



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL

**“PROPUESTA DE UN MÉTODO PARA LA EVALUACIÓN DE
LA CALIDAD AMBIENTAL EN CUERPOS DE AGUA
LÉNTICOS. CASO TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO”**

T E S I S

Qué para obtener el título de
LICENCIADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

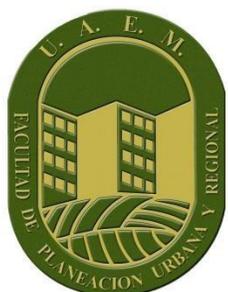
Presentan:

ANTONIO PÉREZ ZARATE

DAVID AARÓN PICHARDO RASSO

Directora de tesis

M. EN C. IRMA GUADALUPE SALAZAR CERDA



Toluca de Lerdo, Estado de México, Junio de 2019

El agua de gran calidad es más que el sueño de los conservacionistas, más que un eslogan político; el agua de gran calidad, en su cantidad y adecuado lugar, es esencial para la salud, recreación y crecimiento económico.

Edmund S. Muskie.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	12
II. OBJETIVOS.....	17
Objetivo general	17
Objetivos específicos	17
CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES.....	18
CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	26
2.1 El agua presente en la naturaleza: los ecosistemas acuáticos.....	27
2.1.1 Los cuerpos de agua artificiales y masas de agua muy modificadas	32
2.2 El agua como un recurso indispensable para la vida	34
2.3 ¿Qué se entiende por calidad ambiental?	36
2.4. ¿Que se entiende por calidad del agua?	37
2.5 El estudio del agua	38
2.5.1 Definición de parámetros, indicadores e índices para medir la calidad del agua	39
2.5.2 Indicadores fisicoquímicos de calidad del agua.....	41
2.5.2.1 Características microbiológicas	43
2.5.2.2 Características físicas y organolépticas	43
2.5.2.3 Características químicas	45
2.5.3 Estudio ecosistémico de la calidad del agua: Indicadores biológicos y ecológicos	46
2.5.3.1 Flora acuática.....	47

2.5.3.2 Vegetación riparia.....	51
2.5.3.3 Anfibios y reptiles	52
2.5.3.4 Aves	53
2.5.3.5 Macroinvertebrados.....	54
2.5.3.6 Mamíferos	58
2.5.3.7 Peces	58
2.5.3.8 Especies exóticas.....	59
2.5.4 Indicadores de evaluación visual y de campo para determinar calidad de cuerpos de agua lénticos.....	60
2.5.4.1 Condiciones antropogénicas	67
CAPÍTULO 3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	68
3.1. Localización geográfica.....	69
3.2. Edafología	70
3.3 Geología.....	71
3.4 Clima	73
3.5. Uso de suelo y vegetación	74
CAPÍTULO 4 MARCO METODOLOGICO.....	76
4.1 Etapa 1 Identificación del área de estudio.....	77
4.2 Etapa 2 Desarrollo del protocolo de evaluación visual	77
4.2.1 Selección de variables y parámetros.....	78
4.2.2 Elaboración de la cedula de parámetros (formato de campo)	80

4.2.3 Elaboración del “Método para calcular la calidad ambiental en cuerpos de agua lenticos” basado en la evaluación de parámetros visuales	81
4.3 Etapa 3 Visitas al área de estudio y aplicación del método	93
CAPÍTULO 5 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	94
5.1 Resultados de la aplicación del método en el área de estudio	95
5.2 Análisis de resultados.....	111
5.3 Elaboración de análisis FODA.....	122
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	124
ANEXOS	129
BIBLIOGRAFÍA	145

Índice de figuras

Capítulo 1 Antecedentes

Figura 1.1. Parámetros fisicoquímicos para medir calidad del agua 22

Capítulo 2 Marco teórico conceptual

Figura 2.1. Usos del agua para cuerpos de agua artificiales... 32

Figura 2.2. Plantas macrófitas como bioindicadoras..... 49

Figura 2.3. Macroinvertebrados bioindicadores de calidad del agua..... 57

Figura 2.4. Tipos de olor y sabor en el agua y sus posibles causas..... 61

Figura 2.5. Color del agua y posible razón 62

Capítulo 3 Caracterización del área de estudio

Figura 3.1. Localización de la zona de estudio... 69

Figura 3.2. Edafología 71

Figura 3.3. Geología..... 73

Figura 3.4. Clima 74

Figura 3.5. Uso de suelo y vegetación 75

Capítulo 4 Marco metodológico

Figura 4.1. Variables utilizadas en los protocolos de la USDA, Barbour y colaboradores y Rodríguez y Ramírez 78

Figura 4.2. Variables utilizadas en el método para la evaluación de la calidad ambiental en cuerpos de agua lenticos..... 79

Figura 4.3. Variables clasificadas por su tipo de condición, en el “Método para calcular la calidad del ambiente en cuerpos de agua lenticos”... 82

Figura 4.4. Clasificación de la calidad de los cuerpos de agua 85

Figura 4.5. Hoja de referencia “Método para calcular la calidad ambiental en cuerpos de agua lenticos” basado en la evaluación de parámetros visuales 86

Capítulo 5 resultados y análisis de resultados

Figura 5.1. Nivel de calidad de los cuerpos de agua de estudio... 95

Figura 5.2. Calidad en cuerpos de agua lénticos.....96

Figura 5.3. Bordo las Maravillas, ligero color verde en el agua97

Figura 5.4. Bordo las Maravillas, troncos de árboles caídos y flora acuática 97

Figura 5.5. Bordo las Maravillas, sedimentación apreciable en temporada de estiaje... 97

Figura 5.6. Bordo las Maravillas, desviación de agua por canal...98

Figura 5.7. Bordo las Maravillas, basura inorgánica en las orillas del bordo 98

Figura 5.8. Bordo Las Maravillas, aves acuáticas y flora acuática 99

Figura 5.9. Bordo Las Maravillas vegetación riparia..... 99

Figura 5.10. Color del agua y turbidez del Bordo San Elías..... 100

Figura 5.11. Color del agua y turbidez del bordo San Nicolas...100

Figura 5.12. Hábitat para peces del Bordo San Nicolas..... 101

Figura 5.13. Temporada de estiaje. Sedimentación del bordo San Elías..... 101

Figura 5.14. Pastoreo en el Bordo San Elías 102

Figura 5.15. Residuos inorgánicos en Bordo San Nicolas... 102

Figura 5.16. Flora acuática del Bordo San Nicolas... 103

Figura 5.17. Culebra de agua de panza negra registrada en Bordo San Elías... 103

Figura 5.18. Color café del agua en Bordo San Jerónimo104

Figura 5.19. Color del agua en bordo San Mateo.....	104
Figura 5.20. Degradación de vegetación riparia en Bordo San Jerónimo.....	105
Figura 5.21. Bancos degradados en bordo San Mateo	105
Figura 5.22. Canal de agua residuales en Bordo San Jerónimo	107
Figura 5.23. Drenaje vertido al bordo San Mateo	107
Figura 5.24. Alta densidad de lentejilla en Bordo San Jerónimo	108
Figura 5.25. Vegetación riparia en bordo San Mateo	108
Figura 5.26. Condensado de resultados para los cuerpos de agua de estudio...	108
Figura 5.27. Características físicas y organolépticas.....	112
Figura 5.28. Deposición de sedimentos.....	113
Figura 5.29. Número de establecimientos presentes en los cuerpos de agua	114
Figura 5.30. Presencia de residuos sólidos... ..	115
Figura 5.31. Presencia de aguas residuales.....	116
Figura 5.32. Presencia de estiércol.....	117
Figura 5.33. Actividades antropogénicas.....	118
Figura 5.34. Relación de zona ribereña con mamíferos.....	119
Figura 5.35. Flora acuática.....	120
Figura 5.36. Presencia de algas... ..	121

I. INTRODUCCIÓN

El agua puede definirse como el recurso más importante de todos, se ha comprobado que el agua es la fuente de vida y todos los organismos vivos dependen de ella, pues la vida empieza en este elemento (Contreras y colaboradores, 2008).

El agua no tiene sustituto, es un factor que regula el clima del planeta, y con su fuerza esculpe al mismo. Por otra parte, no hay proceso de producción que directa o indirectamente no tenga relación con el agua (CEMDA, 2006).

Así mismo el agua constituye un papel simbólico importante en la actualidad dado que forma parte de la cultura de la sociedad. Tanto los actos políticos, económicos y jurídicos relacionados con la gestión del agua responden a contextos geográficos, hídricos y demográficos, así como a la dinámica de la sociedad (Rolland y Vega, 2010). Por lo tanto, resulta de vital importancia conocer y administrar de forma sustentable las diferentes fuentes de este valioso recurso.

La conservación y calidad del agua están estrechamente vinculadas a todas las actividades económicas y sociales, así como a la salud de su población (Mora y Calvo, 2011).

Las actividades humanas ejercen una presión importante, sobre los recursos hídricos, lo que ha generado consecuencias negativas no sólo en la calidad de vida de la población, sino también en los ecosistemas naturales y su biodiversidad. El crecimiento de la población genera la necesidad de producir más alimentos y energía, así como de abastecer con mayores volúmenes de agua a las personas y a las actividades productivas, esto ha incrementado considerablemente la demanda de agua y ha presionado fuertemente su calidad (SEMARNAT, 2016). Por lo que ha sido necesario implementar métodos que determinen la calidad del recurso hídrico para conservar, aprovechar o restaurar las fuentes de agua desde un contexto de desarrollo sustentable.

Faustino (1997), refiere que, aunque la cantidad de agua es constante, la calidad de esta va disminuyendo rápidamente como consecuencia de la contaminación de

las fuentes de agua, lo cual genera estrés hídrico a nivel general en la mayoría de los países centroamericanos Citado por: (Cardona, 2003).

Las variaciones del agua en su calidad son resultado de la combinación de procesos naturales tales como la meteorización y la erosión del suelo y de las contribuciones antrópicas. Actualmente, el cambio climático y el estrés hídrico están limitando la disponibilidad de agua limpia en todo el mundo. Sin embargo, los aportes antrópicos suelen ser los principales factores que afectan a la mayoría de los cuerpos de agua, sobre todo para los cercanos a regiones muy urbanizadas (Espinal y colaboradores, 2013).

La necesidad de detectar los cambios que ocurren en el medio ambiente, causados de manera natural o por la actividad humana, se ha incrementado en los últimos 50 años. Los costos cada vez mayores para la evaluación de los ecosistemas hacen que los programas de monitoreo ecológico requieran una mejor planeación, ejecución, análisis, almacenamiento de datos y comunicación a los usuarios y autoridades de cada país o región (Abarca, 2007).

La mayoría de los estudios sobre la calidad del agua en diferentes ecosistemas acuáticos tanto lenticos como loticos, están basados en un monitoreo continuo que aunado a las variaciones espaciales y temporales de los cuerpos de agua se generan complejas matrices de datos que son de difícil interpretación (Espinal y colaboradores, 2013). Por otra parte, muchos de estos métodos para evaluar la calidad de agua se enfocan en el análisis de parámetros fisicoquímicos, los cuales requieren de equipo de campo y de laboratorio especializado (Sánchez, 2005).

En la actualidad existe un escaso número de protocolos y métodos especializados que evalúen la calidad ambiental de los cuerpos de agua lenticos, de una manera rápida, eficiente y de bajo costo.

Para efecto de lo mencionado con anterioridad se desarrolló el presente método el cual funge como una estrategia de evaluación rápida y de bajo costo, además de ser de fácil aplicación ya que no se requiere de conocimientos físicos, químicos o

biológicos de nivel técnico, dicho índice determina aspectos básicos acerca de la estructura física y biológica de los cuerpos de agua lenticos. Este método servirá también como un modelo o base para estudios posteriores más específicos relacionados a la conservación, aprovechamiento, y restauración de dichos ecosistemas.

La presente investigación está compuesta de la siguiente forma

En el Capítulo 1 se abordan de manera breve los modelos convencionales orientados a calcular la calidad del agua desde un enfoque fisicoquímico, biológico y visual, tanto en el ámbito internacional como nacional y como es que estos han contribuido con diferentes aportaciones y metodologías al tema.

El Capítulo 2 es un repaso a todos los fundamentos teóricos que se requieren para conocer el enfoque de esta investigación y que se consideran idóneos para alcanzar los objetivos generales y específicos, partiendo de las principales premisas, tales como “¿De qué manera se encuentra distribuida el agua?”, “¿Qué es un embalse?” o “¿Por qué son importantes ecosistemas acuáticos? y ¿Que usos tienen en la actualidad?”. Posteriormente se explica que es la calidad del agua y que es la calidad ambiental, esto con el fin de conocer la orientación del protocolo a desarrollar, por otra parte se expone un apartado dedicado al estudio del agua y las posiciones que justifican la importancia del conocimiento sobre el tópico.

A partir de este punto, es posible comprender la aportación de esta investigación, por lo que se procede a exponer todas aquellas contribuciones que deban ser consideradas para la formulación del protocolo. El capítulo concluye mediante una descripción de los diferentes puntos que sirvan de base para la creación del método para evaluar la calidad ambiental en cuerpos de agua lenticos, dividido en tres categorías:

- Indicadores físicoquímicos;
- Estudio ecosistémico del agua
- Indicadores de evaluación visual y de campo

Se dedica el Capítulo 3 a presentar una caracterización de la zona de estudio elegida como muestra para la aplicación del protocolo, donde se dan a conocer sus propiedades físicas y geográficas, comenzando por la ubicación, seguido de la edafología, geología, clima y uso de uso de suelo y vegetación.

El Capítulo 4 está dividido por tres etapas:

Etapa 1 “Identificación del área de estudio”: en esta etapa se mencionan los criterios para la selección de la muestra de estudio.

Etapa 2 “Desarrollo del protocolo de evaluación visual”: consta de una selección de variables y parámetros a partir de protocolos para la evaluación de la calidad del agua para ecosistemas lóticos, con la finalidad de adaptarlos a ecosistemas lénticos. Posteriormente se muestra la aportación de variables relacionadas a condiciones antropogénicas y condiciones biológicas que estaban ausentes en los protocolos de evaluación de la calidad del agua en ecosistemas lóticos. En esta misma etapa se muestra la forma de elaboración de la cédula de parámetros (formato de campo) así como su importancia y utilidad de los parámetros. La etapa finaliza con la formulación de la Hoja de referencia para la evaluación de parámetros visuales donde se explica la forma de aplicación y evaluación para calcular el índice.

Etapa 3 “Visitas al área de estudio y aplicación del método”: esta etapa se centra en el total de visitas, las fechas en las que estas fueron realizadas y la forma en la que se recabaron los datos en campo.

En el Capítulo 5 se presentan los resultados obtenidos de la aplicación del “Método para calcular la calidad del ambiente en cuerpos de agua lénticos” para los cinco cuerpos de agua que fueron seleccionados como muestra de estudio. De igual modo se presenta una descripción de los resultados que arrojaron cada una de las variables, seguido de un análisis de los mismos donde se discuten las condiciones de cada cuerpo de agua y cómo influyen en la calidad del recurso

hídrico. El capítulo finaliza con la presentación de un análisis FODA, para conocer la eficiencia del método propuesto.

Por último, se presenta un apartado dedicado a las conclusiones generales, seguido de las recomendaciones que son dirigidas para futuros análisis por medio de la utilización del método propuesto para evaluar la calidad del recurso hídrico en cuerpos de agua lénticos.

II. OBJETIVOS

Objetivo general

Elaborar un método para la evaluación de la calidad ambiental en cuerpos de agua lenticos, que sea de ejecución rápida y eficiente, aplicado en el municipio de Toluca, Estado de México.

Objetivos específicos

- Realizar una revisión bibliográfica sobre los distintos métodos para la evaluación de la calidad del recurso hídrico y seleccionar aquellos que puedan ser utilizados para el desarrollo del método de evaluación de la calidad ambiental en cuerpos de agua lenticos.
- Adecuar las variables y protocolos seleccionados, que resulten de utilidad en la elaboración del método para la evaluación de los cuerpos de agua lenticos.
- Caracterizar el área de estudio, ubicada en el municipio de Toluca la cual consta de 5 cuerpos de agua lenticos de origen artificial, para así conocer su condición ambiental actual.
- Aplicar el método propuesto para evaluar calidad ambiental en cuerpos de agua lenticos.
- Realizar una evaluación la efectividad del método.
- Realizar un análisis FODA del método para evaluar calidad ambiental en cuerpos de agua lenticos.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES

El deterioro de los ecosistemas y la desaparición de los recursos naturales, también se representan en problemas en materia de economía, salud, afectaciones a la biodiversidad entre otras. En respuesta de la situación, se han adecuado estudios que permitan hacer uso de los recursos sin amenazar su existencia, con el propósito de conseguir un posible cambio en las actividades convencionales que generan alteraciones al ambiente puesto que “El agudo deterioro de los ecosistemas impone a la sociedad adoptar no sólo medidas de reordenamiento ecológico, sino también hacer estudios que permitan comprender en qué medida y cuáles actividades del hombre contribuyen a tal deterioro y que, al mismo tiempo, ayuden a evaluar si está en peligro la salud del hombre” (López y Lechuga, 2001, p.1).

Para el caso particular del agua, es posible definir que su estudio comienza a partir de la premisa de “La cantidad de agua que tenemos en el planeta no varía. Sin embargo, el lugar, la forma y la calidad en que se encuentra sí presentan variaciones. A nivel local no disponemos de una cantidad fija” (CEMDA, 2006). Es decir que se encuentra presente en todas partes del mundo, pero en condiciones y cantidades diferentes, tales como ríos, lagos, mares, agua subterránea, humedales, etcétera.

Existe información de que en Alemania en 1848 ya se realizaban algunos intentos por relacionar la presencia de organismos biológicos con la pureza del agua (Torres y colaboradores, 2009).

Se han generado numerosos índices de calidad del agua (ICA) que pueden generar un valor que defina, a través de una escala, una calificación del recurso. Horton (1965) es el primero en formular un ICA, a partir del cual se han propuesto muchos otros que varían en cuanto a los parámetros que emplean, pero que su objetivo primordial es de carácter informativo para la toma de decisiones y para la generación de políticas para el manejo del recurso hídrico (Espinal y colaboradores, 2013).

El índice de Calidad de Agua “Water Quality Index” (WQI), fue desarrollado en 1970 por la National Sanitation Foundation (NSF) de Estados Unidos, este índice tiene la característica de ser un índice multiparámetro, las variables consideradas en el fueron; Oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, DBO, nitratos, fosfatos, desviación de la temperatura, turbidez y solidos totales (Ball y Church, 1980).

En España, Queralt (1982) desarrolló el índice simplificado de calidad del agua (ISQA) para las cuencas de Cataluña, el cual se basó en 5 parámetros fisicoquímicos y planteó una clasificación de la calidad del agua para 6 usos específicos del recurso, entre los cuales se destaca el abastecimiento para consumo humano (Torres y colaboradores, 2009).

El índice de Dalmatia, aplicado en el sur de Croacia en los años 1995, 1996 y 1997 incluyó nueve diferentes variables; DBO, OD, coliformes fecales, pH, temperatura, Nitratos totales, Fosforo total, solidos totales y turbidez. Después de determinar las nueve variables del índice, los resultados registrados son transferidos a una tabla de Evaluación de Calidad (WQE), en la que se pueden ver tanto, el rango de los posibles resultados de las variables, así como también su valor. El índice final se obtiene por medio de la sumatoria de todas las variables de evaluación de la calidad del agua (Štambuk-Giljanović, 1998).

El ICA holandés (índice holandés de valoración de la calidad del agua) sugiere el análisis de tres parámetros: la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), el oxígeno disuelto (OD) y el nitrógeno amoniacal (N-NH₄⁺). La metodología utilizada fue la establecida en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. La calidad en términos de estas variables se pondera con la puntuación, la coloración azul que representa el rango 3; indica un agua no contaminada, el verde corresponde al rango de 4 a 6 representando una contaminación incipiente, el amarillo representa una condición moderada con un puntaje de 7 a 9, mientras que el anaranjado es sinónimo de contaminación severa con los valores de 10 a 12 y el rojo de muy severa con un rango de 13 a 15 (Calvo y Mora, 2012).

Índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), fue desarrollado en la década de los 70, por expertos en ecosistemas ribereños de Inglaterra. Se basa en la presencia de diferentes grupos taxonómicos, y es independiente al número de individuos recolectados. Los organismos son identificados a nivel de familia y cada grupo taxonómico recibe una puntuación que va desde 1 hasta 10, de acuerdo con el grado de tolerancia o sensibilidad a la contaminación, en este sentido los taxones de macroinvertebrados sensibles a la contaminación recibirán altos puntajes; mientras que taxones que toleran la contaminación recibirán puntajes bajos. Para obtener el valor del índice para cada sitio se deben de sumar los valores de tolerancia de cada familia recolectada. El valor obtenido de la sumatoria es asociado a un valor en la tabla de categorías de calidad del agua. El índice está compuesto de seis categorías de calidad del agua, generalmente de muy pobres a excelentes (Gutiérrez y Ramírez, 2016).

El Índice Biótico de Familias (IBF) fue desarrollado por Hilsenhoff (1988) para la evaluación de cuerpos de agua loticos en Norteamérica. Este índice es similar al BMWP, dicho método asigna un puntaje a los grupos taxonómicos de acuerdo con su tolerancia a la contaminación en una escala que va de 0 a 10. A diferencia del BMWP, los taxones sensibles a la contaminación reciben los puntajes más bajos; mientras que los taxones que toleran la contaminación reciben puntajes más altos. El IBF combina los puntajes de tolerancia con la abundancia de cada grupo y el número total de individuos en una muestra. Por último el valor obtenido con dicha fórmula es asociado a una categoría de calidad de agua. Este índice incluye siete categorías de calidad de agua, que van desde poca contaminación orgánica hasta contaminación orgánica muy severa (Gutiérrez y Ramírez, 2016).

Estudios de evaluación de ecosistemas acuáticos a nivel nacional

En México se cuenta con datos públicos sobre la calidad del agua desde 1990; sin embargo, la forma en que el gobierno ha medido la misma ha variado, lo que ha provocado dificultades para conocer cómo ha evolucionado la calidad del agua e incluso cuál es el estado exacto de la misma (Jiménez, 2007).

En 2016 la red nacional de monitoreo contó con 5068 sitios de monitoreo de calidad del agua. Adicionalmente a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos monitorizados por la red, a partir del 2005 se ha realizado monitoreos biológicos en algunas partes del país, tales como el índice de diversidad con organismos bentónicos (CONAGUA, 2017).

El Índice de Calidad del Agua en México, (ICA), fue creado a principios de los años setenta, ante la necesidad de encontrar un método para conocer la calidad del recurso hídrico. Se consideraron 18 parámetros fisicoquímicos para su cálculo con distintos pesos relativos (W_i) (SEMARNAT, 2015) los cuales se muestran en la Figura 1.1:

Figura 1.1. Parámetros fisicoquímicos para medir calidad del agua.

Parámetro	Peso (W_i)	Parámetro	Peso (W_i)
Demanda bioquímica de oxígeno	5.0	Nitrógeno en nitratos	2.0
Oxígeno disuelto	5.0	Alcalinidad	1.0
Coliformes fecales	4.0	Color	1.0
Coliformes totales	3.0	Dureza total	1.0
Sustancias activas al azul de metileno (detergentes)	3.0	Potencial de Hidrogeno (pH)	1.0
Conductividad eléctrica	2.0	Sólidos suspendidos	1.0
Fosfatos totales	2.0	Cloruros	0.5
Grasas y aceites	2.0	Sólidos disueltos	0.5
Nitrógeno amoniacal	2.0	Turbiedad	0.5

Fuente: SEMARNAT, 2015.

Debido a la ineficiencia de dicho índice al no evaluar contaminantes tóxicos tales como metales pesados y compuestos orgánicos, se consideró utilizar solo la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST). La DBO5 y la DQO se utilizan para determinar la cantidad de materia orgánica presente en los cuerpos de agua proveniente principalmente de las descargas de aguas residuales. Mientras que los Sólidos Suspendidos Totales tiene su origen principalmente en la erosión de

suelo y las aguas residuales. Los cuerpos de agua altamente contaminados tendrán un ICA cercano o igual a 0% y de 100% para cuerpos de agua en excelentes condiciones (SEMARNAT, 2015).

El índice de calidad de agua de Montoya desarrollado a finales de la década de 1990, fue utilizado como una herramienta para la evaluación de calidad de las aguas superficiales en el estado de Jalisco, México (Torres y colaboradores, 2009).

El índice estuvo constituido por 18 parámetros fisicoquímicos y microbiológicos clasificados en 4 categorías:

- 1) Cantidad de materia orgánica: Oxígeno disuelto (OD) y demanda bioquímica de oxígeno. (DBO).
- 2) Materia bacteriológica presente: Coliformes fecales (COF) y Coliformes totales (COT).
- 3) Características físicas: Color y turbiedad
- 4) La materia orgánica: Alcalinidad, dureza, cloruros, conductividad específica, concentración de iones hidrogeno, grasas y aceites, solidos suspendidos, solidos disueltos, nutrientes: nitratos, nitrógeno amoniacal, fosfatos y detergentes (Torres y colaboradores, 2009).

