



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CENTRO INTERAMERICANO DE RECURSOS DEL AGUA
(CIRA)

“MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS COMO INDICADORES DE
LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO AMANALCO”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS DEL AGUA

PRESENTA:

BIÓL. VALENTIN MARIN ORTEGA

TUTORA ACADÉMICA:

DRA. MARIVEL HERNÁNDEZ TÉLLEZ

TUTORA ACADÉMICA ADJUNTA:

DRA. PETRA SÁNCHEZ NAVA



TOLUCA, MÉX., DICIEMBRE DE 2018.

“El agua es la fuerza motriz de toda la naturaleza”

Leonardo da Vinci

DEDICATORIA

A mis padres:

José Valentin y Margarita por todo su apoyo brindado desde siempre para que yo logre mis metas, por su educación, por su paciencia y sacrificios; pero sobre todo por su ejemplo para ser una mejor persona día a día. Por enseñarme el valor de la responsabilidad, el respeto, el trabajo, los amo.

A mis hermanos:

Víctor, Paulino, Rafael porque también sufrieron las carencias en casa para el cumplimiento de este gran logro. Porque forman parte de lo que soy gracias a su ejemplo, por ser muy trabajadores y responsables.

Macrina, mi única hermana gracias por todo tu apoyo tanto para mí como para nuestros padres en los momentos más difíciles que hemos pasado como familia, pero sobre todo, mientras yo luchaba por cumplir mi sueño. Gracias hermana.

A mis directores:

Dra. Marivel Hernández Téllez: por todas sus enseñanzas durante la carrera y por su apoyo en la elaboración de ésta tesis y por el cumplimiento de mi meta más grande hasta el momento.

Dra. Petra Sánchez Nava: Gracias por el apoyo brindado para esta investigación, por sus enseñanzas, sé que no fue fácil, pero se logró lo esperado.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca proporcionada para poder llevar a cabo los estudios de maestría.

A la Dra. Marivel Hernández Téllez por todo el apoyo y disposición para llevar a cabo esta investigación, por todo el apoyo brindado, por sus enseñanzas y por tomar la gran responsabilidad de apoyarme en la elaboración de la tesis para la cual hicimos un gran equipo.

Dra. Petra Sánchez Nava por su apoyo y dedicación para la realización de esta tesis, por todas sus aportaciones y paciencia brindadas.

A mis revisores Dra. Mercedes Lucero Chávez y Dr. Carlos Alberto Mastachi Loza por sus observaciones y aportaciones hechas a esta tesis, y muy especialmente a la Dra. Cristina Burrola Aguilar por sus comentarios y observaciones para la realización y culminación de esta tesis, pero sobre todo gracias por acompañarme desde mi formación como biólogo

A la Facultad de Ingeniería de la UAEMéx y especialmente al Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA) por la gran oportunidad brindada para la realización de los estudios de maestría.

A todos los profesores del Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA), que directa o indirectamente aportaron su granito de arena en esta maestría.

A la Facultad de Ciencias por su apoyo para la realización de esta tesis a través del Laboratorio de Sistemas Biosustentables a cargo de la Dra. Petra Sánchez Nava.

A mis padres y hermanos, ya que sin su apoyo este logro no se habría consolidado.

A todos mis amigos y compañeros del CIRA Lupita, Carlos, Amner, Saula, Juan y Joss por todo lo vivido durante dos años y medio y por su gran amistad. Y aunque de otras líneas también a Hilda y Enrique.

ÍNDICE

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	11
2. ANTECEDENTES.....	12
2.1 Historia de la bioindicación	12
2.2 Los indicadores biológicos	13
2.3 Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua	19
2.4 El método BMWP y la modificación para México (BMWP/Méx.)	25
3. JUSTIFICACIÓN CONTEXTUAL Y CIENTÍFICA.....	33
4. HIPÓTESIS	35
5. OBJETIVOS.....	36
6. MATERIAL Y MÉTODO	37
6.1 Área de estudio.....	37
6.2 Determinación de los sitios de muestreo	39
6.3 Toma de muestras de agua.....	39
6.4 Recolección de macroinvertebrados acuáticos	40
6.5 Trabajo de laboratorio	41
6.5.1 Identificación taxonómica de macroinvertebrados acuáticos	41
6.5.2 Determinación de parámetros fisicoquímicos	42
6.6 El Índice de Calidad del Agua para el río Amanalco	43
6.7 Análisis estadístico de datos	43
6.8 Caracterización de las actividades económicas de la cuenca del río Amanalco	44
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
7.1 Macroinvertebrados acuáticos del río Amanalco	48
7.2 El Índice Biological Monitoring Working Party para el río Amanalco.....	54
7.3 Descripción de las familias de macroinvertebrados acuáticos del río Amanalco.....	66
7.4 Parámetros fisicoquímicos	76
7.5 Análisis estadístico de datos	78
7.6 Caracterización de las actividades económicas de la cuenca del río Amanalco	81
7.6.1 Actividades económicas en la cuenca Valle de Bravo-Amanalco.....	84
8. CONCLUSIONES	101
9. RECOMENDACIONES	102
10. BIBLIOGRAFÍA	103
11.- ANEXOS.....	111

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Imágenes de diversos macroinvertebrados acuáticos: A: Fam Epheméridae (Orden Ephemeroptera, Clase Insecta). B: Fam Perlidae (Orden Plecoptera, Clase Insecta). C: Fam Cordulegastridae (Orden Odonata, Clase Insecta). D: Fam Hydropsychidae (Orden Trichoptera, Clase Insecta). F: Fam. Hydrobiidae (Clase Gastropoda). G: Fam. Erpobdellidae (Clase Irudinea). H: Clase Oligochaeta (Ladrera, <i>et al.</i> , 2013).....	18
Figura 2: Larva de la familia Heptageniidae (Orden Ephemeroptera). Estos organismos presentan un gran aplanamiento dorso-ventral que les permite vivir en zonas de elevada corriente y requiere una cierta calidad del agua para vivir (Ladrera, 2012).....	21
Figura 3: Larva de la familia Perlidae (orden plec6pteros). Esta familia requiere elevadas concentraciones de oxígeno para vivir, por lo que su presencia nos informa del buen estado del agua (Ladrera, 2012).....	22
Figura 4: Larva de la familia Aeshnidae (orden odonatos). Se trata de la larva de un tipo de libélulas que pueden alcanzar gran tamaño y que viven generalmente en aguas con poca o nula velocidad de corriente. Son voraces depredadoras y requieren cierta calidad del agua para vivir (Ladrera, 2012).....	22
Figura 5: Organismo adulto del orden Hemiptera (http://www.taxateca.com).....	23
Figura 6: Larva de la familia Gyrinidae (orden cole6pteros). Son depredadores tanto en estado larvario como adulto. Los adultos describen característicos movimientos circulares en la superficie del agua. Son capaces de vivir en aguas con diferente nivel de calidad (Ladrera, 2012).....	23
Figura 7: Larva de la familia Chironomidae (orden dípteros). Esta familia es una de las más habituales y abundantes en todo tipo de hábitats de agua dulce, capaz de adaptarse a ríos con diferentes tipos de perturbaciones, por lo que un aumento de su frecuencia relativa indica alguna perturbación en el ecosistema (Ladrera, 2012).....	24
Figura 8: Larva de la familia Sericostomatidae (orden tric6pteros), junto con su estuche, construido con granos de arena. Son buenos indicadores de la calidad del agua. (Ladrera, 2012).....	24
Figura 9: Localización del río Amanalco.....	38
Figura 10: Toma de parámetros fisicoquímicos <i>in situ</i>	39
Figura 11: Colocación contra corriente de la red tipo D.....	40
Figura 12: Identificación taxonómica de macroinvertebrados acuáticos.....	41
Figura 13: Determinación de parámetros fisicoquímicos en el Laboratorio de Calidad del Agua...	42
Figura 14: Sitios de muestreo en el río Amanalco: A) Río Chiquito; B) La Calzada; C) La Autopista; D) San Fco. Mihualtepec; E) El Salitre y F) El Arco.....	45

Figura 15: Localización de los sitios de muestreo dentro del río Amanalco.....	47
Figura 16: Gráfica de las familias más abundantes en el río Amanalco.....	50
Figura 17: Clasificación de las aguas del sitio 1 de acuerdo al puntaje del BMWP/Méx.....	55
Figura 18: Clasificación de las aguas del sitio 2 de acuerdo al puntaje del BMWP/Méx.....	56
Figura 19: Clasificación de las aguas del sitio 3 de acuerdo al puntaje del BMWP/Méx.....	57
Figura 20: Clasificación de las aguas del sitio 4 de acuerdo al puntaje del BMWP/Méx.....	58
Figura 21: Clasificación de las aguas del sitio 5 de acuerdo al puntaje del BMWP/Méx.....	58
Figura 22: Clasificación de las aguas del sitio 6 de acuerdo al puntaje del BMWP/Méx.....	59
Figura 23: Plantas del género <i>Hydrocotyle</i> en el río Amanalco.....	60
Figura 24: Resultado de la prueba de Kuskal-Wallis en el software Past.....	78
Figura 25: Diagrama que muestra la similitud entre los sitios de muestreo.....	79
Figura 26: Diagrama de Correspondencia Canónica que muestra la relación entre las familias de macroinvertebrados y los parámetros fisicoquímicos.....	80
Figura 27: Delimitación de la cuenca del río Amanalco.....	82
Figura 28: Uso de suelo para la cuenca del río Amanalco.....	83
Figura 29: Ubicación de actividades que aportan contaminantes al río Amanalco.....	89
Figura 30: Delimitación de la microcuenca del sitio 1 y sus posibles fuentes de contaminación....	92
Figura 31: Delimitación de la microcuenca del sitio 2 y sus posibles fuentes de contaminación....	93
Figura 32: Delimitación de la microcuenca del sitio 3 y sus posibles fuentes de contaminación....	94
Figura 33: Delimitación de la microcuenca del sitio 4 y sus posibles fuentes de contaminación....	95
Figura 34: Delimitación de la microcuenca del sitio 5 y sus posibles fuentes de contaminación....	96
Figura 35: Delimitación de la microcuenca del sitio 6 y sus posibles fuentes de contaminación....	97
Figura 36: Composición de Faena clásico utilizado en la agricultura de la zona. (http://dunemexicali.com.mx/archivos/AGROQUIMICOS/PROTECCION%20DE%20CULTIVOS/CONVENCIONALES/HERBICIDAS/MONSATO/FAENA%20FUERTE%20360/FAENA%20FUERTE%20360%20HT.pdf).....	98
Figura 37: Composición química de Gro-Green, utilizado en la agricultura de la zona (https://inimex.mx/productos/03FL-GG20-30-10).....	99
Figura 38: Composición química de Malathion 1000 E utilizado en la agricultura de la zona (http://www.dragon.com.mx/malathion-1000-e/).....	99
Figura 39: Composición química de Agro Azufre (http://innovacionagricola.com/producto/azufre-93/).....	99
Figura 40: Composición: nitrógeno total 44.00% (N orgánico 44%); biuret, no más de 0.15% (https://www.terralia.com/agroquimicos_de_mexico/view_trademark?trademark_id=7111).....	100

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Principales grupos de macroinvertebrados acuáticos presentes en los ecosistemas fluviales (Ladrera, <i>et al.</i> , 2013).....	16
Tabla 2: Lista de valores indicadores de contaminación de las familias de macroinvertebrados empleadas por el índice Biótico BMWP (Correa, 2000).....	25
Tabla 3: Clases de calidad de agua correspondientes a los rangos de valores del Índice BMWP (Correa, 2000).....	26
Tabla 4: Lista de valores indicadores de contaminación de las familias de macroinvertebrados empleadas por el índice Biótico BMWP' (Correa, 2000).....	27
Tabla 5: Clases de agua correspondientes a los rangos de valores del BMWP' adaptado para la Península Ibérica (Correa, 2000).....	28
Tabla 6: Clasificación de las familias de macroinvertebrados para el BMWP/Méx. (Pineda <i>et al.</i> , 2014).....	30
Tabla 7: Rangos de calidad según el BMWP (Pineda <i>et al.</i> , 2014).....	31
Tabla 8: Parámetros fisicoquímicos, métodos y normas a seguir para la determinación de la calidad del agua del río Amanalco.....	42
Tabla 9: Sitios de muestreo en el río Amanalco.....	46
Tabla 10: Abundancia y abundancia relativa por familia recolectadas en el río Amanalco.....	48
Tabla 11: Lista taxonómica de familias de macroinvertebrados acuáticos del río Amanalco.....	49
Tabla 12: Número de organismos por familia encontrados en el sitio 1.....	51
Tabla 13: Número de organismos por familia encontrados en el sitio 2.....	51
Tabla 14: Número de organismos por familia encontrados en el sitio 3.....	52
Tabla 15: Número de organismos por familia encontrados en el sitio 4.....	53
Tabla 16: Número de organismos por familia encontrados en el sitio 5.....	53
Tabla 17: Número de organismos por familia encontrados en el sitio 6.....	54
Tabla 18: Calificación asignada a las familias de macroinvertebrados acuáticos en el BMWP/Méx.....	54
Tabla 19: Familias de macroinvertebrados que no se clasifican en el BMWP/Méx., y su clasificación en otros países.....	60

Tabla 20: Propuesta de clasificación de nivel de tolerancia a los contaminantes para las familias no incluidas en el BMWP/Méx.....	61
Tabla 21: Tabla 21: Valores del índice BMWP/Méx por sitio después de asignar un valor de tolerancia a las familias no incluidas.....	63
Tabla 22: Índice BMWP exclusivo para el río Amanalco.....	63
Tabla 23: Valores obtenidos para los parámetros fisicoquímicos en los sitios de muestreo y su comparación con la NOM-001-SEMARNAT-1996 para la protección de la vida acuática.....	77
Tabla 24: Escala de clasificación del agua, conforme a la DQO (PNUD, 2016).....	77
Tabla 25: Valores del índice de Similitud de Bray-Curtis para los sitios de muestreo.....	79
Tabla 26: Superficie de los diferentes usos de suelo dentro de la cuenca del río Amanalco.....	81
Tabla 27: Producción ganadera de la Cuenca de Valle de Bravo (Ordenamiento Ecológico de la Cuenca de Valle de Bravo, 2001).....	86
Tabla 28: Actividades que contribuyen a la contaminación de las aguas del río Amanalco.....	88

RESUMEN

La creciente problemática que actualmente presentan los recursos naturales, ha llevado al desarrollo de investigaciones, centradas en lograr el equilibrio de éstos dentro de los ecosistemas. Para el caso de los recursos hídricos, el aumento de la contaminación por diversas sustancias, ha propiciado que se realicen estudios de calidad de agua en ríos y lagos. Una de las principales desventajas que presentan los estudios de calidad del agua, es que se basan principalmente en el uso de parámetros fisicoquímicos; por lo que pueden ser inexactos, debido a que la enorme variedad de contaminantes incorporados son puntuales en el tiempo. Una de las técnicas que está teniendo relevancia en el análisis de la calidad del agua y que se está generalizando en todo el mundo, es el índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), desarrollado en Gran Bretaña en la década de los 70 y se basa en el uso de macroinvertebrados acuáticos por las ventajas que presentan como su amplia distribución y su respuesta a las alteraciones dentro de su hábitat. El río Amanalco es uno de los cuerpos de agua más importantes dentro de la cuenca Valle de Bravo-Amanalco, por lo cual el presente trabajo busca conocer el índice de contaminación de seis puntos del cauce del río Amanalco mediante la clasificación del índice BMWP de tolerancia a la contaminación de macroinvertebrados. Para lo cual, se realizaron tres muestreos de macroinvertebrados acuáticos durante 2017 y 2018, en el río con ayuda de una red de bentos tipo D, y abarcando los diferentes microhábitats. Los organismos se fijaron en alcohol al 96% en frascos de plástico estériles para después identificarlos taxonómicamente a nivel de familia y clasificados de acuerdo al BMWP en su modificación para México. Los resultados obtenidos de los muestreos, fueron un total de 1000 organismos, clasificados en 33 familias colocando a los seis sitios como aguas de clase III: Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada. entre los organismos encontrados, destacan los pertenecientes a las familias Aeshnidae y Perlidae, que autores clasifican como indicadores de aguas con contaminación nula o sin contaminación; caracoles de la familia Planorbidae, coleópteros de la familia Dytiscidae y sanguijuelas de la familia Glossiphoniidae, que según reportes, se localiza en cuerpos de agua contaminados.

1. INTRODUCCIÓN

La conservación de los recursos naturales, agua, suelo, flora y fauna, ha llevado al desarrollo de diversas investigaciones que buscan un equilibrio de éstos dentro del ecosistema. En el estudio de los recursos hídricos, con la creciente problemática que han presentado en los últimos años, entre ellos la contaminación por diversas sustancias, han propiciado que se realicen estudios de calidad del agua en ríos y lagos.

Una de las desventajas que tienen los estudios de calidad del agua es que están basados en el análisis de parámetros fisicoquímicos, pero la variedad de contaminantes producidos e incorporados, son generalmente puntuales en el tiempo, por lo que exigen metodologías complementarias (Muñoz-Riveaux, 2003).

Una de las técnicas que está teniendo relevancia en el análisis de la calidad del agua y que se está generalizando en diversas partes del mundo, es el uso de bioindicadores, entre ellos los macroinvertebrados (especialmente los insectos), que se propone como una herramienta para conocer la calidad del agua, ya que los ecosistemas acuáticos mantienen una gran diversidad de organismos, en algunos casos mayores a los terrestres.

Además, los impactos de la contaminación inducen a cambios en la estructura de las comunidades, así como la función biológica de los sistemas acuáticos y el propio organismos, afectando su ciclo de vida, crecimiento y condición reproductiva (Bartram y Ballance, 1996), por lo que algunos organismos pueden proporcionar información de cambios físicos y químicos en el agua, ya que a lo largo del tiempo revelan modificaciones en la composición de la comunidad (Laws, 1981).

Por lo anterior, en el presente trabajo se busca conocer la calidad del agua del río Amanalco mediante el índice BMWP, con base en la recolecta y clasificación de macroinvertebrados para tener un panorama de las condiciones que presentan sus aguas, derivado de las actividades económicas que se realizan en los alrededores.

2. ANTECEDENTES

2.1 Historia de la bioindicación

El monitoreo de cuerpos de agua utilizando indicadores biológicos es y ha sido una preocupación constante a lo largo del tiempo, la cual busca utilizar elementos del ambiente como indicadores para conocer las causas de las modificaciones ocurridas en el ambiente, en gran medida producto de las actividades humanas (Morales, 2011).

Muchos han sido los acontecimientos en materia de bioindicación que se han desarrollado a lo largo de la historia, entre los que destacan:

Álvarez-Arango (2005), menciona que los primeros esfuerzos por determinar el daño ecológico que causan los residuos domésticos e industriales en los cuerpos de agua fueron realizados en el siglo XIX por Kolenati (1848) y Cohn (1853) quienes buscaron la relación entre ciertas especies y el grado de calidad del agua; Mez (1898) utilizó los microorganismos para este mismo propósito.

En el siglo XX, Patrick (1949, 1950), propuso métodos biológicos para evaluar las condiciones ecológicas de las corrientes y Gaufin y Tarzwell (1952), utilizando los macroinvertebrados como indicadores de la contaminación de las mismas (Álvarez-Arango, 2005).

Por su parte, Hynes (1959, 1963), presentó a los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua e integró la biología a la contaminación acuática. Mientras que Woodiwiss en 1964, analizó el sistema biológico de clasificación de corrientes usado por la Directiva para el Río Trent (Trent River Board), y encontró una alta correlación entre los parámetros biológicos y químicos de la contaminación. Después, De Pauw y Vanhooren en 1983, discutieron los métodos de evaluación para Bélgica (Roldán, 2003).

Prat y colaboradores, en 1986, realizaron en España una comparación entre los índices de calidad del agua: uno que utiliza parámetros fisicoquímicos y el otro, parámetros biológicos, donde encontraron una baja correlación entre ellos (Roldán, 2003).

Alba-Tercedor (1996), adoptó la utilización de los macroinvertebrados acuáticos en los programas de evaluación de la calidad de agua en España, utilizando el índice BMWP'

adaptado para la península ibérica. Towsand y Scarsbrook en 1997, calificaron la perturbación en las corrientes en relación con las características de las especies de macroinvertebrados y la riqueza de dichas especies (Álvarez-Arango, 2005).

2.2 Los indicadores biológicos

La presencia, condición y cantidad de cierto grupo de organismos como los peces, insectos, algas, plantas, u otros de vida acuática pueden proporcionar información precisa sobre la salud de un cuerpo de agua, lo que significa, que son las características biológicas que se pueden utilizar para comprender los factores de su ambiente (MMAyA, 2012).

Por tanto, se entiende por bioindicación al empleo de los organismos para evaluar y monitorear la calidad del agua, utilizándolos como indicadores de los cambios que la contaminación o eutrofización causan en sus poblaciones (MMAyA, 2012).

El uso de los indicadores biológicos se está proponiendo como una nueva herramienta para conocer la calidad del agua, esto no quiere decir que desplace al método tradicional de los análisis fisicoquímicos (Vázquez *et al.*, 2006), van más a manera de complemento entre los dos métodos.

Un bioindicador se define como un organismo, que por su mera presencia o ausencia o mayor o menor abundancia indica alguna condición del ecosistema, como el grado de contaminación (Ladrera, *et al.*, 2013)

Alba-Tercedor (1996) afirma que los organismos que habitan en los cursos de agua, presentan adaptaciones evolutivas a determinadas condiciones ambientales, y presentan unos límites de tolerancia a las diferentes alteraciones de las mismas, por lo que los impactos como la contaminación inducen a cambios en la estructura de las comunidades, la función biológica de los sistemas acuáticos y al propio organismo, afectando su ciclo de vida, crecimiento y su condición reproductiva (Bartram y Ballance, 1996).

Con base en los límites de tolerancia, se encuentran organismos sensibles que no soportan las nuevas condiciones impuestas, comportándose como intolerantes, mientras que otros, que son tolerantes no se ven afectados; por lo tanto, si la perturbación llega a un nivel letal para los organismos intolerantes, estos mueren y su lugar es ocupado por comunidades o

poblaciones de organismos tolerantes (Alba-Tercedor, 1996). Por tal motivo, algunos organismos pueden proporcionar información de cambios físicos y químicos en el agua, ya que a lo largo del tiempo revelan modificaciones en la composición de la comunidad (Laws, 1981).

Las ventajas del uso de bioindicadores como herramienta para determinar la calidad del agua e implementar acciones sobre la recuperación son variadas (Cairns y Dickson, 1971):

- La colecta y registro de información biológica puede realizarse por personas ajenas a la biología, ya que existen manuales que señalan métodos establecidos.
- Las comunidades biológicas reflejan las condiciones del sistema (física, química, biológica y ecológica).
- El biomonitoreo permanente de las comunidades resulta ser económico comparado con los análisis fisicoquímicos.
- La información resultante puede expresarse por medio de Índices Bióticos que expresan la calidad del agua mediante escalas numéricas.

Entre los organismos que mejor funcionan como bioindicadores se encuentran las bacterias, el fitoplancton, los macroinvertebrados y peces (Vázquez, *et al.*, 2006).

Para el monitoreo y control de la contaminación con base en organismos como *bioindicadores*, existen varias metodologías que utilizan una amplia variedad de organismos, tales como bacterias, protozoos, algas, macrófitos, macroinvertebrados, peces (De Pauw *et al.*, 1992).

Bacterias:

La presencia de bacterias coliformes es un indicador de contaminación por heces fecales de descarga reciente de desechos. A largo plazo son indicadores de la efectividad de programas de control. Las ventajas de utilizar bacterias como indicadores de acuerdo con De la Lanza *et al.* (2000), es que el muestreo de estos organismos tiene una metodología bien desarrollada y da respuesta rápida a cambios ambientales tales como la contaminación por descargas domésticas y municipales (Vázquez, *et al.*, 2006).

