



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE
MÉXICO**

**INSTITUTO INTERAMERICANO DE TECNOLOGÍA
Y CIENCIAS DEL AGUA**



**“EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN EN LA
DISTRIBUCIÓN DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS
INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA EN ZONAS
TEMPLADAS DEL ESTADO DE MÉXICO”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
DOCTOR EN CIENCIAS DEL AGUA**

**PRESENTA:
M. EN C. A. VALENTIN MARIN ORTEGA**

**TUTORA ACADÉMICA
DRA. MARIVEL HERNÁNDEZ TÉLLEZ**

**TUTORES ADJUNTOS
DRA. PETRA SÁNCHEZ NAVA
DR. ALEJANDRO TONATIUH ROMERO CONTRERAS**

TOLUCA, MÉXICO; DICIEMBRE DE 2023.

INDICE

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	14
2. ANTECEDENTES	16
2.1 Calidad del agua	16
2.2 Físicoquímica de los sistemas acuáticos	16
2.3 Historia de la bioindicación y monitoreo	17
2.4 Bioindicadores de la calidad del agua	18
2.5 Ventajas y desventajas del uso de bioindicadores	18
2.6 Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua y los índices bióticos	20
2.7 La contaminación y sus efectos en las comunidades de macroinvertebrados acuáticos	26
3. JUSTIFICACIÓN CONTEXTUAL Y CIENTÍFICA	28
4. HIPÓTESIS	30
5. OBJETIVOS	31
5.1 General	31
5.2 Específicos	31
6. MATERIAL Y MÉTODO	32
6.1 Zona de estudio	32
6.2 Determinación de los sitios de muestreo	34
6.3 Caracterización físicoquímica del agua	34
6.4 Recolecta e identificación de macroinvertebrados acuáticos	35
6.5 Índices de calidad del agua para la cuenca Valle de Bravo-Amanalco	35
6.6 Análisis de datos	36
6.7 Uso de suelo en la cuenca Valle de Bravo-Amanalco	36
6.8 Gestión del agua en la cuenca Valle de Bravo Amanalco y sus efectos en las condiciones ambientales en los ríos Amanalco y Tizates	37
7.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
7.1 Selección de los sitios de muestreo	38
7.2 Recolecta e identificación de macroinvertebrados acuáticos	40
7.2.1 Estructura de la comunidad	40
7.2.2 Diversidad de familias de macroinvertebrados acuáticos encontradas en los ríos Tizates y Amanalco	41

7.3 Índice de Calidad del Agua (BMWP/Méx.) de los ríos Tizates y Amanalco en la cuenca Valle de Bravo-Amanalco.....	48
7.4 Los macroinvertebrados acuáticos y los índices biológicos de calidad del agua	52
7.5 Descripción de las familias de macroinvertebrados acuáticos de los ríos Amanalco y Tizates en la cuenca Valle de Bravo	54
7.6 Parámetros físicoquímicos	67
7.7 Análisis de datos	69
7.8 Cambio de uso de suelo en la cuenca Valle de Bravo-Amanalco (2000-2021)	70
7.9 Gestión del agua en la cuenca Valle de Bravo-Amanalco y sus efectos en las condiciones ambientales en los ríos Amanalco y Tizates	73
7.9.1 Entorno social.....	73
7.9.2 ¿Cuáles son las causas de las condiciones ambientales en los ríos Amanalco y Tizates?	74
8. CONCLUSIONES	83
9. APORTES Y ALCANCES	84
10. BIBLIOGRAFÍA.....	85
11. ANEXOS.....	95

INDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1: Aportes históricos en el desarrollo de la bioindicación (Modificada de Roldán, 2003).....	17
Tabla 2: Clasificación de las familias de macroinvertebrados para el BMWP/Méx. (Pineda <i>et al.</i> , 2014).....	22
Tabla 3: Rangos de calidad según el BMWP (Pineda <i>et al.</i> , 2014).....	23
Tabla 4: Valores de referencia de calidad del agua del índice ASPT (Información extraída de Cammaerts <i>et al.</i> , 2008).....	23
Tabla 5: Valores de referencia de calidad del agua del índice EPT (Carrera-Reyes y Fierro-Peralbo, 2001).....	24
Tabla 6: Valores de tolerancia de macroinvertebrados bentónicos utilizados en la determinación del índice Biótico de Familia (IBF). Adaptado de Hauer y Lamberti, 1996 (Figuroa <i>et al.</i> , 2003).....	25
Tabla 7: Clasificación de calidad del agua basada en el índice Biótico de Familia (IBF) según Hilsenhoff (1988) (Tomado de Cárdenas-Castro <i>et al.</i> , 2018).....	26
Tabla 8: Sitios de muestreo seleccionados dentro de los ríos Amanalco y Tizates en la cuenca Valle de Bravo-Amanalco.....	38
Tabla 9: Lista taxonómica de familias de macroinvertebrados acuáticos encontrados en los ríos Tizates y Amanalco de la cuenca Valle de Bravo-Amanalco.....	40
Tabla 10: Abundancia de organismos por familia encontrados en los sitios de muestreo del río Tizates (LG: sitio la Granja, PF: sitio puente Frontón, PO: sitio puente Otumba, LA: sitio Loto Azul).....	42
Tabla 11: Abundancia de organismos por familia encontrados en los sitios de muestreo del río Amanalco (PT: Planta Tratadora, PA: Puente Autopista, SM: San Mateo, HI: Humedal IMSS).....	46
Tabla 12: Índice BMWP/Méx. de los sitios muestreados en el río Tizates, con base en el nivel de tolerancia a la contaminación de las familias de macroinvertebrados acuáticos.....	50

Tabla 13: Índice BMWP/Méx. de los sitios muestreados en el río Amanalco, con base en el nivel de tolerancia a la contaminación de las familias de macroinvertebrados acuáticos.....	51
Tabla 14: Valores del índice ASPT de los sitios muestreados en los ríos Tizates y Amanalco.....	53
Tabla 15: Valores del índice %EPT de los sitios muestreados en los ríos Tizates y Amanalco.....	53
Tabla 16: Valores del índice IBF de los sitios muestreados en los ríos Tizates y Amanalco.....	54
Tabla 17: Valores obtenidos para los parámetros fisicoquímicos en los sitios de muestreo y su comparación con la NOM-001-SEMARNAT-2021.....	68
Tabla 18: Valores obtenidos para los parámetros fisicoquímicos con el kit Lamotte en los sitios de muestreo y su comparación con la NOM-001-SEMARNAT-2021.....	68
Tabla 19: Cambios en la superficie de uso de suelo dentro de la cuenca Valle de Bravo-Amanalco entre los años 2000 y 2021.....	72
Tabla 20: Lista de plantas de tratamiento de aguas residuales en la cuenca Valle de Bravo-Amanalco (Elaborado con base en información recabada por el CCMSS).....	75
Tabla 21: Lista de cárcamos de bombeo de aguas residuales en Valle de Bravo, México.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Localización geográfica de la cuenca Valle de Bravo-Amanalco.....	33
Figura 2: Distribución geográfica de los sitios de muestreo de los ríos Tizates y Amanalco de la Cuenca Valle de Bravo Amanalco (CVBA).....	39
Figura 3: Abundancia de las familias más representativas recolectadas en el río Tizates (LG: sitio la Granja, PF: sitio puente Frontón, PO: sitio puente Otumba, LA: sitio Loto Azul).....	43
Figura 4: Fotografía que muestra un ejemplar de la familia Chironomidae (Extraído de Torrejón y Vargas, 2022).....	44
Figura 5: Fotografía que muestra un ejemplar de la familia Baetidae (Extraído de Forero-Céspedes <i>et al.</i> , 2016).....	44
Figura 6: Fotografía que muestra un ejemplar de la familia Tipulidae (A: adulto, B: larva) (Extraído de Cazorla, 2017).....	45
Figura 7: Abundancia de las familias más representativas recolectadas en el río Amanalco (PT: Planta Tratadora, PA: Puente Autopista, SM: San Mateo, HI: Humedal IMSS).....	47
Figura 8: Dendograma que muestra la similitud entre los sitios de muestreo de los ríos Amanalco y Tizates.....	69
Figura 9: Análisis de Correspondencia Canónica que muestra la posible relación entre los parámetros fisicoquímicos y las familias de macroinvertebrados acuáticos encontradas en los ríos Tizates y Amanalco.....	70
Figura 10: Uso de suelo dentro de la cuenca Valle de Bravo-Amanalco para el año 2020.....	71
Figura 11: Uso de suelo dentro de la cuenca Valle de Bravo-Amanalco para el año 2021.....	72
Figura 12: Distribución de las plantas de tratamiento de aguas en la cuenca Valle de Bravo Amanalco (CVBA).....	76
Figura 13: Ubicación geográfica de los cárcamos de bombeo que alimentan a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Valle de Bravo.....	77

Figura 14: Infraestructura de recolección y bombeo de aguas residuales: a) Colector residual de Tres Puentes y b) Cárcamo de Bombeo No. 1 de CONAGUA.....	77
Figura 15: Condiciones actuales de la red de drenaje municipal de Valle de Bravo a lo largo del cauce del río Tizates.....	78
Figura 16: Ubicación geográfica de las descargas de aguas residuales directamente al río Tizates.....	79
Figura 17: Actividades que favorecen la contaminación de las aguas del río Tizates en Valle de Bravo, México: a) mala disposición de residuos sólidos y b) descargas de drenaje clandestinas hacia el río Tizates.....	79
Figura 18: Distribución de las talacheras en la Cuenca Valle de Bravo-Amanalco.....	80
Figura 19: Distribución de talleres mecánicos en la Cuenca Valle de Bravo-Amanalco.....	81
Figura 20: Distribución de las gasolineras en la Cuenca Valle de Bravo-Amanalco.....	82
Figura 21: Distribución de gaseras en la Cuenca Valle de Bravo-Amanalco.....	82

ABREVIATURAS

- $\mu\text{S/cm}$: Unidades de conductividad eléctrica (Microsiemens por centímetro)
- ASPT: Average Score Per Taxon (Puntaje promedio por taxón)
- BMWP/Méx.: Biologicas Monitoring Working Party México
- BMWP: Índice Biological Monitoring Working Party
- Cu: Cobre
- CVBA: Cuenca Valle de Bravo Amanalco
- DDT: Dicloro Difenil Tricloroetano
- EPT: Ephemeroptera Plecoptera y Trichoptera
- GWW: Global Water Watch
- IBF: índice Biótico de familia
- IMSS: Instituto Mexicano del Seguro Social
- JTU: Unidades de Turbidez de Jackson
- mg/L: miligramos por litro
- Pb: Plomo
- PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
- RAFA: Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente
- TESVB: Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo
- Zn: Zinc

RESUMEN

La situación actual de los recursos hídricos ha llevado al desarrollo y aplicación de diversas metodologías enfocadas en estudios de la calidad del agua. Una de las metodologías más usadas en los últimos años, es el uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua basada en la interpretación de la información mediante índices bióticos. Existen varios índices bióticos utilizados en el Biomonitorio de la calidad del agua, entre los más comunes se encuentran el índice ASPT (Puntaje Promedio por Taxón), EPT (Ephemeroptera Plecoptera y Trichoptera), IBF (Índice Biótico de Familia) y el BMWP/Méx. (Biological Monitoring Working Party modificado para México). Por lo anterior, la presente investigación busca determinar los efectos de la contaminación en las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en los ríos Amanalco y Tizates de la cuenca Valle de Bravo-Amanalco mediante la aplicación de índices bióticos, para estimar las consecuencias de las actividades socioeconómicas hídricas, el cambio de uso de suelo y la gestión del agua al interior de la cuenca. Se realizaron cuatro muestreos, durante los meses de mayo, julio, septiembre y noviembre de 2021 para el río Amanalco y durante marzo, mayo, agosto y octubre de 2021 para el río Tizates. Durante los muestreos se recolectaron se recolectaron macroinvertebrados acuáticos, los cuales fueron determinados taxonómicamente a nivel de familia, que es el nivel mínimo para determinar calidad del agua. A la par de los muestreos, se determinaron los parámetros fisicoquímicos pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad, turbidez, nitratos, fosfatos, alcalinidad y dureza, con ayuda de un medidor multiparamétrico y el kit de laboratorio Lamotte. Una vez identificados los organismos, se procedió a clasificarlos, de acuerdo a los índices ASPT, EPT, IBF y BMWP/Méx. Adicionalmente, y con ayuda del programa PAST, se realizó un análisis de correspondencia canónica para identificar los parámetros fisicoquímicos hacia los cuales los macroinvertebrados acuáticos son más afines y un dendograma que muestra la similitud entre los sitios de muestreo. También se realizó un cambio de uso de suelo como herramienta para conocer el cambio y los efectos que generan las actividades antrópicas, así como un análisis de la gestión del agua al interior de la cuenca mediante la aplicación de cuestionarios a informantes clave y avistamientos en campo. Como resultados, se encontró que el río Tizates es el más contaminado en comparación con el río Amanalco. El sitio más contaminado es el sitio La Granja (LG) y

el sitio con mejor calidad es el sitio Loto Azul (LA). Lo anterior, de acuerdo a las puntuaciones arrojadas por los índices bióticos. En cuanto a los macroinvertebrados acuáticos, la familia más abundante fue la familia Chironomidae, seguida de Baetidae y organismos de la clase Turbellaria. Con relación a los parámetros fisicoquímicos, ambos ríos se encuentran en óptimas condiciones, sin embargo, los análisis bacteriológicos podrían arrojar resultados diferentes debido a las descargas domésticas que se integran a los ríos. Estadísticamente, los sitios de muestreo son similares entre sí, de acuerdo al índice de similitud de Jaccard. El cambio de uso de suelo mostró que el mayor aumento se dio en el área urbana, lo que implica pérdida de bosques y otras coberturas que de alguna u otra manera afectan directa o indirectamente a las comunidades de macroinvertebrados acuáticos. Respecto a la gestión del agua dentro de la cuenca, se detectó que existe mala gestión del agua y las causas de la mala gestión, se debe principalmente a la falta de integridad tanto en la gobernanza como en la gobernabilidad del agua. Finalmente, se concluye que el uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores, son una herramienta económica y rápida para determinar calidad del agua. En el caso de las familias recolectadas y con base en el análisis de correspondencia canónica se encontró que las familias Lampyridae, Calamoceratidae, Polycentropodidae y Tipilidae son influenciadas por el oxígeno disuelto, mientras que Armadilliidae, Gyrinidae, Dytiscidae y Belostomatidae se distribuyen de acuerdo a la temperatura.

1. INTRODUCCIÓN

La conservación de un ecosistema acuático es prioritaria por su gran importancia ecológica. Por un lado, alberga riqueza y diversidad de especies; es un sitio que presenta diferentes fenómenos biológicos, así como la presencia de especies que pueden ser endémicas, raras o amenazadas, ya que necesitan hábitats, que, por sus características, son únicos; por otro lado, socioeconómicamente, los ecosistemas acuáticos también son importantes por los bienes y servicios ambientales que proporcionan directamente de la extracción y uso de sus recursos.

Hasta ahora, la contaminación de los recursos hídricos, es considerada un grave problema, presente, aunque en diferentes proporciones, en la mayoría de los cuerpos de agua en México. Debido a lo anterior, existen cuerpos de agua clasificados como fuertemente contaminados, estos ecosistemas generalmente tenían la capacidad de degradar los contaminantes y mantener un equilibrio ecológico. Desafortunadamente, el uso del agua para las diferentes actividades ha propiciado que este equilibrio ecológico se pierda y con ello ejerciendo un alto impacto negativo en todos los elementos que conforman estos ecosistemas, principalmente flora y fauna, ya que tiene implicaciones directas en la distribución, riqueza y abundancia de las comunidades de organismos.

Además, el incremento en las actividades socioeconómicas dentro de la cuenca y el cambio de uso de suelo de los últimos años, está generando una presión importante en los sistemas acuáticos. Una de las actividades que utiliza grandes cantidades de agua para llevarse a cabo es la agricultura, dependiendo del tipo de cultivo, será la cantidad de agua que se necesite. Para las prácticas agrícolas, aunado a la gran cantidad de agua requerida, la actividad implica la contaminación de fuentes de agua tanto cercanas a los cultivos como las corrientes subterráneas por las filtraciones. Esta contaminación se debe principalmente a la práctica de actividades que implican el uso de productos químicos como insecticidas, fungicidas, acaricidas y herbicidas, que se utilizan para lograr un cultivo productivo.

Derivado de lo anterior, se sabe que las condiciones ambientales de los ecosistemas acuáticos afectan directa o indirectamente a los organismos que albergan, es por ello que, en México, los estudios de calidad del agua, además de basarse en información fisicoquímica y bacteriológica, se inició con la implementación de bioindicadores, entre

los que destacan los macroinvertebrados acuáticos. Los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores, muestran información que permiten relacionarlos con las condiciones ambientales que han prevalecido en un ecosistema durante un periodo determinado, a diferencia de los índices basados en parámetros fisicoquímicos, que solo muestran las condiciones ambientales puntuales del sitio.

Para la determinación de calidad del agua aplicando índices basados en macroinvertebrados acuáticos, se han desarrollado índices bióticos, tales como el índice BMWP/Méx. (Biological Monitoring Working Party), el ASPT (Average Score per Taxon), el IBF (Índice Biótico de Familia) y el EPT (Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera); y que muestran el nivel de contaminación de los cuerpos de agua y los posibles efectos en las comunidades de macroinvertebrados que ahí habitan.

Por todo lo anterior, y mediante la aplicación de índices bióticos, el presente trabajo busca realizar un estudio de la calidad del agua en los ríos Amanalco y Tizates de la Cuenca Valle de Bravo Amanalco (CVBA) para conocer los efectos de la contaminación en las poblaciones de macroinvertebrados acuáticos y su relación con otros factores como los parámetros fisicoquímicos, las actividades socioeconómicas hídricas y el cambio de uso de suelo con la finalidad de conocer las condiciones ambientales de los cuerpos de agua, y así generar propuestas de conservación.

2. ANTECEDENTES

2.1 Calidad del agua

El agua desempeña un papel fundamental en el desarrollo de las civilizaciones. La sociedad se beneficia de los servicios ambientales del agua que proviene de acuíferos, lagos, ríos o costas por lo que sus actividades influyen directa o indirectamente sobre ellos y su biota acuática (Brown, 2003).

Las principales actividades que producen presiones e impactos a los ecosistemas acuáticos son la presencia de embalses, derivaciones, vertidos, trasvases, cambios de uso de suelo y procesos de urbanización, incendios, plantaciones, entre otros (Ollero, 2011)

Uno de los enfoques más recientes en la gestión de los recursos hídricos es el concepto de *calidad ambiental*, que es el grado de perturbación y potencial de conservación o restauración de un ecosistema sometido a presiones humanas. Por lo tanto, desde un punto de vista integral definir la *calidad del agua* es ir más allá de sus atributos fisicoquímicos o biológicos; implica tomar en cuenta el contexto ecológico, así como los usos y valores que la sociedad le otorga. Una visión moderna maneja de hecho estos elementos como inseparables (Hart *et al.*, 1999; Aguilar-Ibarra, 2005; Nugra-Salazar, *et al.*, 2016).

En términos generales, desde el punto de vista funcional, se define calidad del agua como la capacidad intrínseca que tiene el agua para responder a los usos que se podrían obtener de ella; pero desde el punto de vista ambiental, se define como las condiciones que deben darse en el agua para que ésta mantenga un ecosistema equilibrado y para que cumpla con determinados objetivos de calidad ecológica (Secretaría de Estado de Aguas y Costas, 2000).

2.2 Físicoquímica de los sistemas acuáticos

En los estudios de calidad del agua, los parámetros físico-químicos permiten obtener una información extensa de la naturaleza de las especies químicas del agua y sus propiedades físicas, sin aportar información de su influencia en la vida acuática; en el caso de los métodos biológicos, aportan esta información, pero no señalan nada acerca del contaminante o los contaminantes responsables, por lo que varios investigadores recomiendan que para obtener una evaluación integral será necesario emplear

conjuntamente análisis fisicoquímicos en la evaluación de calidad del agua (Osorio-Montor, 2018; Saldaña *et al.*, 2001).

Entre los parámetros fisicoquímicos más comúnmente evaluados se encuentran: Potencial de Hidrógeno (pH), temperatura (T), Concentración de oxígeno disuelto (OD), Conductividad eléctrica (σ), fósforo total (PT), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Nitrógeno en forma de nitratos (N-NO³⁻), Sulfatos (SO₄²⁻) y Alcalinidad (Alc), entre otros.

2.3 Historia de la bioindicación y monitoreo

A lo largo de la historia, la bioindicación ha sido una constante que se ha evidenciado en todas las etapas de la cultura humana; la cual ha recurrido a la utilización de elementos del ambiente como indicadores de la existencia de recursos vitales para la supervivencia o de intentar conocer y definir las causas de los cambios que ocurren en el ambiente, en buena medida, producto de las actividades humanas (Guillot, 1997).

En el año 2003, Roldán realiza una recopilación de aspectos históricos del desarrollo de la bioindicación en el mundo y su uso en los sistemas acuáticos (Tabla 1).

Tabla 1: Aportes históricos en el desarrollo de la bioindicación (Modificada de Roldán, 2003).

AUTOR	AÑO	APORTE
Kolenati	1848	Encontró relaciones entre ciertas especies y el grado de calidad del agua.
Cohn	1853	Reafirmó lo establecido por Kolenati.
Mez	1898	Utilizó microorganismos para establecer relaciones entre la presencia de estos con la calidad del agua.
Kolkwitz y Marsson	1908, 1909	Sentaron las bases para el sistema saprobio.
Patrick	1949, 1950	Propuso métodos biológicos para evaluar las condiciones ecológicas de las corrientes.
Karr	1991	Introdujo el concepto de Índice de Integridad Biótica IBI.
Barbour y colaboradores	1995	Presentan 63 tipos de mediciones para la evaluación rápida de los ecosistemas acuáticos. Entre ellos, el índice biótico BMWP.
Alba-Tercedor	1996	Adoptó la utilización de los macroinvertebrados acuáticos en los programas de evaluación de la

		calidad del agua en España, utilizó el índice BMWP' adaptado para la península Ibérica.
Jacobsen	1998	Discutió el efecto de la contaminación orgánica sobre la fauna de macroinvertebrados en las planicies ecuatorianas.
Stubauer y Moog	2000	Discutieron las experiencias de monitoreo de la calidad de las aguas en Austria.

2.4 Bioindicadores de la calidad del agua

Entre los métodos más comunes que se están utilizando actualmente para conocer la calidad de las aguas, se encuentra el biomonitoreo o monitoreo biológico, que es el conjunto de técnicas basadas en la reacción y sensibilidad comunidades biológicas como bioindicadores. (Viteri-Garcés *et al.*, 2017; Leño y Pérez, 2020). Se les llama bioindicadores o indicadores biológicos a los organismos que por su sensibilidad o tolerancia (normalmente es la sensibilidad) a varios parámetros (Vázquez-Silva *et al.*, 2006) muestran cambios como consecuencia de las alteraciones en un ecosistema, los cuales muestran atributos biológicos como presencia-ausencia, abundancia y dominancia, entre otros, y que se pueden traducir como una medida de la salud de los ecosistemas (Temis García, 2021).