Índice de León y su aplicación a la cuenca Lerma-Chapala, este proyecto fue desarrollado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua a inicios de la década de 1990, dicho índice agrupa las variables más contaminantes dentro de un marco unificado, así mismo aplica determinaciones de calidad del agua de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua (RNMCA) en el sistema de la cuenca. Por otra parte, se dieron algunas conclusiones y recomendaciones con relación al uso del ICA (León, 1991).

Estudios de evaluación visual de ecosistemas acuáticos

El Protocolo de Evaluación Visual de Quebradas fue desarrollado por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de EE. UU. en el año de 1996 por un grupo de trabajo de evaluación acuática dentro del NRCS. El protocolo fue revisado en 1997 y 1998 ya que no evaluaba adecuadamente lugares que habían sido calificados de baja calidad según otro tipo de protocolos. En el año de 1998 el protocolo tuvo otra evaluación y se encontraron mejorías, se tuvieron aportaciones por parte de conservacionistas de EE. UU. (Rodríguez, 2014, p.17).

El protocolo consiste en la evaluación de la integridad de ríos por medio de 15 elementos. Los elementos considerados son: condición de canal, alteración hidrológica, zona ribereña, estabilidad del banco, apariencia del agua, carga de nutrientes, barreras para el movimiento de peces, hábitats para peces, presencia de macroinvertebrados, presencia de estiércol, salinidad, hábitat para invertebrados, piscinas, cobertura de dosel/sombra y área de rompimiento con rocas. No todos los elementos deben de ser evaluados, ya que esto varía de acuerdo a las características de los ecosistemas acuáticos (United States Department of Agriculture, 1998).

El protocolo de evaluación de quebradas de Hawaii (2001), denominado (HSVAP), fue una modificación del protocolo original de Evaluación Visual de Quebradas de la USDA, adecuado para los ríos de Hawaii, de acuerdo a las características presentes en la zona, hace uso de las siguientes 10 variables: turbidez, crecimiento de plantas y algas, condición del canal, alteración hidrológica, estabilidad de bancos, cobertura de dosel/sombra, vegetación riparia, hábitat disponible para especies nativas, presencia de basura y porcentaje de encrustamiento (carga de sedimentos). Cabe mencionar que para este protocolo se agregó la variable presencia de basura (Rodríguez, 2014).

El Protocolo de Evaluación Visual de Quebradas para Puerto Rico, es una adaptación de la versión 1.0 del Protocolo de Evaluación Visual de Hawaii el cual fue desarrollado y publicado en el año de 2014. El protocolo evalúa 10 elementos físicos: condición del canal, alteración hidrológica, zona ribereña, estabilidad de los bancos, apariencia del agua, crecimiento de plantas, disponibilidad de hábitats, presencia de basura, cobertura del dosel y nivel de encrustamiento. (Rodríguez y Ramírez, 2014).

El Protocolo de evaluación del hábitat y parámetros fisicoquímicos de Barbour y colaboradores del año de 1999 evalúa la calidad del hábitat incorporando todos los constituyentes físicos y químicos junto con las interacciones bióticas. Incorpora una serie de parámetros con los que se puede medir la calidad del agua, los parámetros utilizados en este protocolo son 12 y se mencionan a continuación; Substrato epifaunal/cobertura disponible, incrustación de rocas en el sedimento, caracterización del substrato en las piscinas, combinaciones de velocidad y profundidad, variabilidad de piscinas, deposición de sedimentos, estado del flujo del canal, alteración del canal, presencia de meandros, estabilidad de bancos, bancos de protección vegetal y ancho de la zona riparia. (Barbour y colaboradores, 1999).

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

CONCEPTUAL

CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1 El agua presente en la naturaleza: los ecosistemas acuáticos

El agua se encuentra presente en todo el planeta tierra, esta forma parte de todos los procesos biogeoquímicos y además coexiste en nuestra vida diaria. Actualmente se sabe que la molécula de agua resulta de la combinación de un átomo de oxígeno con dos de hidrógeno, aparentemente se puede decir que es una molécula simple, pero cuyas propiedades son extraordinarias y constituyen el fundamento mismo de la vida terrestre. “Se trata de un líquido inodoro (sin olor), insípido (sin sabor) e incoloro (sin color), por otra parte, este recurso puede hallarse en estado sólido (cuando se conoce como hielo) o en estado gaseoso (vapor). El agua es el componente que aparece con mayor abundancia en la superficie terrestre (cubre cerca del 71% de la corteza de la Tierra). Forma los océanos, los casquetes polares, los glaciares, las aguas superficiales y subterráneas, además es parte constituyente de todos los organismos vivos (García y colaboradores, 2001).

El agua se puede considerar como el elemento más común y aunque ocupa una gran parte del planeta Tierra, esta se encuentra distribuida de diferente forma; en primera instancia se reconocen dos tipos de reservas naturales de agua; salada y dulce comúnmente a este tipo de agua se le asocia con ser aquella que reúne las características óptimas para el consumo humano, no obstante es importante mencionar que gran parte del agua dulce que se puede encontrar en el planeta no se encuentra disponible.

SEMARNAT (2007) sustenta que la forma en la que se encuentra repartida el agua es la siguiente:

- En nuestro planeta hay unos mil 400 millones de km³ de agua.
- 97.5% es agua salada contenida en los mares y los océanos, esta posee un alto grado de sales minerales provenientes de rocas y sedimentos que llegan al océano mediante arrastre.
- 2.5% es agua dulce, es decir que tiene pocas sales disueltas.

- Los lagos y lagunas son los principales depósitos de agua dulce superficial en el planeta. El volumen de agua que contienen es 40 veces mayor que el de los ríos y arroyos.

Es importante destacar la disponibilidad de agua dulce para la humanidad. Únicamente el 2.5% del total de agua en el planeta es dulce. De ese 2.5%, el 70% es hielo, un 29% está en el subsuelo y únicamente un 1% es superficial. La cantidad total de agua dulce que existe en el mundo puede satisfacer todas las necesidades de la raza humana si esta estuviera uniformemente distribuida y fuera accesible. No obstante, la realidad es otra, de ahí que diferentes regiones del mundo enfrentan distintos tipos de problemas asociados con la disponibilidad del recurso, su uso y control (Mora y Calvo, 2011).

La circulación del agua en los ecosistemas se produce a través de un ciclo llamado el ciclo hidrológico, el cual es el proceso continuo de la circulación del agua, en sus diversos estados, en la esfera terrestre. Esto sucede bajo la influencia de la radiación solar, la gravedad, y la dinámica entre la atmósfera la litosfera y la biosfera (García y colaboradores, 2001).

Como parte de este proceso de distribución hídrica, el agua se evapora constantemente hacia la atmósfera, hasta presentar un proceso de condensación y posteriormente se precipita de nuevo hacia el suelo. De esta manera, una parte se evapora, otra se escurre por la superficie del terreno y el resto se infiltra hacia las capas del subsuelo almacenándose en él o fluyendo hacia ríos, lagos y océanos. Esta agua subterránea es la que utiliza la mayoría de la flora presente en la superficie terrestre, los cuales la devuelven nuevamente a la atmósfera mediante el proceso de evapotranspiración. Es así como se forma un ecosistema con un continuo cambio de materia y energía.

Aguas oceánicas y aguas continentales

Aguas oceánicas: Sánchez (2007) afirma:

Los océanos y mares son los ecosistemas acuáticos más importantes a escala planetaria, principalmente en función de su formidable tamaño e influencia en el patrón climático global, y de su papel en la economía humana en relación con las actividades pesqueras de gran escala y otras. Por otra parte, estos son los ecosistemas menos conocidos, especialmente en lo que corresponde a la ecología del océano medio y del océano profundo (p.13).

Aguas continentales: Estas son aquellas que se encuentran dentro de los continentes, pueden ser permanentes o estacionales y van desde charcas y lagunas hasta grandes lagos y ríos.

De acuerdo con Sánchez (2007) “Las aguas continentales pueden tener sus masas en dos condiciones generales de desplazamiento: con visible movimiento horizontal y rápido recambio de líquido, o con movimientos lentos, principalmente convectivos y recambio lento. Los cuerpos de agua que se mueven en una dirección más o menos definida, y en los que el líquido se recambia por el flujo ágil, se denominan lóticos. En comparación, los cuerpos de agua cuyo contenido de líquido se mueve básicamente dentro de la depresión del terreno donde se hallan, y lo hace principalmente con movimientos convectivos con un recambio de aguas más o menos limitado, se llaman lénticos.”

En este apartado hay una división de las aguas continentales, las cuales son:

- Lénticos. Característicos de aguas tranquilas, tales como lagos, charcas, estanques y humedales, presas entre otros.
- Lóticos. Característicos de corrientes de agua, tales como arroyos, ríos y corrientes subterráneas etc.

Ecosistemas lóticos

Ríos y arroyos: varían de acuerdo con la velocidad de su flujo, temperatura, materia en suspensión y otros factores que determinan a su vez la flora y la fauna que se encuentran a lo largo de la corriente. Cabe destacar que, dada la velocidad de estos cuerpos de agua, son áreas muy inestables e irregulares. Esto se debe a que en la parte más alta del río la pendiente es más pronunciada y las aguas adquieren mayor velocidad, y conforme la pendiente disminuye gradualmente al perder altitud, el volumen de agua, la temperatura y turbidez aumentan, la concentración de oxígeno disminuye y el suelo cambia de rocoso a lodoso. Distintas especies animales, microscópicas y macroscópicas por igual (protozoarios, insectos, anfibios y peces, entre muchas más) han logrado adaptarse a estas condiciones especiales, aprovechando la energía que aportan nutrientes orgánicos provenientes tanto de la fotosíntesis local como de aportaciones del medio terrestre (Sánchez 2007).

Ecosistemas lénticos

A continuación, se describen 3 tipos de estos ecosistemas:

Lagos: Los lagos son un buen ejemplo de los cuerpos lénticos. En ellos se distinguen tres diferentes niveles: Epilimnion; aquí las aguas más superficiales se calientan con mayor rapidez y alcanzan mayores temperaturas, formando una capa de densidad menor que las aguas más profundas. Termoclina; ubicada debajo del epilimnion esta capa es caracterizada porque su temperatura y densidad varían drásticamente en tramos muy pequeños de profundidad. Hipolimnion; Por debajo de la termoclina las aguas tienen menor temperatura y ésta resulta más uniforme, lo cual determina que la densidad sea mayor hacia el fondo (Sánchez 2007).

De acuerdo con la productividad, los lagos se pueden clasificar como lagos oligotróficos y lagos eutróficos. Los lagos oligotróficos, presentan baja productividad, gran profundidad, en ellos el agua normalmente es clara y de tonalidades azulosas así mismo tiene altas concentraciones de oxígeno en sus capas inferiores. En cambio, los lagos eutróficos son más productivos, ricos en flora y fauna, y bajas concentraciones de oxígeno en sus capas profundas, sobre todo en el verano (Sánchez 2007).

Humedales: Para la Convención de Ramsar los humedales son definidos como: Aquellas zonas donde el agua es el principal factor controlador del medio y la vida vegetal y animal asociada a él. Los humedales se dan donde la capa freática se halla en la superficie terrestre o cerca de ella o donde la tierra está cubierta por aguas poco profundas. Se entiende por humedales: “las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros” (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2013, p.7).

Así mismo se tiene que los humedales representan una importante contribución a la conservación de la biodiversidad ya que son ecosistemas complejos, dinámicos y altamente productivos, dichos ecosistemas proveen de hábitat, alimento, refugio, y áreas de crianza y reproducción a un elevado número de especies de peces, aves, anfibios, reptiles, mamíferos e invertebrados. Este tipo de ecosistema es reconocido por su alto nivel de endemismos, en particular de peces e invertebrados y por su fauna altamente especializada, por otra parte, tienen un papel ecológico muy importante en el control de la erosión, la sedimentación y las inundaciones; en el abastecimiento y depuración del agua, así como en el mantenimiento de pesquerías. Cabe mencionar que en la actualidad estos sistemas han reducido su extensión considerablemente debido al drenado y relleno de sus áreas para diferentes usos (CONABIO, 2003).

Charcas de temporal: En muchas regiones del planeta existen extensiones relativamente secas con relieve suave, en las cuales la precipitación pluvial no es suficiente para generar y mantener lagos de grandes dimensiones. Pero aun en estos lugares, al menos durante la temporada de lluvia, es normal que se formen charcas. Estas charcas temporales constituyen hábitat de humedal críticos para numerosos mamíferos, anfibios e invertebrados (Sánchez 2007).

2.1.1 Los cuerpos de agua artificiales y masas de agua muy modificadas

Reséndiz, (2011) menciona que las razones para la construcción de embalses son de origen antiguo e inicialmente se centró en la necesidad de las personas a protegerse a sí mismos durante los períodos de sequía o inundaciones. Los primeros pequeños embalses fueron construidos hace 4,000 años, algunos en China, Egipto y Mesopotamia, principalmente para el abastecimiento de agua potable y para riego (p. 11-12).

Las presas se construyen con la finalidad de la regulación de los recursos hídricos, para así poder cubrir parte de las demandas de agua. El objetivo de los embalses a nivel mundial se muestra en la Figura 2.1:

Figura 2.1. Usos del agua para cuerpos de agua artificiales.

Usos
Regadío 38 %
Producción eléctrica 18 %
Abastecimiento de agua 14 %
Control de avenidas 14 %
Actividades recreativas 8 %
Navegación y pesquerías 3 %
Otros 5 %

Fuente: Reséndiz, 2011.

Los cuerpos de agua artificiales de acuerdo con el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2013) son aquellas masas de agua superficial

que, habiendo sido creadas por la actividad humana, cumplen las siguientes condiciones:

1. Que previamente a la alteración humana no existiera presencia física de agua sobre el terreno o, de existir, que no fuese significativa a efectos de su consideración como masa de agua.
2. Que tenga unas dimensiones suficientes para ser considerada como masa de agua significativa.

Masas de agua muy modificadas

Según el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2013) las masas de agua muy modificadas son aquellas masas de agua superficiales que sufrieron alteraciones físicas producidas por la actividad humana y han experimentado un cambio sustancial en su naturaleza (p.2).

Así mismo sugiere que para la identificación de las masas de agua artificiales se tendrán en cuenta, al menos, las siguientes situaciones:

- a) Balsas artificiales con una superficie de lámina de agua igual o superior a 0,5 km².
- b) Embalses destinados a abastecimiento urbano situados sobre cauces no considerados como masa de agua, con independencia de su superficie, así como los destinados a otros usos que tengan una superficie de lámina de agua igual o superior a 0,5 km². para el máximo nivel normal de explotación, excepto aquellos destinados exclusivamente a la laminación de avenidas.
- c) Canales cuyas características y explotación no sean incompatibles con el mantenimiento de un ecosistema asociado y de un potencial ecológico, siempre que su longitud sea igual o superior a 5 km y tenga un caudal medio anual de al menos 100 l/s.
- d) Graveras que han dado lugar a la aparición de una zona húmeda artificial con una superficie igual o superior a 0,5 km².

Existen más de 5,100 presas y bordos en México, que juntos tienen una capacidad de almacenamiento de unos 150 mil hectómetros cúbicos. No obstante, gran parte del volumen se encuentra en 181 presas, las cuales en el año 2015 almacenaron aproximadamente 103 mil hectómetros cúbicos (SEMARNAT, 2016).

Se tiene un registro incompleto de los bordos, pequeñas obras de almacenamiento en su mayoría de terracería. En julio del 2009, en la Comisión Nacional del Agua, se tenían registrados 1,085 bordos (CONAGUA, 2011).

2.2 El agua como un recurso indispensable para la vida

El bienestar social y económico de un país depende en gran medida, de la capacidad que tienen los ecosistemas acuáticos de brindar sus servicios ambientales de ahí la importancia de que su uso sea racional y sustentable CONABIO (2003). Así mismo realiza una clasificación de los principales usos del agua, así como la importancia y situación actual para cada uso en México, estos se mencionan a continuación;

Uso ambiental

Al considerar al medio natural como usuario del agua se reconoce el papel que desempeñan los cuerpos de agua en la conservación de los ecosistemas y su biodiversidad. Para esto es necesario estimar y mantener el volumen mínimo de agua, conservar la morfología y los intercambios de los diferentes cuerpos de agua, la calidad y productividad del suelo y las áreas forestales antes de promover o aceptar cambios en el uso del suelo.

Uso agrícola

Las actividades agrícolas usan 78% del agua disponible. La superficie de regadío representa 33% de la destinada a la agricultura del país y genera más de la mitad de la producción agrícola nacional. En ella se desperdicia poco más de la mitad del agua por la ineficiente operación y su uso inadecuado en parcelas (riego por inundación, problemas de salinización, problemas institucionales y cultivos inapropiados), lo que resulta en una eficiencia promedio de 46%.

Entre los principales problemas que impiden que las actividades de riego se planeen e integren en el marco de la sustentabilidad están la extensión de la frontera agrícola sin considerar la disponibilidad de agua y la vocación del suelo, la escasa capitalización de la mayoría de los usuarios, la dificultad para controlar el volumen de agua entregado y las tarifas insuficientes por los servicios de riego y energía eléctrica para bombeo agrícola.

Uso urbano

De acuerdo con el XII Censo General de Población y Vivienda 2000, 95.3 millones de habitantes contaban con vivienda propia, y de éstos, 87.8% tenía servicio de agua potable y 76.2% de alcantarillado. La situación es más grave en el medio rural, donde las coberturas de agua potable y alcantarillado eran de 68.0% y 36.7%, respectivamente.

Como consecuencia de la sobreexplotación y contaminación de los recursos hídricos y de la expansión demográfica, la demanda de agua para uso urbano es cada vez más difícil de satisfacer. Entre los problemas más serios destacan los relacionados con la pérdida de agua, debida al deterioro de la infraestructura de distribución (40% del agua suministrada), y la existencia de tomas clandestinas; las bajas e insuficientes tarifas por los servicios y los altos costos de operación y mantenimiento; el deficiente e inoperante sistema de medición y facturación, el bajo volumen de agua cobrado respecto al extraído; los retrasos en el pago del servicio por parte de los usuarios, y la escasa capacidad de inversión.

Uso industrial

Con el fin de aprovechar economías de escala, abundancia de mano de obra y otras ventajas comparativas, la actividad industrial en el país se concentra en centros urbanos donde el agua es escasa, lo que ha resultado en sobreexplotación de acuíferos, contaminación de ecosistemas, altos costos para hacer disponible el agua y conflictos por el uso y explotación del recurso.

El volumen de agua usada en la industria es de 6 km³/año, del cual se descargan cerca de 5.36 km³/año como aguas residuales; es decir, más de 6 millones de toneladas al año de carga orgánica expresada como demanda bioquímica de oxígeno (DBO), de las cuales son tratadas sólo 15%.

Entre las actividades más contaminantes destacan la industria azucarera, la química, la petrolera, la metalúrgica y la del papel y celulosa.

Uso acuícola y pesquero

No existen datos cuantificables sobre la demanda de agua superficial para la acuicultura. Sin embargo, se sabe que su manejo ha sido ineficiente y con grandes costos ambientales. El potencial acuícola se ha reducido debido a la contaminación y desecación de los cuerpos de agua, por lo que resulta necesario realizar estudios de ordenamiento ecológico y pesquero que permitan determinar la compatibilidad entre las actividades económicas y las condiciones ambientales locales. Ejemplo de estos problemas son los lagos de Chapala, Pátzcuaro y Cuitzeo, y los ríos Pánuco, Lerma, Coatzacoalcos, El Fuerte y Mayo.

Uso turístico y de navegación

Aproximadamente existen unos 850 sitios asociados a cuerpos de agua que podrían destinarse de uso recreativo. Por otra parte, también algunos ecosistemas acuáticos son aprovechados por embarcaciones pequeñas para el transporte de productos comerciales y con fines turísticos.

2.3 ¿Qué se entiende por calidad ambiental?

El Observatorio Ambiental de la Unión Europea (2010) define la calidad ambiental como “el conjunto de propiedades, elementos o variables del medio ambiente, que hacen que el sistema ambiental tenga mérito suficiente como para ser conservado”. Por otra parte, también es considerado un término ambiguo que se ve fuertemente influenciado por distintas disciplinas como la biología o incluso la economía. Por citar algunos ejemplos, Escobar (2006) indica que “la calidad ambiental puede ser concebida como un componente más del desarrollo

sostenible urbano, junto con las condiciones económicas y sociales”. Donde es posible argumentar que la calidad ambiental se refiere a mantener en un buen estado los recursos naturales disponibles y que sea compatible con las actividades antropogénicas. Por otra parte, Luengo (1998) entiende por calidad ambiental a “las condiciones óptimas que rigen al comportamiento del espacio habitable en términos de confort asociados a lo ecológico, biológico, económico-productivo, sociocultural, tipológico, tecnológico y estético en sus dimensiones espaciales”.

Por lo tanto, la calidad ambiental puede definirse como la interacción de estas variables para la conformación de un hábitat saludable, confortable y capaz de satisfacer los requerimientos básicos de sostenibilidad de la vida humana individual y en interacción social dentro del medio urbano (Celemín y Velázquez, 2010, p. 127).

2.4. ¿Qué se entiende por calidad del agua?

Desde el punto de vista funcional, se puede entender la calidad del agua como la capacidad intrínseca que tiene el recurso hídrico para responder a los usos que se podrían obtener de ella. O desde un punto de vista ambiental, como aquellas condiciones que deben darse en el agua para que ésta mantenga un ecosistema equilibrado y para que cumplan determinados objetivos de calidad (calidad ecológica). O como el conjunto de características físicas, químicas y microbiológicas que la definen, etc. (Ministerio de Medio Ambiente, 2000).

Es importante resaltar que no todos los usos del agua requieren que ésta sea de la misma calidad. Por ejemplo, una empresa dedicada a los textiles no necesita agua potable, la cual es necesaria en el consumo doméstico. Sin embargo, en nuestro país rara vez se hace esta diferencia y se proporciona agua de la misma calidad a la industria y al uso doméstico (CEMDA, 2006, p.45).

Por lo tanto, la calidad del agua es la condición general que permite que se emplee para usos concretos. Aunque es posible que esta se vea alterada por las diferentes fuentes de interacción que convergen en ella, como ejemplo su

aprovechamiento para uso agrícola, si la fuente de suministro de agua es mediante el almacenamiento de fuentes pluviales, el número de algas será mayor.

En cuanto a la calidad del agua en los cuerpos de agua superficiales hace falta hacer énfasis en los tipos de contaminación que se pueden encontrar. La contaminación de las aguas procedente de fuentes no localizadas, conocida anteriormente con el nombre de contaminación difusa, es resultado de un amplio grupo de actividades humanas en las que los contaminantes no tienen un punto claro de ingreso en los cursos de agua que los reciben (CEMDA, 2006, p.47).

2.5 El estudio del agua

Actualmente se sabe que la conservación del agua y de los ecosistemas en general no solo depende de la obtención de información biológica y ecológica, puesto que se debe “entender cómo los grupos humanos construyen imágenes sobre el ambiente que les rodea y cómo le dan significado a su relación con los ecosistemas, esto constituye la principal preocupación del estudio de las percepciones ambientales” (Ingold, 2002). Al momento de comprender esta relación es posible obtener información que resulte valiosa para generar estrategias en la toma de decisiones para la administración de los recursos naturales.

En este sentido y para el caso particular del agua, Sancho y Lacomba (2010) señalan que:

Ecosistemas acuáticos hay de muchos tipos, pero todos tienen algo en común: se encuentran muy transformados precisamente por ese aprovechamiento permanente del agua en beneficio de la sociedad y, a veces, también de la propia naturaleza. No escapan a esta cuestión los puntos de agua de menor extensión (p. 5).

Existen diversas posiciones que afirman la importancia de estudiar estas interacciones de aprovechamiento con la conservación, resultando sumamente sobresalientes debido al gran aumento de la demanda del agua para el consumo

humano, la agricultura o la industria, lo cual hace que los problemas relacionados al uso de este recurso sean más complejos, por lo que el estudio del agua, de acuerdo con Toledo (2002):

Enfrenta dos cuestiones de gran importancia: la primera tiene su origen en la variabilidad inherente a los procesos hidrológicos y la segunda tiene que ver con nuestra fundamental falta de conocimientos o, más exactamente, con los límites de nuestros conocimientos sobre los procesos que afectan a los usos del agua y los otros recursos que integran nuestro capital natural o biofísico (p. 17 – 18).

