5 unidades de turbidez nefelométricas (NTU).

⁵ La salinidad del agua de mar en el océano abierto es notablemente constante en aproximadamente 35 ppm. La salinidad en un estuario varía según la ubicación de uno en el estuario, las mareas diarias y el volumen de agua dulce que fluye hacia el estuario.

aceptable afectarán negativamente su crecimiento y reproducción y, en última instancia, su supervivencia. La salinidad también afecta las condiciones químicas dentro del estuario, particularmente los niveles de oxígeno disuelto en el agua; afecta la cantidad de oxígeno que puede disolverse en agua, o solubilidad. Cuanto mayor es la salinidad, menor es el punto de saturación; la solubilidad del oxígeno en el agua de mar es aproximadamente un 20 por ciento menor que en el agua dulce a la misma temperatura⁶.

Macroinvertebrados indicadores de calidad de agua

El biomonitoreo⁷ es un método en el que se usan organismos vivos con diferentes niveles de tolerancia a cambios provocados por diversas fuentes de contaminación, lo cual modifica las condiciones naturales de un ambiente sano, por lo cual, distintas especies ya no pueden sobrevivir en este nuevo hábitat perturbado. El Monitoreo Biológico de lagos y corrientes de agua es una práctica rutinaria de especialistas que usan una variedad de organismos, como peces, animales diminutos y organismos vegetales que viven en la columna de agua llamados plancton.

El ambiente físico en un ecosistema de un arroyo o un río influye considerablemente en los tipos de organismos que son capaces de vivir allí (adaptaciones). Este está influenciado por la precipitación, temperatura, geología, tipo de suelo, la topografía y las actividades humanas, afectando la corriente de agua, la forma y el declive, así como el tipo de sustrato, la calidad de agua, la cantidad de agua y la vegetación riparia.

En los ríos de cabecera, la vegetación de los bancos o riberas (zona ribereña, también conocida como riparia) es una parte muy importante del ecosistema del río y provee hojarasca como fuente principal de nutrimentos. La vegetación ribereña también provee de sombra al cauce del río. Esto reduce la fotosíntesis en el agua y provoca que el agua esté más fresca en verano y más tibia en invierno; lo cual es importante para los

⁶ La salinidad del agua dulce es inferior a 0,5 partes por mil (ppm), mientras que la salinidad del agua salada es de aproximadamente 35 ppm. Para un método más barato, pero algo menos preciso, pruebe un hidrómetro. Los refractómetros se utilizan para medir sustancias disueltas en agua, utilizando el principio de refracción de la luz a través de líquidos. Cuantos más sólidos disueltos en el agua, más lenta es la luz que viaja a través de ella.

⁷ La palabra BIOMONITOREO está compuesta de dos palabras: bio = vida y monitoreo = seguimiento en el tiempo de ciertas condiciones de interés. En este estudio el enfoque principal es en relación entre ambiente físico y su influencia en una comunidad biológica de organismos, llamados "macroinvertebrados bentónicos".

organismos que viven en las cabeceras de los ríos que están adaptados a vivir en esas condiciones de temperatura del agua.

Los nutrimentos aportados por la vegetación de las riberas de los ríos son catalizadores importantes para estimular la red alimenticia y la productividad de un río en general. Cuando una hoja cae en el agua se empieza a descomponer y la mayoría de sus nutrimentos se disuelven dentro de las primeras horas; en los días siguientes es colonizada por hongos y bacterias que aumentan su valor nutritivo para los macroinvertebrados quienes la consumen y digieren liberada como heces en el agua.

La vegetación ribereña es importante para reducir la entrada de contaminación a un río, porque ayuda a interceptar y filtrar escorrentías de lluvia contaminadas, las cuales acarrearán diversos contaminantes como sedimentos, químicos y metales pesados desde estacionamientos y otras áreas urbanas, y exceso de fertilizantes desde campos de cultivo y el césped de jardines.

Río como un continuo o continuo fluvial

La relación que existe entre el ambiente físico y la comunidad de organismos en los ríos ha sido descrita como el continuo del río. Moviéndose río abajo desde la cabecera, el orden del río aumenta, el canal se hace más ancho y profundo, disminuye la importancia de la vegetación ribereña en el sombreado e introducción de hojarasca. A medida que el canal en los ríos se hace más amplio y menos sombreado, la hojarasca deja de ser la fuente primaria de alimento; el alimento primario cambia de las hojas a las algas producidas en el fondo de los ríos y en la columna de agua de los canales profundos y de corriente lenta. Estos cambios físicos en ríos influyen naturalmente en la estructura y la función de comunidades de macroinvertebrados que ahí habitan. El continuo de río describe los cambios ecológicos en el ambiente físico y la comunidad biológica conforme nos movemos río abajo desde la cabecera de los ríos hasta las partes bajas (Figura, 1).



Figura 1. Ordenes de ríos en ambientes acuáticos y riberas.

Microhábitats

Los organismos que encontramos en sistemas acuáticos están adaptados a vivir en los distintos microhábitats presentes en arroyos y ríos, los cuales tienen diferentes características físicas e incluyen rápidos, pozas de agua corrientes o remansos⁸:

La capa límite es una capa muy delgada de agua localizada justo encima de la superficie del fondo del río en zonas de rápidos donde la corriente y la turbulencia son más reducidas comparados a la corriente rápida por encima de ellas. Los organismos que

⁸ Los rápidos tienen turbulencia, sustrato grueso, alimento y oxígeno disuelto; los organismos que viven ahí tienen adaptaciones que les permiten sujetarse al sustrato o construir madrigueras bajo la superficie. Las pozas tienen agua que tiene sedimentos más finos, y niveles inferiores de oxígeno disuelto. Las partículas que flotan a la deriva tienden a descender al fondo, saliendo de la columna de agua y creando sustratos finos, muy ricos en materiales orgánicos. Esto brinda oportunidad a una variedad de organismos a que vivan dentro del sustrato. Las corrientes o remansos son zonas de transición entre los rápidos y las pozas, caracterizadas por agua con movimiento lento. La velocidad del caudal, la turbulencia y los niveles de oxígeno disuelto son intermedios entre rápidos y pozas. Las Grietas y los espacios son sitios abiertos entre partículas de sustrato más grandes, que proporcionan refugio a los organismos en corrientes rápidas. Los organismos tienden a ser de tamaño pequeño y tener patas adaptadas para excavar. Las riberas (bancos) y las salientes son hábitats muy variables que a menudo tienen concavidades protectoras, raíces y sustratos parecidos a un suelo.

viven aquí tienden a ser alargados y aplanados. La película superficial es el límite entre el agua del río y la atmósfera. Las partículas finas a menudo son atrapadas en esta capa superficial y los organismos acuáticos como los insectos patinadores son capaces de caminar sobre ella sin que sus patas se mojen. La columna de agua es la capa de agua debajo de la película superficial y por encima del fondo. En ríos grandes, los organismos que se encuentran en esta región son similares a aquellos encontrados en lagos. Pero en ríos de cabecera la columna de agua contiene organismos que van a la deriva en la corriente es decir organismos flotantes.

Uso de macroinvertebrados para biomonitorio de calidad de agua

La presencia o la ausencia de varios tipos de macroinvertebrados bentónicos es uno de los mejores modos de estimar el nivel de perturbación humana y la contaminación en ríos, es decir la salud del cuerpo de agua, por varias razones. Cada especie tiene características únicas en cuanto a exigencias de hábitat, evolución, comportamiento y tolerancia a la contaminación. Los macroinvertebrados son fáciles de recolectar e identificar haciendo uso de un equipo barato y claves de identificación simples logrando ser así un método seguro y de bajo costo.

La abundancia de los macroinvertebrados en ríos no perturbados permite cubrir prácticamente el fondo, por lo cual es sencillo coleccionar cientos de individuos en sólo unos minutos usando redes simples y baratas, haciendo de ellos, organismos ideales para estimar las condiciones ambientales. Los especialistas a menudo obtienen cientos de especies en un solo río. Cientos de macroinvertebrados o hasta miles de ellos pueden vivir en un metro cuadrado de sustrato, y muchos pueden ser encontrados con sólo ver bajo las piedras, palos y hojas en el río.

Sus hábitos sedentarios y bentónicos los mantienen la mayor parte de sus vidas en la misma ubicación general en el río, expuestos a las condiciones de calidad de agua en ese sitio durante un período largo del tiempo. Generalmente no se reubican aun cuando las condiciones son adversas y funcionan como pequeños "mini medidores", inspeccionando la calidad de agua en sus "casas" las 24 horas por día, siete días por semana, durante toda su vida. Su presencia, ausencia, o abundancia refleja su capacidad

o inhabilidad de sobrevivir en vez de su habilidad para escapar a sitios con condiciones más favorables.

La diversidad de los macroinvertebrados (especies de diferentes taxa de organismos), con una variedad grande de estrategias para alimentarse (Figura, 2). Permite estudiar fácilmente la calidad de los cuerpos de agua, los macroinvertebrados bentónicos son especialmente diversos en áreas de rápidos de ríos de cabecera. Los ríos sanos tienen grupos más diversos de macroinvertebrados que los ríos menos sanos. Esta tendencia se observa mejor comparando a los organismos encontrados en zonas de rápidos en ríos similares en tamaño. Su sensibilidad a cambios en la calidad del agua y hábitat los vuelve buenos monitores e indicadores de contaminación porque algunos grupos son muy sensibles (grupo intolerante a la contaminación) a cambios en la calidad del agua. Algunos pueden sobrevivir en aguas muy limpias y estables mientras que otros sobreviven bien en hábitats muy contaminados y perturbados. Además, los macroinvertebrados pueden ser afectados por la sedimentación y la pérdida de hábitat. Sin embargo, tienen también la característica de resiliencia (pueden recuperarse de catástrofes naturales o causadas por el humano), lo que permite que sean muestreados repetidamente si se da el tiempo suficiente para que su población se restablezca.

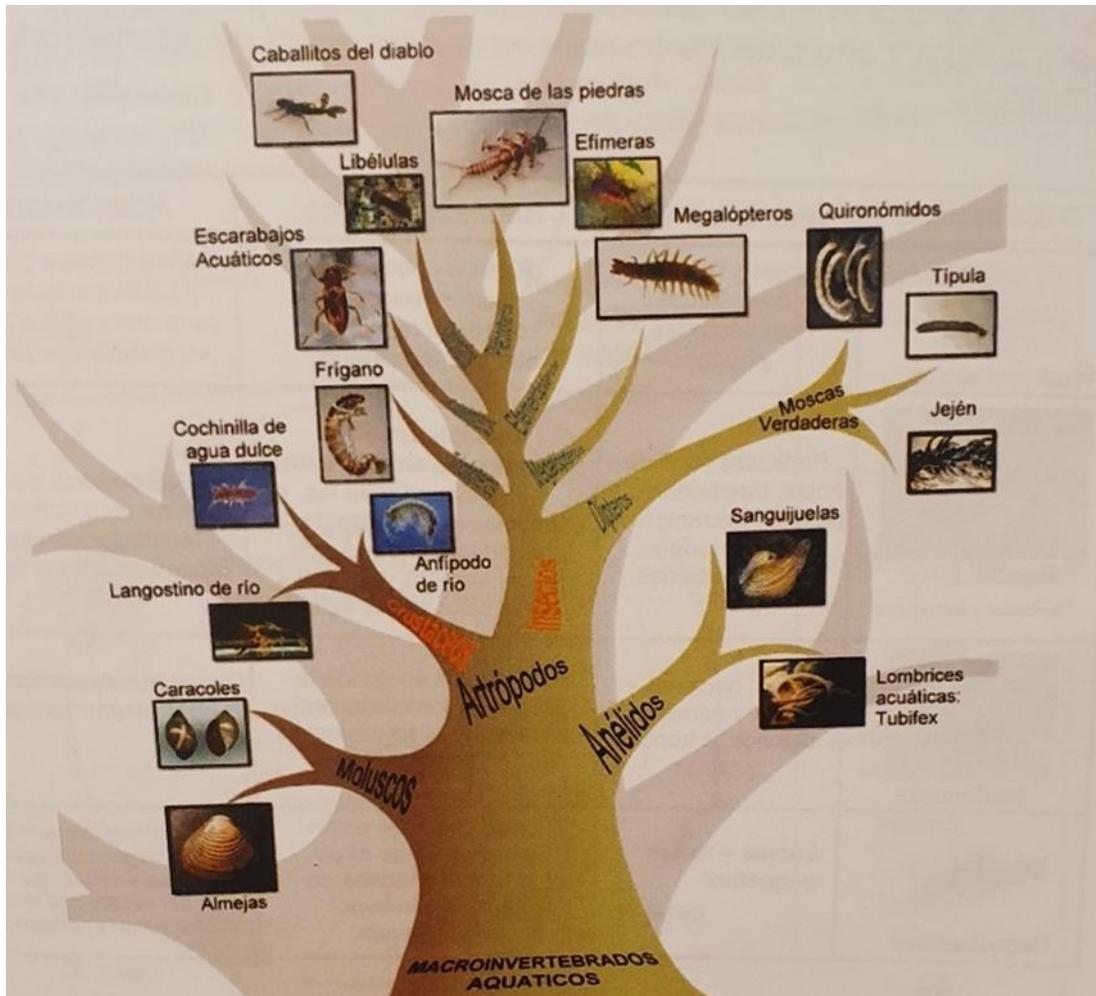


Figura 2. Árbol genealógico de macroinvertebrados acuáticos

Los macroinvertebrados bentónicos incluyen insectos adultos y juveniles (estadios larvales), almejas, mejillones, caracoles, crustáceos, y lombrices acuáticas. Los grupos de insectos acuáticos más comunes incluyen efímeras, plecópteros, fríganos, megalópteros, libélulas, mosquitos, y escarabajos. La mayor parte de macroinvertebrados tienen un tamaño menor que 2,5 cm de largo y muchos son aún más pequeños. Los macroinvertebrados más comunes en ríos del sudeste de Estados Unidos, son insectos, lombrices acuáticas, sanguijuelas, anfípodos, langostinos de río, almejas y caracoles. De éstos, los insectos acuáticos es el grupo más numeroso y con mayor biodiversidad.

Considerando sus hábitos alimenticios, los macroinvertebrados están agrupados generalmente en cuatro categorías llamadas "Grupos Funcionales", con base en sus adaptaciones para obtener alimentos y el tipo y tamaño del alimento. Estos grupos son:

fragmentador (desmenuzador o triturador), recolector (recolector- filtrador), herbívoro (raspador), y depredador. La composición de los diferentes grupos funcionales presentes en cualquier momento dado está determinada en gran parte por el orden jerárquico de la corriente. En ríos de cabecera, donde la entrada de energía es principalmente en forma de hojas caídas, hay principalmente trituradores y colectores. Conforme aumenta el orden del río y se hace más ancho, la fuente principal de alimento en un río cambia de las hojas caídas a algas y esto produce cambios en la comunidad de macroinvertebrados bentónicos.

Ciclos de vida

Los ciclos de vida de los macroinvertebrados acuáticos duran varias semanas hasta varios años. Éste hecho indirectamente puede indicar la calidad del agua en la que han vivido, no únicamente la calidad del agua que hay en el río en el momento en que los encontramos. Los insectos cambian de tamaño y aspecto físico conforme crecen. Este proceso es llamado metamorfosis. Hay dos tipos básicos de metamorfosis: metamorfosis completa y metamorfosis incompleta. Los insectos que tienen una larva parecida a una oruga y se transforman en pupa antes de surgir como adulto, transcurren una metamorfosis completa. Los fríganos (tricópteros) son un buen ejemplo de insectos con metamorfosis completa. Otros insectos tienen formas inmaduras que se parecen a la forma adulta. Sus formas inmaduras son llamadas ninfas y no tienen una etapa de crisálida. Este tipo de metamorfosis es conocido como metamorfosis incompleta, y se observa en especies de efímeras y plecópteros. Es interesante notar y considerar que las diferentes etapas de vida de una misma especie pueden tener tolerancias diferentes a la contaminación.

Los macroinvertebrados bentónicos se diferencian enormemente en su capacidad de tolerar la contaminación y perturbaciones humanas. Esto explica por qué son tan útiles para evaluar la salud de un cuerpo de agua. Los macroinvertebrados que son más intolerantes a la contaminación suelen prosperar sólo en aguas limpias y sanas. En condiciones favorables ellos compiten y sobreviven con más éxito que muchas especies que son más tolerantes a la contaminación y mantienen el número de su población

relativamente constante. Conforme aumenta la contaminación, las formas intolerantes a ésta son eliminadas y otras especies más tolerantes son oportunistas y aprovechan el espacio lo que les permite ser más abundantes.

Con base en su tolerancia a la contaminación, los macroinvertebrados acuáticos a menudo son categorizados en tres grupos de la siguiente forma: 1) intolerante, 2) algo tolerante, y 3) muy tolerante.

Estos macroinvertebrados requieren condiciones prístinas o casi prístinas para sobrevivir. Los macroinvertebrados del Grupo 1 (Figura, 3) no pueden sobrevivir en ambientes desequilibrados o contaminados. Las comunidades de macroinvertebrados en hábitats prístinos tienen más diversidad y cada tipo individual está presente en niveles bajos a moderados, comparados con hábitats contaminados que presentan números altos de unos pocos tipos de organismos. Ejemplos de este grupo son efemerópteros, plecópteros, la mayoría de tricópteros, y algunos escarabajos de río.

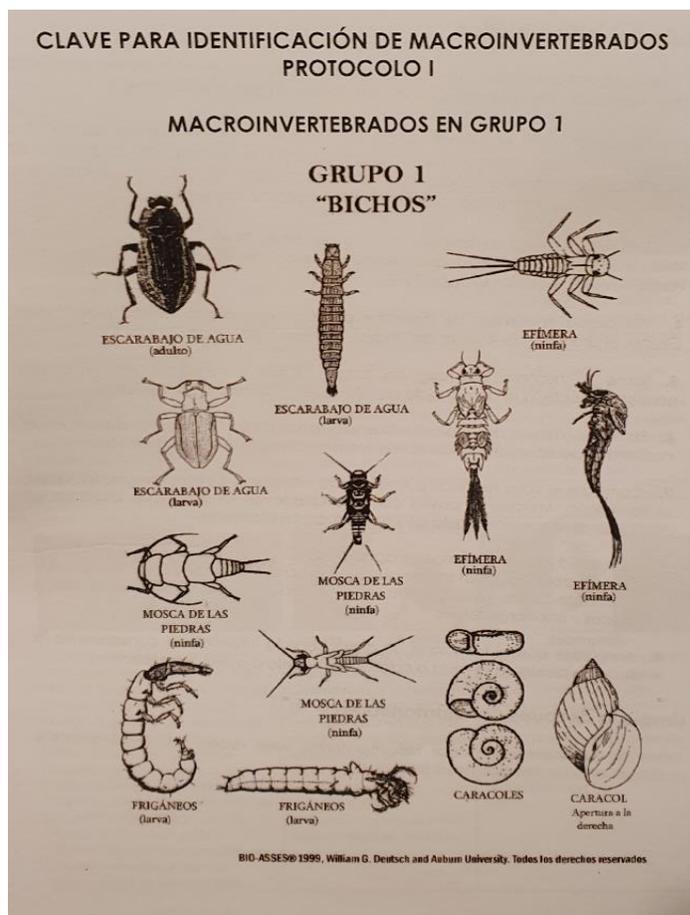


Figura 3. Macroinvertebrados del grupo I

Estos macroinvertebrados son capaces de sobrevivir en una amplia variedad de hábitats. Sin embargo, aunque estos organismos tienen la capacidad de vivir en hábitats sin contaminación, en esas condiciones son normalmente desplazados por sus homólogos "intolerantes". Los macroinvertebrados en el Grupo 2 (Figura, 4) que son "algo tolerantes" a la contaminación requieren una mejor calidad de agua que los organismos más tolerantes. Ejemplos de este grupo son las libélulas, langostinos de río, almejas, megalópteros, anfípodos e isópodos de río y los tricópteros filtradores.

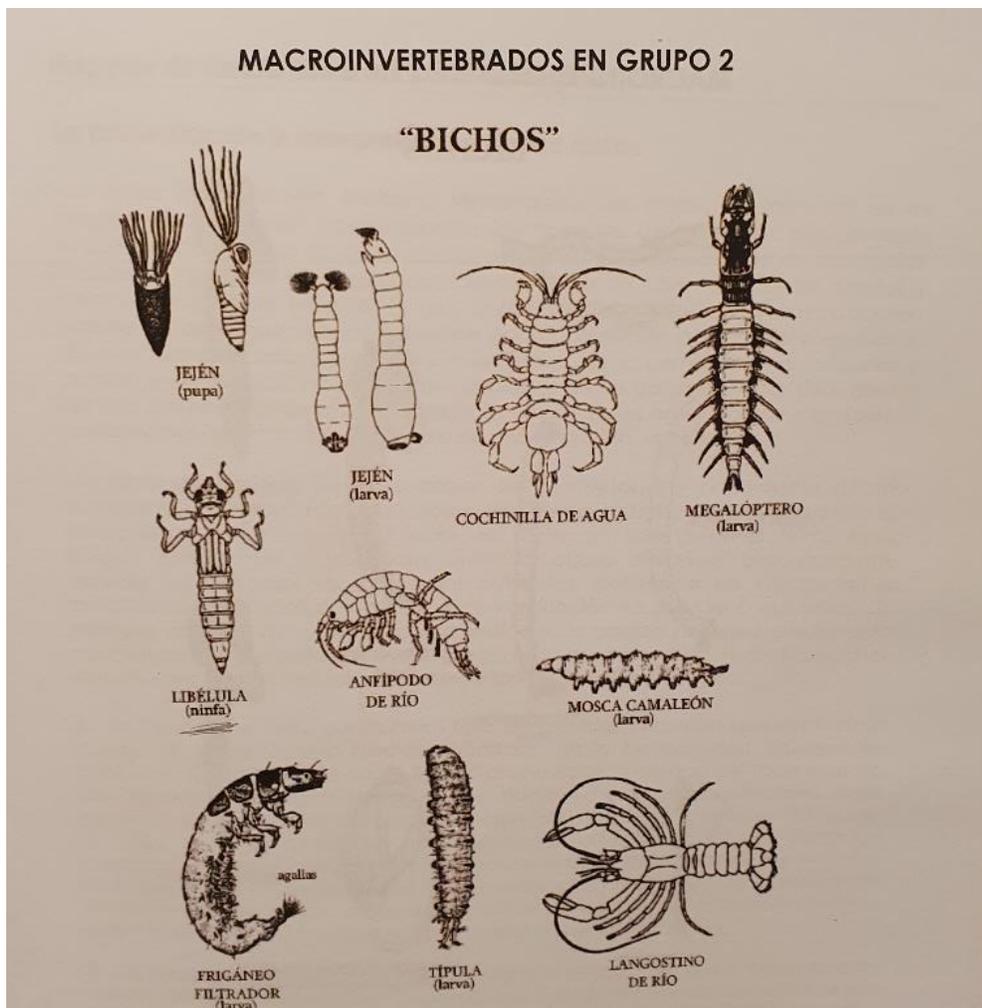


Figura 4. Macroinvertebrados del grupo II

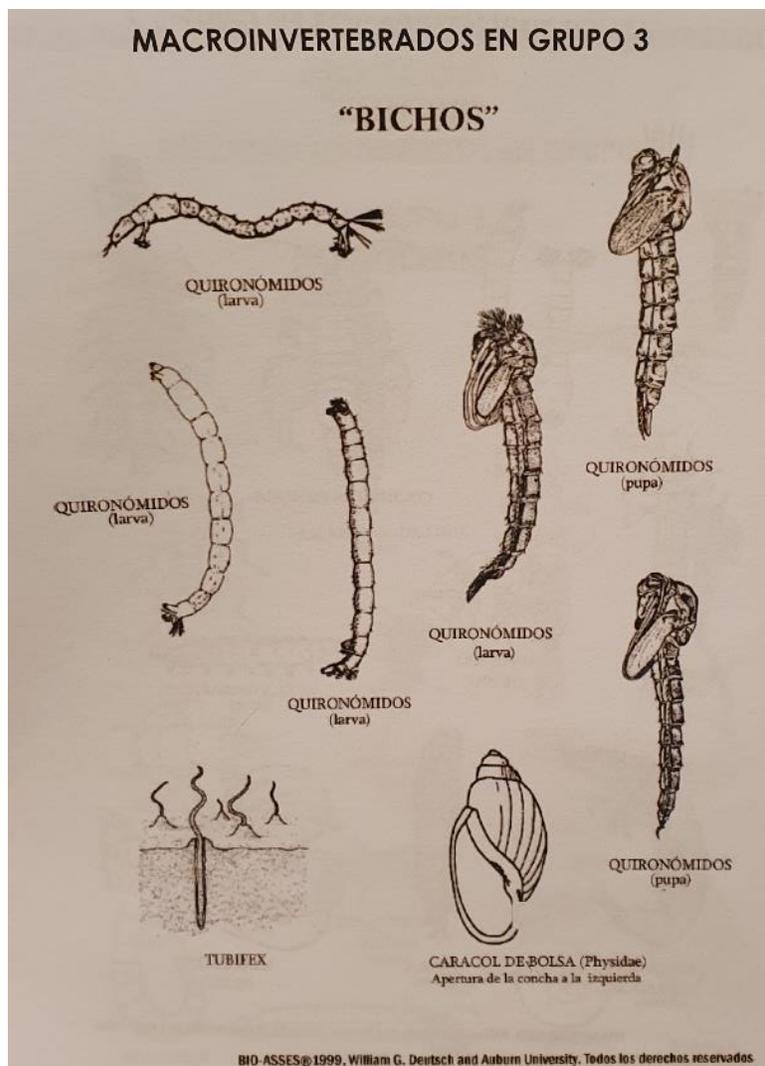


Figura 5. Macroinvertebrados del grupo III

Estos macroinvertebrados son capaces de sobrevivir en agua limpia y también en ambientes algo contaminados, pero no lo requieren. Los macroinvertebrados en el Grupo 3 (Figura, 5) también pueden sobrevivir en ambientes más contaminados mientras que los organismos intolerantes no pueden. Los ambientes contaminados por lo general muestran la predominancia de unos pocos organismos diferentes que están presentes en números muy altos. Ejemplos de este grupo son las lombrices de agua.