Además, los bioindicadores aportan una percepción integrada y extendida en el tiempo sobre la calidad del agua, la facilidad de usar estos organismos, en comparación con los análisis químicos y su capacidad para acumular información que los análisis fisicoquímicos no revelan (Viteri-Garcés *et al.*, 2017).

Entre los organismos más utilizados como bioindicadores de los sistemas acuáticos se encuentran las algas y plantas acuáticas, zooplancton, bacterias, peces y los macroinvertebrados acuáticos, siendo este grupo, el más utilizado en el biomonitoreo (Velázquez y Vega, 2004; Vázquez-Silva *et al.*, 2006; Ayala-Ramírez *et al.*, 2019).

2.5 Ventajas y desventajas del uso de bioindicadores

El uso de bioindicadores representa ventajas sobre los métodos fisicoquímicos para monitorear la calidad ecológica de los ecosistemas acuáticos, esto permite implementar acciones sobre la recuperación de éstos. Una de las ventajas más evidentes es que las

evaluaciones ambientales por bioindicadores son mucho más baratas de implementar, ya que no se necesitan equipos costosos que requieran de un largo tiempo de entrenamiento para usarlos, como el requerido para los análisis fisicoquímicos (Cairns y Dickson, 1971; González-Zuarth *et al.*, 2014).

Los bioindicadores añaden un componente temporal que es acotado por la duración de su ciclo de vida o el tiempo durante el cual permanecen en la localidad de estudio, permitiendo la integración de las condiciones (físicas, químicas, biológicas y ecológicas) pasadas, presentes o actuales de los ecosistemas (Cairns y Dickson, 1971), mientras las pruebas fisicoquímicas solo caracterizan las condiciones en el momento del muestreo (González-Zuarth *et al.*, 2014).

Además de lo anterior, la colecta y registro de información biológica puede realizarse por personas ajenas a la biología, ya que existen manuales que señalan métodos establecidos; la información resultante puede expresarse por medio de Índices Bióticos que expresan la calidad del agua mediante escalas numéricas (Cairns y Dickson, 1971).

Otras ventajas importantes del uso de bioindicadores son: la posibilidad de establecer los efectos aditivos, sinérgicos y antagónicos de los contaminantes sobre los organismos; los bioindicadores pueden advertir del efecto de ciertos estresores ambientales como las especies invasoras, la fragmentación del hábitat, la sobreexplotación de los recursos o el impacto del turismo sobre el ambiente, que son difíciles de evaluar por otros métodos (González-Zuarth *et al.*, 2014).

No obstante, las ventajas del uso de bioindicadores, se tienen inconvenientes o desventajas que pudieran cuestionar su aplicación, entre las desventajas más comunes se encuentran, se destaca la falta de protocolos específicos a seguir durante los muestreos biológicos (Viteri-Garcés *et al.*, 2017), el ajuste de índices bióticos para distintas regiones, el muestreo implica mayor tiempo, la información de cada bioindicador es cualitativa y para la identificación taxonómica se requiere experiencia. Además, para obtener una evaluación integral, sería necesario realizar conjuntamente análisis fisicoquímicos o pruebas de toxicidad (Saldaña *et al.*, 2001).

2.6 Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua y los índices bióticos

Dentro de los bioindicadores más utilizados en la evaluación de los ecosistemas fluviales del mundo, se encuentran los macroinvertebrados acuáticos, los cuales, reúnen varias de las cualidades esperadas de un indicador (Ayala-Ramírez *et al.*, 2019). De acuerdo con Roldán (2016), se consideran macroinvertebrados acuáticos a todos aquellos organismos que habitan los lagos y ríos, los cuales, se les puede observar a simple vista, ya que presentan un tamaño que oscila entre los 0.5 mm y los 5.0 mm. Este grupo está conformado por platelmintos, moluscos crustáceos, ácaros, lombrices y sanguijuelas y fundamentalmente los estados juveniles de varios ordenes de insectos (Leaño y Pérez, 2020).

El uso constante de macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua se debe a que su uso presenta varias ventajas, entre las que destacan: se encuentran en todos los ecosistemas acuáticos, por lo que se pueden aplicar estudios comparativos; son de naturaleza sedentaria, lo que permite analizar los efectos de las perturbaciones; los muestreos cuantitativos y análisis de las muestras se pueden realizar con equipos simples; la taxonomía de algunos grupos es ampliamente conocida y además, existen numerosos métodos para el análisis de datos, como los índices biológicos (índices bióticos y de diversidad) (Vázquez-Silva *et al.*, 2006).

En el caso de los índices biológicos, son herramientas que se utilizan para dar a conocer la calidad biológica de los cuerpos de agua (Mora-Campos y Tomay-Heras, 2022). Se han utilizado desde principios de siglo con distintas finalidades. En Inglaterra y América se han establecido dos tendencias en el desarrollo de estos índices: los índices de diversidad y los índices bióticos (González del Tanago, y García-Jalón, 1984).

En el caso de los índices bióticos, expresan la presencia y abundancia de ciertas especies denominadas especies indicadoras de la calidad del agua según su tolerancia a la contaminación o mediante el análisis de la estructura de la comunidad en términos de su diversidad (González del Tanago, y García-Jalón, 1984).

Entre los índices bióticos más comunes se encuentran el BMWP (ANEXO 1a y 1b) y sus modificaciones para España (BMWP') (ANEXO 2a y 2b) y otros países, el índice ASPT, IBF y EPT, los cuales se definen a continuación:

Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP) y su modificación para México (BMWP/Méx.)

El índice BMWP es un método de análisis biológicos de la calidad del agua, que se aplica mediante la identificación de organismos a nivel taxonómico de familia (Alonso-Duré, 2018). Este método se desarrolló en Gran Bretaña en 1970, el Índice Biótico BMWP se estableció como un método sencillo y rápido para la evaluación de la calidad del agua utilizando los macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos. (Ariza, 2016).

El índice BMWP puntúa de 1 a 10 el grado de resiliencia de los macroinvertebrados acuáticos por familia, asignando a los organismos con más sensibilidad a la contaminación orgánica valores elevados y valores menores para los organismos con mayor tolerancia a la contaminación, basándose únicamente en la presencia o ausencia de los macroinvertebrados (Baptista *et al.*, 2007).

Se calcula sumando únicamente los valores de los registros asignados a cada familia de macroinvertebrados, donde las familias poco tolerantes a la contaminación tienen registros con valores altos y las familias tolerantes tienen registros con valores bajos. El resultado del índice corresponde a una puntuación que va a indicar el nivel de contaminación de los cuerpos de agua.

Después del éxito de la aplicación del índice BMWP en varios países del mundo, se realizó una adaptación para México (BMWP/Méx.), la cual se encuentra publicada en el PROTOCOLO DE MUESTREO DE MACROINVERTEBRADOS EN AGUAS CONTINENTALES PARA LA APLICACIÓN DE LA NORMA DE CAUDAL ECOLÓGICO (DOF, 2012). VERSIÓN 1.0. AGOSTO 2014. En esta modificación, el nivel de tolerancia a la contaminación de los grupos de macroinvertebrados acuáticos va de 1 a 9 (Tabla 2) y propone una tabla de interpretación de los rangos de calidad del agua (Tabla 3).

Tabla 2: Clasificación de las familias de macroinvertebrados para el BMWP/Méx. (Pineda *et al.*, 2014).

FAMILIAS	PUNTUACIÓN
O: Polythoridae D: Blephariceridae; Athericidae E: Heptageniidae P: Perlidae	9
T: Lepidosmatidae; Odontoceridae; Hydrobiosidae; Ecnomidae E: Leptophlebiidae O: Cordulegastridae; Corduliidae; Aeshnidae; Perilestidae T: Limnephilidae; Calamoceratidae; Leptoceridae; Glossosomatidae	8
C: Ptilodactylidae; Psephenidae; Lutrochidae O: Gomphidae; Lestidae; Megapodagrionidae T: Philopotamidae Cr: Gammaridae	7
O: Libellulidae M: Corydalidae T: Hydroptilidae; Polycentropodidae; Xiphocentronidae E: Isonychidae	6
L: Pyralidae T: Hydropsychidae; Helicopsychidae C: Dryopidae; Hydraenidae; Elmidae; Limnichidae E: Leptohiphidae; Oligoneuriidae; Polymitarcyidae; Baetidae Cr: Crustacea Tr: Turbellaria	5
C: Chrysomelidae; Curculionidae; Haliplidae; Lampyridae; Staphylinidae; Dytiscidae; Gyrinidae; Scirtidae; Noteridae D: Dixidae; Simuliidae; Tipulidae; Dolichopodidae; Empididae; Muscidae; Sciomyzidae; Ceratopogonidae; Stratiomyidae; Tabanidae H: Belostomatidae; Corixidae; Naucoridae; Pleidae; Nepidae; Notonectidae O: Calopterygidae; Coenagrionidae E: Caenidae; Hi: Hidracarina	4
C: Hydrophilidae D: Psychodidae Mo: Valvatidae; Hydrobiidae; Lymnaeidae; Physidae; Planorbidae; Bithyniidae; Sphaeriidae A: Glossiphoniidae; Hirudidae; Erpobdellidae Cr: Asellidae	3
D: Chironomidae; Culicidae; Ephydriidae	2
D: Syrphidae A: Oligochaeta	1

Tabla 3: Rangos de calidad según el BMWP (Pineda *et al.*, 2014).

NIVEL DE CALIDAD	BMWP	COLOR
Aguas de calidad excelente.	>120	Azul
Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible.	101-120	Azul
Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada.	61-100	Verde
Aguas de calidad mala, contaminadas.	36-60	Amarillo
Aguas de calidad mala, muy contaminadas.	16-35	Naranja
Aguas de calidad muy mala, extremadamente contaminadas.	<15	Rojo

Índice Average Score Per Taxon (ASPT)

El índice ASPT (Puntaje Promedio Por Taxón) es aquel que se obtiene dividiendo el valor del índice BMWP entre el número total de familias identificadas. Los valores elevados de este índice son indicadores de buena calidad, constituidos por un número relativamente grande de taxa (Armitage *et al.*, 1983).

Los valores del índice ASPT, se interpretan con ayuda la de tabla 4, que se muestra a continuación.

Tabla 4: Valores de referencia de calidad del agua del índice ASPT (Información extraída de Cammaerts *et al.*, 2008).

ASPT	Clase de Calidad	Significado en términos de polución
≥ 6	Muy limpia	Agua muy limpia (de calidad no alterada)
5.40 - 5.99	Buena	Agua no contaminada o de manera no perceptible
4.90 - 5.39	Aceptable	Agua con algún grado de contaminación
4.00 - 4.89	Dudosa	Agua contaminada
3.00 - 3.99	Crítica	Agua muy contaminada
1.00 - 2.99	Muy Crítica	Agua fuertemente contaminada

Índice Ephemeroptera Plecoptera y Trichoptera (EPT)

El índice EPT se refiere definido como la suma de todos los individuos pertenecientes a los órdenes Ephemeroptera Plecoptera y Trichoptera, dividido por el número total de individuos recolectados (Peña *et al.*, 2019). Tomando en cuenta que estos tres órdenes son

sensibles a la contaminación, entonces, los valores más altos significan de manera general aguas más limpias o de mejor calidad (Ayala-Ramírez *et al.*, 2019), de acuerdo con los valores de referencia de la tabla 5.

Tabla 5: Valores de referencia de calidad del agua del índice EPT (Carrera-Reyes y Fierro-Peralbo, 2001)

ÍNDICE %EPT (Klemm <i>et al.</i> , 1990)	CALIDAD DEL AGUA
>75	Muy buena
50-74	Buena
25-49	Regular

Índice Biótico de Familia (IBF)

El índice Biótico de Familia proporciona un promedio de valores de tolerancia para todas las familias dentro de una muestra y que permite calificar la calidad del agua (Galindo-Pérez *et al.*, 2017).

El IBF fue desarrollado por Hilsenhoff en 1988. Este índice proporciona un puntaje a los grupos taxonómicos respecto a su tolerancia o sensibilidad a la contaminación (Tabla 6). Se obtiene multiplicando la cantidad de individuos recolectados por el valor de tolerancia del taxón y se divide entre el total de individuos recolectados, tal y como y se expresa en la siguiente fórmula (Cárdenas-Castro *et al.*, 2018 y Ayala-Ramírez *et al.*, 2019).

$$IBF = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i * T_i)}{\sum_{i=1}^n n_i}$$

Donde X_i : es el número de individuos de cada familia; T_i : es el valor de tolerancia de cada familia y n_i : es el número total de organismos.

De acuerdo a la clasificación de la calidad del agua basada en este índice, se enumeran siete categorías de calidad del agua, siendo la clase I aguas de calidad excelente, mientras que la clase VII, son aguas de calidad muy mala (Cárdenas-Castro *et al.*, 2018).

Tabla 6: Valores de tolerancia de macroinvertebrados bentónicos utilizados en la determinación del índice Biótico de Familia (IBF). Adaptado de Hauer y Lamberti, 1996 (Figueroa *et al*, 2003).

ORDEN	FAMILIA	TOLERANCIA	ORDEN	FAMILIA	TOLERANCIA	
Plecoptera	Gripopterygiidae	1	Megaloptera	Corydalidae	0	
	Notonemouridae	0		Sialidae	4	
	Perlidae	1	Lepidoptera	Pyralidae	5	
	Diamphipnoidae	0				
	Eustheniidae	0	Platyhelminthes	Turbellaria	4	
	Austroperlidae	1				
Ephemeroptera	Baetidae	4	Acari	*	4	
	Caenidae	7	Decapoda	*	6	
	Leptophlebiidae	2				
	Siphonuridae	7	Coleoptera	Elmidae	4	
	Oligoneuridae	2		Psephenidae	4	
	Ameletopsidae	2		Athericidae	2	
	Coloburiscidae	3		Blephariceridae	0	
	Oniscigastridae	3		Ceratopogonidae	6	
Odonata	Aeshnidae	3		Diptera	Chironomidae	7
	Calopterygidae	5	Empididae		6	
	Gomphidae	1	Ephydriidae		6	
	Lestidae	9	Psychodidae		10	
	Libellulidae	9	Simuliidae		6	
	Coenagrionidae	9	Tipulidae		3	
	Cordulidae	5	Amphipoda		Gammaridae	4
	Petaluridae	5			Hyalellidae	8
	Trichoptera	Calamoceratidae	3	Mollusca	Amnicolidae	6
Glossosomatidae		0	Lymnaeidae		6	
Helicopsychidae		3	Physidae		8	
Hydropsychidae		4	Sphaeridae		8	
Hydroptilidae		4	Chilinae		6	
Leptoceridae		4	Oligochaeta		*	8
Limnephilidae		2		Hirudinea	*	10
Ecnomidae		3				
Helicophidae		6				
Polycentropodidae		3				
Philopotamidae		2				
Hydrobiosidae		0				
Sericostomatidae		3				

Tabla 7: Clasificación de calidad del agua basada en el índice Biótico de Familia (IBF) según Hilsenhoff (1988) (Tomado de Cárdenas-Castro *et al.*, 2018).

CLASE	IBF	CALIDAD DEL AGUA	GRADO DE CONTAMINACIÓN ORGÁNICA
I	0.00 - 3.75	Excelente	Agua limpia. Contaminación orgánica baja probable
II	3.76 - 4.25	Muy bueno	Con leve contaminación orgánica
III	4.26 - 5.00	Bueno	Con algo de contaminación orgánica
IV	5.01 - 5.75	Regular	Contaminación orgánica presente
V	5.76 - 6.50	Relativamente malo	Alta contaminación orgánica
VI	6.51 - 7.25	Malo	Fuerte contaminación orgánica
VII	7.26 - 10.00	Muy malo	Contaminación orgánica severa

2.7 La contaminación y sus efectos en las comunidades de macroinvertebrados acuáticos

. La contaminación de las aguas superficiales es uno de los grandes problemas ambientales del mundo (Alonso-Duré, 2018). La mayoría de los cuerpos de agua en México presentan algún grado de contaminación por diferentes sustancias, hecho que ha llevado a que los efectos de la contaminación en ríos de zonas templadas hayan sido descritos de manera extensa desde hace varias décadas (Arroyo y Encalada, 2009).

Entre las fuentes más importantes de perturbación y contaminación en un ecosistema acuático ocasionados por la actividad antropogénica se encuentran la deforestación y los residuos sólidos y líquidos domésticos, industriales, agrícolas y mineros (Roldán, 2012).

Por otra parte, Roldán (2012), define a la *Ecotoxicología* como una rama de la ecología acuática que ayuda a determinar mediante los *bioensayos*, los valores mínimos que pueden ser letales para los organismos y menciona algunos efectos que pueden ocasionar ciertas sustancias denominadas como tóxicas:

- Algunas sustancias, por su naturaleza, pueden causar la muerte instantánea de los organismos.
- Sustancias como el DDT (Dicloro Difenil Tricloroetano) y/o plomo (Pb) se pueden acumular en organismos como los peces. Este último es vertido a los ecosistemas acuáticos por las fábricas de baterías y materiales eléctricos.

- Compuestos como los metales pesados pueden causar muertes masivas de organismos (mercurio en la minería).
- También se pueden encontrar en el agua zinc (Zn) y cobre (Cu) que provienen de los pesticidas utilizados en la agricultura; así como las amidas, carbamatos o fenoles que también son utilizados en la agricultura.
- Además, existen los detergentes, que son sustancias tensoactivas que desoxigenan el agua e incorporan exceso de fosfatos que ayudan a la eutrofización.

Retomando lo que menciona Roldán (2012) acerca de la bioacumulación, Gómez *et al.* (2020) la define como la capacidad que tienen muchos organismos para acumular sustancias contaminantes en su cuerpo, los cuales, si son ingeridos por otro organismo que a su vez acumula el contaminante, da lugar al proceso conocido como *transferencia del poluente en la cadena trófica*.

Derivado de la importancia de conocer los efectos en los grupos de macroinvertebrados acuáticos de las sustancias tóxicas, se han realizado estudios en diversos países con el fin de preservar los ecosistemas acuáticos.

Quezada-Alvarado *et al.* (2020), al realizar un análisis sobre la variación estacional y características fisicoquímicas e hidrológicas que influyen en los macroinvertebrados acuáticos en un río de Costa Rica, encontrando una mayor abundancia en la estación seca, mientras que, en la transición de la estación seca a lluviosa, encontraron la menor abundancia; así también, concluyeron que las altas concentraciones de nitratos, constituye una baja en organismos de los órdenes Plecoptera y Ephemeroptera, organismos considerados de los más sensibles.

En el caso de Latinoamérica, en Boyacá, Colombia, Rocha *et al.* (2015) en su estudio en la quebrada La Colorada, existen cambios en la estructura de comunidades de macroinvertebrados entre zonas restauradas y no restauradas, las cuales pudieran estar relacionados con las diferentes formas disponibles de nitrógeno, además de los aportes de fosfatos por la presencia de ceniza en el agua producto de los incendios forestales del año 2010.

3. JUSTIFICACIÓN CONTEXTUAL Y CIENTÍFICA

La situación actual de los recursos naturales (agua, suelo, flora, fauna) ha llevado al desarrollo de investigaciones que se centran principalmente en conocer la situación en que se encuentran, para que sea punto de partida en la creación de programas de conservación, gestión y manejo. Una forma de conocer las condiciones ambientales de los ríos es mediante el monitoreo constante, utilizando macroinvertebrados acuáticos.

La cuenca Valle de Bravo-Amanalco representa una zona importante de captación de agua por la considerable cantidad de ríos que posee, el más importante de ellos es el río Amanalco, ya que conjunta varios efluentes desde su nacimiento hasta la cuenca baja, aportando aproximadamente el 40% del agua que llega a la presa Miguel Alemán en Valle de Bravo, de ahí la importancia de conocer las condiciones en las que se encuentra y las afectaciones que provocan los plaguicidas, no solo para la población humana, sino también para otras poblaciones de organismos.

Un método para conocer más a fondo la problemática de la contaminación en los ríos es mediante la aplicación de índices bióticos tales como el IBH (Hilsenhoff, 1977), ASPT, EPT y el BMWP (Hellowell, 1978), este último con gran aplicación en países como Inglaterra, España, Costa Rica, Colombia, México y otros países del mundo, en los cuales, se ha utilizado para conocer la calidad del agua de los ríos utilizando las macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores.

Por lo anterior, se busca conocer los efectos de la contaminación del agua en macroinvertebrados acuáticos de la cuenca Valle de Bravo-Amanalco (ríos Amanalco y Tizates) mediante la clasificación del índice BMWP/Méx. y su comparación con los índices ASPT, IBM y EPT, analizando los factores que ejercen presión directa en los cuerpos de agua como las diferentes actividades socioeconómicas que se practican dentro de la cuenca, el cambio de uso de suelo y la gestión del agua en las comunidades que integran la cuenca. De esta manera, se podrían establecer los hábitats específicos de cada familia de macroinvertebrados acuáticos, haciendo un análisis comparativo entre lo encontrado en los diferentes sitios, además de reconocer los contaminantes aportados por las diferentes actividades de la zona, así como de la gestión del agua superficial de la zona.

Además, se proponer la elaboración de un índice específico para los cuerpos de agua de la cuenca Valle de Bravo-Amanalco en el Estado de México basado en el índice BMWP/Méx. y que pueda ser punto de partida para desarrollar índices específicos para los ríos de México. Lo anterior, estableciendo los niveles de tolerancia a la contaminación de las diversas familias de macroinvertebrados acuáticos de las zonas de estudio; así como de una metodología estandarizada para el monitoreo de ríos de poca profundidad que pueda ser aplicada en zonas templadas de México.

4. HIPÓTESIS

Si las familias de macroinvertebrados acuáticos, indicadores de la calidad del agua, resultan afectadas por las condiciones físicas y químicas y la presión que ejercen las actividades antropogénicas hídricas de los cuerpos de agua donde estos habitan, entonces la diversidad de familias será diferente de acuerdo a los niveles de contaminación que presentan determinados cuerpos de agua, así como su nivel de tolerancia, lo cual se verá reflejado en la riqueza, abundancia y en la bioacumulación de nutrientes. Lo anterior, influenciado directa o indirectamente la agricultura asociada al mercado (floricultura, aguacate) y el cambio de uso de suelo (urbanización).

5. OBJETIVOS

5.1 General

- Analizar la contaminación de los ríos Amanalco y Tizates. Así como sus efectos en las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en la cuenca Valle de Bravo-Amanalco, para estimar las consecuencias de las actividades socioeconómicas hídricas, el cambio de uso de suelo y la gestión del agua al interior de la cuenca en los recursos hídricos.

5.2 Específicos

1. Identificar los efectos de la contaminación en la distribución de familias de macroinvertebrados acuáticos presentes en la cuenca Valle de Bravo-Amanalco en el Estado de México, a partir de la aplicación de índices bióticos (ASPT, IBF, EPT y BMWP/Méx.), para poder explicar su presencia en los cuerpos de agua con determinadas características.
2. Generar mapas de cambio de uso de suelo en la cuenca Valle de Bravo-Amanalco en los últimos 20 años (2000-2021) como causa de contaminación hacia los cuerpos de agua.
3. Analizar la gestión del agua dentro de la cuenca Valle de Bravo Amanalco, mediante el análisis de estudios previos y comparando con avistamientos en campo; así como identificar las actividades socioeconómicas hídricas dentro de la cuenca Valle de Bravo-Amanalco y así, evaluar la presión que estas ejercen en las condiciones ambientales de los recursos hídricos.