En cuanto a la administración y aplicación de estas directrices en el estudio del agua, es posible denotar que “la distribución del agua dulce sobre la superficie de la Tierra ha cambiado notablemente como resultado de los esfuerzos directos del hombre para manejarla. Estas alteraciones se acentuaron conforme la humanidad se urbaniza y también como resultado del impuesto por la revolución agrícola de los últimos decenios” (Toledo, 2002, p. 11). Es decir, conforme aumenta la demanda del agua, se crean nuevas técnicas de su aprovechamiento, lo cual ocasiona pérdida de ecosistemas o por consiguiente creación de nuevos ecosistemas, como por ejemplo la creación de presas y embalses que ahora representan microhábitats para distintas especies.

2.5.1 Definición de parámetros, indicadores e índices para medir la calidad del agua

La OECD (1998) define indicador, índice y parámetro de la siguiente manera:

Indicador: Es un instrumento mediante el cual se proporciona información sobre la descripción del estado de un fenómeno/ambiente/área, esta es concisa y sustentada científicamente a diversos usuarios, tomadores de decisiones y al público en general de manera que pueda ser entendida y usada fácilmente.

Índice: un conjunto de parámetros o indicadores los cuales frecuentemente arrojan valores los cuales permiten una visión general del caso de estudio.

Parámetro: Es una propiedad que se mide o se observa.

Fondo agua por la vida y la sostenibilidad (2012) señala que:

Un índice de calidad o contaminación del agua consiste, básicamente, en una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros, el cual sirve como expresión de la calidad o contaminación del agua. El índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o incluso, un color. Los índices de calidad miden la afectación de la composición del agua por la concentración de sustancias ya sea tóxicas o producidas por procesos naturales. Los índices de contaminación miden el efecto de introducir algún material o inducir condiciones sobre el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con sus usos posteriores o sus servicios ambientales.

Por otra parte, menciona que:

Los indicadores de calidad y contaminación se presentan como una opción viable para la interpretación de variables físicas, químicas y biológicas de un programa de monitoreo, debido a que las diferentes variables son combinadas para generar un valor que puede ser interpretado fácilmente tanto por expertos como por la comunidad en general, permitiendo valorar las diferentes acciones tomadas a lo largo de la fuente. Es importante conocer las bases metodológicas de cada indicador, antes de aplicarlo en un sistema acuático, porque en muchas ocasiones estos son elaborados para problemas específicos de una región, los cuales no se acoplan a otras fuentes que van a ser estudiadas; por lo tanto, la elaboración o adaptación de un indicador sería la mejor opción para el uso de estos indicadores.

Se puede concluir que los índices muestran información fácilmente interpretada en comparación con una lista de valores numéricos. Los índices de calidad del agua

pueden ser, por consiguiente, una herramienta comunicativa para transmitir información (Fondo agua por la vida y la sostenibilidad, 2012).

2.5.2 Indicadores fisicoquímicos de calidad del agua

Para el caso de aguas superficiales, CONAGUA (2018) señala que los tres principales parámetros de evaluación de calidad del agua son la Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO5), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST).

Sin embargo, existen bastantes parámetros que pueden ser evaluados en el medio fisicoquímico, por ejemplo, en el WQI (Water Quality Index) de 1970 proponen un total de nueve parámetros para la medición de la calidad del agua (Ball y Church, 1980).

- Coliformes Fecales (en NMP/100 mL)
- pH (en unidades de pH)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO5 en mg/ L)
- Nitratos (NO₃ en mg/L)
- Fosfatos (PO₄ en mg/L)
- Cambio de la Temperatura (en °C)
- Turbidez (en FAU)
- Sólidos disueltos totales (en mg/ L)
- Oxígeno disuelto (OD en % saturación)

Por otra parte, resulta indispensable conocer las normativas vigentes en materia de calidad del agua, CONAGUA (2016) señala a las normas como aquellas que definen las funciones y responsabilidades de quienes suministran el servicio y constituyen la base para que la autoridad competente determine si se está

prestando o no el servicio debido. En este aspecto el marco normativo está conformado por:

- Artículo 115 constitucional
- NOM-230-SSA1-2002, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo.
- Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Publicada el 22 de noviembre de 2000. Salud Ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

La norma define básicamente dos cosas:

1) Los límites permisibles para el agua potable en cuanto a sus características microbiológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas

2) Los tratamientos de potabilización

- NOM-179-SSA1-1998, Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público. Adicionalmente, se presentan sucintamente otras normas relacionadas de menor importancia. Se recomienda la lectura completa de todas las normas por el personal responsable de la calidad del agua de los organismos operadores, las cuales han sido publicadas en el Diario Oficial de la Federación.

Las tres NOM citadas son responsabilidad del Sector Salud, quien las vigila en coordinación con la Comisión Nacional del Agua. Estas normas se desarrollaron con la idea de que el agua es un factor fundamental para reducir el riesgo de transmitir diversas enfermedades, particularmente las gastrointestinales y que

para asegurar su calidad se requiere controlar el sistema de abastecimiento, así como a sus operadores. Se entiende por sistemas de abastecimiento al conjunto intercomunicado de fuentes, construcciones, instalaciones y equipos de las obras de captación, plantas cloradoras, plantas potabilizadoras, tanques de almacenamiento y de regulación, cárcamos de bombeo, líneas de conducción, redes de distribución y tomas domiciliarias (p. 13-14).

2.5.2.1 Características microbiológicas

Coliformes totales: son ampliamente utilizados a nivel mundial como indicadores de potabilidad por ser fáciles de detectar y cuantificar. Sirven para establecer si un agua ha sido adecuadamente potabilizada, de la misma forma que los coliformes fecales lo pueden hacer. Sin embargo, si se requiere saber si existe o no contaminación fecal se debe hacer la prueba específica. Los coliformes totales son eliminados del agua mediante procesos de desinfección como la cloración, radiación UV y ozonización. El valor guía de la OMS y el de la NOM-127 es en ambos casos de ausente en 100 mililitros (CONAGUA, 2016).

Coliformes fecales: se relaciona con la probabilidad de encontrar patógenos excretados. Al igual que los totales, son eliminados mediante procesos de desinfección. Cabe mencionar que la filtración rápida elimina aproximadamente 80 por ciento de estas bacterias coliformes en tanto que la lenta logra niveles de potabilidad, aunque esta última trabaja a velocidades mucho menores (CONAGUA, 2016).

2.5.2.2 Características físicas y organolépticas

Se refieren, en general, a mediciones indirectas de componentes químicos presentes en el agua, dichos componentes pueden ser tóxicos o atóxicos. Dentro de este tipo de parámetros se encuentran aquellos relacionados con la calidad estética, cuya importancia reside en que el agua debe agradar a los consumidores y no provocarles desconfianza ni perjuicios en sus instalaciones o bienes (CONAGUA, 2016).

Color: Indica de forma rápida en nivel de calidad del agua. Se diferencian dos tipos de color: el verdadero, el cual es producido por sustancias disueltas y que es el parámetro considerado en la NOM NMX-AA-17-1980 como el valor numérico expresado en porciento de luminancia y pureza, y el color aparente, que básicamente es provocado por el color verdadero más el efecto de los sólidos suspendidos.

El valor guía de la OMS es de 15 unidades mientras que el de la norma mexicana es de 20 unidades, en la escala platino cobalto.

Para eliminar el color aparente se aplica la coagulación-floculación, seguida por sedimentación (CONAGUA, 2016).

Olor y sabor: A la percepción combinada de las sustancias detectadas por el gusto y el olfato suele llamársele sabor. Los problemas de sabor con frecuencia son la causa principal de las quejas por parte del consumidor. El olor y el sabor son producidos tanto por compuestos inorgánicos como orgánicos volátiles y lábiles que se encuentran en el agua desde su origen, como resultado de procesos biológicos, por contaminación humana o por la interacción de compuestos durante la potabilización y su presencia no es un indicador directo de la existencia de sustancias dañinas. El olor y sabor en el agua potable depende de los niveles de concentración de los compuestos orgánicos e inorgánicos presentes, así como de la presencia de algunos microorganismos (CONAGUA, 2016).

Turbiedad: La turbiedad incrementa el color aparente del agua y se debe a la presencia de materia suspendida, orgánica e inorgánica, como arcilla, sedimentos, plancton y organismos microscópicos. Lo que se mide como turbiedad es la pérdida de luz transmitida a través de la muestra por difracción de los rayos al chocar con las partículas y por ello depende no solo de la concentración de las partículas, sino también de su tamaño y forma. En general, las partículas que producen turbiedad varían entre 1 nm y 1 mm y provienen de la erosión de suelos y materiales (CONAGUA, 2016).

2.5.2.3 Características químicas

Salinidad: factor que presenta variaciones por influencia fluvial y que determina el balance osmótico y por ende en el equilibrio hídrico en comunidades diversas. Este parámetro es equivalente a conductividad, clorinidad y sólidos disueltos totales (De la Lanza, 2014).

Oxígeno disuelto: el más importante de los factores abióticos relacionado directamente con los procesos de producción-respiración del ámbito biótico y su ciclo diurno en cuerpos cerrados o semicerrados puede oscilar en condiciones normales entre la anaerobiosis y la aerobiosis (sobresaturación). Sin embargo, cargas fuertes de materiales orgánicos antropogénicos (sobre todo aguas negras de industriales), desbalancean hacia una condición deficiente aereación y deletérea para los organismos planctónicos y más aún bentónicos (De la Lanza, 2014).

El parámetro pH (acidez o alcalinidad): presenta una variación diaria entre 7.5 a 9.5 en condiciones normales de cuerpos de agua semicerrados de alta producción primaria (fotosíntesis). En México, ciertos lagos de origen volcánico pueden alcanzar niveles claramente alcalinos (>10) o incluso ser ácidos (> 5) como en el caso de suelos ricos en ácidos húmicos. Ciertas industrias químicas no controlan frecuentemente sus desechos y el pH sobrepasa estos límites que tienen una influencia directa en los organismos incidiendo en forma cáustica a nivel celular, de órganos o tejidos, según se trate las dimensiones de los organismos (De la Lanza, 2014).

Nutrientes: éstos son sales inorgánicas del nitrógeno (nitritos NO_2^- nitratos NO_3^- y amonio NH_4^+) y fósforo (ortofosfatos PO_4^{3-}) fundamentalmente requeridas por el fitoplancton durante la fotosíntesis. Su baja (oligotrofia) o media concentración (mesotrofia) es común en la zona costera; sin embargo, su alto contenido (eutrofia) conduce a un medio con problemas por predominio de ciertas especies del plancton tóxicas a las comunidades o al hombre que a posterior al morir aportan mayor cantidad de materia orgánica que a su vez consume oxígeno,

tendiendo a la anaerobiosis (<1.0 mlO₂/L). Las aguas negras, industrias de fertilizantes y agricultura provocan dicha situación. Debido a que la materia orgánica procedente tanto de los organismos acuáticos o de descargas antropogénicas contiene nitrógeno y fósforo orgánicos, al descomponerse o remineralizarse transforma a estos últimos en inorgánicos incrementando el contenido hasta niveles eutróficos inadecuados por las razones ya señaladas (De la Lanza, 2014).

La DQO o demanda química de oxígeno: es un parámetro que mide la cantidad de materia orgánica disuelta que normalmente es baja en aguas dulces como costeras; pero los asentamientos urbanos a través de sus aguas negras, o ciertas industrias como la azucarera o pesquera incrementan significativamente el contenido que se traduce en un consumo de oxígeno para descomponerse y en consecuencia se traduce en un ambiente anaeróbico, entre otras repercusiones (De la Lanza, 2014).

La dureza: Este término hace referencia al contenido de calcio y magnesio como carbonatos y bicarbonatos (dureza temporal) y sulfatos, cloruros además de otros aniones de ácidos fuertes (dureza permanente). Las aguas se pueden clasificar desde este punto de vista en: 1) Suaves 0-75 mg/L; 2) Moderadamente duras 76-150 mg/L; 3) Duras 151-300 mg/L; y 4) Muy duras >300 mg/L. Los niveles adecuados para la vida acuática pueden estar entre el intervalo de 75 a 150 mg/L. Aunado a esta determinación es recomendable evaluar iones como sodio (Na), potasio (K), magnesio (Mg), litio (Li), sobre todo para que con otros objetivos se hagan las proporciones entre los aniones y cationes para determinar la naturaleza y el origen del agua (De la Lanza, 2014).

2.5.3 Estudio ecosistémico de la calidad del agua: Indicadores biológicos y ecológicos

Bioindicadores

Los índices de calidad biológica, de acuerdo con Huertas (2014) se definen como “una herramienta que mide la calidad del agua en función de los organismos

indicadores que viven en ellas. Dependiendo de la sensibilidad que cada organismo tiene a la contaminación, el índice biológico le asigna un valor y la suma de los valores de la comunidad da un número que indica el estado del medio en este punto a tramo. Los índices biológicos complementan, pero no sustituyen a los parámetros fisicoquímicos”.

De la misma forma Huertas (2014) señala la importancia de la diferenciación entre índice e indicador, siendo este último “un organismo que con su presencia nos informa del estado de salud del medio acuático en el cual se desarrolla su ciclo biológico. Los organismos presentan cierta sensibilidad a la contaminación y alteración del medio y se pueden utilizar muchos grupos de organismos como indicadores”. El grupo que puede integrar los indicadores biológicos puede ser macroinvertebrados, invertebrados, algas, peces, aves, mamíferos, entre otros.

La finalidad de integrar los indicadores de calidad biológica según Huertas (2014) es:

- Dan una visión más completa en el espacio y el tiempo, ya que viven gran parte de su ciclo biológico en el agua. La presencia de un determinado organismo indicador asegura una mínima calidad del agua durante todo su ciclo vital.
- Integran todos los procesos que se dan en el río/lago/embalse/etcétera.
- Permiten conocer realmente el estado de salud del sistema acuático.

El uso de bioindicadores ofrece como ventaja la posibilidad de evaluar el estado ecológico en el que se encuentra un ecosistema en un momento determinado y adicionalmente observar su evolución en el tiempo. Con este fin se utilizan organismos sensibles a los cambios que en su mayoría indican la presencia de contaminantes o alteraciones en su ecosistema (García y colaboradores, 2017).

2.5.3.1 Flora acuática

Las macrófitas acuáticas son plantas que habitan en ambientes acuáticos e inundables, para lo cual realizan diversas adaptaciones que permitan el desarrollo,

crecimiento, e incluso la reproducción bajo condiciones de inundación permanente. Las plantas acuáticas pueden clasificarse de acuerdo con el hábito de crecimiento, en cuatro grupos: sumergidas, flotantes enraizadas, emergentes y flotantes libres (Ramos y colaboradores, 2013).

Macrófitos flotantes libres. Son aquellos que no se encuentran adheridos al sustrato, como el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), o la lentejilla de agua (*Lemna minor*) (García et al, 2009). Estas plantas desarrollan sus hojas en la superficie y las raíces cuelgan en la columna de agua (Ramos y colaboradores, 2013).

Macrófitos flotantes enraizados. Son aquellas plantas que se mantienen enraizados al sustrato, con hojas que flotan en la superficie, ejemplo los nenúfares (*Nuphar luteum*) (García y colaboradores, 2009).

Macrófitos sumergidos. Aquellas especies que tienen todas sus estructuras sumergidas dentro del cuerpo de agua, como las especies del género *Zannichellia*, como ejemplo las espigas de agua (*Potamogeton lucens*). (García et al, 2009). Estas plantas alcanzan el máximo nivel de adaptación acuática al desarrollar órganos fotosintéticos y reproductivos bajo el agua, incluso bajo condiciones limitadas de luz (Ramos y colaboradores, 2013).

Macrófitos emergentes. Son plantas herbáceas perennes, cuentan con sistema radicular arraigado en el sedimento, y estructura vegetativa que emerge por encima del agua, de gran desarrollo y que pueden alcanzar más de 3 m de altura como ejemplo junco de esteras (*Typha latifolia*) (De Miguel y colaboradores, s/f).

Las plantas macrófitas han sido descritas por distintos autores como bioindicadores, determinados por sus características, condiciones ambientales, así como su presencia y abundancia, García y colaboradores (2009) especifican que: los macrófitos acuáticos tienen unas propiedades que los hacen ser excelentes bioindicadores:

- Se pueden observar fácilmente.
- Son organismos sedentarios.
- Responden rápidamente a variaciones en las condiciones fisicoquímicas del medio.
- Son sensibles a la presencia de diversos contaminantes y sustancias tóxicas.
- Acumulan sustancias tóxicas en sus órganos.
- Su presencia se relaciona fácilmente con procesos ecológicos significativos.
- No requieren complicadas técnicas ni sofisticados laboratorios para identificarlos.
- Están presentes en multitud de hábitats acuáticos.

En comparación con las algas, los macrófitos vasculares tienen un tiempo de respuesta mayor a los cambios ambientales, es decir, se trata de organismos bioindicadores del medio a largo plazo. La comunidad de macrófitos vasculares de un enclave refleja las condiciones ambientales de los últimos meses o años. En este contexto, la desaparición o aparición de especies o los cambios en su abundancia relativa constituyen una información altamente significativa (p. 52).

Como se puede observar, la presencia de plantas macrófitas resulta un componente fundamental en los ecosistemas acuáticos, así mismo, García y colaboradores (2009) justifica la importancia de los macrófitos, como se muestra en la Figura 2.2:

Figura 2.2. Plantas macrófitas como bioindicadoras.

Leyenda de la tabla			
Indicador de calidad	+ Aguas con buena calidad - Aguas con mala calidad	Eutrofia/hipereutrofia	Aguas con concentración de nutrientes muy elevada
Aguas mineralizadas	Aguas con elevada concentración de sales disueltas	Oligotrofia	Aguas muy pobres en nutrientes
Aguas poco mineralizadas	Aguas pobres en sales disueltas.		

Especie	Indicador de calidad	Aguas mineralizadas	Aguas poco mineralizadas	Eutrofia/ Hipereutrofia	Oligotrofia
<i>Utricularia australis</i>	+				•
<i>Avellara fistulosa</i>	+		•		
<i>Hydrocharis morsus-ranae</i>	+				
<i>Egeria densa</i>	-			•	
<i>Hydrilla verticillata,</i>	-	•		•	
<i>Potamogeton nodosus</i>		•			
<i>Potamogeton pectinatus</i>		•		•	
<i>Groenlandia densa</i>	+	•			
<i>Ruppia drepanensis</i>		•			
<i>Najas marina</i>	+	•			
<i>Zannichellia obtusifolia</i>	+	•			
<i>Althenia orientalis</i>	+	•			
<i>Pistia stratiotes</i>	-	•		•	
<i>Lemna gibba</i>	-	•		•	
<i>Juncus heterophyllus,</i>	+		•		•
<i>Isolepis fluitans</i>	+		•		•
<i>Sparganium angustifolium,</i>	+		•		•
<i>Eichhornia crassipes</i>	-	•		•	
<i>Chara galioides</i>	+	•			
<i>Nitella translucens</i>	+		•		•
<i>Riella helicophylla</i>	+	•			
<i>Ricciocarpos natans</i>		•		•	
<i>Isoetes velatum</i>	+		•		•
<i>Marsilea strigosa</i>	+		•		•
<i>Azolla filiculoides</i>	-	•		•	
<i>Salvinia natans</i>	-	•		•	
<i>Nymphaea alba</i>		•			
<i>Nuphar luteum</i>		•			
<i>Ceratophyllum demersum</i>		•		•	
<i>Polygonum amphibium</i>		•		•	
<i>Myriophyllum alterniflorum</i>	+		•		
<i>Myriophyllum aquaticum</i>	-	•		•	
<i>Eryngium corniculatum</i>	+		•		•
<i>Apium inundatum</i>	+		•		•
<i>Carum verticillatum</i>	+		•		•
<i>Callitriche truncata</i>	+	•			
<i>Littorella uniflora</i>	+		•		•

Fuente: García y colaboradores, 2009.

Las plantas acuáticas son un componente fundamental en los ecosistemas acuáticos bien conservados de nuestro territorio. Su presencia indica un buen estado de salud del medio donde se encuentran y contribuyen de forma muy importante a mantener la integridad de lagos, lagunas, arroyos, ríos y marismas. (p. 53-58).

Más concretamente, las plantas acuáticas nos proveen de los siguientes bienes y servicios:

- ✓ Oxigenan las aguas.
- ✓ Fijan CO₂ atmosférico.
- ✓ Reciclan y absorben los nutrientes.
- ✓ Regulan los efectos de la temperatura, luz y transporte de sedimentos.
- ✓ Constituyen una protección contra el efecto erosivo de corrientes y flujos de agua.
- ✓ Son el soporte trófico y el alimento para los consumidores primarios de la mayor parte de los ecosistemas acuáticos naturales.
- ✓ Forman parte del hábitat de numerosas especies de invertebrados, peces, anfibios y otros animales acuáticos.
- ✓ Incrementan la heterogeneidad de los ecosistemas acuáticos donde están presentes.
- ✓ Contribuyen a mantener las aguas transparentes, disminuyendo la suspensión de partículas sólidas

2.5.3.2 Vegetación riparia

La vegetación riparia es un componente clave de los ecosistemas fluviales que proporciona una gran cantidad de servicios ecosistémicos. Por un lado, estas formaciones vegetales regulan los flujos de materia y energía en los ecosistemas acuáticos y terrestres, aportando materia orgánica particulada al cauce (hojarasca, ramas, frutos, etc.), una de las principales fuentes alimenticias para los organismos que habitan en los cauces fluviales (microorganismos, invertebrados, entre otros) (Naiman y colaboradores, 1993).

El desarrollo de la vegetación de ribera ayuda a la estabilización de sedimentos asociados a las orillas y llanuras de inundación, evita la erosión de las márgenes y suministra elementos, tales como ramas caídas, troncos muertos y raíces, que favorecen la retención de sedimentos y la creación de nuevos hábitats (Gregory y colaboradores, 2003).

Los bosques de ribera constituyen enclaves de extraordinaria relevancia desde el punto de vista de la conservación de la biodiversidad y de la estructura del paisaje. Las formaciones vegetales riparias tienen, igualmente, una importante función de filtro verde que ayuda a mejorar la calidad del agua, ya que su capacidad de retención evita la llegada a las aguas de contaminantes y exceso de nutrientes por escorrentía o de forma subsuperficial. Por otra parte, factores como el grado de cubierta vegetal de la zona riparia juegan un papel fundamental en la regulación de la transferencia de energía térmica que llega a los cuerpos de agua. En zonas ribereñas con poca cubierta vegetal se producen grandes fluctuaciones en la temperatura del agua a lo largo del año y dentro de un mismo día (Quinn y colaboradores, 1992).

2.5.3.3 Anfibios y reptiles

Los anfibios y reptiles resultan ser organismos importantes al definir la calidad del ambiente en cuerpos de agua. Contribuyen a la biodiversidad y al funcionamiento del ecosistema porque representan un nivel esencial en la cadena trófica. Por ejemplo, los anfibios son los depredadores primarios de una amplia variedad de invertebrados, principalmente insectos, en una gran variedad de ambientes de agua dulce y en la mayoría de los ambientes terrestres, participan en el flujo de energía y el reciclaje de nutrientes en un ecosistema al convertir su alimento en biomasa y, al mismo tiempo, servir como fuente de alimento a otros grupos animales de niveles superiores como aves, murciélagos y serpientes (Chávez y colaboradores, 2015).

Belamendia (2010) señala que los anfibios y reptiles son “pequeños vertebrados que representan uno de los estratos básicos de las redes tróficas, lo que posibilita

la subsistencia de otros vertebrados superiores (aves y mamíferos). Su presencia es clave para la conservación y mejora de la biodiversidad” (p. 4).

Por otra parte, a los anfibios se les atribuye propiedades "bioindicadoras" de la calidad del medio y son el colectivo más vulnerable a la alteración de las variables ambientales por ser sus pieles permeables a diferentes tipos de agentes contaminantes presentes en el agua (Belamendia, 2010).

2.5.3.4 Aves

Las aves son un componente biológico de gran importancia para los ecosistemas acuáticos, Ceballos y colaboradores (2009) especifica que: “ocupan varios niveles como consumidoras, algunas comen semillas, otras son frugívoras y dispersoras de semillas, otras han coevolucionado con las plantas para ser polinizadoras, y todas ellas contribuyen a mantener la regeneración natural y diversidad de la vegetación. Entre las carnívoras hay depredadoras de insectos y otros grupos de invertebrados que buscan lo mismo en la orilla de los estanques que entre la vegetación, en el follaje y troncos, e incluso en el aire. Las depredadoras de vertebrados consumen peces, anfibios, reptiles, mamíferos y hasta otras aves, las carroñeras participan de forma activa en el reciclaje de la materia orgánica; es así como las aves participan en el control natural de poblaciones de vertebrados e invertebrados” (p 139-140).

Por otra parte, algunas especies de aves como los gansos y patos pueden causar una reducción importante en la cobertura de plantas emergentes, incluso cambios sutiles en el balance entre reproducción sexual y asexual de las mismas, su forma de alimentarse, pisoteando y removiendo el agua y los sedimentos, produce cambios en la turbidez y distribución de nutrientes y reduce la cobertura de plantas sumergidas, promoviendo un cambio de aguas claras (dominado por macrófitos sumergidos) a aguas turbias (dominado por fitoplancton). También las altas concentraciones de gansos y otras aves en dormideros pueden representar una importación masiva de nutrientes (ya que defecan en el humedal dormidero, pero

comen en otros lugares) que puede producir eutrofización del humedal con todo lo que conlleva (Green y Figuerola, 2003).