Fitoplancton:

El fitoplancton responde rápidamente a los cambios ambientales por su ciclo de vida corto. Estos cambios alteran la estructura de sus comunidades, repercute en el interés socioeconómico del sistema acuático en tiempos relativamente cortos, sobre todo por su papel de productores primarios (Vázquez, *et al.*, 2006).

Algunas algas microscópicas del fitoplancton muestran una distribución amplia, otras, ciertas preferencias ambientales, y unas terceras alta frecuencia de taxón en aguas fuertemente contaminadas, lo que sugiere su tolerancia o preferencia por algún compuesto químico o bioquímico. Además si algún taxón se reconoce como cosmopolita diferenciado, puede evidenciarse cualquier cambio físico o químico en las masas de agua al ocurrir una alteración por contaminantes (Vázquez, *et al.*, 2006).

De las microalgas, las diatomeas son preferidas para los monitoreos que es el grupo autotrófico dominante, además de que su identificación es simple. Las ventajas de su uso es que son cosmopolitas, algunas especies son muy sensibles a cambios ambientales, mientras que otras son muy tolerantes, algunas son muy sensibles a cambios ambientales por periodos muy largos, además de que el muestreo es muy sencillo y rápido y se pueden cultivar para estudiarlas en diseños experimentales (Vázquez, *et al.*, 2006).

Peces:

Los peces han sido ampliamente utilizados para evaluar la integridad biótica en arroyos y ríos de Norteamérica y Europa. Numerosos grupos de organismos han sido propuestos como indicadores en los sistemas acuáticos, sin embargo, las comunidades de peces han surgido como indicadores para los programas de monitoreo biológico (Velázquez y Vega, 2004).

Los peces son considerados buenos indicadores de la calidad del medio, por lo que una gran diversidad de peces en ríos, lagos y mares indica que es un ambiente sano para todas las demás formas de vida. Por el contrario, una elevada mortandad o un porcentaje alto de peces enfermos podrían ser causados directa o indirectamente por niveles considerables de contaminantes (Huidobro, 2000).

El grupo de los peces presenta ciertas ventajas como herramienta para determinar la calidad del agua (Vázquez, *et al.*, 2006):

- Las comunidades generalmente comprenden una amplia variedad de especies que representan diferentes niveles tróficos, incluyendo especies que consumen alimentos tanto de origen acuático como terrestre.
- Los peces son los organismos mejores conocidos de hábitats acuáticos.
- Están presentes en los pequeños cuerpos de agua y aún en aquellos ecosistemas con ciertos niveles de contaminación.

A pesar de existir una gran cantidad de organismos que se pueden utilizar como bioindicadores, no todos tienen la misma aceptación entre los investigadores. Roldán (1999), en su artículo *Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua* muestra el porcentaje de preferencia por los bioindicadores donde determina que los organismos mejor posicionados son los macroinvertebrados, algas y protozoos y los menos utilizados son los virus y hongos (Tabla 1).

Macroinvertebrados acuáticos:

Ladrera (2012) define a los Macroinvertebrados Acuáticos (MIA) como aquellos invertebrados acuáticos que poseen un tamaño superior a 500 µm, entre los que encuentran animales como los poríferos, moluscos, crustáceos, entre otros; los cuales desarrollan todo su ciclo de vida en el agua (Tabla 1 y Figura 1).

Tabla 1: Principales grupos de macroinvertebrados acuáticos presentes en los ecosistemas fluviales (Ladrera, et al., 2013).

PHYLUM	SUBPHYLUM	CLASE	ORDEN	OBSERVACIONES
Porífera				Comprenden las esponjas, que viven fijas al sustrato.
Cnidaria				Incluye a las hidras, que son pequeños pólipos de agua dulce.
Platelminta				Se incluyen a las planarias.
Nematoda				Gusanos redondos con cuerpo sin anillar.
Annelida		Oligochaeta		Gusanos anillados con sedas en los segmentos.

		Hirudinea	Gusanos anillados con cuerpo aplanado y ventosas. Son las sanguijuelas.	
Mollusca	Conchifera	Gastropoda	Moluscos con una concha.	
		Bivalvia	Moluscos con dos conchas.	
Arthropoda	Chelicerata	Arachnida	Son arañas microscópicas que viven en aguas dulces.	
	Crustacea	Malacostraca	Amphipoda	Se incluyen las gambas de agua, muy abundantes en algunos tramos fluviales.
			Decapoda	Son los cangrejos.
			Ephemeroptera	La vida del adulto es muy efímera, de donde se deriva su nombre, llegando a vivir pocas horas, incluso minutos.
			Odonata	Son las larvas de las libélulas. Son voraces depredadores.
			Plecoptera	Se trata de especies que viven en el fondo de cauces de aguas frías, bien oxigenadas y libres de contaminación.
	Hexapoda	Insecta	Hemiptera	Incluyen los conocidos como zapateros.
			Coleoptera	Pueden vivir en el agua en su fase larvaria, adulta o en ambas.
			Trichoptera	Numerosos de ellos fabrican los conocidos estuches o canutillos, con diferentes materiales como grano de arena o vegetales.
			Diptera	Se incluyen las larvas de mosquito y tábanos.



Figura 1: Imágenes de diversos macroinvertebrados acuáticos: A: Fam. Ephemeroidea (Orden Ephemeroptera, Clase Insecta). B: Fam. Perlidae (Orden Plecoptera, Clase Insecta). C: Fam. Cordulegastridae (Orden Odonata, Clase Insecta). D: Fam. Hydropsychidae (Orden Trichoptera, Clase Insecta). E: Fam. Hydropsychidae (Orden Trichoptera, Clase Insecta). F: Fam. Hydrobiidae (Clase Gastropoda). G: Fam. Erpobdellidae (Clase Irudinea). H: Clase Oligochaeta (Ladrera, et al., 2013).

Uno de los grupos de macroinvertebrados acuáticos más ampliamente distribuidos en las aguas dulces es el de los insectos. Los adultos habitualmente no viven en el agua (excepto en algunos casos), pero los estados inmaduros (huevos y larvas) sí que son acuáticos en muchos grupos de insectos. En estos casos, los adultos salen del agua y completan su desarrollo en el medio aéreo, que puede durar pocas horas o días frente a los muchos meses que pasan en el agua (Ladrera, et al., 2013).

Evidentemente, para pasar de inmaduro acuático a adulto terrestre se necesitan adaptaciones muy importantes y diversos órdenes de insectos están formados por familias con larvas exclusivamente acuáticas, como los efemerópteros, plecópteros, odonatos o tricópteros. En otros órdenes de insectos, como hemípteros, coleópteros o dípteros, hay familias con larvas exclusivamente acuáticas, otras solo con larvas terrestres y algunas con ambas adaptaciones (Ladrera, *et al.*, 2013).

Los macroinvertebrados tienen especial importancia en los ecosistemas acuáticos, ya que constituyen el componente de biomasa animal más importante en muchos tramos de ríos y juegan un papel fundamental en la transferencia de energía. Es decir, a nivel de grupo, los macroinvertebrados acuáticos van a consumir la materia orgánica fabricada en el río por los organismos fotosintéticos, como las algas y briofitas, y la materia orgánica procedente de los ecosistemas terrestres, fundamentalmente del bosque de ribera, y la van a transferir a los grandes vertebrados del ecosistema, representando la principal fuente de alimento de éstos, de manera que la alteración de la comunidad de macroinvertebrados de los ecosistemas fluviales va a afectar directamente a animales como peces, aves acuáticas o mamíferos semiacuáticos (Ladrera, *et al.*, 2013).

2.3 Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua

Las comunidades de macroinvertebrados en zonas tropicales son muy similares a las comunidades de zonas templadas. El grupo más grande de los macroinvertebrados acuáticos en aguas continentales son los insectos, los cuales son valiosos indicadores, considerados los más diversos en comparación con los peces e insectos terrestres (Thorne y Williams, 1997).

Roldán (1996) afirma que de todas las metodologías existentes para determinar la calidad del agua, aquellas basadas en el estudio de los macroinvertebrados acuáticos son las más utilizadas, ya que constituye hoy en día una herramienta ideal para la caracterización integral de la calidad del agua, siendo necesario para un adecuado control y conservación de un ecosistema; pues son los organismos más ampliamente usados como bioindicadores en la actualidad (Figuerola *et al.*, 1999; Figuerola *et al.*, 2003; Resh, 2008).

Además de lo anterior, los macroinvertebrados presentan otras características que se describen a continuación:

- Son de amplia distribución, abundantes y de fácil recolección por su tamaño que los hace visibles a simple vista (Plafkin *et al.*, 1989; MMAyA, 2012).
- Al encontrarse en todos los sistemas acuáticos, especialmente en sistemas lóticos (Vázquez, *et al.*, 2006), lo que favorece los estudios comparativos (MMAyA, 2012).
- La taxonomía de varios grupos es conocida y su identificación es menos compleja comparada con grupos inferiores como algas, bacterias u hongos (Vázquez, *et al.*, 2006; MMAyA, 2012).
- La naturaleza sedentaria de muchas especies los convierte en representantes de la condición local (Cook, 1976; Vázquez, *et al.*, 2006); además de facilitar la evaluación espacial de los efectos adversos a largo plazo en la comunidad (MMAyA, 2012).
- La técnica de muestreo es relativamente sencilla y requiere de equipos poco costosos (MMAyA, 2012).
- Existen numerosos métodos para el análisis de datos, incluyendo índices bióticos y de diversidad, los cuales han sido utilizados ampliamente en biomonitoreo a nivel comunitario y de respuestas individuales (MMAyA, 2012).
- Las asociaciones de macroinvertebrados son diferencialmente sensibles a la contaminación, y reaccionan a ésta rápidamente (Cook, 1976); por lo que tras una perturbación, requieren un tiempo mínimo para su recuperación (Vázquez, *et al.*, 2006; MMAyA, 2012).
- Las comunidades de macroinvertebrados son muy heterogéneas con numerosos Phyla y representantes de los diferentes niveles tróficos. La probabilidad de que al menos alguno de estos organismos pueda reaccionar a un cambio en la condición ambiental, por lo tanto, es alta (Cook, 1976).

Dentro de los grupos más comunes utilizados como bioindicadores de la calidad del agua, se encuentran varios organismos de los órdenes Ephemeroptera, Plecopteros, Odonata, Hemiptera, Coleoptera, Trichoptera y Diptera, pertenecientes a la clase Insecta, dentro del phylum Arthropoda (Ladrera, 2012; MMAyA, 2012), los cuales se describen a continuación:

Efemerópteros. Las larvas de este orden son exclusivamente acuáticas y pueden vivir hasta 2 años, mientras que la vida del adulto es muy efímera, de donde se deriva su nombre, llegando a vivir pocas horas o incluso minutos. Su respiración se realiza por branquias abdominales relativamente bien desarrolladas y en su mayor parte son detritívoros (se alimentan de materia orgánica muerta) y herbívoros. A pesar de que presentan diferencias en cuanto a su tolerancia a bajas concentraciones de oxígeno, un gran número de familias de este orden son buenos indicadores de la calidad del ecosistema y poseen generalmente gran sensibilidad a condiciones ácidas.



Figura 2: Larva de la familia Heptageniidae (Orden Ephemeroptera). Estos organismos presentan un gran aplanamiento dorso-ventral que les permite vivir en zonas de elevada corriente y requiere una cierta calidad del agua para vivir (Ladrera, 2012).

Plecópteros. Constituyen un orden con larvas exclusivamente acuáticas. El adulto presenta un vuelo torpe y suele pasar gran parte del tiempo entre las rocas, por lo que a los adultos de este grupo se les conoce con el nombre de “moscas de las piedras”. Se trata de especies que viven en el fondo de cauces de aguas frías, bien oxigenadas y libres de contaminación, por lo que son ampliamente utilizados como bioindicadores de la calidad del ecosistema acuático. Esta sensibilidad a las bajas concentraciones de oxígeno parece derivarse de la ausencia de grandes branquias, de manera que éstas pueden estar constituidas por finos filamentos en la base de las patas o incluso en el cuello. De acuerdo a su régimen alimenticio pueden ser fragmentadores de materia orgánica gruesa o depredadores.



Figura 3: Larva de la familia Perlidae (orden plec6pteros). Esta familia requiere elevadas concentraciones de ox6geno para vivir, por lo que su presencia nos informa del buen estado del agua (Ladrera, 2012).

Odonatos. Los odonatos engloban a los conocidos como lib6lulas y caballitos del diablo. Los adultos no se ven obligados a vivir en las inmediaciones del agua, pero las larvas son acu6ticas sin excepci6n. Las larvas de todas las especies de odonatos son zo6fagas, atacan a diferentes animales con los que comparten territorio, como oligoquetos, efemer6pteros o d6pteros e incluso pueden llegar a atacar a renacuajos y alevines de peces. Con este fin depredador, el labro est1 transformado en un 6rgano prensil o m1scara dentada que es desplegado bruscamente y lanzado hacia adelante para capturar las presas, que quedan atrapadas en los ganchos m6viles de las piezas bucales. Pueden vivir en una amplia variedad de h1bitats, pero son m1s frecuentes en las zonas con poca velocidad de corriente de los cursos fluviales, como remansos o en peque1as lagunas.



Figura 4: Larva de la familia Aeshnidae (orden odonatos). Se trata de la larva de un tipo de lib6lulas que pueden alcanzar gran tama1o y que viven generalmente en aguas con poca o nula velocidad de corriente. Son voraces depredadoras y requieren cierta calidad del agua para vivir (Ladrera, 2012).

Hem6pteros. Son un grupo de insectos caracterizados por poseer un aparato bucal chupador, dentro del cual alrededor del 10% de las especies son acu6ticas. Una gran parte de familias viven sobre la superficie del agua, como los conocidos zapateros, y la mayor1a son

depredadores, que a menudo inoculan compuestos tóxicos en sus presas a través de sus estiletes maxilares. Presentan numerosas adaptaciones frente a la depredación, fundamentalmente de peces, como el hecho de vivir en la superficie del agua, el comportamiento gregario o la capacidad de saltar varios centímetros de algunas especies.



Figura 5: Organismo adulto del orden Hemiptera (<http://www.taxateca.com>).

Coleópteros. Constituyen el mayor grupo de insectos y, quizá, el más evolucionado. Únicamente el 15% de las especies aproximadamente son acuáticas. Esta adaptación al medio acuático puede tener lugar en diferentes etapas del ciclo vital, de manera que en algunos grupos las larvas y adultos son acuáticos, mientras que en otros sólo una de las dos fases. Presentan un régimen alimenticio muy variado y la calidad de las aguas no suele ser un factor determinante en la distribución de muchas familias de este grupo.



Figura 6: Larva de la familia Gyrinidae (orden coleópteros). Son depredadores tanto en estado larvario como adulto. Los adultos describen característicos movimientos circulares en la superficie del agua. Son capaces de vivir en aguas con diferente nivel de calidad (Ladrera, 2012).

Dípteros. Este orden, también conocido como moscas verdaderas, es uno de los más ampliamente distribuidos y con mayor diversidad, en el que muchas especies presentan larvas acuáticas como los mosquitos y tábanos, entre otros. Algunas especies están adaptadas a vivir en zonas con elevadas corrientes y concentraciones de oxígeno, mientras que otras son especies oportunistas, adaptadas a vivir en ecosistemas con ciertas perturbaciones e incluso

en condiciones extremas, por lo que hay especies con requerimientos muy diferentes en cuanto a la calidad del agua, lo cual es usado frecuentemente como indicador de la misma.



Figura 7: Larva de la familia Chironomidae (orden dípteros). Esta familia es una de las más habituales y abundantes en todo tipo de hábitats de agua dulce, capaz de adaptarse a ríos con diferentes tipos de perturbaciones, por lo que un aumento de su frecuencia relativa indica alguna perturbación en el ecosistema (Ladrera, 2012).

Tricópteros. Constituyen uno de los grupos de insectos más importantes de los ecosistemas acuáticos, con larvas exclusivamente acuáticas. Algunas especies fabrican estuches con materiales tan diversos como arena, grava o restos vegetales y en el interior del mismo desarrollan su ciclo larvario. Su modo de alimentación es muy variado, con especies herbívoras, detritívoras y depredadoras, y presentan en general cierta exigencia en cuanto a la calidad del agua.



Figura 8: Larva de la familia Sericostomatidae (orden tricópteros), junto con su estuche, construido con granos de arena. Son buenos indicadores de la calidad del agua (Ladrera, 2012).

Los organismos más sensibles a las alteraciones dentro de un ecosistema son las larvas acuáticas de los insectos de los órdenes Trichoptera, Ephemeroptera, Plecoptera, y las larvas y adultos del orden Coleoptera (MMAyA, 2012).

Sin embargo, existe otro grupo de organismos conformado por especies de Oligochaeta, Diptera y Mollusca resistentes a la contaminación. Entre las estrategias para soportar estas condiciones se encuentran la alta tolerancia compuestos tóxicos o la corta duración de sus ciclos de vida, que les permite soportar condiciones adversas (MMAyA, 2012).

2.4 El método BMWP y la modificación para México (BMWP/Méx.)

El Índice Biótico BMWP fue desarrollado por un grupo de expertos (Armitage *et al.*, 1983) en Gran Bretaña en 1970 y de ahí extendido a otros países alrededor del mundo. Se instituyó como un método simple que asigna un puntaje a todos los grupos de macroinvertebrados identificados al nivel de familia. El puntaje asignado va de 1 a 10 de acuerdo a la tolerancia a la contaminación (MMAyA, 2012).

Se calcula sumando únicamente los valores de los registros asignados a cada familia de macroinvertebrados (Tabla 2), 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 referido en la tabla 3.

Tabla 2: 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	7

Nemouridae	
Rhyacophilidae Polycentropodidae Limnephilidae	
Neritidae Vivaparidae Ancylidae	6
Hydroptilidae Unionidae	
Corophiidae Gammaridae	
Platycnemididae Coenagriidae	
Mesovelidae Hydrometridae Gerridae Nepidae Naucoridae	5
Notonectidae Pleidae Corixidae	
Haliplidae Hygrobiidae Dytiscidae Gyrinidae	
Hydrophilidae Clambidae Helodidae Dryopidae Elminthidae	
Hydropsychidae Tipulidae Simuliidae	
Planariidae Dendrocoelidae	
Baetidae Sialidae Piscicolidae	4
Valvatidae Hydrobiidae Lymnaeidae Physidae Planorbidae	3
Sphaeridae	
Glossiphoniidae Hirudidae Erpobdelidae Asellidae	
Chironomidae	2
Oligochaeta	1

Tabla 3: 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

El sistema BMWP, al contrario del IBF, considera que un cuerpo de agua tiene un alto grado de contaminación, cuando los valores obtenidos en el índice son bajos. Además, los índices biológicos son específicos al área, sin embargo el BMWP puede ser aplicado a cualquier región, siempre y cuando los valores de registro sean evaluados y adaptados al área de aplicación.

En 1988, Alba-Tercedor y Sánchez-Ortega realizaron una modificación al BMWP para adaptarlo a la Península Ibérica (tabla 4), en el cual se adicionaron nuevas familias, mostrando cambios en los registros y correlaciones de valores que representan el grado de contaminación para esa región. La adaptación del BMWP lo llamaron BMWP'.

Tabla 4: 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	6

Platycnemididae Coenagrionidae	
Oligoneuriidae Polymitarciidae Dryopidae Elmidae Helophoridae Hydrochidae Hydraenidae Clambidae Hydropsychidae Tipulidae Simuliidae Planariidae Dendrocoelidae Dugesiidae	5
Baetidae Caenidae Haliplidae Curculionidae Chrysomelidae Tabanidae Stratiomyidae Empididae Dolichopodidae Dixidae Ceratopogonidae Anthomyidae Limoniidae Psychodidae Aciomyzidae Rhagionidae Sialidae Piscicolidae Hidracarina	4
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

Tabla 5: 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

En Sudamérica, a partir de los lineamientos seguidos en Inglaterra y España, se realizaron diferentes adaptaciones de acuerdo a la fauna existente en los ríos de Argentina, Colombia, Ecuador, Venezuela, siendo algunas referencias de los diversos estudios realizados (MMAyA, 2012).

En el caso de Bolivia, debido al interés de monitorear sus cuerpos de agua para conocer la calidad del agua, realizaron una modificación al BMWP, surgiendo el BMWP/Bol. y para dicho fin, en 2012, el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) publicó la Guía para la Evaluación de la Calidad Acuática mediante el índice BMWP/Bol, que contiene el método de recolecta de macroinvertebrados bentónicos, así como el índice aplicado a diferentes puntos de los ríos del país y una descripción a manera de guía de las familias encontradas.

En España, Rubén Ladrera (2013) en su artículo Macroinvertebrados Acuáticos como Indicadores Biológicos: una herramienta didáctica, habla de la importancia del biomonitoreo de ríos, usando macroinvertebrados tanto para su uso por grupos de voluntarios como en las distintas etapas de la educación obligatoria en España.

Uno de los investigadores más destacados en el estudio de calidad del agua con macroinvertebrados acuáticos es el Doctor Gabriel Roldán-Pérez de Colombia, quien en 2016 publicó su artículo Los macroinvertebrados como bioindicadores de la Calidad del Agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica, en el cual hace un compilado de investigaciones propias y de otros investigadores sobre la calidad del agua de diversos ríos desde la década de los setenta, aplicando la adaptación del BMWP para Colombia de Zamora (2000).

También, en Perú se ha adoptado el uso de los bioindicadores en la calidad del agua. Entre los estudios más recientes realizados en esta zona, se encuentra Análisis de la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos del río Cunas mediante indicadores ambientales, Junín-Perú, publicado en 2016, donde Custodio y Chanamé encontraron organismos clasificados en cuatro phyla, siete clases, 12 órdenes y 26 familias de macroinvertebrados bentónicos y donde concluyeron que la riqueza, abundancia y diversidad de macroinvertebrados bentónicos, según el sector y época de muestreo, presentan diferencias significativas.

Al conocer el éxito y ventajas del método BMWP en Europa y Sudamérica principalmente, también se le realizó una modificación para su aplicación en México (Tabla 6), la lista de valores de tolerancia del BMWP, así como su interpretación (Tabla 7) está 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.

Tabla 6: 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: Lepidostatidae; 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; Polymitarciidae; Baetidae Cr: Crustacea	5

Tr: Turbellaria	
C: Chrysomelidae; Curculionidae; Haliplidae; Lampyridae; Staphylinidae; Dytiscidae; Gyrinidae; Scirtidae; Noteridae D: Dixidae; Simulidae; 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

Nota: La tabla está sujeta a modificaciones locales.

Tabla 7: 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

Derivado de la modificación al BMWP para su aplicación en México, se han realizado investigaciones encaminadas a conocer la calidad de los cuerpos de agua, entre esas investigaciones destacan:

En México, Hurtado *et al.* (2005), en su artículo Importancia ecológica de los macroinvertebrados bentónicos de la subcuenca del río San Juan, Querétaro, México, reportando 19 órdenes, de los cuáles dos se identifican como dominantes (Diptera y Gastropoda) y ocho órdenes “raros” que tuvieron abundancia porcentual inferior al 1%. Al compararlos se observó una relación inversa: Diptera incrementa en julio, mientras que, Gastropoda y los órdenes raros mantienen constantes sus bajas dominancias hasta agosto, cuando empieza a declinar Diptera.

Barba-Álvarez y colaboradores (2013) publican en su artículo Insectos acuáticos indicadores de la calidad de agua en Oaxaca, utilizando el Índice Biótico de Hilsenhoff reportando 4828 ejemplares ubicados en 9 órdenes, 54 familias y 11 géneros entre los cuales destacan *Camelobaetidius*, *Leptohyphes*, *Thraulodes*, *Ambrysus*, colocando los ríos evaluados dentro del rango de calidad de agua “muy buena”.