6. MATERIAL Y MÉTODO

6.1 Zona de estudio

La Cuenca Valle de Bravo-Amanalco cuenta con una superficie de 61548.47 hectáreas y mantiene características propias del eje Neovolcánico transversal, se encuentra al poniente del Estado de México (IMTA, 2012; Forcada-Gallardo, 2017). Cubre en su totalidad el municipio de Amanalco, la mayor parte de Valle de Bravo, Algunas partes significativas de los municipios de Donato Guerra, Villa de Allende, Villa Victoria y Temascaltepec. En superficies menores abarca parte de los municipios de Almoloya de Juárez y Zinacantepec (Fig. 1). Geográficamente, la cuenca se ubica entre los paralelos 19°23'05'' y 19°05'30'' y los meridianos 99°52'00'' y 100°11'40'' (IMTA, 2012).

Según la altura, se presentan tres grandes regiones climatológicas en la cuenca. En la mayor parte (entre los 2200 y 3000 msnm) se presenta el clima templado subhúmedo (Cw₂). En el poniente de la cuenca, debajo de los 2200 msnm se presenta el clima semicálido ((A)Cw₁) que es un poco más árido que el resto de las zonas climatológicas. En el extremo oriente de la cuenca (la parte más elevada, por encima de los 3000 msnm) se presenta el semifrío subhúmedo (C(E)w₂) (Chacón *et al.*, 2002).

En cuanto a la hidrología de la cuenca, el Programa de Ordenamiento Ecológico Regional de la subcuenca Valle de Bravo-Amanalco, divide al territorio en 28 subcuencas con una superficie total de 775.6 Km². Entre las subcuencas de mayor importancia destacan la del río Amanalco, la del río San Diego y la del río La Hierbabuena (IMTA, 2012).

Presenta un relieve caracterizado por cerros, mesas y laderas abruptas que van desde los 1100 hasta los 3730 msnm. Entre las elevaciones principales sobresalen los cerros Gordo (2600 msnm), San Agustín (2680 msnm), Capulín (2660 msnm), Sacametate (2200 msnm), Escalerilla (2580 msnm), Los Reyes (2880 msnm), Coporito (2990 msnm), Ídolo (3040 msnm), Piedra Herrada (3310 msnm) (IMTA, 2012).

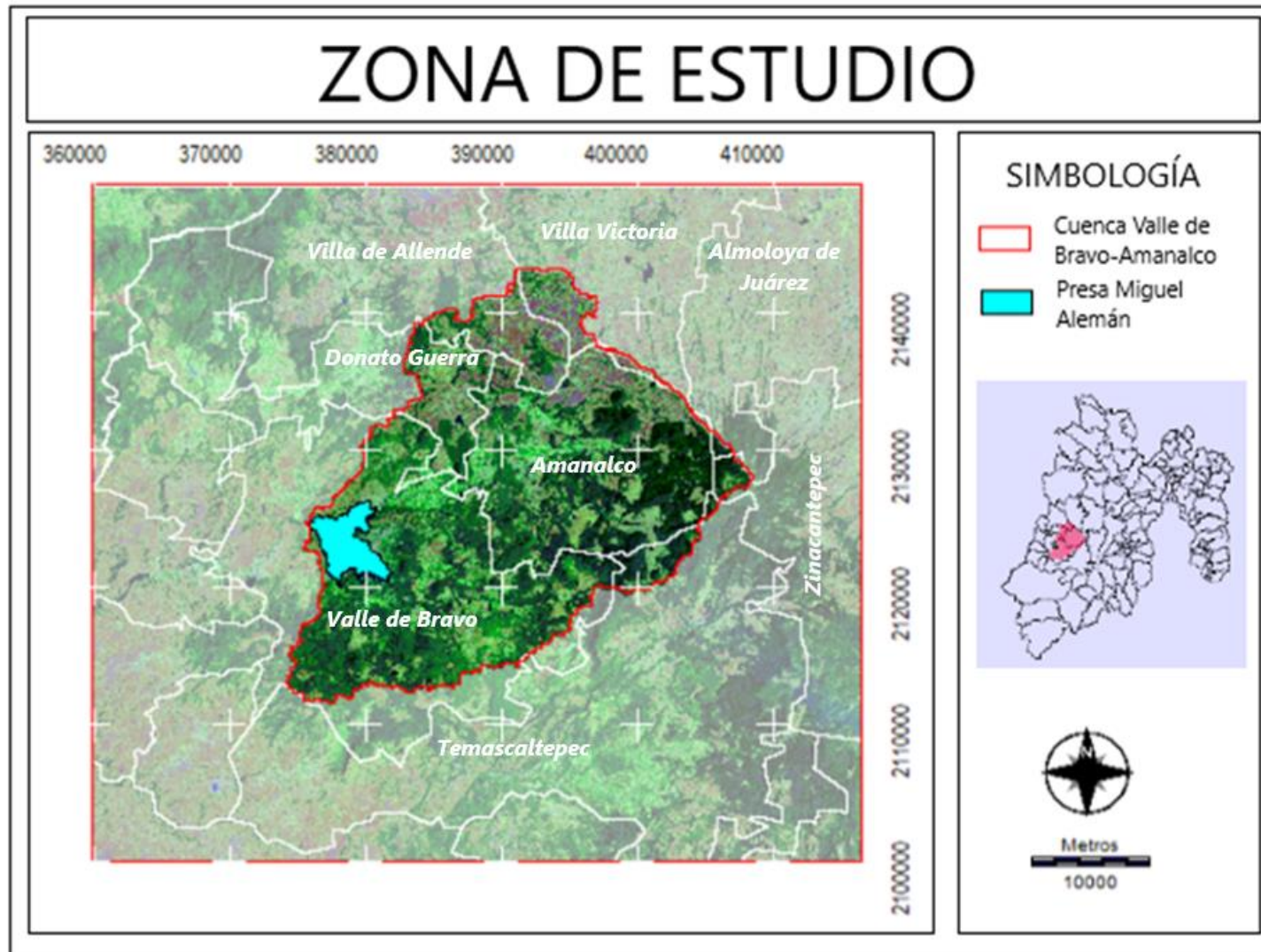


Figura 1: Localización geográfica de la cuenca Valle de Bravo-Amanalco.

6.2 Determinación de los sitios de muestreo

Tomando en cuenta la extensión de la cuenca Valle de Bravo-Amanalco, se evaluaron dos de los ríos más importantes dentro de la cuenca: el río Amanalco y el Tizates. En el caso del río Amanalco, por ser el que aporta el mayor volumen de agua de las corrientes que desembocan en la presa Miguel Alemán. Los sitios de muestreo, fueron seleccionados mediante recorridos previos y ubicados sobre el cauce, o sobre afluentes que desembocan directamente en el río Amanalco.

El río Tizates se seleccionó por la trayectoria que presenta, ya que atraviesa parte de la zona urbana en la cabecera municipal de Valle de Bravo; y, además, por ser el río que incorpora descargas residuales durante su trayecto hacia la presa.

6.3 Caracterización fisicoquímica del agua

Los parámetros fisicoquímicos se tomaron *in situ* utilizando la metodología de Global Water Watch (GWW). El monitoreo de parámetros fisicoquímicos se llevó a cabo en colaboración con el Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura sostenible (CCMSS) utilizando el kit LaMotte basado en colorimetría, utilizando colorantes que cambian de color con base en la concentración de determinados elementos en el agua. Este método determina ocho parámetros básicos de la calidad del agua: temperatura (°C), pH, dureza total (mg/l), alcalinidad (mg/l), oxígeno disuelto (% y mg/l), nitratos como nitrógeno de nitratos (mg/l), fosfatos (mg/l) y turbidez (unidades JTU), que permiten tener un panorama general de las condiciones ambientales de los sitios de muestreo. Además de los parámetros fisicoquímicos determinados, también se midieron los sólidos disueltos totales con ayuda de un medidor de lectura rápida y expresados miligramos por unidad de volumen de agua (mg/l).

Es importante mencionar, que, por las condiciones del trabajo de campo y el costo económico que representa el kit, solo se utilizó en los sitios de muestreo del río Amanalco, en el caso del río Tizates solo se tomaron los parámetros temperatura, pH, oxígeno disuelto y conductividad con ayuda del medidor multiparamétrico marca EXTECH, modelo D0700. Lo anterior, con la finalidad de apoyar los resultados de los índices biológicos, y así,

realizar el análisis estadístico que permita buscar la relación entre los parámetros biológicos y fisicoquímicos.

6.4 Recolecta e identificación de macroinvertebrados acuáticos

Se realizaron cuatro muestreos, durante los meses de mayo, julio, septiembre y noviembre de 2021 para el río Amanalco y durante marzo, mayo, agosto y octubre de 2021 para el río Amanalco; y durante marzo, mayo, agosto y octubre de 2021 para el río Tizates, debido a que las corrientes son más estables en época de estiaje (Barbour *et al.*, 1999), lo que permite obtener muestras de taxa residentes en los sitios de muestreo y disminuye el efecto de arrastre provocado por las corrientes cuando aumenta el nivel del agua en época de lluvias.

La recolección de macroinvertebrados acuáticos se realizó de aguas río abajo hacia aguas río arriba, con base en el método de Roldán (2012) modificado y el protocolo de muestreo de macroinvertebrados para ambientes de aguas poco profundas (Ramírez, 2010a), utilizando una red acuática tipo D. Durante la recolección de muestras, se colocó la red contra la corriente, al tiempo que se removió el fondo y rocas para desprender los organismos del sustrato. Así mismo se recolectaron organismos de la vegetación existente en las orillas del río, rocas de tamaño considerable, troncos y suelo, abarcando 10 m a lo largo del río. Las muestras se fijaron en recipientes plásticos debidamente rotulados con alcohol al 70%.

Los macroinvertebrados se identificaron a nivel de familia, nivel mínimo requerido para la aplicación del índice BMWP/Méx. La identificación se realizó con ayuda de claves, guías y material de apoyo adicional (Roldán, 1996; Posada-García, 2003; Álvarez-Arango, 2005; Flowers y De la Rosa, 2010; Gutiérrez-Fonseca, 2010; Ramírez, 2010b; Springer, 2010; MMAyA, 2012; y López-Delgado *et al.*, 2015; Gutiérrez-Fonseca *et al.*, 2016).

6.5 Índices de calidad del agua para la cuenca Valle de Bravo-Amanalco

Para calcular el Índice de Calidad del Agua de la cuenca Valle de Bravo-Amanalco (río Amanalco y río Tizates), se utilizó el índice BMWP, desarrollado en Gran Bretaña (Armitage *et al.*, 1983), ya que se cuenta con una modificación de uso exclusivo para México (Pineda *et al.*, 2014).

Una vez clasificados los organismos, se calculó el índice por sitio, sumando únicamente los valores de tolerancia de los registros asignados a cada familia de macroinvertebrados, asignados para México (Tabla 2), para así determinar la calidad del agua de los puntos de muestreo.

Después de obtener los índices para ambos ríos de estudio, se procedió a realizar un análisis comparativo de los resultados y así, conocer los sitios que tienen las mejores características ambientales.

Una vez determinado el índice BMWP/Méx., se procedió a determinar el índice ASPT, dividiendo el valor del índice BMWP entre el número total de familias identificadas.

En el caso del índice EPT, se obtuvo sumando todos los individuos pertenecientes a los órdenes Ephemeroptera Plecoptera y Trichoptera, dividido por el número total de individuos recolectados

Finalmente, el índice IBF se calculó multiplicando la cantidad de individuos recolectados por el valor de tolerancia del taxón y se divide entre el total de individuos recolectados

6.6 Análisis de datos

Se realizó una comparación entre los sitios para determinar qué tan diferentes son, para lo cual, se calculó el índice de similitud de Jaccard utilizando las abundancias de las familias en cada uno de los sitios.

Para relacionar la abundancia de macroinvertebrados acuáticos con las variables fisicoquímicas en los puntos de muestreo, se realizó un análisis de correspondencia canónica para determinar la afinidad que puedan tener los macroinvertebrados acuáticos hacia los parámetros fisicoquímicos evaluados. Los análisis anteriores se realizarán en el programa Past (<https://www.portalprogramas.com/past/>).

6.7 Uso de suelo en la cuenca Valle de Bravo-Amanalco

Posteriormente, se determinó el uso de suelo de la cuenca a partir de imágenes de satélite mediante clasificación supervisada/Land Change Modeler en TerrSet, para analizar el cambio de uso de suelo dentro de la cuenca en los últimos 21 años (2000-2021), y que pudiera estar generando presión directa hacia los cuerpos de agua de la cuenca.

6.8 Gestión del agua en la cuenca Valle de Bravo Amanalco y sus efectos en las condiciones ambientales en los ríos Amanalco y Tizates

Se analizó la gestión del agua en la cuenca haciendo revisión bibliográfica y comparación con trabajos previos realizados dentro de la cuenca, con un enfoque hacia el entorno social, las actividades socioeconómicas hídricas, las funciones de las dependencias de gobierno relacionadas con el recurso hídrico y las causas de las condiciones ambientales de los ríos Tizates y Amanalco mediante la realización de entrevistas a actores clave, así como las actividades en favor de una buena gestión dentro de la cuenca. Lo anterior, con ayuda de recorridos en campo y observación directa; además, de la georreferenciación de coordenadas y generación de mapas.

7.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Selección de los sitios de muestreo

Dentro de la Cuenca Valle de Bravo-Amanalco, mediante recorridos de reconocimiento, se seleccionaron dos de los ríos más importantes para la cuenca: el río Amanalco, por la importante cantidad de agua que aporta a la presa Miguel Alemán y el río Tizates que atraviesa parte importante de la cabecera municipal de Valle de Bravo, además de ser una corriente que transporta desechos de aguas residuales domésticas aportados por drenajes que desembocan directamente en este río.

Los sitios de muestreos seleccionados para su estudio de calidad del agua son los que a continuación se presentan en la tabla 8:

Tabla 8: Sitios de muestreo seleccionados dentro de los ríos Amanalco y Tizates en la cuenca Valle de Bravo-Amanalco.

SITIO	RÍO	COORDENADAS UTM WGS84		ALTITUD (msnm)
		X	Y	
1. La Granja (LG)	Tizates	380392.4000	2123654.3000	1796
2. Puente Frontón (PF)	Tizates	380770.0000	2123425.0000	1807
3. Puente Otumba (PO)	Tizates	381438.1000	2123484.0000	1818
4. Loto Azul (LA)	Tizates	382223.1000	2123753.1000	1871
5. Planta Tratadora (PT)	Amanalco	383994.8811	2129321.5878	2312
6. Puente Autopista (PA)	Amanalco	387864.0976	2127457.6349	2265
7. San Mateo (SM)	Amanalco	393652.3275	2131151.0039	2383
8. Humedal IMSS (HI)	Amanalco	393638.3697	2129531.5650	2320

Adicionalmente, se exportaron al sistema de coordenadas UTM al software TerrSet, para visualizar los sitios de muestreo y poder ubicarlos en los ríos a evaluar (Figura 2).

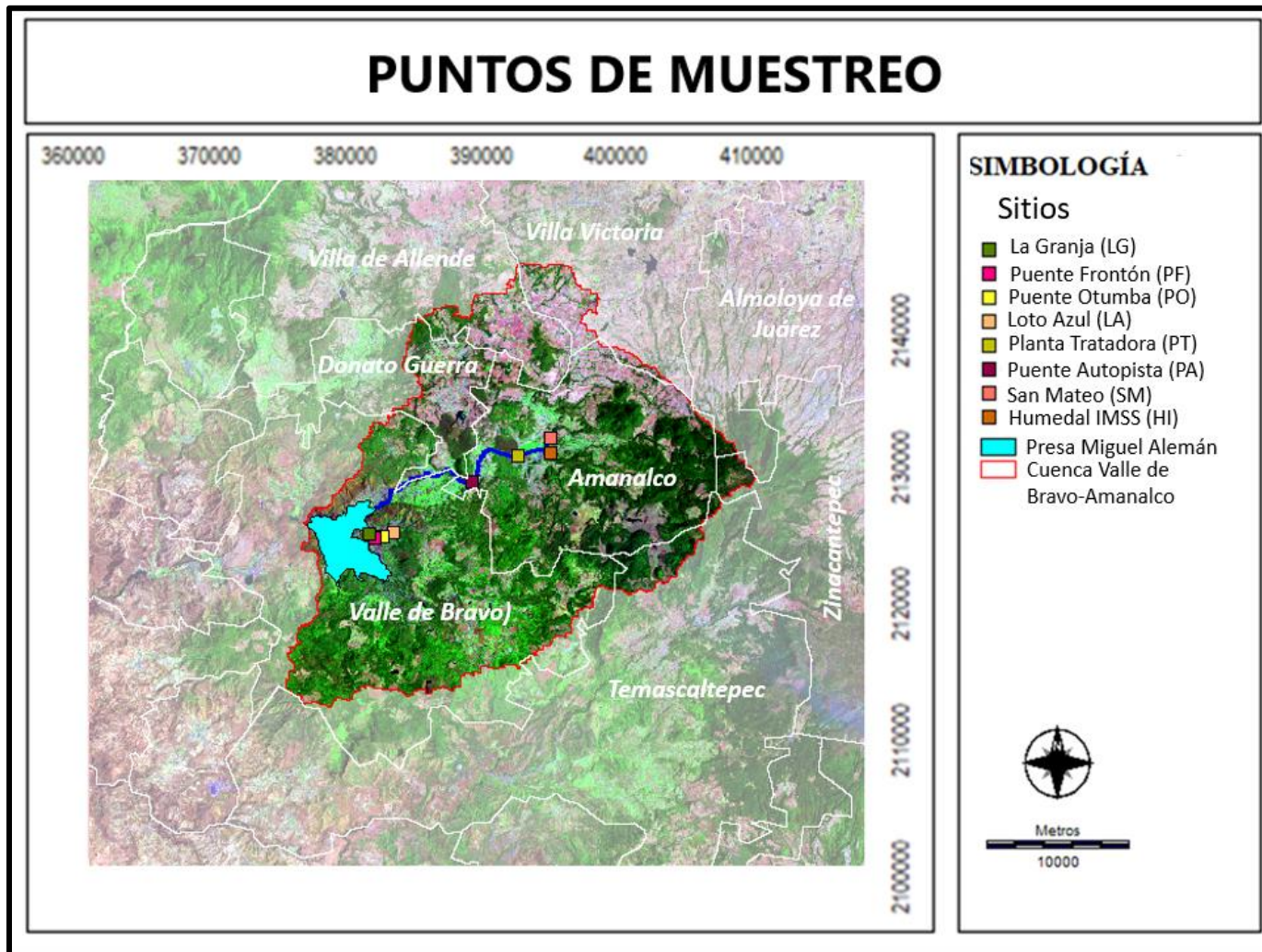


Figura 2: Distribución geográfica de los sitios de muestreo de los ríos Tizates y Amanalco de la Cuenca Valle de Bravo Amanalco (CVBA).

7.2 Recolecta e identificación de macroinvertebrados acuáticos

7.2.1 Estructura de la comunidad

Con los muestreos realizados, se recolectaron un total de 1542 organismos (589-Amanalco y 953-Tizates), de los cuales, se han identificado taxonómicamente 1432 organismos (92.8%), mismos que fueron clasificados en cinco phyla, nueve clases, 18 órdenes y 49 familias (Tabla 9), siendo el phylum Arthropoda, el más diverso.

Tabla 9: Lista taxonómica de familias de macroinvertebrados acuáticos encontrados en los ríos Tizates y Amanalco de la cuenca Valle de Bravo-Amanalco.

Phylum	Clase	Orden	Familia
Platyhelminthes	Turbellaria	*	*
Nematomorpha	Gordioida	Gordioidea	Chordodidae
Annelida	Clitellata	*	(Subclase Oligochaeta)
		Rhynchobdellida	Glossiphoniidae
Mollusca	Gastropoda	Basommatophora	Limnaeidae
			Planorbidae
			Physidae
	Bivalvia	Sphaeriida	Sphaeridae
Arthropoda	Malacostraca	Amphipoda	Hyaellidae
		Isopoda	Armadillidae (Crustacea)
	Diplopoda	Julida	Julidae
	Insecta	Megaloptera	Corydalidae
		Dermaptera	Forficulidae
		Odonata	Lestidae
			Gomphidae
			Calopterygidae
			Coenagrionidae
			Libellulidae
			Aeshnidae
		Hemiptera	Gerridae
			Veliidae
			Belostomatidae
			Corixidae
			Notonectidae
		Coleoptera	Hydraenidae
			Carabidae
			Dytiscidae
			Limnichidae

	Scirtidae
	Lampyridae
	Hydrophilidae
	Elmidae
	Gyrinidae
Trichoptera	Polycentropodidae
	Hydrobiosidae
	Odontoceridae
	Limnephilidae
	Leptoceridae
	Glossosomatidae
Lepidoptera	Crambidae
Diptera	Chironomidae
	Tipulidae
	Simuliidae
	Chaoboridae
	Psychodidae
	Syrphidae
	Sciomizidae
Ephemeroptera	Baetidae
	Leptohyphidae

7.2.2 Diversidad de familias de macroinvertebrados acuáticos encontradas en los ríos Tizates y Amanalco

De las 49 familias identificadas en los muestreos, las más abundantes hasta el momento son Chironomidae, Baetidae, Tipulidae, Armadillidiidae y organismos de la clase Turbellaria. A continuación, se hace un recuento de las familias encontradas por cada sitio muestreado en ambos ríos.

Río Tizates

Los 953 organismos encontrados en este río, se clasificaron 36 familias, encontrándose en cada sitio como se muestra en la tabla 10.

Para el sitio LG, se recolectaron 157 organismos distribuidos en nueve familias. En este sitio la familia más abundante fue Chironomidae con 124 organismos y las que presentaron menor abundancia fueron Crambidae, Baetidae y Psychodidae, todas con un organismo recolectado.

Tabla 10: Abundancia de organismos por familia encontrados en los sitios de muestreo del río Tizates (LG: sitio la Granja, PF: sitio puente Frontón, PO: sitio puente Otumba, LA: sitio Loto Azul).

FAMILIA/SITIO	LG	PF	PO	LA	TOTAL
Chaoboridae	7	13	7	3	30
Dytiscidae	0	0	1	2	3
Tipulidae	0	0	12	30	42
Baetidae	1	18	29	2	50
Simuliidae	0	0	0	15	15
Chironomidae	124	310	156	4	594
Sciomyzidae	0	0	1	0	1
Subclase Oligochaeta	4	2	1	3	10
Clase Turbellaria	0	0	1	0	1
Armadillidae (Crustacea)	7	5	10	0	22
Physidae	0	11	18	0	29
Calopterygidae	0	2	1	14	17
Syrphidae	0	0	1	0	1
Glossophoniidae	0	0	2	0	2
Corydalidae	0	0	2	0	2
Coenagrionidae	0	0	3	28	31
Hydraenidae	9	0	0	0	9
Crambidae	1	0	0	0	1
Elmidae	0	0	0	1	1
Scirtidae	3	0	2	0	5
Limnichidae	0	1	0	0	1
Hyalellidae	0	0	1	0	1
Veliidae	0	0	0	2	2
Psychodidae	1	0	0	0	1
Carabidae	0	0	0	2	2
Odontoceridae	0	0	1	9	10
Gomphidae	0	0	0	2	2
Polycentropodidae	0	0	0	22	22
Isonychidae	0	0	0	1	1
Limnephilidae	0	0	0	1	1
Limnaeidae	0	0	0	1	1
Gerridae	0	0	1	0	1
Lampyridae	0	0	0	12	12
Hydrobiosidae	0	0	0	2	2
Planorbidae	0	0	0	1	1
Leptohyphidae	0	0	0	3	3
TOTAL ORGANISMOS	157	362	250	160	929
TOTAL FAMILIAS	9	8	19	22	

En el sitio PF, con 362 organismos recolectados y ocho familias identificadas, se coloca como el sitio más abundante del río Tizates, gracias a la presencia de la familia Chironomidae, de la cual se recolectaron 310 organismos de los 362 recolectados.