Cuando un río recibe contaminación, cambian las condiciones del hábitat y da a algunas especies una ventaja sobre otras debido a diferencias en la tolerancia a la contaminación. En cierto modo, la contaminación "cambia las reglas." Conforme aumenta la contaminación, las especies que son intolerantes, en el Grupo 1, experimentan una capacidad reducida de sobrevivir. Esto hace que su número disminuya y de esta

manera, ellos aparecen con menor frecuencia en las muestras o monitoreos. Las especies que tienen una tolerancia más alta a la contaminación son capaces de sobrevivir mejor en este hábitat que las especies intolerantes.

Los muestreos en hábitats algo contaminados resultan en muestras con sólo unos pocos representantes del Grupo 1, una mayoría del Grupo 2, y unos pocos del Grupo 3 se da cuando los niveles de contaminación se hacen aún más altos, las especies del Grupo 1 son casi eliminadas y predominan las especies de los Grupos 2 y 3 (Deutsh et. al., 2010).

Las diferentes alternativas para monitorear la calidad de agua a lo largo del tiempo, en términos de su composición fisicoquímica, densidad bacteriológica, presencia de macroinvertebrados bioindicadores aportan datos completos para comprobar el grado de contaminación, cuando estas diferentes pruebas demuestran la alteración de propiedades fisicoquímicas del agua, mismas que facilitan la presencia de microorganismos y macroinvertebrados indicadores de contaminación no hay duda de el aporte de RLU vertidos al río sin ningún tipo de tratamiento previo, además teniendo estos resultados constantes se comprueba el aporte de contaminación constante.

Los resultados de estos análisis también brindan la posibilidad de desarrollar estrategias de mitigación o restauración, mismas que son de interés para las comunidades afectadas por vivir cerca de estos cuerpos de agua contaminados, se han formado asociaciones civiles que han tenido casos de éxito para su remediación implementando técnicas de monitoreo empleadas por GWW, aportando pruebas científicas con impactos positivos para denuncias ciudadanas donde las autoridades correspondientes toman acciones verdaderas y reales, sin duda, el trabajo comunitario siempre tiene visiones de preservación.

Las políticas públicas escritas en el país han sido bien planeadas y cuentan con propuestas de manejo para su mitigación y saneamiento, sin embargo, poco se lleva a la acción por el gasto que implica, además de que los recursos asignados comúnmente no se utilizan para cumplir dichos objetivos, ni les dan continuidad a los proyectos implementados.

Marco legal sobre saneamiento y calidad de agua

En el artículo 4º de la constitución política de los Estados Unidos Mexicanos se plantea como objetivo la prevención de contaminación al medio ocasionada por los residuos, es decir, por medio de la valoración y responsabilidad compartida, aún a pesar de que este estipulado que... “El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley”.

En este sentido, las responsabilidades recaen jerárquicamente a nivel federal, estatal y municipal, las cuales a partir de una clasificación básica y general de residuos se enfocan principalmente en orientar y fomentar la prevención desde la generación, valoración y gestión integral de los mismos, así como también promover participación de todos los actores sociales.

La clasificación de los residuos se divide en residuos sólidos, residuos de manejo especial y residuos peligrosos. Las características distintivas se basan en los componentes y su capacidad de descomposición, así como también en el volumen generado mensualmente.

Las acciones que se proponen van dirigidas a la prevención de la contaminación en sitios derivada de los residuos, la remediación y regulación de importación y exportación de residuos. Así como promover la investigación y desarrollo tecnológico para reducir y mitigar la generación de estos para poder proponer medidas de control, correctivas y de seguridad que garanticen el cumplimiento y aplicación de esta ley (Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión, 2018).

La LGPGIR define un residuo como: material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven.

La definición de “residuo” en la ley es completa pero en la acción reducida, en México los residuos se clasifican en Residuos de Manejo Especial, Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Residuos Peligrosos (corrosivos, reactivos, explosivos, tóxicos,

inflamables y biológico-infecciosos), en ninguna categoría o subcategoría se incluyen a los residuos resultantes de emisiones de gases de efecto invernadero (Residuos Gaseosos Urbanos) o a las mismas aguas residuales (Residuos Líquidos Urbanos) (Montes, 2021).

En este sentido, el omitir considerar en alguna clasificación a los Residuos Gaseosos Urbanos y a los Residuos Líquidos Urbanos se excluyen dos terceras partes de la problemática actual de la contaminación ambiental por generación de residuos. Los residuos líquidos urbanos en particular no son considerados residuos porque cumplen con las características descriptivas de las categorías estipuladas, por estar formado por dos elementos (agua 99% y sólidos disueltos/semidisueltos 1%), sin embargo, se clasifica solamente para el lodo residual como residuo.

El problema frente a esta clasificación radica en la realidad de países subdesarrollados, entre los cuales, por supuesto está México. Los lodos residuales deberían tener un tratamiento previo, lo cual, por cuestiones de escaso o nulo presupuesto gubernamental o evasión de responsabilidades externalizadas negativas por parte de empresas privadas no se lleva a cabo.

En países subdesarrollados se estima que los residuos líquidos se tratan muy por debajo de la media mundial. Pareciera que el evitar clasificar a las aguas residuales como un residuo, funciona como una estrategia para evitar otorgarles tratamiento.

En contraste, en países desarrollados la realidad es otra, se estima que tratan el 70% de sus residuos líquidos, lo cual garantiza que exista más lodo residual que agua contaminada. El problema social en México por no tener previo tratamiento resulta de tener mayor volumen agua contaminada, por la combinación de estos lodos residuales es que son peligrosos para la salud.

Sin embargo, este problema no es general, sino excluyente de la población privilegiada con acceso ilimitado a servicios públicos, los cuales son responsables de la generación de residuos líquidos urbanos, pero sin exposición a la contaminación que generan. La realidad es distinta para la mayor parte de la población, sobre todo a quienes habitan cerca de un Río, debido a que en es en el sitio donde llegan a disposición final los residuos líquidos urbanos sin tratamiento.

Es necesaria una nueva clasificación de residuos en países subdesarrollados que pondere los impactos socioambientales y que considere las condiciones económicas, basado en la realidad del mayor porcentaje de la población. Tomando en cuenta que los residuos líquidos urbanos contienen elementos tóxicos, infecciosos, y si pudieran clasificarse por volumen serían de manejo especial, en este sentido, quien lo genera debería asumir la responsabilidad de su tratamiento, la propuesta gira en torno a una nueva clasificación donde se considere un rango amplio de conceptos como los que engloban los RSU considerando los distintos estados de la materia, tomando en cuenta el volumen y presencia de Residuos Peligrosos, Residuos Incompatibles, de modo que el manejo para la prevención o tratamiento considerara todos los puntos mencionados garantizando eficacia y una mejora constante.

4. CARACTERIZACIÓN DEL RIO CUAUTLA

La realidad en nuestro país es que según datos registrados por SEMARNAT más del 70% de los ríos está contaminado (agua.org, 2021) particularmente en el municipio de Cuautla, Estado de Morelos cuenta con un río que presenta alto grado de contaminación derivado de efluentes vertidos al mismo, provenientes del sector industrial, doméstico y ganadero. Los RLU son depositados al río sin ningún tipo de tratamiento previo debido a que ninguna planta tratadora funciona en óptimas condiciones, todas presentan fallas en su funcionamiento.

Las condiciones marginales suelen ser sinónimo de insalubres, desencadenando una serie de conflictos sociales, entre 2012 y 2017 se registraron en México alrededor de 560 conflictos en 1,030 notas periodísticas, los cuales tienen su origen en minería (173), agua (86), energía (74), proyectos de mega turismo (49), expansión urbana (38), forestales (37), agrícolas (35), residuos tóxicos y peligrosos (34), construcción de carreteras (16), pesqueros (10) y biotecnológicos, es decir, introducción de transgénicos (8) (UCCS, 2018).

Los conflictos socioambientales ocasionan problemas de salud, despojo, destrucción de bosques y selvas, interrupción de cuencas, contaminación de aire, suelo y

agua, daños a los sistemas agrícolas, ganaderos y pesqueros, dando lugar a movimientos de resistencia frente a las empresas responsables⁹. Esto ha llevado a formas violentas de resolución que incluyen el asesinato de 99 líderes ambientalistas entre el 2000 – 2015; el encarcelamiento de 350 luchadores sociales por oponerse a megaproyectos, e incontables enfermos, pero también a un incremento de la morbilidad y mortalidad debido a la exposición a contaminación. En Morelos, por ejemplo, ha existido una resistencia permanente contra megaproyectos como el club de golf en el municipio de Tepoztlán en 1994¹⁰ o en caso más reciente frente a la termoeléctrica de Huexca.

Estas resistencias son ocasionadas por proyectos cuyos efectos resultan visibles, sin embargo, existen otro tipo de impactos que pasan desapercibidos a pesar de que la magnitud del problema es algunas veces mayor. En tal caso, se identifica el volumen de desechos líquidos industriales, domésticos, agrícolas y ganaderos, cuyos puntos de descarga son camuflados en pavimento o vertidos a corrientes de agua por medio de tubos de PVC o concreto.

La calidad de agua se ha deteriorado sin tener el conocimiento de las dinámicas de contaminación de las aguas residuales ni los contaminantes que estas aportan. En todo caso, los síntomas que aquejan a la población habitando en zonas riparias no se correlaciona directamente con el agua contaminada, aunque en tales asentamientos irregulares exista una condición de vulnerabilidad debido a los altos índices de pobreza.

En este sentido, las condiciones de pobreza privan a la sociedad de tener acceso a las necesidades básicas para vivir, entre estas, un lugar digno para vivir y aunque en la constitución política se establece como un Derecho, no todos pueden pagar para hacerlo valer. Frente a estas circunstancias, se ven obligados a establecerse de manera irregular y consecuentemente sin acceso a servicios “públicos”, como son alcantarillado y drenaje. Este problema es frecuente en las ciudades que contaminan los cuerpos de agua, pero al

⁹ Ibarra-García (2012) menciona que, en la historia contemporánea del país, se identifican dos etapas para el análisis de los movimientos sociales por el desarrollo de megaproyectos: en la primera etapa surge la fundación del partido político más antiguo de México, el Partido Revolucionario Institucional en 1929, en donde la implementación de megaproyectos operaba por consenso de ejidos y comunidades, sin embargo, si no funcionaba se utilizaban mecanismos como la violencia y la represión. En la segunda etapa surgió la construcción de la planta hidroeléctrica en San Juan Tetelcingo, Guerrero donde consecuentemente surge una sociedad organizada para cancelar el proyecto del Estado en 1989.

¹⁰ El proyecto demandaba una inversión total de 478 millones de dólares y estaba diseñado para la utilización de 187 hectáreas, así como el uso de agua para su operación. El Comité de Unidad Tepozteca fue la que organizo la resistencia.

mismo tiempo ocultan descargas de agua y normalizan los aportes de efluentes con el argumento de que el 60% de aguas residuales son tratadas, el cual está por arriba del real en el municipio de Cuautla, Morelos, donde las cuatro plantas tratadoras presentan problemas en su funcionamiento.

En todo caso, la resistencia no visible de la sociedad frente a esta condición adversa tiene que ver con la adecuación a condiciones de falta higiene y a una exposición cotidiana a efluentes contaminados, frente a la pantomima de las plantas tratadoras de aguas residuales.

Residuos líquidos urbanos (RLU)

El estado de Morelos se encuentra en la cuenca del río grande de Amacuzac en una región cuya diversidad biológica y cultural¹¹ se encuentra en riesgo por la fragmentación del territorio debido a los patrones de crecimiento urbano (Monroy y Colín, 2012); dicha fragmentación no solo representa un cambio de uso de suelo sino todo un proceso de uso y contaminación de agua de las ciudades.

Al mismo tiempo, la entidad registra una de las mayores tasas de sustitución de los usos de suelo, destacando que 54.4% del área es agrícola, 40.3% a bosque y 3.45% a selva baja caducifolia. Pero derivado de dicha condición también se amenaza la producción de alimentos y con ello la seguridad alimentaria, debido a que las zonas agrícolas y otras unidades productivas tradicionales, como la milpa, cercas vivas y huertos frutícolas tradicionales son sustituidos directamente por infraestructura urbana o contaminados por la demanda de recursos. Además, al sustituir zonas con vegetación de bosque y selva baja caducifolia se cancela servicios como el almacenamiento y disponibilidad de agua, captura de carbono, regulación del clima y la disponibilidad de especies útiles para la población del estado, las cuales son útiles para satisfacer algunas de sus necesidades fundamentales como la alimentación, la salud e incluso, aspectos materiales de vivienda.

¹¹La cuenca del río grande Amacuzac tiene una extensión de 8766. 88 km², en los cuales los usos de suelo agrícola con 42.6%, la selva baja caducifolia con 33.8% y el bosque con 18.3% son los usos de suelo predominantes (Monroy-Ortiz y Monroy, 2012).

En este sentido, el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2016) estima que el 49.5% de la población se encuentra en situación de pobreza; siendo 24.4% vulnerable por carencias sociales como la falta de seguridad social (62.1%), de alimentación (19.5%), de servicios de salud (15%), servicios básicos (17%) y de vivienda (10%). Es decir, la fragmentación territorial debido a la expansión urbana y sus correspondientes impactos en la pérdida de diversidad, la extracción de recursos o la contaminación representan un riesgo para la población en términos de sus tradiciones y cultura que dan la identidad.

Sobreexplotación y contaminación del río Cuautla

En términos de la sobreexplotación y contaminación del río Cuautla podrían mencionarse varios determinantes de sus condiciones actuales. El primero sería que este se propone como fuente para aprovisionamiento de dos plantas termoeléctricas, las cuales requieren 50 millones de litros al día; esto significaría la extracción de 579 litros por segundo a lo largo de las 24 horas del día, disminuyendo el caudal a sólo 621 litros por segundo y reduciéndose aún más en la época de estiaje.

Esto representa un conflicto de disponibilidad: en primera instancia, el caudal del río Cuautla se estima en 1,200 litros de agua por segundo en la época de lluvias, mientras que para el gobierno estatal de Morelos este sería de 122,000 litros por segundo, lo cual tendría implicaciones negativas en cualquiera de los casos, para actividades agrícolas y ganaderas en más de 25 ejidos pertenecientes a los municipios de Cuautla, Yecapixtla, Ayala, Tlaltizapán, incluso ejidos de Tlaquiltenango y Tepalcingo, lo cual viene a agudizar el déficit de 300.395 hm³ anuales de aguas superficiales identificado en la cuenca (Comisión Nacional del Agua, 2017) (Figura, 6).

Además, en la cuenca del Río Amacuzac al que pertenece el río Cuautla existen 998 concesiones de aguas superficiales, que amparan un total de 599 millones de m³ anuales distribuidos en 1,209 aprovechamientos, lo cual representa 30% de las concesiones el estado de Morelos y 70% el Estado de México, Puebla y Guerrero (Figura, 7). La distribución según el volumen utilizado en uso agrícola es de 80.45% y público urbano 10.71%.

Particularmente para el estado de Morelos, las concesiones reflejan que 51.41% corresponden a uso agrícola y 25.96% a uso público urbano. En cuanto al volumen utilizado, la actividad agrícola sigue siendo el principal con el 61.55% de un total de 167 millones m³.

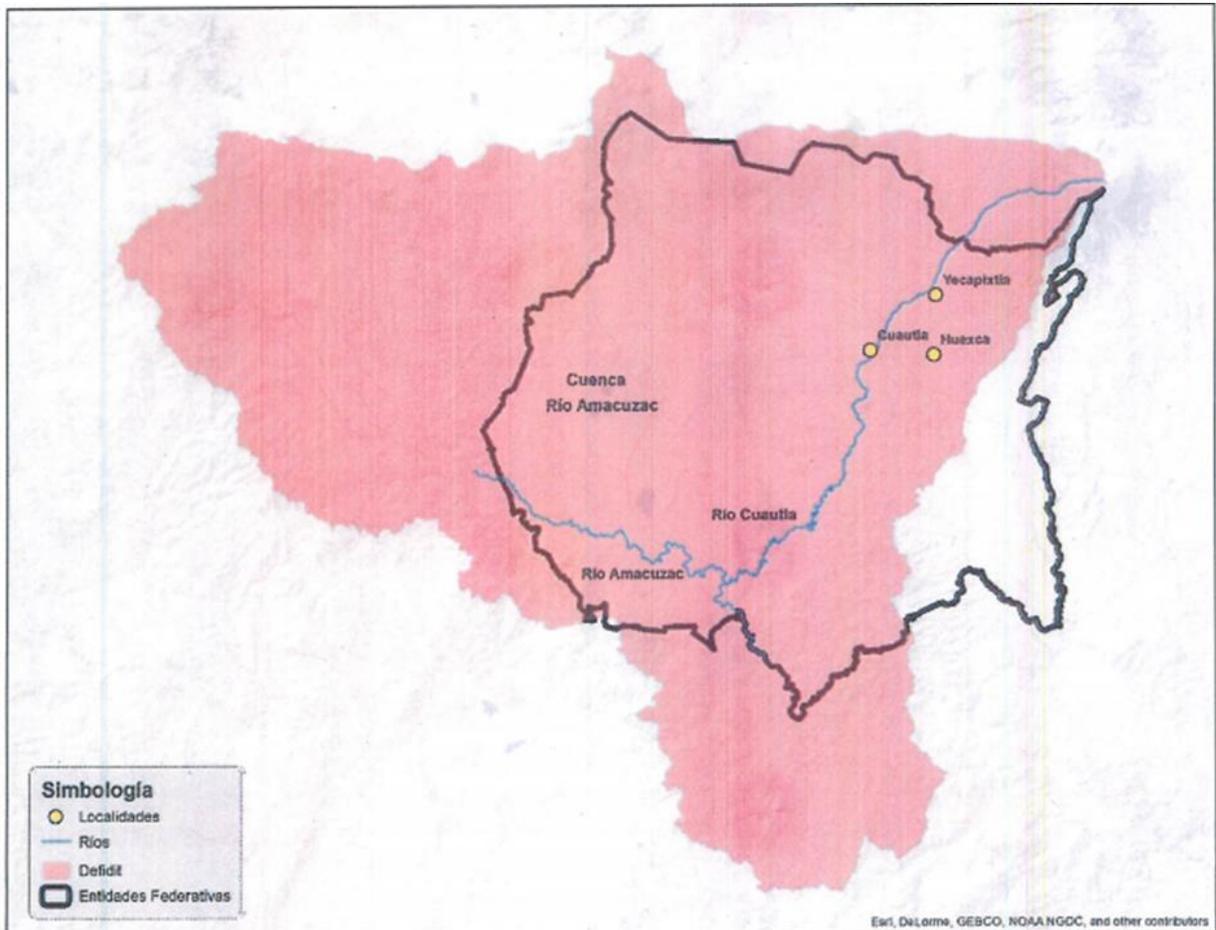


Figura 6. Déficit de la Cuenca hidrográfica del Amacuzac Fuente: (CONAGUA, 2017)

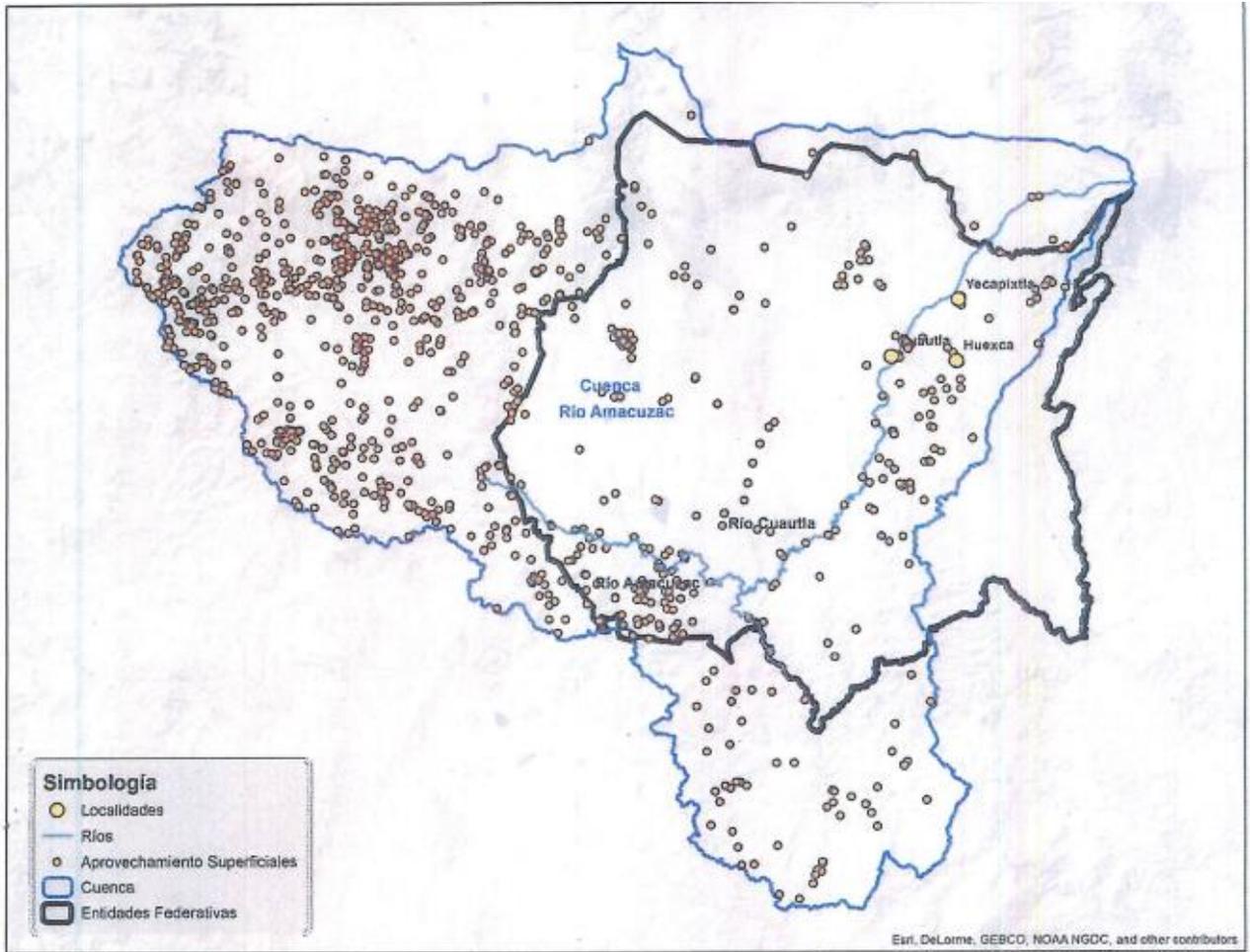


Figura 7. Aprovechamientos del agua superficial de la cuenca del Río Amacuzac Fuente:(CONAGUA, 2017).

Por otro lado, el agua residual proveniente de la termoeléctrica, según la MIA será arrojada al medio sin ningún tipo de tratamiento, específicamente a la barranca de Tezontitlán. El impacto al ecosistema de esta región derivado del calor (superior a 40°C) y sustancias químicas como grasas, aceites, ácido sulfúrico e hidróxido de sodio exterminarán la biota riparia y contaminarán tanto el agua superficial como los mantos acuíferos por filtración.

Esto afectará a los diferentes cultivos sembrados en la trayectoria del cauce, la salud humana, el río es contaminado también por aguas residuales del sector doméstico, en Cuautla, según la OMS estima un uso de 250 litros por persona al día, lo que implicaría

verter 46, 779, 500 litros, misma que no recibe ningún tipo de tratamiento (Diariodemorelos.com, 2021).

La marginalidad social y económica presente en el 45% de la población en condiciones de pobreza, limitan el acceso de agua potable y derivado de estas condiciones se ven obligados no solo a la exposición física de estos contaminantes agregados al río, sino también al uso de este recurso hídrico en condiciones insalubres.

Las afectaciones socioambientales, por el alto nivel de contaminación se evidencia por medio de análisis fisicoquímicos, bacteriológicos y de macroinvertebrados bioindicadores de la calidad de agua, así como los riesgos a la salud por el contacto con la mala calidad de agua particularmente en la comunidad de San Pedro Apatlaco con un muestro in situ a los HFT estudiando su estructura y composición, el registro de enfermedades derivadas del manejo y uso de este recurso para irrigar sus sistemas productivos tradicionales.

5. ANALISIS DE CONTAMINACIÓN

Las políticas públicas favorecen la privatización y sobreexplotación de los recursos naturales, mismas que desde su origen ocasionaron la ruptura de diversos ciclos funcionales en una escala ecológica, esto se fue agudizando con el pasar del tiempo, en la actualidad estos efectos negativos se evidencian en un sinnúmero de problemas ambientales y sociales, en la presente tesis se abordan los problemas derivados de la contaminación de agua: los impactos en el ambiente y sociedad.

En la sociedad, el sector más afectado se estima en el 49.5% de la población que vive en condiciones de pobreza mismas que representan vulnerabilidad en seguridad social, alimentaria, de salud y vivienda. Estas condiciones les obligan a sobrevivir expuestos a las peores condiciones y a la necesidad de usar el agua contaminada frente a la poca disponibilidad de agua potable.

Los problemas sociales que enfrenta la comunidad de San Pedro Apatlaco derivados de la contaminación del río Cuautla, son de salud y deterioro de sus sistemas

productivos tradicionales los cuales les han aportado los valores de uso alimentario y medicinal mismos que el sistema les ha limitado. La vigencia de estos HFT representa la resistencia biocultural con base en el manejo y conocimiento tradicional que se ha ajustado a las condiciones precarias para sobrevivir.