2.5.3.5 Macroinvertebrados

Algunos organismos, por el hecho de vivir en cuerpos de agua durante varios días o meses, integran los cambios que se producen de todos los parámetros físicos y químicos, mientras que una medida puntual de un parámetro fisicoquímico (el pH por ejemplo) no especifica cambios históricos en la calidad del agua (Ladrera y colaboradores, 2013).

Se denominan macroinvertebrados acuáticos aquellos invertebrados con un tamaño superior a 0.5 mm, entre los que se incluyen animales como esponjas, planarias, sanguijuelas, oligoquetos, moluscos o crustáceos, como los cangrejos, los cuales desarrollan todo su ciclo de vida en el agua (Ladrera, y colaboradores, 2013).

Los macroinvertebrados tienen una especial importancia en los ecosistemas acuáticos, constituyen un componente de biomasa animal importante ya que juegan un papel fundamental en la transferencia de energía desde los recursos basales hacia los consumidores superiores de las redes tróficas. Es decir, los macroinvertebrados acuáticos van a consumir la materia orgánica fabricada en el agua por los organismos fotosintéticos, como algas o briófitos, y la materia orgánica procedente del ecosistema terrestre, así mismo la transfieren 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 acuáticos va a afectar directamente a animales como peces, aves acuáticas o mamíferos semiacuáticos (Ladrera, y colaboradores, 2013).

A continuación se presentan los tres grupos de macroinvertebrados que son usados por el United State Department of Agriculture (1998) como bioindicadores de calidad del agua.

Grupo Uno: Se encuentran organismos sensibles a la contaminación estos son los que indican buena calidad del agua.

1 *Mosca de piedra. Orden Plecoptera:* De 6 patas con antenas enganchadas, 2 colas de la línea.

2 *Frigáneas u Orden Trichoptera:* 6 patas enganchadas en el tercio superior del cuerpo, 2 ganchos en el extremo trasero. Puede tener mechones de branquias esponjosas en la parte inferior.

3 *Escarabajo de agua: Orden Coleoptera:* Cuerpo plano en forma de platillo, 6 piernas pequeñas y branquias esponjosas.

4 *Escarabajos del rifle: Orden Coleoptera:* Cuerpo ovalado cubierto de pelos diminutos, 6 patas, con antenas.

5 *Caracoles: Clase Gastropoda:* Concha cubierta por placa delgada llamada opérculo. Cuando la apertura está de frente, la concha generalmente se abre a la derecha.

6 *Efémeras: Orden Ephemeroptera:* Branquias en los lados de la parte inferior del cuerpo, 6 patas enganchadas grandes, con antenas, 2 o 3 colas largas como pelos.

7 *Moscas dobson: Familia Corydalidae.* De color oscuro, tiene 6 piernas, de mandíbula grande, con antenas, ocho pares palpadores en la mitad inferior del cuerpo, 2 colas, y 2 pares de ganchos en extremo posterior.

Grupo 2: Compuesto por organismos ligeramente tolerantes a la contaminación, indican calidad buena.

8 *Cangrejos. Orden Decapoda:* De garras grandes, 8 patas, se asemeja a pequeñas langostas.

9 *Cochinillas: Orden Isopoda:* Cuerpo oblongo gris más ancho que alto. Más de 6 patas, con antenas largas.

10 *Crustáceos anfípodos: Orden Amphipoda:* De color blanco a gris, cuerpo más alto que ancho con más de 6 patas, se asemejan a camarones pequeños.

11 *Larva de alderflies: Familia Sialidae:* Tiene cola larga, delgada y ramificada en el extremo posterior. No hay mechones de agallas debajo.

12 *Larva de mosca de pescado: Familia Cordalidae:* Es de color claro con vetas acolchadas. No tiene mechones de agallas debajo.

13 *Caballito del diablo: Suborden Zugoptera:* De ojos grandes, 6 piernas delgadas en forma de gancho, 3 amplias colas en forma de remo, posicionadas como un trípode.

14 *Larva de mosca de agua: familia Atherici-dae (Atherix):* De color pálido a verde, cuerpo cónico de cabeza cónica, con "cuernos" plumosos. en el extremo posterior.

15 *Tipulas: Suborden Nematocera:* Puede tener color verde lechoso o marrón claro, es rechoncho de cuerpo segmentado similar a una oruga, tiene 4 dedos lóbulos en el extremo posterior.

16 *Larva De Escarabajo: Orden Coleoptera:* De color claro, 6 patas en la mitad superior de cuerpo, palpadores, antenas.

17 *Libelulas: Suborden Anisoptera:* De ojos grandes, 6 patas en forma de gancho con abdomen ovalado a redondo.

18 *Almeja: Clase Bivalvia.*

Grupo Tres: Grupo compuesto por organismos tolerantes a la contaminación estos pueden estar en cualquier calidad del agua.

19 *Gusano Acuático: Clase Oligochaeta:* Puede ser muy pequeño y delgado.

20 *Larva de mosquito: Suborden Nematocera:* De cabeza oscura, con cuerpo segmentado, 2 piernas diminutas en cada lado.

21 *Larva Mosca Negra: Familia Simuliidae:* Tiene un extremo del cuerpo más ancho. Con cabeza negra y ventosa en el otro extremo.

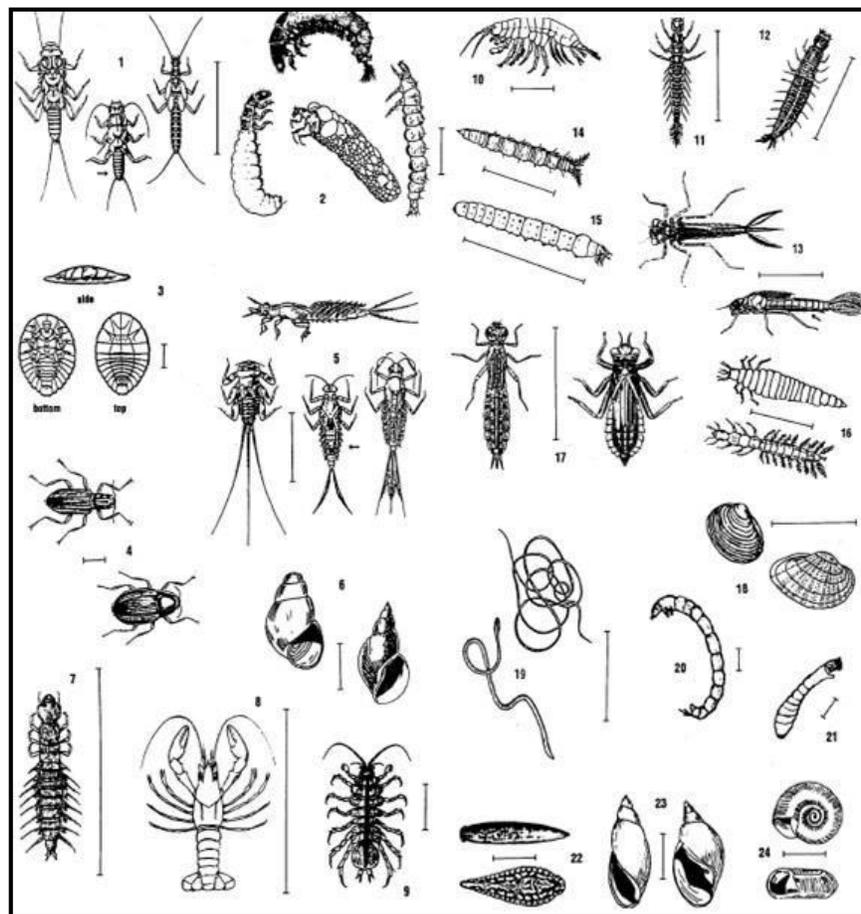
22 *Sanguijuela: Orden Hirudinea:* De color marrón, cuerpo viscoso, termina con succión.

23 *Caracoles bolsa y caracoles de estanque. Clase Gastropoda:* No hay opérculo. Cuando está de frente la apertura se encuentra a la izquierda.

24 *Otros Caracoles: Clase Gastropoda:* No tiene opérculo. Conchas de caracol en un plano.

En la Figura 2.3 se muestran enumerados los distintos macroinvertebrados bioindicadores de calidad del agua.

Figura 2.3. Macroinvertebrados bioindicadores de calidad del agua.



Fuente: United State Department of Agriculture, 1998.

2.5.3.6 Mamíferos

Los mamíferos juegan un papel importante para el mantenimiento de las condiciones del hábitat y de los ecosistemas, ya que conservan la dinámica y flujo de energía de los mismos mediante servicios vitales y ecológicos como el control de poblaciones de pequeños vertebrados, la dispersión y predación de semillas folivoria y frugivoria (Emmons, 1990).

Como consecuencia de la deforestación y transformación de la vegetación, la dinámica de los procesos ecológicos y las interacciones entre las especies de mamíferos como la predación, competencia, herbivoría y dispersión de semillas se pueden ver afectadas (Murcia, 1995).

En general, los mamíferos responden a las transformaciones del paisaje presentando cambios en la dieta, especialización hacia algunos recursos en particular y comportamiento (Crooks, 2002).

Aspectos como la distribución, diversidad y la abundancia de las poblaciones de mamíferos también pueden verse afectadas como consecuencia de la transformación del hábitat, al parecer estos cambios podrían estar determinados por factores como las condiciones físicas, las tolerancias fisiológicas de las especies a las nuevas condiciones del área transformada o las interacciones entre las especies (Murcia, 1995).

2.5.3.7 Peces

Los peces contribuyen con más nutrientes a sus ecosistemas locales que cualquier otra fuente, para causar cambios en las tasas de crecimiento de los organismos en la base de la cadena alimentaria. A través de la excreción, ellos reciclan los nutrientes que toman, proveyendo los nutrientes que las plantas acuáticas y las algas necesitan para crecer. Así mismo son considerados como predadores, debido a que consumen microorganismos, plantas y animales pequeños (Layman y colaboradores, 2013).

No obstante, la introducción de diversas especies exóticas genera un impacto negativo, García y colaboradores (2014) señala que “el impacto de los peces introducidos a menudo también se manifiesta a nivel ecosistémico, básicamente en forma de cambio en los flujos biogeoquímicos, la estructura trófica y la estructura del hábitat. Introducir peces donde no los había de forma natural o añadir una especie exótica que tiene una ecología distinta de las nativas a menudo provoca efectos ecosistémicos marcados. Estos efectos ecosistémicos han sido muy bien demostrados experimentalmente en gambusia, carpa y secundariamente pez rojo (*Carassius auratus*).” (p. 39).

Especies más bentívoras como la carpa y el pez rojo movilizan cantidades importantes de nutrientes del fondo, donde obtienen el alimento, a la columna de agua, a través de resuspensión de sedimentos finos y la excreción. Esto conlleva la alteración de la calidad del agua, con aumento de las concentraciones de nutrientes (fósforo y nitrógeno), reducción de la transparencia del agua y a menudo aumento del fitoplancton y reducción de la vegetación macrofítica (Angeler y colaboradores, 2002).

2.5.3.8 Especies exóticas.

Las razones para que especies de plantas y animales se encuentren fuera de su ámbito de distribución natural son diversas; sin embargo, la mayor parte de los movimientos de ejemplares de especies hacia nuevas regiones se ha hecho considerando únicamente los beneficios para las poblaciones humanas, sin considerar los posibles efectos ecológicos adversos (Segura, 2005).

La introducción de especies exóticas invasoras plantea serias amenazas a la diversidad biológica y a los ecosistemas, ya que altera la dinámica de las poblaciones nativas y la estructura y composición de las comunidades (Carabias y colaboradores, 2005). La introducción de éstas, puede causar graves daños a los ecosistemas terrestres y acuáticos, provocar desequilibrios ecológicos entre las poblaciones silvestres, generar cambios en la composición de especies y en la estructura trófica, inducir el desplazamiento de especies nativas, pérdida de

especies, reducción de la diversidad genética y transmisión de una gran variedad de enfermedades como plagas agrícolas y forestales (Velázquez y colaboradores, 2014).

Los impactos que causan las especies invasoras son: depredación sobre especies autóctonas que no tienen sistemas de defensa ante tales depredadores; competencia con otras especies que ocupan el mismo nicho ecológico y que tienden a ser desplazadas; alteración del hábitat y consecuente modificación de la estructura de la comunidad donde se asientan; hibridación con especies similares asentadas en dicha comunidad, con la consiguiente contaminación genética y pérdida de diversidad biológica; transmisión de enfermedades y parásitos a las cuales las especies invasoras están ya adaptadas o inmunizadas, entre otros (Carabias y colaboradores, 2005).

Uno de los problemas más comunes de las especies invasoras exóticas tiene que ver con la proliferación de malezas acuáticas en cuerpos de agua que reciben altos volúmenes de descargas con materia orgánica, como es el caso del lirio acuático en los lagos. El incremento de estas malezas provoca un aumento en la evapotranspiración del cuerpo de agua y acrecienta el azolvamiento; modifica las características fisicoquímicas del agua; propicia la presencia de mosquitos vectores de enfermedades; detiene los flujos naturales del agua, y obstruye el movimiento de las embarcaciones, entre otros problemas (Carabias y colaboradores, 2005).

2.5.4 Indicadores de evaluación visual y de campo para determinar calidad de cuerpos de agua lénticos

Apariencia del agua. La claridad del agua es una de las características visuales que ayudan a saber si el agua está o no limpia y que además es fácil de evaluar por el color y olor de esta. En algunos cuerpos de agua puede haber un ligero coloreo natural en el agua, sin embargo, en cuerpos de agua degradados, es muy evidente la presencia de las esteras de algas flotantes, la escoria superficial, o contaminantes como tintes y aceite (Garrido, 2017).

Olor: Generalmente los olores son producidos por sustancias volátiles (COV's) o gaseosas (H₂S, NH₃, etc.), y suelen ser debidos a materia orgánica en descomposición o productos químicos producidos o empleados en la industria y tratamiento de aguas residuales (Aznar, 2000).

Las algas y las bacterias son las principales causas de problemas con el olor y el sabor del agua potable. Sin embargo, los vertidos químicos y de aguas residuales también generan productos químicos que pueden alterar el olor, tanto en aguas superficiales como en aguas subterráneas (Trojan Technologies, 2008).

Las células de algunas algas y bacterias generan de forma natural productos químicos con olor, como la geosmina (trans-1, 10-dimetiltrans- 9-decalol) o el MIB (2-metilisoborneol). Muchas personas detectan el olor a tierra y moho de la geosmina y el MIB en concentraciones entre 5 y 10 partes por trillón. Cuando se producen brotes de algas y bacterias en un acuífero, las concentraciones de los compuestos que alteran el olor y sabor aumentan hasta niveles por encima de este umbral y pueden generar problemas (Trojan Technologies, 2008).

En la Figura 2.4 se resumen distintos tipos de olor y sabor y sus posibles causas:

Figura 2.4. Tipos de olor y sabor en el agua y sus posibles causas.

Olor y sabor	Causas
Tierra	Geosmina
Moho	MIB, isopropilmetoxipirazina (IPMP), isobutilmetoxipirazina (IBMP)
Aguarrás, aceite	Éter metil terbutílico (MTBE)
Pescado/rancio	2,4-heptadienal, decadienal, octanal
Cloro	Cloro
Medicinas	Clorofenoles, yodoformo
Aceite, gas, pintura	Hidrocarburos, compuestos orgánicos volátiles (COV)
Metálico	Hierro, cobre, zinc, manganeso
Hierba	Algas verdes

Fuente: Trojan Technologies, 2008.

Color (UNE-EN ISO 7887:1995): No existe una relación directa entre color y grado de contaminación, pues al tratarse de un parámetro fuertemente influido por interferencias con otras sustancias coloreadas, es difícil su evaluación absoluta. Dado que muchas de las sustancias coloreadas se degradan con el tiempo (Aznar, 2000).

Las aguas naturales pueden ser incoloras o incluso azules dependiendo de la profundidad; sin embargo, algunas aguas naturales tienen cierto color que depende de los materiales disueltos y suspendidos e incluso de los de sedimentos del fondo. En la Figura 2.5 se muestran distintos colores del agua y su posible razón:

Figura 2.5. Color del agua y posible razón.

Color aparente	Posible razón
Verde	Fitoplancton
Amarillo/café	Turba (carbón vegetal) y compuestos orgánicos. Algas y dinoflagelados.
Iridiscente	Grasas, aceites y detergentes
Muchos colores	Erosión del suelo
Pardo amarillento	Densas poblaciones de diatomeas
Rojo	Suspensión de hidróxidos férricos

Fuente: De la Lanza, 2014.

Turbidez: este factor mide la cantidad de sólidos en suspensión que a su vez influyen fundamentalmente en la fotosíntesis y por consecuencia en la producción primaria. Normalmente, la zona costera puede contener ciertas concentraciones resultado de los aportes fluviales, escurrimientos y resuspensión por corrientes mareales o eólicas; esta situación se puede incrementar por las diversas actividades antropogénicas e influir adversamente sobre el plancton y repercutir en niveles superiores de organismos (De la Lanza, 2014).

Algas

El enriquecimiento de nutrientes a menudo se refleja en los tipos y cantidades de algas en el agua. Los niveles altos de nutrientes (especialmente fósforo y nitrógeno) promueven una sobreabundancia de algas y macrofitas enraizadas. Las

algas y macrofitas proporcionan hábitat y alimento para todos los animales acuáticos. Sin embargo, una cantidad excesiva de vegetación acuática no es beneficioso. La respiración de la planta y la descomposición de la vegetación muerta consume oxígeno disuelto en el agua. La falta de oxígeno disuelto crea estrés para todos los organismos acuáticos y puede causar la muerte.

Las floraciones intensas de algas degradan la calidad del agua y hábitat. El agua limpia y una diversa comunidad de plantas acuáticas con poca densidad resulta ser el ambiente óptimo (United State Department of Agriculture, 1998).

Las esteras flotantes de algas y la espuma superficial son indicadores de una corriente eutrófica (United State Department of Agriculture, 2001).

Condiciones y alteraciones del flujo del canal de alimentación al bordo. Es una medida de los cambios importantes que se presentan en un flujo de agua que alimenta un cuerpo de agua, Estos cambios pueden provocar alteraciones en el hábitat y en el almacenamiento de agua de la llanura de inundación (Garrido, 2017).

Hábitat para peces

El potencial para el mantenimiento de una comunidad de peces sanos y su capacidad para recuperarse de la perturbación depende de la variedad y abundancia de hábitat adecuado y cobertura disponible.

A continuación, se describen los diferentes tipos de cobertura según el United State Department of Agriculture (1998).

Escombros leñosos grandes: árboles caídos o partes de árboles que proporcionan escondites para peces.

Vegetación sobresaliente: árboles, arbustos, vides o vegetación herbácea perenne que cuelga de inmediato sobre la superficie del cuerpo de agua, esto proporciona sombra.

Rocas: Las rocas funcionan como refugio y zona anidación para los peces.

Tapetes de raíz gruesa: tapetes densos de raíces en o debajo de la superficie del agua formando una estructura para el apego de invertebrados y cubierta para peces.

Macrófitas densas: camas emergentes de vegetación, por ejemplo: sauces y nenúfares o camas sumergidas las cuales pueden ser algas. La vegetación acuática de espesor suficiente proporciona una cubierta para peces.

Piscinas aisladas/aguas estancadas: Son áreas desconectadas del cuerpo de agua principal, caracterizado por la falta de flujo, excepto en períodos de agua alta.

Hábitat para invertebrados

El sustrato estable es importante para la colonización de insectos e invertebrados, se conforma por; restos de madera u otras superficies sobre las cuales los invertebrados poder vivir. Las condiciones óptimas incluyen una variedad de tipos de sustrato dentro de un área relativamente pequeña.

Algunos tipos de hábitat son restos leñosos finos, troncos sumergidos, paquetes de hojas, bancos socavados, adoquines, cantos rodados y grava gruesa (United State Department of Agriculture, 1998).

Estabilidad de bancos

En este elemento se evalúa el potencial de erosión de los bancos de sedimento que se encuentran dentro de los cuerpos de agua lenticos. La geomorfología de los bancos varía según factores como: la descarga de flujo de agua, tipos de suelo presente, la pendiente de la superficie, y los diferentes usos de terrenos adyacentes al cuerpo de agua. Estos elementos influyen los procesos de erosión y sedimentación.

Las alteraciones a la geomorfología natural de los bancos pueden ocasionar su inestabilidad. La erosión excesiva ocurre cuando se presenta inestabilidad en los bancos debido a los cambios en hidrología y carga de sedimentos. Los bancos

altos e inclinados son más susceptibles a erosión o a colapsar (Rodríguez y Ramírez, 2014).

La vegetación contribuye a la estabilidad de los bancos, el tipo de vegetación a lo largo de los mismos es importante. Por ejemplo, la mayoría de los árboles, arbustos, juncias y juncos tienen el tipo de masas de raíz capaces de resistir eventos de flujo alto, mientras que las especies pioneras (como los pastos) no lo hacen. El mantillo también puede actuar como un estabilizador (por ejemplo, ramas de árboles y hojarasca). Algunos signos de erosión son: Los tramos sin vegetación, raíces de árboles expuestas, o bordes inclinados. Además, la evidencia de construcción o de animales cerca de los bancos o pastando en el área, pueden provocar el colapso de los bancos (United State Department of Agriculture, 2001).

Caracterización del sustrato. Evalúa el tipo y la condición de los sustratos inferiores encontrados en el cuerpo de agua. La posibilidad de que haya una amplia variedad de organismos depende de sedimentos firmes (como grava o arena) y plantas acuáticas arraigadas que funcionen como hábitat, en cambio un sustrato dominado por lodo o roca madre y ninguna planta soportara menos tipos de organismos (Garrido, 2017).

Deposición de sedimento. Mide la cantidad de sedimento que se ha acumulado en los cuerpos de agua y los cambios que se han producido en el fondo de la corriente como resultado de la deposición. La deposición se produce a partir del movimiento a gran escala del sedimento y puede causar la formación de islas o bancos. El alto nivel de deposición de sedimentos es síntoma de un entorno inestable que se convierte en inadecuado para muchos organismos (Garrido, 2017).

Registros vivos Una evaluación simple de la cantidad y tipo de organismos vivos puede ayudar a determinar el grado de impacto a que ha sido sometido un cuerpo de agua; por ejemplo, número de aves acuáticas, peces juveniles, presencia de vegetación sumergida, peces muertos o conchas esparcidas; entre otros.

La abundancia de fitoplancton es indicador de la calidad del agua, especialmente del contenido de nutrientes; además existen ciertas diatomeas y dinoflagelados que le imprimen color al agua. Su distribución en parches dificulta su adecuado muestreo, condición que lleva a tomar muestras por triplicado para ser más representativo. El registro visual de grandes florecimientos ayuda al manejo de resultados (De la Lanza, 2014).

En el caso de la vegetación sumergida, ésta sirve como un barómetro de la salud de los cuerpos de agua, ya que forma un eslabón entre el hábitat físico y la comunidad biológica y monitorear su composición y densidad ayuda a estimar dicho estatus de salud. Dentro de cuerpos de agua continentales la eutrofización en forma natural es resultado de un envejecimiento por asimilación de nutrientes, incremento de sedimentos, limos y materia orgánica procedente de la cuenca que rodea a los cuerpos de agua como lagos; sin embargo, las actividades humanas como la agricultura, urbanismo, desarrollos residenciales aceleran dicha eutrofización denominada cultural, que se traduce en:

- a) Incremento del crecimiento algal (estimulado por los nutrientes).
- b) Incremento de plantas enraizadas.
- c) Disminución de oxígeno disuelto por incremento de procesos respiratorios y de descomposición; condición que induce a la muerte de peces y de otra vida acuática.

Las condiciones naturales de envejecimiento no sólo disminuyen las dimensiones de los cuerpos de agua incluyendo la profundidad, sino también incrementan la turbiedad y se acidifica el medio y proliferan bacterias no deseadas. En cuanto a la acidificación normal de los lagos, que conlleva a la disminución de flora y fauna, tienden a ser claros por ausencia de vida. Pero la lluvia ácida que reciben directamente o por escurrimientos, procedentes de la quema de combustibles fósiles, acelera la contaminación. Una hoja de registro de campo siempre apoya al reconocimiento de bioindicadores (De la Lanza, 2014).

2.5.4.1 Condiciones antropogénicas

Registros de basura

La presencia de basura orgánica e inorgánica, son signos de degradación del cuerpo de agua, la basura orgánica es aquella que puede biodegradarse naturalmente tales como: cascara de frutas, madera y hojas. Por otra parte, la inorgánica representa todos los desperdicios artificiales o creados por procesos industriales o químicos, por ejemplo, el plástico, vidrio y aceites (Rodríguez, 2014).