Rosas-Acevedo y colaboradores (2014), quienes calcularon los índices BMWP, FBI y EPT, para determinar la calidad del agua en la laguna de Coyuca de Benítez en el estado de Guerrero, encontrando 3907 organismos, que de manera general, tipificaron sus aguas de color verde, contaminación moderada por materia orgánica.

Por último, en 2016, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo realizó un estudio dentro de la cuenca Valle de Bravo-Amanalco. En el estudio caracterizaron el cuerpo de agua que alimenta 10 granjas de trucha e identificaron las características de la cuenca y su relación con los sistemas de producción acuícola donde además evaluaron la calidad del agua con el índice BMWP. Los resultados que obtuvieron de la aplicación del índice arrojaron que los sitios muestreados se encuentran con calidad de agua clase 1 y 2 que corresponden a calidad de agua buena y regular respectivamente.

3. JUSTIFICACIÓN CONTEXTUAL Y CIENTÍFICA

El creciente deterioro de los recursos naturales (agua, suelo, flora, fauna) ha llevado al desarrollo de diversas investigaciones que se centran principalmente en conocer la situación actual en que se encuentran para que sea punto de partida para la creación de programas de conservación, gestión y manejo, por la importancia que representan para la población, ya sea directa o indirecta.

Una forma de conocer de conocer las condiciones ambientales de los ríos, es mediante el monitoreo constante, utilizando macroinvertebrados acuáticos. Este método de monitoreo está teniendo gran aceptación por los investigadores, entre los que destacan por un lado Hilsenhoff y Armitage que sentaron las bases para el biomonitoreo mediante macroinvertebrados acuáticos; y por otro lado Rubén Ladrera en España, Gabriel Roldán en Colombia que han continuado los estudios de los macroinvertebrados acuáticos indicadores de la calidad del agua.

Las familias de macroinvertebrados acuáticos han sido clasificadas dentro de un rango de tolerancia a la contaminación, y que puede expresarse por medio del índice BMWP que expresa la calidad del agua mediante escalas numéricas. De este índice se ha desprendido una modificación para México (BMWP/Méx.).

El río Amanalco es uno de los ríos más importantes de la cuenca Valle de Bravo-Amanalco, aportando aproximadamente el 40% del agua que llega a la presa Miguel Alemán en Valle de Bravo. La cuenca de este río tiene una superficie de 32 165.9 Has. y abarca 29 Localidades que forman parte de los municipios de Zinacantepec, Villa Victoria, Villa de Allende, Amanalco, Donato Guerra y Valle de Bravo.

La Comisión de Cuenca Valle de Bravo-Amanalco, recientemente identificó como uno de los problemas prioritarios en la subcuenca del río a la contaminación del agua por agroquímicos, arrastre hacia los ríos por malas prácticas de manejo agrícola y altas concentraciones de nutrimentos (nitrógeno y fósforo) en el agua. Este tipo de contaminación inhibe las actividades recreativas en el cuerpo de agua, afecta las parcelas de riego, genera riesgos en la salud y además contribuye a la eutrofización de la presa Miguel Alemán.

Por lo anterior, se busca aplicar los macroinvertebrados acuáticos para determinar la calidad del agua del río Amanalco mediante la aplicación del BMWP/Méx., por la gran utilidad para las actividades económicas que se realizan dentro de la subcuenca de este río.

4. HIPÓTESIS

El realizar un monitoreo de la calidad del agua del río Amanalco utilizando macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores, mostrará un panorama de las condiciones ambientales del río, por lo tanto, si los macroinvertebrados acuáticos tienen un nivel de tolerancia a la contaminación; y esperando que el grado de contaminación aumente conforme el río se aleja de su nacimiento, entonces en las zonas cercanas al nacimiento del río se encontrarán macroinvertebrados acuáticos que no toleren contaminación, y conforme se acerque a su desembocadura se encontrarán familias tolerantes a los contaminantes.

5. OBJETIVOS

5.1 General

Evaluar la calidad del agua del río Amanalco mediante el cálculo del índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), utilizando macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores, así como determinar las posibles causas mediante la caracterización de las actividades económicas de la zona.

5.2 Específicos

1. Elaborar un listado de familias de macroinvertebrados acuáticos presentes en el río Amanalco, que por su biología, permitan determinar las características que presenta este cuerpo de agua.
2. Evaluar la calidad del agua para el río Amanalco a partir del índice BMWP/Méx.
3. Caracterizar las actividades económicas de la subcuenca del río Amanalco para conocer las causas que influyen en la calidad del agua del río.

6. MATERIAL Y MÉTODO

6.1 Área de estudio

La cuenca Valle de Bravo-Amanalco, pertenece a la Región Hidrológica del Balsas, en el poniente del Estado de México. Esta región hidrológica comprende el 6% de la masa continental del territorio mexicano y abarca porciones de varias regiones económicas del Pacífico, centro-occidente y centro-sur de la República, a través de ocho estados: Estado de México, Tlaxcala, Puebla, Oaxaca, Morelos, Guerrero, Michoacán y Jalisco (Bonfil *et al.*, 2007).

La Cuenca Valle de Bravo-Amanalco posee un importante valor estratégico debido a los servicios ambientales que brinda, tanto dentro y fuera de la cuenca, tales como la captación y servicio de agua potable, la biodiversidad y su potencial paisajístico y recreativo (Bernal-González, 2017).

Las características antes mencionadas, están dadas en gran medida por su estratégica ubicación geográfica, pues se localiza en la región poniente del Estado de México y su territorio abarca los municipios mexiquenses Valle de Bravo y Amanalco como los principales de la cuenca, y Donato Guerra, Villa de Allende, Villa Victoria, Temascaltepec, Zinacantepec y Almoloya de Juárez con una superficie menor.

El área para este estudio es el río Amanalco, que nace en la ladera sur del cerro San Antonio, fluyendo en dirección oeste hasta llegar a la presa Miguel Alemán, en Valle de Bravo (Hernández y Barrera, 2014), aunque debido a su extensión y a los alcances propuestos para este estudio, se tomó en cuenta el segmento que va desde el nacimiento de alguno de los manantiales que lo alimentan, hasta llegar a la desembocadura en la presa Miguel Alemán en la colonia el Arco, en Valle de Bravo (figura 9), puesto que en visitas previas, se observaron actividades antropogénicas que pueden repercutir directamente en la calidad del agua del río, entre las que se detectaron efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, actividades agrícolas de cultivo de maíz, flor, chícharo y haba principalmente, además de la operación del rastro municipal de Valle de Bravo y aguas de desecho de pozos de trucha.



Figura 9: Localización del río Amanalco.

6.2 Determinación de los sitios de muestreo

Tomando en cuenta la extensión del río Amanalco, las características y las actividades de las poblaciones por donde el río atraviesa, se tomaron en cuenta seis puntos que se detectaron como de mayor influencia en la calidad de agua del río durante recorridos previos, y esperando que en los sitios más cercanos al nacimiento del río se encuentren especies de macroinvertebrados acuáticos intolerantes a la contaminación, a diferencia de los sitios cercanos a la desembocadura del río donde se espera encontrar especies tolerantes a la contaminación.

Además, los seis puntos fueron seleccionados tomando en cuenta que éstos presentaran diversos microhábitats, tanto en el cauce del río como en las orillas y fondo del mismo.

6.3 Toma de muestras de agua

Antes de la recolecta de macroinvertebrados, se procedió a tomar los parámetros fisicoquímicos temperatura, conductividad, pH y oxígeno disuelto con ayuda de un medidor multiparamétrico (figura 10), seguido de la recolecta de muestras de agua en envases de plástico previamente lavados, etiquetados y llevados al laboratorio de Calidad del Agua del CIRA para determinar los parámetros de fósforo total, DQO, nitratos y sulfatos. Esto con la finalidad de apoyar los resultados obtenidos en el índice BMWP, y para realizar el análisis estadístico para buscar la relación entre los parámetros biológicos y fisicoquímicos.



Figura 10: Toma de parámetros fisicoquímicos in situ.

6.4 Recolecta de macroinvertebrados acuáticos

Se realizaron 3 recolectas durante los meses de junio, noviembre y febrero, debido a que las corrientes son más estables en época de estiaje (Barbour *et al.*, 1999) y porque se pueden obtener muestras de los taxa que son residentes en los sitios de muestreo, minimizando el efecto de deriva provocado por las variaciones en el flujo durante la época de precipitaciones.

Las tomas de muestras de los macroinvertebrados se realizaron utilizando la metodología de Roldán (2003) modificada: Se dispuso una red de bentos tipo D en contra de la corriente (figura 11) y a su vez se removió el fondo para capturar los macroinvertebrados presentes, cubriendo la mayor superficie posible, a manera de que se incluyeran los distintos microhábitats presentes en el río (pozas, remansos y rápidos) por espacio de una hora en cada uno de los sitios. Seguidamente se procedió a procesar el material recolectado sobre un cedazo para lavar el exceso de lodo facilitando la identificación y conservación del material.

Adicionalmente se recolectaron los organismos adheridos a piedras, ramas, hojas y otros objetos presentes en el lugar. Las muestras se guardaron en recipientes de plástico con alcohol al 70%, debidamente rotulados.



Figura 11: Colocación contra corriente de la red tipo D.

6.5 Trabajo de laboratorio

La fase del trabajo de laboratorio se dividió en dos fases, mismas que a continuación se describen:

6.5.1 Identificación taxonómica de macroinvertebrados acuáticos

Las muestras de macroinvertebrados, fueron llevados al Laboratorio de Sistemas Biosustentables de la Facultad de Ciencias de la UAEMéx, para su identificación a nivel de familia, que es el nivel mínimo requerido para la aplicación del índice BMWP (figura 12).



Figura 12: Identificación taxonómica de macroinvertebrados acuáticos.

Para la identificación taxonómica se hizo uso de las siguientes claves:

- Posada-García, 2003
- Álvarez-Arango, 2005
- Merritt *et al.*, 2008
- Flowers y De la Rosa, 2010
- Springer, 2010
- Ramirez, 2010
- Gutiérrez-Fonseca, 2010
- MMAyA, 2012
- López-Delgado *et al.*, 2015

Una vez determinadas las muestras, los organismos fueron etiquetados y depositados en la colección de invertebrados del Laboratorio de Sistemas Biosustentables de la Facultad de Ciencias de la UAEMéx.

6.5.2 Determinación de parámetros fisicoquímicos

Para la determinación de los parámetros fisicoquímicos, se procesaron las muestras en el Laboratorio de Calidad del Agua del CIRA (figura 13), como se observa en la tabla 8, donde se muestra el método y la norma de referencia para cada parámetro fisicoquímico evaluado.

Tabla 8: Parámetros fisicoquímicos, métodos y normas a seguir para la determinación de la calidad del agua del río Amanalco.

PARÁMETRO	MÉTODO	REFERENCIA
pH	Potenciómetro con electrodo de vidrio sensible a H ⁺	NMX-AA-008-SCFI-2016
Temperatura (°C)	Multiparamétrico	NMX-AA-093-SCFI-2009
Oxígeno disuelto (mg/l)	Potenciómetro	NMX-AA-012-SCFI-2001
Conductividad (µS/cm)	Multiparamétrico	NMX-AA-093-SCFI-2009
Fósforo total (mg/l)	Espectrofotométrico UV	NMX-AA-029-SCFI-2001
DQO (mg/l)	Titulométrico	NMX-AA-030/1-SCFI-2012
Nitrógeno de Nitratos (mg/l)	Espectrofotométrico UV	NMX-AA-079-SCFI-2001
Sulfatos (mg/l)	Turbidimétrico por cloruro de bario	NMX-AA-074-SCFI-2014
Alcalinidad (mg/l)	Titulométrico por valoración de H ₂ SO ₄	NMX-AA-036-SCFI-2001



Figura 13: Determinación de parámetros fisicoquímicos en el Laboratorio de Calidad del Agua.

6.6 El Índice de Calidad del Agua para el río Amanalco

Para calcular el Índice de Calidad del Agua para el río Amanalco, se utilizó el BMWP, desarrollado en Gran Bretaña (Armitage *et al.*, 1983), ya que se cuenta con una modificación para México.

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 1), las familias poco tolerantes a la contaminación tienen registros con valores altos, y las familias tolerantes tienen registros con valores bajos. Los resultados se interpretaron con ayuda de la tabla 2 para así determinar la calidad del agua de los puntos de muestreo.

6.7 Análisis estadístico de datos

Después de identificar las familias de macroinvertebrados acuáticos recolectadas y obtener los resultados de la calidad del agua, para los tres muestreos y los puntos correspondientes, se utilizó el índice BMWP modificado para México (Pineda *et al.*, 2014) y las clases, valores y características para aguas naturales clasificadas mediante el índice BMWP.

La abundancia por sitio, se tomó como el número total de individuos de la familia i dividido entre el número total de familias encontradas en el sitio n . La riqueza se determinó por el número de familias encontradas en cada punto y su composición como la identidad de cada una de ellas. Respecto a la comparación de la riqueza y abundancia de macroinvertebrados acuáticos en los diferentes puntos de muestreo se utilizó la prueba de Kruskal-wallis, ya que es el método más adecuado para comparar poblaciones cuyas distribuciones no son normales. También se calculó el índice de similitud de Bray-Curtis entre los sitios muestreados, todo esto en el software Past.

Para relacionar la abundancia de macroinvertebrados acuáticos con las variables fisicoquímicas en los puntos de muestreo, se realizó un Análisis de Correspondencia Canónica en el software past.

6.8 Caracterización de las actividades económicas de la cuenca del río Amanalco

Una vez determinadas taxonómicamente a nivel de familia los macroinvertebrados acuáticos recolectados y calculado el índice BMWP, se caracterizaron las actividades que pueden estar influyendo en la calidad de agua reportada tanto por los macroinvertebrados acuáticos y el BMWP, así como por los parámetros fisicoquímicos.

Primero se delimitó la cuenca del tramo del río evaluado mediante el software TerrSet para conocer el área de influencia que tiene la zona hacia el río Amanalco. Posteriormente se determinó el uso de suelo de la cuenca, ya que de éste dependen directamente el tipo de actividades económicas; las cuales fueron descritas con ayuda de revisión bibliográfica.

Después, se delimitaron las microcuencas para cada sitio de muestreo para conocer la influencia de la zona en la calidad del agua, en las cuales, se ubicaron puntos de posible incorporación de contaminantes reconocidos en recorridos previos, para así tener una idea de qué tanto influyen en la calidad de agua dependiendo de qué punto o puntos de muestreo estaban más cercanos.

Por último, tomando en cuenta que el área agrícola es extensa en la zona, se corroboró la utilización de fertilizantes y plaguicidas, por lo que se recolectaron envases de esos productos y con ayuda de bibliografía se analizaron los componentes y cantidades que contienen, para así conocer el grado de contaminación que aportan al cuerpo de agua.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizaron recorridos de reconocimiento de la zona en los meses de diciembre de 2016 y enero de 2017 con la finalidad de ubicar los puntos más representativos de las condiciones del agua del río Amanalco, que por las actividades que se practicaran alrededor, repercutieran directamente en la modificación de las condiciones ambientales y, por lo tanto de la calidad del agua del río Amanalco.

De los puntos observados, se tomaron en cuenta aquellos que tienen una fuente de contaminación evidente. Además de que los sitios también presentan microhábitats como pozas, remansos y rápidos; así como rocas, vegetación, hojarasca, ramas y troncos que pudieran albergar organismos (figura 14).



Figura 14: Sitios de muestreo en el río Amanalco: A) Río Chiquito; B) La Calzada; C) La Autopista; D) San Fco. Mihualtepec; E) El Salitre y F) El Arco.

Con base en lo anterior, se determinaron seis sitios de muestreo como los idóneos para mostrar un panorama de la calidad del agua del río (tabla 9).

Tabla 9: Sitios de muestreo en el río Amanalco.

SITIO	COORDENADAS UTM		CARACTERÍSTICAS
	X	Y	
1.- RÍO CHIQUITO	393493	2128466	Agua potable para la cabecera municipal de Amanalco
2.- LA CALZADA	392834	2129742	Unión con el río Amanalco
3.- LA AUTOPISTA	387844	2127460	Recibe desechos de agricultura (flor)
4.- SN. FCO. MIHUALTEPEC	384886	2127912	Recibe desechos de agricultura de hortalizas
5.- EL SALITRE	382604	2126921	Recibe desechos de agricultura y drenaje sanitario
6.- EL ARCO	381477	2125967	Último muestreo, antes de Presa Miguel Alemán

Adicionalmente, se exportaron las coordenadas UTM al software TerrSet, para visualizar los sitios de muestreo y poder ubicarlos dentro del segmento del río Amanalco a evaluar (figura 15).

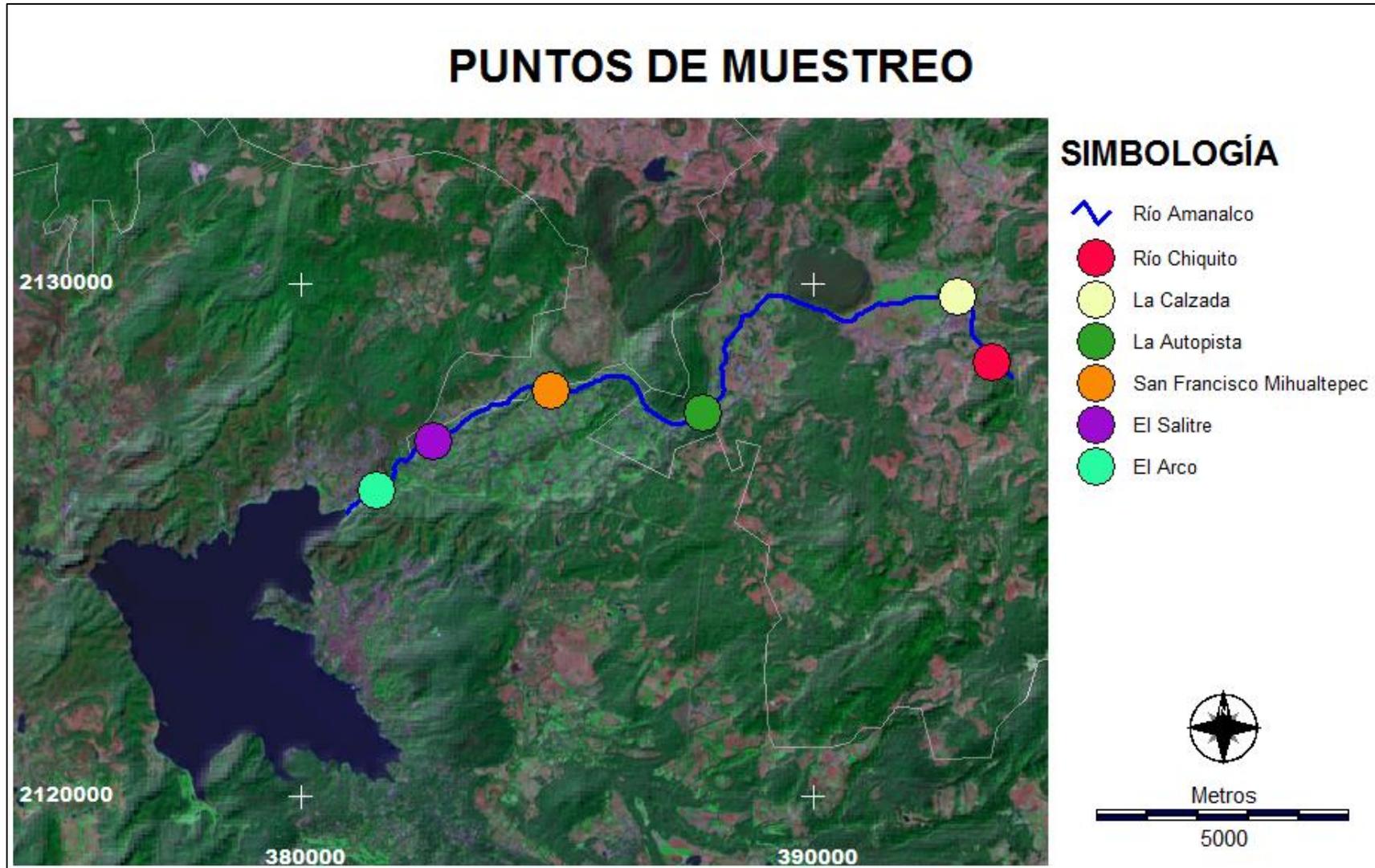


Figura 15: Localización de los sitios de muestreo dentro del río Amanalco.

7.1 Macroinvertebrados acuáticos del río Amanalco

A lo largo de los tres muestreos en los seis sitios durante los meses de junio y noviembre de 2017 y febrero de 2018, se recolectaron un total de 1000 organismos que se ubicaron en cuatro Phyla, seis Clases, 15 Órdenes y 33 Familias (tabla 11), siendo el Phylum Arthropoda el más diverso.

La familia más abundante fue Tipulidae con 607 organismos de los 1000 recolectados, seguida de Lestidae con 80 organismos; y después las familias Gammaridae e Hydrophilidae con 34 y 33 organismos respectivamente. El resto de las familias tuvieron una cantidad de organismos por debajo de los 30 (figura 16 y tabla 10).

Tabla 10: Abundancia y abundancia relativa por familia recolectadas en el río Amanalco.

FAMILIA	ABUNDANCIA	ABUNDANCIA RELATIVA (%)	FAMILIA	ABUNDANCIA	ABUNDANCIA RELATIVA (%)
Tipulidae	607	60,7	Notonectidae	7	0,7
Lestidae	80	8	Simuliidae	6	0,6
Gammaridae	34	3,4	Dytiscidae	5	0,5
Hydrophilidae	33	3,3	Tabanidae	3	0,3
Hidrobiosidae	28	2,8	Corixidae	3	0,3
Physidae	27	2,7	Glossiphoniidae	3	0,3
Aeshnidae	22	2,2	Corydalidae	2	0,2
Belostomatidae	21	2,1	Chironomidae	2	0,2
Lumbriculida	20	2	Syrphidae	2	0,2
Gomphidae	18	1,8	Scarabaeidae	2	0,2
Leptoceridae	14	1,4	Curculionidae	1	0,1
Hyaellidae	12	1,2	Planorbidae	1	0,1
Elmidae	10	1	Chordodidae	1	0,1
Armadillidiidae	9	0,9	Limnephilidae	1	0,1
Perlidae	8	0,8	Helicidae	1	0,1
Hydropsychidae	8	0,8	Crambidae	1	0,1
Veliidae	8	0,8	TOTAL	1000	100

Tabla 11: Lista taxonómica de familias de macroinvertebrados acuáticos del río Amanalco.