El Municipio de Ayala, Morelos, se localiza entre las coordenadas 18.79 30 56 latitud norte y 98.95 97 22 longitud oeste (Figura, 8), tiene una extensión territorial de 378.82 km² que representa el 7.73% del estado de Morelos.

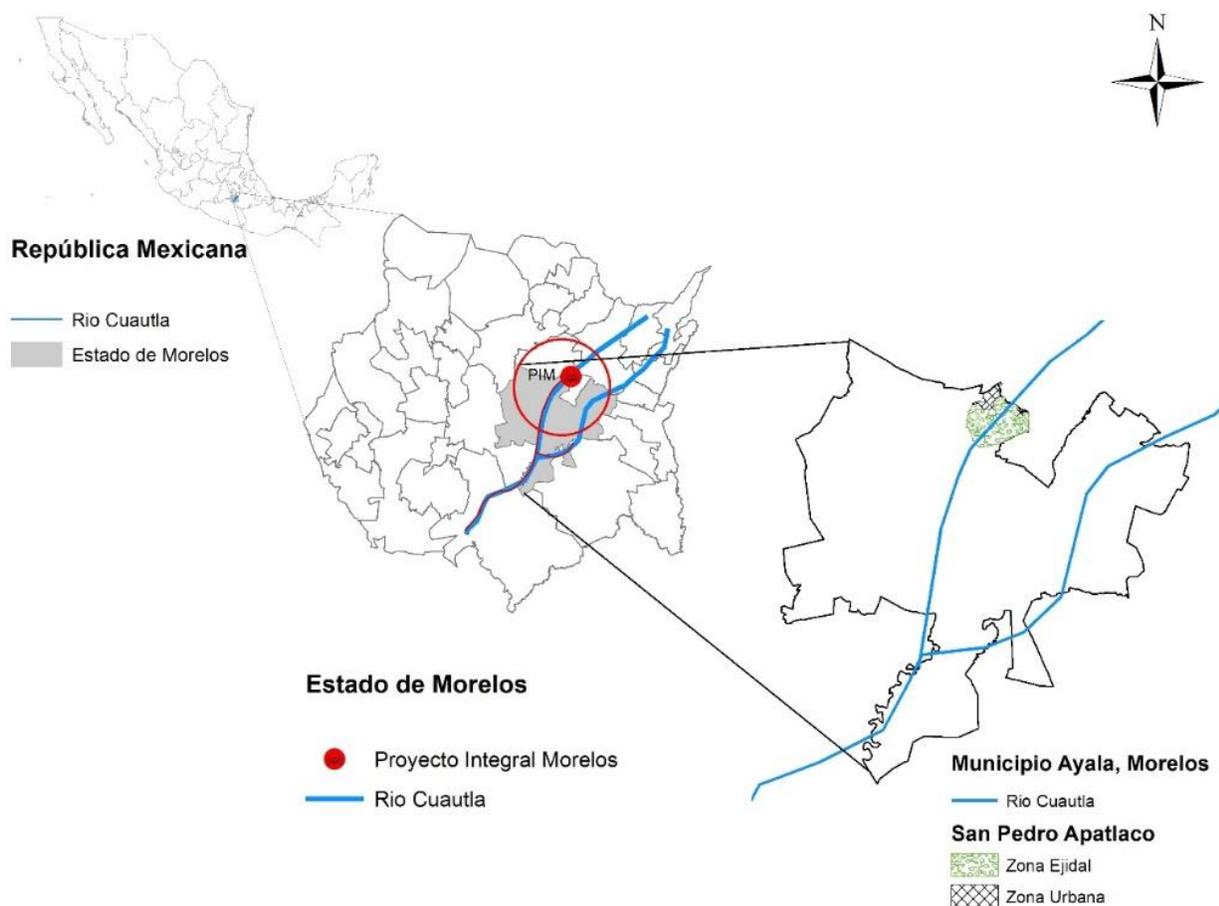


Figura 8. Área urbana y ejidal de la Cuenca del Río Cuautla. FUENTE: Elaboración propia

Los rasgos abióticos de Cuautla incluyen una formación geológica que contiene conglomerado basal y tres capas calcáreas, la primera con depósitos de plataforma carbonatada, la segunda de caliza laminada y la tercera por caliza clástica de estratificación delgada a mediana. Los tipos de suelo que predominan en la cuenca son: Vertisol, Chernozem, Castañozem, Feozem y Litosol (INEGI, 2001). El clima es cálido subhúmedo Aw1 (w) (i') g con temperatura media anual entre 22° y 26°C, la temperatura del mes más caliente mayor de 18°C, las lluvias son de verano (de mayo a octubre), con invierno seco (menor del 5% de la precipitación total anual).

Los rasgos bióticos incluyen de selva baja caducifolia, (Miranda y Hernández X. 1963); la cual es la principal fuente de bienes y servicios que substituyen la falta de recursos económicos de los grupos inmersos en esta zona en escala de la cuenca. Por ejemplo, plantas silvestres cuentan con valores de uso alimentarios, medicinales, combustible, de ornato y otros, mientras que la apropiación de animales silvestres han sido siempre actividades de primer orden para los habitantes de Apatlaco (Daltabuit *et al.*, 2000). Aunado a ello, la selva provee madera para la construcción de la vivienda, la elaboración de instrumentos de labranza y enseres domésticos e incluso, como combustible (Monroy-Ortiz, 1997).

El pueblo de Apatlaco se encuentra a 1280 m. s. n. m., cuenta con 12,630 habitantes, 6,083 hombres y 6,547 mujeres, en 3,123 hogares. Del total de la población, 20,92% proviene de fuera del Estado de Morelos (INEGI, 2015).

La producción agrícola incluye: maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), algodón (*Gossypium hirsutum* L.), cacahuete (*Arachis hypogaea* L.), cebolla (*Allium cepa* L.), sorgo (*Sorghum Bicolor* L.), caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) y arroz (*Oryza sativa* L.). Entre los frutos se encuentran, la papaya (*Carica papaya* L.), mango (*Mangifera indica* L.), limón (*Citrus limon* L.), plátano (*Musa paradisiaca* L.), zapote (*Pouteria sapota* J.), nanche (*Byrsonima crassifolia* L.), melón (*Cucumis melo* L.), guajes (*Leucaena leucocephala* L.). Los productos de exportación son, flores y plantas de ornato, orquídeas (Orchidaceae), nochebuenas (*Euphorbia pulcherrima* Willd.), rosas (*Rosa sp.*), claveles (*Dianthus caryophyllus* L.) y geranios (*Geranium phaeum* L.). (INAFED, 2018).

Estrategia metodológica

La comunidad de Apatlaco abastece sus necesidades hídricas, que el sistema de agua potable no alcanza a cubrir, del Río Cuautla, el cual tiene agua contaminada debido a las múltiples descargas de aguas residuales sin tratamiento. Este consumo del recurso con algún nivel de contaminación genera impactos socioambientales particularmente en los Sistemas Productivos Tradicionales de la comunidad de San Pedro Apatlaco, en dos sentidos: a) afecta la producción de alimento, así como la salud humana; b) disminuye la riqueza y abundancia de especies de los HFT útiles que contribuye a la mitigación de las dificultades económicas de los pobladores.

Global Water Watch (GWW) es una organización internacional que dirige grupos comunitarios para el monitoreo de del agua; su principal objetivo es ayudar a las comunidades a establecer equipos de ciudadanos que midan indicadores físicos, químicos y biológicos de las cuencas hidrográficas. Derivado de ello, los monitores pueden utilizar sus datos para la protección y restauración de cuencas hidrográficas, arroyos y lagos, y contribuir a la defensa de la mejora de la calidad del agua potable y la salud pública e incluso, para implementar programas de educación ambiental. GWW facilitó la capacitación en su sede central ubicada en Coatepec, Veracruz para la acreditación como monitor de calidad de agua con la técnica bacteriológica específica en *E. coli* y otros coliformes, para el análisis fisicoquímico y de Macroinvertebrados bioindicadores. También otorgo el material necesario para el monitoreo de los tres sitios de monitoreo a lo largo del Río Cuautla.

El método utilizado por GWW para el monitoreo bacteriológico no distingue el origen de la *E. Coli*, pero ofrece varias ventajas para identificar bacterias, por lo que puede ser usado como herramienta de "primera alerta", además es útil para manejo de recursos naturales, y luego continuar con una evaluación adicional de autoridades de salud pública o de un laboratorio certificado. Este método utiliza el medio de cultivo llamado Coliscan® Easygel® producido por Laboratorio Micrology.

Una prueba típica de monitoreo bacteriológico requiere suficientes suministros para coleccionar tres repeticiones del agua a ser analizada en cada sitio de muestreo. El

promedio de las tres repeticiones provee una estimación mucho más fiable y precisa del número real de colonias de bacterias en ese cuerpo de agua, que una sola muestra. La incubadora para cultivar las muestras se llevó a cabo con una hielera, un foco aislado con cartón y un termómetro para monitorear la temperatura en un rango de 29 a 37 grados centígrados.

El medio líquido se debe mantener congelado hasta que se utilice. Los medios congelados deben usarse hasta antes de la fecha de caducidad indicada en la caja (por lo general un año después de su fabricación). Sólo se deben usar las cajas de Petri Coliscan® para hacer las pruebas bacteriológicas, debido a que otras cajas de Petri regulares no funcionan.

Los materiales que se utilizan por sitio de monitoreo son: Una pipeta estéril de 1 ml, tres frascos con 10 ml de medio líquido de cultivo Coliscan® Easygel, tres cajas de Petri pretratadas, un termómetro, una incubadora y fuente de calor, cinta adhesiva, hoja de datos, pipeta estéril de 1 ml, frascos con medio de cultivo Coliscan Easygel®, cajas de Petri pretratadas, jabón para las manos. Se recomienda lavarse las manos con jabón después de tomar muestras en el campo y estar en contacto con las cajas de Petri, desinfectante o cloro, el cual se recomienda para limpiar la incubadora y el lugar de trabajo, así como para tratar las cajas de Petri después de ser leídas.

Se deben descongelar el número requerido de frascos con el medio de cultivo Coliscan® Easygel® retirándolos del congelador por lo menos una hora antes de realizar el muestreo hasta permitir que el medio alcance la temperatura ambiente, también se deben preparar las cajas de Petri antes de salir al campo para hacer el muestreo asegurando las tapas de las cajas Petri con cinta adhesiva colocada en extremos opuestos de la caja. Esto asegura que estén tapadas durante su transporte para que no se contaminen y ayuda a que la tapa tenga un tipo seguro para el momento de usarse, se deben etiquetar las tapas de las cajas sobre un pedazo de cinta adhesiva incluyendo la fecha, lugar de muestreo, volumen de la muestra (ml) y el número de la repetición e identificar con claridad cada frasco de medio de cultivo con información acerca del sitio de muestreo y la repetición, también se debe preparar la incubadora para iniciar el cultivo

de las colonias de bacterias. La temperatura dentro de la incubadora debe mantenerse entre 29 °C y 37 °C (85 °F y 99 °F). Estas temperaturas simulan las temperaturas del cuerpo humano u otro animal de sangre caliente y son óptimas para el crecimiento de *E. coli*. Temperatura por arriba de 40 °C es dañina para las colonias de *E. coli* y puede afectar los resultados. Asegurarse con anticipación que la incubadora mantiene la temperatura óptima requerida para el crecimiento de las bacterias durante el período de incubación.

La muestra se toma de la parte superficial del río donde va con mayor corriente, debido a que las condiciones son más variables por los aportes de aguas residuales. Estando en el sitio, se debe abrir la pipeta por el lado del bulbo evitando el contacto de la punta de la pipeta con cualquier otra cosa que no sea el agua de la muestra. Una sola pipeta se puede usar para colectar las tres repeticiones de un mismo sitio en la misma fecha y hora, mientras se tenga el cuidado de que el extremo de la pipeta esté en contacto únicamente con el sitio de muestreo seleccionado, posteriormente introducir la pipeta de unos cinco a ocho centímetros y se oprime el bulbo para succionar de 0.25ml a 1.0 ml según se evalúe el grado de contaminación evitando el contacto directo de las manos con el agua y asegurándose de no colectar sedimentos del fondo del cuerpo de agua. Liberar la presión en el bulbo a fin de succionar la cantidad de agua necesaria, destapar el frasco con el medio de cultivo cuidando de no tocar el interior y sosteniendo la tapa en la mano. Exprimir el bulbo cuando el extremo de la pipeta esté dentro del frasco con el medio de cultivo Coliscan® Easygel® procurando no poner la mano sobre la botella abierta con el medio. La pipeta y la botella pueden colocarse con cierto ángulo para asegurar que la muestra de agua caiga dentro de la botella. Tapar la botella y agitar suavemente para mezclar la muestra de agua con el medio y hacer las anotaciones pertinentes en la Hoja de datos correspondientes a cada sitio (hora de colecta, temperatura, observaciones). Después de que los frascos con medio de cultivo y las muestras de agua han sido identificadas cuidadosamente, colocar en el recipiente con hielo para transportarlas (durante un período no mayor a 2 horas después de la colecta) al lugar donde se verterán a las cajas de Petri, durante este lapso se debe evitar que los frascos con muestras estén expuestos a la luz del sol u otra fuente de rayos ultravioleta ya que este tipo de radiación

elimina las bacterias. El medio de cultivo debe ser vertido en las cajas Petri dentro de 3 horas después de la colecta si son transportadas en hielo y dentro de 30 minutos si no son transportadas en hielo.

Se debe seleccionar un lugar adecuado en la sombra, donde las cajas Petri se puedan colocar en una superficie nivelada que permita que el medio de cultivo se solidifique (cuaje) en una lámina de igual grosor, sin perturbaciones durante una hora, las placas siempre deben estar protegidas de la luz directa del sol y corroborar los datos para etiquetado correcto de; número de repetición, hora y volumen de muestra en la placa correspondiente con la información del frasco y la muestra, despegar uno de los pedazos de cinta adhesiva y abrir levemente la caja Petri por un extremo lo suficiente para verter enteramente el contenido de la botella asegurándose de no salpicar los lados de la caja con el medio y asegurar la tapa con cinta adhesiva. Mover suavemente la caja en sentido circular a fin de dispersar el medio homogéneamente en el fondo de toda la caja sin salpicar el medio de cultivo hacia los lados de la caja, finalmente esperar a que el cultivo se solidifique en la caja Petri (aproximadamente necesita una hora) y una vez que el medio se ha solidificado, colocar las cajas dentro de la incubadora del lado opuesto al que se solidifico, el incubar las cajas Petri en esta posición evita que la condensación que ocurre dentro de la caja gotee sobre el cultivo. Usar un cartón o plástico para proteger las cajas Petri de contacto directo con la fuente de calor. (La incubadora debió calentarse unas 3 hrs antes de colocar las cajas Petri para su incubación). Se debe incubar las cajas Petri con las muestras entre 29 °C y 37 °C durante 30 a 48 horas, contadas a partir del vertido del medio en las cajas, antes de hacer el conteo de las colonias de bacterias. Si las placas no se mantienen a esa temperatura óptima de incubación para *E. coli*, su reproducción y el crecimiento de las colonias, se hará lento, cierta mortalidad puede ocurrir, y otras especies de bacterias pueden resultar beneficiadas.

Si la muestra de agua contenía bacterias, después de 24 horas de incubación aparecerán puntos rosados y azules en las cajas Petri, pero el conteo de las colonias se debe realizar después de 30 horas de iniciar la incubación. Pasadas 48 horas de incubación los conteos no son confiables se deben contar todas las colonias presentes en la placa

que tienen una coloración de azul a violeta. Éstas son colonias de *E. coli* y varían en color desde verde-azul o turquesa hasta violeta oscuro. Examinar los lados de la caja y el área cubierta con cinta adhesiva. La referencia para el conteo de colonias es un punto bien marcado por un lápiz, las demás colonias con menor tamaño no se toman en cuenta. Si las colonias de bacterias en la caja Petri son muy numerosas, se puede dividir la caja en 4 partes y solo contar $\frac{1}{4}$ parte, la cual se multiplicará por 4 al final para poder estimar el total de colonias en una caja Petri. Al contar, se toman en cuenta todas las colonias con una coloración de rosa a rojo oscuro presentes en la caja Petri. Las colonias de las otras bacterias coliformes varían en color de rosa a rojo oscuro. Esta cuenta es complementaria a la concentración de *E. coli* en la muestra de agua.

La fórmula usada para calcular las concentraciones de bacteria es la siguiente:

$$C = (E+V) \times 100$$

E = número de *E. coli* en la caja Petri

V = volumen de la muestra (ml)

C = número de *E. coli* en 100 ml

Técnica análisis físicoquímico

Enjuagar tres veces el tubo (Código 0106) para analizar pH con agua de la muestra, llenar el tubo con el agua a ser analizada, hasta la marca de 10 mililitros (10 ml) y agregar 10 gotas del indicador de pH (código 2218-G) al tubo con la muestra sosteniendo el frasco de reactivo en posición vertical para asegurar que agrega gotas de tamaño uniforme, apretar ligeramente el frasco, después invertir y aflojar para tener control del goteo, tapar el tubo con la muestra e invertirlo varias veces para mezclar el contenido. Colocar el tubo con la muestra dentro del comparador de color (Octa-Slide 2 código 1101) e insertar dentro del soporte plástico la regla con estándares de color (2193-1 ó 2196-1) más similares al color obtenido en la muestra a fin de comparar con los colores estándar, anotar en la hoja de datos el pH del valor más cercano en fracciones de 0.5 de unidad. Para tener un mejor contraste de los colores, es recomendable usar un fondo blanco detrás del comparador. El comparador de color Octa-Slide 2 debe usarse de manera que no entre luz directa a través de la parte posterior del Visor.

Enjuagar tres veces el tubo para analizar dureza (código 4488) con agua de la muestra, llenar el tubo con el agua a ser analizada, hasta la marca de 10 partes por millón (ppm). Agregar cinco gotas del reactivo #5 para dureza (código 4483-E) a la muestra y agitar el tubo para mezclar bien el agua con el reactivo. Las tabletas usadas en el siguiente paso son muy solubles, evitar el contacto y manejarlas cuidadosamente para no interferir con los resultados, agregar a la muestra una tableta del reactivo #6 (código 4484-J), tapar el tubo y agitarlo hasta que la tableta se disuelva y la muestra se torne rosada. Si la muestra adopta color azul, agregar una sola gota del Reactivo de Dureza #7, y si no hay cambio de color significa que no hay dureza suficiente para medir. El análisis termina y se registra el valor de 0 mg/L. Sostener verticalmente la botella del Reactivo #7 para dureza (Código 4487WT-H) y agregar una gota a la vez a la muestra. Agitar el tubo con la muestra después de agregar cada gota, para mezclar bien el contenido y observe el cambio en color de rosado a azul. Contar el número de gotas usadas hasta que la muestra ya no cambie de color. La última gota de reactivo agregada en la que la muestra ya no cambio de color no toma en cuenta. Calcular el valor de la dureza total en miligramos por litro (mg/l) multiplicando por 10 el número de gotas usadas.

$$\text{Dureza total (mg/l)} = \text{Número de gotas agregadas} \times 10$$

Nota: Si la dureza total excede constantemente 200 mg/l, llenar el tubo para analizar dureza (Código 4488) hasta la línea inferior (20 ppm) y al hacer los cálculos, se debe multiplicar por 20 el número de gotas de Reactivo # 7 para dureza utilizado.

Para analizar el oxígeno disuelto en el agua hay que seguir tres pasos: A- colectar la muestra, B- "fijar" la muestra y C- titular la muestra.

Paso A - Colectar la Muestra, el análisis de oxígeno disuelto requiere de la toma de dos muestras colectadas al mismo tiempo y en el mismo lugar para asegurar la precisión del resultado. Por lo tanto, use las dos botellas destinadas para tal efecto; Enjuagar tres veces (cuidadosamente) las dos botellas (código 0688-DO) con agua de la muestra a analizar. Hay que asegurar que las juntas de plástico cónicas están dentro de las tapas de las botellas para análisis de oxígeno, tapar las botellas y sumérlas unos 20 centímetros, destapándolas debajo del agua y dejándolas llenar completamente mientras

estén sumergidas (la muestra no debe contener sedimentos). Golpear suavemente los lados de la botella mientras están debajo del agua a fin de hacer salir todas las burbujas adheridas a las paredes de esta, posterior a este paso se deben tapar las botellas mientras estén bajo el agua. Invertir las botellas con la muestra para comprobar que no hayan quedado burbujas de aire en el interior. Si una de las botellas (o las dos) tienen aire en el interior, se deben vaciar las dos botellas con muestra y repetir el paso hasta obtener una muestra satisfactoria.

Paso B - Fijar la Muestra, tratar de mantener destapadas lo menos posible las botellas con la muestra para análisis de oxígeno. Cada uno de los procedimientos que siguen debe hacerse en las dos botellas simultáneamente. Se debe tener cuidado con las botellas que tienen un asterisco (*) porque son consideradas sustancias peligrosas. Agregar 8 gotas de solución de *Sulfato manganeso (código 4167-G) a la muestra. No necesita tapar y mezclar a este punto. Agregar 8 gotas de solución de Solución de yoduro alcalino de potasio (código 7166-G) a la muestra y posteriormente tapar las botellas y enjuagarlas por fuera con agua para limpiar cualquier reactivo que se haya derramado. Mezclar el contenido de las botellas invirtiendo varias veces las mismas. Se observará la formación de precipitado color café pálido nebuloso. Dejar sedimentar el precipitado por debajo del cuello de la botella antes de continuar. Posteriormente agregar 8 gotas de ácido sulfúrico, 1:1 (código 6141WT-G). Tapar las botellas y lavarlas con agua, con el fin de limpiar cualquier reactivo que se haya derramado por los costados. Mezclar el contenido de las botellas invirtiéndolas varias veces hasta que el precipitado se haya disuelto o sedimentado en el fondo, (esto sucede en un rango de 3 a 5 minutos). Puede haber partículas en la muestra que no se disuelvan, pero éstas no afectarán a los valores de oxígeno disuelto. La muestra estará "Fijada" después de estos pasos, lo que significa que todo el oxígeno en la muestra está químicamente "atrapado" y el contacto entre la muestra de agua y la atmósfera no afectará los resultados.

Paso C "Titular" la Muestra, los pasos siguientes se hacen con la muestra de una de las botellas a la vez. Enjuagar tres veces el tubo para titular (código 0608) con 1-2 ml del agua "fijada" de la muestra. Llenar el tubo para titular hasta la línea de 20 ml (debajo

del menisco) con agua "fijada" de la muestra. Agregar a la muestra 8 gotas de Solución indicadora de almidón (código 4170WT-G) y agitar el tubo para mezclar el contenido. La muestra cambiará a un color azul oscuro o negro. Tapar el tubo para titular con la tapa plástica con un agujero en el centro. Llenar el titulador de lectura directa (jeringa de plástico, código 0377) con Tiosulfato de sodio (código 4169-H). Esto se hace insertando la jeringa de vidrio dentro del agujero de la boca de la botella de Tiosulfato de sodio invirtiendo la botella y jeringa, y succionando el reactivo hasta que el círculo más grande del émbolo dentro de la jeringa esté alineado con el cero. Se debe mantener el extremo rosado de la jeringa unido a ella durante todo el proceso. Insertar el titulador en el agujero del centro de la tapa plástica del tubo que contiene la muestra a titular. Agregar una gota a la vez del reactivo a la muestra, y mover suavemente el tubo para que se mezclen los contenidos. Continuar titulado (agregando reactivo gota por gota) hasta que el color azul oscuro de la muestra desaparezca y cambie a transparente. Se debe revisar con un fondo blanco para asegurar que el color es totalmente transparente. Leer el resultado en el titulador donde el círculo grande del émbolo coincida con la línea en la escala. Registrar el valor de una de las divisiones de 0.2 mg/l de oxígeno disuelto que esté más cercano al émbolo. Cada una de las divisiones menores en la escala del titulador equivale a 0.2 mg/l de oxígeno disuelto. Repetir el procedimiento "C" de titulación con la segunda muestra de agua en la otra botella.

Sí los resultados de las dos repeticiones de oxígeno disuelto difieren en más de 0.6 ppm, se debe titular de nuevo el restante de la primera botella que se analizó. Si los resultados todavía varían en más de 0.6 ppm, repetir el procedimiento con muestras nuevas del agua que esté monitoreando. Si el extremo del émbolo alcanza la última línea de la escala del titulador (10 ppm) antes de alcanzar el punto final de la titulación (cuando el color azul en la muestra cambia a transparente), llenar el titulador nuevamente y continuar con la titulación. Cuando se registre el resultado final, se debe incluir el valor total de la cantidad de reactivo usado (incluyendo los primeros 10 ppm). Si queda reactivo (tiosulfato de sodio) en la jeringa, no se debe regresar a la botella original sino desecharlo.

Para calcular el oxígeno disuelto hay una serie de ecuaciones que pueden utilizarse para calcular el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en el agua. Generalmente se usa la temperatura del agua de la muestra y tablas donde se encuentra la concentración de oxígeno disuelto correspondiente a 100% de saturación a la temperatura respectiva.

Para una determinación rápida y fácil del valor de porcentaje de saturación de Oxígeno disuelto a una temperatura dada, use el gráfico de saturación (nomograma) en (Figura, 9). Para ello trace una línea recta entre los valores de la temperatura del agua (°C) y el oxígeno disuelto (mg/l) medidas en su monitoreo.

El porcentaje de saturación es el valor donde la línea intercepta la escala de saturación.