La presencia de los filmes coloreados en el agua puede provenir de descargas mineras, de grandes cantidades de escombros flotantes o de aguas turbias procedentes de descargas urbanas (De la Lanza, 2014).

La presencia de basura o cadáveres de animales son signos evidentes de la degradación del cuerpo de agua (United State Department of Agriculture, 2001).

Presencia de estiércol. La presencia del estiércol y los desechos humanos en los ríos y cuerpos de agua aumentan la demanda bioquímica de oxígeno, la carga de nutrientes y alteran el estado trófico de la comunidad biológica acuática. Asimismo, los desechos humanos no tratados constituyen un riesgo para la salud (Garrido, 2017).

Registros de la orilla. Dado los beneficios que ofrece establecerse al margen de los cuerpos de agua, en su registro del marco biofísico es importante cuantificar el número de casas habitación, industrias y actividades agrícolas, ganaderas y turísticas, así como todo aquello que impacte potencialmente a cuerpos de agua. Todo lo anterior identifica no sólo las fuentes potenciales de contaminación, sino también elementos para seleccionar puntos de monitoreo (De la Lanza, 2014).

CAPÍTULO 3

CARACTERIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

CAPÍTULO 3 CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

3.1. Localización geográfica

El área de estudio se encuentra en el municipio de Toluca, Estado de México. En las coordenadas extremas:

- Norte: 427246 m Este, 2146172 m Norte
- Sur: 427936 m Este, 2141610 m Norte
- Este: 429225 m Este, 2143121 m Norte
- Oeste: 424751 m Este, 2142892 m Norte

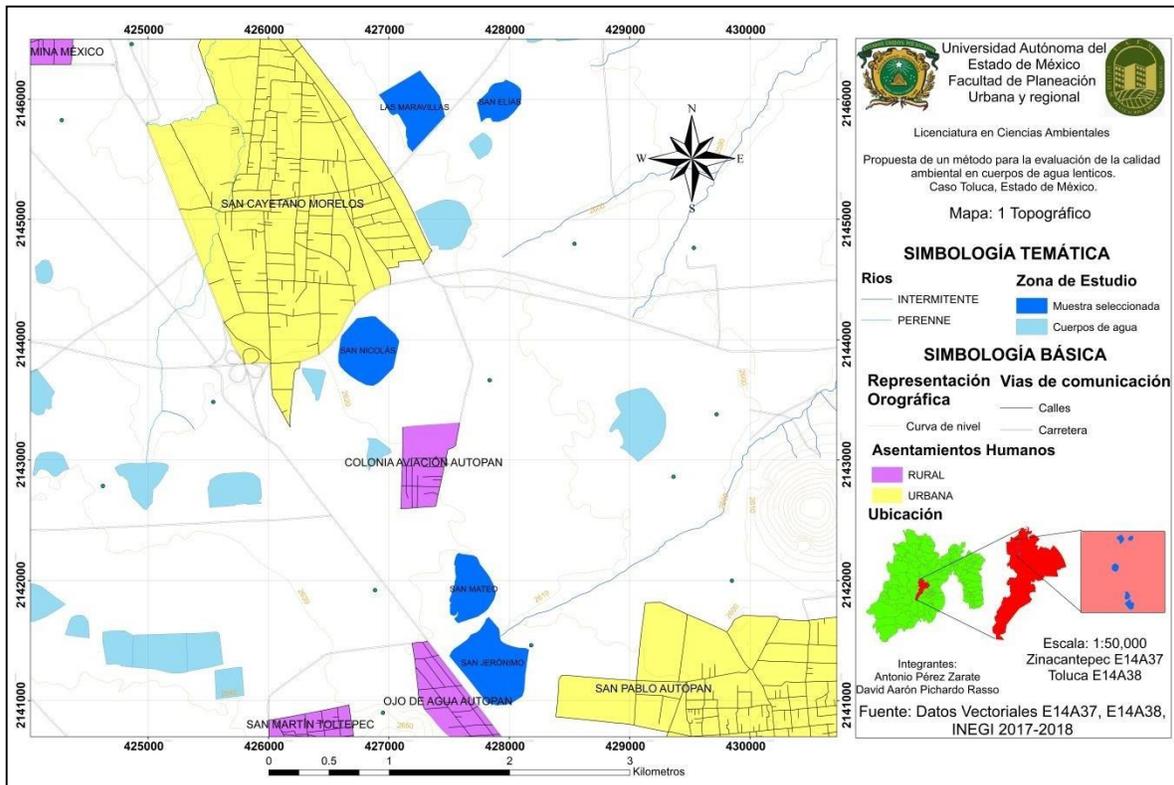


Figura 3.1. Localización de la zona de estudio (Fuente: Elaboración propia con base en datos vectoriales E14A37 y E14A38, INEGI 2017-2018).

Los polígonos marcados con la tonalidad de azul oscuro son los bordos que fueron seleccionados como muestra de estudio (Las Maravillas, San Elías, San Nicolás, San Jerónimo y San Mateo).

3.2. Edafología

Considerando la información de los distintos tipos de suelo de acuerdo con la cartografía de INEGI 2017- 2018 a escala 1:50 000, se encuentran presentes dos tipos de suelo (Vertisol y Feozem) dentro del área de estudio. Ver Figura 3.2 Edafología. Los cuales se describen a continuación:

Vertisol: El suelo con mayor presencia en la zona de estudio, comprende los cuerpos de agua Las Maravillas, San Elías, San Nicolás. El concepto del tipo de suelo Vertisol propuesto por INEGI (2004) especifica que:

Se caracterizan por su estructura masiva y su alto contenido de arcilla, la cual es expandible en húmedo formando superficies de deslizamiento llamadas facetas, y que por ser colapsables en seco pueden formar grietas en la superficie o a determinada profundidad. Su color más común es el negro o gris oscuro en la zona centro a oriente de México y de color café rojizo hacia el norte del país. Su uso agrícola es muy extenso, variado y productivo. Tienen baja susceptibilidad a la erosión y alto riesgo de salinización. (p. 20).

Feozem: cuenta con su presencia en 2 cuerpos de agua; San Mateo, San Gerónimo. El concepto del tipo de suelo Feozem propuesto por INEGI (2004) especifica que:

Se caracterizan por tener una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes, Los Feozems son de profundidad muy variable. Cuando son profundos se encuentran generalmente en terrenos planos y se utilizan para la agricultura de riego o temporal, de granos, legumbres u hortalizas, con rendimientos altos. El uso óptimo de estos suelos depende en muchas ocasiones de otras características del terreno y sobre todo de la disponibilidad de agua para riego. (p. 14).

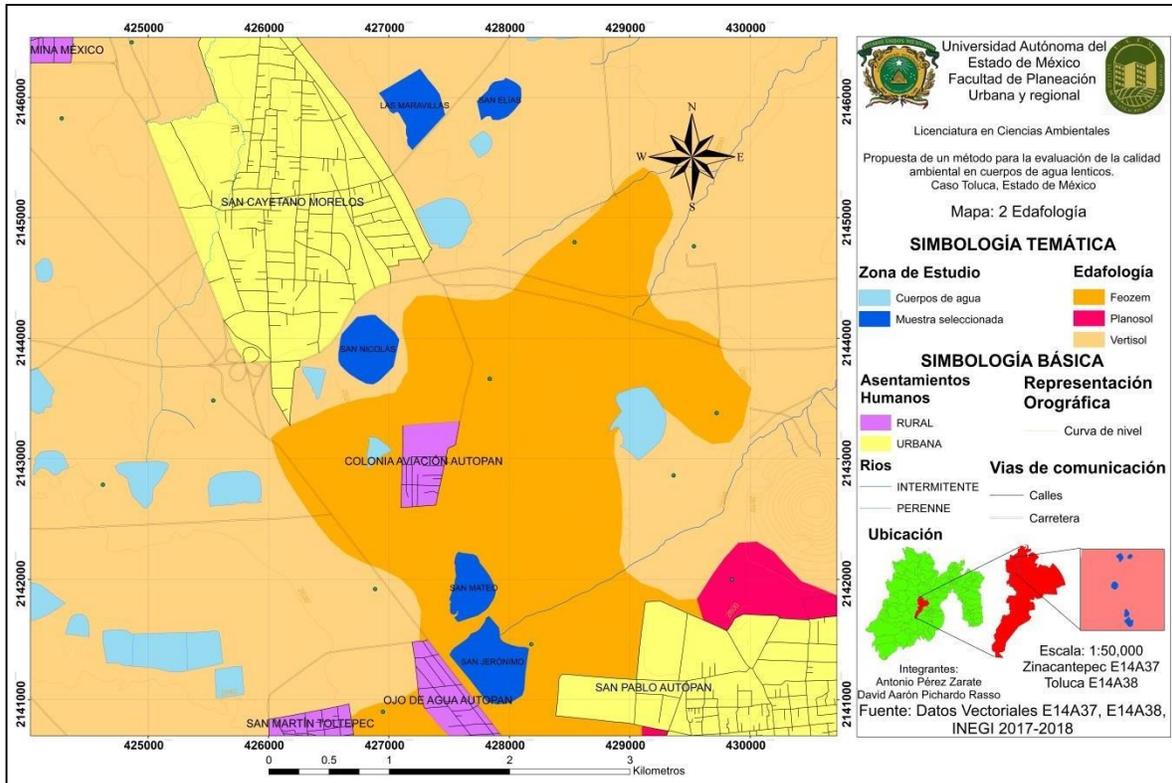


Figura 3.2. Edafología (Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2018).

3.3 Geología

De acuerdo con los datos obtenidos para el tipo de roca con base en la cartografía INEGI 2017 - 2018 a escala 1:50,000 que convergen en la zona de estudio son los siguientes: Véase Figura 3.3 Geología.

Arenisca – Toba: es el tipo de roca de menor proporción en la zona de estudio, ya que solo se encuentra en el cuerpo de agua *San Nicolás*, así mismo son dos tipos de roca en conjunto.

El concepto propuesto para la arenisca de acuerdo a Tarbuck, y Lutgens (2005) especifica:

“La arenisca es el nombre que se le da a las rocas en las que predominan los clastos de tamaño de arena. Después de la lutita, la arenisca es la roca sedimentaria más abundante: constituye aproximadamente el 20% de todo

el grupo. Las areniscas se forman en diversos ambientes y a menudo contienen pistas significativas sobre su origen, entre ellas la selección, la forma del grano y la composición.” (p. 205)

El concepto para toba propuesto por Marín (2017) especifica que:

Es un tipo de roca ígnea volcánica, ligera, de consistencia porosa, formada por la acumulación de cenizas u otros elementos volcánicos muy pequeños expelidos por los respiraderos durante una erupción volcánica. Se forma principalmente por la deposición de cenizas y lapilli durante las erupciones piroclásticas. Su velocidad de enfriamiento es más rápido a que en el caso de rocas intrusivas como el granito y con una menor concentración en cristales.

El resto de los cuerpos de agua los cuales son Las Maravillas, San Elías, San Mateo y San Jerónimo, se encuentran inmersos dentro de la clasificación geológica de tipo aluvial.

El concepto propuesto para aluvial de acuerdo a INEGI (2013) especifica que:

“Aluvial: (al) Formado por el depósito de materiales sueltos, provenientes de rocas preexistentes, que han sido transportados por corrientes superficiales de agua.”

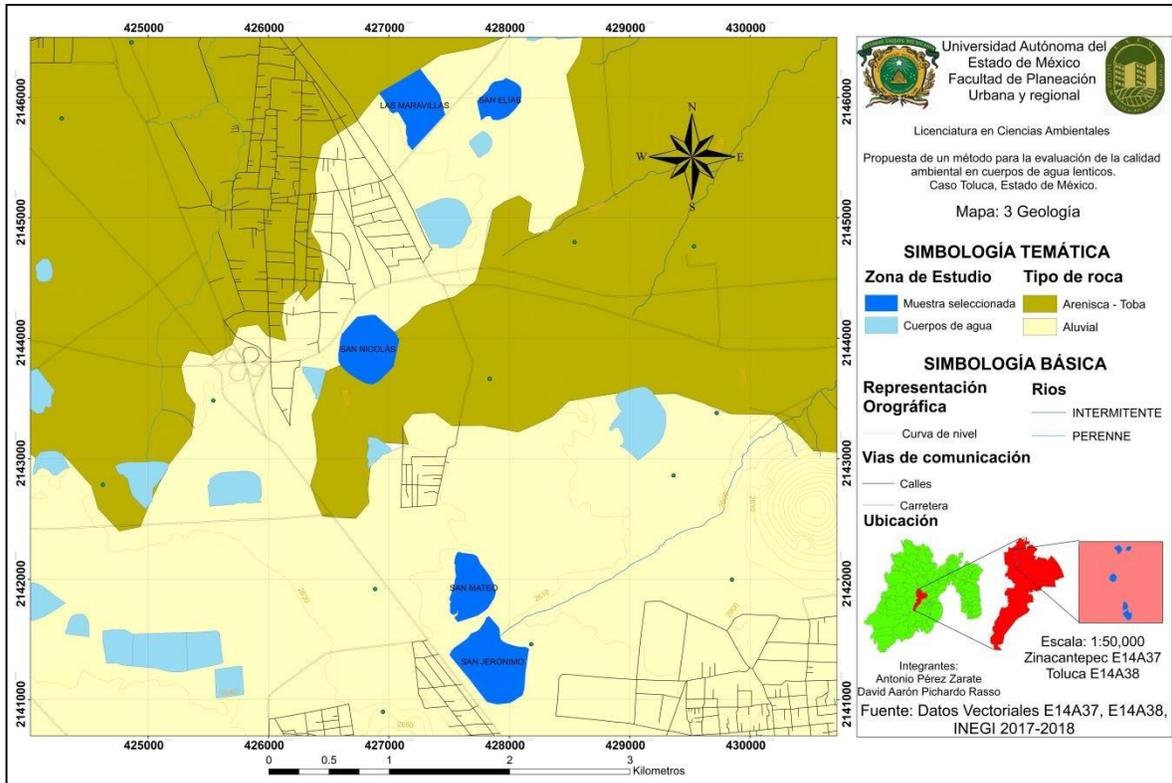


Figura 3.3. Geología (Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2018).

3.4 Clima

De acuerdo con INEGI (2008) el tipo de clima correspondiente a la zona de estudio es *C (w) b i*, que es descrito como un tipo de clima templado subhúmedo con lluvias en verano.

Acorde a los datos recabados del Servicio Meteorológico Nacional (2019) de la estación climatológica Nueva Santa Elena se tiene un registro de una temperatura máxima media anual de 20.7°C y una temperatura mínima media anual de 4.2 °C así como una precipitación media anual de 842.8 mm.

García (2004) menciona que en México existen amplias zonas con climas C que se localizan en zonas montañosas o llanuras de altitud superior a 800 metros, en lugares donde la temperatura media de 1 mes desciende por debajo de 18°C. En el tipo de clima C (w) los 2 elementos más importantes del clima (temperatura y

precipitación) cambian en distancias relativamente cortas y producen importantes variantes climáticas al grado de humedad.

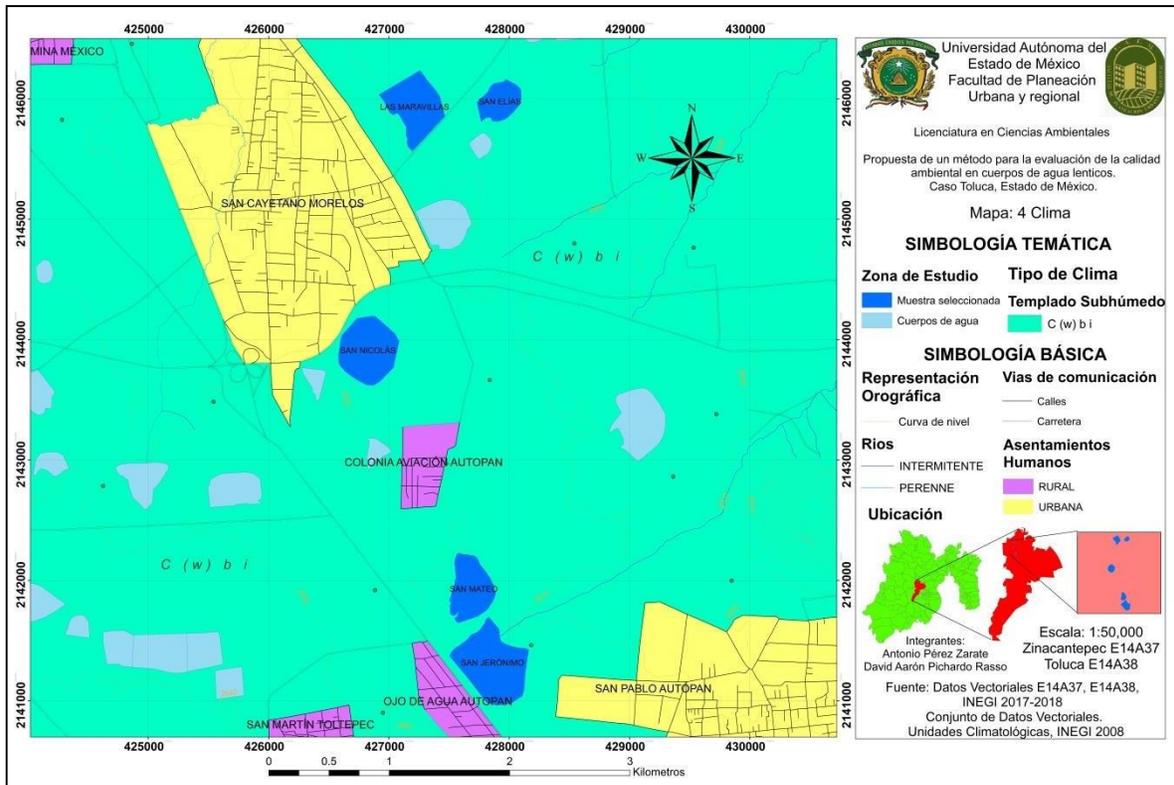


Figura 3.4. Clima (Fuente: Elaboración propia con base en INEGI 2008).

3.5. Uso de suelo y vegetación

El uso de suelo predominante en la zona de estudio es el de agricultura de riego, seguido de agricultura de temporal y áreas urbanas. En su mayoría se presenta la agricultura de riego, esto debido a todos los bordos que se encuentran en la zona como se puede apreciar en la Figura 3.5 Uso de suelo y vegetación.

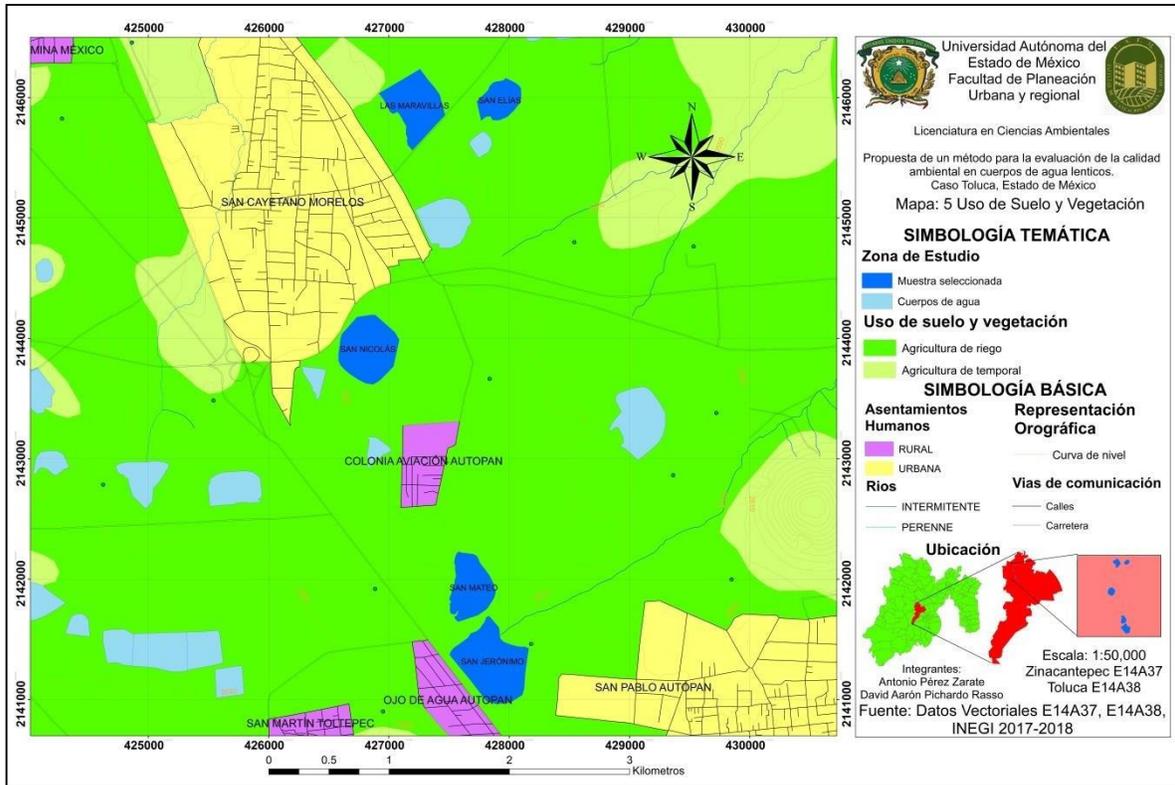


Figura 3.5. Uso de suelo y vegetación (Fuente: Elaboración propia con base en INEGI 2018).

CAPÍTULO 4

MARCO

METODOLÓGICO

CAPÍTULO 4 MARCO METODOLÓGICO

4.1 Etapa 1 Identificación del área de estudio

Los cuerpos de agua lenticos para la muestra de estudio se eligieron de acuerdo a la cercanía entre los mismos, por otra parte se consideró su heterogeneidad con la finalidad de obtener resultados diferentes al momento de la aplicación del método para la evaluación de la calidad del ambiente en los cuerpos de agua.

En primera instancia se realizó una búsqueda de posibles zonas viables para la aplicación del método, considerando como lugares potenciales aquellos que se encontraran cercanos a la ciudad de Toluca y sus periferias, así mismo se consideró su fácil acceso y vías de transporte para llegar a ellos.

Finalmente, los cuerpos de agua seleccionados fueron Las Maravillas, San Nicolás, San Elías, San Mateo y San Jerónimo, ubicados en las localidades de San Cayetano de Morelos y San Pablo Autopan, ambas pertenecientes al municipio de Toluca, Estado de México.

4.2 Etapa 2 Desarrollo del protocolo de evaluación visual

La investigación para la creación del método fue de tipo exploratorio ya que se indagó sobre distintos índices para evaluar la calidad del agua. El presente protocolo se basó en tres métodos para calcular la calidad del agua; el protocolo de evaluación visual del United State Department of Agriculture (1998), el Protocolo de evaluación del hábitat y parámetros fisicoquímicos de Barbour y colaboradores (1999) y Protocolo de evaluación visual de quebradas para Puerto Rico de Rodríguez y Ramírez (2014).

4.2.1 Selección de variables y parámetros

Las variables que integran los métodos antes mencionados se muestran en la Figura 4.1:

Figura 4.1. Variables utilizadas en los protocolos de la USDA, Barbour y colaboradores y Rodríguez y Ramírez.

USDA (1998) Protocolo de evaluación visual para quebradas	Barbour y colaboradores (1999) Protocolo de evaluación del hábitat y parámetros físicoquímicos.	Rodríguez y Ramírez (2014) Protocolo de evaluación visual de quebradas para Puerto Rico
Condición del canal.	Substrato epifaunal/cobertura disponible.	Turbidez.
Alteración hidrológica.	Incrustación de rocas en el sedimento.	Crecimiento de algas.
Zona riparia.	Caracterización del substrato en las piscinas.	Condición del canal.
Estabilidad de bancos.	Combinaciones de velocidad y profundidad.	Alteración de flujo del canal.
Apariencia del agua (color, olor, turbidez, presencia de aceites y contaminantes químicos).	Variabilidad de piscinas.	Porcentaje de incrustamiento en el segmento.
Enriquecimiento de nutrientes.	Deposición de sedimentos.	Estabilidad de bancos.
Presencia de barreras que impidan el movimiento de peces u otros organismos acuáticos.	Estado del flujo del canal.	Dosel / Sombra
Hábitats para peces.	Alteración del canal.	Condición de la zona ribereña
Piscinas.	Presencia de meandros.	Disponibilidad de hábitat para especies nativas
Hábitats para invertebrados.	Estabilidad de bancos.	Basura orgánica
Presencia de estiércol.	Bancos de protección vegetal.	Basura inorgánica
Salinidad.	Ancho de la zona riparia	
Macro invertebrados observados.		

Fuente: Elaboración propia con base en United State Department of Agriculture (1998), Barbour y colaboradores (1999) y Rodríguez y Ramírez (2014).