Phylum	Clase	Orden	Familia			
Nematomorpha	Gordioida	Gordioidea	Chordodidae			
Annelida	Oligochaeta	Lumbriculida	Lumbriculida 1			
	Hirudinea	Glossiphoniiformes	Glossiphoniidae			
Mollusca	Gastropoda	Basommatophora	Physidae Planorbidae			
		Pulmonata	Helicidae			
Arthropoda	Malacostraca	Amphipoda	Gammaridae Hyalellidae			
		Isopoda	Armadillidae			
	Insecta	Odonata		Aeshnidae Gomphidae Lestidae		
			Plecoptera		Perlidae Notonectidae	
				Neuroptera (Megaloptera)	Corydalidae	
		Hemiptera		Belostomatidae Veliidae Corixidae		
			Coleoptera		Dytiscidae Elmidae Hydrophilidae Chironomidae Curculionidae Scarabaeidae	
				Trichoptera		Leptoceridae Limnephilidae Hidrobiosidae
					Lepidoptera	Crambidae
		Diptera				Simuliidae Tabanidae Tipulidae Hydropsychidae Syrphidae

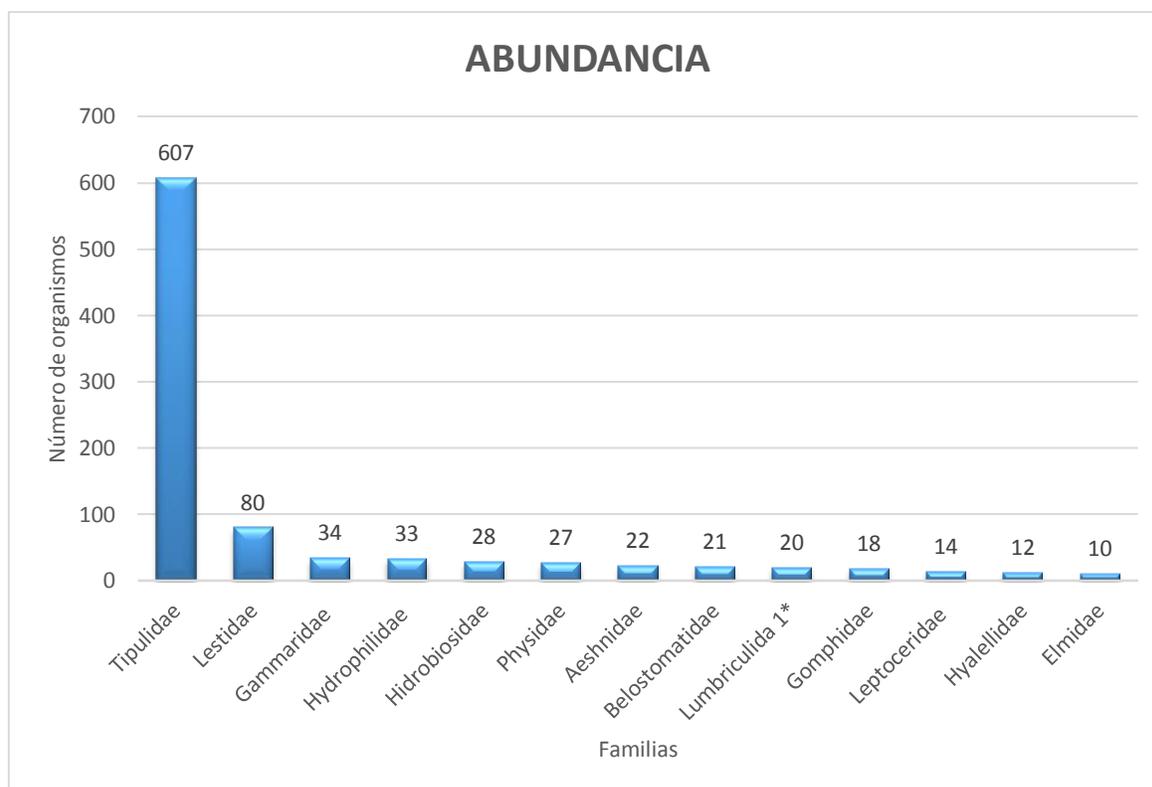


Figura 16: Gráfica de las familias más abundantes en el río Amanalco.

Diversidad de familias encontradas por sitio

De las 33 familias encontradas a lo largo de los seis puntos de muestreo dentro del río Amanalco, algunas como la familia Tipulidae y Lestidae, se encontraron en todos los sitios de muestreo, sin embargo, la mayoría solo estuvo presente en alguno o algunos de los sitios y con pocos organismos. En este caso a pesar de que autores como Álvarez-Arango (2005), mencionan que para recolectar la mayor diversidad de organismos, es indispensable explorar cuidadosamente el sitio de muestreo y cubrir todos los hábitats posibles; y para este estudio se siguió la metodología y aun así se recolectaron pocas familias. A continuación se hace un recuento de las familias de macroinvertebrados encontradas por sitio.

Sitio 1 (Río Chiquito): Conocido como Río Chiquito, se ubica en el municipio de Amanalco. Este sitio presentó el menor número de familias comparado con el resto de los sitios. Se recolectaron 83 organismos que se clasificaron dentro de 18 familias (tabla 12), siendo el sitio más diverso. Las familias más abundantes que se encontraron, fueron Lestidae, Tipulidae y Gomphidae con 19, 18 y 14 organismos respectivamente.

Tabla 12: Número de organismos por familia encontrados en el sitio 1.

FAMILIA	ORGANISMOS	FAMILIA	ORGANISMOS
Lestidae	19	Oligochaeta (Lumbriculida 1)	2
Tipulidae	18	Curculionidae	1
Gomphidae	14	Glossiphoniidae	1
Aeshnidae	6	Chironomidae	1
Perlidae	5	Limnephilidae	1
Hydrobiosidae	4	Scarabaeidae	1
Elmidae	3	Helicidae	1
Leptoceridae	2	Armadillidiidae	1
Tabanidae	2	Veliidae	1
		TOTAL DE ORGANISMOS	83

Cabe mencionar que este sitio se encuentra apenas a unos cientos de metros del nacimiento del manantial, por lo que el caudal del río es pequeño en comparación con el caudal donde se encuentran los otros cinco sitios, lo que pudo influir en la distribución de los organismos; además de que los muestreos en este sitio se realizaron en un horario entre 9 y 10 de la mañana por lo que de acuerdo a los distintos hábitos que presentan las especies, pudo ser un factor importante para encontrar o no ciertas especies (familias).

Sitio 2 (La Calzada): Ubicado en el municipio de Amanalco. En este sitio se recolectaron un total de 189 organismos de los 1000 totales. Los 189 organismos se clasificaron dentro de 17 familias (tabla 13). Las familias más abundantes de este sitio fueron Tipulidae con 94 organismos e Hydrobiosidae 32. Por otro lado las familias menos abundantes fueron Leptoceridae, Planorbidae y Glossiphoniidae con un organismo recolectado.

Tabla 13: Número de organismos por familia encontrados en el sitio 2.

FAMILIA	ORGANISMOS	FAMILIA	ORGANISMOS
Tipulidae	94	Gammaridae	4
Hydrophilidae	32	Dytiscidae	4
Hydrobiosidae	8	Belostomatidae	3
Lestidae	8	Corixidae	3
Notonectidae	7	Physidae	3
Oligochaeta (Lumbriculida 1)	6	Leptoceridae	1
Elmidae	5	Planorbidae	1
Armadillidiidae	5	Glossiphoniidae	1
Aeshnidae	4	TOTAL DE ORGANISMOS	189

Tomando en cuenta que fue uno de los tres sitios con más organismos recolectados, es importante mencionar se encuentra muy cerca de donde se incorpora el río Chiquito con el río Amanalco y otras corrientes río arriba, por lo que no se descarta el efecto de deriva de los organismos.

Sitio 3 (La Autopista): Se localiza en Polvillos, Amanalco. En este sitio se recolectaron 198, colocándose como el segundo más diverso del muestreo. Los organismos se clasificaron en 13 familias (tabla 14), siendo las más abundantes Tipulidae y Lestidae, con 138 y 24 respectivamente; mientras que las menos abundantes presentaron sólo un organismo, siendo éstas las familias Perlidae, Elmidae, Chironomidae, Veliidae y Crambidae.

Tabla 14: Número de organismos por familia encontrados en el sitio 3.

FAMILIA	ORGANISMOS	FAMILIA	ORGANISMOS
Tipulidae	138	Leptoceridae	2
Lestidae	24	Perlidae	1
Hydrobiosidae	9	Elmidae	1
Aeshnidae	6	Chironomidae	1
Physidae	6	Veliidae	1
Oligochaeta (Lumbriculida 1)	5	Crambidae	1
Gomphidae	3	TOTAL DE ORGANISMOS	198

Sitio 4 (San Francisco Mihualtepec): Ubicado en el municipio de Donato Guerra, fue el sitio donde más organismos se recolectaron durante el muestreo. Se recolectaron un total de 276 organismos de los 1000 totales, clasificándose en 13 familias (tabla 15). En este sitio se recolectó la mayor cantidad de organismos (243 organismos) de la familia Tipulidae, que fue la más diversa de todo el muestreo.

En este sitio, es importante mencionar que a pesar de ser el sitio con más organismos recolectados, sólo se hicieron dos muestreos de los tres realizados en el resto de los sitios. También, en este sitio se encontró uno de los organismos más raros para la zona, siendo este el Gordioideo de la familia Chordodidae, el único recolectado durante todo el muestreo.

Tabla 15: Número de organismos por familia encontrados en el sitio 4.

FAMILIA	ORGANISMOS	FAMILIA	ORGANISMOS
Tipulidae	243	Leptoceridae	1
Physidae	9	Corydalidae	1
Aeshnidae	5	Elmidae	1
Lestidae	5	Glossiphoniidae	1
Hydrobiosidae	4	Chordodidae	1
Belostomatidae	2	Syrphidae	1
Oligochaeta (Lumbriculida 1)	2	TOTAL DE ORGANISMOS	276

Sitio 5 (El Salitre): Se localiza en el municipio de Valle de Bravo. En este sitio se recolectaron 131 organismos, colocándose como el tercero más diverso del muestreo. Los organismos se clasificaron en 16 familias (tabla 16), siendo las más abundantes Tipulidae, Gammaridae y Belosotomatidae con 61, 20 y 13 organismos respectivamente. Las familias menos abundantes fueron Perlidae, Hydrobiosidae, Corydalidae, Tabanidae, y Syrphidae con un organismo.

Tabla 16: Número de organismos por familia encontrados en el sitio 5.

FAMILIA	ORGANISMOS	FAMILIA	ORGANISMOS
Tipulidae	61	Leptoceridae	3
Gammaridae	20	Armadillidiidae	2
Belostomatidae	13	Perlidae	1
Lestidae	6	Hydrobiosidae	1
Simuliidae	6	Corydalidae	1
Veliidae	6	Tabanidae	1
Physidae	4	Syrphidae	1
Oligochaeta (Lumbriculida 1)	4	Scarabaeidae	1
		TOTAL DE ORGANISMOS	131

Sitio 6 (El Arco): Ubicado en el municipio de Valle de Bravo, fue el último sitio de muestreo, localizándose muy cerca de la desembocadura del río Amanalco en la presa Miguel Alemán. En este sitio se recolectaron durante el muestreo un total de 123 organismos de los 1000 totales (tabla 17), los cuales se clasificaron en 15 familias. En este sitio se recolectó la mayor cantidad de organismos (243 organismos) de la familia Tipulidae, que fue la más diversa de todo el muestreo. Las familias más abundantes fueron Tipulidae con 53 organismos y Lestidae con 19.

Tabla 17: Número de organismos por familia encontrados en el sitio 6.

FAMILIA	ORGANISMOS	FAMILIA	ORGANISMOS
Tipulidae	53	Hydrobiosidae	2
Lestidae	19	Aeshnidae	1
Hyaellidae	12	Gomphidae	1
Gammaridae	10	Hydrophilidae	1
Hydropsychidae	8	Perlidae	1
Leptoceridae	5	Armadillidiidae	1
Physidae	5	Oligochaeta (Lumbriculida 1)	1
Belostomatidae	3	TOTAL DE ORGANISMOS	123

7.2 El Índice Biological Monitoring Working Party para el río Amanalco

Una vez identificados a nivel de familia los 1000 organismos recolectados (33 familias), se procedió a calcular el índice BMWP para el río Amanalco con base en la puntuación de sensibilidad a los contaminantes. Para esto, se tomó como base la tabla 6, Clasificación de las familias de macroinvertebrados para el BMWP/Méx. La puntuación asignada para cada familia recolectada en el muestreo visualiza en la tabla 18.

Tabla 18: Calificación asignada a las familias de macroinvertebrados acuáticos en el BMWP/Méx.

FAMILIA	CAL. BMWP/Méx.	FAMILIA	CAL. BMWP/Méx.
Perlidae	9	Corixidae	4
Aeshnidae	8	Physidae	3
Leptoceridae	8	Planorbidae	3
Hydrobiosidae	8	Hydrophilidae	3
Gammaridae	7	Glossiphoniidae	3
Gomphidae	7	Chironomidae	2
Lestidae	7	Syrphidae	1
Corydalidae	6	Oligochaeta (Lumbriculida 1)	1
Hydropsychidae	5	Chordodidae	No reportada
Elmidae	5	Limnephilidae	
Tipulidae	4	Veliidae	
Tabanidae	4	Scarabaeidae	
Belostomatidae	4	Helicidae	
Dytiscidae	4	Armadillidiidae	
Notonectidae	4	Hyaellidae	
Curculionidae	4	Crambidae	
Simuliidae	4		

De acuerdo con la tabla 18, se puede mencionar que los sitios muestreados en el río Amanalco presentan desde aguas limpias, como lo indica la presencia de las familias Perlidae, Aeshnidae, Hydrobiosidae y Leptoceridae; hasta aguas contaminadas indicado por las familias Chironomidae, Syrphidae y los organismos del orden Lumbriculida, clasificados dentro de los Oligoquetos.

Una vez determinado el nivel de tolerancia a la contaminación, se procedió a calcular el índice BMWP para los seis sitios para determinar su nivel de calidad de sus aguas. Estos índices se presentan a continuación:

Sitio 1 (Río Chiquito)

En el caso del sitio uno, se obtuvo un valor de BMWP igual 70 puntos que corresponde a aguas de clase III (figura 17), que son aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada. Si bien de acuerdo al valor del BMWP no salió el más alto como se esperaba, es importante mencionar que en este sitio se encontraron ejemplares de la familia Perlidae, que el BMWP/Méx. coloca como una de las familias indicadoras de la buena calidad de las aguas.

FAMILIA	CALIFICACIÓN BMWP/Méx.			
Perlidae	9			
Aeshnidae	8			
Hydrobiosidae	8			
Leptoceridae	8			
Lestidae	7			
Gomphidae	7			
Elmidae	5			
Tipulidae	4			
Tabanidae	4			
Curculionidae	4			
Glossiphoniidae	3			
Chironomidae	2			
Oligochaeta (Lumbriculida 1)	1			
TOTAL BMWP	70			
		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

Figura 17: Clasificación de las aguas del sitio 1 de acuerdo al puntaje del BMWP/Méx.

Además, es importante tomar en cuenta el hecho que en el sitio uno, se encontraron organismos de las familias Limnephilidae, Scarabaeidae, Helicidae, Armadillidiidae y Veliidae, las cuales, en algunos países las incluyen como indicadoras de la calidad del agua; mientras que en otros las consideran como indicadores de mala calidad, por lo que es posible asignarle un valor de tolerancia, lo que evidentemente aumentaría su valor del BMWP.

Sitio 2 (La Calzada)

Para el sitio de La Calzada, se obtuvo el valor más alto de BMWP, igual 75 puntos, colocándose como el sitio con la mejor calidad de agua de acuerdo al índice. Este valor corresponde a aguas de clase III (figura 18), que son aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada. Este sitio se caracterizó por la presencia de las familias Hydrobiosidae, Aeshnidae y Leptoceridae como buenos indicadores de la calidad del agua, que presentan una calificación de 8.

Para este sitio la única familia encontrada que no incluye el BMWP/Méx. fue Armadillidiidae.

FAMILIA	CALIFICACIÓN BMWP/Méx.			
Hydrobiosidae	8			
Aeshnidae	8			
Leptoceridae	8			
Lestidae	7			
Gammaridae	7			
Elmidae	5			
Tipulidae	4			
Notonectidae	4			
Dytiscidae	4			
Belostomatidae	4			
Hydrophilidae	3			
Corixidae	3			
Physidae	3			
Planorbidae	3			
Glossiphoniidae	3			
Oligochaeta (Lumbriculida 1)	1			
TOTAL BMWP	75			

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

Figura 18: Clasificación de las aguas del sitio 2 de acuerdo al puntaje del BMWP/Méx.

Sitio 3 (La Autopista)

En el sitio tres, se obtuvo un valor de BMWP igual 62 puntos que corresponde a aguas de clase III (figura 19), que son aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada. Este sitio se caracterizó por la presencia de las familias Perlidae, Hydrobiosidae, Aeshnidae y Leptoceridae que tienen las puntuaciones más altas del índice en su modificación para México. En este sitio, las familias que no incluye la modificación para México son Veliidae y Crambidae.

FAMILIA	CALIFICACIÓN BMWP/Méx.			
Perlidae	9			
Hydrobiosidae	8			
Aeshnidae	8			
Leptoceridae	8			
Lestidae	7			
Gomphidae	7			
Elmidae	5			
Tipulidae	4			
Physidae	3			
Chironomidae	2			
Oligochaeta (Lumbriculida 1)	1			
TOTAL BMWP	62			
		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

Figura 19: Clasificación de las aguas del sitio 3 de acuerdo al puntaje del BMWP/Méx.

Sitio 4 (San Francisco Mihualtepec)

En el sitio cuatro, a pesar de solo haber realizado dos de los tres muestreos, se recolectaron una cantidad considerable de familias, solo que este caso, las familias encontradas son indicadoras de la mala calidad del agua. Debido a lo anterior, se obtuvo un valor de BMWP de 58 puntos que corresponde a aguas de clase IV (figura 20), que corresponde a aguas de calidad mala y/o contaminadas.

Este sitio de acuerdo al puntaje del BMWP, indica que es el sitio más contaminado de los sitios evaluados debido que la mayoría de las familias que presentó, están clasificadas dentro de calificaciones que están por debajo de los 5 puntos. En este sitio se encontró la familia Chordodidae que no se le ha clasificado dentro de un nivel de tolerancia los contaminantes.

FAMILIA	CALIFICACIÓN BMWP/Méx.			
Aeshnidae	8			
Hydrobiosidae	8			
Leptoceridae	8			
Lestidae	7			
Corydalidae	6			
Elmidae	5			
Tipulidae	4			
Belostomatidae	4			
Physidae	3			
Glossiphoniidae	3			
Oligochaeta (Lumbriculida 1)	1			
Syrphidae	1			
TOTAL BMWP	58			

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

Figura 20: Clasificación de las aguas del sitio 4 de acuerdo al puntaje del BMWP/Méx.

Sitio 5 (El Salitre)

Para este sitio a pesar de evidencias que mostraban incorporación de contaminación, se recolectaron 13 familias de la mayoría de los valores de tolerancia que clasifica el BMWP/Méx. Se obtuvo un valor de 66 puntos que colocan al sitio 5 dentro de las aguas de clase III que son aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada (figura 21). Además, es importante tomar en cuenta que en el sitio uno se encontraron organismos de las familias Scarabaeidae, Armadillidiidae y Veliidae.

FAMILIA	CALIFICACIÓN BMWP/Méx.			
Perlidae	9			
Leptoceridae	8			
Hydrobiosidae	8			
Gammaridae	7			
Lestidae	7			
Corydalidae	6			
Tipulidae	4			
Belostomatidae	4			
Simuliidae	4			
Tabanidae	4			
Physidae	3			
Oligochaeta (Lumbriculida 1)	1			
Syrphidae	1			
TOTAL BMWP	66			

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

Figura 21: Clasificación de las aguas del sitio 5 de acuerdo al puntaje del BMWP/Méx.

Sitio 6 (El Arco)

El sitio El Arco obtuvo un puntaje de BMWP de 74 (figura 22), sólo un punto por debajo del sitio 2, que fue el más alto. Aunque pareciera que sale de toda lógica por el hecho de ser el último sitio y que se esperaba que el agua en este sitio ya llevara una carga considerable de contaminantes. Las familias presente en este sitio que no contempla el BMWP/Méx. son Hyalellidae y Armadillidiidae.

Es importante resaltar que en este sitio se incorporan importantes corrientes de agua, por lo que se podría esperar que al aumentar el caudal, los contaminantes se diluyan. Además de que en esta parte del río, se nota un importante aumento de la corriente posiblemente por el aumento de la cantidad de agua que lleva el río o por dinámica del mismo cauce debido a que el terreno parece ser más rocoso y se nota un incremento en la velocidad, lo que podría ser causa de arrastre de organismos más evidente.

FAMILIA	CALIFICACIÓN BMWP/Méx.			
Perlidae	9			
Leptoceridae	8			
Hydrobiosidae	8			
Aeshnidae	8			
Lestidae	7			
Gammaridae	7			
Gomphidae	7			
Hydropsychidae	5			
Tipulidae	4			
Belostomatidae	4			
Physidae	3			
Hydrophilidae	3			
Oligochaeta (Lumbriculida 1)	1			
TOTAL BMWP	74			

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

Figura 22: Clasificación de las aguas del sitio 6 de acuerdo al puntaje del BMWP/Méx.

El sitio 6 al ser el que obtuvo el puntaje más alto de acuerdo con el BMWP, es importante considerar ciertos aspectos que se observaron a lo largo de los muestreos, por ejemplo el hecho de que se observaron plantas del género *Hydrocotyle*, probablemente *Hydrocotyle ranunculoides* (figura 23). Esta planta según Wang, *et al.* (1997) y Hussner y Lösh, (2007) citados por Zarazúa-Ortega y colaboradores (2013) mencionan que es un vegetal acuático

perene de la familia Apiaceae que crece en aguas poco profundas y que es resistente a la alta contaminación de la cual es un útil indicador, ya que se desarrolla mejor en cuerpos de agua con elevada concentración de materia orgánica, nitratos y fosfatos.



Figura 23: Plantas del género *Hydrocotyle* en el río Amanalco.

De acuerdo con el resultado por sitio del BMWP/Méx. las familias encontradas algunas corresponde exactamente al tipo de hábitat en el que se encontraron y otras no tanto, por lo que es importante no olvidar que la corriente juega un papel importante para el arrastre de organismos.

Por otro lado, de las 33 familias recolectadas en el muestreo, solo 25 están clasificadas dentro de los rangos de tolerancia a la contaminación dentro de la modificación para México del BMWP. Las otras 8 familias excepto Helicidae y Armadillidiidae, se han incluido en varios estudios de otros países en las adaptaciones realizadas para la zona (tabla 19).

Tabla 19: Familias de macroinvertebrados que no se clasifican en el BMWP/Méx., y su clasificación en otros países.

FAMILIA	PUERTO RICO (Gutiérrez-Fonseca, et al., 2016)	COLOMBIA (Álvarez-Arango, 2005)	BOLIVIA (MMAyA, 2012)	INGLATERRA (Correa, 2000)	ESPAÑA (Correa, 2000)	CUBA (Muñoz-Riveaux et al., 2003)
Chordodidae	No reportada	10	No reportada	No reportada	No reportada	No reportada
Limnephilidae	No reportada	9	7	7	7	No reportada
Veliidae	3	No reportada	5	No reportada	3	6
Scarabaeidae	5	No reportada	No reportada	No reportada	No reportada	No reportada
Hyaellidae	3	7	No reportada	No reportada	No reportada	No reportada
Crambidae	5	No reportada	No reportada	No reportada	No reportada	No reportada
Helicidae	No reportada	No reportada	No reportada	No reportada	No reportada	No reportada
Armadillidiidae	No reportada	No reportada	No reportada	No reportada	No reportada	No reportada

Con base en la tabla anterior y en los resultados encontrados en el río Amanalco, se hizo la propuesta para clasificar a las familias no incluidas en la modificación para México, dejando a un lado las familias Helicidae y Armadillidiidae que no son considerados como familias indicadoras de la calidad del agua. Esta propuesta se visualiza en la tabla 20.

Tabla 20: Propuesta de clasificación de nivel de tolerancia a los contaminantes para las familias no incluidas en el BMWP/Méx.