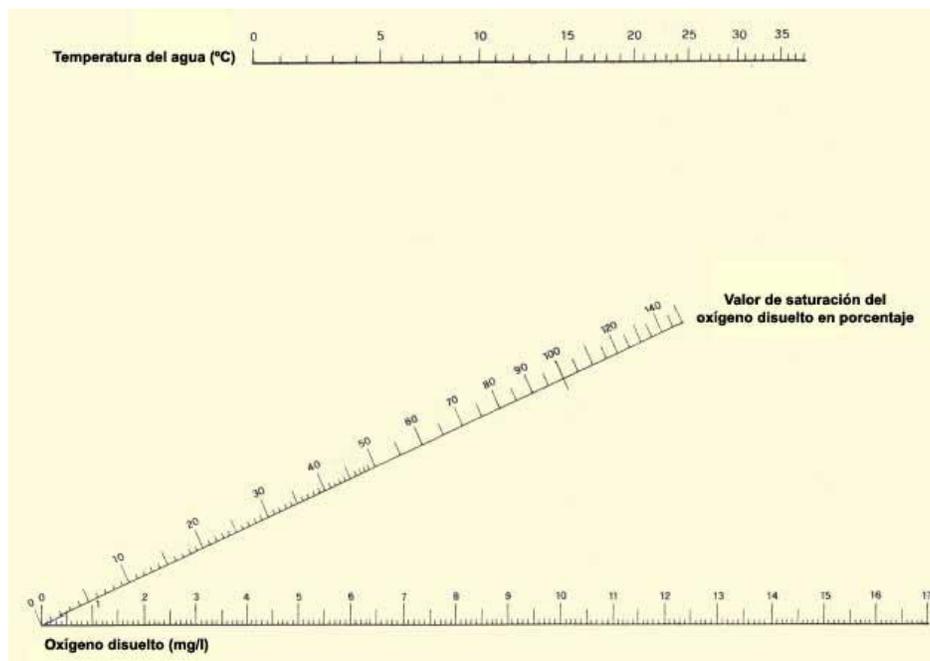


Figura 9. Nomograma para estimar el % de saturación de oxígeno

Para medir turbidez con el método de GWW, lo que se hace es ensuciar una muestra de agua limpia de manera controlada hasta igualar la turbidez de la muestra en cuestión.

Marcar uno de los tubos con la palabra "muestra" y el otro con la palabra "pura" para evitar confusión. Enjuagar tres veces el tubo marcado "muestra" (código 0835) para analizar turbidez con agua de la muestra. Llenar el tubo, con el agua a ser analizada, hasta

la marca de 50 ml. Si el punto negro en el fondo del tubo no se ve a través de la columna de agua, usar la mitad de la muestra (línea de 25 ml). Llenar el segundo tubo con una cantidad similar de agua pura o destilada. Colocar los tubos uno junto al otro y comparar la claridad y nitidez con que se ven los contornos de los círculos negros en el fondo de cada columna.

Agitar vigorosamente el Reactivo para Turbidez (código 7520H) y agregue 0.5 ml a la columna con el agua destilada. Mezclar los contenidos de ambos tubos con el agitador y observe cuidadosamente a través de las columnas. Se debe comparar la nitidez del contorno de los círculos negros. Si la turbidez del agua "pura" es mayor, registre el valor de 2 JTU (Cuadro, 4). Si la turbidez del agua de la "muestra" es mayor, agregue incrementos de 0.5 ml al agua "pura" mezclando el agua en los dos tubos después de agregar cada incremento, y contando el número de incrementos de reactivo agregados al agua "pura" hasta que la turbidez sea igual en ambos tubos. Agregue un incremento más de 0.5 ml de Reactivo para Turbidez al agua "pura", mezcle el agua en los dos tubos y confirme que el agua pura es ahora más turbia que la muestra. Este último incremento no se toma en cuenta para el cálculo de turbidez.

Cuadro 4. Valores de JTU por cada incremento

Número de incrementos usados	Cantidad usada en ml	Muestra de 50ml	Muestra de 25 ml
0	0	2 JTU	2 JTU
1	0.5	5 JTU	10 JTU
2	1.0	10 JTU	20 JTU
3	1.5	15 JTU	30 JTU
4	2.0	20 JTU	40 JTU
5	2.5	25 JTU	50 JTU
6	3.0	30 JTU	60 JTU
7	3.5	35 JTU	70 JTU
8	4.0	40 JTU	80 JTU
9	4.5	45 JTU	90 JTU
10	5.0	50 JTU	100 JTU
15	7.5	75 JTU	150 JTU
20	10.0	100 JTU	200 JTU

Técnica de biomonitoreo con macroinvertebrados

Lista de los materiales: Red rectangular estándar* (1m ancho) para macroinvertebrados, cubetas de 20 L, bandejas medianas para separar los insectos, pinzas y pipetas de plástico para separar los insectos, claves de identificación laminadas con plástico, tablero, hoja de datos y lápiz para anotar. Las pipetas plásticas desechables como las usadas en monitoreo bacteriológico son útiles para separar los macroinvertebrados durante la identificación.

Colecta de macroinvertebrados acuáticos usando red, como primer paso se debe localizar un área de rápidos conveniente siguiendo las pautas sugeridas en la sección. La colección de macroinvertebrados en un río puede ser hecha individualmente, pero es mejor trabajar en equipo de dos a cuatro personas. Acercarse al área de muestreo desde aguas abajo del rápido en el río. Esto ayuda a minimizar la perturbación de los organismos en el río. A veces hay que usar varias veces la red con el fin de recolectar suficientes macroinvertebrados y hay más probabilidad de encontrarlos en lugares no perturbados. Viendo en dirección río arriba, presione un lado de la red firmemente contra el fondo del río, de modo que la red se acomode lo mejor posible en la superficie del fondo. Por lo general la red trabaja mejor si se coloca una persona a cada extremo de esta.

Posición correcta de la red

Inclinar la red en un ángulo de aproximadamente 45 grados, de manera que la corriente de agua pase a través de la red y no por arriba de ella; y facilite que los organismos sean arrastrados por la corriente hacia la red. Se debe mantener la red apropiadamente en el lugar a fin de atrapar cualquier organismo a la deriva. De manera sistemática, usando las manos y los pies, mover rocas, grava y arena del substrato del río, en un área adecuada inmediatamente por adelante de la red, con el fin de que los macroinvertebrados queden a la deriva y sean atrapados por la red. Frote suavemente la superficie de las rocas manteniéndolas en la corriente adelante de la red, con el fin de separar los insectos que están adheridos a las rocas, las rocas deben ser devueltas a su lugar original con la intención de amortiguar de cierta manera el grado de perturbación.

Posteriormente retirar la red del agua con un movimiento lento y plegándola en dos, alzándola con cuidado de modo que ambos lados se muevan al mismo tiempo, para mantener todo el contenido dentro de la red, lavar el contenido de la red a una cubeta o llévela a un lugar plano y cercano para poder separar, identificar y seleccionar los macroinvertebrados. La selección puede hacerse sobre la red o desde bandejas no muy profundas donde se vierta poco a poco el contenido.

Se deben identificar de los macroinvertebrados acuáticos con la guía.

Cubrir con agua del río el fondo de cuatro bandejas y colocarlas en un lugar plano que sea adecuado para la selección de los macroinvertebrados. Es recomendable tener tres bandejas destinadas para cada Grupo 1, 2 y 3. Una bandeja suplementaria es usada para separar macroinvertebrados no usados en la evaluación biológica. Etiquetar las bandejas como Grupo 1, 2 o 3 o se pueden marcar colocando este número de piedritas en las bandejas para identificarlas. Esperar unos minutos sin disturbar la red o la bandeja. Luego que los macroinvertebrados presentes comiencen a moverse. Usando pinzas o los dedos para retirar suavemente todos los macroinvertebrados activos y colocándolos en una bandeja para su observación. Procurar no apretar demasiado los organismos para evitar causarles daño. Buscar con cuidado para poder identificar los macroinvertebrados pequeños que suelen esconderse en frente y atrás de hojas, guijarros y otros desechos. Identificar cada organismo usando la guía de imágenes y colocándolos en las bandejas numeradas en función de su tolerancia a la contaminación. Al principio todos los macroinvertebrados pueden parecer iguales, se deben observar con detenimiento. Limpiar la red sumergiendo la malla en el agua y moviéndola de lado a lado. Continuar buscando macroinvertebrados hasta que haya colectado entre 50 y 100 organismos. No necesita separar más de 10 organismos del mismo grupo.

Empezando con el primer taxón del Grupo I identificar la ausencia o presencia de ejemplares en cada taxón. Cuenta el número de cada tipo de organismo, adjudicando el código de letra apropiado" (Ø, R, COA) y escribir la letra en el espacio correspondiente para cada taxón presente en la muestra. Cuente el número de taxa (el número de letras) para el Grupo 1 y registre el total al final de la columna, a la derecha de donde se lee

"Número de Taxa". Hacer lo mismo para los Grupos 2 y 3. Multiplicar el número de taxa por el factor apropiado listado para cada Grupo; el producto es el valor de "índice" biótico para cada Grupo. Sumar el número de taxa en cada Grupo y registrarlo en la casilla correspondiente, a la derecha de donde se lee "Número Total de Taxa". Sumar los valores de "índice" obtenidos para cada Grupo y registrarlo en la casilla a la derecha de donde se lee "índice Acumulado" en el formulario. Comparar el valor de "índice Acumulado" obtenido, con los rangos dados en el formulario. Marque la casilla correspondiente en el área que describe la "Calidad del Agua" estimada de esa evaluación biológica. Liberar todos los organismos en agua poco profunda cerca del rápido donde se recolectaron. Teniendo en mente que, si los macroinvertebrados son liberados en una corriente fuerte, serán arrastrados río abajo y expuestos a la depredación por peces y otros organismos.

Con base en todas las técnicas aprendidas por GWW, se estimaron de manera periódica las propiedades fisicoquímicas del río, la presencia y densidad de unidades formadoras de colonias/100 ml de agua de *E. coli* y otros *Coliformes*, la presencia y abundancia de macroinvertebrados bioindicadores de la calidad de agua, así como también se registraron las afectaciones físicas en términos de estructura y composición de HFT en la Comunidad de Apatlaco, Morelos y finalmente los problemas de salud derivados del uso y manejo del agua del río Cuautla.

6. RESULTADOS

El trabajo de campo constó de 63 salidas a campo, las cuales incluyen monitoreos mensuales al río Cuautla para los análisis físico-químicos-biológicos y otros recorridos para ubicar descargas de aguas residuales, además de las visitas a HFT seleccionados para entrevistar a los dueños.

Con base en un recorrido in situ se tienen identificados 54 puntos de descarga en la parte norte del río Cuautla (SDS, 2021), de los cuales, uno pertenece a una descarga municipal con un aporte estimado mayor a 100 litros por segundo, también se identificaron 54 puntos de descarga de aguas residuales domesticas cercanas a los HFT estudiados en San Pedro Apatlaco (Figura, 10)

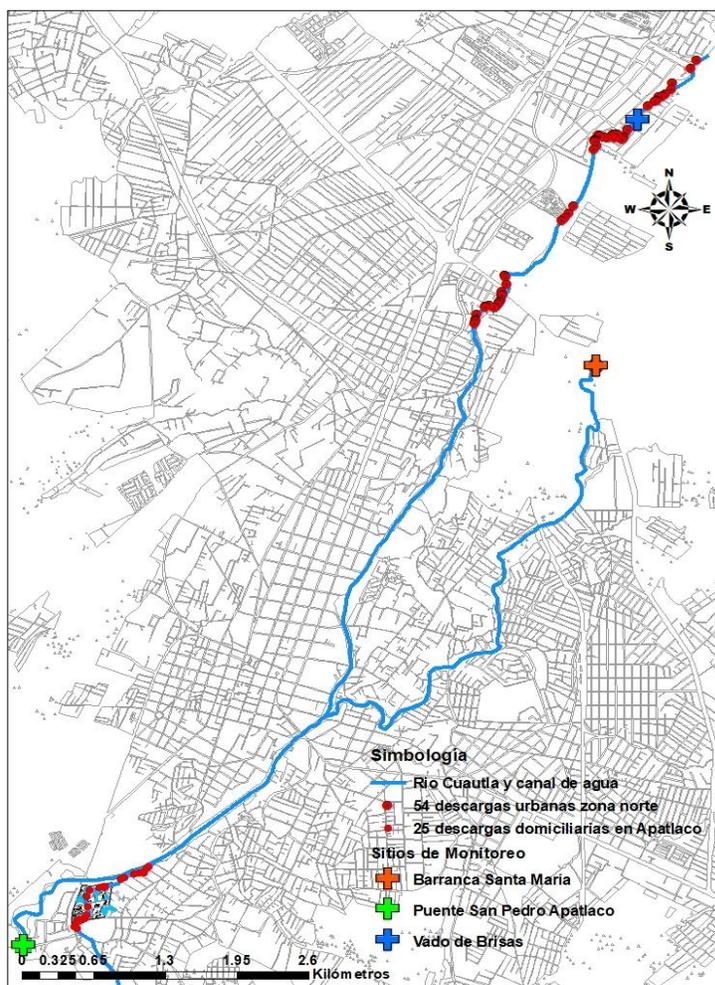


Figura 10. Ubicación de Sitios de descarga en la zona norte del río y cercanas a los HFT de San Pedro Apatlaco Morelos. FUENTE: Elaboración propia

El monitoreo de los tres sitios de muestreo se realizó desde el 21 de julio al 03 de noviembre del 2021, en compañía y asesoría del grupo técnico Global Water Watch, Coalición Biológica y Cultural, el director de Áreas Naturales Protegidas, Colegio de biólogos del estado de Morelos y algunas veces en contrastación con CONAGUA, haciendo un monitoreo por mes para los estudios fisicoquímicos y bacteriológico, para el monitoreo de macroinvertebrados se realizaron de manera bimestral.

El pH vario en los tres sitios de muestreo, el sitio San Pedro Apatlaco fue el más estable con tendencia a la neutralidad, esto se debe al aporte de agua proveniente de manantiales naturales lo cual degrada el nivel de contaminación, en el caso de Vado de Brisas tiende a la acidez, esto podría deberse a las aportaciones de aguas residuales por parte de industrias textiles en Yecapixtla que descargan en el rio sin previo tratamiento el pH estuvo entre los valores 6.0 y 7.5, en Barranca Santa María se obtuvo un pH con tendencia a la alcalinidad que varió de 8.0 a 8.5 estas variaciones pueden deberse al tipo de suelo, y aportes de agua residual del sector doméstico, por ejemplo, los productos de limpieza como jabones tienden a tener un pH entre 7 a 9 (Figura, 11 y 12).



Figura 11. Estudio de pH

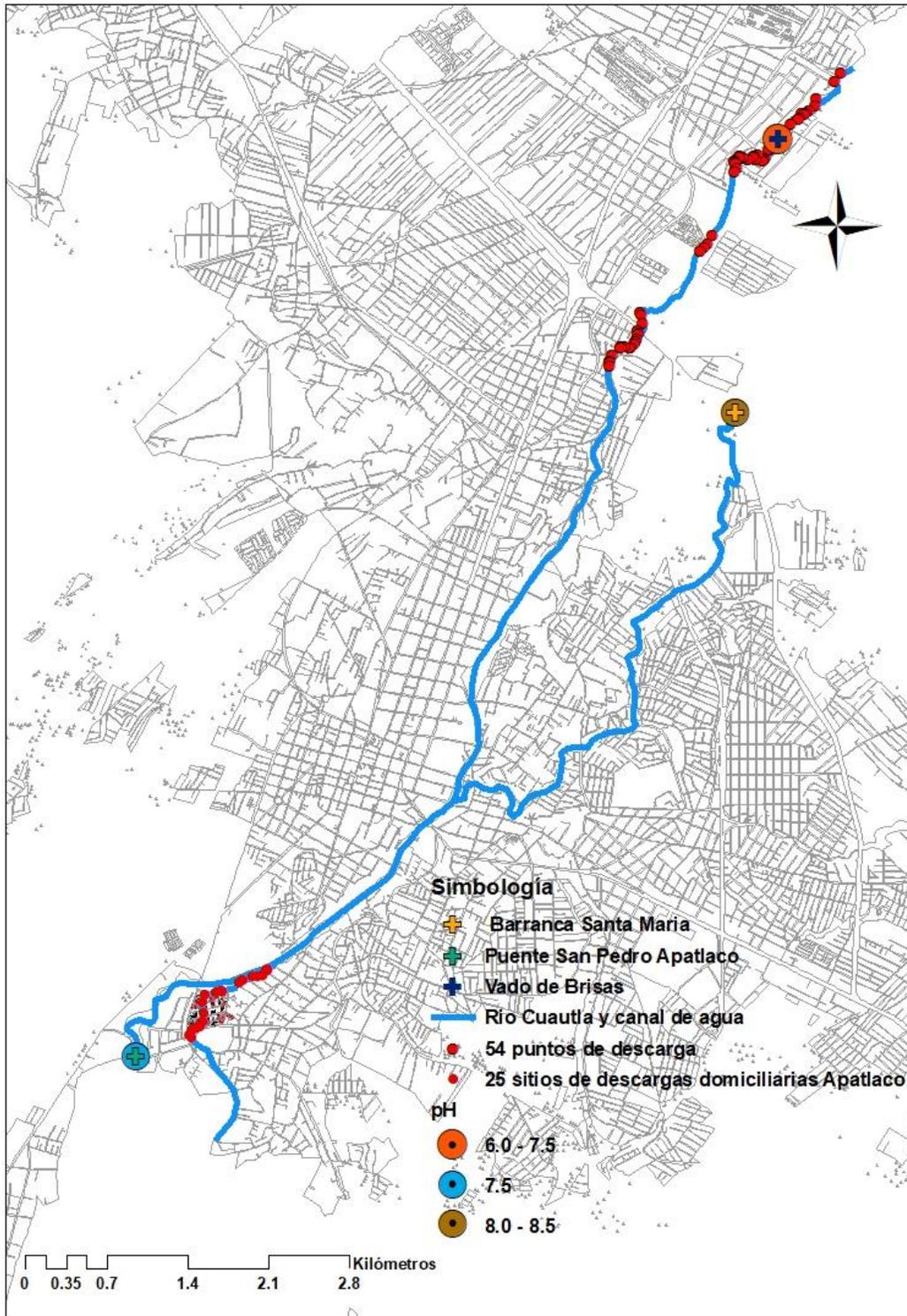


Figura 12. pH de los tres sitios de muestreo. FUENTE: Elaboración propia

Los datos de turbidez registraron las “peores” condiciones para el sitio Vado de Brisas debido a que requirió de tres a nueve incrementos durante el periodo de monitoreo, esto quiere decir que la sustancia que se aplica para comparar hasta que nivel se debe hacer turbia el agua limpia para igualar el agua de muestra fue una cantidad considerable, seguido del sitio Barranca Santa Maria el cual requirió de 1 a 3 incrementos, este sitio es sucio por las descargas de sector doméstico y ganadero, por último el sitio Puente San Pedro Apatlaco necesito de cero a un incremento siendo el punto más limpio debido al aporte de agua limpia por el desemboque de manantiales naturales, con estos datos se argumenta que el rio tiene concentraciones altas de contaminación en la zona norte porque en mayor volumen está compuesto por aguas residuales mientras que en el sur está compuesto mayormente de agua de manantiales que de residuos líquidos urbanos (Figura, 13 y 14).



Figura 13. Vado de Brisas, sitio con agua más turbia

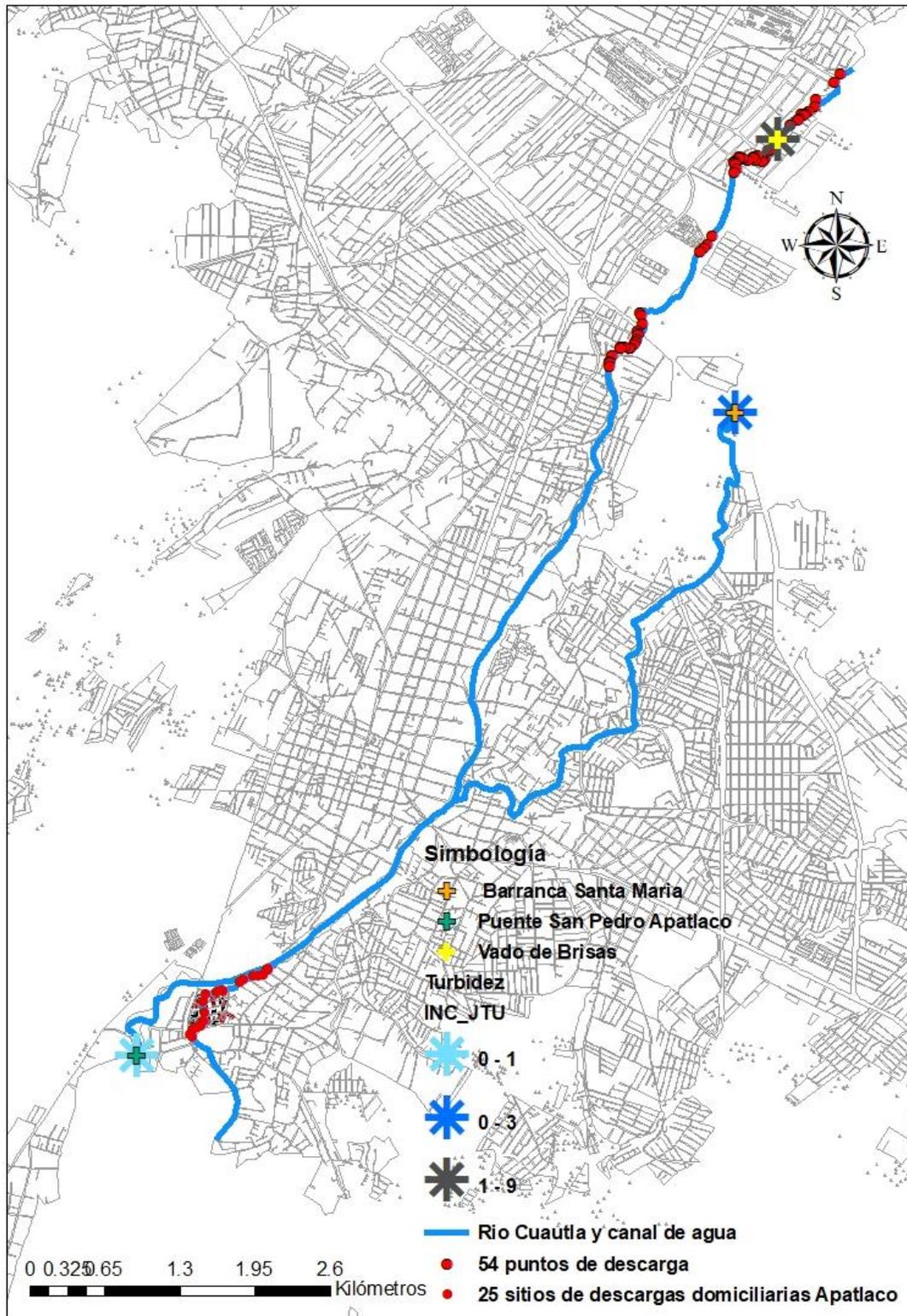


Figura 14. Turbidez en los tres sitios de monitoreo “Temporada de secas” FUENTE: Elaboración propia

Según los valores de dureza el río tiene aguas más duras en Barranca Santa Maria con valores que están entre 210 - 300 mg/l que en orden descendente sigue Puento San Pedro Apatlaco, 190 - 300 mg/l y finalmente Vado de Brisas con 50 - 180 mg/l (Figura, 1). Estos datos sirven para discutir, que la dureza del agua está determinada mayormente por la naturaleza de la misma, es decir, esto lo definen los minerales presentes aportados por el sedimento y propiedades naturales de agua, entonces en Barranca Santa Maria en el área más próxima tiene algunas descargas domésticas y ganaderas, en Apatlaco el aporte de agua es natural y de aguas limpias mientras que en Vado de Brisas se tienen aguas residuales del sector industrial y domestico siendo el sitio más perturbado, debido a eso ha perdido su dureza (Figura, 15 y 16)