En el caso del sitio PO, con 250 organismos y 19 familias, la familia más abundante es Chironomidae con 156 organismos de los 250 recolectados.

Por último, el sitio LA se colocó como el sitio más diverso, aunque no el más abundante. En este sitio se recolectaron 160 organismos y se clasificaron en 22 familias. Las familias más abundantes fueron Tipulidae y Coenagrionidae con 30 y 28 organismos recolectados respectivamente.

De acuerdo a la abundancia de las familias encontradas en los sitios del río, las familias más abundantes fueron Chironomidae (594 organismos), Baetidae (50 organismos) y Tipulidae (42 organismos), estas tres familias suman un total de 686 de los 929 organismos recolectados. La abundancia de estas familias se representa en la Figura 3.

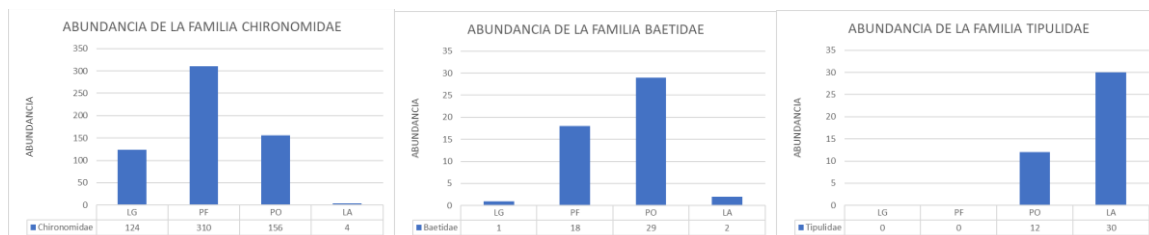


Figura 3: Abundancia de las familias más representativas recolectadas en el río Tizates (LG: sitio la Granja, PF: sitio puente Frontón, PO: sitio puente Otumba, LA: sitio Loto Azul).

En el caso de los organismos de la familia Chironomidae, Oviedo-Machado y Reinoso-Flórez (2018) los describen como los insectos más ampliamente distribuidos y más abundantes en las aguas continentales. Además, son de gran importancia en la colonización de los cuerpos de agua y juegan un papel importante en los ecosistemas acuáticos como eslabones en la red trófica, ya que consumen principalmente materia orgánica particulada, algas, hongos, fragmentos y fibras de hojas y madera. También pueden ser alimento aves, anfibios, otros macroinvertebrados y conforman parte de la dieta de muchos peces. Las

larvas de Chironomidae. también son utilizadas como indicadores de varios niveles tróficos de contaminación acuática.

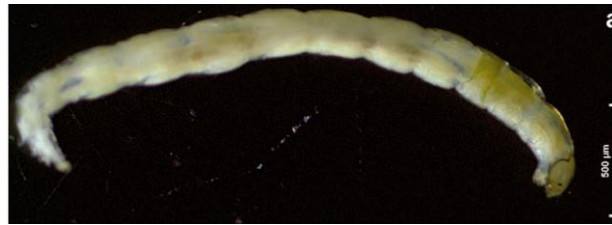


Figura 4: Fotografía que muestra un ejemplar de la familia Chironomidae (Extraído de Torrejón y Vargas, 2022).

La familia Baetidae (figura 5) es una de las familias más diversas y abundantes de orden Ephemeroptera, esta familia tiene preferencia por sustratos específicos y alta sensibilidad a los procesos de degradación e impacto antropogénico, lo que la convierte en una familia excelente como bioindicadora (Forero-Céspedes *et al.*, 2016).



Figura 5: Fotografía que muestra un ejemplar de la familia Baetidae (Extraído de Forero-Céspedes *et al.*, 2016).

En el caso de la familia Tipulidae (figura 6), estos organismos conocidos como zancudos gigantes, son organismos que pueden habitar suelos húmedos o ambientes acuáticos o semiacuáticos, incluyendo aquellos con elevada salinidad. Dependen del oxígeno atmosférico y poseen una relevancia biológica dentro de los ecosistemas al ser presas de aves, peces u otros insectos; además, de ser descomponedores de materia orgánica (detritívoros), incluyendo a los hongos micromicetos. Cabe resaltar su uso como bioindicadores de calidad del agua, especialmente en los sistemas lóticos que se usan para las actividades humanas (Cazorla, 2017).

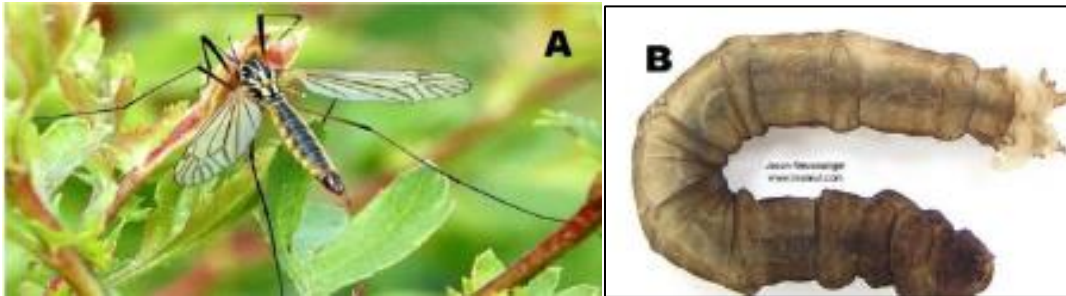


Figura 6: Fotografía que muestra un ejemplar de la familia Tipulidae (A: adulto, B: larva) (Extraído de Cazorla, 2017).

Río Amanalco

De los 589 organismos encontrados, se identificaron 503 organismos a nivel de familia. Los organismos identificados fueron clasificados en 31 familias, encontrándose en cada sitio como se muestran en la tabla 11.

En el sitio PT, se identificaron 189 organismos, clasificados en 17 familias, siendo los organismos de la clase Turbellaria y la familia Baetidae las más abundantes del sitio, con 49 y 45 organismos respectivamente. Es importante mencionar que, este sitio es el más diverso y el más abundante.

Para el sitio PA, los organismos recolectados se clasificaron en 15 familias, siendo Tipulidae, Simuliidae y Chironomidae las más abundantes con 27, 13 y 13 organismos respectivamente. Es importante mencionar que, en este sitio, se han observado ciertos cambios en la corriente y dinámica del río como el aumento de la corriente y la modificación de la estructura de los microhábitats existentes.

En el sitio SM, se recolectaron 82 organismos que se clasificaron en 15 familias. Las familias más abundantes fueron Tipulidae con 29 organismos, seguida por Baetidae con 13 organismos.

Tabla 11: Abundancia de organismos por familia encontrados en los sitios de muestreo del río Amanalco (PT: Planta Tratadora, PA: Puente Autopista, SM: San Mateo, HI: Humedal IMSS)

FAMILIA/SITIO	PT	PA	SM	HI	TOTAL
Chaoboridae	0	0	0	2	2
Dytiscidae	2	0	0	9	11
Tipulidae	1	27	29	0	57
Baetidae	45	6	13	1	65
Simuliidae	8	13	2	0	23
Chironomidae	33	13	2	18	66
Subclase Oligochaeta	8	4	8	16	36
Clase Turbellaria	49	10	1	0	60
Corixidae	7	0	1	0	8
Armadillidae (Crustacea)	0	12	0	41	53
Gyrinidae	1	0	0	13	14
Julidae	0	0	0	1	1
Belostomatidae	0	0	0	5	5
Physidae	14	0	0	1	15
Carabidae	0	1	1	0	2
Forficulidae	0	1	0	0	1
Chordodidae	0	0	1	0	1
Libellulidae	1	3	0	1	5
Elmidae	0	0	1	0	1
Glossosomatidae	0	0	1	0	1
Gerridae	1	0	0	0	1
Coenagrionidae	13	0	0	0	13
Hydrophilidae	0	0	0	1	1
Syrphidae	0	0	0	1	1
Aeshnidae	2	1	1	0	4
Sphaeriidae	2	0	0	0	2
Polycentropodidae	1	7	6	0	14
Leptoceridae	0	8	8	0	16
Calopterygidae	0	9	7	0	16
Notonectidae	1	0	0	0	1
Velidae	0	7	0	0	7
TOTAL ORGANISMOS	189	122	82	110	503
TOTAL FAMILIAS	17	15	15	12	

Finalmente, en el sitio HI se recolectaron 109 organismos clasificados en 12 familias, lo que lo ubica como el sitio con menor abundancia y diversidad de macroinvertebrados acuáticos hasta el momento, sin embargo, cabe recalcar que, al ser un humedal, no se comporta de la misma manera que lo hacen los otros tres sitios del río, sin embargo, es importante porque su efluente es vertido directamente al río Amanalco.

De acuerdo a la abundancia de las familias encontradas en los sitios del río, las familias más abundantes fueron Chironomidae (66 organismos), Baetidae (65 organismos) y organismos de la clase Turbellaria (60 organismos), estas tres familias suman un total de 191 de los 589 organismos recolectados. La abundancia de estas familias se representa en la Figura 7.

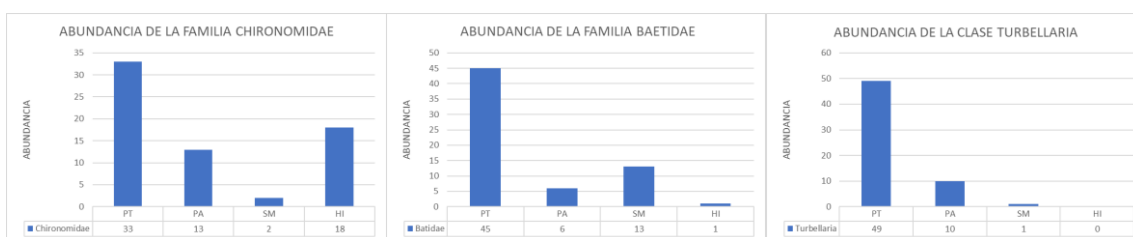


Figura 7: Abundancia de las familias más representativas recolectadas en el río Amanalco (PT: Planta Tratadora, PA: Puente Autopista, SM: San Mateo, HI: Humedal IMSS).

Respecto a las familias más abundantes los ríos Amanalco y Tizates, en ambos las familias Chironomidae y Baetidae, fueron las más abundantes, pero a diferencia del río Tizates, el tercer grupo más abundante (que en el río Tizates fue Tipulidae) en el río Amanalco, fueron los organismos de la clase Turbellaria.

Cabe destacar que, en este río, en 2018 se realizó un estudio de calidad del agua el sitio PA (Marin-Ortega, 2018) donde se encontraron 198 organismos clasificados en 13 familias, siendo las más abundantes Tipulidae y Lestidae, mientras que en este estudio se recolectaron solo 82 organismos y clasificados en 15 familias, donde las más abundantes son Tipulidae y Simuliidae. Es importante hacer notar que, aunque en esta ocasión se encontraron menos organismos, fue más diverso respecto al número de familias identificadas, si bien, para hacer aseveraciones se debe continuar monitoreando, cabe señalar que, mediante las observaciones realizadas en campo, ha disminuido el caudal del río y modificado artificialmente los microhábitats al retener y desviar el agua mediante represas.

7.3 Índice de Calidad del Agua (BMWP/Méx.) de los ríos Tizates y Amanalco en la cuenca Valle de Bravo-Amanalco

Después de identificar los organismos recolectados a nivel de familia, se procedió a calcular el índice BMWP/Méx. para los sitios muestreados tanto del río Tizates, como del río Amanalco en la cuenca Valle de Bravo-Amanalco con base en la puntuación de sensibilidad a los contaminantes que presentan las familias de macroinvertebrados acuáticos. Lo anterior, se realizó con base en la Tabla 2 “Clasificación de las familias de macroinvertebrados para el BMWP/Méx.” y Tabla 3 “Rangos de calidad según el BMWP”.

Para el caso del río Amanalco los valores calculados del índice BMWP/Méx. quedaron como se muestra en la Tabla 10.

Con 17 familias y un índice BMWP/Méx. de 67 puntos, el sitio PT se coloca como el sitio más limpio de los sitios muestreados. De acuerdo a los rangos de calidad del agua según el BMWP/Méx., este sitio presenta “aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada” (61-100 puntos). Cabe mencionar que en este sitio se encuentran entradas de descargas residuales que podrían hacer disminuir el índice, sin embargo, por otro lado, también es importante recalcar que el segundo y tercer muestreo se realizaron durante la época de lluvias, donde, seguramente se presentó el fenómeno de la deriva. Lo anterior, si bien, es importante mencionar, no es el punto clave del índice, ya que, con el aumento del caudal del río por las lluvias, directamente afecta la calidad del agua y parte de esta historia es la respuesta y presencia de los macroinvertebrados acuáticos encontrados.

En el sitio PA, las 15 familias encontradas, arrojan un índice BMWP/Méx. de 58 puntos, con lo cual, este sitio es clasificado con “aguas de calidad mala, contaminadas” (36-60 puntos). Este sitio se evaluó en 2018 (Marin-Ortega, 2018), en el estudio realizado, se calculó un índice de 62 puntos y 13 familias encontradas, clasificándose como “aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada” (61-100 puntos), situación que podría volver a darse debido a que se tienen organismos que no fue posible identificar.

El sitio SM, fue el punto de muestreo más alejado del río y hasta el momento, con 15 familias recolectadas y un índice de 64 puntos, este sitio presenta “aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada” (61-100 puntos).

Finalmente, el sitio HI, es el sitio que menos características comparte con los otros sitios del río Amanalco al tratarse de un humedal artificial que trata las aguas residuales del Hospital IMMS de Amanalco, y que, después de ser tratadas se incorporan al río Amanalco. Este sitio, por el momento, cuenta con 12 familias y un índice BMWP/Méx. de 33 puntos, pero con tendencia a aumentar. Se coloca como el sitio más contaminado con aguas que corresponden a “aguas de calidad mala, muy contaminadas” (15-35 puntos).

En el río Tizates, tomando en cuenta que, por sus características y condiciones, se podría considerar el río más contaminado, se encontró lo siguiente, de acuerdo con el índice de calidad del agua BMWP/Méx. (Tabla 12).

Sitio LG: Con 157 organismos clasificados en seis familias, se calculó un índice BMWP/Méx. de apenas 25 puntos, correspondiente a aguas de calidad mala, muy contaminadas (16-35 puntos), de acuerdo a lo anterior, resultó uno de los dos sitios más contaminados del río, siendo el sitio ubicado casi en la desembocadura del río a la presa Miguel Alemán. En este sitio se recolectaron familias de macroinvertebrados clasificadas de acuerdo a la modificación del índice BMWP/Méx., como organismos indicadores de contaminación por la baja calificación en la clasificación de familias indicadoras de calidad del agua del índice, puesto que entre más baja es la calificación, más tolerantes son a los contaminantes; mientras que entre más alta sea la calificación, son organismos más sensibles.

Sitio PF: Sus 362 organismos se clasificaron en ocho familias. Con un índice BMWP/Méx. de 25 puntos, sus aguas son clasificadas como aguas de calidad mala, muy contaminadas (16-35 puntos). Lo anterior explicado por la presencia de organismos del orden Diptera, Lumbriculida (subclase Oligochaeta) y caracoles de la clase Gastropoda a los que les fue asignada una calificación baja en el índice BMWP/Méx. En este sitio se recolectó el mayor número de organismos de la familia Chironomidae, familia indicadora de manera general de aguas contaminadas. Esta familia fue la más abundante de todo el estudio.

Tabla 12: Índice BMWP/Méx. de los sitios muestreados en el río Tizates, con base en el nivel de tolerancia a la contaminación de las familias de macroinvertebrados acuáticos.

SITIO	ORGANISMOS	FAMILIA	CAL. BMWP/Méx.	INDICE BMWP/Méx.	CALIDAD DEL AGUA
1. La Granja (LG) (31 organismos)	19	Chironomidae	2	10 puntos	Aguas de calidad muy mala, extremadamente contaminadas (<15 puntos)
	3	Oligochaeta	1		
	3	Scirtidae	4		
	1	Psychodidae	3		
	1	Crambidae	*		
	4	Chaoboridae	*		
2. Puente Frontón (PF) (182 organismos)	159	Chironomidae	2	16 puntos	Aguas de calidad mala, muy contaminadas (16-36 puntos)
	9	Physidae	3		
	1	Crustacea	5		
	2	Oligochaeta	1		
	1	Limnichidae	5		
	10	Chaoboridae	*		
3. Puente Otumba (PO) (65 organismos)	16	Chironomidae	2	40 puntos	Aguas de calidad mala, contaminadas (36-60 puntos)
	15	Physidae	3		
	1	Tipulidae	4		
	7	Baetidae	5		
	10	Crustacea	5		
	2	Oligochaeta	1		
	1	Dytiscidae	4		
	2	Scirtidae	4		
	1	Odonoceridae	8		
	3	Coenagrionidae	4		
	2	Chaoboridae	*		
	3	Pulmonata	*		
	1	Hyalellidae	*		
1	Gerridae	*			
4. Loto Azul (LA) (121 organismos)	2	Chironomidae	2	91 puntos	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada (61-100 puntos)
	6	Tipulidae	4		
	2	Baetidae	5		
	22	Polycentropodidae	6		
	1	Limnaeidae	3		
	15	Simuliidae	4		
	2	Dytiscidae	4		
	2	Hydrobiosidae	8		
	9	Odonoceridae	8		
	2	Lamprolaimidae	4		
	3	Leptohyphidae	5		
	1	Planorbidae	3		
	1	Lestidae	7		
	2	Gomphidae	7		
	1	Limnephilidae	8		
	1	Elmidae	5		
	14	Calopterygidae	4		
	28	Coenagrionidae	4		
2	Veliidae	*			
3	Chaoboridae	*			
2	Carabidae	*			

(*) Familias de macroinvertebrados acuáticos no clasificadas en el índice BMWP/Méx.

Tabla 13: Índice BMWP/Méx. de los sitios muestreados en el río Amanalco, con base en el nivel de tolerancia a la contaminación de las familias de macroinvertebrados acuáticos.

SITIO	FAMILIA	CAL. BMWP/Méx.	ÍNDICE BMWP/Méx.	CALIDAD DEL AGUA
1.- PT (175 organismos/20 familias)	Libellulidae	6	78 puntos	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada (61-100 puntos)
	Chironomidae	2		
	Dytiscidae	4		
	Hirudinidae	3		
	Baetidae	5		
	Simuliidae	4		
	Polycentropodidae	6		
	Oligochaeta	1		
	Aeshnidae	8		
	Physidae	3		
	Sphaeriidae	3		
	Notonectidae	4		
	Coenagrionidae	4		
	Cordulegastridae	8		
	Turbellaria	5		
	Gyrinidae	4		
Calopterygidae	4			
Tipulidae	4			
Gerridae	*			
2.- PA (68 organismos/10 familias)	Libellulidae	6	48	Aguas de calidad mala, contaminadas (36-60 puntos)
	Chironomidae	2		
	Simuliidae	4		
	Polycentropodidae	6		
	Oligochaeta	1		
	Aeshnidae	8		
	Crustacea (Armadillidae)	5		
	Leptoceidae	8		
	Calopterygidae	4		
	Tipulidae	4		
3.- SM (75 organismos/14 familias)	Chironomidae	2	56	Aguas de calidad mala, contaminadas (36-60 puntos)
	Baetidae	5		
	Simuliidae	4		
	Polycentropodidae	6		
	Oligochaeta	1		
	Aeshnidae	8		
	Corixidae	4		
	Elmidae	5		
	Turbellaria	5		
	Calopterygidae	4		
	Leptoceidae	8		
	Tipulidae	4		
	Pentatomidae	*		
Veliidae	*			
4.- HI (39 organismos/8 familias)	Libellulidae	6	26	Aguas de calidad mala, muy contaminadas (16-36 puntos)
	Chironomidae	2		
	Dytiscidae	4		
	Syrphidae	1		
	Hydrophilidae	3		
	Belostomatidae	4		
	Crustacea (Armadillidae)	5		
	Oligochaeta	1		

(*) Familias de macroinvertebrados acuáticos no clasificadas en el índice BMWP/Méx.

Sitio PO: Con 250 organismos recolectados, 19 familias y un índice de 63 puntos, este sitio presenta Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada. (61-100 puntos). En este sitio, es importante señalar que la mayoría de familias de macroinvertebrados son organismos indicadores de aguas contaminadas, pero a diferencia de los sitios LG y PF, ya se puede observar la presencia de familias sensibles a los contaminantes; tal es el caso de los tricópteros de la familia Odontoceridae, organismos sensibles a los contaminantes con calificación de tolerancia en el BMWP/Méx. de 8.

Sitio LA: Considerado el sitio con la mejor calidad de sus aguas del río Tizates y el más diverso. En este sitio se clasificaron los 160 organismos encontrados en 22 familias y un índice de 92 puntos, con aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada. Lo anterior, con base en las familias de macroinvertebrados que son sensibles a los contaminantes y por lo cual, presentan una alta calificación de tolerancia a la contaminación. Estas familias, consideradas de manera general indicadoras de aguas de regular a buena calidad fueron Hydrobiosidae (habita en aguas bien oxigenadas (Walteros-Rodríguez, 2018), Odontoceridae y Limnephilidae con una calificación de 8, seguidas por las familias de odonatos Lestidae y Gomphidae con calificación de 7.

7.4 Los macroinvertebrados acuáticos y los índices biológicos de calidad del agua

Además del índice BMWP/Méx., también se determinaron los índices ASPT, IBF y EPT para realizar una comparación de los resultados obtenidos respecto a la calidad del agua de los sitios evaluados en el río Tizates y Amanalco.

Índice ASPT (Average Score Per Taxon): De acuerdo con el índice Puntaje Promedio por Taxón, para el río Tizates, de manera general se muestra como el río más contaminado en comparación con el río Amanalco (Tabla 14). Los sitios LG, PF y PO, se consideran los sitios más contaminados del río Tizates (aguas muy contaminadas), mientras que el sitio LA, permanece como el sitio con mejor calidad, igual que los resultados arrojaos por el índice BMWP/Méx.

El río Amanalco presentó los sitios PT y PA como sitios que presentan aguas contaminadas y de clase dudosa, mientras que el sitio más contaminado fue HI con aguas muy

contaminadas de clase crítica. El sitio con mejor calidad fue SM con aguas de clase aceptable o que presenta algún grado de contaminación. Los resultados antes mencionados, muestran diferencias respecto al índice BMWP/Méx.