FAMILIA	PUNTUACIÓN
Chordodidae	7
Limnephilidae	5
Veliidae	4
Scarabaeidae	4
Hyalellidae	4
Crambidae	4

De acuerdo a la tabla anterior, es evidente que el valor del índice BMWP/Méx. para los sitios muestreados aumentaría, quedando de la siguiente manera:

Para el **sitio 1 (Río Chiquito)**, pasa de 70 a 83 puntos, puesto que las familias no incluidas acumulan un total de 13 puntos (Limnephilidae: 5; Scarabaeidae: 4; Veliidae: 4), quedando como el sitio con mejor calidad de agua, como se esperaba ya que en este sitio por estar muy cerca del nacimiento, es lógico que presente un nivel bajo de perturbación. A pesar de tener un aumento considerable en el valor del BMWP/Méx., es importante mencionar que este sitio se sigue clasificando como aguas de clase III, que son aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada.

El **sitio 2 (La Calzada)**, se queda con el mismo puntaje antes calculado (75 puntos), ya que de las familias que se encontraron en este sitio y que no están consideradas dentro de la clasificación para México, solo se encontró Armadillidiidae, pero esta familia no está considerada como indicador de la calidad del agua.

En el **sitio 3 (La Autopista)**, pasa de 62 a 70 puntos, puesto que las familias no incluidas acumulan un total de 8 puntos (Veliidae: 4; Crambidae: 4). Este sitio, al igual que el sitio 1, aún con el aumento de ocho puntos, se sigue clasificando como aguas de clase III, que son aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada.

En caso del **sitio 4 (San Francisco Mihualtepec)**, pasa de 58 a 65 puntos, puesto que al incluir a la familia Chordodidae, incrementa en siete puntos el valor del índice, lo que viene a pasar sus aguas de la clase IV, que corresponde a aguas de calidad mala y/o contaminadas a la clase III, que son aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada.

En el **sitio 5 (El Salitre)**, pasa de 66 a 74 puntos, puesto que las familias no incluidas acumulan un total de 8 puntos (Veliidae: 4; Scarabaeidae: 4). Este sitio, al igual que los sitios 1 y 3, aún con el aumento de ocho puntos, se sigue clasificando como aguas de clase III, que son aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada.

Finalmente el **sitio 6 (El Arco)**, pasa de 74 a 78 puntos, puesto que la única familia encontrada no incluida en la modificación del índice para México fue Hyalellidae, ahora clasificada con un valor de cuatro puntos, lo que no implica un aumento considerable en el valor del índice, quedando dentro de las aguas de clase III, que son aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada.

En el siguiente cuadro se muestra una comparación entre los valores del índice BMWP/Méx. por sitio antes y después de incluir los valores de las familias no agrupadas en el índice (figura 21). Dicha tabla muestra que todos los sitios muestreados presentan la misma calidad de agua (calidad regular). Es importante destacar que aunque estos valores no son definitivos, ya que esta es la primer propuesta de evaluación y que solo se deriva de tres muestreos.

Tabla 21: Valores del índice BMWP/Méx por sitio después de asignar un valor de tolerancia a las familias no incluidas.

SITIO	BMWP/Méx.		NIVEL DE CALIDAD
	DE:	PASA A:	
RIO CHIQUITO	70	83	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
LA CALZADA	75	75	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
LA AUTOPISTA	62	70	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
SN. FCO. MIHUALTEPEC	58	65	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
EL SALITRE	66	74	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada
EL ARCO	74	78	Aguas de calidad regular, eutrofia, contaminación moderada

Con base en todo lo anterior, el índice BMWP exclusivo para el río Amanalco, queda como a continuación se muestra en la tabla 22:

Tabla 22: Índice BMWP exclusivo para el río Amanalco.

FAMILIA	CALIFICACIÓN
Perlidae	9
Aehnidae, Leptoceridae, Hydrobiosidae	8
Gammaridae, Gomphidae, Lestidae, Chordodidae	7
Corydalidae	6
Hydropsychidae, Elmidae, Limnephilidae	5
Tipulidae, Tabanidae, Belostomatidae, Dytiscidae, Notonectidae, Curculionidae, Simuliidae, Corixidae, Veliidae, Scarabaeidae, Hyalellidae, Crambidae	4
Physidae, Planorbidae, Hydrophilidae, Glossiphoniidae	3
Chironomidae	2
Oligochaeta (Lumbriculida 1), Syrphidae	1

En el caso de la familia Perlidae, Ladrera (2012) menciona que requieren elevadas concentraciones de oxígeno para vivir, por lo que su presencia, son un indicador de las buenas condiciones del agua, clasificándose con una calificación de nueve en México, lo que se corrobora con la presencia de esta familia en el sitio 1.

Por un lado, Vázquez y colaboradores (2006), menciona que los organismos de la familia Corydalidae no toleran ningún tipo de contaminación, por lo que se encuentran en aguas con buena oxigenación; lo que difiere un poco con la calificación que le otorgan el índice BMWP modificado para México, que la ubica dentro de la clasificación de tolerancia seis, que indica que sobrevive en aguas que ya presentan algún tipo de contaminación

Por otro lado, la familia Planorbidae, la calificación asignada que corresponde a aguas contaminadas concuerda con lo que reporta Vázquez *et al.* (2006), afirmando que los organismos de esta familia de moluscos son indicadores de aguas contaminadas por desechos industriales o domésticos; mientras que los hirudíneos (familia Glossiphoniidae), son anélidos que pueden tolerar aguas contaminadas por plaguicidas; mientras que las familias Belostomatidae y Dytiscidae que se clasificaron dentro de la calificación de cuatro, concordando con lo que Muñoz-Riveaux *et al.* (2003) encontraron para Cuba.

Referente a las larvas de la familia Aeshnidae, se trata de un tipo de libélulas que pueden alcanzar gran tamaño y que requieren de cierta calidad del agua para vivir (Ladrera, 2012), como lo indica también la calificación asignada en México para esta familia.

En general, de los seis sitios muestreados, el agua de los sitios 1, 2, 3, 5 y 6 se clasifica como regular (clase 3); mientras que el sitio 4 que es considerado el más contaminado, se clasificó como clase 4, agua de calidad mala, resultados muy parecidos a los que expone PNUD (2016), en sus estudio en el mismo río, donde de sus 19 sitios muestreados, 9 corresponde a aguas de calidad buena y 10 a condiciones regulares. Solo hay que recalcar que en el estudio de 2016, sólo se recolectaron 238 organismos clasificados en 5 órdenes y 14 familias de las cuáles reportan a las familias Naucoridae, Gerridae, Heptageniidae y Coenagrionidae que ahora no se encontraron.

En el caso de la familia Chordodidae, se ha reportado para Colombia y ahí se clasifica en una puntuación de tolerancia a la contaminación de 10 puntos (Álvarez-Arango, 2005; Roldán, 2016), ubicándola como un excelente indicador de las buenas condiciones del agua, aunque en esta ocasión, se encontró en el sitio 4, que de acuerdo al BMWP/Méx. es el más contaminado. Aunque cabe mencionar que autores como Eaton (2017) sostiene que estos organismos parasitan artrópodos como escarabajos y grillos y una vez parasitados inducen al artrópodo a arrojarlo al agua para que el parásito pueda salir, lo que podría explicar su presencia en los ríos.

Por lo anterior, tal vez no sea buena idea tomarlo como indicador de la calidad del agua, o al menos no directamente, debido a que éste va a estar presente donde estén organismos que pueda parasitar para completar su ciclo de vida. Para otros autores, estos organismos son considerados de importancia debido a que los reconocen como controladores biológicos de insectos.

Limnephilidae y Veliidae, son las dos familias encontradas que varios autores sí clasifican como indicadores de la calidad del agua, aunque con valores de 9 y 7 para Limnephilidae (Correa, 2000; Álvarez-Arango, 2005; MMAyA, 2012), que la colocan de manera general como un indicador de buena calidad del agua; mientras que para Veliidae le asignan valores que van desde 3 hasta 6 puntos (Correa, 2000; Muñoz-Riveaux *et al.*, 2003; MMAyA, 2012; Gutiérrez-Fonseca *et al.*, 2016), que puede indicar desde agua contaminadas hasta aguas muy contaminadas. Incluso PNUD (2016) le da una calificación de 8 en su estudio para el mismo río Amanalco.

Las larvas de la familia Scarabaeidae solo se reportan en Puerto Rico como indicadores de la calidad del agua (Gutiérrez-Fonseca *et al.*, 2016) con puntaje de 5, en aguas que presentan algún tipo de contaminación.

En cuanto a la familia Hyalellidae, Gutiérrez-Fonseca *et al.* (2016) y Álvarez Arango (2005) la clasifican con 7 y 3 puntos respectivamente, que indican desde aguas con poca contaminación hasta aguas muy contaminadas.

Por último, las familias Helicidae y Armadillidiidae, no se reportan como indicadoras de la calidad del agua, ya que Helicidae vive en tierra firme, mientras que Armadillidiidae es cosmopolita y no estrictamente acuática. Además Christine y colaboradores (2009) mencionan que los organismos de hábitos terrestres, posiblemente cayeron dentro del cuerpo de agua muestreado.

Finalmente cabe resaltar que en diferentes partes del mundo se está evaluando la calidad del agua utilizando macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores, cada uno de esos países utiliza una modificación del índice BMWP por lo que las calificaciones asignadas a cada familia puede variar de país a país de acuerdo a sus condiciones locales por lo que Prat y Munné citado en Roldán (2003) consideran que la calificación asignada para cada calidad del agua deben ajustarse con las condiciones geológicas, de pendiente, de altura y de sustrato de las corrientes en cada región; con el fin de obtener resultados más confiables.

Con base en lo anterior, después de un periodo de monitoreo adecuado (más largo), se podría proponer el Índice BMWP modificado exclusivamente para la Cuenca Valle de Bravo-Amanalco.

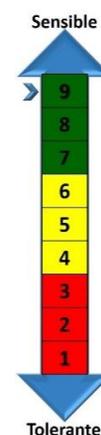
7.3 Descripción de las familias de macroinvertebrados acuáticos del río Amanalco

De las 33 familias recolectadas en los seis sitios de muestreo en el río Amanalco, el BMWP/Méx. solo agrupa 25. Las familias clasificadas, se describen a continuación:

Familia Perlidae



Todas las patas con dos uñas. Carecen de agallas laterales en los segmentos abdominales, algunas especies pueden tener agallas ventrales filamentosas en los primeros dos o tres segmentos (Álvarez-Arango, 2005).



Familia Aeshnidae



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).



Familia Leptoceridae



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).



Familia Hydrobiosidae



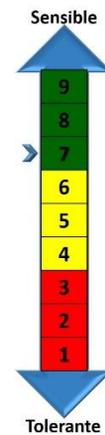
Tibia, tarso y uña de las patas anteriores modificados y fuertemente articulados al fémur, éste con una quela; noveno segmento abdominal con un esclerito dorsal de color obscuro, son larvas de vid libre (Álvarez-Arango, 2005).



Familia Gammaridae



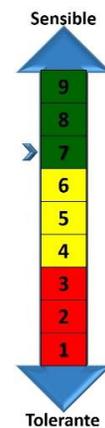
Tienen siete pares de patas sobre las que caminan de las cuales las primeras cuatro están hacia adelante. Presentan tres pares de miembros cortos en la cola llamados uropodos, que utiliza para chasquearlos y huir del peligro. Tienen los primeros dos pares de apéndices modificados para ayudarse a tomar el alimento. La cabeza tiene dos pares de antenas, los ojos que generalmente están pegados al cuerpo y no en tallos (MMAyA, 2012).



Familia Gomphidae



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).



Familia Lestidae



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).



Familia Chordodidae



Cuerpo no segmentado; la cutícula posee una serie de ornamentaciones llamadas areolas; miden entre 10 y 70 cm de longitud (Álvarez-Arango, 2005).



Familia Corydalidae



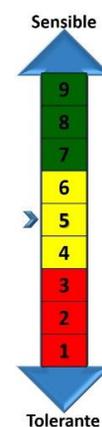
Poseen ocho pares de apéndices abdominales laterales no segmentados o imperfectamente y un par de propatas anales (Álvarez-Arango, 2005).



Familia Hydropsychidae



Miden más de 6 mm de longitud; los segmentos torácicos completamente esclerotizados; abdomen con agallas branquiales ventrales ramificadas; base de la uña anal con un penacho de pelos largos y gruesos; no construyen casa pero hilan redes (Álvarez-Arango, 2005).



Familia Limnephilidae



Labrum con seis setas a través de la parte central; presentan numerosas setas en el primer segmento abdominal; construyen casas de materiales variados como fragmentos de conchas de caracoles, piedras y trocitos de plantas (Álvarez-Arango, 2005).



Familia Elmidae



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).



Familia Tipulidae



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).



Familia Tabanidae



Cuerpo cilíndrico con prolongaciones cortas o pseudópodos en cada segmento abdominal; órganos respiratorios posteriores; último segmento abdominal termina en un sifón (Álvarez-Arango, 2005).



Familia Belostomatidae



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).



Familia Dytiscidae



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).



Familia Notonectidae



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).



Familia Curculionidae



La cabeza se proyecta hacia adelante como un hocico; todos los tarsos tienen cuatro segmentos (Álvarez-Arango, 2005).



Familia Simuliidae



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).



Familia Corixidae



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).



Familia Veliidae



Antenas largas; uñas de por lo menos el primer tarso insertadas en una pequeña hendidura antes del ápice; fémures posteriores cortos; patas medias más o menos equidistantes de los otros dos pares de patas, dorso de la cabeza generalmente con un pequeño canal longitudinal (Álvarez-Arango, 2005).



Familia Scarabaeidae



Antenas con los últimos segmentos mucho más anchos que largos, las tibias presentan prolongaciones externas (Álvarez-Arango, 2005).



Familia Hyalellidae



Presentan tres pares de miembros cortos en la cola llamados uropodos, que utiliza para chasquearlos y huir del peligro. Tienen los primeros dos pares de apéndices modificados para ayudarse a tomar el alimento. La cabeza tiene dos pares de antenas, los ojos que generalmente están pegados al cuerpo y no en tallos (MMAyA, 2012).



Familia Physidae



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



Familia Planorbidae



Carecen de opérculo; concha discoidal, con número de vueltas variables según el género (Álvarez-Arango, 2005).



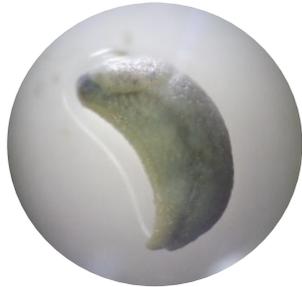
Familia Hydrophilidae



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).



Familia Glossiphoniidae



Conocidos comúnmente como sanguijuelas, son de coloración clara, tienen manchas oculares agrupadas en medio del extremo anterior del cuerpo (Álvarez-Arango, 2005).



Familia Chironomidae



Protórax con dos propatas ventralmente; segmentos del cuerpo sin prominentes tubérculos dorsales ni setas (Álvarez-Arango, 2005).



Orden Lumbriculida (Oligochaeta)



Tienen cuerpo cilíndrico, sin antenas ni grandes expansiones o quetas como tienen los poliquetos (anélidos marinos) (MMyA, 2012).



Familia Syrphidae



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).



7.4 Parámetros fisicoquímicos

Una vez determinados los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua de los seis sitios, se compararon los resultados la NOM-001-SEMARNAT-1996 en su apartado protección para la vida acuática (tabla 23), que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Los resultados obtenidos comparados con la NOM-001-SEMARNAT-1996 de los tres parámetros que se encuentran normados, temperatura y Nitrógeno, están dentro de los límites; mientras que para Fósforo total todos los sitios cumplen con la norma excepto el sitio cinco, que está por encima del límite permisible.

Tabla 23: Valores obtenidos para los parámetros fisicoquímicos en los sitios de muestreo y su comparación con la NOM-001-SEMARNAT-1996 para la protección de la vida acuática.

PARÁMETRO	SITIO1	SITIO 2	SITIO 3	SITIO 4	SITIO5	SITIO 6	NOM-001-SEMARNAT-1996
pH	7.96	7.275	6.83	7.485	7.48	7.145	NN
Temperatura (°C)	14.025	14.65	15.675	18.425	19.225	19.125	40
Oxígeno disuelto (mg/L)	11.07	10.645	9.475	10.335	10.385	11.325	NN
Conductividad (µS/cm)	105.7	115.85	156.15	170.3	192.33	202.7	NN
Fósforo total (mg/L)	12.921	20.278	33.195	7.611	1.125.865	72.928	10
DQO (mg/L)	10	10	ND	46	1	17	NN
Nitrógeno de Nitratos (mg/L)	0.7195	0.825	1.585	11.105	1.765	1.585	25
Sulfatos (mg/L)	6.121	671.765	1.010.375	1.277.735	1.387.485	1.182.475	NN
Alcalinidad (mg/L)	3.1	3	3.5	4.6	4.8	5.3	NN
*ND: No Detectado *NN: No Normado							

Para el resto de los parámetros, se hizo una comparación con los resultados obtenidos en el estudio Plan de Mejores prácticas Acuícolas en la Producción de Trucha Arcoíris en el Municipio de Amanalco, APRN Valle de Bravo (PNUD, 2016), encontrando que los resultados obtenidos son muy parecidos en cuanto a temperatura, pH, oxígeno disuelto y Demanda Química de Oxígeno. Y muy diferentes en los parámetros conductividad y fósforo total que en este estudio salieron valores más altos

A pesar que la NOM-001-SEMARNAT no marca el límite máximo permisible para DQO, existe una escala de clasificación de la calidad del agua conforme a la Demanda Química de Oxígeno DQO (tabla 24).

Tabla 24: Escala de clasificación del agua, conforme a la DQO (PNUD, 2016).

CRITERIO	CLASIFICACIÓN	COLOR
DQO ≤ 10	EXCELENTE No contaminada	AZUL
10 < DQO ≤ 20	BUENA CALIDAD Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable	VERDE
20 < DQO ≤ 40	ACEPTABLE Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente	AMARILLO
40 < DQO ≤ 200	CONTAMINADA Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal	NARANJA
DQO >200	FUERTEMENTE CONTAMINADA Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales	ROJO

Con base en la anterior tabla, se determina que el agua de los sitios uno, dos, tres y cinco se clasifican como aguas de excelente calidad, no contaminadas; mientras que el sitio seis se clasifica como agua de buena calidad que corresponde a aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable. Por último el sitio cuatro se ubica dentro de las aguas contaminadas, colocándose como el sitio más contaminado concordando con lo obtenido por el índice BMWP/Méx. donde también se colocó como el sitio más contaminado. Estos resultados van muy de la mano con lo que encontró en el estudio realizado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2016) donde se observaron fluctuaciones entre aceptable y buena calidad del agua de los sitios muestreados a lo largo del cauce del río Amanalco.

7.5 Análisis estadístico de datos

Para el análisis de las familias y abundancias encontradas en los sitios, la prueba Kruskal-Wallis, arrojó un valor $H=2.14$ con una probabilidad $P=0.7716$, lo que indica que entre los seis sitios de muestreo no hay diferencias significativas entre las familias de macroinvertebrados acuáticos encontrados por sitio (Figura 24).

Kruskal-Wallis test for equal medians	
$H(ch^2)$:	2,14
H_c (tie corrected):	2,532
p (same):	0,7716
There is no significant difference between sample medians	

Figura 24: Resultado de la prueba de Kuskal-Wallis en el software Past.

Además de la prueba de Kruskal-Wallis, se calculó el índice de similitud de Bray-Curtis (tabla 25), donde de acuerdo a los valores obtenidos, se demuestra que los sitios que más se parecen son el sitio 3 (La Autopista) y el sitio 4 (Sn. Fco. Mihulatepec), con un 68.35%; mientras que el sitio que menos se parece a los otros cinco es el sitio 1 con menos del 45% de similitud, además cabe mencionar que este sitio, si bien no fue el sitio con menos familias, sí fue el sitio con menos organismos, encontrándose solo 83 organismos de las 18 familias.

Tabla 25: Valores del índice de Similitud de Bray-Curtis para los sitios de muestreo.

Similarity and distance indices						
	S1	S2	S3	S4	S5	S6
S1	1	0,30882353	0,41428571	0,20555556	0,31775701	0,44660194
S2	0,30882353	1	0,64248705	0,50643777	0,53125	0,5
S3	0,41428571	0,64248705	1	0,6835443	0,48780488	0,53125
S4	0,20555556	0,50643777	0,6835443	1	0,38235294	0,35
S5	0,31775701	0,53125	0,48780488	0,38235294	1	0,65354331
S6	0,44660194	0,5	0,53125	0,35	0,65354331	1

Al agrupar los sitios por similitud, se separan 2 grupos que contienen los sitios más parecidos entre sí; en uno de ellos, se agrupan los sitios 2, 3 y 4, mientras que en el otro grupo se encuentran los sitios 5 y 6 con un valor de índice del 65.35% dejando de lado el sitio uno que es el que menos se parece (figura 25).

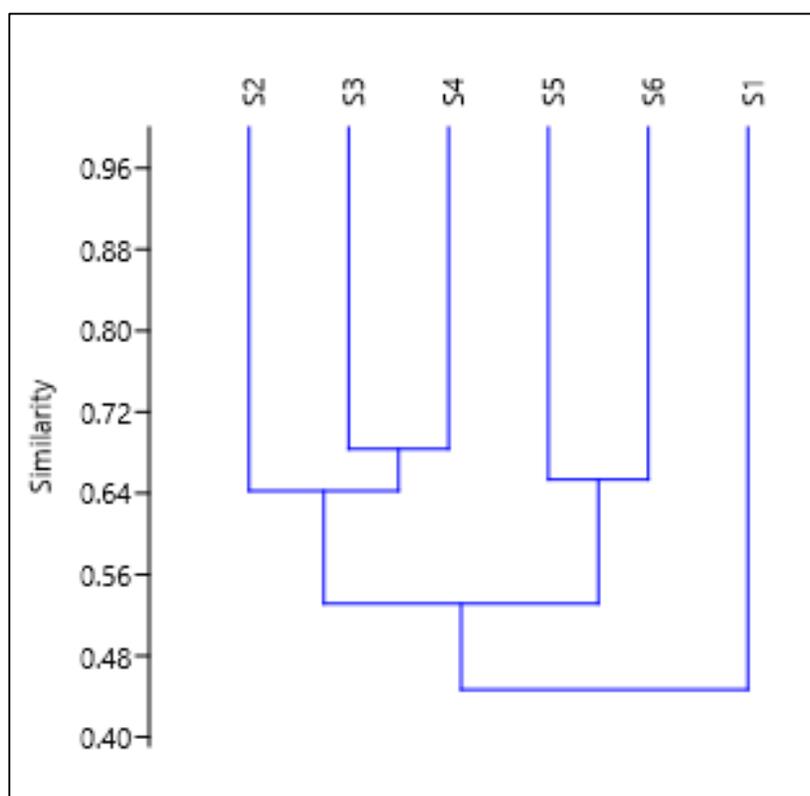


Figura 25: Diagrama que muestra la similitud entre los sitios de muestreo.