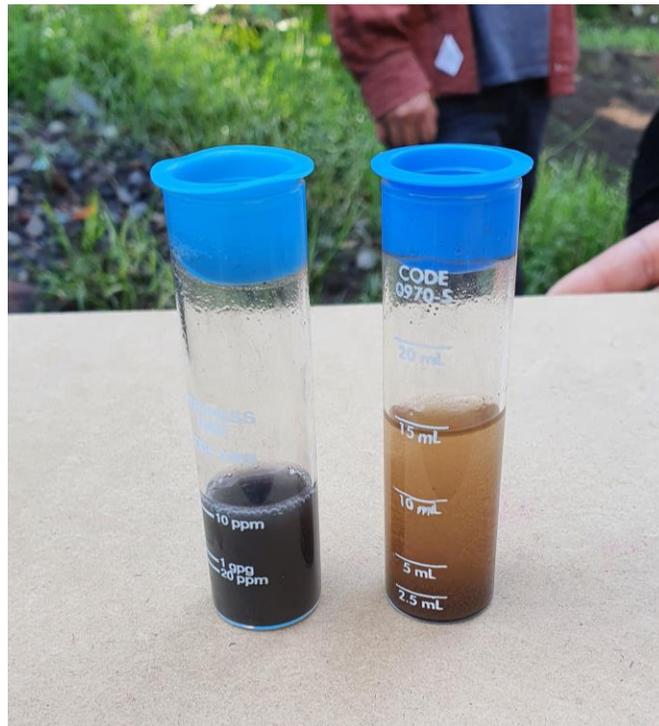


Figura 15. Estimación de dureza

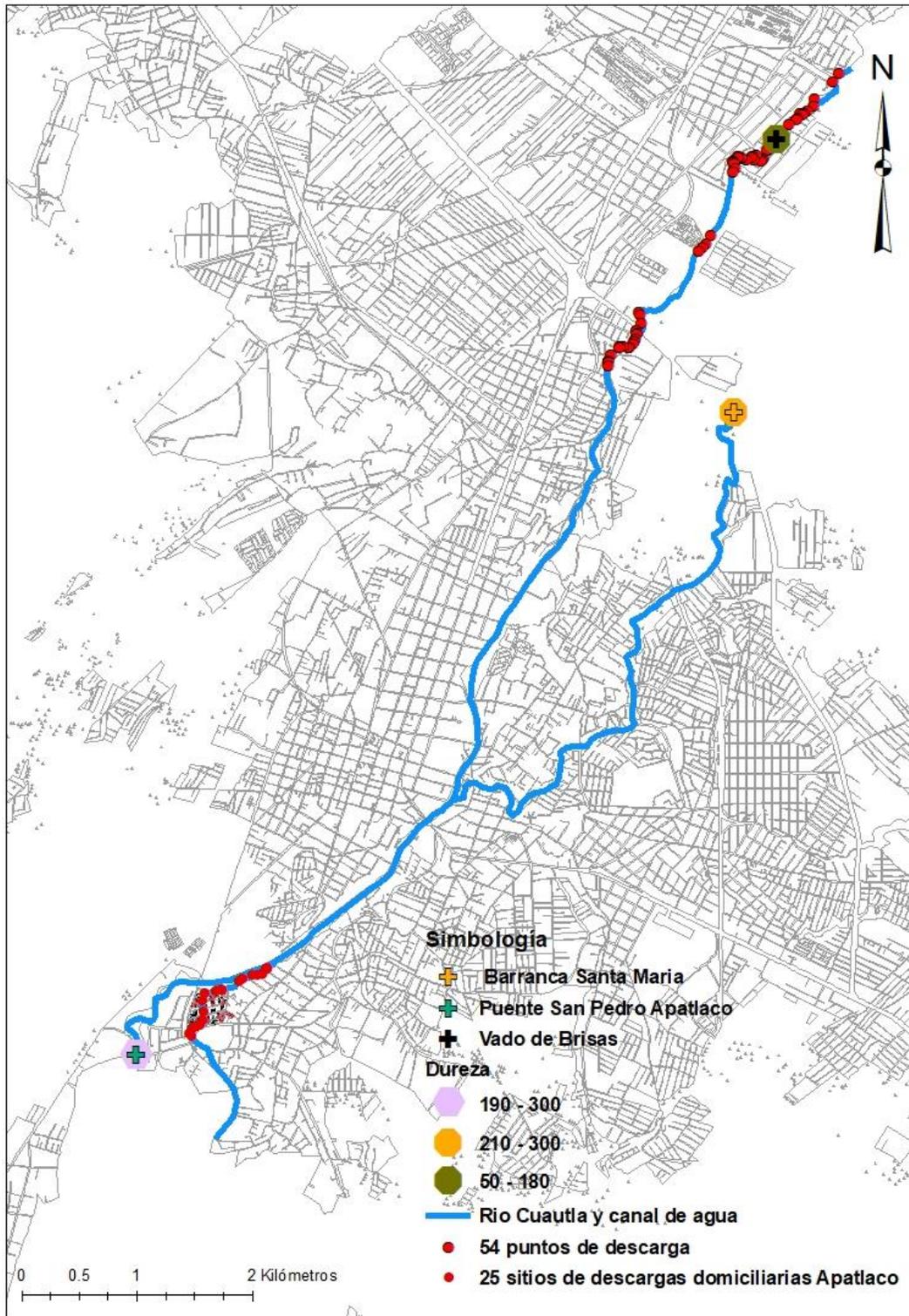


Figura 16. Dureza en los tres sitios de monitoreo. FUENTE: Elaboración propia

Los valores de alcalinidad más altos se encontraron en Puente San Pedro Apatlaco con 250 – 360 mg/L seguido de Barranca Santa María con 245 – 350 mg/L y finalmente el de menor valor de alcalinidad fue para Vado de Brisas: 70 – 305 mg/L, estos datos comprueban una relación directa con la dureza, es decir, los mismos con aguas más duras son los mismo con mayores valores de alcalinidad, esto se debe a distintas razones geofísicas naturales lo cual brinda mayor capacidad de amortiguamiento a la contaminación, sirve para conocer las propiedades más cercanas a su estado natural, por este motivo el sitio Vado de Brisas ha perdido estas propiedades por el alto nivel de contaminación (Figura, 17 y 18).



Figura 17. Estimación de alcalinidad

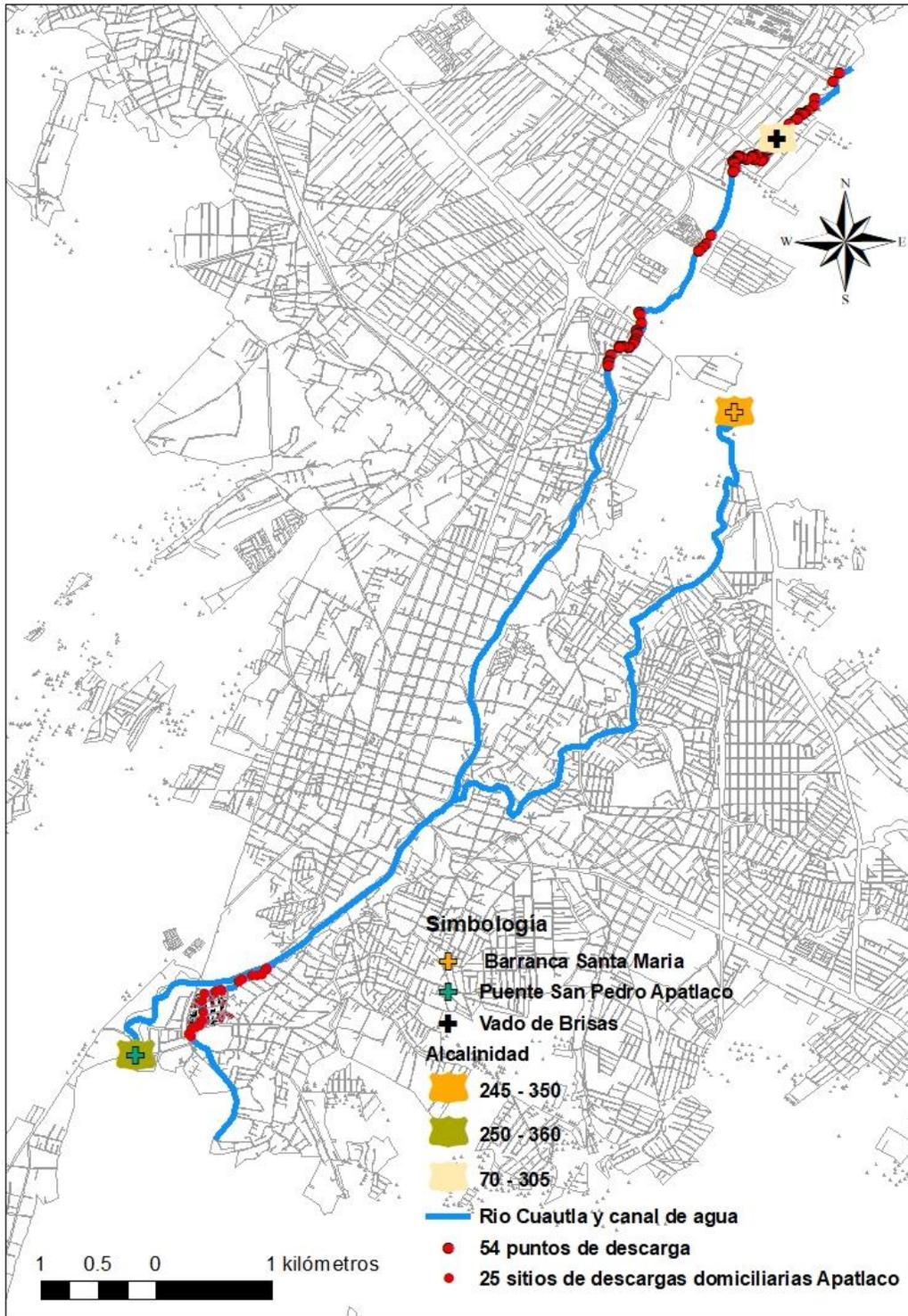


Figura 18. Alcalinidad en los tres sitios de monitoreo. FUENTE: Elaboración propia

El porcentaje de saturación de oxígeno mayor se encontró en el sitio Puente San Pedro Apatlaco con valores de 62% a 75 %, para Barranca Santa Maria fue de 62% a 68% y con los valores más bajos en el sitio Vado de Brisas con valores de 39% a 63% como máximo. Este valor tiene relación con la presencia de bacterias en los diferentes puntos, cuando existen muchas bacterias en el agua requieren de mayor cantidad de oxígeno, o la presencia de organismos descomponedores de materia orgánica, entonces los datos coinciden con la mayor presencia de UFC/100ml en Vado de Brisas y el menor % de oxígeno disuelto en el mismo, mientras que la menor cantidad de colonias se encontró en San Pedro Apatlaco donde se tiene mayor % de saturación de oxígeno (Figura, 19 y 20).

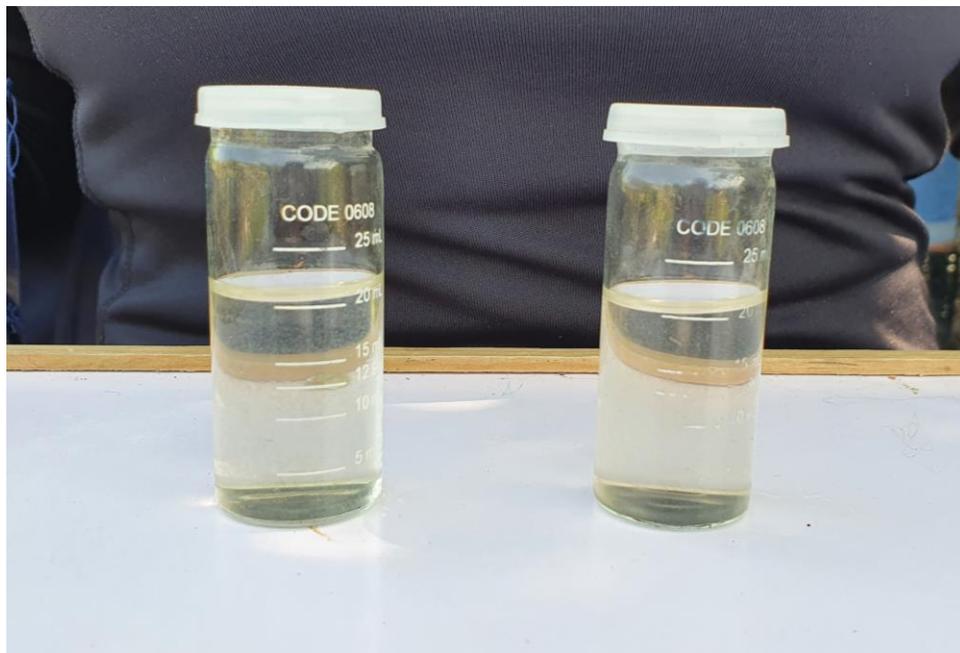


Figura 19. Cálculo de % Saturación de Oxígeno Disuelto

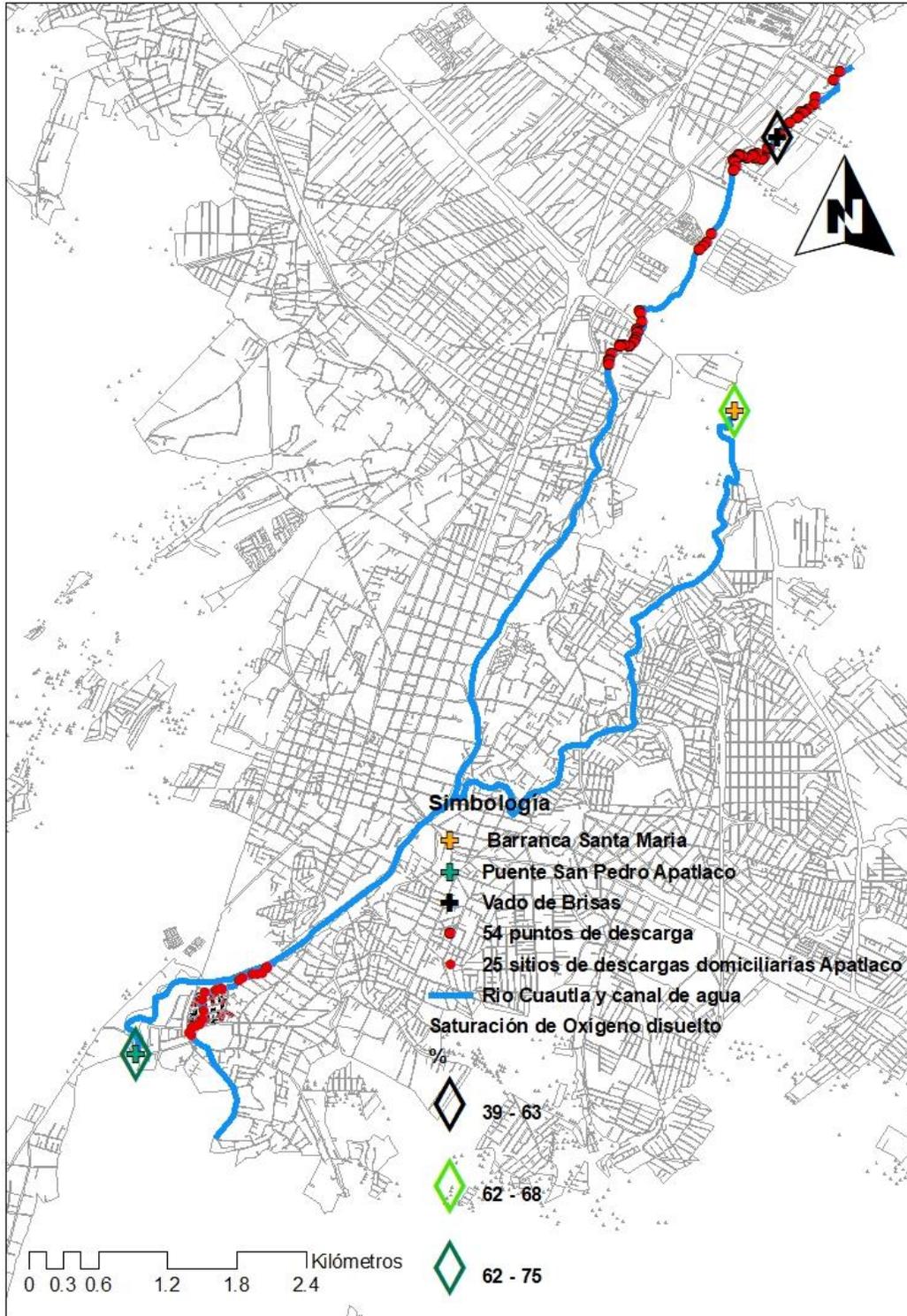


Figura 20. % de saturación de oxígeno en los tres sitios de monitoreo. FUENTE: Elaboración propia

La concentración de contaminación por materia fecal es mayor en el sitio Vado de Brisas debido a las aguas negras vertidas al río en este sitio de muestreo, alcanzando más de 100 de litros por segundos vertidos al río, los resultados comprobaron el gradiente de contaminación de mayor a menor desde este punto disminuyendo hasta el sur, en San Pedro Apatlaco. Los valores en Vado de Brisas para *E. coli* van de 113,400 a 214,133 UFC/100 ml y de otros coliformes va de 267 a 52, 800 UFC/100 ml, para el sitio Barranca Santa Maria se estimaron mínimo de 20, 500 a 129, 067 UFC/100 ml de *E. coli* y de 9,200 a 93, 733 UFC/100 ml de otros coliformes esto se debe al sector ganadero, durante el periodo de muestreo siempre se notó el agua con color marrón por las heces de caballos y vacas, presenciamos las descargas de aguas residuales provenientes del lavado de establos, por ultimo para el caso de Puente San Pedro Apatlaco gracias al aporte de agua limpia de los dos materiales “Los Sabinos y Las Estacas” que desembocan en el río Cuautla y disminuyen el grado de contaminación por aguas negras, se esperaba un menor grado de contaminación fecal, sin embargo, durante el periodo de muestreo se rompió una tubería de aguas negras que desembocaba directamente en el punto de muestreo y desafortunadamente se registraron valores de 13,000 a 69,500 UFC/100 ml para *E. coli* y de 5,400 a 64,800 UFC/100 ml colonias de otros coliformes datos que representan según el semáforo de emergencia para contacto humano, un alto riesgo a la salud humana el contacto con este cuerpo de agua (Figura, 21, 22 y 23).

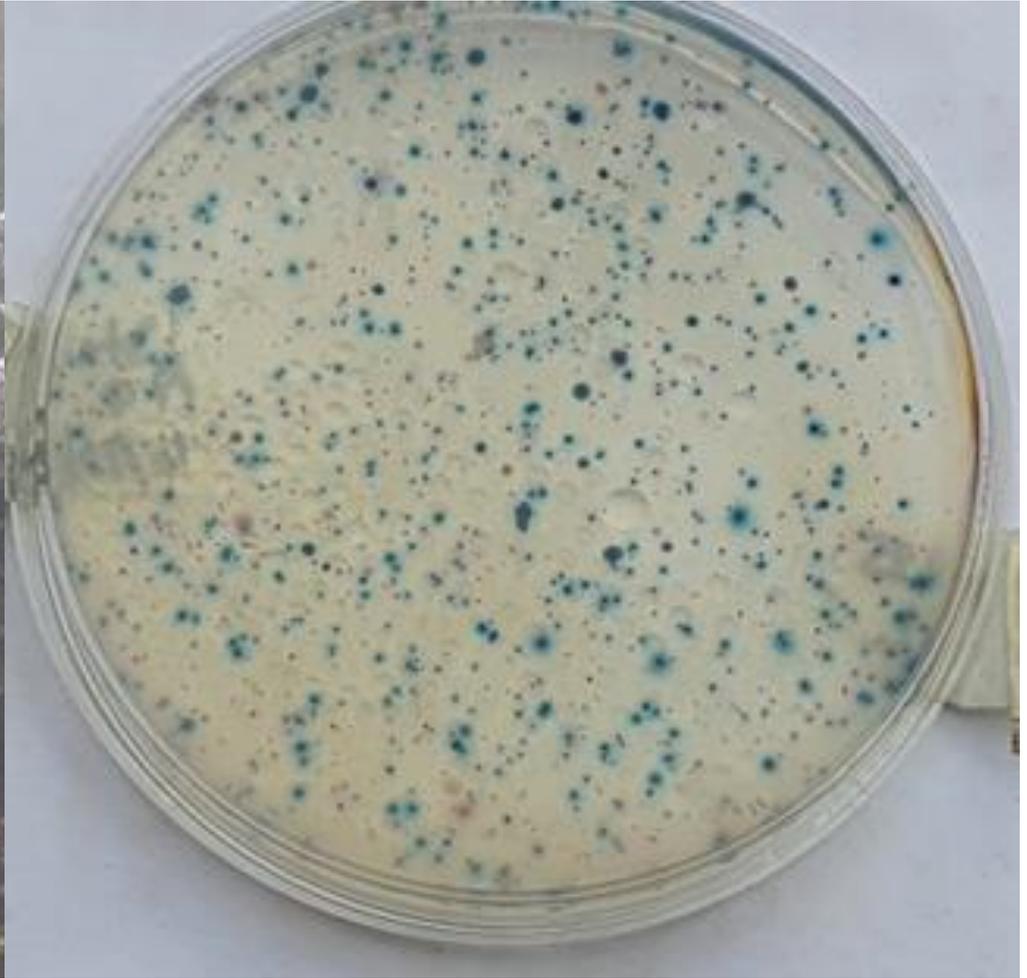


Figura 21. Colecta y cultivo de muestra bacteriológica

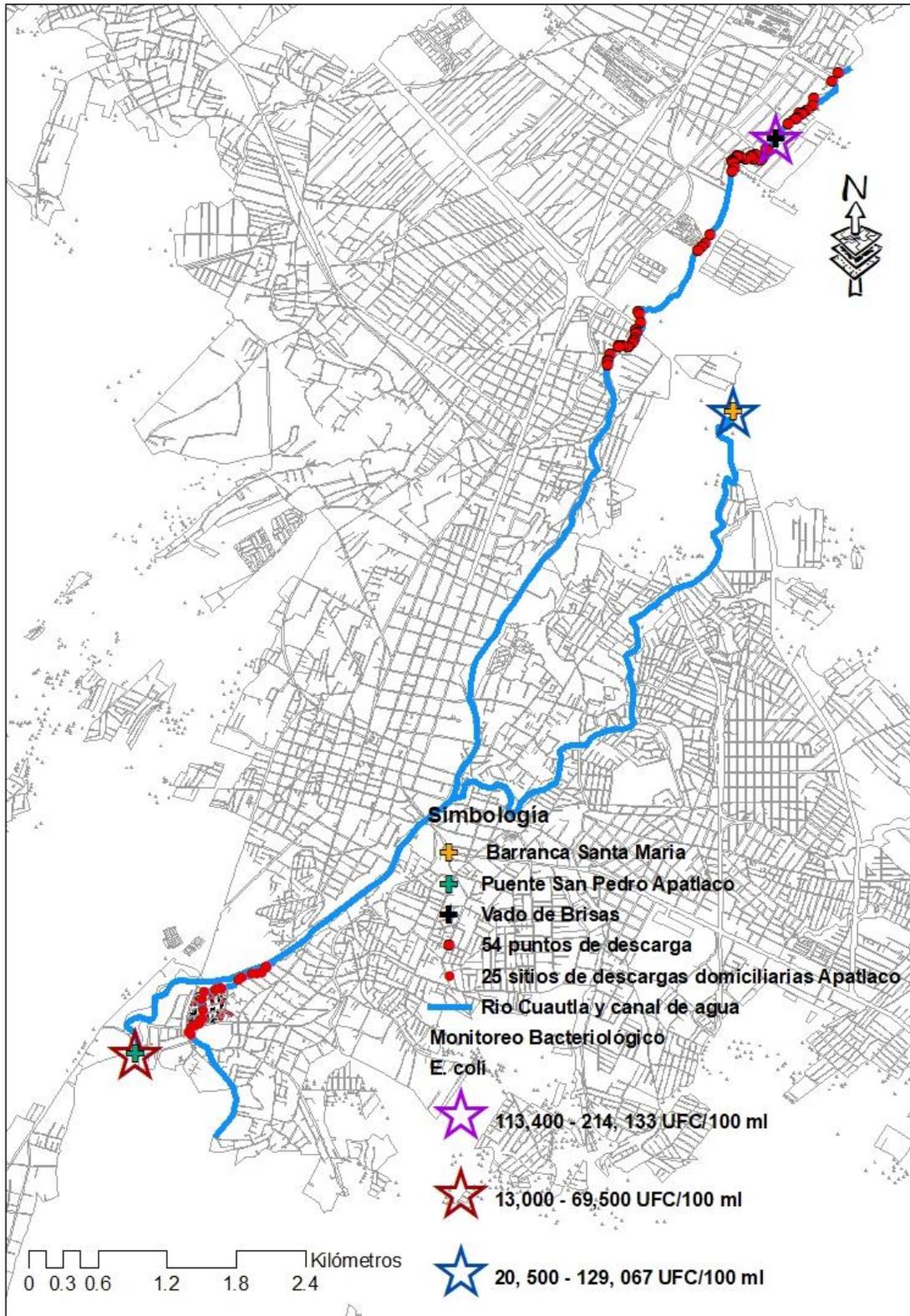


Figura 22. Unidades Formadoras de colonias de *E. coli* presentes en 100 UFC ml de agua. FUENTE: Elaboración propia

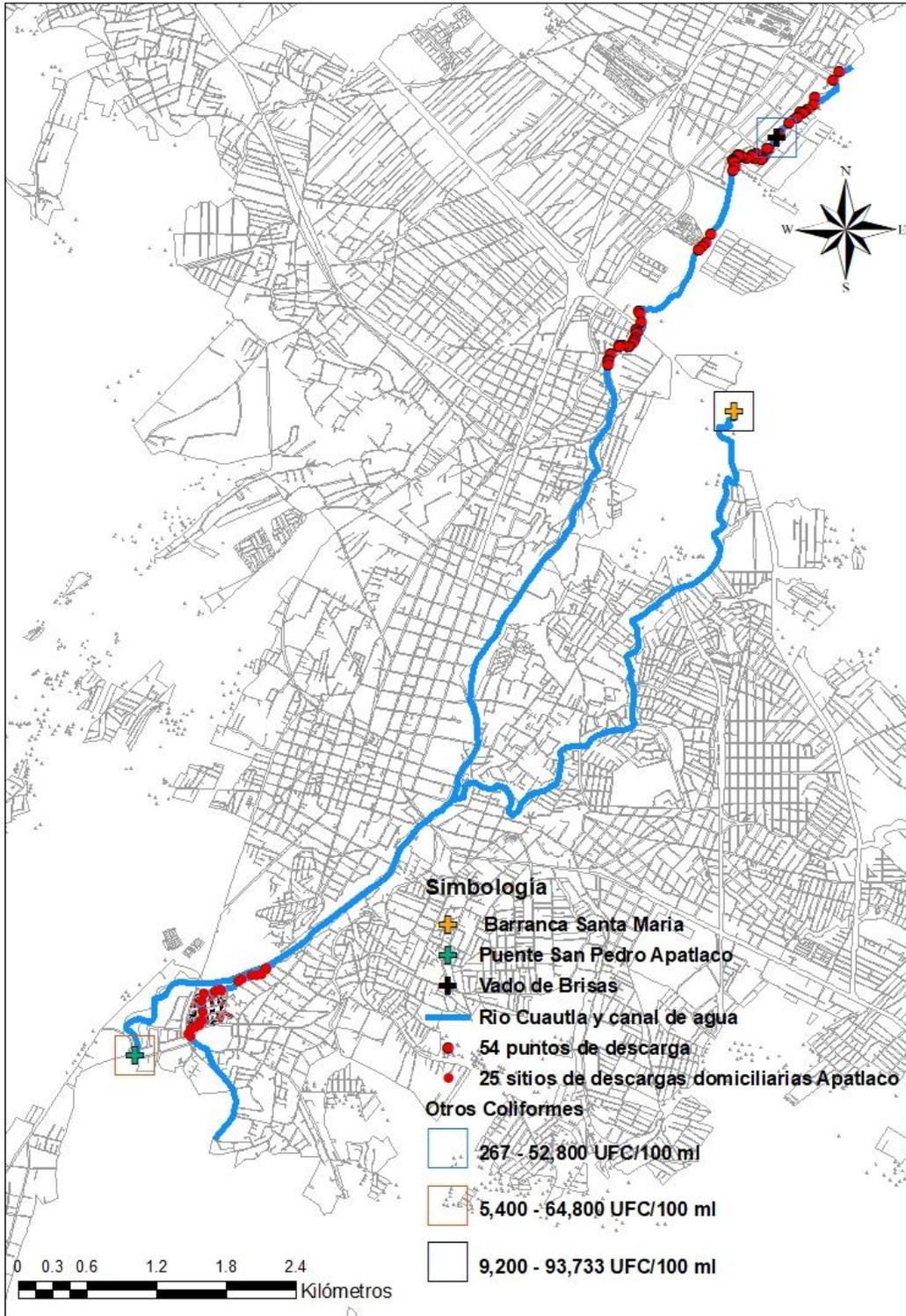


Figura 23. Unidades Formadoras de colonias de Otros coliformes presentes en 100 UFC ml de agua.
 FUENTE: Elaboración propia

Los resultados de bioindicadores Macroinvertebrados se resumen en que se encontraron organismos del grupo III compuesto por quironómidos, durante todos los meses y en los tres sitios, con la excepción de que en el mes de noviembre se encontró un individuo del grupo II (megalóptero) en el sitio Barranca Santa María, el cual, podría indicar una mejora en la calidad de agua, de cualquier manera, es un sitio altamente contaminado.