Tabla 14: Valores del índice ASPT de los sitios muestreados en los ríos Tizates y Amanalco.

ÍNDICE ASPT PARA LOS RÍOS AMANALCO Y TIZATES				
RÍO	SITIO	ÍNDICE ASPT	CLASE	CALIDAD DEL AGUA
Tizates	LG	3.57	Crítica	Agua muy contaminada
Tizates	PF	3.57	Crítica	Agua muy contaminada
Tizates	PO	3.93	Crítica	Agua muy contaminada
Tizates	LA	4.84	Dudosa	Agua contaminada
Amanalco	PT	4.18	Dudosa	Agua contaminada
Amanalco	PA	4.83	Dudosa	Agua contaminada
Amanalco	SM	4.92	Aceptable	Agua con algún grado de contaminación
Amanalco	HI	3.30	Crítica	Agua muy contaminada

Índice %EPT (porcentaje de Ephemeroptera Plecoptera Trichoptera): Este índice, al evaluarse con base en la presencia de los grupos Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera, es el índice que menos se parece a los resultados obtenidos por el BMWP/Méx., debido a que, si no se encuentra la presencia de algún organismo de estos grupos, el valor del índice es cero o con valor muy bajos que indican una mala calidad del agua (Figura 15).

Tabla 15: Valores del índice %EPT de los sitios muestreados en los ríos Tizates y Amanalco.

ÍNDICE %EPT PARA LOS RÍOS AMANALCO Y TIZATES			
RÍO	SITIO	ÍNDICE %EPT	CALIDAD DEL AGUA
Tizates	LG	0	Sin rango de calidad
Tizates	PF	0	Sin rango de calidad
Tizates	PO	1.19	Sin rango de calidad
Tizates	LA	21.25	Sin rango de calidad *
Amanalco	PT	0.52	Sin rango de calidad
Amanalco	PA	12.29	Sin rango de calidad
Amanalco	SM	18.29	Sin rango de calidad
Amanalco	HI	0.00	Sin rango de calidad
*cercano a 25 puntos (agua de calidad regular)			


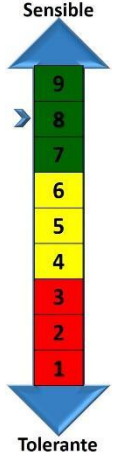
Índice IBF (Índice Biótico de Familia): El índice Biótico de Familia mostró resultados parecidos a la BMWP/Méx, aunque en el sitio HI, el sitio con mayor contaminación de los ríos evaluados, en este índice se muestra una calidad excelente (Tabla 16).



Tabla 16: Valores del índice IBF de los sitios muestreados en los ríos Tizates y Amanalco.


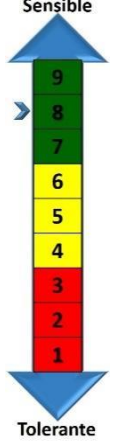
ÍNDICE IBF PARA LOS RÍOS TIZATES Y AMANALCO					
RÍO	SITIO	ÍNDICE IBF	CLASE	CALIDAD DEL AGUA	GRADO DE CONTAMINACIÓN
Tizates	LG	0	I	Excelente	Agua limpia, contaminación baja probable
Tizates	PF	0	I	Excelente	Agua limpia, contaminación baja probable
Tizates	PO	1.19	I	Excelente	Agua limpia, contaminación baja probable
Tizates	LA	21.25	III	Bueno	Con algo de contaminación orgánica
Amanalco	PT	0.52	II	Muy bueno	Con leve contaminación orgánica
Amanalco	PA	12.29	I	Excelente	Agua limpia, contaminación baja probable
Amanalco	SM	18.29	III	Bueno	Con algo de contaminación orgánica
Amanalco	HI	0	I	Excelente	Agua limpia, contaminación baja probable


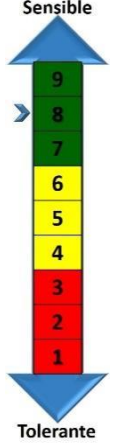
7.5 Descripción de las familias de macroinvertebrados acuáticos de los ríos Amanalco y Tizates en la cuenca Valle de Bravo



A continuación, se describen algunas de las familias de macroinvertebrados acuáticos clasificadas como indicadoras de calidad del agua de acuerdo al BMWP/Méx.



<p>Familia Aeshnidae</p> 	<p>Prementón y lóbulos papales del labio aplanados o casi aplanados, sin setas mentonianas y generalmente sin setas palpales, lígula sin hendidura media; antena delgada, con 6 a 7 segmentos; tarso anterior y medio con tres segmentos (Álvarez-Arango, 2005).</p>	
--	--	---


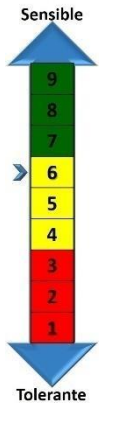
<p>Familia Leptoceridae</p> 	<p>Metanoto y a veces el mesonoto completamente membranosos o parcialmente esclerotizados, con varios pares de escleritos pequeños; patas posteriores mucho más largas que los otros dos pares; construyen casas portátiles tubulares de diversos materiales como arena, vegetal, seda o combinadas (Álvarez-Arango, 2005).</p>	 <p>Sensible</p> <p>Tolerante</p>
---	---	--


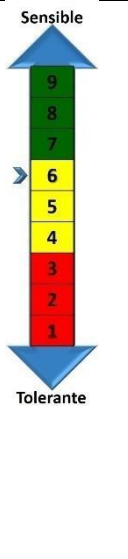
<p>Familia Odontoceridae</p> 	<p>Las larvas son omnívoras y viven en quebradas, en áreas de la orilla con corriente lenta o en pozas; algunas se entierran en el fondo arenoso y unas pocas están asociadas con cascadas y cataratas. A pesar de su poca diversidad, la familia Odontoceridae está ampliamente distribuida a nivel mundial y <i>Contulma</i> ha sido registrada desde México hasta Panamá y en el Caribe, aunque es más diversa en América del Sur (Flint <i>et al.</i> 1999)</p>	 <p>Sensible</p> <p>Tolerante</p>
---	---	---


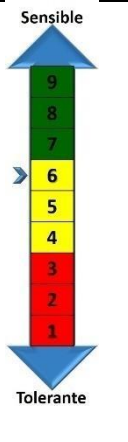
<p>Familia Hydrobiosidae</p> 	<p>Tibia, tarso y uña de las patas anteriores modificados y fuertemente articulados al fémur, éste con una quela; noveno segmento abdominal con un esclerito dorsal de color oscuro, son larvas de vida libre (Álvarez-Arango, 2005).</p>	
--	---	---


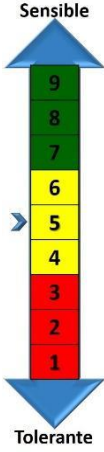
<p>Familia Gomphidae</p> 	<p>Prementón y lóbulos papales del labio aplanados o casi aplanados, sin setas mentonianas y generalmente sin setas palpales, lígula sin hendidura media; antena con cuatro segmentos; el tarso anterior y medio con dos segmentos (Álvarez-Arango, 2005).</p>	
---	--	--



<p>Familia Lestidae</p> 	<p>Lóbulo medio del labio con una hendidura cerrada; prementón peciolado y en forma de cuchara, con la parte proximal más estrecha, tan larga o más larga que la parte distal expandida; gancho móvil de cada lóbulo papal con 2 a 3 setas (Álvarez-Arango, 2005).</p>	
---	--	---



<p>Familia Libellulidae</p> 	<p>Los libelúlidos son la familia de Anisoptera más grande, común y fácil de encontrar en el país. Las ninfas son variadas, pero siempre poseen el labio con forma de cuchara; se pueden separar de los Cordulegastridae por no tener las crenulaciones del palpo labial tan profundas. La familia se divide en tres subfamilias, Macromiinae, Corduliinae y Libellulinae (Ramírez, 2010).</p>	
---	--	---



<p>Familia Polycentropodidae</p> 	<p>Las larvas son constructoras de refugios fijos, forman amplias redes de hilos de seda en áreas de poca corriente o tubitos de seda debajo de rocas en ríos. Sus patrones de manchas en la cabeza las distinguen de casi todas demás larvas de tricópteros del país; solamente Atopsyche (Hydrobiosidae) posee patrones parecidos en la cabeza, sin embargo, estos últimos son fácilmente distinguibles por su primer par de patas en forma de pinzas (Springer, 2010).</p>	
---	---	--


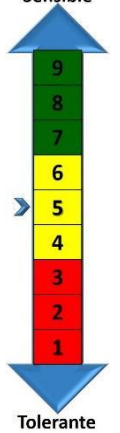
<p>Familia Corydalidae</p> 	<p>Poseen ocho pares de apéndices abdominales laterales no segmentados o imperfectamente y un par de propatas anales (Álvarez-Arango, 2005).</p>	
--	--	---


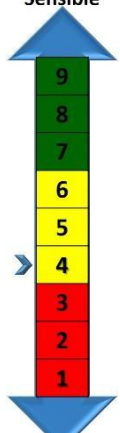
<p>Familia Baetidae</p> 	<p>Las venas intercalares en las alas de los adultos de Baetidae distinguen a esta familia de las otras efímeras adultas en América Central. Las ninfas se pueden reconocer fácilmente por sus cuerpos delgados y branquias como láminas. Estas son variables, pero a menudo son láminas sencillas en los segmentos abdominales 1-7 o 2-7; el género común Baetodes tiene las branquias que se dirigen hacia abajo sobre los segmentos 1-5. Algunas especies de la familia Leptophlebiidae se parecen a Baetidae, aunque dichas especies tienen las branquias bifurcadas (Flowers y De la Rosa, 2010).</p>	
---	--	---


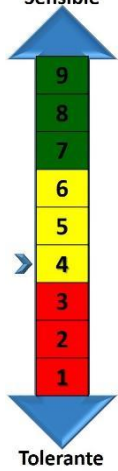
<p>Clase Turbellaria</p> 	<p>Las planarias tríciladas viven en agua dulce, pero también las hay marinas. Numerosas especies se han adaptado a tierra firme, siempre en lugares húmedos y algunas alcanzan gran tamaño (hasta 60 cm) (MMAyA, 2012).</p>	
--	--	---


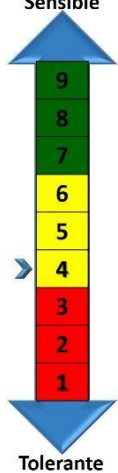
<p>Familia Armadillididae (Crustacea)</p> 	<p>Anténulas triarticuladas, antenas con flagellum de dos artejos, placa frontal proyectada de forma triangular, con par de procesos semiredondeados con surcos sobre los cuales reposan las partes basales de las antenas cuando el animal se congloba, y partes terminales de las antenas quedan expuestas (conglobación exoantenal), urópodos con exopoditos en forma de placa, anchas, aplanadas y truncadas, cuyo borde posterior forma parte del contorno general del cuerpo, pleotelson reducido, semitriangular truncado posteriormente cuyo borde forma parte del contorno marginal del cuerpo (Van Name, 1942).</p>	<p>Sensible</p>  <p>Tolerante</p>
---	---	--


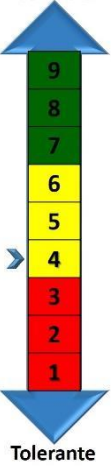
<p>Familia Elmidae</p> 	<p>De formas ovaladas o alargadas, con la superficie del cuerpo brillante o pubescente; antena filiforme o claviforme con 7 a 11 segmentos o con un mazo de 5 o 6 segmentos y tienen uñas largas; coxa anterior redondeada, miden entre 1 y 9 mm (Álvarez-Arango, 2005).</p>	<p>Sensible</p>  <p>Tolerante</p>
--	--	--



<p>Familia Hydraenidae</p> 	<p>Su tamaño oscila entre 1 y 3 mm, cuerpo alargado y aplanado. Las larvas no son acuáticas, pero viven en sitios húmedos. Presentan antenas con 9 segmentos. Porción visible de la procoxa transversa a globular con el trocánter al menos parcialmente expuesto. Mesocoxas separadas por menos de 0,4 veces el ancho coxal a 1 ancho coxal, con la parte lateral de la cavidad mesocoxal abierta. Fórmula tarsal 5-5-5-50 (MMAyA, 2012).</p>	<p>Sensible</p>  <p>Tolerante</p>
--	--	--



<p>Familia Dytiscidae</p> 	<p>De forma hidrodinámica; el escutelo puede estar cubierto o expuesto; antenas con 11 segmentos largas y filiformes. Tarso de la primera y segunda patas con 4 o 5 segmentos; el cuarto segmento es muy pequeño y escondido entre los lóbulos del tercero; el último tarso puede presentar 1 o 2 uñas, cuando son dos uñas, el escutelo es grande y está expuesto (Álvarez-Arango, 2005).</p>	<p>Sensible</p>  <p>Tolerante</p>
--	--	---



<p>Familia Tipulidae</p> 	<p>Cabeza parcial o totalmente retráctil dentro del protórax; espiráculos apicales usualmente formados por 1 a 3 o 5 a 7 pares de lóbulos cortos que a menudo están bordeados con pelos (Álvarez-Arango, 2005).</p>	<p>Sensible</p>  <p>Tolerante</p>
--	---	--



<p>Familia Simuliidae</p> 	<p>Protórax con una propata ventralmente; cabeza con un par de abanicos plegables en el labrum dorsalmente; segmentos abdominales 5 a 8 notoriamente ensanchados, segmento apical terminal en un círculo radial de ganchos muy pequeños (Álvarez-Arango, 2005).</p>	<p>Sensible</p>  <p>Tolerante</p>
--	---	---

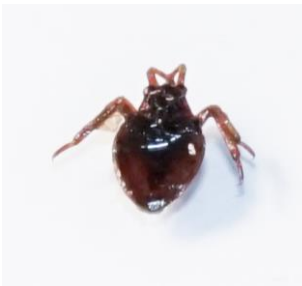

<p>Familia Corixidae</p> 	<p>Rostro triangular, muy corto, con un solo segmento, a menudo con estrías transversas. Tarsos delanteros con un solo segmento similar a una pala con setas rígidas formando una estructura similar a un rastrillo (Álvarez-Arango, 2005).</p>	<p>Sensible</p>  <p>Tolerante</p>
--	---	--


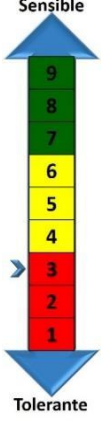
<p>Familia Gyrididae</p> 	<p>Son una familia de coleópteros adéfagos acuáticos, de 3 a 15mm de longitud. Presentan notables adaptaciones a su hábitat acuático: los ojos están subdivididos en dos mitades, una dorsal especializada en ver fuera del agua, y una ventral para ver dentro de ella; las patas, muy modificadas, constan de un par anterior largo y estrecho usado para capturar sus presas y un segundo y tercer pares reducidos, aplanados y transformados en paletas natatorias (MMAyA,2012).</p>	<p>Sensible</p>  <p>Tolerante</p>
---	--	---


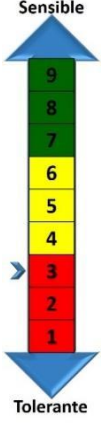
<p>Familia Coenagrionidae</p> 	<p>Son organismos que miden de 9 a 14 mm, presentan de 0 a cuatro setas palpales, poseen prementón sin setas dorsales largas. Presentan tres agallas caudales, todos los segmentos de las antenas son aproximadamente de la misma longitud (MMAyA, 2012).</p>	<p>Sensible</p>  <p>Tolerante</p>
---	---	--


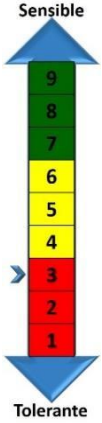
<p>Familia Notonectidae</p> 	<p>Cuerpo en forma de bote, fuertemente convexo en la parte dorsal; las últimas patas son más largas que los otros dos pares, similares a remos y las uñas se confunden con los pelos nadadores (Álvarez-Arango, 2005).</p>	<p>Sensible</p>  <p>Tolerante</p>
--	---	---


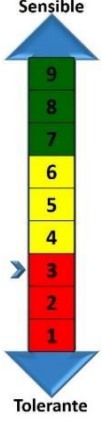

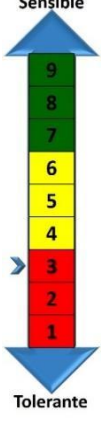
<p>Familia Calopterygidae</p> 	<p>Los calopterígidos son odonatos de tamaño mediano (45 a 60 mm), cuerpo esbelto y patas largas y finas. En su mayoría prefieren quebradas y ríos en bosque primario o poco alterado, tanto seco como húmedo (MMAyA, 2012).</p>	<p>Sensible</p>  <p>Tolerante</p>
---	--	--



<p>Familia Belostomatidae</p> 	<p>Cabeza libre, o por lo menos parcialmente fusionada con el protórax; antenas más cortas que la cabeza y ocultas bajo ésta; rostro cilíndrico y corto; ápice del abdomen con dos apéndices respiratorios retráctiles, cortos y aplanados (Álvarez-Arango, 2005).</p>	<p>Sensible</p>  <p>Tolerante</p>
--	--	---


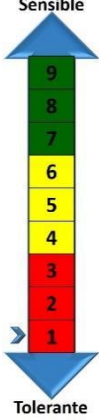
<p>Familia Lymnaeidae</p> 	<p>Estos organismos presentan una gran diversidad en cuanto a su forma, su ornamentación está en proporción al tamaño. Son especies dulceacuícolas presentan los bordes de apertura curvada, ángulo del ápice estrecho y cónico, los opérculos pueden ser multiespiral, concéntrico (MMAyA, 2012).</p>	
---	--	---



<p>Familia Physidae</p> 	<p>Se diferencian de la Familia Lymnaeidae porque la porción de su cuerpo gira hacia la izquierda (Álvarez-Arango, 2005).</p>	
--	---	--

<p>Familia Sphaeridae</p> 	<p>Son organismos moluscos bivalvos cosmopolitas de agua dulce y se los puede encontrar casi en cualquier masa de agua dulce. Se caracterizan por toda una dócil bisagra y la ausencia total de los dientes (MMAyA, 2012.)</p>	
---	--	---

<p>Familia Hydrophilidae</p> 	<p>De formas redondeadas u ovaladas; palpo maxilar tan largo o más largo que la antena. La antena tiene 7 o 9 segmentos, con los tres o cuatro segmentos terminales en forma de porra; algunos géneros tienen una espina esternal elongada y la base del tarso de todas las patas con dos espinas (Álvarez-Arango, 2005).</p>	
<p>Familia Glossiphoniidae</p> 	<p>Conocidos comúnmente como sanguijuelas, son de coloración clara, tienen manchas oculares agrupadas en medio del extremo anterior del cuerpo (Álvarez-Arango, 2005).</p>	

<p>Familia Chironomidae</p> 	<p>Protórax con dos propatas ventralmente; segmentos del cuerpo sin prominentes tubérculos dorsales ni setas (Álvarez-Arango, 2005).</p>	
---	--	---

<p>Subclase Oligochaeta</p> 	<p>Tienen cuerpo cilíndrico, sin antenas ni grandes expansiones o quetas como tienen los poliquetos (anélidos marinos) (MMyA, 2012).</p>	
---	--	---

<p>Familia Syrphidae</p> 	<p>Porción esclerotizada de la cabeza ausente; usualmente con un tubo respiratorio telescópico no dividido en el ápice del abdomen; cuerpo despuntado anteriormente (Álvarez-Arango, 2005).</p>	
---	---	--

7.6 Parámetros físicoquímicos

Los parámetros físicos determinados (pH, temperatura, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica) en los sitios de muestreo de los ríos Tizates y Amanalco con ayuda de un medidor multiparamétrico EXTECH modelo DO700, se compararon con los límites permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-2021 en su apartado de protección para la vida acuática (Tabla 17).

Tabla 17: Valores obtenidos para los parámetros fisicoquímicos en los sitios de muestreo y su comparación con la NOM-001-SEMARNAT-2021

PARÁMETRO	RÍO TIZATES				RÍO AMANALCO				NOM-001-SEMARNAT-2021
	LG	PF	PO	LA	PT	PA	SM	HI	
Temperatura (°C)	16.1	18.7	19.2	15.0	15.00	15.90	18.00	20.10	40.00
pH	7.08	7.10	7.05	7.04	7.00	7.00	7.00	6.50	NN**
Oxígeno disuelto (mg/L)	7.54	7.24	6.77	7.35	6.90	6.90	6.10	ND*	NN**
Saturación de oxígeno (%)	371	365	369	300	96.20	109.00	101.50	655.00	NN**
*ND: NO DETERMINADO					**NN: NO NORMADO				

Adicionalmente, en colaboración con el Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, se complementó el monitoreo fisicoquímico con los parámetros con ayuda del kit Lamotte para los sitios de muestreo en el río Amanalco. Con el kit se determinó temperatura, pH, oxígeno disuelto, % de saturación de oxígeno disuelto, turbidez, alcalinidad, dureza, nitratos, fosfatos; además de sólidos disueltos totales con ayuda de un medidor de lectura rápida.

Tabla 18: Valores obtenidos para los parámetros fisicoquímicos con el kit Lamotte en los sitios de muestreo y su comparación con la NOM-001-SEMARNAT-2021.

PARÁMETRO	RÍO AMANALCO				NOM-001-SEMARNAT-2021
	PT	PA	SM	HI	
Temperatura (°C)	14.25	14.25	16.50	16.50	40.00
pH	7.00	7.00	7.13	6.75	NN**
Oxígeno disuelto (mg/L)	6.25	6.60	6.10	ND*	NN**
Saturación de oxígeno (%)	65.00	63.75	63.75	ND*	NN**
Turbidez (JTU)	15.00	16.25	11.25	15.00	NN**
Alcalinidad (mg/L)	60.00	58.75	51.25	216.25	NN**
Dureza (mg/L)	30.00	37.50	32.50	100.00	NN**
Nitratos (mg/L)	2.60	2.70	2.65	0.03	NN**
Fosfatos (mg/L)	0.30	0.20	0.30	6.00	NN**
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	45.00	53.25	51.00	278.00	NN**
*ND: NO DETERMINADO					**NN: NO NORMADO

Los resultados obtenidos en ambos muestreos (multiparamétrico y kit Lamotte) y que fueron comparados con la NOM-001-SEMARNAT-2021, solo se encuentra normada la temperatura y en ambos muestreos (Tabla 17 y Tabla 18) y ríos, se encuentra dentro de los límites permisibles.

7.7 Análisis de datos

Después de obtener los valores de calidad del agua mediante la aplicación de los índices biológicos, se determinó el índice de similitud de Jaccard entre los sitios de muestreo de los dos ríos evaluados, donde se encontró que los sitios en cada río son muy parecidos como se puede apreciar en el dendograma (Figura 8). En el dendograma, se observa la separación de los sitios por río, pero el sitio LA, que pertenece al río Tizates, se separa y se agrupa con los sitios del río Amanalco, mientras que el sitio HI del río Amanalco se separa y agrupa con los sitios del río Tizates; lo anterior obedece a que de acuerdo con el índice BMWP/Méx. el río Tizates es el río más contaminado y agrupa al sitio HI por ser el sitio con menor índice de calidad del agua, y en el caso del sitio LA que perteneciendo al río Tizates, se agrupa con el río Amanalco, se debe a que el río Amanalco presenta la mejor calidad del agua y el sitio LA es el sitio con mejor calidad del agua en el río Tizates, lo que lo hace muy parecido a los sitios de muestreo del río Amanalco.