Las variables que se ocuparon para la realización del método fueron aquellas que se adaptan a la medición de la calidad del agua en cuerpos de agua lénticos debido a que los tres métodos utilizados están adaptados a la medición de la calidad ecosistémica de cuerpos de agua lóticos.

Cabe mencionar que se rescataron variables particulares que estaban inmersas en parámetros generales, por ejemplo: El United State Department of Agriculture considera como variable única la apariencia del agua, de la cual se rescataron tres variables principales (el color, el olor y la turbidez).

Por otra parte, con base en la bibliografía consultada de métodos para la evaluación de la calidad del agua, se hizo la aportación de variables relacionadas con condiciones antropogénicas y condiciones biológicas las cuales no están presentes en los 3 protocolos de base utilizados.

Las variables consideradas para el método se muestran en la Figura 4.2:

Figura 4.2. Variables utilizadas en el método para la evaluación de la calidad ambiental en cuerpos de agua lenticos.

USDA (1998) Protocolo de evaluación visual para quebradas.	Barbour y colaboradores (1999) Protocolo de evaluación del hábitat y parámetros físicoquímicos.	Rodríguez y Ramírez (2014) Protocolo de evaluación visual de quebradas para Puerto Rico.	Variables aportadas
Estabilidad de bancos.	Estabilidad de bancos.	Residuos orgánicos (extraído de Rodríguez y Ramírez; basura orgánica).	Aguas residuales.
Color (extraído de USDA; apariencia del agua).	Degradación de vegetación riparia (extraído de Barbour; ancho de la zona riparia).	Residuos inorgánicos (extraído de Rodríguez y Ramírez; basura inorgánica).	Actividades antropogénicas.
Olor (extraído de USDA; apariencia del agua).	Vegetación riparia (extraído de Barbour; ancho de la zona riparia).		Presencia de establecimientos.
Hábitat para peces.	Deposición de sedimentos.		Especies exóticas
Turbidez (extraído de USDA; apariencia del agua).			Flora acuática
Hábitat para invertebrados.			Mamíferos
Presencia de estiércol.			Anfibios
Presencia de macroinvertebrados			Reptiles
Condiciones y alteraciones del flujo del canal (extraído de USDA; alteración hidrológica).			Aves
Presencia de aceites y contaminantes químicos			Peces

(extraído de USDA; apariencia del agua).			
Presencia de algas (extraído de USDA; enriquecimiento de nutrientes).			

Fuente: Elaboración propia con base en United State Department of Agriculture (1998), Barbour y colaboradores (1999) y Rodríguez y Ramírez (2014).

4.2.2 Elaboración de la cédula de parámetros (Formato de campo)

La finalidad de la cedula de parámetros es obtener los principales datos que cubran las condiciones de campo y que sirvan como base para aplicar el método para la evaluación de la calidad del ambiente en cuerpos de agua lenticos, los datos que lo conforman se encuentran ordenados en:

- *Datos generales:* definen dónde y cuándo fue recabada la información para su posterior evaluación, incluye datos como fecha de muestreo, nombre del sitio, coordenadas, localización y en que temporada (lluvia o estiaje) fue levantada la información, entre otros.
- *Características:* abarca el tipo de alimentación (lluvia, canal, aguas residuales, arroyo) así como las características físicas y organolépticas. Por otra parte da conocer condiciones importantes que finalmente no serán evaluadas en el presente método, como el tipo de suelo, corriente del agua y superficie del agua, pero que ayudaran a formular un análisis general acerca de las características de la zona de estudio.
- *Observaciones bióticas:* Se muestran los avistamientos de flora y fauna detectados, en algunos apartados se especifica el tipo de flora o fauna presente o si estos son silvestres o domésticos, para el caso de fauna cuáles son las especies avistadas con el fin de agruparlas en su nivel de cadena trófica (consumidores primarios, secundarios y terciarios) y las observaciones adicionales que estarán relacionadas con posibles enfermedades en las especies, aumento en la densidad de flora o fauna entre otras.
- *Condiciones de campo:* se encuentra integrado por los tipos de hábitats para invertebrados y peces que pueden estar presentes en los cuerpos de

agua lenticos, la deposición de sedimento de acuerdo a su porcentaje de afectación, la degradación riparia medida en su nivel de afectación y la presencia o ausencia de erosión.

- *Condiciones antropogénicas*: sirven para determinar el conjunto de actividades dentro y fuera del cuerpo de agua y que afectan de manera positiva o negativa al ecosistema, definido en tres vertientes principales que son ubicación, tipo de residuos encontrados, y actividades antropogénicas generales (pesca, agricultura, pastoreo y caza).

4.2.3 Elaboración del “Método para calcular la calidad ambiental en cuerpos de agua lenticos” basado en la evaluación de parámetros visuales.

La elaboración del método consistió en un condensado de 26 variables de los métodos (USDA (1998), Barbour y Colaboradores (1999), Rodríguez y Ramírez (2014) y otras no presentes en los 3 métodos anteriores pero que se consideraron importantes.

Ante la recolección de las distintas fuentes y variables que se proponen en los protocolos utilizados, se optó por desarrollar el método para calcular la calidad del ambiente en los cuerpos de agua lenticos en cuatro subdivisiones, la forma de ordenar dichas subdivisiones consiste en los principales actores que articulan el ecosistema acuático así como el impacto ambiental dentro del mismo:

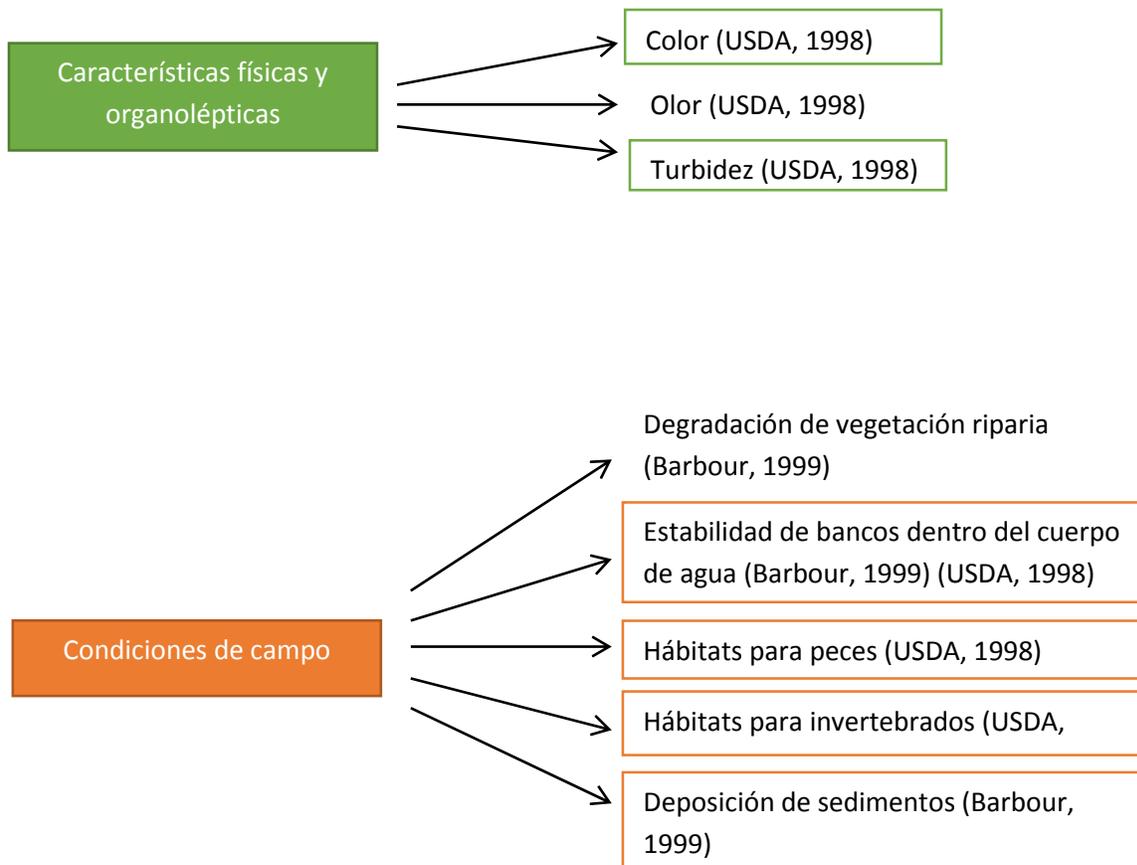
- *Características físicas y organolépticas*: la perspectiva de su análisis es evaluar todas aquellas condiciones relacionadas a la apreciación estética y sensitiva.
- *Condiciones de campo*: evalúan el estado físico actual de los cuerpos de agua en cuanto a entornos naturales, relacionados con la degradación de la vegetación riparia, la erosión y la disponibilidad de hábitats.
- *Condiciones antropogénicas*: en este parámetro se pondera el impacto ambiental generado por las comunidades y asentamientos humanos inmersos y/o adyacentes al cuerpo de agua, muestran variables de suma

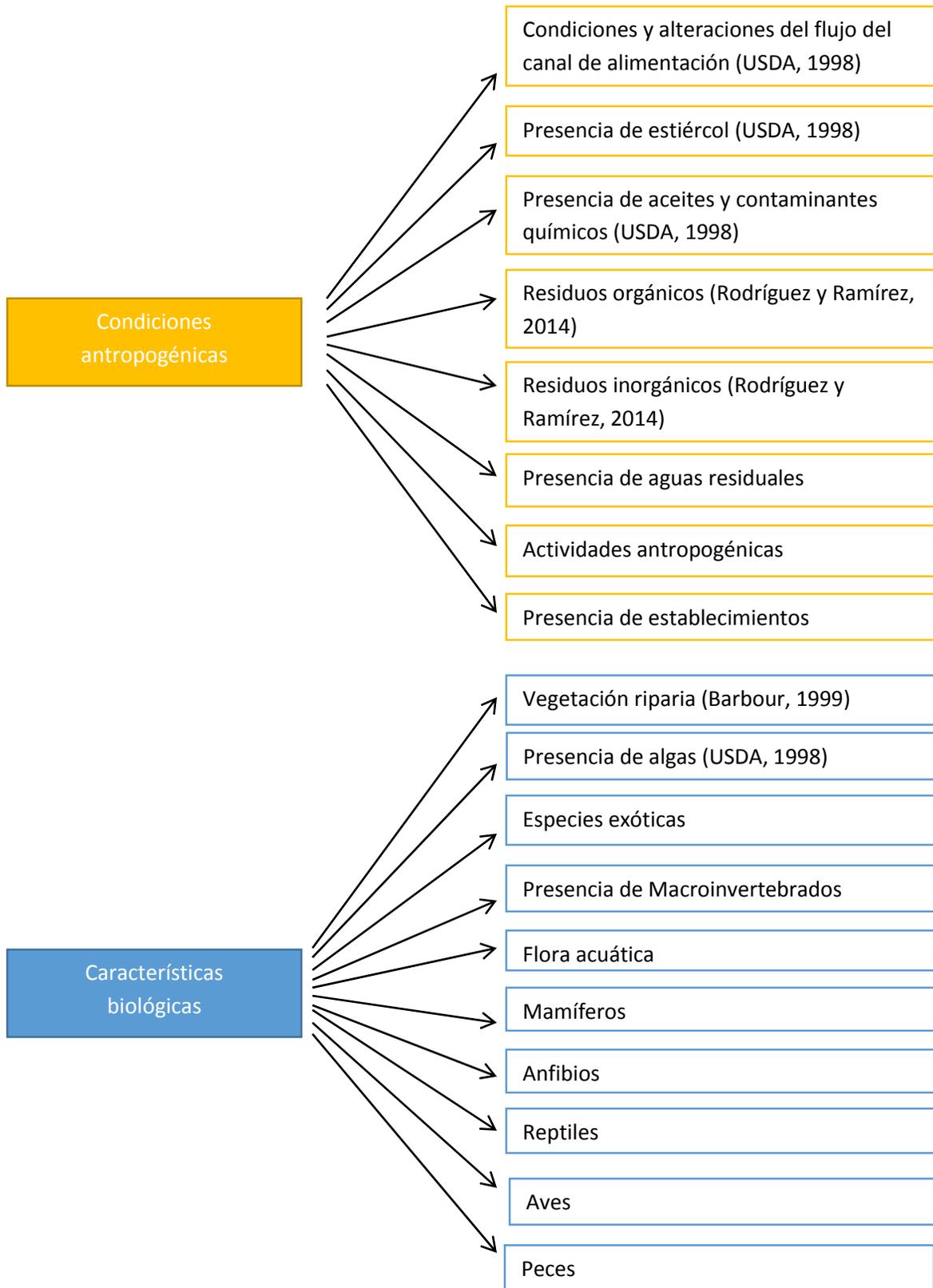
importancia como contaminación y actividades relacionadas al campo, comercio y la industria.

- *Características biológicas*: evalúan la presencia, distribución y abundancia de los organismos tanto de flora como de fauna que albergan los cuerpos de agua (dentro del mismo y en la zona de amortiguamiento). Para el caso de mamíferos, reptiles y aves la evaluación está relacionada de acuerdo a los niveles de cadena trófica teniendo como ponderación excelente aquellos que cuentan con los tres niveles (primarios, secundarios y terciarios).

Con la información seleccionada y las cuatro subdivisiones formuladas se procedió a su agrupación, la cual se esquematiza en la Figura 4.3.

Figura 4.3. Variables clasificadas por su tipo de condición, en el “Método para calcular la calidad del ambiente en cuerpos de agua lenticos”





Fuente: Elaboración propia con base en United State Department of Agriculture (1998), Barbour y colaboradores (1999) y Rodríguez y Ramírez (2014).

Así mismo se le asignó a cada variable un puntaje para así ponderar su condición y su presencia actual en la zona de estudio a evaluar, el puntaje va desde los 10 puntos que representa la condición de “Excelente”, pasando por la calificación 7 para “Bueno”, 3 para “Regular” y 1 para “Malo”. Cabe mencionar que se encuentran presentes variables que se evalúan únicamente en tres condiciones (Excelente, Regular y Malo) y algunas otras que se evalúan en dos condiciones (Excelente y Malo) dónde su puntaje fue modificado para compensar su calificación.

Instrucciones para evaluar la calidad del ambiente en cuerpos de agua lenticos:

Al asignar la calificación de cada variable presente en el método, se procede a calcular el índice. El índice es una calificación en la que se refleja la condición ambiental actual del cuerpo de agua, los pasos a seguir son los siguientes:

- 1) Sumar cada una de las puntuaciones asignadas a cada una de las variables
- 2) La suma se divide por el total de variables utilizadas.
- 3) Si alguna de las variables presentes en el método no se evaluó no debe incluirse en los cálculos.

4) La fórmula es la siguiente:

$$\frac{\sum \text{Puntuaciones}}{T} = i$$

Dónde:

\sum Puntuaciones: sumatoria total de las puntuaciones que fueron utilizadas

T: número de variables evaluadas

i: Índice para evaluar la calidad del ambiente en cuerpos de agua lenticos

5) Interpretar el índice según las siguientes categorías:

Malo: menor a 6 Regular: 6 a 7.4 Buena: 7.5 a 8.9 Excelente: 9 a 10

Figura 4.4. Clasificación de la calidad de los cuerpos de agua.

EXCELENTE	BUENO	REGULAR	MALO
<p>Cuerpo de agua saludable con capacidad de almacenamiento de agua que cumple con las condiciones químicas, físicas y biológicas necesarias que exige el consumo humano y agrícola (libre de color, sabor y olor desagradable, sin turbidez). Además, desempeña otras funciones como: control de inundaciones, autodepuración y regulación de erosión, albergar vida silvestre al proveer refugio y alimento a la fauna local y migratoria. Sin ningún tipo de alteración de origen antropogénico.</p>	<p>El cuerpo de agua es estéticamente aceptable con mínima perturbación humana. La calidad del agua es apta para la agricultura. Cumple con las funciones de almacenamiento de agua para uso doméstico, control de inundaciones, autodepuración, cuenta con las condiciones óptimas para albergar vida silvestre y proveerlas de refugio y alimento. Puede considerarse el uso recreativo.</p>	<p>Cuerpo de agua deteriorado por la acción humana (residuos sólidos urbanos y descargas de aguas residuales). Disminución considerable en su capacidad de almacenamiento. Ecosistema fragmentado, en condiciones poco favorables para albergar vida acuática. Con limitaciones para brindar servicios ambientales, sin embargo, el uso del agua para actividades agrícolas puede ser considerada, si se realizan los estudios pertinentes para determinar que se encuentra dentro de los límites máximos permisibles que establecen las NOM's para uso agrícola.</p>	<p>La influencia humana ha provocado perturbaciones importantes en el ecosistema como: Incremento en la carga de nutrientes y crecimiento excesivo de algas Reducción del espejo de agua. El cuerpo de agua no cumple con las condiciones para fungir como hábitat para peces. No es posible la utilización del agua para uso agrícola. El mal olor causado por la eutrofización limita las actividades recreativas. El cuerpo de agua representa una limitante ambiental, social y económica al no poder ser utilizado para actividades económicas, recreación, uso doméstico o simplemente contar con condiciones ambientales sanas.</p>

Fuente: Garrido, 2017.

Figura 4.5. Hoja de referencia “Método para calcular la calidad ambiental en cuerpos de agua lenticos” basado en la evaluación de parámetros visuales.

Criterios	Condición de la categoría				Calificación
	Excelente	Bueno	Regular	Malo	
Características físicas y organolépticas					
Color	El agua es clara	El agua presenta ligero color verde	El agua es color verde o café	Colores cafés, colores iridiscentes debido a grasas, aceites o detergentes. El agua tiene aspecto muy turbio y fangoso	
Puntuación	10	7	3	1	
Olor	Ligero olor a tierra y/o hierba	Se presentan olores fuertes a tierra o hierba	Presenta olor moderado a amoníaco o a huevo podrido	Con olor fuerte de productos químicos y/o aguas residuales	
Puntuación	10	7	3	1	
Turbidez	Los objetos son apreciables a una profundidad mayor de 1.50 m	Los objetos son visibles a una profundidad de 1 m a 1.50 m	Los objetos son apreciables a una profundidad de 30 cm a 1m	Agua muy turbia, los objetos no son apreciables	
Puntuación	10	7	3	1	
Condiciones de campo					
Degradación de vegetación riparia	No hay degradación o impactos negativos por actividades antropogénicas		Indicios de degradación derivada de actividades antropogénicas	Muy poca vegetación ribereña o ninguna debido a actividades humanas. Zona severamente degradada	
Puntuación	10		4	1	
Estabilidad de bancos dentro del cuerpo de agua	Los bancos de suelo son muy estables. Erosión mínima. Los bancos tienen poca altura, la pendiente es menor a 10 grados, el banco está protegido por raíces de	Bancos moderadamente estables. Los bancos son de poca altura, la pendiente de los bancos esta entre 10 y 20 grados, presencia de pocos árboles y arbustos. Afectación del banco entre el 10	Los bancos son moderadamente inestables. Pueden tener baja altura, pero normalmente son altos, la pendiente esta entre los 20 y 35 grados, la presencia de árboles es poca y muchos de ellos están caídos, así mismo las raíces	Los bancos son inestables, muy pocas veces son bajos en su mayoría son de altura considerable, la pendiente es mayor a 35 grados, evidencia de derrumbe del banco, la vegetación dominante son pastos, las raíces	

	árboles, arbustos y pastos. Menos del 10% del banco está afectado	al 30%	de los arboles pueden estar expuestas, existencia de pocos arbustos. Evidencia de animales cerca de los bancos. Del 30 al 60 % del banco esta degradado	de árboles están expuestas y presencia de árboles caídos. Mas del 60% del banco esta degradado	
Puntuación	10	7	3	1	
Hábitats para peces	6 tipos de hábitats para peces. (Escombros leñosos grandes, vegetación sobresaliente, rocas, tapetes de raíces, macrófitas densas y piscinas aisladas)	Presencia de 5 a 4 hábitats para peces	Entre 3 a 2 hábitats	1 o ningún hábitat disponible para peces	
Puntuación	10	7	3	1	
Hábitats para invertebrados	6 tipos de hábitats disponibles para invertebrados. (Restos leñosos finos, troncos, hojarasca, bancos socavados, rocas y grava gruesa)	Presencia de 5 a 3 hábitats disponibles	Presencia de 2 hábitats disponibles	1 o ningún hábitat disponible para invertebrados	
Puntuación	10	7	4	1	
Deposición de sedimentos	Menos del 5% del fondo se encuentra afectado por la sedimentación	Entre el 5 al 30% del cuerpo de agua está afectado. Presencia de deposición de gravas, arenas o sedimento fino	Sedimentación moderada de gravas, arenas y/o sedimentos finos. Entre el 30 al 50% del fondo está afectado	Más del 50% del fondo se encuentra afectado. Hay gran presencia de materiales finos, como limos y arcillas	
Puntuación	10	7	3	1	

Condiciones antropogénicas					
Condiciones y alteraciones del flujo del canal de alimentación	Sin tomas de agua o desvíos del canal. No hay presencia de obstáculos permanentes tales como diques o muros que limiten la entrada del agua al bordo		Presenta tomas de agua de manera temporal o intermitentes a lo largo del canal. Las variaciones de agua por la alimentación no afectan la disponibilidad de hábitat para la biota	Presenta tomas de agua permanente y barreras permanentes, lo que obstaculiza los flujos de inundación del cuerpo de agua. Los retiros causan una pérdida severa de hábitat	
Puntuación	10		5	1	
Presencia de estiércol	No hay presencia de estiércol de especies domésticas. (heces de ganado o perros)	Hay evidencia de acceso del ganado y especies domésticas a la zona ribereña.	Evidencia moderada de estiércol localizado en la llanura de inundación o en el área de amortiguamiento (5 mts)	Excesiva cantidad de estiércol en el cuerpo de agua y área de amortiguamiento	
Puntuación	10	7	3	1	
Presencia de aceites y contaminantes químicos	La superficie no presenta filmes de aceite o capas de colorantes.		Se presentan ligeros indicios de contaminantes como aceites y colorantes en la superficie o adheridos a las rocas u objetos del fondo	Con filmes y capas de contaminantes o espumas	
Puntuación	10		3	1	
Residuos orgánicos	No hay presencia de residuos orgánicos provenientes de actividades humanas. Hay presencia de ramas secas y hojarasca en el suelo	Baja densidad de basura orgánica ocupando 1/8 del área total del cuerpo de agua y su área de amortiguamiento, su prevalencia en el medio es baja, debido a su rápida degradación. Por ejemplo; cascaras de frutas o verduras	Densidad media de basura orgánica. Ocupa 1/4 del área total del cuerpo de agua y su área de amortiguamiento.	Alta densidad de basura orgánica. Ocupa la mitad o más de la mitad del cuerpo de agua y de sus orillas. Puede haber animales muertos, residuos de verduras y frutas, papel y cartón	

Puntuación	10	7	4	1	
Residuos inorgánicos	No hay presencia de residuos inorgánicos dentro del cuerpo de agua y fuera del mismo	Hay presencia de residuos inorgánicos, pero de baja prevalencia y en baja densidad por ejemplo botellas y plásticos	Alta densidad de residuos inorgánicos provenientes de establecimientos urbanos o rurales cercanos al cuerpo de agua	Prominente presencia de desechos inorgánicos como (piezas de automóviles, escombros, botellas, desechos industriales, desechos sanitarios, entre otros). Alta persistencia de residuos inorgánicos provenientes de industrias, áreas urbanas y áreas agrícolas	
Puntuación	10	7	3	1	
Presencia de aguas residuales	Sin descarga de aguas residuales			Descarga de aguas residuales y/o drenaje sanitario	
Puntuación	10			1	
Actividades antropogénicas	Sin actividades antropogénicas dentro y adyacente (10 m.) al cuerpo de agua	Actividades relacionadas a la recreación que no afectan significativamente al ecosistema (senderismo, ecoturismo, entre otros)	Presencia de actividades relacionadas a la pesca y caza	Presencia de actividades relacionadas a la pesca, agricultura, pastoreo y caza	
Puntuación	10	7	3	1	
Presencia de establecimientos	Sin presencia de establecimientos Puede haber presencia de establecimiento para la recreación, sin generar presión sobre el ecosistema	Presencia moderada de establecimientos (1-8) Puede haber presencia de establecimiento de casas y recreación, generando poca presión sobre el ecosistema	Presencia media de establecimientos (9-16) Puede haber presencia de establecimiento de casas, granjas y recreación la presión generada en el cuerpo de agua comienza a afectar al ecosistema	Alta presencia de establecimientos (+16) Puede haber presencia de establecimiento de casas, granjas, comercial e industria, la presión sobre el ecosistema es potencialmente alta	

Puntuación	10	7	3	1	
Características biológicas					
Vegetación riparia	Ancho de la zona ribereña > 10 metros	Ancho de zona ribereña entre 10 a 7 metros	Ancho de zona ribereña 7 a 4 metros	El ancho de zona ribereña es menor a 4 metros	
Puntuación	10	7	3	1	
Presencia de algas (indicador de eutrofización)	La densidad de algas o microalgas no es significativa. Las rocas pueden tener limo o arcillas, sin embargo, las algas no son notorias	Existe un crecimiento moderado de algas en el cuerpo de agua. (Cercano a ¼ del cuerpo de agua)	La densidad de algas es abundante. (cercano a ½ del cuerpo de agua)	Las grandes concentraciones de algas crean cubiertas gruesas en el cuerpo de agua. (superior a ½ del cuerpo de agua)	
Puntuación	10	7	3	1	
Especies exóticas	Solo hay presencia de vegetación nativa		Hay presencia de especies nativas y especies exóticas	El ecosistema está dominado por la presencia de especies exóticas y/o exóticas invasoras	
Puntuación	10		5	1	
Presencia de macroinvertebrados	Comunidad dominada por el grupo 1 de macroinvertebrados	Comunidad dominada por el grupo 2 de macroinvertebrados	Comunidad dominada por el grupo 3 de macroinvertebrados	El número de especies de invertebrados es muy reducido o cercano a la ausencia de macroinvertebrados	
Puntuación	10	7	3	1	
Flora acuática	Alta diversidad de los 4 grupos de flora acuática (plantas flotantes, enraizadas flotantes, sumergidas emergentes)	Moderada biodiversidad. Presencia de 3 a 2 grupos de flora acuática	Baja diversidad de flora acuática. Presencia de 1 grupo de flora	Nula presencia de diferentes grupos de flora acuática (plantas flotantes, sumergidas y emergentes)	
Puntuación	10	7	3	1	
	Presencia de	Presencia de consumidores	Presencia de consumidores	Sin presencia de	

Mamíferos	Consumidores primarios secundarios y terciarios (Linces, coatíes, tejones, comadrejas)	secundarios (tlacuaches, mapaches, cacomixtle) y primarios.	primarios. (ardilla, ratones, conejos, liebres)	mamíferos	
Puntuación	10	7	3	1	
Anfibios	Presencia de anfibios			No hay presencia de anfibios	
Puntuación	10			1	
Reptiles	Presencia de consumidores secundarios y terciarios	Presencia de consumidores secundarios		No hay presencia de reptiles	
Puntuación	10	7		1	
Aves	Presencia de aves silvestres	Presencia de aves silvestres y domésticas	Presencia únicamente de aves domésticas	Sin presencia de aves	
Puntuación	10	7	3	1	
Peces	Presencia de peces nativos	Presencia de peces nativos y exóticos, estos últimos sobreviven en condiciones de buena calidad de agua, sin afectar al ecosistema (ejemplo trucha)	Presencia de peces exóticos que indican baja calidad del agua (ejemplo carpas)	Alto registro de peces muertos o enfermos	
Puntuación	10	7	3	1	
Total					

Fuente: Elaboración propia con base en United State Department of Agriculture (1998), Barbour y colaboradores (1999) y Rodríguez y Ramírez (2014).