En cuanto al índice biótico estimo un valor muy bajo, lo cual significa una diversidad pobre y comprueba que los tres sitios están clasificados en un alto grado de contaminación por la presencia de quironómidos, los cuales se alimentan principalmente de materia orgánica fecal (Figura, 24 y 25).



Figura 24. Presencia de macroinvertebrados del grupo tres (quironómidos) en muestreo

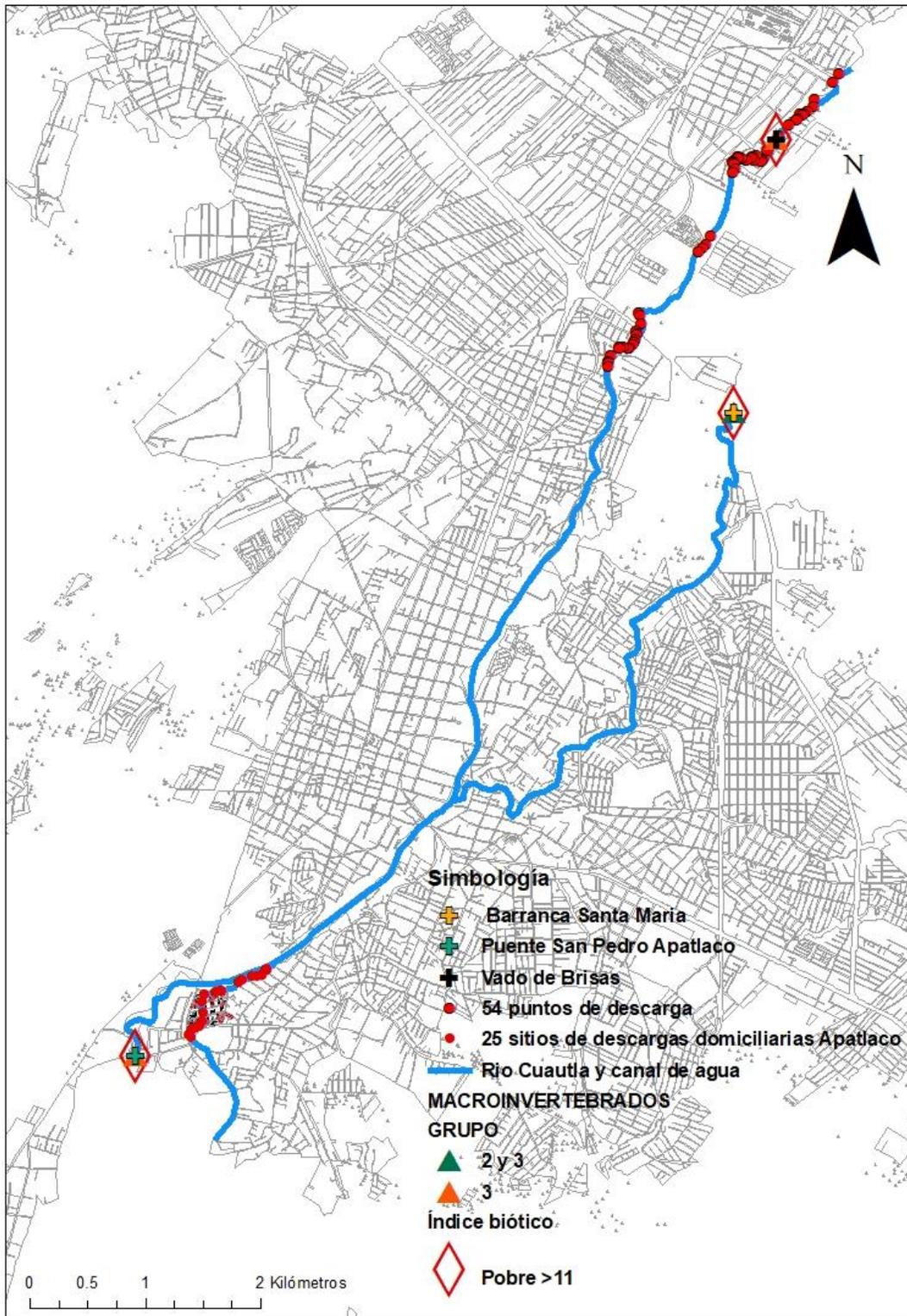


Figura 25. Índice biótico y grupo de macroinvertebrados presentes en el Río Cuautla. FUENTE: Elaboración propia

Caracterización del Río Cuautla

El Río Cuautla de manera natural tiende a la neutralidad con un pH de 7 a 7.5, su agua es dura y alcalina, estos dos datos son parecidos cuando el cuerpo de agua no presenta altos grados de contaminación, en este estudio a pesar de los aportes de agua contaminada los sitios Puente San Pedro Apatlaco y Barranca Santa Maria presentaron datos similares para dureza y alcalinidad, lo cual proporciona mayor amortiguamiento a los agentes de contaminación, es por eso que el sitio con mayor volumen de descargas de agua residual por el sector doméstico e industrial “Vado de Brisas” presenta valores tan diferentes en cuanto pH, dureza y alcalinidad respecto a los otros dos sitios, la literatura en la que se basa Global Water Watch respalda que cuando los valores de alcalinidad y dureza difieren marcadamente es indicador de algún tipo de contaminación incluyendo entre otros compuestos la presencia de iones de cloruro y sulfato. Por último, el agua limpia debería ser cristalina y sin presencia de materia fecal, los datos obtenidos comprueban que el sitio Vado de Brisas fue el más turbio, contaminado por heces comprobado encontrando *E. coli* y otros coliformes abundantemente en todos los monitoreos, además de la presencia de macroinvertebrados del grupo tres y con un índice biótico bajo demuestran el alto grado de contaminación.

Las afectaciones en los huertos frutícolas tradicionales de san pedro apatlaco derivados de la contaminación del río cuautla son estimados en 72 HFT cercanos al canal de agua que proviene del río Cuautla, los cuales están georreferenciados y presentados en el siguiente mapa (Figura, 26).

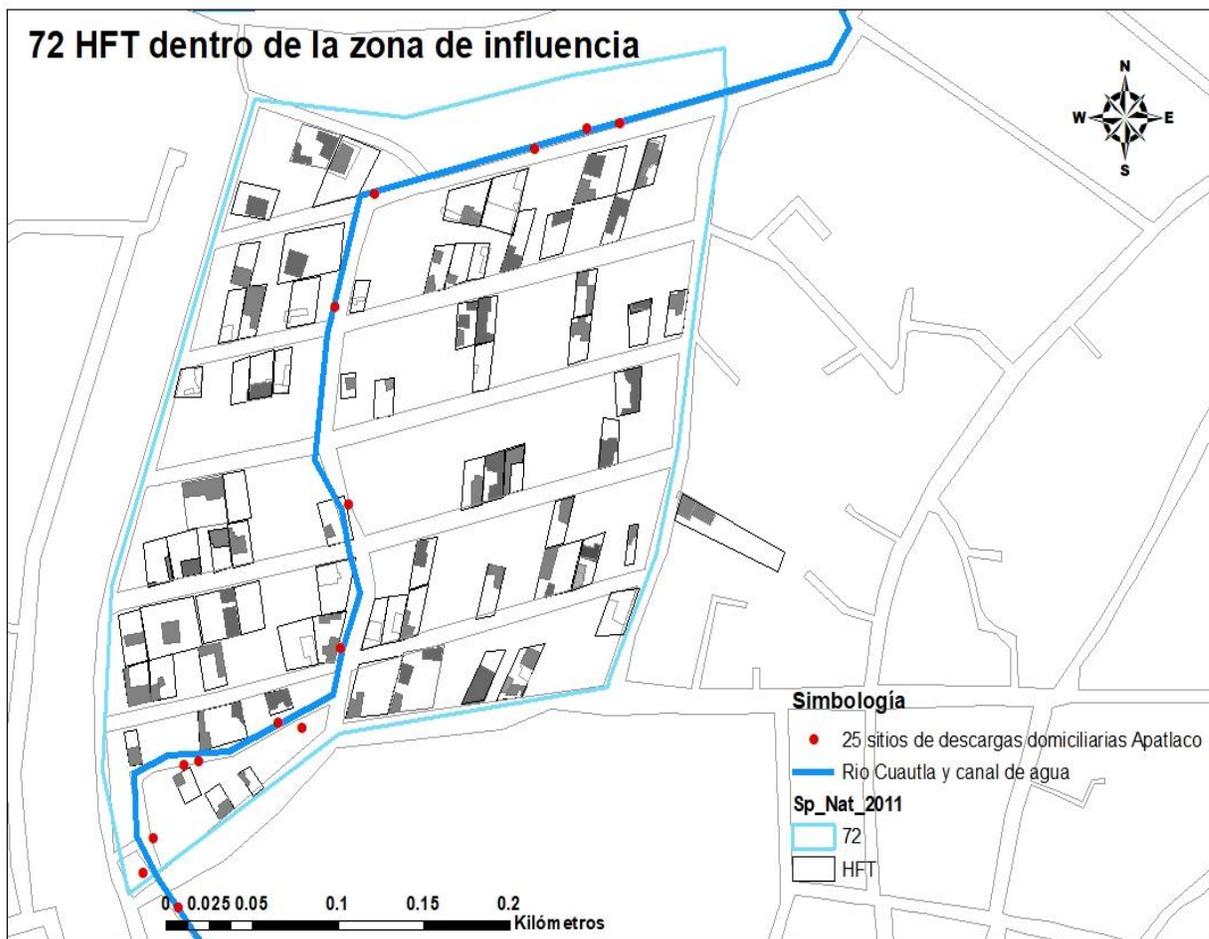


Figura 26. 72 HFT cercanos al canal de agua derivado del río Cuautla

La muestra representativa con base en la formula (Cantoni, 2009):

Donde:

N = tamaño de la población

n = tamaño necesario de la muestra

Z = margen de confiabilidad o número de unidades de desviación estándar en la distribución normal que producirá un nivel deseado de confianza

S = desviación estándar de la población conocida

E = error o diferencia máxima entre la media muestral y la media de la población que se está dispuesto a aceptar con un nivel de confianza que se ha definido.

$$n = \frac{S^2}{\frac{\epsilon^2}{Z^2} + \frac{S^2}{N}}$$

La muestra estimada con un 85% de confianza fue de 23 HFT, sin embargo, en uno de los huertos sólo se permitió una visita donde se pretendía establecer el vínculo de confianza y posterior a esta, por sugerencia familiar en cuanto seguridad de esta persona, se negó el acceso para la entrevista y el levantamiento ecológico.

Se entrevistaron a 22 dueños de HFT, seleccionados en la muestra estadística en la comunidad de Apatlaco Morelos, con base en cinco criterios: tipo de riego, daños a los árboles frutales, riesgos a la salud, identificación de las causas y motivos de la pérdida de especies, percepción del riesgo e identificación de la dinámica de contaminación.

De acuerdo con los datos obtenidos en las entrevistas a los dueños de HFT, 5 huertos son regados con agua potable y 17 con agua del río Cuautla (Figura, 27).

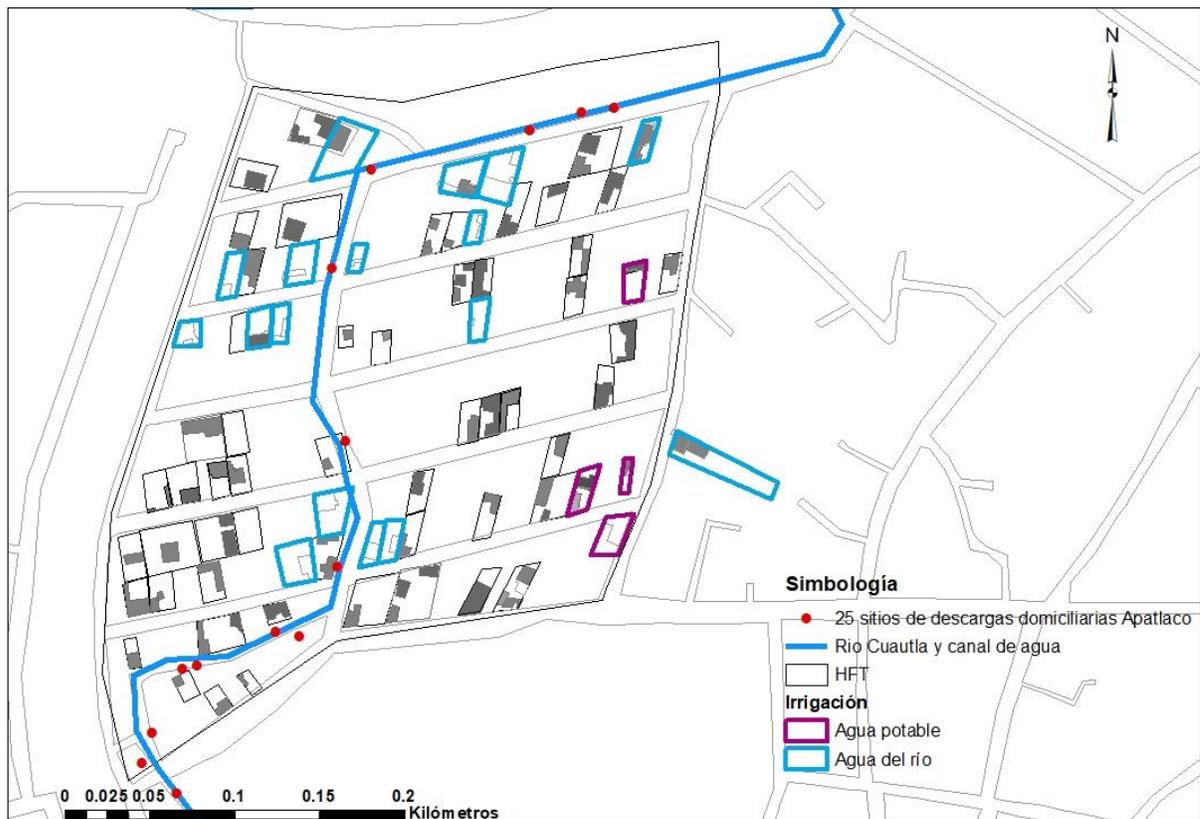


Figura 27. Tipo de irrigación en los HFT de San Pedro Apatlaco Morelos. FUENTE: Elaboración propia

Los dueños de los HFT relacionan cuatro tipos de daño a sus árboles frutales derivados de la contaminación del río Cuautla, haciendo mención de que, en el momento de regar su huerto, percibieron mal olor, diferente color en el agua durante períodos prolongados y posterior a esto, sus árboles producían frutos de mal sabor (2), bofos o no hidratados (1) y en casos peores dejaron de producir frutos (3) o se secaban sus árboles (6) (Figura, 28).

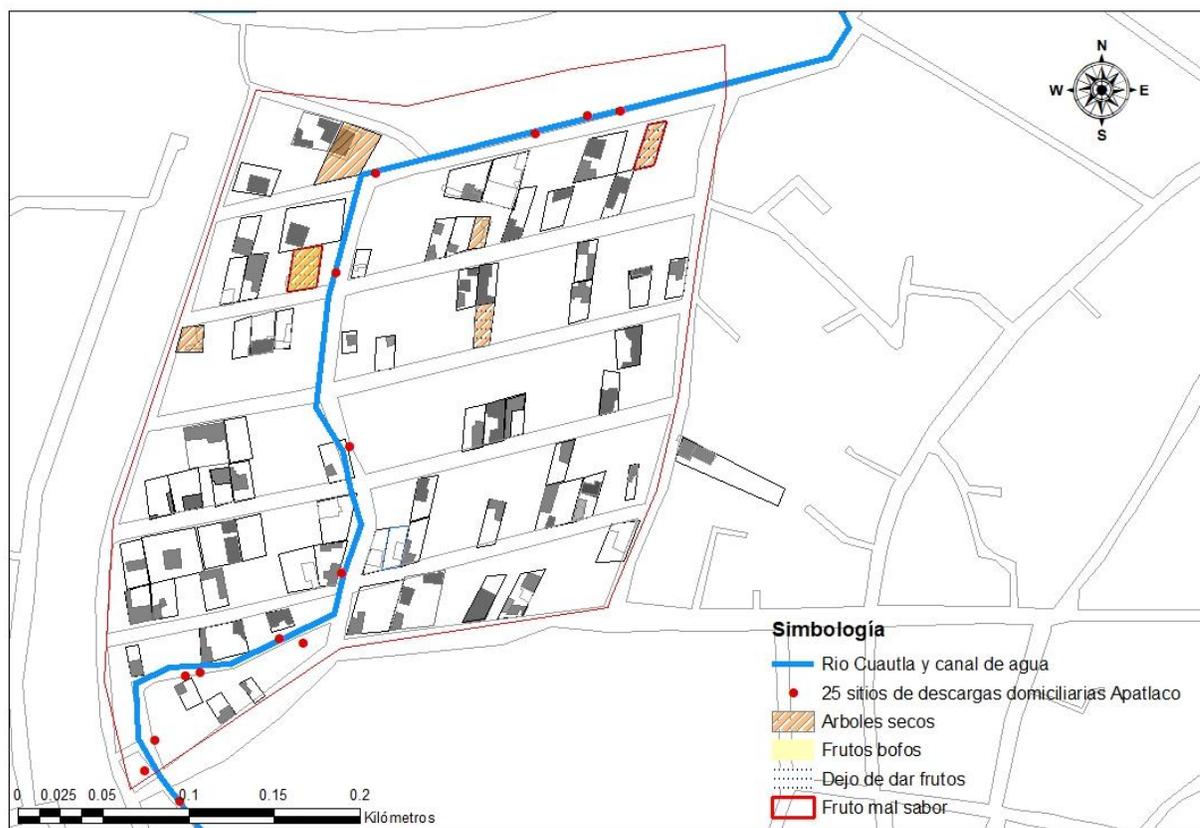


Figura 28. Daños a HFT de San Pedro Apatlaco Morelos. FUENTE: Elaboración propia

Las respuestas en cuanto al registro que tienen de los daños a la salud después de tener contacto directo con el agua contaminada del río en estas condiciones de mal olor y color, entre las enfermedades asociadas al estómago fueron: diarrea (11), vómito (7) y fiebre (4) (Figura, 29)

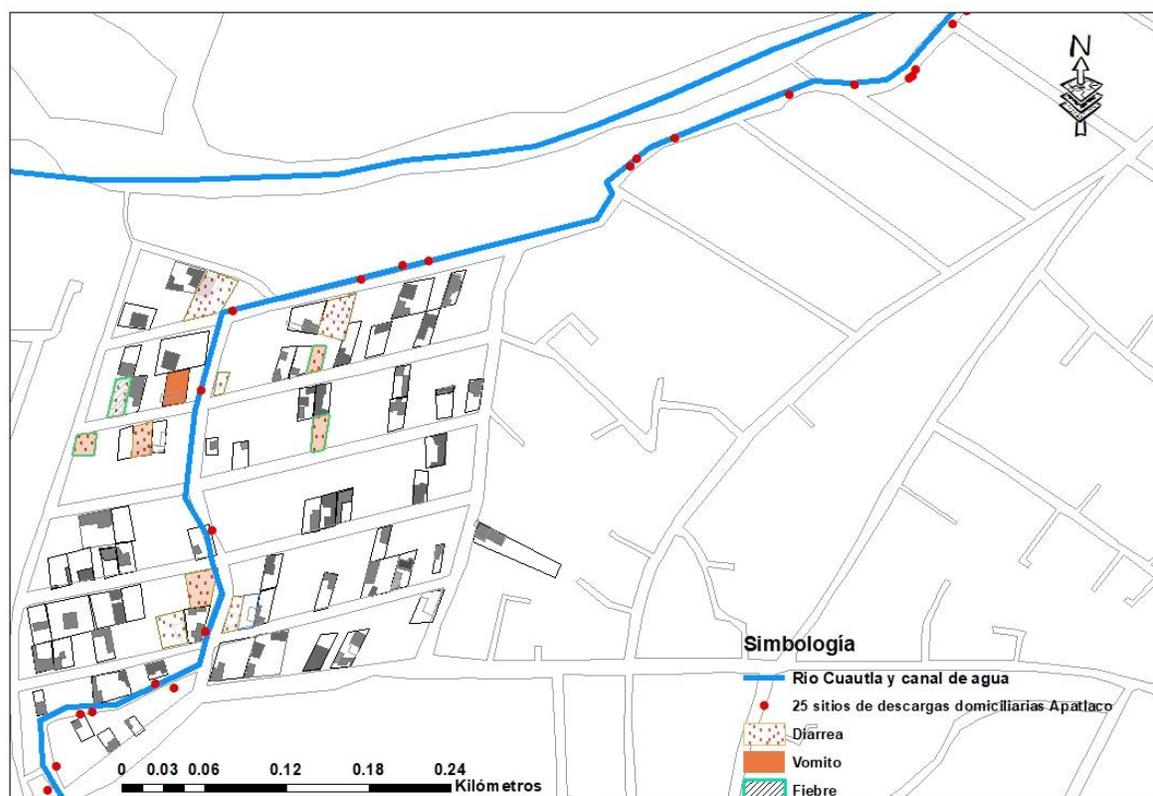


Figura 29. Enfermedades estomacales asociadas al contacto de agua contaminada. FUENTE: Elaboración propia

Otras afectaciones mencionadas fueron: dolor de cabeza (20), urticaria (1) e infección en los ojos cuando el accidentalmente el agua les salpicaba en la cara (4) (Figura, 30).

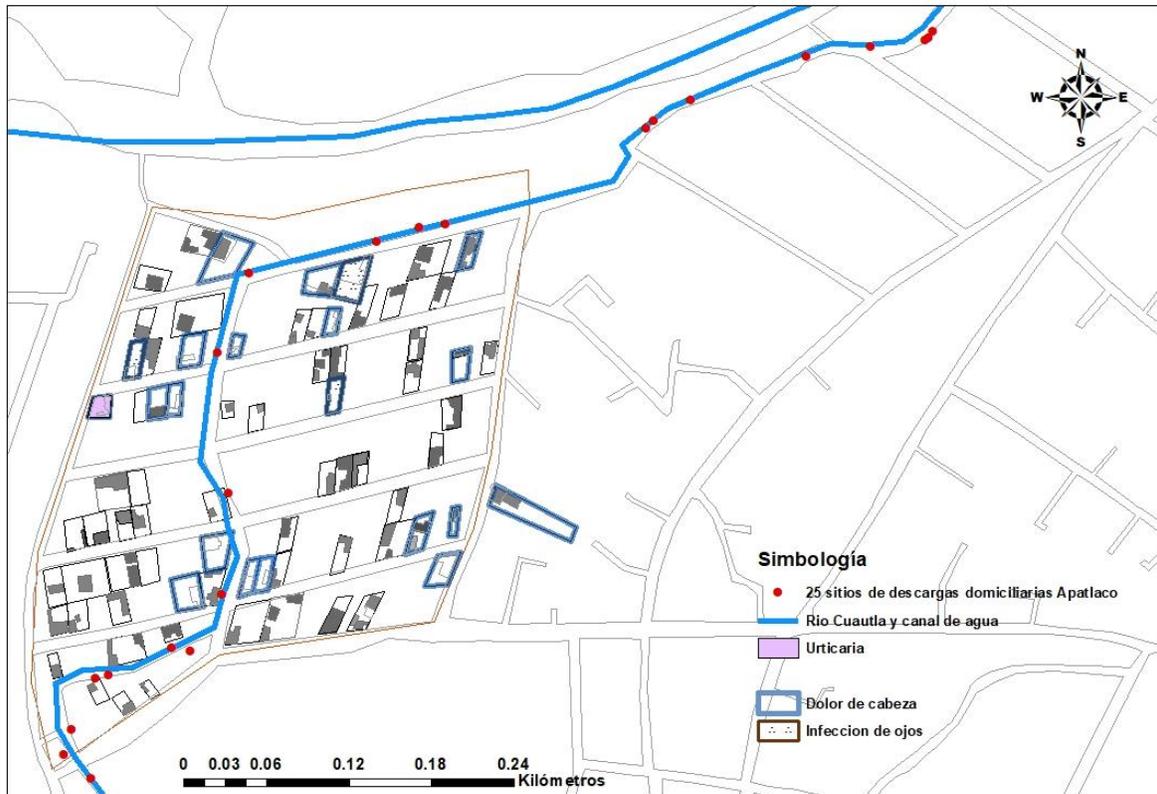


Figura 30. Enfermedades asociadas al contacto de agua contaminada. FUENTE: Elaboración propia

La respuesta al cuestionar sobre motivos por los cuales mantienen las diferentes especies de árboles frutales giro entorno a los valores de uso de la producción sostenida de los mismos, en la mayoría de los casos predominan valores de uso combinados principalmente Alimentario-Medicinal-Combustible (Al-Med-Comb), y cuando sus huertos dejaban de dar frutos pero crecían “frondosos” se mantenían por el valor de uso Combustible, mencionaron que cuando un árbol ya no daba buenos frutos no les daba confianza usar las hojas para el valor de uso Medicinal (Figura, 31).