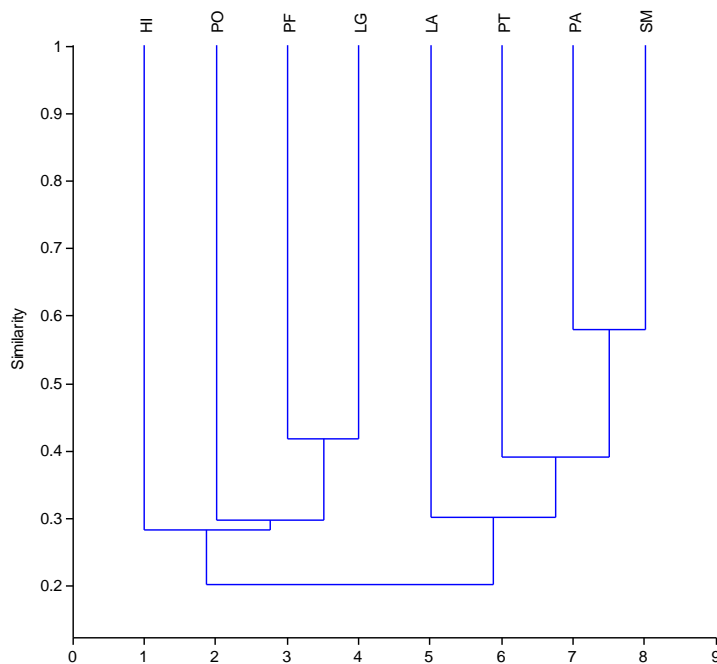


Figura 8: Dendograma que muestra la similitud entre los sitios de muestreo de los ríos Amanalco y Tizates.

Después de determinar el índice de similitud de Jaccard, se realizó un análisis de correspondencia canónica, para encontrar la posible relación entre los parámetros fisicoquímicos y las familias de macroinvertebrados acuáticos, además de cómo pudieran estar afectando en su distribución. En el análisis, se encontró que las familias Lampyridae, Calamoceratidae y Tipulidae están siendo influenciadas por la concentración de oxígeno disuelto, mientras que las familias Armadillidiidae, Gyrinidae, Dytiscidae y Belostomatidae, obedecen su distribución al parámetro de la temperatura (Figura 9); sin embargo, se deben hacer más estudios para corroborar si la distribución obedece a un aumento o disminución de las poblaciones de macroinvertebrados acuáticos.

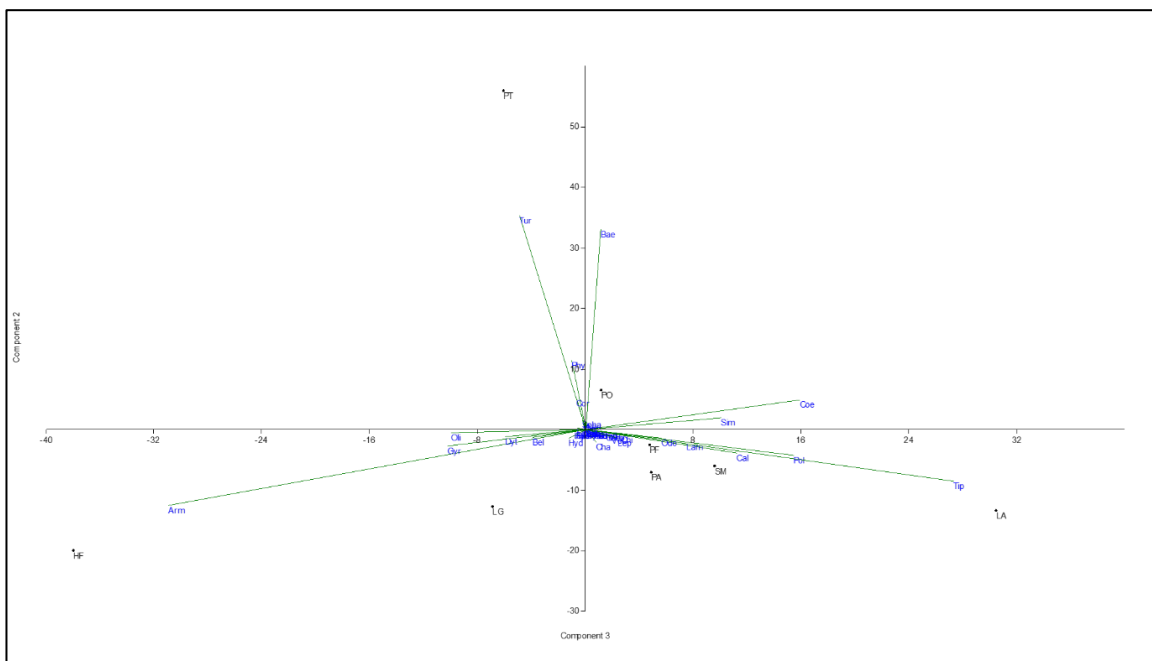


Figura 9: Análisis de Correspondencia Canónica que muestra la posible relación entre los parámetros fisicoquímicos y las familias de macroinvertebrados acuáticos encontradas en los ríos Tizates y Amanalco.

7.8 Cambio de uso de suelo en la cuenca Valle de Bravo-Amanalco (2000-2021)

Es evidente, que con el paso del tiempo se presenten cambios en el uso de suelo que pueden ser significativos. En el caso de la cuenca Valle de Bravo Amanalco, los cambios que se

observan entre el año 2000 y 2021 son significativos, si se toma en cuenta la superficie de la misma.

En el año 2000, y de acuerdo al análisis de uso de suelo realizado en Terrset, muestra que, de las casi 62000 hectáreas que posee la cuenca, el área boscosa abarcaba 24323 hectáreas, la zona agrícola, 15477 hectáreas; el área urbana, 6577 hectáreas; los cuerpos de agua, casi 1767 hectáreas; mientras que el suelo descubierto 13543 hectáreas (Figura 10)

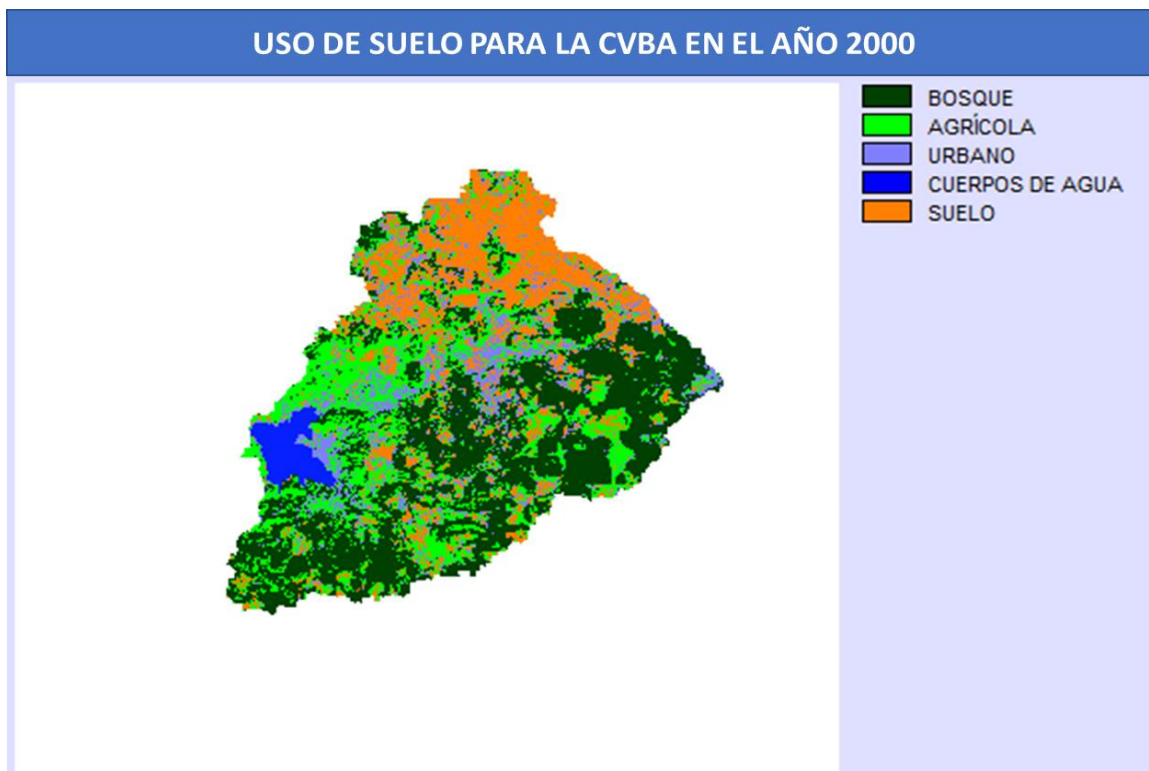


Figura 10: Uso de suelo dentro de la cuenca Valle de Bravo-Amanalco para el año 2000.

Para el año 2021 y con respecto al uso de suelo del año 2000 en la CVBA, se puede observar que, en 21 años, lo que más ha disminuido su superficie es el área agrícola. pasando de 15477 hectáreas a 11597 hectáreas, seguido por el bosque y finalmente los cuerpos de agua, con 207 y 198 hectáreas menos, respectivamente; mientras que el área urbana es la que más ha crecido en la cuenca pasando de 6577 hectáreas en el año 2000 a 12376 hectáreas para 2021 (Figura 11) (Tabla 19).

Tabla 19: Cambios en la superficie de uso de suelo dentro de la cuenca Valle de Bravo-Amanalco entre los años 2000 y 2021.

Uso de suelo	Superficie en 2000 (Has)	Superficie en 2021 (Has)	Diferencia (Has.)
Bosque	24323.04	24116.76	206.28 (-)
Agrícola	15477.93	11597.67	3880.26 (-)
Urbano	6577.83	11376.45	4798.62 (+)
Agua	1766.97	1568.25	198.72 (-)
Suelo	13543.2	13029.84	513.36 (-)

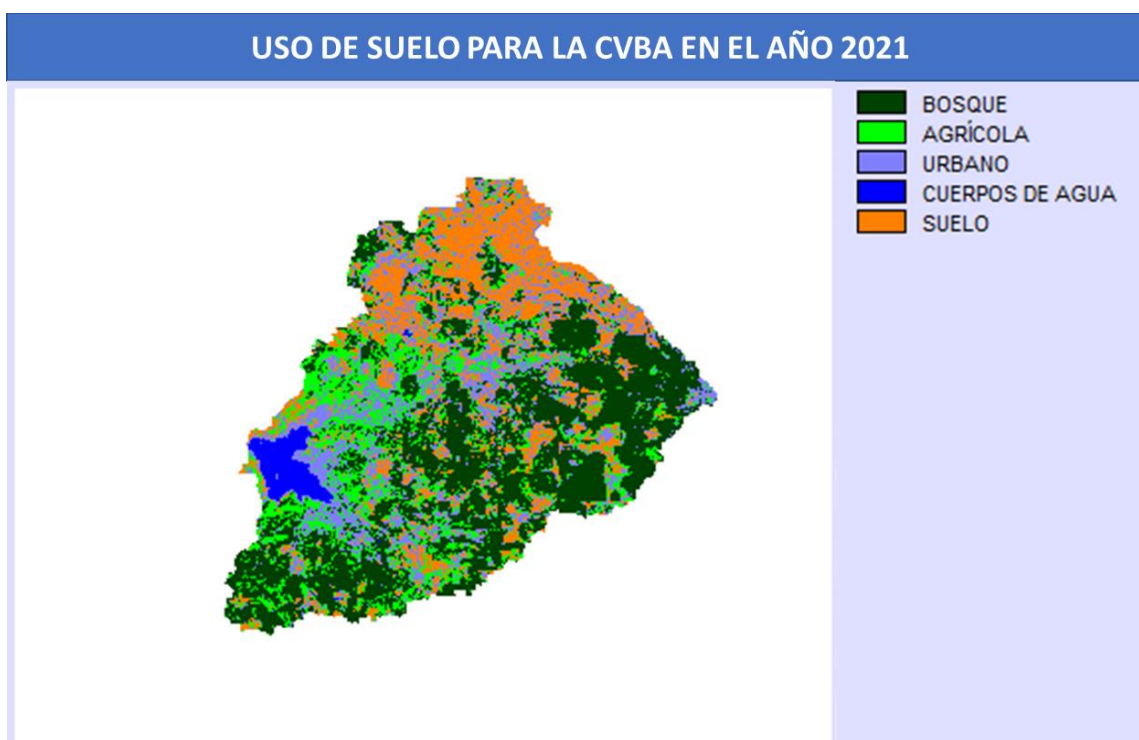


Figura 11: Uso de suelo dentro de la cuenca Valle de Bravo-Amanalco para el año 2021.

Es importante mencionar que la superficie de suelo desnudo dentro de la cuenca, en recorridos previos, se ha observado que corresponde a zonas erosionadas o a tierras de cultivo abandonadas.

7.9 Gestión del agua en la cuenca Valle de Bravo-Amanalco y sus efectos en las condiciones ambientales en los ríos Amanalco y Tizates

7.9.1 Entorno social

Con sus 61548.47 hectáreas, la cuenca Valle de Bravo-Amanalco abarca ocho municipios, de los cuales, en su totalidad el municipio de Amanalco y la mayor parte de Valle de Bravo. La población de los municipios que integran la cuenca para el censo de población y vivienda de 2010 del INEGI, es de 103 120 habitantes, de los cuales 50636 son hombres y 52484 mujeres (IMTA 2012).

A continuación, se hace una descripción de los aspectos socioeconómicos dentro de la cuenca Valle de Bravo-Amanalco.

De acuerdo con el censo poblacional de 2020, Amanalco cuenta con 23675 habitantes de los cuales 12141 son mujeres y 11534 son hombres. Para el caso de Valle de Bravo, la población registrada para el censo de población de 2020 es de 61590 habitantes, siendo 31514 mujeres y 30076 hombres (INEGI, 2021).

La población indígena en la cuenca representa al 3.16%, concentrándose en su parte rural. La subcuenca cerrada San Simón tiene una población indígena que representa el 28.25%, ubicados todos en la parte rural. La población indígena en la cuenca constituye el 10.48% del total, en su parte rural alcanza hasta el 13.79% y en la urbana el 1.92%, lo cual indica que hay movimiento migratorio de los indígenas hacia la ciudad de la cuenca, aunque aún no es considerable (SEMARNAT, *et al.* 2005).

El 83.64% de la población indígena habla español y su idioma materno mazahua u otomí, en tanto que el 12.56% sólo habla el idioma indígena. De las 95 localidades de la cuenca total, en 40 la totalidad de la población es mestiza y en 55 tiene alguna composición indígena en diferentes magnitudes. En 38 localidades hay de 1 a 383 habitantes indígenas que representan proporciones del 0.10% al 8.89% del total de sus respectivas poblaciones totales (SEMARNAT, *et al.* 2005).

Por otro lado, y de acuerdo al concepto de cuenca hidrosocial, Bernal (2017) menciona que dentro de la población de la cuenca Valle de Bravo Amanalco, se identificaron los

siguientes actores: el Estado, el campesinado, los grupos étnicos, las cooperativas, además, del actor empresarial que controla el agua para actividades económicas.

A los actores antes mencionados, se identificaron a las sociedades no gubernamentales que apoyan en la gestión del agua en la CVBA y que fueron entrevistadas para conocer las condiciones actuales de la gestión del agua en la cuenca.

Se entrevistó a personal del Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible y al Fondo PROCUENCA. De dichas entrevistas se pudo observar que en la gestión del agua existen problemas que la dificultan, entre los que destacan:

- Diferencias importantes entre gobernanza (pueblo) y gobernabilidad (instituciones)
- Falta de integridad
- Falta de organización
- Intereses particulares
- Falta de responsabilidad
- No trabajo en equipo
- No trabajo colaborativo entre sectores

Los anteriores problemas, es de vital importancia atenderlos ya que actualmente, los usuarios del agua son más y el recurso es menor y este problema tiende a agravarse día a día.

7.9.2 ¿Cuáles son las causas de las condiciones ambientales en los ríos Amanalco y Tizates?

Después de haber obtenido el índice de calidad del agua de los sitios muestreados en los ríos Tizates y Amanalco, es indiscutible que ambos presentan determinadas concentraciones de contaminantes en general. De estos dos ríos el que mayor concentración de contaminantes posee, de acuerdo a los macroinvertebrados acuáticos encontrados y por los avistamientos realizados en las observaciones de campo, es el río Tizates.

Entre las causas de podrían jugar un papel importante en las condiciones ambientales del río Tizates, así como de toda la cuenca en general y que se observaron en campo son

principalmente, que la zona donde se ubican los ríos el río y su microcuenca cuenta con infraestructura adecuada para la recolección y bombeo de las aguas residuales hacia las plantas de tratamiento de aguas residuales, de las cuales, se encuentran un total de 17 en toda la cuenca (tabla 20) (Figura 12), pero que son instalaciones inoperantes y en el abandono total, o en el mejor de los casos, si funcionan, lo hacen por debajo de su capacidad. Tal es el caso de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Valle de Bravo, diseñada para tratar 150 litros por segundo, pero que en la actualidad sólo trata alrededor de 90 litros.

Tabla 20: Lista de plantas de tratamiento de aguas residuales en la cuenca Valle de Bravo-Amanalco (Elaborado con base en información recabada por el CCMSS).

NO.	NOMBRE	MUNICIPIO	COORDENADAS UTM		CAPACIDAD (lps)
			X	Y	
1	Planta de Tratamiento Velo de Novia	Valle de Bravo	380028.3294	2119611.636	5.0
2	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales El Araco	Valle de Bravo	382110.1927	2125720.43	150.0
3	Planta de Tratamiento Rastro Valle de Bravo	Valle de Bravo	383231.7692	2127272.475	0.5
4	Planta de Tratamiento TESVB I	Valle de Bravo	380384.0973	2124007.276	1.0
5	Planta de Tratamiento TESVB II	Valle de Bravo	380384.0973	2124007.276	1.0
6	Fosa séptica San Francisco Mihualtepec	Donato Guerra	384018.0512	2127661.89	1.5
7	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Amanalco	Amanalco	390784.2363	2129299.6	18.0
8	Planta de Tratamiento Rastro Amanalco	Amanalco	393110.1622	2129176.704	0.5
9	Planta de Tratamiento San Simón de la Laguna I	Donato Guerra	387551.1849	2132402.006	1.7
10	Planta de Tratamiento San Simón de la Laguna II	Donato Guerra	386985.3178	2133416.915	4.0
11	Planta de Tratamiento San Antonio de la Laguna	Donato Guerra	387496.8534	2133530.573	5.0
12	Planta de Tratamiento Ranchería de San Antonio Hidalgo	Donato Guerra	385401.7601	2117192.056	0.6
13	Planta de Tratamiento Ranchería de San Martín Obispo	Donato Guerra	385196.7601	2136749.786	1.6
14	Planta de Tratamiento San Martín Obispo	Donato Guerra	386529.3889	2136463.207	3.0
15	RAFA y Humedal Valle de Bravo	Valle de Bravo	381541.6074	2121312.028	*
16	PTAR Hospital IMSS	Amanalco	393657.7385	2129554.693	*
17	Humedal Hospital IMSS	Amanalco	393627.9242	2129548.104	*

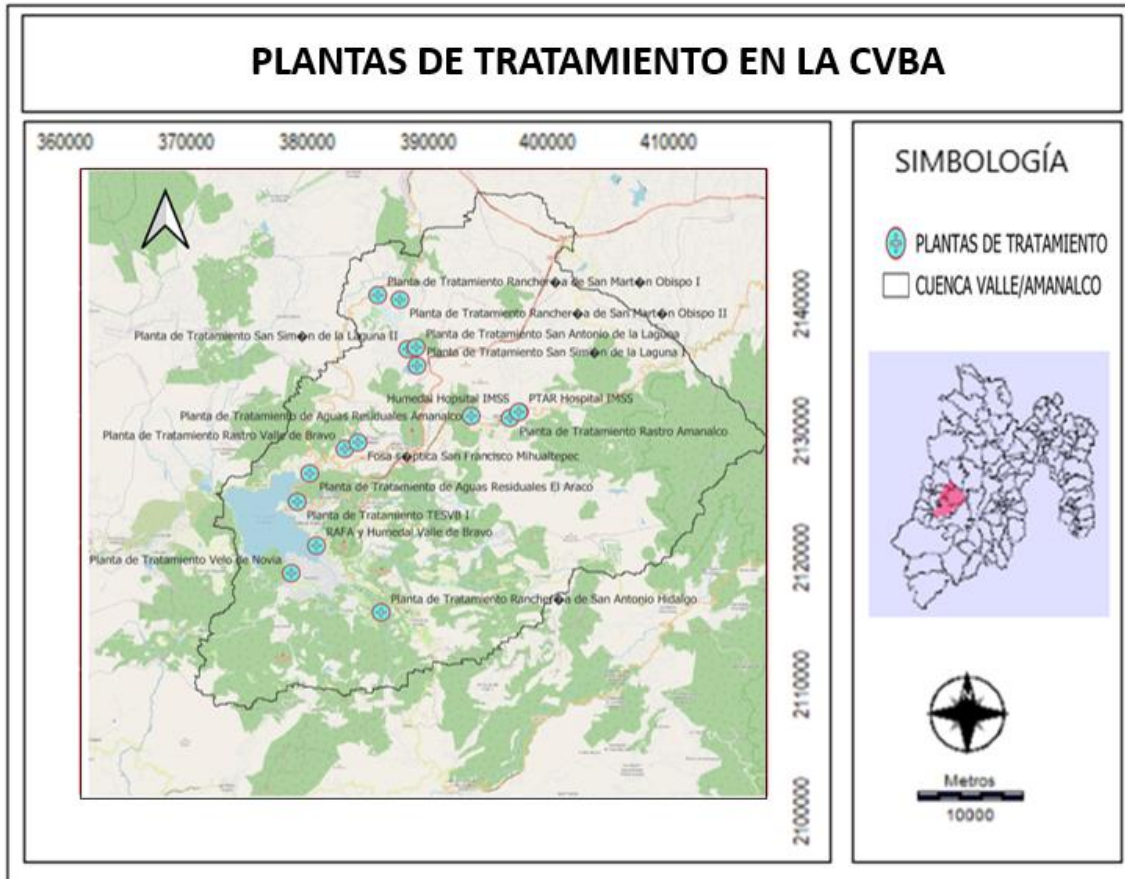


Figura 12: Distribución de las plantas de tratamiento de aguas en la cuenca Valle de Bravo Amanalco (CVBA).

En el caso de los cárcamos de bombeo, existen siete funcionales (tabla 21) (Figura 13) y al menos dos abandonados (Figura 14a) en toda la cabecera municipal de Valle de Bravo, el problema con éstos, radica en que no tienen la capacidad o infraestructura suficiente para recolectar y bombear el 100% de las aguas residuales domésticas del municipio, parte de las cuales termina siendo descargada directamente al río (Figura 14b).