Para conocer la relación que pudiera existir entre los parámetros fisicoquímicos, se realizó un análisis de correspondencia canónico (figura 26), y se encontró que la mayoría de las familias prefieren ambientes con contenidos bajos de DQO y altas concentraciones de oxígeno

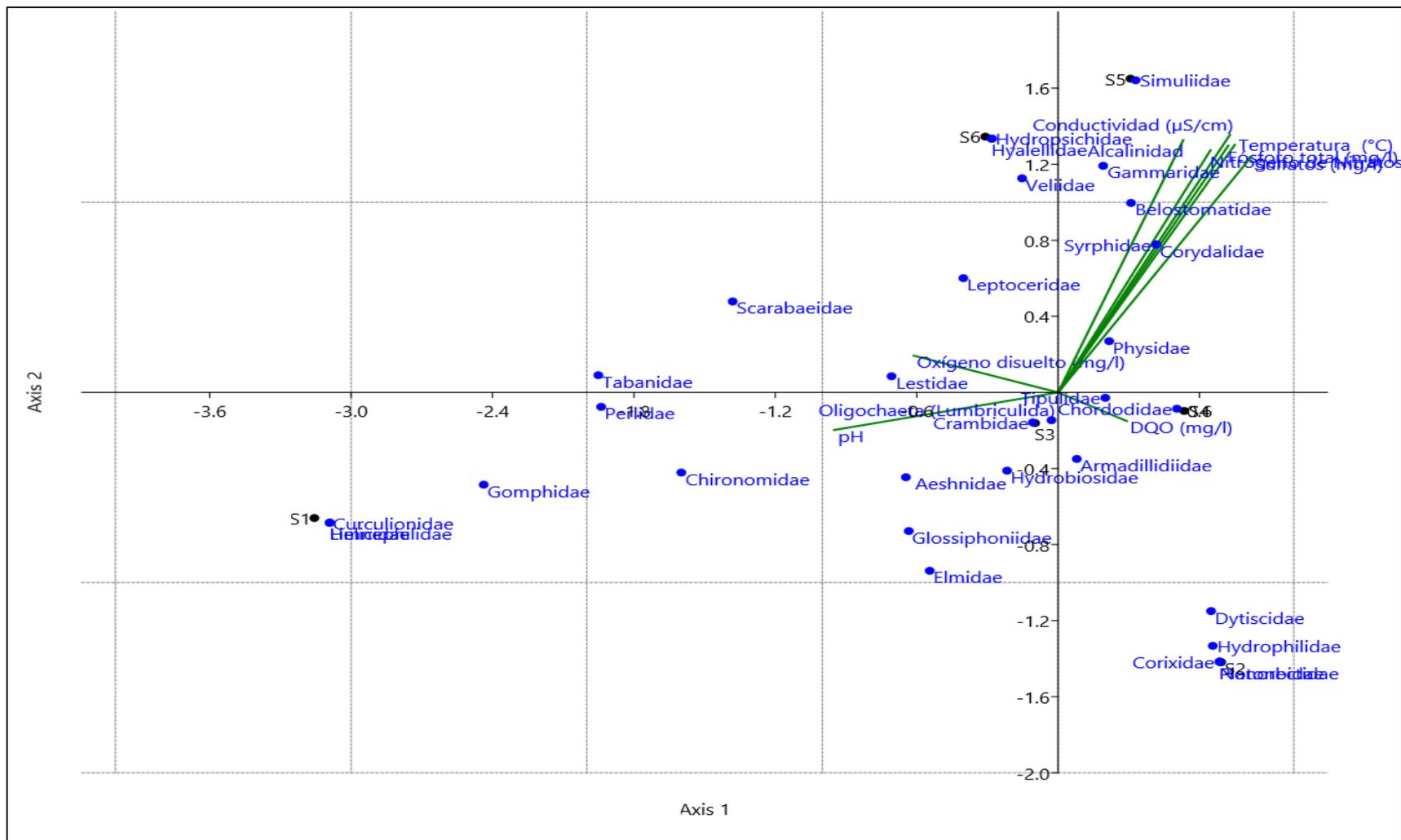


Figura 26: Diagrama de Correspondencia Canónica que muestra la relación entre las familias de macroinvertebrados y los parámetros fisicoquímicos.

7.6 Caracterización de las actividades económicas de la cuenca del río Amanalco

Una vez conocida la calidad del agua que presentan los sitios de muestreo dentro del río Amanalco, con ayuda de los macroinvertebrados acuáticos y los parámetros fisicoquímicos, se necesitaba conocer un poco de las posibles causas que influyen directamente en la calidad del agua, por lo que se realizó una caracterización de las actividades económicas que se realizan dentro de la cuenca del río Amanalco.

En primer lugar se delimitó la cuenca del río Amanalco con ayuda del módulo watershed de TerrSet, quedando como se muestra en la figura 27.

Posteriormente se obtuvo el mapa de uso de suelo para la cuenca del río Amanalco, así como superficie en hectáreas de cada una de estas (tabla 26 y figura 28), mediante clasificación supervisada en el software Terrset.

El mapa de uso de suelo en la cuenca, muestra que las coberturas que mayor superficie presentan son la zona forestal con 12 111.21 Has. y la zona agrícola con 6394 Has. de las 32165.92 Has. totales que posee la cuenca, lo que lleva a pensar entonces que las actividades agrícolas son en parte la actividad que más podría estar incorporando contaminantes al río.

Tabla 26: Superficie de los diferentes usos de suelo dentro de la cuenca del río Amanalco.

USO DE SUELO	SUPERFICIE (Has.)
AGRÍCOLA	6394.29
FORESTAL	1211.21
PASTIZAL	772.83
ÁREA URBANA	2842.47
AGUA	4.41
SUELO	10030.32

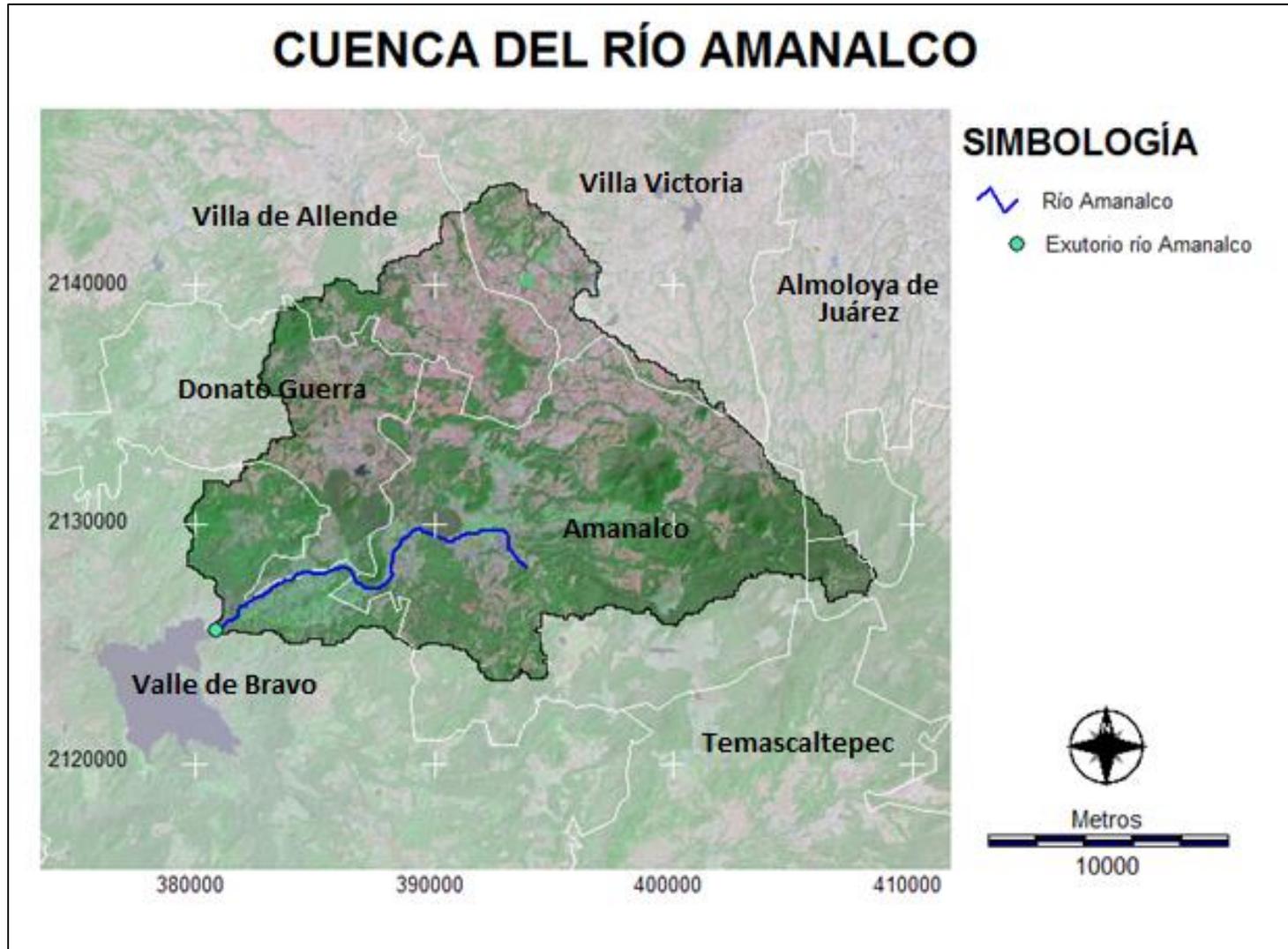


Figura 27: Delimitación de la cuenca del río Amanalco.

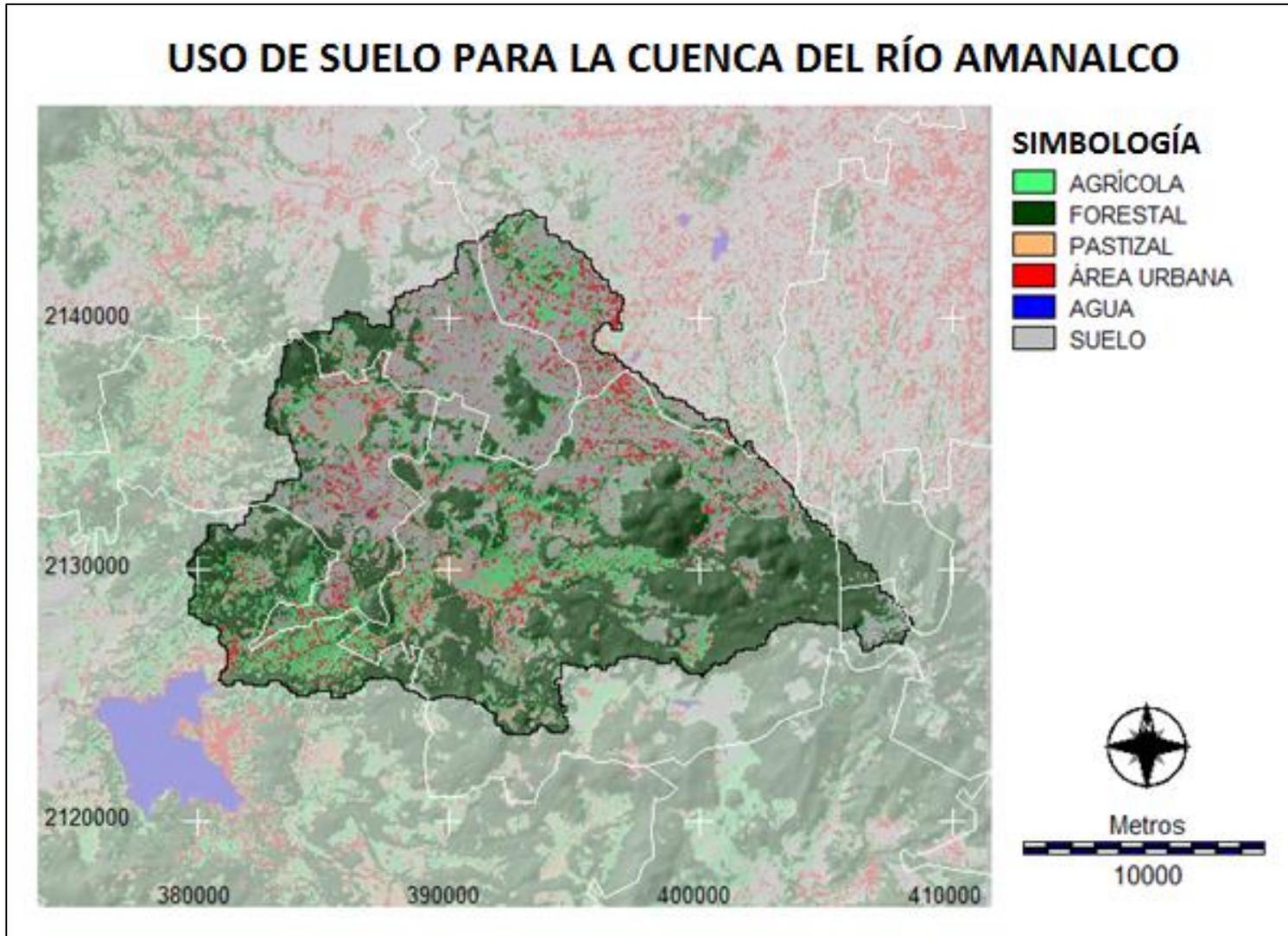


Figura 28: *Uso de suelo para la cuenca del río Amanalco.*

7.6.1 Actividades económicas en la cuenca Valle de Bravo-Amanalco

En el tema socioeconómico de la cuenca Valle de Bravo, se hace referencia a una población que se distribuye en 95 asentamiento humanos, uno de ellos urbano, que concentra alrededor de un tercio de la población y los otros dos tercios, están distribuidos en 94 localidades rurales (SEMARNAT-CONAGUA, 2005).

Las actividades económicas que se realizan dentro de la cuenca, entran tanto en las actividades económicas primarias y secundarias como en las terciarias, siendo las primarias y terciarias las de mayor impacto, dejando a las secundarias en último lugar debido principalmente a la falta de industria. A continuación se describen las actividades económicas que se practican dentro de la cuenca:

Producción agrícola

Los principales cultivos son el maíz, con alrededor de 80% de la superficie cultivable, además, también se cultiva frijol, papa, haba, chícharo, jitomate, tomate, chile manzano, hortalizas, avena forrajera, trigo, alpiste, girasol, cebada, así como algunos frutales. El maíz, a pesar de ser el cultivo de mayor superficie (5200 Has.), es producido en tierras de temporal y básicamente es para autoconsumo. Por el contrario en áreas mucho menores se producen papa y chícharo bajo el sistema de riego bajo, con la finalidad de comercializarlos en los mercados locales, así como en los de Toluca y Ciudad de México (SEMARNAT-CONAGUA, 2005).

La producción de hortalizas se da en dos vertientes: la tradicional y la orgánica, esta última con mayor rentabilidad; además de cultivar frutales como frambuesa, guayaba, mango y mamey (SEMARNAT-CONAGUA, 2005).

Producción forestal

En el caso del municipio de Valle de Bravo, se tiene una superficie silvícola de 23692 Has. en las cuales se encuentran desde pinos, encinos y algunas especies como aile, álamo, fresno y madroño. La superficie silvícola, representa el 56.1% de la superficie municipal (SEMARNAT-CONAGUA, 2005).

Para el municipio de Amanalco, se cuenta con una superficie forestal de 12641 Has. la explotación del recurso forestal (pino, cedro, ocote, mimbre, acahuite y oyamel), cuenta con una superficie tanto de carácter ejidal como comunal. En la producción forestal participan las 13 comunidades ejidatarias, trabajan con nueve hectáreas de bosque en forma cíclica y cuentan con seis aserraderos (SEMARNAT-CONAGUA, 2005).

La unión de ejidos Emiliano Zapata, tiene amplia presencia en el municipio, el cual produce plantas de diversas especies, dedicando el 60% de su producción para la reforestación de las áreas boscosas del municipio (SEMARNAT-CONAGUA, 2005).

El municipio de Villa Victoria explota principalmente especies de pino en 38902 Has., oyamel en 8391 Has. y cedro blanco en 1764 Has. Según PROBOSQUE de 19219 Has. que integran el territorio del municipio de Villa Victoria, 11065 Has. están ocupadas por bosque y representan el 57.57%. En 1994 la extracción de madera fue de 2309 m³ de pino, 394m³ de oyamel y volúmenes menores de cedro, encino y otros (SEMARNAT-CONAGUA, 2005).

Producción pecuaria

La ganadería en el municipio de Valle de Bravo se practica principalmente en torno al ganado bovino, el 3% se dedica al autoconsumo y el resto al mercado. Mientras que para Amanalco, la producción es poco significativa en cuanto a su volumen y área ocupada. Se produce para el autoconsumo o para el consumo interno del municipio. En los demás municipios que conforman la cuenca, la producción ganadera es aún menor (SEMARNAT-CONAGUA, 2005).

Tabla 27: Producción ganadera de la Cuenca de Valle de Bravo (Tomado de SEMARNAT-CONAGUA, 2005).

ESPECIE	CABEZAS	PRODUCCIÓN (TON)
BOVINO	5315	590.46
PORCINO	2060	79.62
OVINO	29350	133.90
CAPRINO	299	0.90
AVES	35980	58.01

Piscicultura

Valle de bravo cuenta con 81 estanques, de los cuales sólo el 63% están en actividad. Se produce principalmente trucha arco iris, alcanzando alrededor de las 70 toneladas anuales. Así mismo, la presa de Valle de Bravo, con sus 1730 Has. de superficie constituye un potencial para la pesca comercial y deportiva (SEMARNAT-CONAGUA, 2005).

En el municipio de Amanalco, la piscicultura comenzó hace más de 20 años en el ejido de Corral de Piedra y su auge se inició con la construcción de la granja “Ejido de Amanalco” y con el paso del tiempo se incrementó el número de productores dedicados a la engorda de la trucha. Actualmente existen 81 granjas productoras, de las cuales, ocho cuentan con sala de reproducción y engorda, 48 con registro oficial, distribuida en varias asociaciones y una parte de ellas son particulares, conformando las Asociación de Productores de Truchas. La capacidad instalada es de 200 estanques con capacidad de 25000 m³ de superficie (SEMARNAT-CONAGUA, 2005).

Floricultura

Esta actividad se realiza desde hace más de 20 años principalmente en el municipio de Amanalco y en la actualidad tiene cultivos que requieren alta tecnología donde se ha pasado de del sistema inicial de producción al aire libre al uso de formas más tecnificadas de producción, a partir de invernaderos, sin que haya desaparecido la producción tradicional (SEMARNAT-CONAGUA, 2005).

Cabe mencionar que los últimos años, y gracias a recorridos realizado antes y durante esta investigación, se observó un incremento considerable en la siembra de flores, principalmente girasol, gladiola y ave de paraíso.

Actividades industriales y de servicios

Dentro de la cuenca, existe la industria eléctrica y asociada a ésta la industria de la construcción. Predominan empresas en el área de cerámica y fabricación de muebles de madera; así como centros agroindustriales productores de hongos, licor, mermelada,

aderezos, conservas y quesos, así como actividades de producción artesanal por parte de las localidades indígenas (SEMARNAT-CONAGUA, 2005).

También destaca la presencia de restaurantes y hoteles, así como la ubicación de comercios establecidos, mercados municipales, tortillerías, molinos maquileros y de tortilla. Además también existen aserraderos, estos con mayor actividad en el municipio de Amanalco (SEMARNAT-CONAGUA, 2005).

Una vez conociendo las actividades económicas que más se practican dentro de la cuenca, se realizaron recorridos para ubicar puntos donde se practican algún tipo de actividad de las anteriormente mencionadas y que además se ubicaran no muy lejos del tramo evaluado del río Amanalco.

En estos recorridos se ubicaron zonas que van desde descargas de drenajes, lugares con prácticas agrícolas de diferentes productos, hasta de servicios como gasolineras, talleres mecánicos, rastros y plantas de tratamiento de aguas residuales (tabla 28 y figura 29), que afectan la calidad del agua del río Amanalco, debido a que se incorporan a éste gracias a las corrientes perenes e intermitentes de la zona.

Tabla 28: Actividades que contribuyen a la contaminación de las aguas del río Amanalco.

COORDENADAS			COORDENADAS		
ACTIVIDAD	LATITUD	LONGITUD	ACTIVIDAD	LATITUD	LONGITUD
Descarga de drenaje (Amanalco)	19.25400278	-100.0376778	Chícharo 1 (El Plan)	19.23232222	-100.0868528
Descarga de drenaje 1 (Salitre)	19.23201944	-100.1172194	Chícharo 2 (El Plan)	19.23080278	-100.0886556
Descarga Salitre 2 (Salitre)	19.23216667	-100.11705	Alcachofa (Pipioltepec)	19.23786944	-100.097425
Hortaliza 1 (San Fco. Mihualtepec)	19.24160833	-100.0949694	Bosque Pino (Ocotalera)	19.23301667	-100.067975
Hortaliza 2 (San Fco. Mihualtepec)	19.24286944	-100.0957722	Bosque Pino-Encino (Sn. Juan)	19.25568889	-100.0483944
<i>Phragmites</i> 1 (San Fco. Mihualtepec)	19.24210278	-100.0953528	Bosque Pino (Amanalco)	19.25211389	-100.0061917
<i>Phragmites</i> 2 (San Fco. Mihualtepec)	19.24277222	-100.0956139	Gasolinera (El Arco)	19.22395833	-100.130125
Tomate	19.2395	-100.0938361	Gasolinera (Amanalco)	19.25211389	-100.0251028
Carnicería Polv.	19.23973611	-100.0815944	Avena forraje (Amanalco)	19.25895556	-100.0199833
Carnicería 1 (Pipioltepec)	19.23973611	-100.0969056	PTAR (Amanalco)	19.25430278	-100.0392667
Maíz (Candelaria)	19.22884722	-100.0853694	PTAR (Valle de Bravo)	19.22134444	-100.1308889
Truchas (Polvillos)	19.22917222	-100.0747972	Taller mecánico (Ocotalera)	19.23239444	-100.0671611
Truchas (El Plan)	19.23058889	-100.0933361	Taller mecánico (Pipiolrtepec)	19.23318889	-100.0938111
Ave de paraíso (Polvillos)	19.23063611	-100.077575	Taller mecánico (El Arco)	19.22595	-100.1284944
Aguacate (Polvillos)	19.23116111	-100.0797278	Vulcanizadora (Pipioltepec)	19.23000833	-100.1008139
Invernadero Flor (Polvillos)	19.23565278	-100.0727306	Ojo de agua	19.22811667	-100.0909583
Invernadero jitomate (Candelaria)	19.23066944	-100.0813444	Rastro municipal Valle de Bravo	19.23548	-100.111
Girasol (El negro)	19.23302222	-100.0813333	Rastro municipal Amanalco	19.252847	-100.017146



Figura 29: Ubicación de actividades que aportan contaminantes al río Amanalco.

Después de conocer las actividades desarrolladas dentro de la cuenca que pueden intervenir en la calidad del agua del río, y al delimitar las microcuencas, se ubicaron los puntos específicos que de alguna u otra manera incorporan contaminantes a los sitios de muestreo.

Para el sitio 1, que se tomó unos cuantos metros abajo del nacimiento del río, no hay gran influencia de los puntos detectados que incorporan contaminantes, ya que este sitio se encuentra rodeado principalmente por bosque de pino y muy poca población aledaña (figura 30), por lo que no es raro que de este manantial se lleve agua potable para la cabecera municipal de Amanalco.

En el caso del sitio 2, a pocos metros de la unión del río Chiquito con el río Amanalco, se identificaron fuentes de contaminación, principalmente por las actividades agrícolas, que se practican dentro de la microcuenca (figura 31), además la zona urbana de la cabecera municipal y el rastro municipal y el posible arrastre que viene río arriba de varias corrientes que se integran al río Amanalco.

Para el sitio 3, en su zona de influencia dentro de esta microcuenca se observaron al igual que en el sitio 2, las actividades agrícolas, que se practican dentro de la microcuenca, además de la ubicación de una gasolinera y algunos talleres mecánicos como los puntos contaminantes (figura 32).

En el sitio 4, el área agrícola aumenta considerablemente, ya que las actividades de las comunidades de Polvillos, San Miguel Xoltepec y San Francisco Mihualtepec tienen gran influencia dentro de la microcuenca, por lo que los contaminantes incorporados son ser considerables como lo mostró la evaluación del índice BMWP,/Méx. que coloca a este sitio con el índice más bajo (figura 33).

Para el sitio 5, además de todos los contaminantes mencionados para los sitios 1, 2, 3 y 4, en este, se encuentra el Rastro Municipal de Valle de Bravo, que, aunque ellos mencionan que tratan sus aguas, no se tiene la seguridad de que así sea (figura 34).