Figura 31 Motivos por los que preservan los árboles frutales asociados a sus valores de uso. FUENTE: Elaboración propia

En contraste, los motivos por los que cortaron sus árboles frutales fueron: porque dejaron de dar fruto (8), se pudrieron (9), se secaron por falta de irrigación por falta de atención por edad avanzada de los propietarios (1) y por expansión de construcción (4) (Figura, 32).

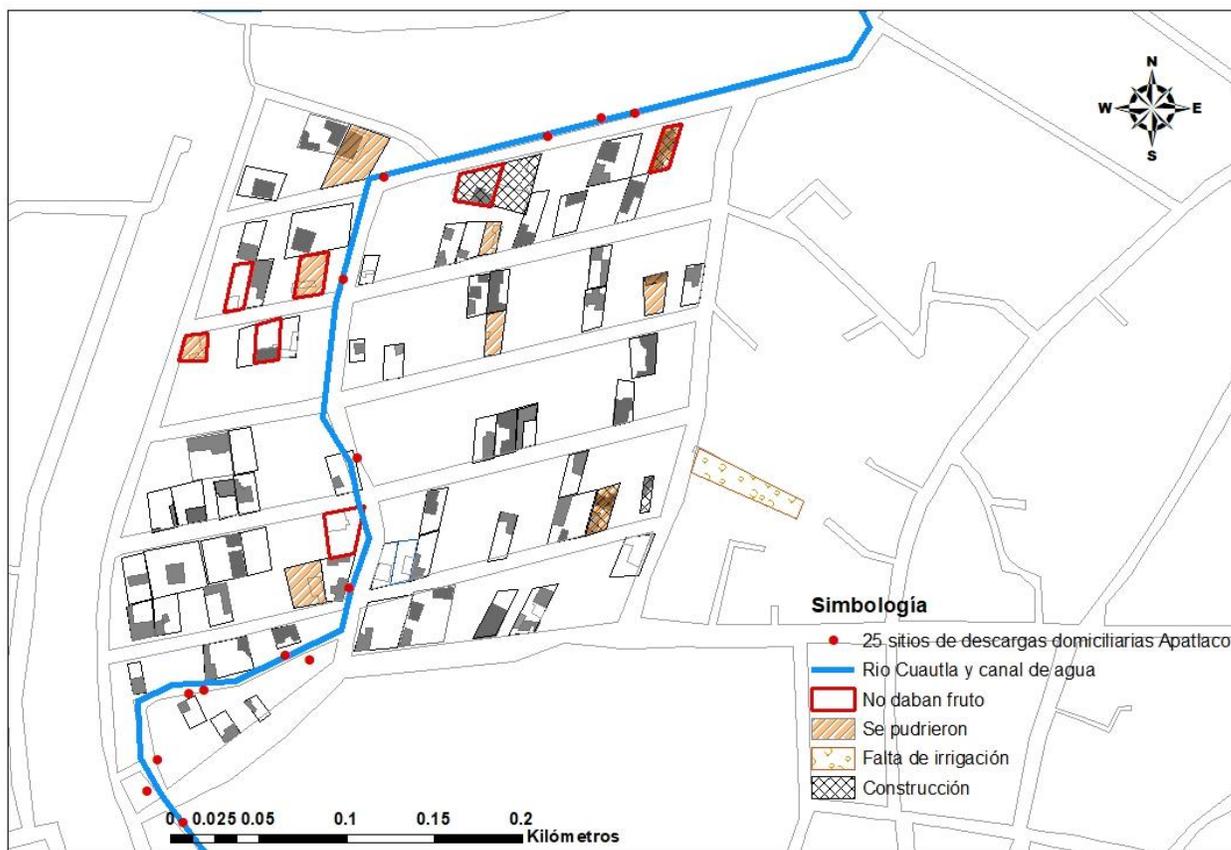


Figura 32. Motivos por los que cortaron sus árboles frutales. . FUENTE: Elaboración propia

Los 22 propietarios de HFT entrevistados mencionaron notar la contaminación, sin embargo, ninguno está consciente de las descargas municipales de aguas negras (Figura, 33)

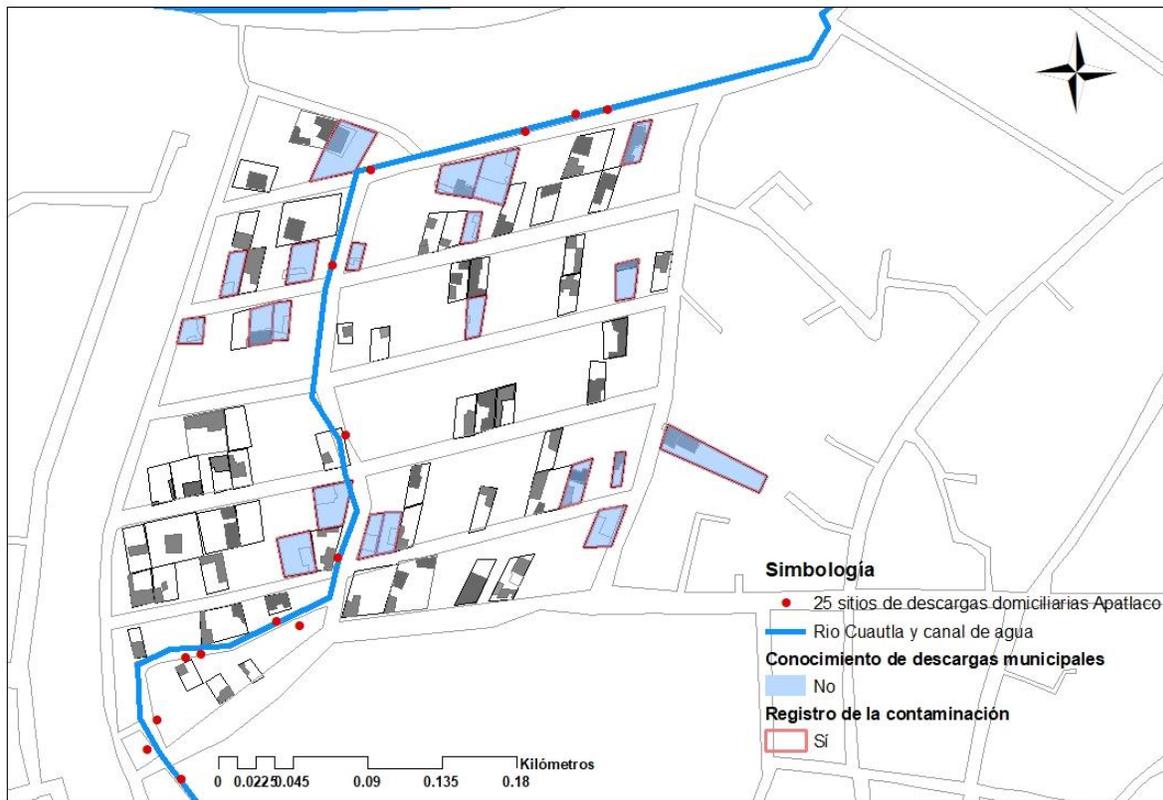


Figura 33. Registro de contaminación del río Cuautla. FUENTE: Elaboración propia

Entre los cambios que han notado en el agua como indicadores de contaminación mencionaron: olor desagradable, cambio de color y arrastre de residuos sólidos urbanos (Figura, 34).

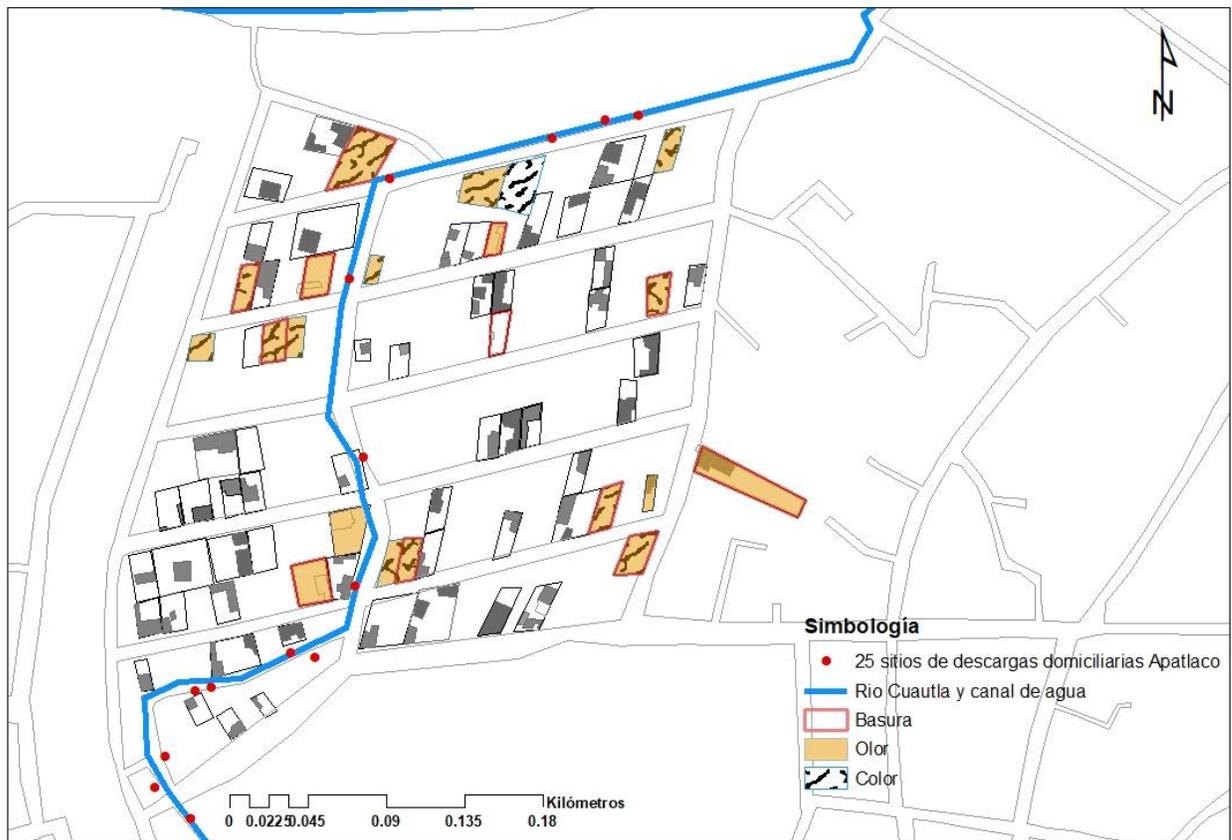


Figura 34. Registro de cambios en el recurso vital. FUENTE: Elaboración propia

Se calculó la densidad absoluta en el año 2011 (0.057) con base en la información recopilada en las entrevistas, y la densidad absoluta del año 2021 (0.035) se muestreo in situ. La riqueza de especies en el año 2011 fue de 36 y en el 2021 fue 28, hubo una disminución en el número de individuos y consecuentemente en el número de especies (Figura, 35).

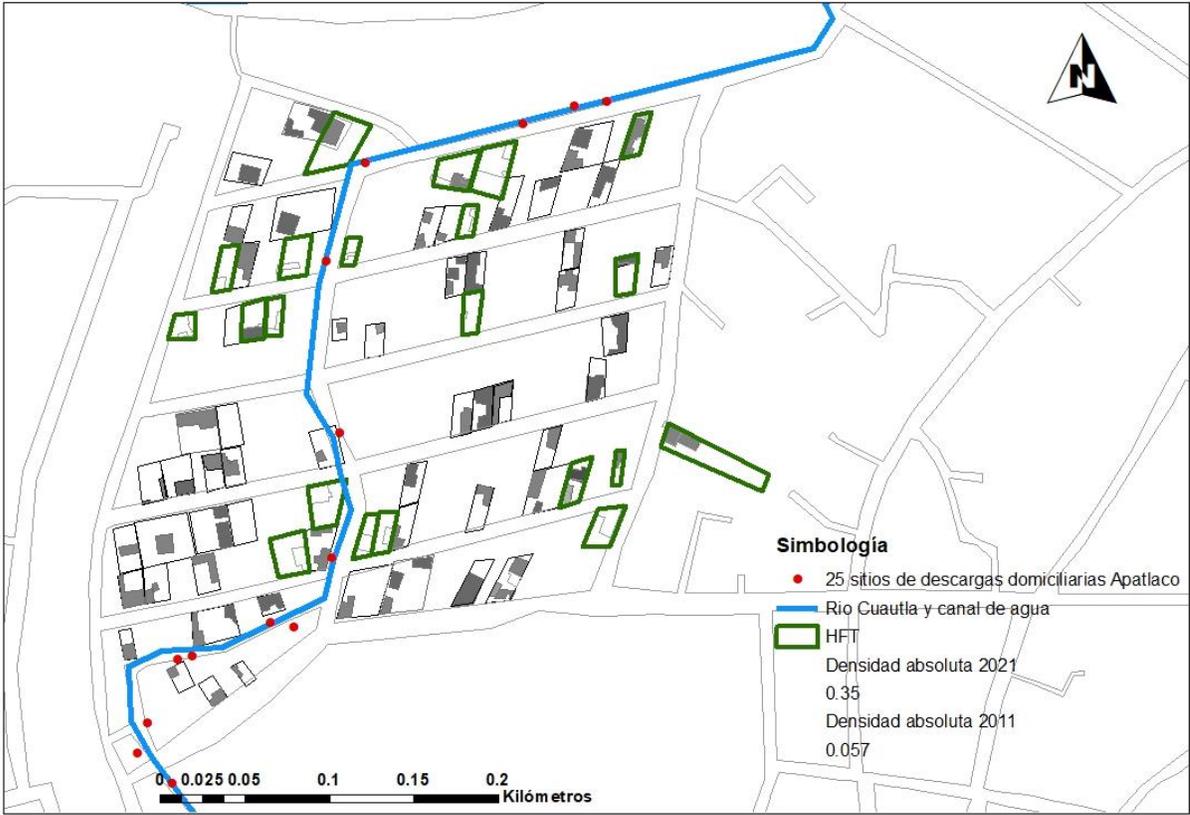


Figura 35. Densidad absoluta en el año 2011 y 2021. FUENTE: Elaboración propia

Se categorizaron las especies nativas y exóticas en los años 2011 (16 nativas y 20 exóticas) y en el 2021 (16 nativas y 12 exóticas), las especies exóticas disminuyeron y las especies nativas se mantuvieron, esto da cuenta a los conocimientos tradicionales dándole prioridad a la preservación de especies nativas dentro de sus HFT, lo cual es ventajoso en términos ecológicos porque el mantener una diversidad de especies y preservando especies nativas funcionan para diferentes servicios ecosistémicos, como filtración, amortiguadores de temperatura, depuración de oxígeno son hábitats sustitutos de especies silvestres nativas y además mantienen una diversidad genética, lo cual es favorable para soportar los cambios en espacio y tiempo producto de la contaminación ambiental (Figura, 36).

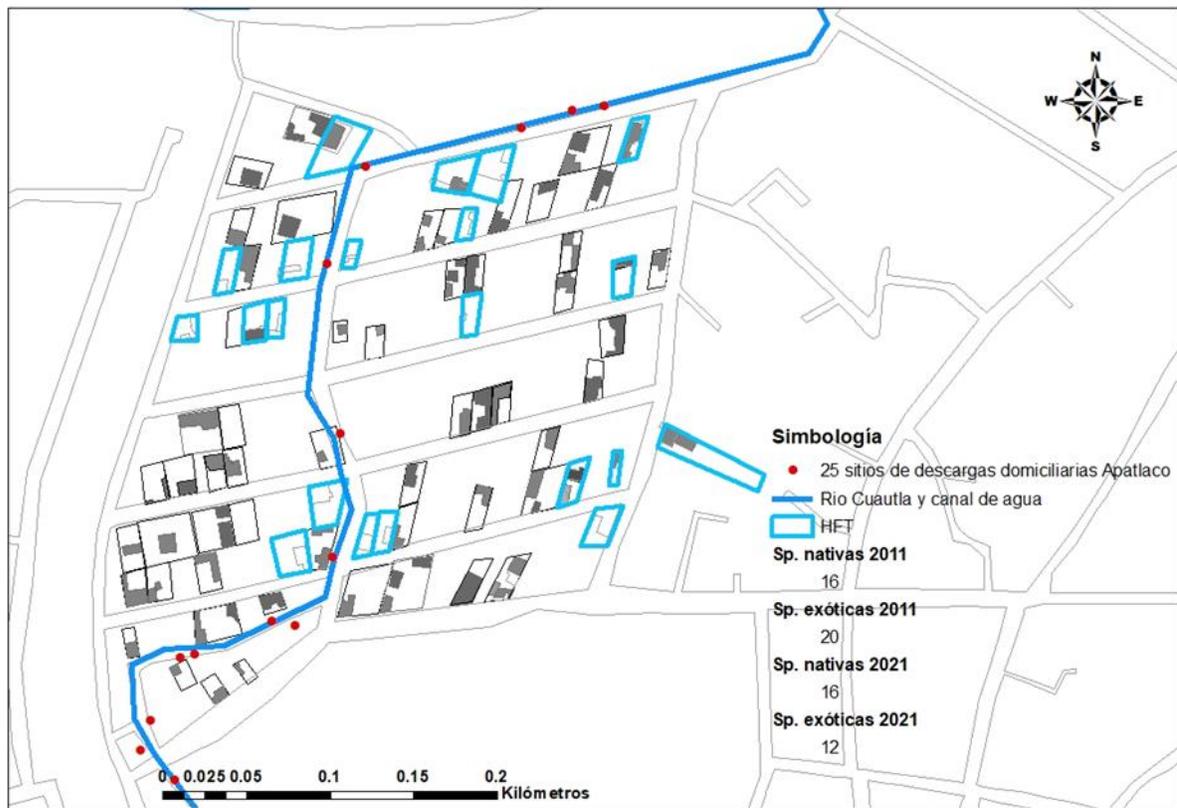


Figura 36. Categorización de especies nativas y exóticas en los años 2011 y 2021. FUENTE: Elaboración propia

Los resultados evidencian el alto grado de contaminación del río Cuautla, las variaciones en las propiedades fisicoquímicas en los tres sitios de monitoreo son indicadores de fuentes de contaminación que provocan estos cambios constantes y periódicamente, en sitio Vado de Brisas presento cambios más notorios respecto a los otros dos puntos de monitoreo, además la presencia de macroinvertebrados bioindicadores de calidad de agua refuerzan los resultados de ser un cuerpo de alto grado de contaminación puesto que en los tres sitios se registraron los del grupo tres, es decir, con un alta tolerancia a agua contaminada y que además se alimentan de compuestos orgánicos en alto nivel de descomposición, entre estos materia fecal. Por último, la cantidad de UFC/100ml de agua para *E. coli* y otros *coliformes* estuvieron presentes en una alta densidad en todos los sitios, datos que según la OMS representan un riesgo alto y no se recomienda tener contacto. Esto se comprobó en los resultados obtenidos de las entrevistas donde todos los dueños de HFT que irrigan sus árboles con esta agua han presentado síntomas que van desde una migraña, urticaria a infecciones estomacales y en los ojos. Los daños ecológicos, se comprueban con la especies arbóreas y abundancia, por la falta de irrigación o por daños a los árboles por causa de la mala calidad del agua.

Sin embargo, la vigencia de estos SPT evidencia la resistencia biocultural basada en el manejo y conocimiento ancestral el cual se ha ido ajustando a las condiciones territoriales, en estos sitios albergan especies arbóreas nativas con importancia alimentaria, medicinal, combustible y ornamental. La riqueza de especies y abundancia ofrecen servicios ecosistemicos como filtración, depuración de aire, filtración, hábitat sustituto para especies silvestres, etc.

Cuando se han tenido que perder árboles dan preferencia a las especies nativas, además de que su producción está destinada para el autoabasto compartiendo o intercambiando los excedentes, lo cual fortalece los vínculos locales.

7. CONCLUSIONES

En general, las condiciones de agotamiento de recursos y contaminación del suelo, agua y aire son una consecuencia de la racionalidad con que extraen y consumen para propósitos económicos. Este problema estructural tiene ya impactos cuya escala genera costos sociales crecientes y en algunos casos, irreversibles. En este marco, la dificultad para resarcir los impactos del deterioro ambiental tiene pendiente aún, la incorporación de políticas públicas capaces de comprender y de alguna forma mitigar, sin embargo, estas no solo no cuentan con la estrategia metodológica pertinente, sino que todavía no disponen de información científica ni consenso social capaz de abordar las condiciones críticas del ambiente. En agua en particular, plantearía uno de los más graves aspectos como sociedad para las siguientes décadas dada su importancia para la reproducción social y de la vida misma; el agua contaminada sería un rubro en este marco general en el que es necesaria una revisión y trabajo que contribuya a su mitigación.

El Rio Cuautla en particular, registra un alto grado de contaminación debido al nulo compromiso gubernamental y a la presión económica que le vierte desechos sin tratamiento a lo largo de su cauce, proveniente del sector doméstico, industrial e incluso agrícola ganadero.

En paralelo, las condiciones de la sociedad frente a dicha presión ambiental han representado un mecanismo de mitigación proveniente desde el manejo y conocimiento tradicional, dado que ambos son fundamentales para instrumentar estrategias eficientes de cuidado e incluso distribución equitativa del agua, frente a la amenaza al bien causado por los sectores productivos principalmente.

Ahora bien, derivado de las pruebas fisicoquímicas con las que se caracteriza el agua del Rio Cuautla, en términos de su dureza, alcalinidad con tendencia a la neutralidad, registran valores con menor grado de contaminación en los sitios de muestreo, incluyendo “Puente San Pedro Apatlaco y Barranca Santa Maria”. No obstante, Los macroinvertebrados como bioindicadores de calidad de agua comprueban la hipótesis del alto grado de contaminación del rio Cuautla, debido a la presencia del grupo tres con alta

tolerancia a cuerpos de agua muy contaminados, así como el cálculo de un índice biótico pobre.

Por tanto, la contaminación del río Cuautla se evidencia en los tres sitios de monitoreo donde se encontraron UFC/100ml de *E. coli* y otros coliformes abundantes, cantidad que se clasifica dentro de los rangos “de muy alto riesgo” según el semáforo de la OMS, agua que no debería tener contacto con la población. Mientras que el mayor grado de contaminación con base en los indicadores estudiados pertenecen al sitio Vado de Brisas el cual recibe descargas industriales y municipales del municipio de Yecapixtla, seguido de Barranca Santa Maria el cual recibe descargas de espacios amplios de ganadería e industriales, el sitio con menor grado de contaminación pertenece a Puente San Pedro Apatlaco debido a las dos descargas de aguas naturales que diluyen el grado de contaminación amortiguando los efectos negativos de las descargas de RLU sin previo tratamiento.

Por otro lado, los impactos de carácter social derivados de la contaminación del río Cuautla afectan directamente a la salud humana provocando diarrea, vómito, fiebre, infección en los ojos, urticaria y dolores de cabeza, también afecta la producción sostenida de alimento, medicina y combustible valores de uso para subsistencia como se observa en las entrevistas hechas a los pobladores, lo cual significa que cualitativamente existen registros desde la cotidianidad social en la que se desarrollan dichos sectores.

Además, queda en evidencia que el sector más marginado social y económicamente es el más afectado por la contaminación del río Cuautla, es decir aquellos pobladores que tienen la necesidad de irrigar sus HFT con esta agua en condiciones insalubres, por lo que se registra el deterioro de sus árboles, la calidad de sus frutos y estando expuestos a desarrollar múltiples afectaciones a la salud.

En este sentido, el deterioro de la calidad de agua ha provocado el deceso de árboles frutales por afectaciones en la calidad de frutos, como son; el sabor, hidratación y en el peor de los casos la putrefacción de árboles, así como también disminuyó el volumen de producción. Incluso el impacto ecológico se resume en la disminución de abundancia absoluta desde el año 2011 al 2021, donde la mayoría de las razones de este

deceso gira en torno a las afectaciones derivadas de la irrigación de HFT con agua contaminada.

Al mismo tiempo, las afectaciones ecológicas se evidencian en la disminución de riqueza de especies dentro de los HFT del 2011 con 36 especies y en el 2021 con 28, sin embargo, esta disminución solo afectó al número de especies exóticas debido a la preferencia por especies nativas lo cual tiene base en los conocimientos tradicionales donde dan preferencia a especies nativas con valores de uso múltiples, donde una sola especie les brinda alimento, medicina y combustible

Finalmente, es posible demostrar la contaminación del río Cuautla con base en los indicadores fisicoquímicos, bacteriológicos y Macroinvertebrados bioindicadores, lo cual argumenta los efectos dañinos para la salud humana, así como al ambiente con los efectos negativos a los árboles frutales pertenecientes a los HFT estudiados. Esto obliga en primera instancia a revisar los efluentes y el aporte de Residuos líquidos Urbanos proviene del sector industrial, en menor medida los residuos líquidos del sector doméstico seguido de residuos líquidos ganaderos y agrícolas.