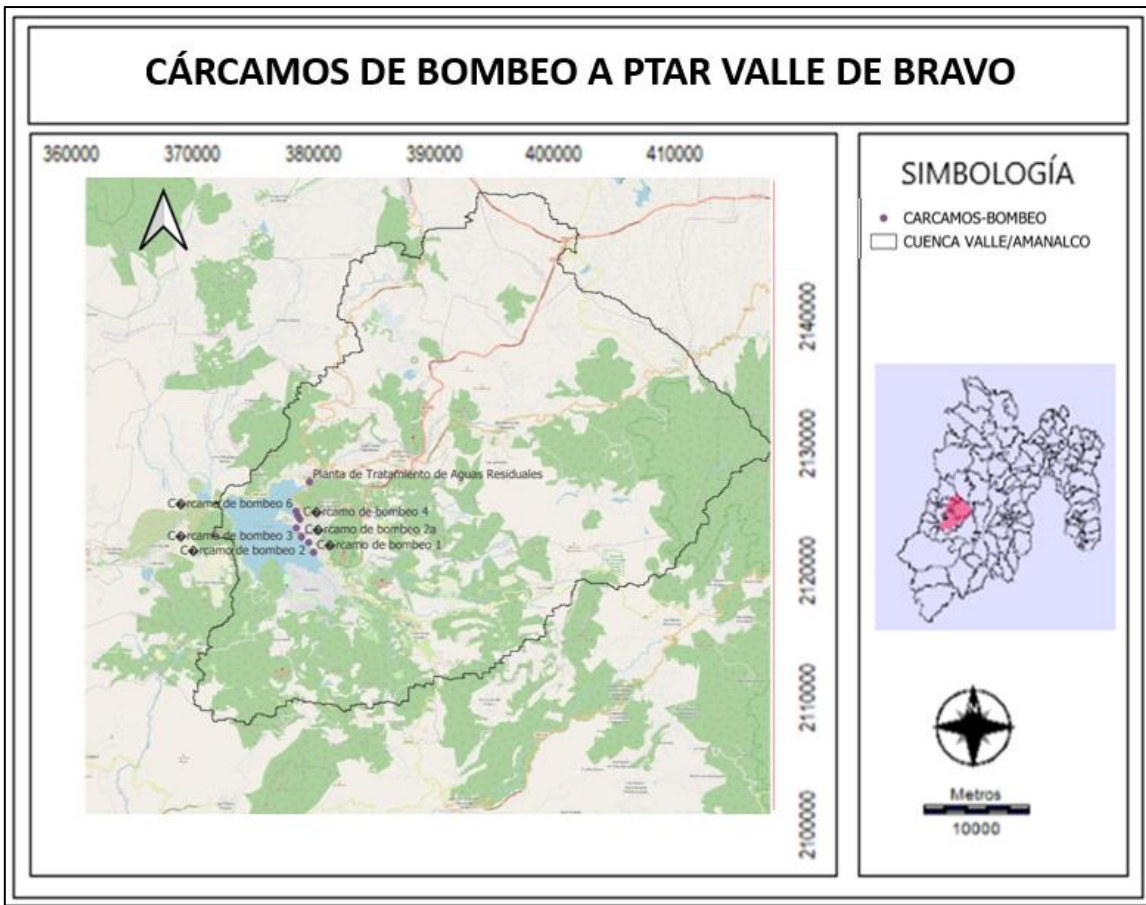


Figura 13: Ubicación geográfica de los cárcamos de bombeo que alimentan a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Valle de Bravo.



Figura 14: Infraestructura de recolección y bombeo de aguas residuales: a) Colector residual de Tres Puentes y b) Cárcamo de Bombeo No. 1 de CONAGUA.

Tabla 21: Lista de cárcamos de bombeo de aguas residuales en Valle de Bravo, México.

NOMBRE	COORDENADAS	
	X	Y
1. Cárcamo de bombeo 1	381368.8865	2121551.048
2. Cárcamo de bombeo 2	381094.0567	2122141.237
3. Cárcamo de bombeo 2a	380659.2197	2122468.089
4. Cárcamo de bombeo 3	380358.0367	2123016.581
5. Cárcamo de bombeo 4	380565.0372	2123529.084
6. Cárcamo de bombeo 5	380426.2158	2123749.564
7. Cárcamo de bombeo 6	380348.0973	2124007.276

Otro aspecto importante, es la situación de la red de drenaje que se encuentra en muy malas condiciones (Figura 15a y 25b), donde se pueden apreciar fugas o los registros que en épocas de lluvias se derraman las aguas residuales mezcladas con lluvia al superar el nivel de inclinación de la red de drenaje (Figura 15c).



Figura 15: Condiciones actuales de la red de drenaje municipal de Valle de Bravo a lo largo del cauce del río Tizates.

Además de lo anterior, también se referenciaron 19 descargas de aguas residuales domésticas que llegan directamente al río, aún, cuando la red de drenaje se encuentra a escaso metros de distancia (Figura 16). Estas descargas aportan gran cantidad de contaminantes, entre los cuales destacan un excedente de coliformes fecales (hasta 3 o 4 veces por encima de los límites permisibles de acuerdo con Stain, 2021) que pueden

desarrollar diferentes efectos tanto a la flora y fauna como a la población si entra en contacto con el agua de este río.

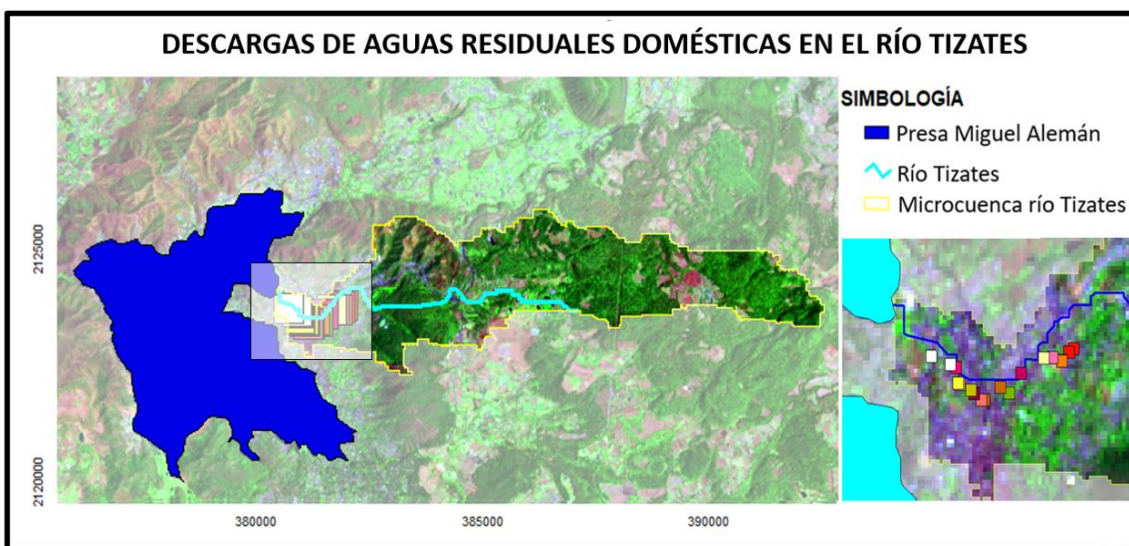


Figura 16: Ubicación geográfica de las descargas de aguas residuales directamente al río Tizates.

Finalmente, aunque no menos importante, se tiene el problema de la educación ambiental y no, no es que no haya educadores ambientales, sino que el problema radica en la apatía social de toda la población. Lo anterior se puede visualizar durante el trayecto del río, donde se pueden observar depósitos de basura que proviene de las casa-habitación que colindan con el río (Figura 17a) y la falta de conciencia para decidir no conectarse a la red de drenaje, prefiriendo depositar las aguas residuales directamente en el río (Figura 17b).



Figura 17: Actividades que favorecen la contaminación de las aguas del río Tizates en Valle de Bravo, México: a) mala disposición de residuos sólidos y b) descargas de drenaje clandestinas hacia el río Tizates.

Además, mediante recorridos de campo se detectaron actividades o negocios que pueden aportar concentraciones importantes de diversas sustancias que afectan la calidad del agua, tales como las talacheras, los talleres mecánicos, gasolineras y gaseras:

Las talacheras se convierten en problema ambiental cuando en materia de reciclaje, las entidades carecen de políticas y no motivan por lo que se queman, trituran o depositan en tiraderos. Además de que al quemarlas genera emisiones de gases como CO₂, butano, con partículas nocivas (Figura 18).

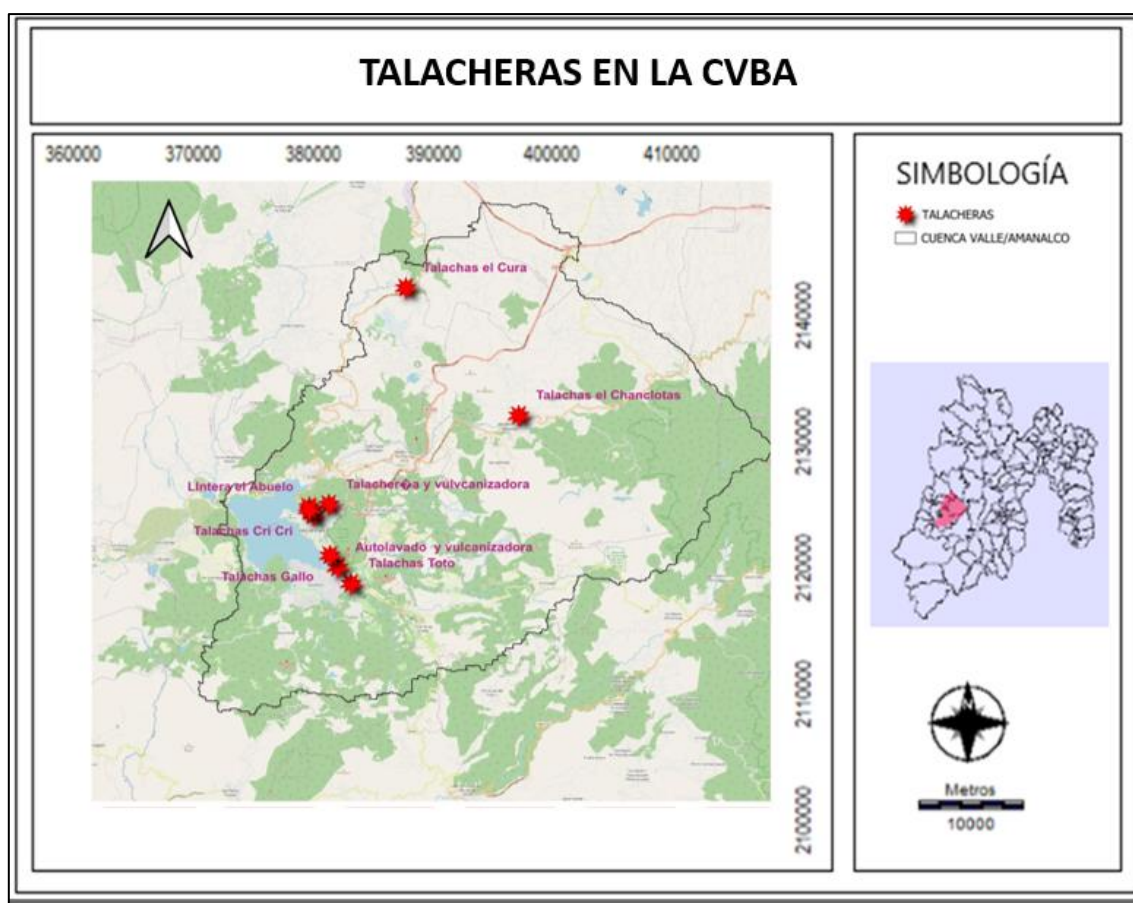


Figura 18: Distribución de las talacheras en la Cuenca Valle de Bravo-Amanalco

Las actividades de un taller ocasionan impactos relacionados con el uso de recursos naturales, contaminación de aguas por vertimientos de productos químicos, emisiones y generación de residuos y afectan aire, agua, suelo, paisaje, flora y fauna y comunidades vecinas (Figura 19).

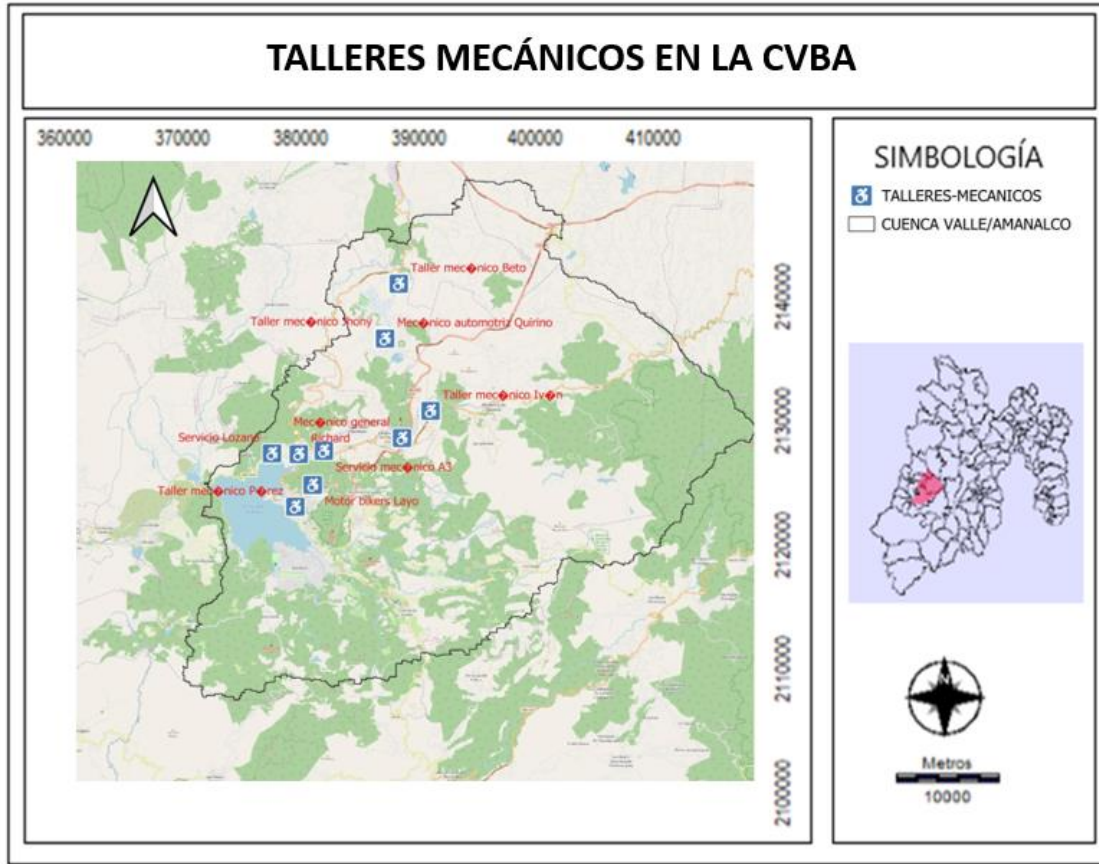


Figura 19: Distribución de talleres mecánicos en la Cuenca Valle de Bravo-Amanalco

En el caso de las gasolineras y lo relacionado a los derivados del petróleo, afectan mediante la combustión de combustibles fósiles que libera gran cantidad de óxidos de azufre y nitrógeno que reaccionan con gases de la atmósfera, y precipitan en forma de ácidos (sulfúrico y nítrico) incrementando la acidificación de agua en general (Figura 20).

Finalmente, las gaseras y el gas natural son una fuente principal del metano. El metano es un gas de invernadero potente que atrapa más calor que el dióxido de carbono. El metano contribuye al cambio climático y al empeoramiento de la calidad del aire (Figura 21).

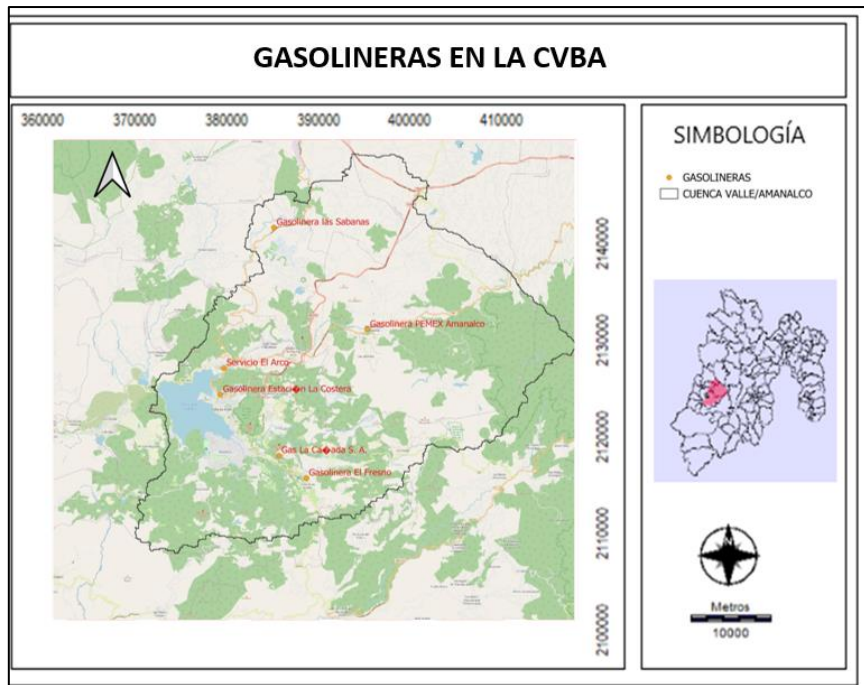


Figura 20: Distribución de las gasolineras en la Cuenca Valle de Bravo-Amanalco

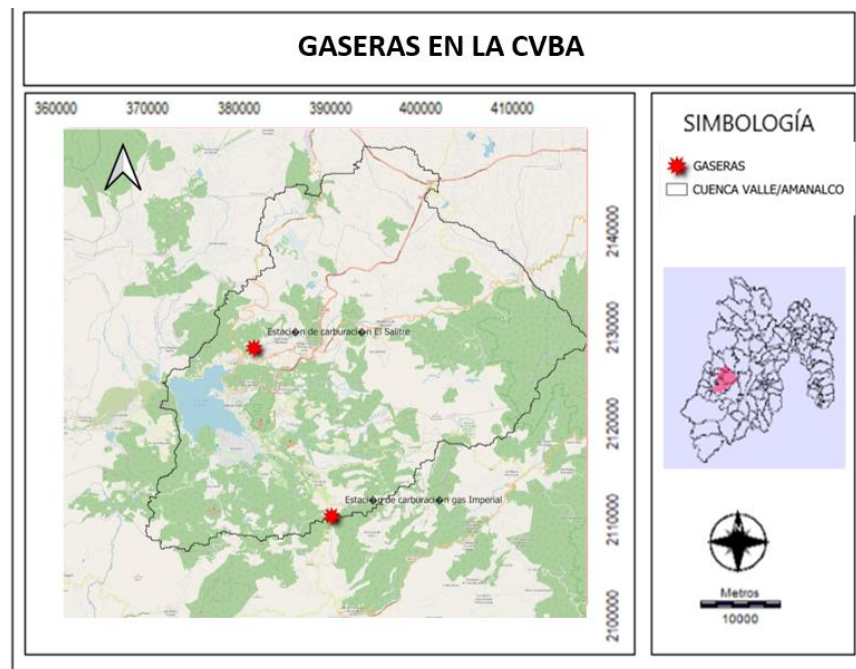


Figura 21: Distribución de gaseras en la Cuenca Valle de Bravo-Amanalco

8. CONCLUSIONES

A medida que las condiciones ambientales son favorables y la contaminación del agua se reduce, aumenta el número de los taxa y disminuye el número de organismos; Los macroinvertebrados como bioindicadores proveen información de la calidad del agua y la presencia de la contaminación que se relaciona directamente con los órdenes encontrados.

Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos y sus índices pueden ser aceptados para determinar las condiciones ambientales de los ríos.

El río más contaminado, fue el río tizates, y lo explican los valores de los índices bióticos calculados, así como la presencia de macroinvertebrados como al caso de la familia Chironomidae, explicando su presencia respecto al cantidad de descargas de aguas residuales descargadas al río y la afinidad de la familia hacia estas condiciones.

En el análisis, se encontró que las familias Lampyridae, Calamoceratidae y Tipulidae están siendo influenciadas por la concentración de oxígeno disuelto, mientras que las familias Armadillidiidae, Gyrinidae, Dytiscidae y Belostomatidae, obedecen su distribución al parámetro de la temperatura.

La agricultura es una de las actividades que más contribuye a la contaminación hídrica en la medida en que libera contaminantes y sedimentos en las aguas superficiales y subterráneas.

El cambio de uso de suelo juega un papel importante en la contaminación de los recursos hídricos principalmente por las actividades antrópicas que se llevan a cabo dentro de la cuenca, entre ellas la agricultura principalmente.

9. APORTES Y ALCANCES

Además de los resultados obtenidos en la presente investigación, se alcanzaron logros que no estaban previstos en un inicio, los cuales se describen a continuación:

- Se publicó el artículo CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO AMANALCO, ESTADO DE MÉXICO, BASADO EN ENSAMBLAJES DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS en julio del 2022.
- Se recibió la invitación para impartir una conferencia en la Universidad Técnica de Cotopaxi en Ecuador.
- Colaboramos con el Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura sostenible para colaborar en el monitoreo de calidad del agua en la cuenca Valle de Bravo-Amanalco y otras cuencas del Balsas.
- Se impartieron talleres de monitoreo de calidad del agua a jóvenes de escuelas preparatorias del Estado de México.
- Se participó en el primer festival cultural Nu Deje Cultura y Naturaleza Viva, Amanalco, 2023 con el taller de bichos dirigido a niños en edad preescolar.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar-Ibarra, A. 2005. Los peces como indicadores de la calidad ecológica del agua. *Revista Digital Universitaria* Volumen 6. Número 8. ISSN: 1067-6079. UNAM. México. 14 pág. En: http://www.revista.unam.mx/vol.6/num8/art78/ago_art78.pdf
- Alonso-Duré, J. A. (2018). Índice multimétrico basado en macroinvertebrados acuáticos para evaluar la calidad de las aguas en arroyos del sur del Departamento de Itapúa. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Itapúa. Paraguay. 208 p.
- Álvarez-Arango, 2005. Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Colombia. 263 pp.
- Ariza, C. P. (2016). Determinación de la calidad del agua a través de la identificación de macroinvertebrados acuáticos en la microcuenca Arroyo la Quebrada, Departamento de la Guajira, Colombia. *Scientific Intenational Journal*. Vol. 13 No. 2
- Armitage, P. D., Moss D., Wright J. F. y Furse M. T. 1983. The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Wat. Res.* 17(3): 333-347.
- Armitage, P. D., Moss D., Wright J. F. y Furse M. T. 1983. The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Wat. Res.* 17(3): 333-347. *En*: Baptista, D., Buss, D., Egler, M., Giovanelli, A., Silveira, M. y Nessimian, J. (2007). A multimetric index based on benthic macroinvertebrates for evaluation of Atlantic Forest streams at Rio de Janeiro State, Brazil. *Hydrobiologia*. 575. 83-94. 10.1007/s10750-006-0286-x.
- Arroyo, C. y Encalada, A. (2009). Evaluación de la calidad de agua a través de macroinvertebrados bentónicos e índices biológicos en ríos tropicales en bosque de neblina montano. *Avances en Ciencias e Ingeniería*. 1. 10.18272/aci.v1i1.4.