Numero de variables utilizadas: _____

Resultado: _____

Sumatoria total de puntuaciones: _____

Calidad del ambiente: _____

Cálculo del índice

Σ Puntuaciones: sumatoria total de las puntuaciones que fueron utilizadas

T: número de variables evaluadas

i: Índice para evaluar la calidad del ambiente en cuerpos de agua lenticos

Interpretar el índice según las siguientes categorías:

Malo: menor a 6

Regular: 6 a 7.4

Buena: 7.5 a 8.9

Excelente: 9 a 10

$$\frac{\Sigma \text{ Puntuaciones}}{T} = i$$

4.3 Etapa 3 Visitas al área de estudio y aplicación del método

Se realizaron un total de siete visitas de campo, dos de estas para el reconocimiento del área de estudio en el mes de septiembre de 2017, en la que se hizo la selección de los cuerpos de agua. Para la aplicación del método, se realizaron cinco visitas de campo (una para cada cuerpo de agua), dos se efectuaron en temporada de estiaje en el mes de abril de 2018 y tres en temporada de lluvia en el mes de Noviembre del mismo año. En la temporada de lluvia se evaluaron los cuerpos de agua de Las Maravillas, San Elías y San Nicolás, y para la temporada de estiaje se evaluaron los cuerpos de agua de San Mateo y San Jerónimo.

Para cada cuerpo de agua se realizó un recorrido completo en todo su perímetro, donde se fueron recabando los datos correspondientes señalados en la cedula para la evaluación de parámetros (formato de campo) y el método para la evaluación de la calidad del ambiente en cuerpos de agua. Se tomó la evidencia fotográfica en la que se exponen cada una de las variables presentes en el método con excepción al olor y a especies de fauna que no pudieron ser fotografiadas (por ejemplo, en el bordo Las Maravillas se avistaron conejos los cuales no pudieron ser fotografiados debido a la lejanía de avistamiento). Cabe mencionar que en los recorridos se realizaron muestreos directos (avistamientos de aves, reptiles, anfibios y mamíferos) e indirectos (excretas y huellas), esto con la finalidad de identificar especies.

Para el caso de la identificación de especies nativas y exóticas se recabo evidencia fotográfica de la distinta flora y fauna presente en el área de estudio. Seguido de esto se consultó la página Naturalista con la finalidad de conocer información general de las especies encontradas como: el nombre común, nombre científico y distribución este último dato muestra si una especie se considera nativa o exótica.

Por último, la variable de presencia de macroinvertebrados no se evaluó por motivos de salud y seguridad ya que algunos cuerpos de agua estaban muy contaminados y no se tenía conocimiento exacto de su profundidad.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

CAPÍTULO 5 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Resultados de la aplicación del método en el área de estudio

Los valores obtenidos para los cuerpos de agua que fueron evaluados de entre los meses de abril y noviembre del año 2018 se mencionan en la Figura 5.1.

Para la temporada de lluvias el rango total por cuerpo de agua se situó de la siguiente forma: Las Maravillas: 191, San Elías: 148 y San Nicolás: 142. Cabe mencionar que en esta temporada se registraron los valores más altos para todos los cuerpos de agua evaluados.

Para la temporada de estiaje, los rangos totales de los cuerpos de agua evaluados fueron: San Mateo: 85 y San Jerónimo: 86, dicha temporada fue la que presentó los valores más bajos de todos los cuerpos de agua.

Como se muestra en la Figura 5.1 solamente uno de los cinco cuerpos de agua evaluados obtuvo una puntuación buena mientras que dos tuvieron puntuación regular y dos una puntuación mala. Cabe mencionar que ningún cuerpo de agua obtuvo la puntuación que indique un nivel de calidad excelente, que estuviera en un rango de 9 a 10.

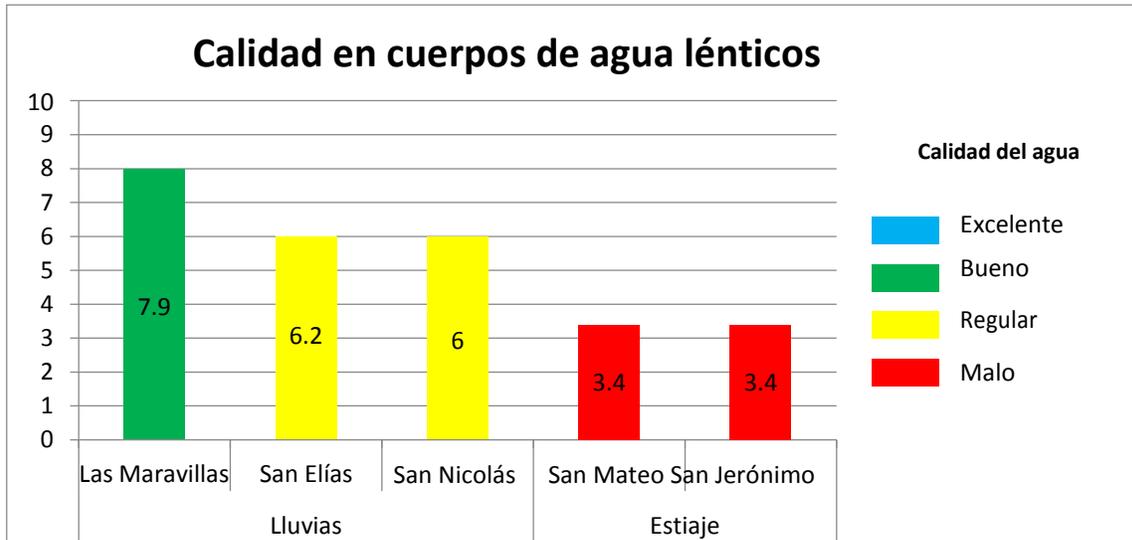
Figura 5.1. Nivel de calidad de los cuerpos de agua de estudio.

Cuerpo de agua	Puntuación de índice	Nivel de calidad
Las maravillas	7.9	Bueno
San Nicolas	6	Regular
San Elías	6.2	Regular
San Mateo	3.4	Malo
San Jerónimo	3.4	Malo

Fuente: Elaboración propia con base en cálculo del índice.

La Figura 5.2 muestra las distintas variaciones de calidad del agua con base en los resultados obtenidos.

Figura 5.2. Calidad en cuerpos de agua lénticos.



Fuente: Elaboración propia con base en cálculo del índice.

Bordo las maravillas

El bordo las maravillas obtuvo la puntuación más alta de los cinco bordos evaluados con un total de 7.9, dicho bordo tenía características particulares que lo distinguieron de los demás cuerpos de agua y las cuales lo definieron con calidad buena.

Condiciones físicas y organolépticas

Los datos obtenidos para las características físicas y organolépticas fueron de 7 para color, 10 para olor y 7 para turbidez, dando en las tres variables un valor relativamente bueno, esto puede deberse a distintos factores, como la baja densidad de objetos sólidos suspendidos, una baja eutrofización o una profundidad considerable superior a 3 metros, así como la baja contaminación dentro del cuerpo de agua.



Figura 5.3. Bordo las Maravillas, ligero color verde en el agua (Fuente: Obtención en campo)

Condiciones de campo

En el caso del siguiente criterio relacionado a las condiciones de campo, los datos obtenidos fueron de 4 para la degradación riparia a causa de los indicios de degradación, los principales factores causantes son los residuos orgánicos ocasionados por el uso de recreación, así como indicios de compactación del suelo. La variable hábitats para peces obtuvo una puntuación de 7, donde se encontraron cinco tipos de hábitats los cuales son escombros leñosos grandes, vegetación sobresaliente, rocas, tapetes de raíces y macrófitas densas. En cuanto a hábitats para invertebrados, el resultado fue de 7, donde se encontraron restos leñosos finos, troncos, hojarasca y rocas. Así mismo la deposición de sedimentos registró un valor de 7, entre el 5 al 30% del cuerpo de agua está afectado con presencia de sedimento fino.



Figura 5.4. Bordo las Maravillas, troncos de árboles caídos y flora acuática (Fuente: Obtención en campo)



Figura 5.5. Bordo las Maravillas, sedimentación apreciable en temporada de estiaje (Fuente: Obtención en campo).

Condiciones antropogénicas

Para el caso de las condiciones antropogénicas, la variable de condiciones y alteraciones del flujo del canal de alimentación presentó una puntuación de 5, debido a que presenta un canal de desvío temporal para riego de zonas de cultivo. La variable de presencia de estiércol presentó una puntuación de 10, debido a la ausencia de heces de ganado. Para la variable presencia de aceites y contaminantes químicos, se presentó una puntuación de 10, ya que no se encontró registro de aceites, contaminantes químicos o colorantes. La variable residuos orgánicos presentó una puntuación de 10, gracias a que no hay presencia de residuos orgánicos generados por actividades antropogénicas, solo se encontró restos de animales, pastos y ramas secas, los cuales son biodegradables y no se consideran como elementos contaminantes. La variable de residuos inorgánicos tuvo una puntuación de 7, a causa de la baja densidad de plásticos, latas y envases de vidrio. La variable aguas residuales obtuvo una puntuación de 10, no hay descarga de aguas residuales en el cuerpo de agua. La variable actividades antropogénicas registró un valor de 7, debido a que este cuerpo de agua solo se ocupa para investigación y recreación. La variable presencia de establecimientos obtuvo una puntuación de 7, solo presentó presencia de un establecimiento el cual es una institución educativa.



Figura 5.6. Bordo las Maravillas, desviación de agua por canal (Fuente: Obtención en campo)



Figura 5.7. Bordo las Maravillas, basura inorgánica en las orillas del bordo (Fuente: Obtención en campo)

Características biológicas

Para el criterio de características biológicas, la variable vegetación riparia obtuvo una puntuación de 7 a causa de que el cuerpo de agua tiene un ancho de zona ribereña cercana a los 8 metros. La variable presencia de algas registró una puntuación de 10 pues la densidad algas no es significativa. La variable especies exóticas obtuvo una puntuación de 5, ya que hay presencia de especies exóticas como el cedro blanco y nativas como la vara de perilla. La variable flora acuática obtuvo una puntuación de 10, gracias a la presencia de 4 grupos los cuales son plantas flotantes, enraizadas flotantes, plantas sumergidas y plantas emergentes (juncos). La variable de mamíferos obtuvo una puntuación de 7, solo contó con la presencia de consumidores primarios (conejos) y secundarios (tlacuaches). La variable anfibios obtuvo una puntuación de 10, dado que hubo presencia de anfibios. La variable de reptiles obtuvo la puntuación de 7, solo hubo consumidores secundarios. La variable de aves registró la puntuación de 10, esto a causa de que únicamente se presentaron aves silvestres. Para la variable de peces, se obtuvo la puntuación de 10, con presencia únicamente de peces silvestres.



Figura 5.8. Bordo Las Maravillas, aves acuáticas y flora acuática (Fuente: Obtención en campo)



Figura 5.9. Bordo Las Maravillas, vegetación riparia (Fuente: Obtención en campo)

Bordo San Elías y San Nicolás

Estos dos bordos obtuvieron un índice de calidad regular, ya que contaron con características similares, el bordo que obtuvo una puntuación mayor fue el cuerpo de agua San Elías con 6.2 mientras que el bordo San Nicolás obtuvo un puntaje de 6.

Características físicas y organolépticas

Para las características físicas y organolépticas, la variable de color dio un resultado de 7 para ambos cuerpos de agua, el color registrado fue de ligero color verde. En cuanto al olor; el cuerpo de agua San Nicolás dio un resultado de 7 ya que tenía un olor fuerte a hierba, para el caso del bordo San Elías tuvo una puntuación de 10 debido a que tenía un ligero olor a hierba. Por su parte, la turbidez también obtuvo valores distintos, el bordo San Nicolás obtuvo una puntuación de 3 consecuencia de que los objetos solamente eran visibles de 30 cm a 1m, la profundidad registrada de dicho cuerpo de agua fue de 1.40 metros aproximadamente, mientras que el bordo San Elías obtuvo una puntuación de 7, puesto que los objetos apreciables en este bordo estaban en un rango de 1m a 1.50m, cabe mencionar que la profundidad aproximada para este cuerpo de agua fue de 1.60 metros.



Figura 5.10. Color del agua y turbidez del Bordo San Elías (Fuente: Obtención en campo)



Figura 5.11. Color del agua y turbidez del bordo San Nicolás (Fuente: Obtención en campo)

Condiciones de campo

La variable degradación de vegetación obtuvo la puntuación de 4 para ambos cuerpos de agua, pues se presentaron indicios de degradación en la vegetación, por ejemplo, se observó que tanto árboles, plantas y arbustos mostraban evidencia de ser consumidos por ganado, así mismo parte de la degradación registrada se debe a la compactación originada por el ganado. Por otra parte, los hábitats para peces en ambos cuerpos de agua obtuvieron una puntuación de 7, gracias a la presencia de escombros leñosos, vegetación sobresaliente, rocas y macrófitas densas en ambos cuerpos de agua. En el caso de los hábitats para invertebrados se arrojó un resultado de 4 para el Bordo San Nicolás, ya que solamente presentó dos tipos de hábitats los cuales son restos leñosos finos y rocas, para el bordo San Elías la puntuación fue de 7 pues hubo presencia de tres hábitats; restos leñosos finos, rocas y bancos socavados. La variable de deposición de sedimentos para ambos cuerpos de agua obtuvo una puntuación de 1, dado que ambos bordos tenían un grado de sedimentación que estaba entre 30% al 50% del fondo afectado.



Figura 5.12. Hábitat para peces del Bordo San Nicolás (Fuente: Obtención en campo)



Figura 5.13. Temporada de estiaje. Sedimentación del bordo San Elías (Fuente: Obtención en campo)

Condiciones antropogénicas

La variable de condiciones y alteraciones del flujo del canal de alimentación para ambos cuerpos de agua obtuvo un total de 5 ya que contaban con tomas de agua intermitentes y temporales. En cuanto a la presencia de estiércol, el bordo San Nicolás tuvo una puntuación de 7, en vista de la baja evidencia de acceso de ganado, por su parte el bordo San Elías tuvo una puntuación de 3 a causa del

registro de una evidencia moderada de estiércol. La presencia de aceites y contaminantes químicos para ambos cuerpos de agua fue de una puntuación de 10, ya que la superficie de estos no presentaba filmes de aceites o capas de colorantes. Los residuos orgánicos en ambos cuerpos de agua obtuvieron una puntuación de 7 a causa de que la densidad de residuos orgánicos era baja, en el caso del bordo San Elías se registró hojarasca, restos de animales, restos de alimentos, papel, cartón y pastos y/o ramas, mientras que en el bordo San Nicolás solo se presentaron pastos y/o ramas, restos de alimentos, papel y cartón. Por otra parte los residuos inorgánicos para ambos cuerpos de agua obtuvieron un total de 7 derivado de la presencia de residuos de baja prevalencia y en baja densidad, los tipos de residuos encontrados en dichos cuerpos fueron botellas de plástico, botellas de vidrio, latas, tejidos y telas. La variable de aguas residuales para ambos cuerpos de agua obtuvo una puntuación de 10, gracias a que no presentaron descargas de aguas residuales. Las actividades antropogénicas para ambos cuerpos de agua mostraron un resultado de 1, en ambos se practicaban actividades pesqueras, agrícolas, de pastoreo y caza. Por último, la puntuación para la presencia de establecimientos para ambos bordos fue de 7 en vista de que en el bordo San Nicolás se presentaron 8 establecimientos cercanos al cuerpo de agua, en comparación con el bordo San Elías que presentó 6 establecimientos.



Figura 5.14. Pastoreo en el Bordo San Elías
(Fuente: Obtención en campo)



Figura 5.15. Residuos inorgánicos en Bordo San Nicolás
(Fuente: Obtención en campo)

Características biológicas

La variable de vegetación riparia para ambos cuerpos de agua fue de 3, el ancho de la zona ribereña de ambos bordos estaba entre los 7 y 4 metros. En cuanto a la presencia de algas, ambos cuerpos de agua obtuvieron una puntuación de 7, donde la densidad de las algas estaba cercana a $\frac{1}{4}$ del cuerpo de agua. Para las especies exóticas se registró una puntuación de 5 en ambos cuerpos de agua, ambos presentaron especies exóticas y nativas. La variable flora acuática para el bordo San Elías obtuvo una puntuación de 10 ya que se registraron los 4 grupos de flora acuática, para el caso del bordo San Nicolás se obtuvo una puntuación de 7 puesto que se registraron tres grupos de flora acuática (flotantes libres, flotantes enraizadas y emergentes). Para la presencia de mamíferos, los dos cuerpos de agua tuvieron una puntuación de 3, solo se registró la presencia de consumidores primarios (ratones). En cuanto a anfibios ambos bordos obtuvieron una puntuación de 10, únicamente se confirmó su presencia. Para los reptiles, en ambos cuerpos de agua se obtuvo la puntuación de 7, solo se presentaron consumidores secundarios (lagartijas y serpientes). La variable de aves registró, en el bordo San Nicolás una puntuación de 10, solo hubo registro de aves silvestres, mientras que el bordo San Elías tuvo una puntuación de 7, en este bordo se registraron especies de aves silvestres y domésticas. Por último, para la presencia de peces en ambos bordos la puntuación fue de 3, a causa de que se presentaron peces exóticos que indican baja calidad del agua (carpas).



Figura 5.16. Flora acuática del Bordo San Nicolás (Fuente: Obtención en campo)



Figura 5.17. Culebra de agua de panza negra registrada en Bordo San Elías (Fuente: Obtención en campo)

Bordo San Jerónimo y San Mateo.

Los cuerpos de agua San Mateo y San Jerónimo obtuvieron las puntuaciones más bajas de los cinco bordos que fueron seleccionados como muestra de estudio. Ambos obtuvieron un índice de calidad malo, dicha calidad del agua es consecuencia a la cercanía que ambos bordos tienen a la localidad de San Pablo Autopan y al mercado “Palmillas” donde se registró un alto impacto negativo en el ambiente.

Características físicas y organolépticas

La variable de color arrojó para ambos cuerpos de agua una puntuación de 1, los dos bordos presentaron colores cafés y un aspecto turbio y fangoso. Para el olor se registró una puntuación de 3 para ambos bordos, tuvieron un olor a huevo podrido. En cuanto a la turbidez, los dos cuerpos tuvieron la puntuación de 1, en ambos cuerpos el agua era turbia y los objetos no eran apreciables dentro del agua.



Figura 5.18. Color café del agua en Bordo San Jerónimo (Fuente: Obtención en campo)



Figura 5.19. Color del agua en bordo San Mateo (Fuente: Obtención en campo)

Condiciones de campo

La variable degradación de vegetación riparia para ambos bordos presentó una puntuación de 1, dado que la zona de vegetación estaba severamente degradada por actividades antropogénicas. Estabilidad de bancos; el bordo San Mateo tuvo la

puntuación más baja de estos dos (1) los bancos que presentó eran muy altos en promedio tenían una altura de 5 metros, tenían una pendiente mayor a 35° y más del 60% de los bancos estaba degradado por erosión. Para el bordo San Jerónimo se obtuvo una puntuación de 7, esto gracias a que los bancos eran de menor tamaño, en promedio los bancos tenían una altura de 1 metro, no presentaban signos de erosión, pero no contaban con vegetación importante como árboles o arbustos. Por otra parte, los hábitats para peces en ambos bordos obtuvieron una puntuación de 3, donde se registraron tres tipos de habitas, los cuales son rocas, vegetación sobresaliente y macrófitas densas. Para la variable hábitats para invertebrados se obtuvo en ambos cuerpos de agua la puntuación de 7, en el bordo San Mateo se registraron tres tipos de hábitats (restos leñosos finos, hojarasca y rocas), y para el caso del bordo San Jerónimo se registraron 4 tipos de hábitats (restos leñosos finos, bancos socavados, rocas y grava gruesa). La deposición de sedimentos obtuvo la puntuación de 3 para ambos bordos, la sedimentación resultó ser moderada, del 30% al 50% del fondo se encuentra afectado por sedimentación.



Figura 5.20. Degradación de vegetación riparia en Bordo San Jerónimo (Fuente: Obtención en campo)



Figura 5.21. Bancos degradados en bordo San Mateo (Fuente: Obtención en campo)

Condiciones antropogénicas

La variable condiciones y alteraciones del flujo del canal de alimentación tuvo una puntuación de 5 para ambos cuerpos de agua, puesto que las tomas de agua son temporales e intermitentes. Presencia de estiércol; para el bordo San Mateo se obtuvo una puntuación de 3, la evidencia de estiércol fue moderada, mientras que

el bordo San Jerónimo tuvo una puntuación de 1, este tuvo una excesiva cantidad de estiércol, fue el cuerpo de agua que albergó mayor evidencia de esta variable, así mismo en dicho bordo se registraron mayor número de especies domesticas de ganado. En cuanto a la presencia de aceites y contaminantes químicos para el bordo San Jerónimo, presento una puntuación de 3, pues contenía ligeros indicios de contaminantes (filmes de aceites), por otra parte, el bordo San Mateo tuvo una puntuación de 1, en este cuerpo de agua se presentaron además de aceites, colorantes. Residuos orgánicos; el bordo San Mateo tuvo una puntuación de 4, en vista de que la densidad de la basura se encontraba en un nivel medio, ocupando aproximadamente $\frac{1}{4}$ del área total del cuerpo de agua y su área de amortiguamiento, para el caso del bordo San Jerónimo se obtuvo una puntuación de 1, ya que la densidad de estos residuos orgánicos era alta, ocupando más de la mitad del cuerpo de agua y las orillas, cabe mencionar que cada cuerpo de agua presentó los mismos tipos de residuos orgánicos (restos de animales, restos de alimentos, papel, cartón, pastos y ramas). Residuos inorgánicos; el bordo San Mateo tuvo la puntuación de 3, la densidad de residuos inorgánicos es alta, proveniente de establecimientos como casas y comercios (mercado “Palmillas”) los residuos registrados fueron tejidos, telas, plásticos, vidrios, latas y metales, en comparación con el bordo San Jerónimo donde se registró una puntuación de 1, con una alta densidad de residuos inorgánicos y de alta persistencia, tales como plásticos, latas, metales, vidrios, tejidos, telas, escombros y residuos sanitarios. Es importante mencionar que aproximadamente un 90% de los residuos tanto orgánicos como inorgánicos fueron vertidos directamente dentro de los cuerpos de agua o en sus orillas. La condición de aguas residuales, en ambos cuerpos de agua fue de una puntuación de 1, se registró descarga de aguas residuales en ambos bordos. Para las actividades antropogénicas se registró una puntuación de 1 para ambos cuerpos de agua, se presentaron cuatro tipos de actividades (pesca, agricultura, pastoreo y caza). En cuanto a la presencia de establecimientos mostró para ambos cuerpos de agua la puntuación de 1, ambos bordos superaron la presencia de más de 16 establecimientos, dentro de los cuales se distinguen los tipos casa-habitación, comercio, granjas, y recreación.