Se considera que el monitoreo de calidad de agua del río Cuautla servirá como base científica para comprobar los impactos socioambientales derivados de la contaminación provenientes de efluentes no tratados a su caudal, pero de la misma forma para establecer estrategias de mitigación social que reduzcan los impactos en la sociedad misma y de quienes dependen de su consumo, es decir de aquellos habitantes ubicados con algún rasgo de desigualdad y con la ventaja de poseer conocimiento para la producción sostenible.

REFERENCIAS

- Agua.org. (2010). En México, 10 millones de personas sin agua – Agua.org.mx. consultado de: <https://agua.org.mx/en-mexico-10-millones-de-personas-sin-agua/>.
- Aguirre-Beltrán, G. (1967). Regiones de refugio El desarrollo de la comunidad y el proceso dominical en mestizoamérica. México: Instituto Indigenista Interamericano.
- Achatan, C. (1999). Contaminación industrial en los países latinoamericanos pre y post reformas económicas. ONU. CEPAL-ECLAC.
- Argirys, C. (1952). Diagnosing defenses against the outsider. *Journal of Social Issues*: 24-34.
- Ávila, S. H. (2002). Aspectos históricos de la formación de regiones en el estado de Morelos: desde sus orígenes hasta 1930. Cuernavaca: UNAM, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias. 199 p.
- Bellamy Foster, J., Clarck, B. y York, R. (2010). The ecological rift capitalism's war on the earth. Copyright.
- Benz, B. (1999). On the origin, evolution and dispersal of maize. En: Blake, M. (ed.), *Pacific Latin American in prehistory: The evolution of archaic and formative cultures* (pp. 25-38). Pullman: Washington State University Press.
- Blanca, J. C., Maria Luisa, T. y A., & Luis, A. A. (2010). El agua En México: cauces y encauces (Academia m). CONAGUA.
- Boege, E. (2008). El patrimonio bio-cultural de los pueblos indígenas de México. México: INAH.
- Caballero, J. y Cortés, L. (2001). Percepción, uso y manejo tradicional de los recursos vegetales en México. En: Rendón, B., Rebollar, S., Caballero, J. y. Martínez, M.A. (eds.), *Plantas, cultura y sociedad. Estudio sobre la relación entre seres humanos y plantas en los albores del siglo XXI* (pp. 79–100). México, D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana y Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.
- Calvet Mit, L., Garnatjet, T., Parada, M., Valles, J., y Reyes, G. V. (2014). Más allá de la producción de alimentos: los huertos familiares como reservorios de diversidad biocultural. *Ambienta*; 107, 40-53.
- Colín, H., Hernández C, A. y Monroy, R. (2012). El manejo tradicional y agroecológico en un huerto familiar de México, como ejemplo de sostenibilidad. *Etnobiología* 10 (2).
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). (2011). Proyecto Integral Morelos CCC Centro y Gasoducto Tlaxcala-Puebla-Morelos. Consultado de <http://em.fis.unam.mx/public/mochan/blog/20110803proyectoMorelos.pdf>
- Comisión Nacional de Derechos Humanos (CNDH). (2015). Megaproyectos y derechos humanos de los pueblos indígenas. Consultado de

- <http://www.cndh.org.mx/sites/all/doc/cartillas/2015-2016/02-DH-Pueblos-indigenas.pdf>
- Comisión Nacional de Derechos Humanos (CNDH). (2016). La consulta previa, libre, informada, de buena fe y culturalmente adecuada: pueblos indígenas, derechos humanos y el papel de las empresas. Consultado de <http://informe.cndh.org.mx/uploads/menu/10064/Laconsultaprevia.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2017). Información de la Cuenca Río Amacuzac y de la Termoeléctrica de Huexca. Consultado de http://sil.gobernacion.gob.mx/Archivos/Documentos/2017/08/asun_3566728_20170831_1504193285.pdf
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2007). Estadísticas del Agua en México 2007, Comisión Nacional del Agua, México, D. F.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2017). Información de la Cuenca Río Amacuzac y de la Termoeléctrica de Huexca. Consultado de http://sil.gobernacion.gob.mx/Archivos/Documentos/2017/08/asun_3566728_20170831_1504193285.pdf. 258 pp.
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). (2011). Proyecto Integral Morelos CCC Centro y Gasoducto Tlaxcala-Puebla-Morelos. Consultado de <http://em.fis.unam.mx/public/mochan/blog/20110803proyectoMorelos.pdf>
- CONABIO. (1998). Diversidad biológica de México. Estudio de país. México: CONABIO.
- CONAGUA. (2008). Programa Nacional Hídrico 2007-2012. Gobierno Federal. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). (2016). Información de pobreza y evaluación en las entidades federativas. Consultado de <https://www.coneval.org.mx/coordinacion/entidades/Paginas/inicioent.aspx>
- Daltabuit, M., Cisneros, H., Vázquez, L. M. y Santillán, E. (2000). Ecoturismo y desarrollo sustentable: Impacto en comunidades de la Selva Maya, Cuernavaca, Morelos. Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias. CRIM-UNAM.
- Durand, L. y Jiménez, J. (2010). Sobre áreas naturales protegidas y la construcción de no-lugares. Notas para México. *Revista Líder*, 16: 59-72.
- Ferrer, J. y Escalante, R. (2009). Contaminación atmosférica y efectos sobre la salud en la Zona Metropolitana del Valle de México. *Econinforma*, 360: 22-39.
- Galán, D., Fernández, R., (2006). Implicación de los NO_x en la química atmosférica. *Revista Electrónica de Medioambiente UCM*, 90:103-2.
- Galaviz, T. (2016). Enfoque territorial de construcción de paz en Morelos, México. *Revista de Paz y Conflictos*, 2: 199-220.
- Gobierno del Estado de Morelos (2012). Atlas Estatal de Riesgos y Peligros de Morelos. Cuernavaca: Gobierno del Estado de Morelos, CENAPRED.
- Ibarra-García, V. (2012). Espacio: elemento central en los movimientos sociales por megaproyectos. *Desacatos*, 39: 141-158
- INAFED. (2018). Enciclopedia de Los Municipios y Delegaciones de México; Estado de Morelos. Ayuntamiento de Ayala. Recuperado el 15 de febrero de 2021 de:

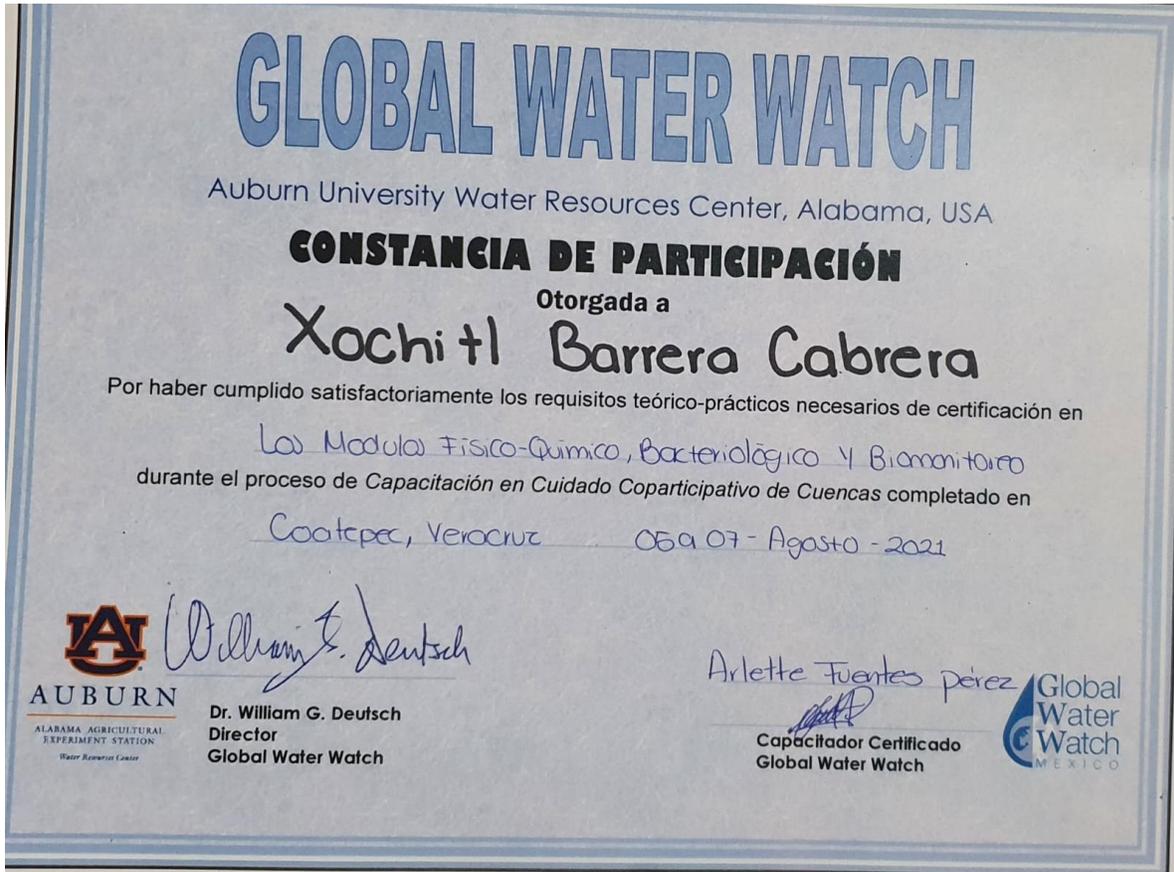
- <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM17morelos/municipios/17004a.html>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). (2001). Mapa de Suelos Dominantes en México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). (2015). Prontuario de Información Geográfica Municipal en los Estado Unidos Mexicanos. Apatlaco, Morelos.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2017). Anuario estadístico y geográfico de Morelos. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). 502 p.
- Infobae. (2022). México sin agua: estos son los estados que corren mayor peligro de quedarse sin abasto del líquido - Infobae. <https://www.infobae.com/america/mexico/2019/12/16/mexico-sin-agua-estos-son-los-estados-que-corren-mayor-peligro-de-quedarse-sin-abasto-del-liquido/>
- Instituto de Geofísica. (1997). Mapa de peligros del Volcán Popocatepetl. Consultado de http://www.geofisica.unam.mx/iframes/divulgacion/mapas/peligros_popo.html
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (1997). Programa de Conservación de la Vida Silvestre y Diversificación Productiva en el sector rural. México: Semarnap.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información (INEGI). 2010). Censo de población. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Consultado de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/SCITEL/default?ev=5>
- La Parra, D. y Tortosa, J. (2003). Violencia estructural: una ilustración del concepto. En Documentación Social, 131: 57-72.
- Lascurain, M., Avendaño S., Del Amo S. y Niembro, Aníbal. (2010). Guía de frutos silvestres comestibles en Veracruz. México: Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal, Conafor-Conacyt.
- López, A. y Tovar, C. (2014). Proyecto Integral Morelos vs Planeación Territorial Izta-Popo. Consultado de http://iztapopo.conanp.gob.mx/documentos/SIMPOSIO_IZTA-POPO_2014/PT/PT3.pdf
- Marx, Carlos. (2014). El Capital: crítica de la economía política. Tomo I. 4ª edición. México. FCE.
- Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino (MARN). (2009). El ozono troposférico y sus efectos en la vegetación. Consultado de http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/Ozono_tcm7-438816.pdf
- Marcel Yance, O. W. (2016). La producción termoeléctrica y su impacto ambiental en la zona de influencia, Guayaquil [Tesis de Maestría, Universidad de Guayaquil Facultad de Ciencias Económicas]. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/12028/1/Examen%20Complexivo%20Estudio%20de%20Caso%20Econ%20%20Oscar%20Marcel.pdf>

- Miranda, F., y Hernández X. E. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 28: 29-179
- Morelos.gob. (2020a, June 25). Realiza Ceagua recorrido en plantas tratadoras de aguas residuales en Cuautla | MORELOS. <https://www.morelos.gob.mx/?q=prensa/nota/realiza-ceagua-recorrido-en-plantas-tratadoras-de-aguas-residuales-en-cuautla>
- Morelos.gob. (2020b). Mantiene Ceagua cobertura de saneamiento de aguas residuales en Morelos | MORELOS. <https://morelos.gob.mx/?q=prensa/nota/mantiene-ceagua-cobertura-de-saneamiento-de-aguas-residuales-en-morelos>
- Monroy, R., Colín, H. y Roque, M, S. (2009). Los Pueblos de Morelos Cabalgan por la vida. Laboratorio de Ecología del Centro de Investigaciones Biológicas, UAEM y Consejo de Pueblos e Morelos.
- Monroy, R. (2009). Problemática de las comunidades del consejo de pueblos de Morelos. En: Monroy, R. Colín, H. y Roque-Morales, S. (comps). Los pueblos de Morelos cabalgan por la vida: 3-9. Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del estado de Morelos y consejo de pueblos de Morelos. México.
- Monroy, R. y Colín, H. (2012). La poliespecificidad de los huertos frutícolas tradicionales. En: Monroy, R., Monroy-Ortiz, R y Monroy-Ortiz, C. (comps.). Las unidades productivas tradicionales frente a la fragmentación territorial (P 43-56). Cuernavaca: Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Monroy-Ortiz, R y Monroy, R. (2012). Impactos de la presión urbana. *Ciudades*, 93:50-58.
- Montes-Mata G.M., Monroy-Ortiz R. (2020) Ravines of “Eternal Spring,” the Second Drainage System of Cuernavaca. In: Otazo-Sánchez E., Navarro-Frómata A., Singh V. (eds) *Water Availability and Management in México*. Water Science and Technology Library, vol 999. Springer, Cham.
- Montes Mata, G. M. (2021). Metamorfosis residual: Impacto socio-económico de verter residuos líquidos urbanos a las barrancas de Cuernavaca asociado a la incubación de mosquitos transmisores del dengue, zika y chikungunya. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Montes Mata, G. M. y Monroy Ortiz, R. (2022). *Monstruos de la Barranca, Entre Miseria y Aguas Residuales*. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Itaca.
- NOM-001-SEMARNAT (secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). 1996. Norma oficial mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. http://www.ucol.mx/docencia/facultades/facimar/descargas/normas_semarnat/ACLARACION_NOM_001_30_ABR_97.pdf
- O’ Connor, J., 1998. Causas naturales. Ensayos de marxismo crítico. México: siglo XXI.
- Oxfam. (2020). Los milmillonarios del mundo poseen más riqueza que 4600 millones de personas. [https://www.oxfam.org/es/notas-prensa/los-milmillonarios-del-mundo-poseen-mas-riqueza-que-4600-millones-de-personas#:~:text=Temas%20relacionados&text=Los%20202153%20milmillonarios%20que%20hay,Mundial%20de%20Davos%20\(Suiza\)](https://www.oxfam.org/es/notas-prensa/los-milmillonarios-del-mundo-poseen-mas-riqueza-que-4600-millones-de-personas#:~:text=Temas%20relacionados&text=Los%20202153%20milmillonarios%20que%20hay,Mundial%20de%20Davos%20(Suiza)).

- Peña Ramirez, J. (2012). Crisis del agua en Monterrey, Guadalajara, San Luis Potosí, León y la Ciudad de México (1950-2010). Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN: 978-607-02-3841-3.
- Pérez-Gil, R., Jaramillo, F., Muñiz, A. y Torres, M. (1996). Importancia económica de los vertebrados silvestres en México. México: PG7 Consultores y CONABIO.
- Ramos, A. 2011. Biodiversidad, conservación y marginación indígena en México. Consultado de <http://rcci.net/globalizacion/2011/fg1159.htm>
- Reina, C. (2008). Retos de la participación ciudadana en la construcción democrática: un enfoque en el desarrollo local y la resistencia por los recursos naturales. El observador: análisis alternativo sobre política y economía, 14: 3-21.
- Shiva, V. (2003). Las guerras del agua; Privatización, contaminación y lucro. (Trad.) Guardo, S. Sigo XXI.
- Smeke de Zonana, Y. (2000). La resistencia: forma de vida de las comunidades indígenas. El Cotidiano, 99: 92-102.
- Taylor, S. J., y Bogdan, R. (1987). Introducción a los métodos cualitativos de investigación. La búsqueda de significados. (1ª ed). España: Editorial PAYDOS. 331.
- Toledo, V. (2005). Repensar la conservación: ¿áreas protegidas o estrategia biorregional? Gaceta ecológica, 77: 67-83
- Toledo, V. M. y Barrera-Bassols, N. (2008). La Memoria Biocultural: la importancia ecológica de los saberes tradicionales. Barcelona: Icaria Editorial.
- Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad (UCCS). (2018). Mapeando injusticias ambientales en México. Consultado de <https://www.uccs.mx/prensa/comunicados/mapeando-las-injusticias-ambientales-en-mexico>
- Vilamajó A. D., Gispert C. M., Vales G. M. A., González E. A. y Rodríguez G. H. (2011). Los huertos familiares como reservorios de recursos fitogenéticos arbóreos y de patrimonio cultural en Rayón, México y El Volcán, Cuba. Etnobiología 9, 22-36
- UN WATER, (2017). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. París: UNESCO. Recuperado de: <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002471/247153e.pdf>
- Zamudio, T., Mercado, M., Selser, I. y Teira, G. (2008). Protección del conocimiento tradicional indígena. Recursos culturales. Disponible en: www.bioetica.org
- Zuñiga, N. (2006). Conflictos por recursos naturales y pueblos indígenas. Pensamiento propio, 22: 1:18

ANEXO I

Certificación para monitoreo Físicoquímico, Bacteriológico y Biomonitoreo de Cuencas por GWW.



Cuernavaca, Morelos a 22 de noviembre de 2022

**COMISIÓN REVISORA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESIS, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESIS QUE, PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DE LA ESTUDIANTE C. **XOCHITL BARRERA CABRERA** CON NÚMERO DE MATRÍCULA **10019702**, BAJO EL TÍTULO “**IMPACTOS SOCIOAMBIENTALES EN LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS TRADICIONALES DERIVADOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO CUAUTLA**”. CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI **VOTO APROBATORIO**.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

A T E N T A M E N T E
Por Una Humanidad Culta

DRA. MARÍA LUISA CASTREJÓN GODÍNEZ
(FIRMA ELECTRÓNICA)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

MARIA LUISA CASTREJON GODINEZ | Fecha:2022-11-22 15:17:05 | Firmante

PfupDNf1Snxu5NyzPcWC5Hg7xynPht+Dfbv0deLPLibhzHxXVBrZBt4loz2WAG4K3G0SLhZkXOA85rp+49eaVNVvjdbFiubi8bQoIlMIPuKFHYXxKSq5Hr48UIVHwM8hnhPstsq1gLAhO/Pev29xpCTrcE0YZEPwOpOdTVBEh3s59BO4CfXhae2h5pTRlhVrAoDrOHcd8Q+X1Y1THalHHLp8JFVDcNXi54Db8xonm+DEA5aMlw3OEw7sxceYb9+k6Rv4+mGp8FbEigfnNQeAtPT6mERTn7tY2vo7vqqt+iLhg5sjrWgha1FPanLwStkFtcTwEP4+qW0yvA0Dw7/Jw==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



qXGy0MVFB

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/yyxQtQIJHbcqB9p1Qfm77WRJeLajt0Ov>



Cuernavaca, Morelos a 11 de noviembre de 2022

**COMISIÓN REVISORA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESIS, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESIS QUE, PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DE LA ESTUDIANTE C. **XOCHITL BARRERA CABRERA** CON NÚMERO DE MATRÍCULA **10019702**, BAJO EL TÍTULO “**IMPACTOS SOCIOAMBIENTALES EN LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS TRADICIONALES DERIVADOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO CUAUTLA**”. CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI **VOTO APROBATORIO**.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

A T E N T A M E N T E
Por Una Humanidad Culta

MTRO. CÉSAR AUGUSTO GONZÁLEZ BAZÁN
(FIRMA ELECTRÓNICA)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

CESAR AUGUSTO GONZALEZ BAZAN | Fecha:2022-11-25 01:18:56 | Firmante

G7yMbQCX8a0SaYbZ4xvqzloal2CUk4cG7k4D+G3s1B2DBL108qUlh+YG+9/9ZZgnOIBiPZUZg/4MARSHNitzki8LzHR7uN0IVCR+hLR63uE+s1rwRvoSJwx9a9k8cBsneaWOCUktiQhmP2CaXCNe1r65559icgMqzDFnFW3vJBhPS/MiBhMW8wRXnQTHoVsY+2wVT/LnAS1pvkGuMTBq1PmxP9RP62hriYKePjWXFbBQZWFBiBD3297hxnZbLtCGu9kjZqugUq6AgJxOeuE3H92uYQI4GarPf7zqkRqUtTLaOmeA3C6HKtgev7mLsiDH0zNgawfBWby/t17WXOcEg==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



ONZIJwKDA

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/RvpX4mF9rqRRx5dfvW54yQhr5j3mnbGt>



Cuernavaca, Morelos a 11 de noviembre de 2022

**COMISIÓN REVISORA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESIS, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESIS QUE, PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DE LA ESTUDIANTE C. **XOCHITL BARRERA CABRERA** CON NÚMERO DE MATRÍCULA **10019702**, BAJO EL TÍTULO “**IMPACTOS SOCIOAMBIENTALES EN LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS TRADICIONALES DERIVADOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO CUAUTLA**”. CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI **VOTO APROBATORIO**.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

A T E N T A M E N T E
Por Una Humanidad Culta

DR. RAFAEL MONROY ORTIZ



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

RAFAEL MONROY ORTIZ | Fecha:2022-11-10 20:58:03 | Firmante

H5qpdF8Ejq+uOOout05b00k69JatPrWjTuxd1FvC5H0eO0fX+XLvxq3me3Zi+LzJPi7BsdoDHUFgXq82pXgXxOj4zTs8YIDNQvYSilkPfu/j3DBHmHG8e3GG9kk5usJYQMef1xnmjWY PjvUTJNYIrfFC6PxZ3jZPh4OtQMLtDF7gAelOURAR1zvQnCcVPu25Su2R1xeB2jsSkrxWZ+HUX1xl8e1kcMmdTvNvpocSsdxbj83F3RVUWXaiNylG8xZrIHtGSHnRWHwWbpef/ReefZC7yG0XbjGIN4VojQE2Xwl01yw9dEZqtzcYjocCcX8rnQPjBYPTun237373VMHdA==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[WvbpC2NTY](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/aPtZVJxBbKsOvfAul3nQIKRzV5sLdv6o>



Cuernavaca, Morelos a 22 de noviembre de 2022

**COMISIÓN REVISORA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESINA, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESINA QUE, PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DE LA ESTUDIANTE C. **XOCHITL BARRERA CABRERA** CON NÚMERO DE MATRÍCULA **10019702**, BAJO EL TÍTULO “**IMPACTOS SOCIOAMBIENTALES EN LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS TRADICIONALES DERIVADOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO CUAUTLA**”. CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI **VOTO APROBATORIO**.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

A T E N T A M E N T E
Por Una Humanidad Culta

DR. ALEXIS JOAVANY RODRÍGUEZ SOLÍS
(FIRMA ELECTRÓNICA)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

ALEXIS JOAVANY RODRIGUEZ SOLIS | Fecha:2022-11-22 20:26:08 | Firmante

IKQ9HcBh0lhF2Lh3Z9nJgQIIl8L2ZwLfBoc+WncpH5YuXCniNmp2Jl0BD3iZiLBz+IOqHkan2tey2xrB4yZjVYibQU8kPXa4ZZNjIDZPE9I8ZjxHupJ+WDaoql6gAtXoZYX8fnsbBky9jy2lRyVhJYgq0927xxkT8FY57ia69ux4LtrHwGfX5pUjLvx0jEStd6O5Lig/U+wnLIVpEwOYVZ2x1f7gfBrN+wA8uHW7F/oyV8jFwq0KXrIONyCGdd4BS6nCu2XBy4gO+ZTMDk1nc6/E0laZ5heuKANotzqUW6bvA3AwRAr/IFmgS20+dpLY8K/KP1irZhoqR11pSWqKg==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[nzS2uHisJ](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/tmah22YZHstvTq87nMcr1UnoPi2hyVd>



Cuernavaca, Morelos a 15 de noviembre de 2022

COMISIÓN REVISORA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
P R E S E N T E

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESIS, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESIS QUE, PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DE LA ESTUDIANTE C. **XOCHITL BARRERA CABRERA** CON NÚMERO DE MATRÍCULA **10019702**, BAJO EL TÍTULO “**IMPACTOS SOCIOAMBIENTALES EN LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS TRADICIONALES DERIVADOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO CUAUTLA**”. CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI **VOTO APROBATORIO**.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

A T E N T A M E N T E
Por Una Humanidad Culta

M. I. ARIADNA ZENIL RODRÍGUEZ
(FIRMA ELECTRÓNICA)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

ARIADNA ZENIL RODRIGUEZ | Fecha:2022-11-15 15:34:13 | Firmante

EWuyho2Pk39wi1wEQRg/anYaTzX3exVTb2qce15rKNwaX0pvH2mjfaX4x6tUGiEy66ZONUTBAOaBqlPxNNJCmDTJZMvNJB0LN1HEiUMzJAFvIbIETZsenky95VJ1zsy1IJjly38doC38l8cTcQ8TCMPffIC2Ai4J1QXTV9MxliDc8RnqKEOtOFsBBrwEkGUFuoqDONKs4dKskHaOYil3m3Q625NeBBBFTgVaV+qIYgPmxClc3BTcvKfTVQeRITk+shi0Fbq1WJjv0omc j7dkkV6nBYui/A7kHazhrDsknudl6LyGI2eXHKn640blNSn+9kTV3R70pdklyot0poBfA==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[bJQtvVmyf](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/7eLo1CSn31se7xNPMjBW0eiTKTo41a1>