Finalmente, el sitio 6 además de todos los contaminantes incorporados río arriba en los otros sitios, en esta microcuenca (cuenca del río Amanalco en su totalidad), se incorpora un río que nace en la comunidad de Polvillos, el cual recolecta sedimentos y sustancias de actividades como agricultura, y algunas granjas de trucha, además de talleres mecánicos y una gasolinera ubicados en la comunidad de El Arco. Por lo anterior y por la dinámica del río, se esperaba

que este fuera el sitio que presentara mayor contaminación, lo que no ocurrió así probablemente por la gran cantidad de agua que se incorpora del río antes mencionado que pudiera estar diluyendo los contaminantes (figura 35).

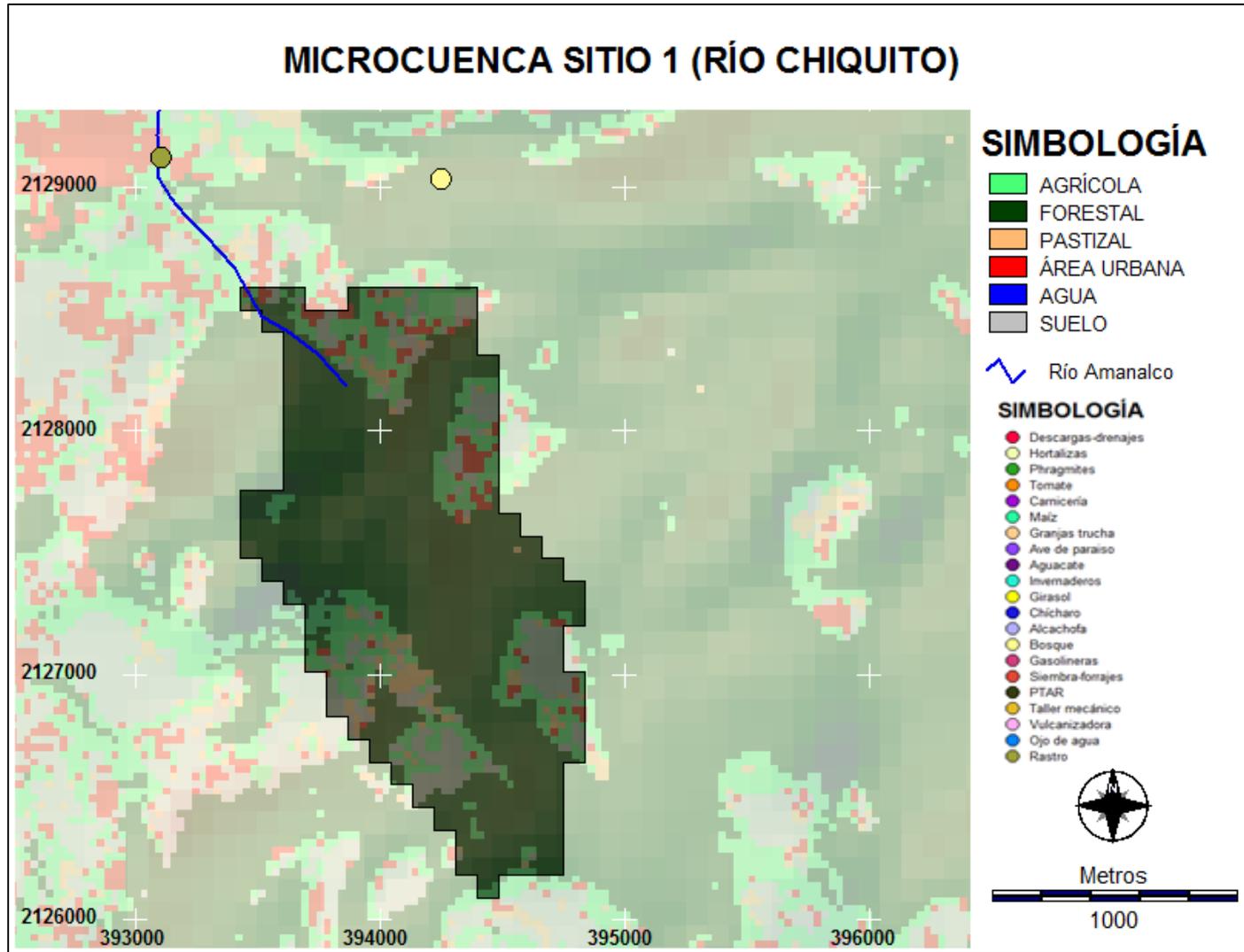


Figura 30: Delimitación de la microcuenca del sitio 1 y sus posibles fuentes de contaminación.

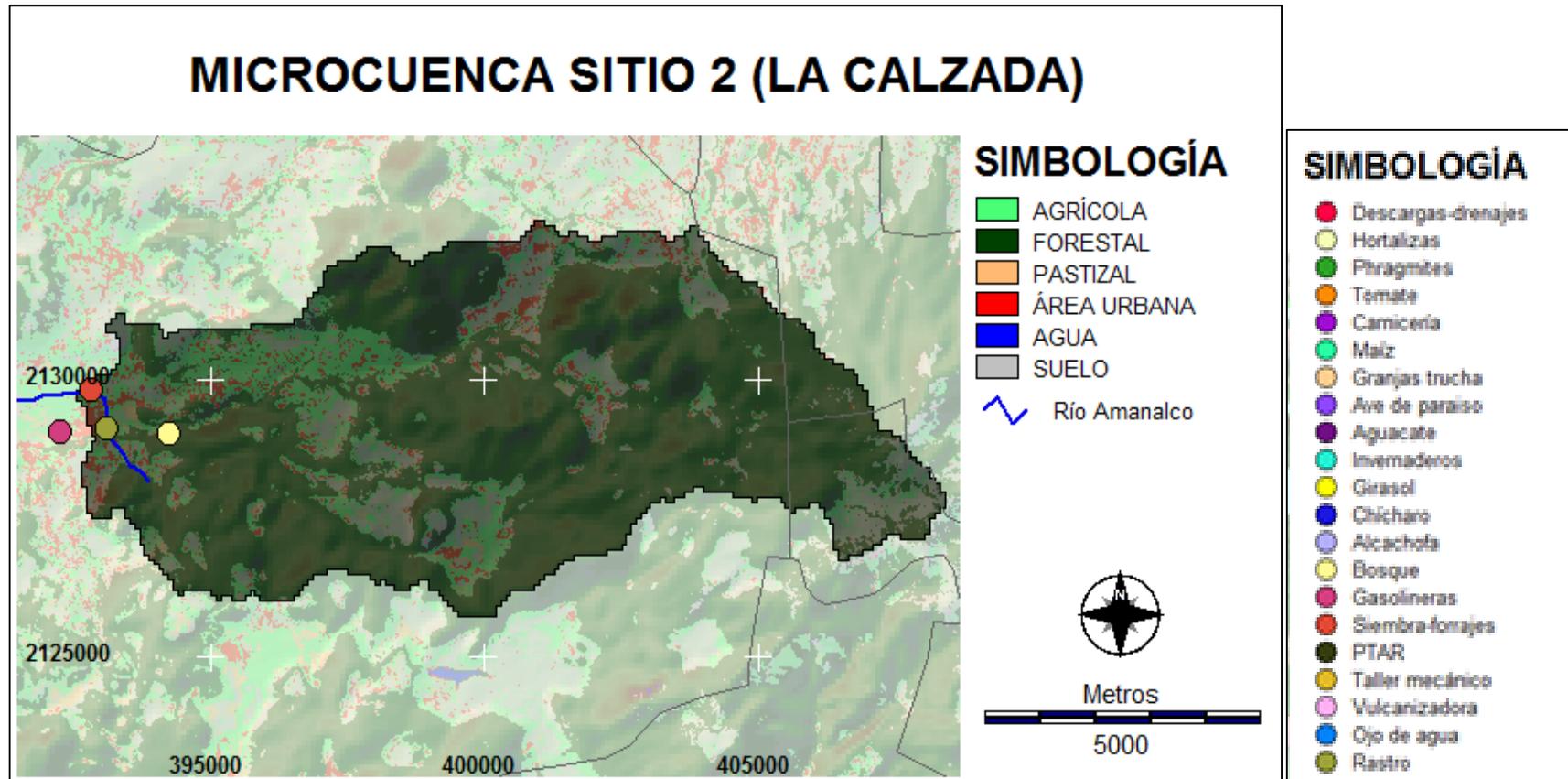


Figura 31: Delimitación de la microcuenca del sitio 2 y sus posibles fuentes de contaminación.

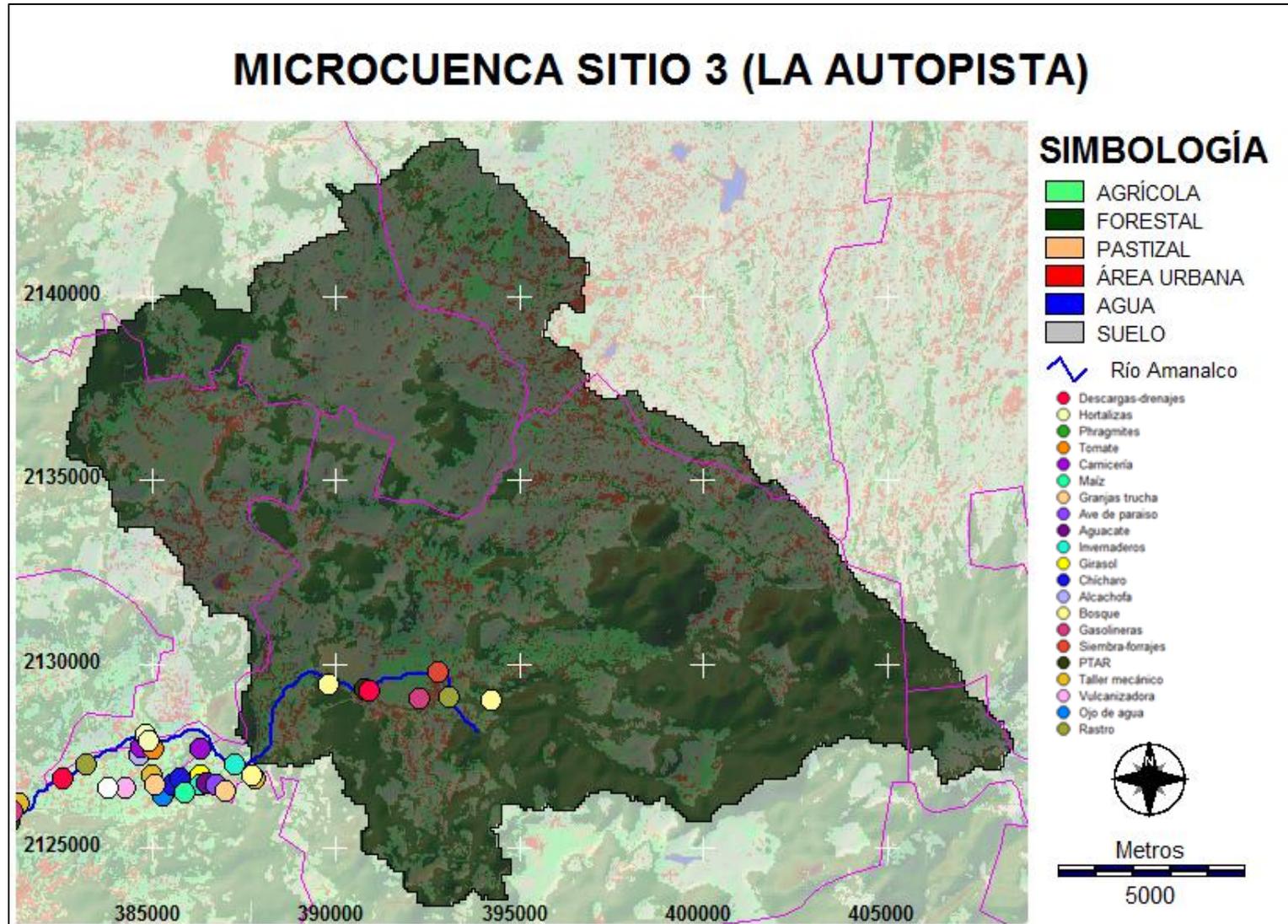


Figura 32: Delimitación de la microcuenca del sitio 3 y sus posibles fuentes de contaminación.

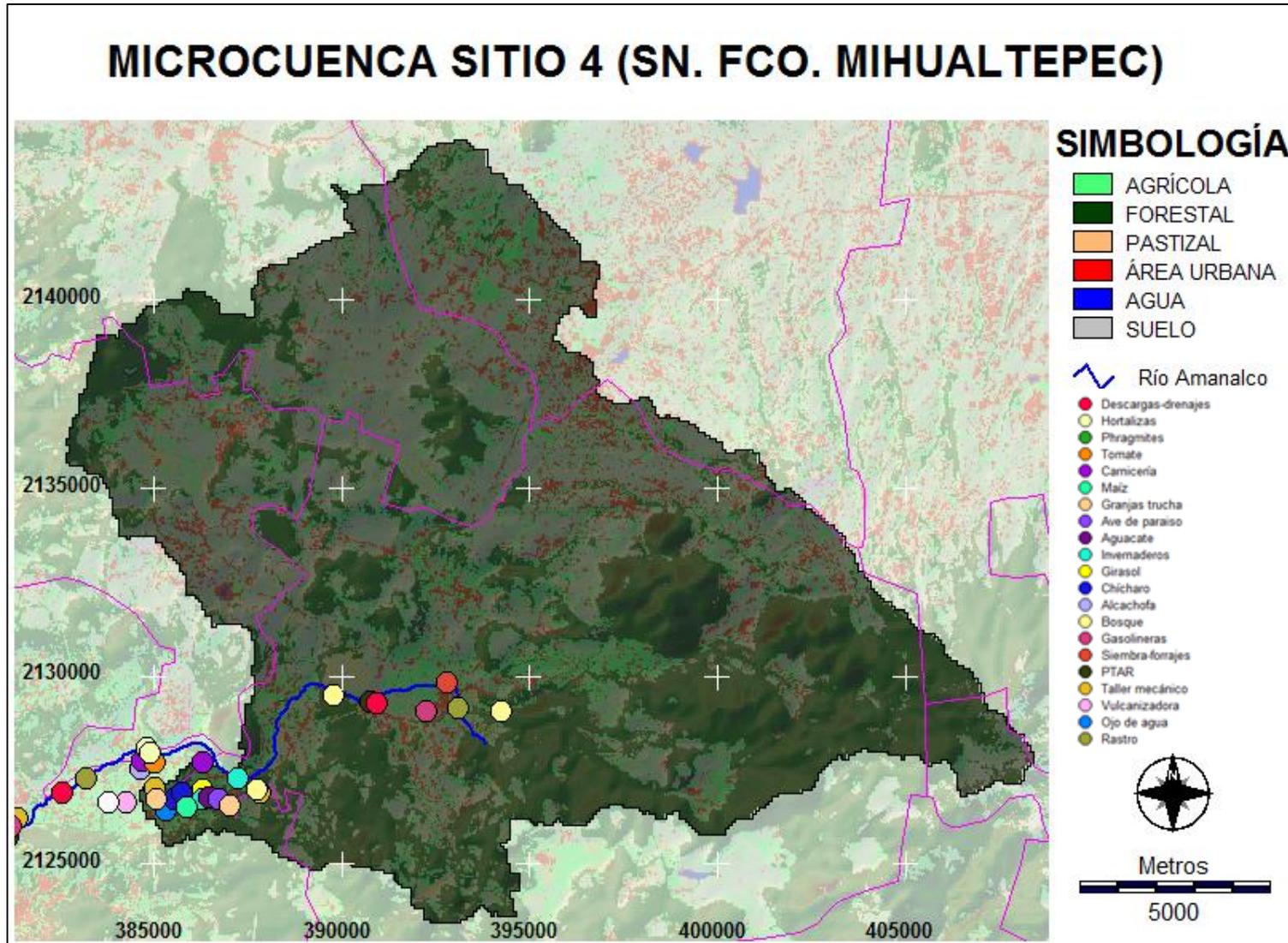


Figura 33: Delimitación de la microcuenca del sitio 4 y sus posibles fuentes de contaminación.

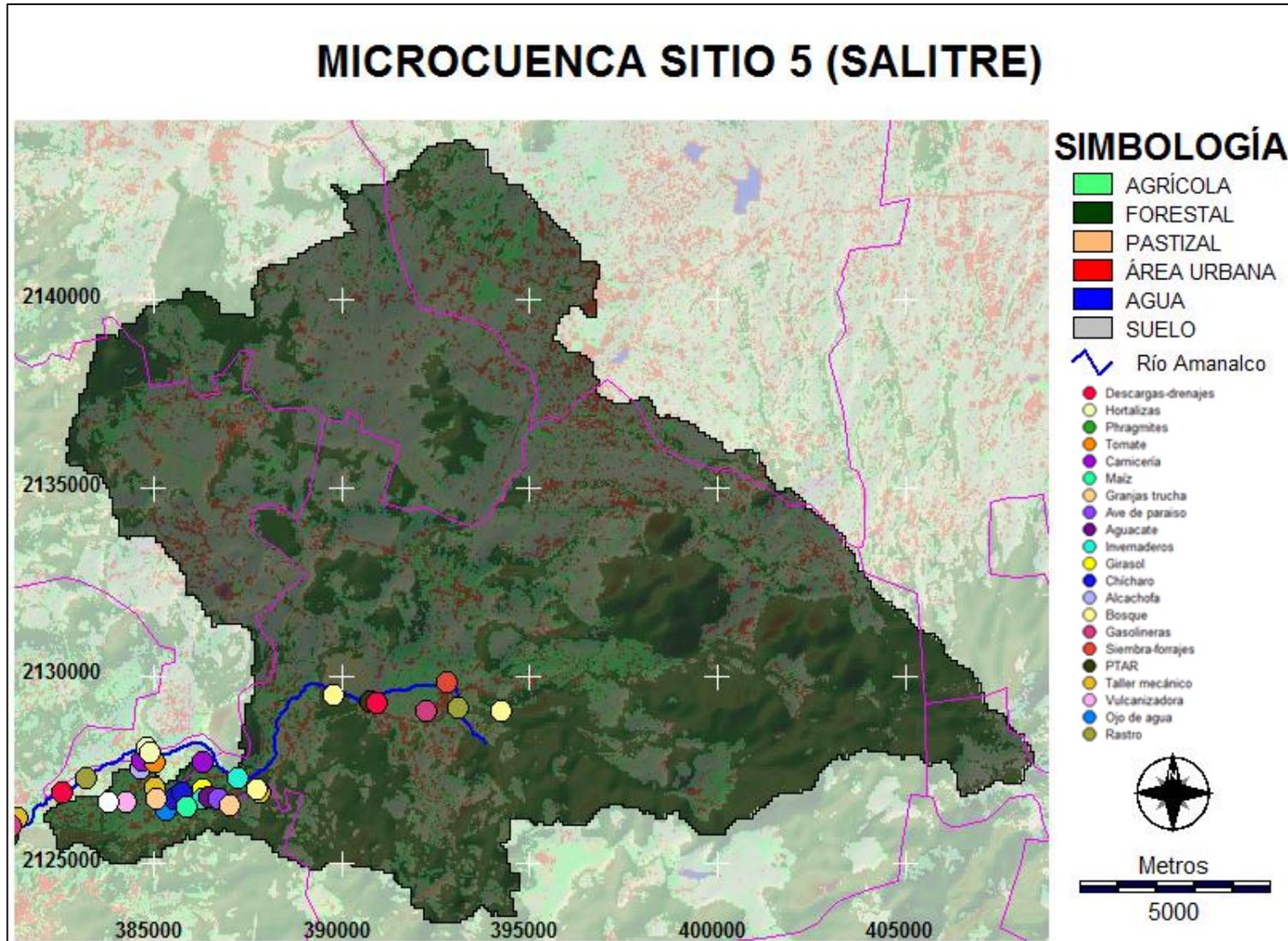


Figura 34: Delimitación de la microcuenca del sitio 5 y sus posibles fuentes de contaminación.

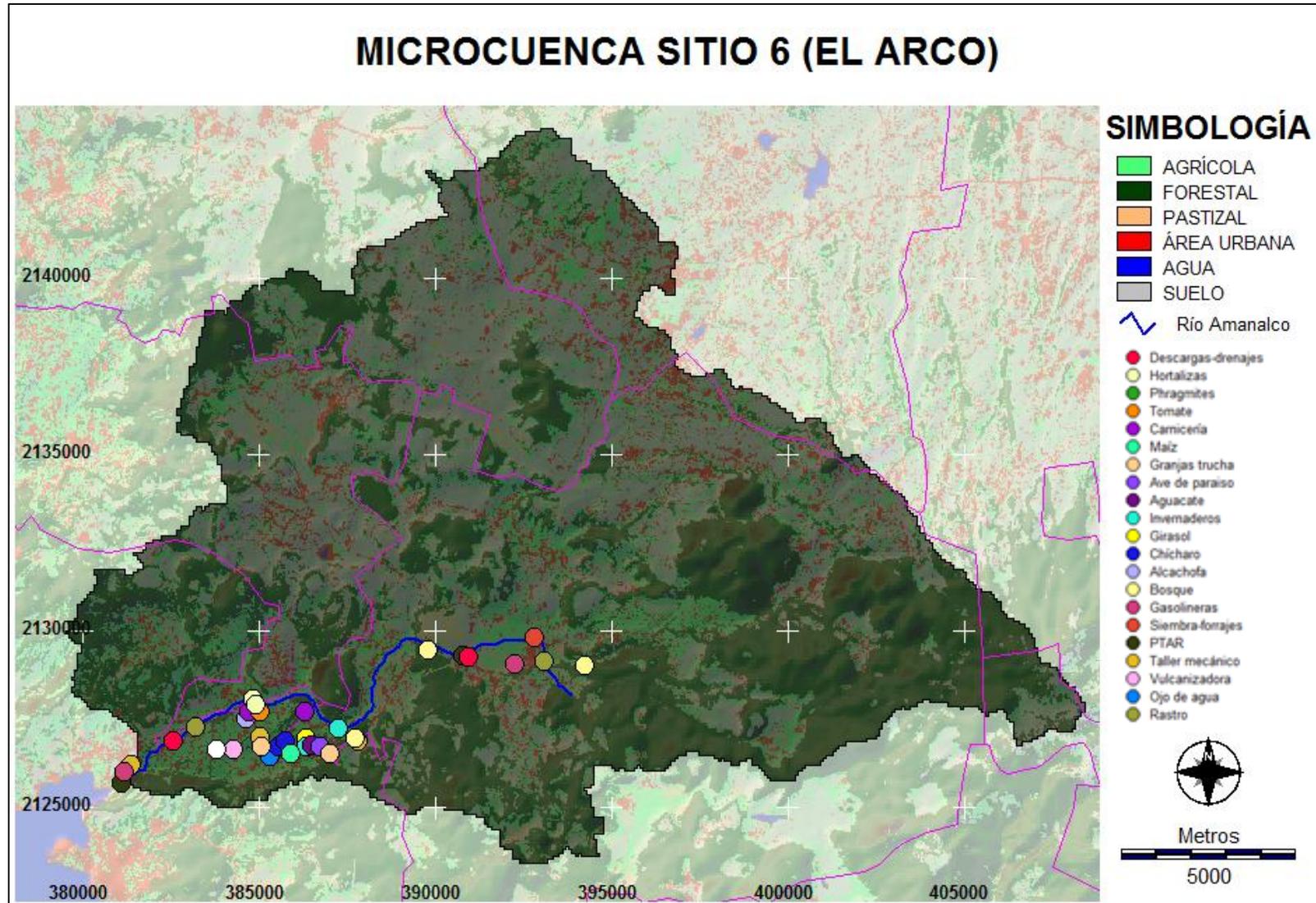


Figura 35: Delimitación de la microcuenca del sitio 6 y sus posibles fuentes de contaminación.