- Ayala-Ramírez, S., Reinoso-González, W. A., Calderón-Rivera, D. S., Jaramillo-Londoño, A. M., y Mesa-Fernández, D. J. (2019). Determinación de la calidad del agua del río Frío (Cundinamarca, Colombia) a partir de macroinvertebrados bentónicos. *Avances Investigación En Ingeniería*, 16(1), 2019 49–65. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.5191>
- Barbour, M. T., Gerritsen, J., Zinder B. D. y Stribling, J. B. 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish. 2ª. EPA 841-B41-99-002. Office of water. Wahsington, D. C.
- Brown, R.L. 2003. Salvar el planeta, Barcelona, Paidós.
- Cairns, J. y Dickson, K. L. 1971. A simple method for the biological assessment of the effects of the wáter discharges on aquatic bottomdwelling organisms. *J. Wat. Poll. Control Fed.* 43 (5): 755-772. *En: Vázquez, G. Castro, G., González, I., Pérez, R., y Castro, T., 2006. Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. Contactos 60. UAM.X México. Pp. 41-48.*
- Cammaerts, D., Cammaerts, R., Riboux, A., & Vargas, M. (2008). Bioindicación de la calidad de los cursos de agua del valle central de Tarija (Bolivia) mediante macroinvertebrados acuáticos. *Revista Boliviana de Ecología y Conservación. Rev. Bol. Ecol. y Cons. Amb.* 22:19-40.
- Cárdenas-Castro, E., Lugo-Vargas, L., González-Acosta, J. A., y Tenjo-Morales, A. I. (2018). Aplicación del índice biótico de familias de macroinvertebrados para la caracterización del agua del Río Teusacá, afluente del Río Bogotá. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2), 587–597. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.1004>
- Carrera-Reyes, C. y Fierro-Peralbo, K. (2001). Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua. *EcoCiencia*. Quito.

- Cazorla, Dalmiro. (2017). Catálogo de Tipulomorpha (Diptera: Tipulidae-Limoniidae) de Venezuela, con el registro de *Brachypremna* spp., *Gonomyia* spp. y *Dicranomyia* spp. En el Estado Falcón. *Saber*. 29. 546-562.
- Chacón, L. O., Gutiérrez, C. J.G., Cárdenas, B. M., Massiris, C. A. 2002. Programa de Ordenamiento de la cuenca Valle de Bravo - Amanalco, Edo. México. Gobierno del Estado de México, Secretaría de Ecología. Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Geografía. *En*: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y Fundación Gonzalo Río Arronte (FGRA). 2012. Plan estratégico para la recuperación ambiental de la cuenca Amanalco-Valle de Bravo: Actualización. México. 210 pág.
- Chará-Serna, Ana M, Chará, Julián D, Zúñiga, María del Carmen, Pedraza, Gloria X, & Giraldo, Lina P. (2010). Clasificación trófica de insectos acuáticos en ocho quebradas protegidas de la ecorregión cafetera colombiana. *Universitas Scientiarum*, 15(1), 27-36.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2012. NMX-AA-159-SCFI-2012: PROTOCOLO DE MUESTREO DE MACROINVERTEBRADOS EN AGUAS CONTINENTALES PARA LA APLICACIÓN DE LA NORMA DE CAUDAL ECOLÓGICO. VERSIÓN 1.0. AGOSTO 2014. México. 32 p.
- Ferrú, Marcos y Fierro, Pablo. (2015). Estructura de macroinvertebrados acuáticos y grupos funcionales tróficos en la cuenca del río Lluta, desierto de Atacama, Arica y Parinacota. *Idesia*. 4. 47-54. 10.4067/S0718-34292015000400007.
- Figuroa, R., Valdovinos, C., Araya, E. y Parra, O. (2003). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. *Revista chilena de historia natural*, 76(2), 275-285. <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2003000200012>
- Flint, O. S., Holzenthal R.W y Harris, S.C. 1999. Catalog of the Neotropical caddisflies (Insecta: Trichoptera). Ohio Biological Survey, Ohio, EEUU. *En*: Springer, M. 2010. Trichoptera. *Revista Biológica Tropical*. *Rev. Biol. Trop.* (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) Vol. 58 (Suppl. 4):151-198.

- Flowers, R.W. y De la Rosa, C. 2010. Ephemeroptera. *Revista Biológica Tropical. Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)* Vol. 58 (Suppl. 4):63-93.
- Forcada-Gallardo, E. 2017. La gestión del agua superficial en la subcuenca del río Amanalco. Tesis de Maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 129 pp.
- Forero-Céspedes A. M., Gutiérrez C. y Reinoso-Flórez G. 2016. Composición y estructura de la familia Baetidae (Insecta: Ephemeroptera) en una cuenca andina colombiana. *Hidrobiológica* 26 (3): 459-474.
- Fusari, L., Dantas, G. y Pinho, L. (2018). Chapter 16 - Order Diptera.
- Galindo-Pérez, E. J., Chávez-Sandoval, B. E., Espinoza-Graciano, E., Flores-Martínez, M. C., Villeda-Callejas, M. P., Bhalli, J. A., Tejocote-Pérez, M., y García-Franco, F. (2017). Cave macroinvertebrates as bioindicators of water quality. *Water Technology and Sciences*, 8(5), 5-17.
- Gómez, N., Domínguez, E., Rodrigues, A. y Fernández, H. (2020). Los indicadores biológicos. Capítulo de libro *La bioindicación en el monitoreo de los sistemas fluviales de la Argentina*. 57-71.
- González del Tanago, M. y García-Jalón D. (1984). Desarrollo de un índice biológico para estimar la calidad de las aguas en la Cuenca del Duero. *Limnetica*. 1. 10.23818/limn.01.33.
- González-Zuarth, C., Vallarino, A., Pérez, J. C. y Low-Pfeng, A. 2014. Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiental. *El Colegio de la Frontera Sur*. México. 782 pág.
- Guillot-Monroy, G. 1997. Bioindicación: algunas consideraciones y reflexiones generales. En: *seminario de invertebrados acuáticos y su utilización en estudios ambientales*. Bogotá: Guadalupe. Pág.169-182.
- Gutiérrez-Fonseca, P. E. 2010. Plecoptera. *Revista Biológica Tropical. Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)* Vol. 58 (Suppl. 4):139-148.

- Gutiérrez-Fonseca, P. E., Ramírez, A. y Alonso-Rodríguez, A. 2016. Guía fotográfica de macroinvertebrados acuáticos de Puerto Rico. ResearchGate. Puerto Rico. 3 pág.
- Hart, B.T., Maher, B. y Lawrence, I. 1999. “New generation water quality guidelines for ecosystem protection”, *Freshwater Biology*, 41(2):347-359.
- Hauer, F. y Lamberty, G. (1996) *Methods in stream ecology*. Academic Press, New York, New York, USA. 674 pp.
- <https://www.portalprogramas.com/past/>.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y Fundación Gonzalo Río Arronte (FGRA). 2012. Plan estratégico para la recuperación ambiental de la cuenca Amanalco-Valle de Bravo: Actualización. México. 210 pág.
- Jiménez, R., Barnuevo, E., Timbe, B. y Astudillo, P. (2021) El uso de gremios tróficos en macroinvertebrados acuáticos como herramienta de monitoreo en los Altos Andes del Sur de Ecuador, *Neotropical Biodiversity*, 7:1, 310-317, DOI: 10.1080/23766808.2021.1953891
- Leaño, J. J. y Pérez, D. (2020). Determinación de la calidad del agua mediante el índice BMWP/Bol (bioindicadores ecológicos) del río Trancas, Municipio Entre Ríos-Tarija. *ACTA NOVA*; Vol. 9, N° 4 ISSN: 1683-0768. pp. 569 – 591.
- López-Delgado, E.O., Vásquez-Ramos, J.M. y Reinoso-Flores, G. 2015. Listado taxonómico de los tricópteros inmaduros del Departamento del Tolima. *Ciencias Naturales. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 39(150): 42-49.
- Marin-Ortega, V. 2018. Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua del río Amanalco. Tesis de maestría. CIRA-FI-UAEMéx. 113 p.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA). 2012. Guía para la Evaluación de la Calidad Acuática Mediante el Índice BMWP/Bol. Versión I. Estado Plurinacional de Bolivia. 85 p.
- Mora-Campos, M. R. y Tomay-Heras, A. A. (2022). Determinación del índice de calidad del agua mediante el monitoreo de macroinvertebrados, parámetros fisicoquímicos

- y microbiológicos en el río Sinincay, Cuenca, Ecuador. Tesis de licenciatura. Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador. 170 p.
- Motta-Díaz, A., Ortega-Corredor, L., Niño-Fernández, Y. y Aranguren-Riaño, N. (2016). GRUPOS FUNCIONALES ALIMENTICIOS DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS EN UN ARROYO TROPICAL (COLOMBIA). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 19(2), 425-433.
- Nugra-Salazar, F., E. Segovia, M. Benítez, D. Reinoso. 2016. Guía metodológica para el biomonitoreo de macroinvertebrados e ictiofauna en la Cuenca del Río Napo, Ecuador. SENAGUA, OTCA. Cuenca, Ecuador. 79 p.
- Núñez, J. C., y Fragoso-Castilla, P. (2020). Uso de macroinvertebrados acuáticos como sistema de evaluación de las lagunas de estabilización El Salguero (Colombia). *Información tecnológica*, 31(3), 277-284. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000300277>
- Ojija, F. y Laize H. Macro Invertebrates As Bio Indicators Of Water Quality In Nzovwe Stream, In Mbeya, Tanzania (2016). INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH VOLUME 5, ISSUE 06, JUNE 2016 ISSN 2277-8616 211
- Ollero, A. 2011. Alteración de los regímenes de caudales de los ríos en Fundación Santander. Manuales de Desarrollo Sostenible, 10. Recuperación de riberas. Fundación Banco Santander-SEO/BirdLife.
- Osorio-Montor, T.G. 2018. Evaluación de la calidad del agua de la subcuenca del río Temascaltepec mediante el uso de indicadores biológicos. Tesis de licenciatura. C.U. Temascaltepec, UAEMéx. 97 p.
- Oviedo-Machado, N. y Reinoso-Flórez, G. (2018). Ecological aspects of Chironomidae larvae (Diptera) of the Opia river (Tolima, Colombia). *Revista Colombiana de Entomología*. 44. 101-109. 10.25100/socolen.v44i1.6546.
- Oviedo-Machado, Néstor, y Reinoso-Flórez, Gladys. (2018). Aspectos ecológicos de larvas de Chironomidae (Diptera) del río Opia (Tolima, Colombia). *Revista*

- Peña, S. A., Bohórquez, H. A., Barrera, A. K., Salamanca, S. S., Jiménez, D. A. y Botello, W. A. (2019). Macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua en la quebrada La Calabozza (Yopal, Casanare), *Entre Ciencia e Ingeniería*, vol. 13, no. 25, pp. 14-22, enero-junio 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.31908/19098367.4010>.
- Pérez-Munguía, R., Pineda López, R., Campos-Cervantes, V. (2004). Estructura trófica de las asociaciones de macroinvertebrados acuáticos de manantiales cársticos en la Huasteca Mexicana. *Facultad de Biología. Biológicas No. 6*. Agosto de 2004. 37-47
- Pineda, R., Pérez, R., Mathuriau, C., Villalobos, J. L., Barba, R., Bernal, T., Barba, E., Salinas, S. A. 2014. Protocolo de muestreo de macroinvertebrados en aguas continentales para la aplicación de la Norma de Caudal Ecológico (NMX-AA-159-SCFI-2012). Programa Nacional de Reservas de Agua. México. 47 p.
- Pineda, R., Pérez, R., Mathuriau, C., Villalobos, J. L., Barba, R., Bernal, T., Barba, E., Salinas, S. A. 2014. Protocolo de muestreo de macroinvertebrados en aguas continentales para la aplicación de la Norma de Caudal Ecológico (NMX-AA-159-SCFI-2012). Programa Nacional de Reservas de Agua. México. 47 p.
- Posada-García, J. A. y Roldán-Pérez, G. 2003. Clave ilustrada y diversidad de las larvas de Trichoptera en el Nor-occidente de Colombia. *Caldasia* 25(1) 2003:169-192.
- Quesada-Alvarado, F., Umaña-Villalobos, G., Springer, M., y Picado-Barboza, J. 2020. Variación estacional y características fisicoquímicas e hidrológicas que influyen en los macroinvertebrados acuáticos, en un río tropical. *Revista de Biología Tropical*, 68(Supl. 2), S54-S67.
- Ramírez, A. 2010a. Capítulo 2: Métodos de recolección. *Revista de Biología Tropical*, 58 (Suppl. 4), 41-50. Retrieved October 12, 2020, from http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442010000800002&lng=en&tlng=es.

- Ramírez, A. 2010b. Odonata. *Revista Biológica Tropical. Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)* Vol. 58 (Suppl. 4):97-136.
- Rivera-Usme, J. J., Pinilla-Agudelo, G., y Camacho-Pinzón, D. L. (2013). Grupos tróficos de macroinvertebrados acuáticos en un humedal urbano andino de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 18(2), 279-292.
- Rocha, Z. E., Rodríguez, L. Ángela Cuellar, L. A., Vargas, J. L., y Díaz-Soler, X. D. (2015). Bioindicadores de la calidad del agua en áreas con restauración ecológica de la quebrada la colorada, Villa de Leyva, Boyacá. *I3+*, 2(2), 10–27. <https://doi.org/10.24267/23462329.108>
- Roldán, G. 1996. Guía para el estudio de macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquía. Presencia Ltda. Colciencias. Universidad de Antioquía. Colombia. 226 pág.
- Roldán, G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: uso del método BMWP/Col. Medellín: Universidad de Antioquia. P. 170.
- Roldan, G. 2012. Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua. Corporación Autónoma Regional de Cundamarca. ISBN: 978-958-8188-19-5. Colombia. 148 pág.
- Roldán, G. 2016. Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(155), 254-274.
- Saldaña, F. P., Sandoval, M. J. C., López, L. R. y Salcedo, S. E. (2001). Utilización de un índice de Diversidad para determinar la calidad del agua en sistemas lóticos. *Ingeniería Hidráulica en México* 16(2):57-66. En: Vázquez, G. Castro, G., González, I., Pérez, R., y Castro, T., (2006). Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. *Contactos* 60. UAM.X México. Pp. 41-48.
- Saldaña, F. P., Sandoval, M. J. C., López, L. R. y Salcedo, S. E. 2001. Utilización de un Índice de Diversidad para determinar la calidad del agua en sistemas lóticos. *Ingeniería Hidráulica en México* 16(2):57-66. En: Vázquez, G. Castro, G.,

- González, I., Pérez, R., y Castro, T., 2006. Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. *Contactos* 60. UAM.X México. Pp. 41-48.
- Secretaría de Estado de Aguas y Costas. 2000. La calidad de las aguas. En: Libro Blanco del Agua. Madrid: s.n., pp. 196-412.
- Silva, K., Everton, N. y Melo, M. (2016). Aplicación de los índices biológicos Biological Monitoring Working Party y Average Score per Taxon para evaluar la calidad del agua del río Ouricuri en el Municipio de Capanema, Estado de Pará, Brasil*. *Revista Pan-Amazônica de Saúde*. 7. 13-22. 10.5123/S2176-62232016000300002. *En: Baptista, D., Buss, D., Egler, M., Giovanelli, A., Silveira, M. y Nessimian, J. (2007). A multimetric index based on benthic macroinvertebrates for evaluation of Atlantic Forest streams at Rio de Janeiro State, Brazil. Hydrobiologia*. 575. 83-94. 10.1007/s10750-006-0286-x.
- Springer, M. 2010. Trichoptera. *Revista Biológica Tropical. Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) Vol. 58 (Suppl. 4):151-198.*
- Stain, W. 2021. Reintegrating a Water Shed: Upgrading the waste paradigms. Tesis de Licenciatura. Universidad del Medio Ambiente (UMA). 38 p.
- Temis-García, L. G. (2021). Propuesta de evaluación hidromorfológica en manantiales de la subcuenca del río Magdalena, Ciudad de México. Tesis de Licenciatura. UNAM. 81 p.
- Torrejón, E y Vargas N. (2022). Catálogo de los Chironomidae -Diptera- en el Río de Xibi-Xibi: Jujuy-Argentina /,; - 1a ed. - San Salvador de Jujuy : Universidad Nacional de Jujuy. Facultad de Ciencias Agrarias. 56 pp.
- Van Name, W. 1942. A second supplement to the American land and fresh-water isopod Crustacea. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 80, 299–329. *En: Segura, I. 2020. REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LOS ISÓPODOS TERRESTRES (CRUSTACEA: ISOPODA: ONISCIDEA) DEL NORTE DE MÉXICO. Tesis de Doctorado. Nuevo León, México. 199 p.*

- Vázquez-Silva, G., Castro, G., González, I., Pérez, R. y Castro T. 2006. Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. *Contactos* 60. UAM-X. México. pp.: 41-48.
- Velázquez, E. y Vega, M. (2004). Los peces como indicadores del estado de salud de los ecosistemas acuáticos. *CONABIO. Biodiversitas*, 57(1), 12-15. *En: Viteri-Garcés, M. I., Chalen-Medina, J. A., & Cevallos-Revelo, Z. L. (2017). Determinación de bioindicadores y protocolos de la calidad de agua en el embalse de la Central Hidroeléctrica Baba. *Domino De Las Ciencias*, 3(3), 628–646. <https://doi.org/10.23857/dc.v3i3.497>*
- Viteri-Garcés, M. I., Chalen-Medina, J. A., & Cevallos-Revelo, Z. L. (2017). Determinación de bioindicadores y protocolos de la calidad de agua en el embalse de la Central Hidroeléctrica Baba. *Domino De Las Ciencias*, 3(3), 628–646. <https://doi.org/10.23857/dc.v3i3.497>
- Walteros-Rodríguez, J. 2018. Fichas rápidas para la identificación de macroinvertebrados acuáticos. 10.13140/RG.2.3.24858.54721.

11. ANEXOS

ANEXO 1a: Lista de valores indicadores de contaminación de las familias de macroinvertebrados, empleadas por el índice Biótico BMWP (Correa, 2000).

Familias	Registro
Siphonuridae, Heptageniidae, Leptophebiidae, Ephemerellidae, Potamantidae, Ephemeridae, Taeniopterygidae, Leutridae, Capniidae, Perlodidae, Chloroperlidae, Apheloqueridae, Phryganeidae, Molannidae, Beraeidae, Odontoceridae, Leptoceridae, Goeridae, Lepidostomatidae, Brachicentridae, Sericostomatidae	10
Astacidae, Lestidae, Agriidae, Gomphidae, Cordulegasteridae, Aeshnidae, Corduliidae, Libellulidae, Psychomyiidae, Philopotamidae	8
Caenidae, Nemouridae, Rhyacophilidae, Polycentropodidae, Limnephilidae	7
Neritidae, Vivaparidae, Ancylidae, Hydroptilidae, Unionidae, Corophiidae, Gammaridae, Platycnemididae, Coenagriidae	6
Mesovelidae, Hydrometridae, Gerridae, Nepidae, Naucoridae, Notonectidae, Pleidae, Corixidae, Haliplidae, Hygrobiidae, Dytiscidae, Gyrinidae, Hydrophilidae, Clambidae, Helodidae, Dryopidae, Elminthidae, Hydropsychidae, Tipulidae, Simuliidae, Planariidae, Dendrocoelidae	5
Baetidae, Sialidae, Piscicolidae	4
Valvatidae, Hydrobiidae, Lymnaeidae, Physidae, Planorbidae, Sphaeridae, Glossiphoniidae, Hirudidae, Erpobdelidae, Asellidae	3
Chironomidae	2
Oligochaeta	1

ANEXO 1b: Clases de calidad de agua correspondientes a los rangos de valores del Índice BMWP (Correa, 2000).

Clase	Calidad	Valor	Significado
I	Buena	>150	Aguas muy limpias. No contaminadas o no alteradas de modo sensible
II	Aceptable	100-150	Evidencia de algunos efectos de contaminación
III	Dudosa	50-99	Aguas contaminadas
IV	Crítica	25-49	Aguas muy contaminadas
V	Muy crítica	<25	Aguas fuertemente contaminadas

ANEXO 2a: Lista de valores indicadores de contaminación de las familias de macroinvertebrados empleadas por el índice Biótico BMWP' (Correa, 2000).

Familias	Puntuación
Siphonuridae Heptageniidae Leptophebiidae Ephemerellidae Potamantidae Ephemeridae Taeniopterygidae Leutridae Capniidae Perlodidae Perlidae Chloroperlidae Apheloqueridae Phryganeidae Molannidae Beraeidae Odontoceridae Leptoceridae Goeridae Lepidostomatidae Brachicentridae Sericostomatidae Athericidae Blephariceridae	10
Astacidae Lestidae Calopterygidae Gomphidae Cordulegasteridae Aeshnidae Corduliidae Libellulidae Psychomyiidae Philopotamidae Glossosomatidae	8
Ephemerellidae Prosopistomatidae Nemouridae Rhyacophilidae Polycentropodidae Limnephilidae Ecnomidae	7
Neritidae Vivaparidae Ancyliidae Thiaridae Hydroptilidae Unionidae Corophiidae Gammaridae Atyidae Platycnemididae Coenagrionidae	6
Oligoneuriidae Polymitarcyidae Dryopidae Elmidae Helophoridae Hydrochidae Hydraenidae Clambidae Hydropsychidae Tipulidae Simuliidae Planariidae Dendrocoelidae Dugesidae	5
Baetidae Caenidae Haliplidae Curculionidae Chrysomelidae Tabanidae Stratiomyidae Empididae Dolichopodidae Dixidae Ceratopogonidae Anthomyidae Limoniidae Psychodidae Aciomyzidae	4

Rhagionidae Sialidae Piscicolidae Hidracarina	
Mesoveliidae Hydrometridae Gerridae Nepidae Naucoridae Pleidae Veliidae Notonectidae Corixidae Helodidae Hydrophilidae Hygrobiidae Dytiscidae Gyrinidae Valvatidae Hydrobiidae Lymnaeidae Physidae Planorbidae Bithiniidae Bythinellidae Sphaeridae Glossiphoniidae Hirudidae Erpobdellidae Asellidae Ostracoda	3
Chironomidae Culicidae Ephydriidae Thaumaleidae	2
Oligochaeta Syrphidae	1

ANEXO 2b: Clases de agua correspondientes a los rangos de valores del BMWP' adaptado para la Península Ibérica (Correa, 2000).

Clase	Calidad	Valor	Significado
I	BUENA	>150	Aguas muy limpias. No contaminadas o no alteradas de modo sensible
		101-120	
II	ACEPTABLE	61-100	Evidencia de algunos efectos de contaminación
III	DUDOSA	36-60	Aguas contaminadas
IV	CRÍTICA	16-35	Aguas muy contaminadas
V	MUY CRÍTICA	<15	Aguas fuertemente contaminadas