Como se mencionó anteriormente, la agricultura es la actividad más practicada dentro de la cuenca, y esperando que sea una de las actividades que más contaminantes incorpore a las aguas del río Amanalco, se recolectaron envases de los productos químicos que se utilizan para esta actividad para observar sus componentes principales.

Durante los recorridos se encontraron empaques de productos químicos de uso agrícola. Estos productos fueron FAENA CLÁSICO, GRO-GREEN, MALATHION 1000 E, AGRO AZUFRE, UREA FOLIAR y YARA DAP 18-46-00.

FAENA CLÁSICO

Es un herbicida formulado como concentrado soluble en agua para ser aplicado al follaje de la maleza que se recomienda en el cuadro. El producto es absorbido por las hojas y llega hasta las raíces y otras partes de la maleza ya brotada.

COMPOSICION PORCENTUAL:	
Ingrediente activo:	
Glifosato: Sal de potasio de N-(fosfonometil)-glicina; con un contenido de ácido glifosato no menor de 81.61%	
No menos de:	35.6%
(Equivalente a 363 g de I.A. [ácido glifosato]/L a 20°C)	
Ingredientes inertes:	
Acarreador, anticongelante, antiespumante, colorante, surfactante	
No más de:	64.4%
Total:	100.0%



Figura 36: Composición de Faena clásico utilizado en la agricultura de la zona. (<http://dunemexicali.com.mx/archivos/AGROQUIMICOS/PROTECCION%20DE%20CULTIVOS/CONVENCIONALES/HERBICIDAS/MONSATO/FAENA%20FUERTE%20360/FAENA%20FUERTE%20360%20HT.pdf>).

GRO-GREEN

GRO-GREEN 20-30 10 es un fertilizante soluble en agua, óptimo para aplicación vía foliar y edáfica. La nutrición foliar con Gro-Green es un medio directo, eficiente y económico de abonar las plantas. NO sustituye a la fertilización al suelo pero ayuda sustancialmente a la planta ya que se aprovecha hasta el 95% de lo que se aplica. Devuelve al agricultor de 5 a 10 veces su valor.

CONTENIDO: 1 KG	
DIMENSIONES: 10CM BASE, 18 CM ALTURA	
COLOR: n/a	
INGREDIENTES:	
Nitrogeno	20%
Fósforo	30%
Potasio	10%
Ca	1%
Mg	1%
Fe	.1%
Bo	.1%
Cu	.1%
Mn	.1%
Mo	.01%
Co	.1%
S	2%



Figura 37: Composición química de Gro-Green, utilizado en la agricultura de la zona (<https://inimex.mx/productos/03FL-GG20-30-10>).

MALATHION 1000 E

Insecticida organofosforado. Cuando se diluye con agua forma una emulsión estable. De uso agrícola para el control de los insectos plaga.



MALATIÓN: O,O-Dimetil fosforoditioato de dietil mercapto succinato (Equivalente a 1000 g i. a./L)	84%
INGREDIENTES INERTES: Disolvente, emulsificante y compuestos relacionados.	16%

Figura 38: Composición química de Malathion 1000 E utilizado en la agricultura de la zona (<http://www.dragon.com.mx/malathion-1000-e/>).

AGRO AZUFRE

Es un fungicida acaricida con acción de contacto para prevenir enfermedades fungosas y controlar infestaciones de ácaros.

Fungicida-acaricida, Polvo seco	
COMPOSICIÓN PORCENTUAL: % EN PESO	
Ingrediente activo:	
Azufre elemental:	
No menos de 93	
(equivalente a 930 g de I.A./kg)	
Ingredientes inertes:	
Diluyentes y compuestos relacionados:	
No más de 7	
Total 100	
Finura de 93% pasa por tamiz de 325 mallas	

Figura 39: Composición química de Agro Azufre (<http://innovacionagricola.com/producto/azufre-93/>).

UREA FOLIAR

Es un fertilizante foliar con una alta concentración de nitrógeno, elemento que las plantas necesitan en grandes cantidades para lograr un crecimiento vigoroso y un desarrollo vegetal adecuado para altos rendimientos.



Figura 40: Composición: nitrógeno total 44.00% (N orgánico 44%); biuret, no más de 0.15% (https://www.terralia.com/agroquimicos_de_mexico/view_trademark?trademark_id=71111).

8. CONCLUSIONES

- Un total de 33 familias de macroinvertebrados se encontraron presentes en el río Amanalco.
- Las familias Tipulidae, Lestidae, Gammaridae e Hydrophilidae son las más abundantes y representativas de la zona.
- En términos generales, de acuerdo a las familias de macroinvertebrados registradas, el río Amanalco presenta aguas de calidad buena, regular, con contaminación moderada de acuerdo al nivel de calidad del Índice Biological Monitoring Working Party en su modificación para México.
- Se asignó una puntuación a las familias encontradas en el río Amanalco, mismas que el índice BMWP/Méx. no considera, quedando Chordodidae: 7, Limnephilidae: 5, Veliidae: 4, Scarabaeidae: 4, Hyalellidae: 4 y Crambidae: 4.
- El río chiquito fue el sitio con mayor número de familias de macroinvertebrados registradas y con un valor de 83 puntos (agua regular).
- El río Amanalco alberga organismos pertenecientes a familias que presentan diferente calificación en el índice BMWP/Méx., entre las que destacan Perlidae con 9 y Aeshnidae, Leptoceridae e Hydrobiosidae, todas con calificación de 8; mismas que son un indicador de aguas de buena calidad. También se encontraron las familias Chironomidae con calificación de 2 y Syrphidae y organismos del orden Lumbriculida, ambas con calificación de 1, que se encuentran comúnmente contaminadas o de mala calidad.
- Se generó el Índice Biological Monitoring Working Party exclusivo para el río Amanalco, el cual incluye a las familias clasificadas en el BMWP/Méx. y las familias a las cuales se les asignó una puntuación.
- La actividad económica que más influye en la contaminación de las aguas del río Amanalco, por la superficie de la cuenca que abarca es la agricultura, ya que utiliza productos químicos como fungicidas, insecticidas y herbicidas que incorporan contaminantes al río gracias a la misma dinámica de la cuenca.

9. RECOMENDACIONES

Con los resultados obtenidos en la presente investigación y con base en la revisión bibliográfica, para estudios de este tipo se recomienda, por un lado, hacer muestreos a lo largo de un periodo mayor, con la finalidad de obtener resultados más confiables e incluir elementos como las curvas de acumulación de especies o en este caso de familias para tener un argumento biológico válido para determinar el fin de los muestreos.

Por otro lado, también se recomienda ampliar la zona de estudio para conocer la calidad del agua de las corrientes que se integran al río Amanalco y que están influyendo directamente en la calidad de agua de éste.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Alba-Tercedor, J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio de Agua en Andalucía, (SIAGA), Almería, vol. II: 203-213. ISBN.:84-7840-262-4. España. Pp.: 203-213.
- 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.
- 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.
- Barba-Álvarez, R., De la Lanza-Espino, G., Contreras-Ramos, A. y González-Mora, I. 2013. Insectos acuáticos indicadores de calidad de agua en México: caso de estudio, ríos Copalita, Zimatán y Coyula, Oaxaca. *Revista Mexicana de Biodiversidad* (4). México. Pp: 381-383.
- 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.
- Bartram, J. y Ballance, R. 1996. Water quality monitoring: A practical guide to the design of freshwater quality studies and monitoring programs. Chapman Hill. London. 383 p.
- Bernal-González, E. 2017. Propuesta para el análisis de la gobernanza del agua en una cuenca hidrosocial: Caso Valle de Bravo Amanalco. Tesis de doctorado. FI-CIRA, UEMéx. 284 p.
- Bonfil, H. y Madrid, L. 2007. Pago por Servicios Ambientales en la Cuenca de Amanalco-Valle de Bravo.* Fondo Pro Cuenca Valle de Bravo, A.C. e Instituto Nacional de Ecología.

- Cairns, J. y Dickson, K. L. 1971. A simple method for the biological assessment of the effects of the water discharges on aquatic bottomdwelling organisms. *J. Wat. Poll. Control Fed.* 43 (5):755-772.
- Christine, M., Hahn-von, H., Ricardo, D., Grajales-Quintero, A., Duque-Quintero, G. y Serna-Uribe, L. 2009. Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos, en la estación piscícola, Universidad de Caldas, Municipio de Palestina, Colombia. *Boletín Científico. Centro de Museos. Mueo de Historia Natural.* ISSN 0123-306B. 13 (2): Pp.: 89-105.
- Cook, S. 1976. Quest for an index of community structure sensitive to water pollution. *Environmental Pollution.*
- Correa, I. 2000. Desarrollo de un índice biótico para evaluar la calidad ecológica del agua en los ríos de la cuenca alta del río Chama utilizando macroinvertebrados bénticos. Universidad de los Andes. Venezuela. 62 pp.
- Custodio, M. y Chanamé, F. 2016. Análisis de la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos del río Cunas mediante indicadores ambientales, Junín-Perú. *Scientia Agropecuaria* 7(1): 33-44.
- De Pauw, N., Ghwtti, P. F., Manzini, P. and Spaggiari, R. 1992. Biological assessment methods for running wáter. En *River Water Quality Ecological assessment and control* (Eds. P. Newman, A. Piavaux and R. Sweeting):217-248. Comission of the European Communities, EUR 114606 EN-FR, 1992-III, 751 p. Bruselas.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 1997. Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. México. Pp. 68-87.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2001. NMX-AA-012-SCFI-2001: Determinación de Oxígeno Disuelto, en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. México. 15 p.

- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2001. NMX-AA-029-SCFI-2001: Determinación de Fósforo Total, en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. México. 21 p.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2001. NMX-AA-036-SCFI-2001: Determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. México. 22 p.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2001. NMX-AA-079-SCFI-2001: Determinación de Nitratos, en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. México. 27 p.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2009. NMX-AA-093-SCFI-2009: Determinación de la conductividad eléctrica-Método de prueba. México. 26 p.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2012. NMX-AA-030/1-SCFI-2012: Determinación de la Demanda Química de Oxígeno, en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. México. 18 p.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2012. NMX-AA-159-SCFI-2012: Que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas. Cuaderno de trabajo. México. 123 p.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2014. NMX-AA-079-SCFI-2014: Medición del ión Sulfato en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. México. 13 p.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2014. 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.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2016. NMX-AA-008-SCFI-2016: Medición del pH, en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba. México. 21 p.

- Eaton A. 2017. Horsehair Worms. UNH Cooperative Extension. Bringing information and education into the communities of the Granite State. University of New Hampshire. 2 p.
- Figuroa, R., Araya, E., Parra, O. y Valdovinos, C. 1999. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la calidad del agua. Resúmenes sexta jornada del Comité Chileno para el Programa Hidrológico Internacional. Pp. 1-24.
- Figuroa, R., Valdovinos, C., Araya, E. y Parra, O. 2003. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la calidad de agua de ríos del sur de Chile. *Revisa Chilena de Historia Natural*.75:275-285.
- 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.*
- 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 p.
- Hernández, M. y Barrera, G. (2014). “Veda de Aguas Superficiales: Limitante del desarrollo en la Cuenca del Río Balsas”, Ponencia presentada en el XXIII CONGRESO NACIONAL DE HIDRÁULICA. Puerto Vallarta, Jalisco, México, Octubre de 2014.
- <http://innovacionagricola.com/producto/azufre-93/>
- <http://www.dragon.com.mx/malathion-1000-e/>
- <http://www.fertinova.mx/sites/default/files/FICHA%20DAP.pdf>
- <http://www.fertinova.mx/sites/default/files/FICHA%20DAP.pdf>
- <https://inimex.mx/productos/03FL-GG20-30-10>
- https://www.terralia.com/agroquimicos_de_mexico/view_trademark?trademark_id=7111

- Huidobro, C. L. 2000. Peces. En: *Bioindicadores como herramientas para la determinación de la calidad del agua*. Vázquez-Silva, G., Castro, G., González, I., Pérez, R. y Castro T. 2006. *ContactoS* 60, 41-48 (2006).
- Hurtado, S., García-Trejo, F. y Gutiérrez-Yurrita, P. J. 2005. Importancia ecológica de los macroinvertebrados bentónicos de la subcuenca del Río San Juan, Querétaro, México. *Folia Entomológica Mexicana*. vol. 44, núm. 3, 200. Xalapa, México. pp. 271-286.
- Ladrera, R. 2012. Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos. *Páginas de información ambiental* (No. 39). España. Pp.: 24-29.
- Ladrera, R., Rieradevall, M. y Prat, N. 2013. Macroinvertebrados acuáticos como indicadores biológicos: una herramienta didáctica. *Ikastorratza*. e-Revista de Didáctica11, retrieved 2013/12/20 from http://www.ehu.es/ikastorratza/11_alea/macro.pdf (ISSN: 1988-5911).
- Laws, A. 1981. *Aquatic pollution*. Wiley Interscience Publication. E.U.A. 482 p.
- López-Delgado, E.O., Vázquez-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.
- MMAyA (Ministerio de Medio Ambiente y Agua). 2012. *Guía para la Evaluación de la Calidad Acuática Mediante el Índice BMWP/Bol. Versión I*. Estado Plurinacional de Bolivia. 85 p.
- Morales, N.E. 2011. *¿Qué es un bioindicador? Aprendiendo a partir del ciclo de indagación guiada con macroinvertebrados bentónicos*. Propuesta metodológica. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. Colombia. 64 p.
- Muñoz-Riveaux, S., Naranjo-López, C., Garcés-González, G., González, D., Musle-Cordero, Y. y Rodríguez, L. 2003. Evaluación de la calidad del agua utilizando los macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 9(2). Cuba. pp.: 147-153.

- Muñoz-Riveaux, S., Naranjo-López, C., Garcés-González, G., González, D., Musle-Cordero, Y. y Rodríguez, L. 2003. Evaluación de la calidad del agua utilizando los macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 9(2). Cuba. pp.: 147-153.
- 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.
- Plafkin, J. L., Barbour, K. D., Gross, S. K. y Hughes, R. M. 1989. Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers. Benthic macroinvertebrates and fish. U.S. *Environmental Protection Agency (EPA)*, Office of Water Regulations and Standards, Washington D.C.
- PNUD México (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2016. Plan de Mejores prácticas Acuícolas en la Producción de Trucha Arcoíris en el Municipio de Amanalco, APRN Valle de Bravo. Diagnóstico de la operación de 10 granjas trutícolas y sus impactos en el medio natural presentado a la CONOBIO y PNUD en el marco del proyecto 00089333 “Aumentar la capacidades de México para manejar las especies exóticas invasoras a través de la implementación de la Estrategia Nacional de Especies Invasoras”. Gallardo-Ángeles, M., Mangas, E. y Arriaga, B. ISO BIO-Ambiental, México. 148 p.
- Posada-García, J. A. y Roldán-Pérez, G. 2003. Cave ilustrada y diversidad de las larvas de Trichoptera en el Nor-occidente de Colombia. *Caldasia* 25(1) 2003:169-192.
- Ramírez, A. 2010. Odonata. *Revista Biológica Tropical. Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)* Vol. 58 (Suppl. 4):97-136.
- Resh, V. 2008. Which group is best? Attributes of different biological assemblages used in freshwater biomonitoring programs. *Environ. Monit. Assess.* 138: 131-138.
- Roldán, G. 1996. Guía para el estudio de macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquía. Presencia Ltda. Colciencias. Universidad de Antioquía. Colombia.

- Roldán, G. 1999. Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 23(88). ISSN 0370-3908. Colombia. Pp. 376-387.
- Roldán, G. 2003. La bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Editorial Universidad del Antioquia, Medellín. 170 p.
- Roldán, G. 2016. Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.* 40(155):254-274.
- Rosas-Acevedo, J. L., Ávila- Pérez, H., Sánchez-Infante, A., Rosas-Acevedo, A. Y., García-Ibañez, S., Sampedro-Rosas, L., Granados-Ramírez, J. G. y Juárez-López, A. L. 2014. Índice BMWP, FBI y EPT para determinar la calidad del agua en la laguna de Coyuca de Benítez, Guerrero, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias.* ISSN 2334-2501. 81-88.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) - CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2005. Plan para la gestión integral del agua y recursos asociados de la cuenca de Valle de Bravo, Estado de México. México. 66 p.
- Springer, M. 2010. Trichoptera. *Revista Biológica Tropical. Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol.* ISSN-0034-7744) Vol. 58 (Suppl. 4):151-198.
- Thorne, R. y Williams, P. 1997. The response of benthic macroinvertebrates to pollution in developing countries: a multimetric system of bioassessment. *Freshwater Biology.* 37(3):671-686.
- 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.
- Velázquez, V. E. y Vega, C. M. 2004. Los peces como indicadores del estado de salud de los ecosistemas acuáticos. *Biodiversitas.* 57:12-15.
- Zamora, H. 2000. Adaptación del índice BMWP para la evaluación biológica de la calidad de las aguas epicontinentales en Colombia. *Unicauca Ciencia* 4: 47-59.

Zarazúa-Ortega, G., Ávila-Pérez, P., Tejeda, S., Valdivia-Barrientos, M., Zepeda-Gómez, C. y Macedo-Miranda, G. 2003. Evaluación de los metales pesados Cr, Mn, Fe, Cu, Zn y Pb en sombrerillo de agua (*Hydrocotyle ranunculoides*) del curso alto del río Lerma. Rev. Int. Contam. Ambie. 29 (Sup. 2) 17-24, 20013.

11.- ANEXOS

Número de organismos de las diferentes familias encontrados por sitio.

ABUNDANCIA DE FAMILIAS POR SITIO							ABUNDANCIA DE FAMILIAS POR SITIO						
FAMILIA	S1	S2	S3	S4	S5	S6	FAMILIA	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Chordodidae	0	0	0	1	0	0	Gammaridae	0	4	0	0	20	10
Tipulidae	18	94	138	243	61	53	Armadillidiidae	1	5	0	0	2	1
Aeshnidae	6	4	6	5	0	1	Hyalellidae	0	0	0	0	0	12
Notonectidae	0	7	0	0	0	0	Hydropsichidae	0	0	0	0	0	8
Perlidae	5	0	1	0	1	1	Lestidae	19	8	23	5	6	19
Physidae	0	3	6	9	4	5	Hydrophilidae	0	32	0	0	0	1
Syrphidae	0	0	0	1	1	0	Dytiscidae	0	4	0	1	0	0
Limnephilidae	1	0	0	0	0	0	Corydalidae	0	0	0	1	1	0
Leptoceridae	2	1	2	1	3	5	Oligochaeta (Lumbriculida)	2	6	5	2	4	1
Veliidae	1	0	1	0	6	0	Glossiphoniidae	1	1	0	1	0	0
Tabanidae	2	0	0	0	1	0	Elmidae	3	5	1	1	0	0
Scarabaeidae	1	0	0	0	1	0	Curculionidae	1	0	0	0	0	0
Belostomatidae	0	3	0	2	13	3	Chironomidae	1	0	1	0	0	0
Helicidae	1	0	0	0	0	0	Gomphidae	14	0	3	0	0	1
Planorbidae	0	1	0	0	0	0	Simuliidae	0	0	0	0	6	0
Hydrobiosidae	4	8	9	4	1	2	Corixidae	0	3	0	0	0	0
							Crambidae	0	0	1	0	0	0

Resultados obtenidos en los análisis de agua del muestreo número 2, llevado a cabo el 29 de noviembre de 2017.

PARÁMETRO/SITIO	1. Río Chiquito	2. La Calzada	3. La Autopista	4. Sn. Fco. M.	5. El Salitre	6. El Arco	Blanco	Control
pH	7.98	7.42	7.48	8.39	8.14	7.47		
Temperatura (°C)	13.1	13.65	14.1	17.15	17.7	18.05		
Oxígeno disuelto (mg/l)	10.84	11.39	9.88	10.46	11.61	12.09		
Conductividad (µS/cm)	90.5	102.8	126.1	137.6	172.6	175.4		
Fósforo total (mg/l)	0	0	0	0	0	0	0	6.77
DQO (mg/l)	0	13	0	0	1	17	0	57
Nitrógeno de Nitratos (mg/l)	0.319	0.735	1.55	1.25	1.57	1.71		
Sulfatos (mg/l)	6.28	6.85	9.1	11.79	13.27	11.27	5.75	61.45

Resultados obtenidos en los análisis de agua del muestreo número 3, llevado a cabo el 08 de febrero de 2018.

PARÁMETRO/SITIO	1. Río Chiquito	2. La Calzada	3. La Autopista	4. Sn. Fco. M.	5. El Salitre	6. El Arco	Blanco	Control
pH	7.94	7.13	6.18	6.58	6.82	6.82		
Temperatura (°C)	14.95	15.65	17.25	19.7	20.75	20.2		
Oxígeno disuelto (mg/l)	11.3	9.9	9.07	10.21	9.16	10.56		
Conductividad (µS/cm)	120.9	128.9	186.2	203	212.06	230		
Fósforo total (mg/l)	19.214	22.581	29.653	89.968	12.868	61.901	ND	612.835
DQO (mg/l)	10	7	ND	46	ND	ND	ND	102
Nitrógeno de Nitratos (mg/l)	1.12	0.915	1.62	0.971	1.96	1.46		11
Sulfatos (mg/l)	5.962	65.853	111.075	137.647	144.797	123.795	55.132	839.915
Alcalinidad	3.1	3	3.5	4.6	4.6	5.3		

Las siguientes tablas forman parte de la matriz de análisis que se utilizó para obtener el Análisis de Correspondencia Canónica en PAST.

SITIO	pH	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto	Conductividad (µS/cm)	Fosforo total (mg/l)	DQO (mg/l)
RIO CHIQUITO	7,96	14,025	11,07	105,7	1,2921	10
LA CALZDA	7,275	14,65	10,645	115,85	2,0278	10
LA AUTOPISTA	6,83	15,675	9,475	156,15	3,3195	ND
SN. FCO. M.	7,485	18,425	10,335	170,3	7,611	46
EL SALITRE	7,48	19,225	10,385	192,33	11,25865	1
EL ARCO	7,145	19,125	11,325	202,7	7,2928	17

Nitrógeno de Nitratos	Sulfatos (mg/l)	Alcalinidad	Chordodidae	Tipulidae	Aeshnidae	Notonectidae
0,7195	6,121	3,1	0	18	6	0
0,825	6,71765	3	0	94	4	7
1,585	10,10375	3,5	0	138	6	0
1,1105	12,77735	4,6	1	243	5	0
1,765	13,87485	4,8	0	61	0	0
1,585	11,82475	5,3	0	53	1	0

Perlidae	Physidae	Syrphidae	Limnephilidae	Leptoceridae	Veliidae	Tabanidae
5	0	0	1	2	1	2
0	3	0	0	1	0	0
1	6	0	0	2	1	0
0	9	1	0	1	0	0
1	4	1	0	3	6	1
1	5	0	0	5	0	0

Scarabaeidae	Belostomatidae	Helicidae	Planorbidae	Hydrobiosidae	Gammaridae	Armadillidiidae
1	0	1	0	4	0	1
0	3	0	1	8	4	5
0	0	0	0	9	0	0
0	2	0	0	4	0	0
1	13	0	0	1	20	2
0	3	0	0	2	10	1

Hyalellidae	Hydropsichidae	Lestidae	Hydrophilidae	Dytiscidae	Corydalidae	Oligochaeta (Lumbriculida)
0	0	19	0	0	0	2
0	0	8	32	4	0	6
0	0	23	0	0	0	5
0	0	5	0	1	1	2
0	0	6	0	0	1	4
12	8	19	1	0	0	1

Glossiphoniidae	Elmidae	Curculionidae	Chironomidae	Gomphidae	Simuliidae	Corixidae	Crambidae
1	3	1	1	14	0	0	0
1	5	0	0	0	0	3	0
0	1	0	1	3	0	0	1
1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	6	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0