Figura 5.22. Canal de agua residuales en Bordo San Jerónimo (Fuente: Obtención en campo)



Figura 5.23. Drenaje vertido al bordo San Mateo (Fuente: Obtención en campo)

Características biológicas

Para la variable vegetación riparia, ambos bordos presentaron puntuación de 1, el ancho de la zona ribereña fue menor a 4 metros, la flora presente mostro indicios de degradación severa por una parte a causa del pastoreo de ganado y por otro lado se presentó el caso de remoción del suelo y vegetación por medio de maquinaria pesada, así mismo causa de esta degradación se debe al alto grado de contaminación en ambos bordos, lo cual ocasiona que la flora no pueda desarrollarse y aquella que si logró establecerse presentó señales de daños en sus hojas y tallos. En cuanto a la presencia de algas se registró una puntuación de 3 para ambos cuerpos de agua, la densidad de algas fue abundante, cercana a $\frac{1}{2}$ de cuerpo de agua. Este grado de densidad de algas trae como consecuencia una baja considerable de oxígeno con lo que organismos como macroinvertebrados y peces pueden llegar a sufrir una baja considerable en la diversidad y su población, solamente algunos tipos de organismos específicos pueden proliferar bajo estas condiciones. La presencia de especies exóticas, en ambos bordos obtuvo la puntuación de 5, se registró la presencia de especies nativas (y exóticas. La flora acuática registró una puntuación de 7 para ambos bordos, los grupos registrados fueron plantas emergentes, plantas flotantes libres y plantas sumergidas, se presentó una alta densidad de lentejilla que es indicadora de mala calidad del agua. La variable de mamíferos para ambos cuerpos de agua fue de 3, solo tuvieron presencia de consumidores primarios (ratones). Para el caso de los

anfibios, el resultado para ambos bordos fue de 10, se registró presencia de anfibios (ranas). En cuanto a los reptiles registró un resultado de 7 para ambos cuerpos de agua, hubo presencia de consumidores secundarios (lagartijas). Para las aves, se obtuvo una puntuación de 7 para los dos cuerpos de agua, gracias a que se avistaron aves silvestres y domésticas. Por último, la variable de peces registró un valor de 3 para ambos cuerpos de agua, puesto que se encontraron únicamente peces exóticos, en los dos cuerpos de agua se registró la especie carpa.



Figura 5.24. Alta densidad de lentejilla en Bordo San Jerónimo (Fuente: Obtención en campo)



Figura 5.25. Vegetación riparia en bordo San Mateo (Fuente: Obtención en campo)

Finalmente, en la Figura 5.26 se muestra un condensado de los resultados para los cinco cuerpos de agua evaluados.

Figura 5.26. Condensado de resultados para los cuerpos de agua de estudio.

Bordo								
Variables	Las Maravillas		San Nicolas		San Elías		San Mateo	San Jerónimo
	Color	Ligero color verde	color verde	Ligero color verde	color verde	Ligero color verde	color verde	Colores cafés e iridiscentes
Puntuación	7		7		7		1	1
Olor	Ligero olor a tierra y/o hierba		Olores fuertes a tierra y/o hierba		Ligero olor a tierra y/o hierba		Moderado a amoniaco o a huevo podrido.	Moderado a amoniaco o a huevo podrido.
Puntuación	10		7		10		3	3
Turbidez	Objetos visibles de 1 m a 1.50 m.		Objetos visibles de 30cm a 1 m.		Objetos visibles de 1 m a 1.50 m.		Los objetos no son apreciables	Los objetos no son apreciables

Puntuación	7	3	7	1	1
Degradación de vegetación riparia	Indicios de degradación	Indicios de degradación	Indicios de degradación	Muy poca o nula vegetación ribereña	Muy poca o nula vegetación ribereña
Puntuación	4	4	4	1	1
Estabilidad de bancos	N/A	N/A	N/A	Los bancos son inestables	Bancos moderadamente estables
Puntuación				1	7
Hábitats para peces	Presencia de 5 a 4 hábitats.	Presencia de 5 a 4 hábitats.	Presencia de 5 a 4 hábitats.	Presencia de 3 a 2 hábitats	Presencia de 3 a 2 hábitats
Puntuación	7	7	7	3	3
Hábitats para invertebrados	Presencia de 5 a 3 hábitats	Presencia de 2 hábitats	Presencia de 5 a 3 hábitats	Presencia de 5 a 3 hábitats	Presencia de 5 a 3 hábitats
Puntuación	7	4	7	7	7
Deposición de sedimentos	Entre el 5% al 30% está afectado	Más del 50% afectado	Más del 50% afectado	Entre 30% a 50% afectado	Entre 30% a 50% afectado
Puntuación	7	1	1	3	3
Condiciones y alteraciones del flujo del canal de alimentación	Tomas de agua de manera temporal o intermitentes	Tomas de agua de manera temporal o intermitentes	Tomas de agua de manera temporal o intermitentes	Tomas de agua de manera temporal o intermitentes	Tomas de agua de manera temporal o intermitentes
Puntuación	5	5	5	5	5
Presencia de estiércol	No hay presencia de estiércol	Baja evidencia de acceso de ganado	Evidencia moderada	Evidencia moderada	Excesiva cantidad de estiércol
Puntuación	10	7	3	3	1
Presencia de aceites y contaminantes químicos	No hay presencia	No hay presencia	No hay presencia	Con filmes y capas de contaminantes o espumas	ligeros indicios de contaminantes como aceites y colorantes
Puntuación	10	10	10	1	3
Residuos orgánicos	No hay presencia	Baja densidad	Baja densidad	Densidad media	Alta densidad
Puntuación	10	7	7	4	1
Residuos inorgánicos	Baja prevalencia y densidad	Baja prevalencia y densidad	Baja prevalencia y densidad	Alta densidad	Prominente presencia y alta densidad.
Puntuación	7	7	7	3	1
Presencia de aguas residuales	Sin descarga	Sin descarga	Sin descarga	Con descargas	Con descargas
Puntuación	10	10	10	1	1
Actividades antropogénicas	Recreación e investigación	Pesca, agricultura, pastoreo y caza			
Puntuación	7	1	1	1	1
Presencia de establecimientos	Moderada de 1 a 8	Moderada de 1 a 8	Moderada de 1 a 8	Alta + 16	Alta + 16

Puntuación	7	7	7	1	1
Vegetación riparia	Zona ribereña 10 a 7 metros	Zona ribereña 7 a 4 metros	Zona ribereña 7 a 4 metros	Zona ribereña menor a 4 metros	Zona ribereña menor a 4 metros
Puntuación	7	3	3	1	1
Presencia de algas (indicador de eutrofización)	Densidad de microalgas no significativa	Crecimiento moderado	Crecimiento moderado	Densidad de algas abundante	Densidad de algas abundante
Puntuación	10	7	7	3	3
Especies exóticas	Presencia de especies exóticas y nativas	Presencia de especies exóticas y nativas	Presencia de especies exóticas y nativas	Presencia de especies exóticas y nativas	Presencia de especies exóticas y nativas
Puntuación	5	5	5	5	5
Presencia de macroinvertebrados	N/E	N/E	N/E	N/E	N/E
Puntuación					
Flora acuática	Alta diversidad. Presencia de los 4 grupos de flora	Moderada biodiversidad. 3 a 2 grupos	Alta diversidad. Presencia de los 4 grupos de flora	Moderada biodiversidad. 3 a 2 grupos	Moderada biodiversidad. 3 a 2 grupos
Puntuación	10	7	10	7	7
Mamíferos	Consumidores primarios y secundarios	Consumidores primarios	Consumidores primarios	Consumidores primarios	consumidores primarios
Puntuación	7	3	3	3	3
Anfibios	Presencia de anfibios	Presencia de anfibios	Presencia de anfibios	Presencia de anfibios	Presencia de anfibios
Puntuación	10	10	10	10	10
Reptiles	Presencia consumidores secundarios	Presencia consumidores secundarios	Presencia consumidores secundarios	Presencia consumidores secundarios	Presencia consumidores secundarios
Puntuación	7	7	7	7	7
Aves (diversidad de especies)	Presencia de aves silvestres	Presencia de aves silvestres	Presencia de aves silvestres y domésticas	Presencia de aves silvestres y domésticas	Presencia de aves silvestres y domésticas
Puntuación	10	10	7	7	7
Peces	Presencia de peces nativos	Presencia de peces exóticos que afectan la calidad del ecosistema	Presencia de peces exóticos que afectan la calidad del ecosistema	Presencia de peces exóticos que afectan la calidad del ecosistema	Presencia de peces exóticos que afectan la calidad del ecosistema
Puntuación	10	3	3	3	3

Fuente: Elaboración propia con base en hoja de referencia.

Observaciones: N/A= No aplica N/E= No evaluado

5.2 Análisis de resultados

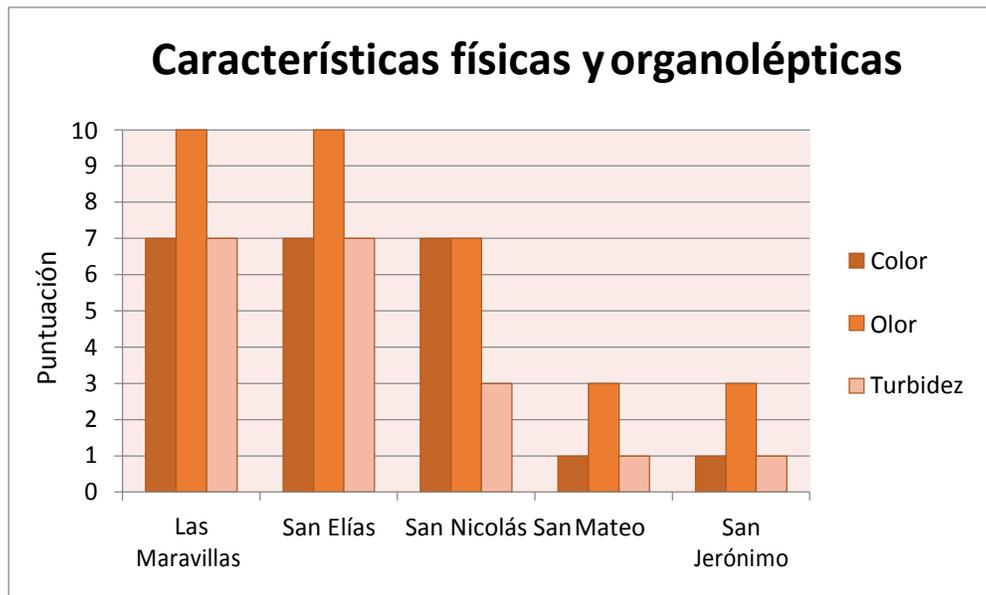
Los datos obtenidos en esta investigación permiten realizar un análisis de las condiciones de cada bordo, estos datos demostraron que todos los cuerpos de agua evaluados presentan un impacto negativo consecuencia del grado de afectación ocasionado por las actividades antropogénicas que están inmersas en cada cuerpo de agua.

En este apartado se rescataron aquellas variables que fueron contundentes en identificar el grado de calidad del agua. Analizados de la siguiente forma; Por sus condiciones físicas y organolépticas, por sus condiciones de campo, por las actividades antropogénicas desarrolladas en cada bordo y por sus características biológicas.

Características físicas y organolépticas

Los resultados del criterio relacionado a las características físicas y organolépticas se muestran en la Figura 5.27. Como se puede observar estos valores son superiores en los cuerpos de agua Las Maravillas y San Elías, mismos que obtuvieron índices más altos de calidad del agua. Por otra parte, los bordos San Mateo y San Jerónimo presentaron estas variables con puntajes bajos con lo que su calidad resulto ser mala. Con esto se puede comprobar que las variables físicas organolépticas dan una visión rápida y eficiente acerca del nivel de calidad del agua.

Figura 5.27. Características físicas y organolépticas



Fuente: Elaboración propia con base en hoja de referencia.

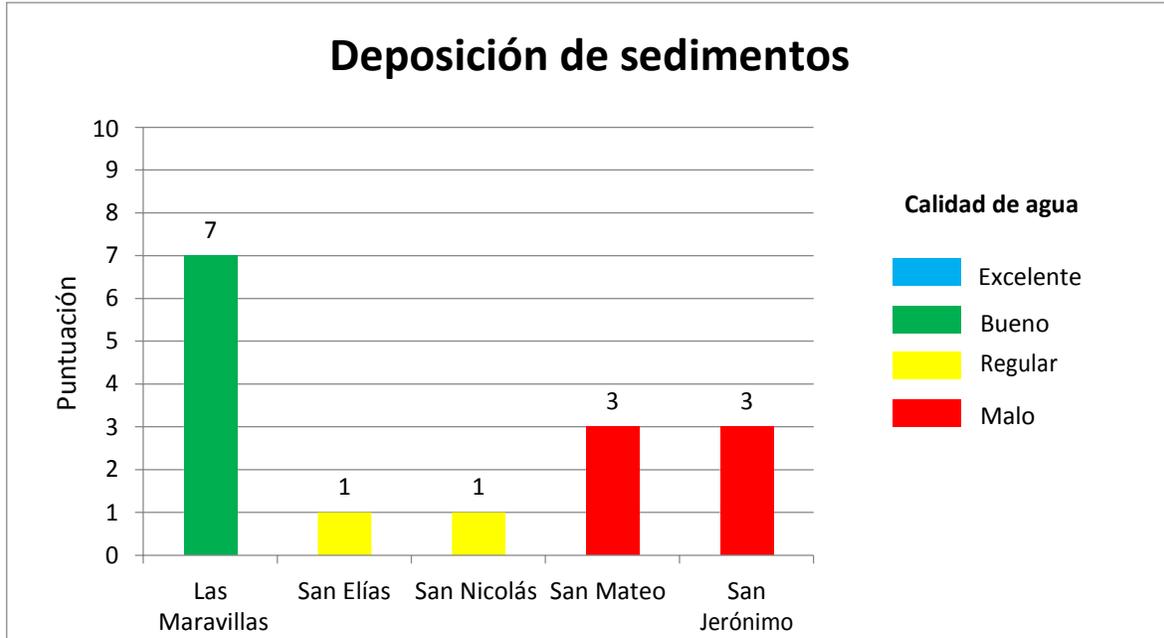
Condiciones de campo

La deposición de sedimentos se comportó de la siguiente manera. Véase Figura 5.28.

Se puede llegar a la conclusión de que los bordos que tengan menor grado de sedimentación de entre un 1% al 30% (que abarca una puntuación de 10 y 7) serán los que tengan niveles de calidad del agua excelentes o buenos, como es el caso del cuerpo de agua Las Maravillas, por otra parte, los cuerpos de agua que tengan una deposición de sedimentos de 30% a 50% o superior al 50% (que abarca las puntuaciones de 3 y 1), tienen una mayor probabilidad de que presenten niveles de calidad regulares o malos.

Un alto grado de sedimentación afectara la disponibilidad de agua de los bordos, con lo que se puede presentar una mayor turbidez. Por ende, un alto nivel de deposición de sedimentos refleja un entorno inestable e inadecuado para muchos organismos (Garrido,2017).

Figura 5.28. Deposición de sedimentos.



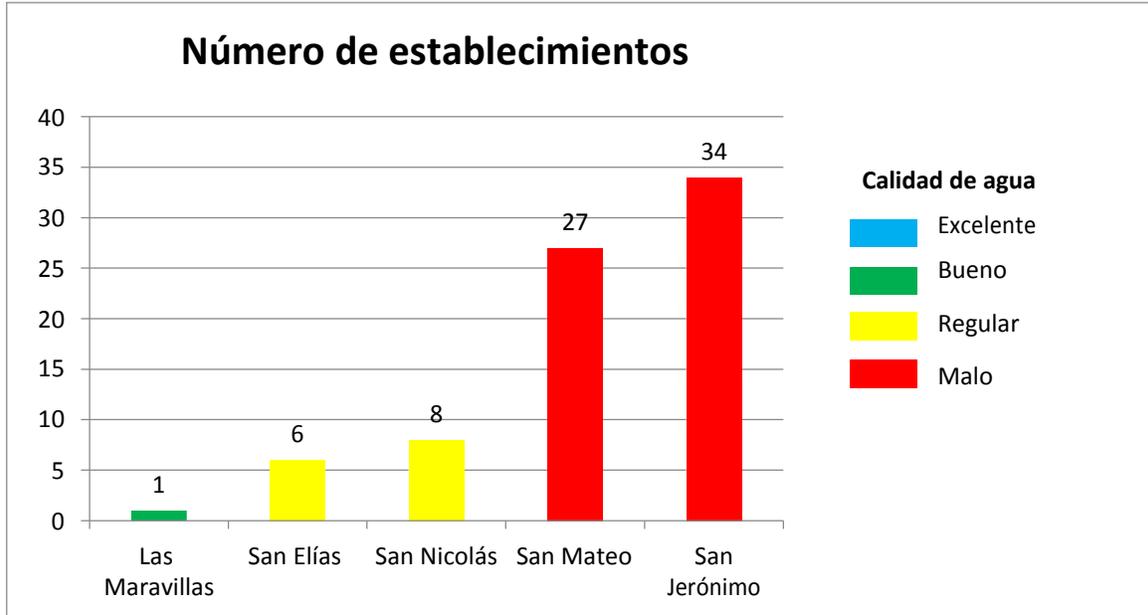
Fuente: Elaboración propia con base en hoja de referencia.

Condiciones antropogénicas

Los resultados relacionados a las condiciones antropogénicas tuvieron el siguiente comportamiento.

Con base en los resultados obtenidos se puede demostrar que los bordos que tenían presencia de aguas residuales y un número mayor a 16 establecimientos obtuvieron puntuación automáticamente mala. Ya que estas dos variables están intrínsecamente ligadas con el nivel de contaminación y por tanto de calidad del cuerpo de agua. Véase Figura 5.29.

Figura 5.29. Número de establecimientos presentes en los cuerpos de agua.



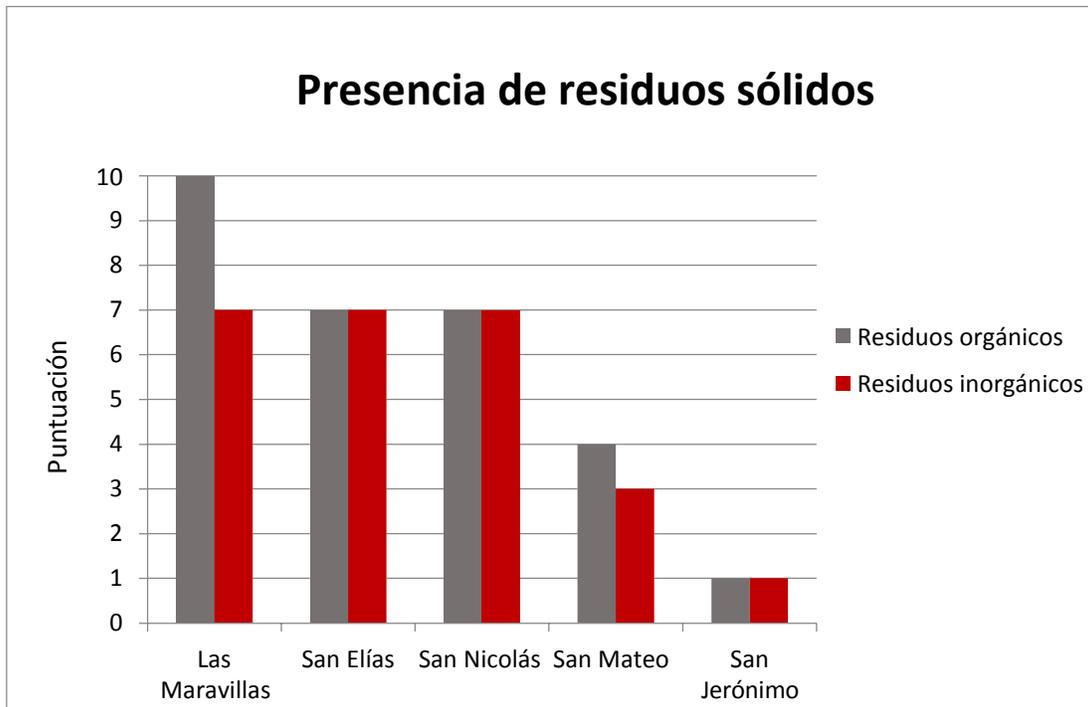
Fuente: Elaboración propia con base en hoja de referencia.

Se registró que los establecimientos que generan mayores afectaciones al ecosistema son en primera instancia los dedicados al comercio como ejemplo se tiene al Mercado Palmillas. Personas que trabajan en la zona depositan directamente los residuos sólidos tanto orgánicos como inorgánicos dentro de los cuerpos de agua y en la zona riparia. El registro de residuos orgánicos presentó una menor densidad, los residuos encontrados fueron en su mayoría restos de alimentos, aunque también hubo presencia de papeles y cartón. Para los residuos inorgánicos se hallaron bolsas de plástico, botellas de plástico, latas y metales y telas

En segundo lugar, está el alto número de establecimientos de tipo casa habitación, las comunidades que habitan estas zonas depositan residuos en su mayoría inorgánicos como bolsas de plástico, botellas de plástico, vidrios, latas, escombros y hasta residuos sanitarios a la zona ribereña y al cuerpo de agua, y en menor densidad residuos orgánicos, por ejemplo, se registraron desperdicios de

alimentos y animales muertos como perros y ovejas. Los bordos que registraron mayor variedad y densidad de residuos fueron San Jerónimo, seguido de San Mateo, San Nicolás, San Elías y Las Maravillas respectivamente. Véase Figura 5.30.

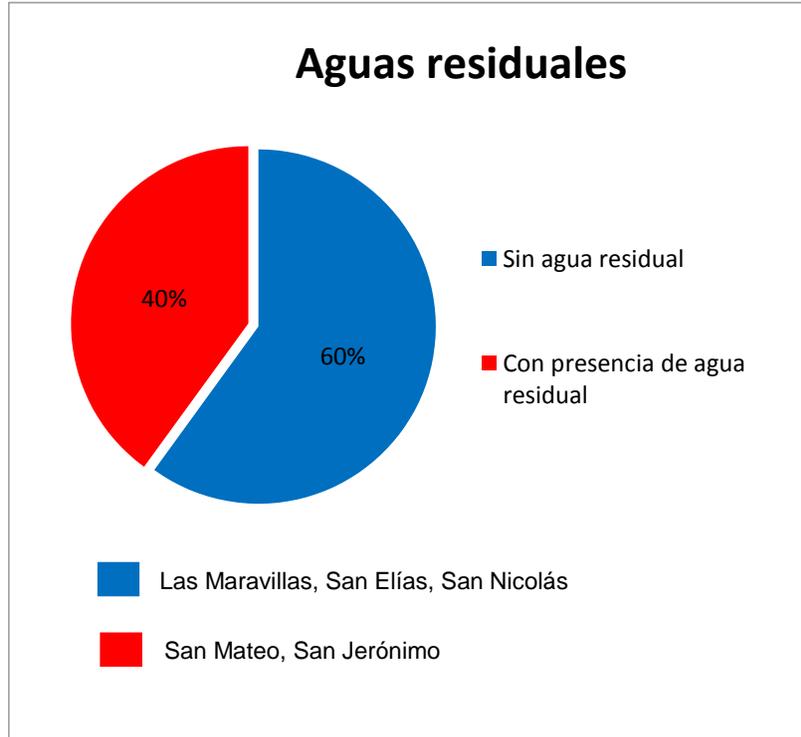
Figura 5.30. Presencia de residuos sólidos.



Fuente: Elaboración propia con base en hoja de referencia.

Por otra parte, en cuanto a la variable de aguas residuales, para el bordo San Mateo se registró la presencia de drenaje sanitario de baños públicos el cual es vertido directamente. En el caso del bordo San Jerónimo se registró la presencia de un canal de aguas negras. Estas dos últimas condiciones relacionadas a las aguas residuales son generadoras de graves afectaciones al ecosistema que indican una mala calidad del recurso hídrico. Cabe mencionar que en los bordos Las Maravillas, San Elías y San Nicolás no se vierten aguas residuales. Véase Figura 5.31.

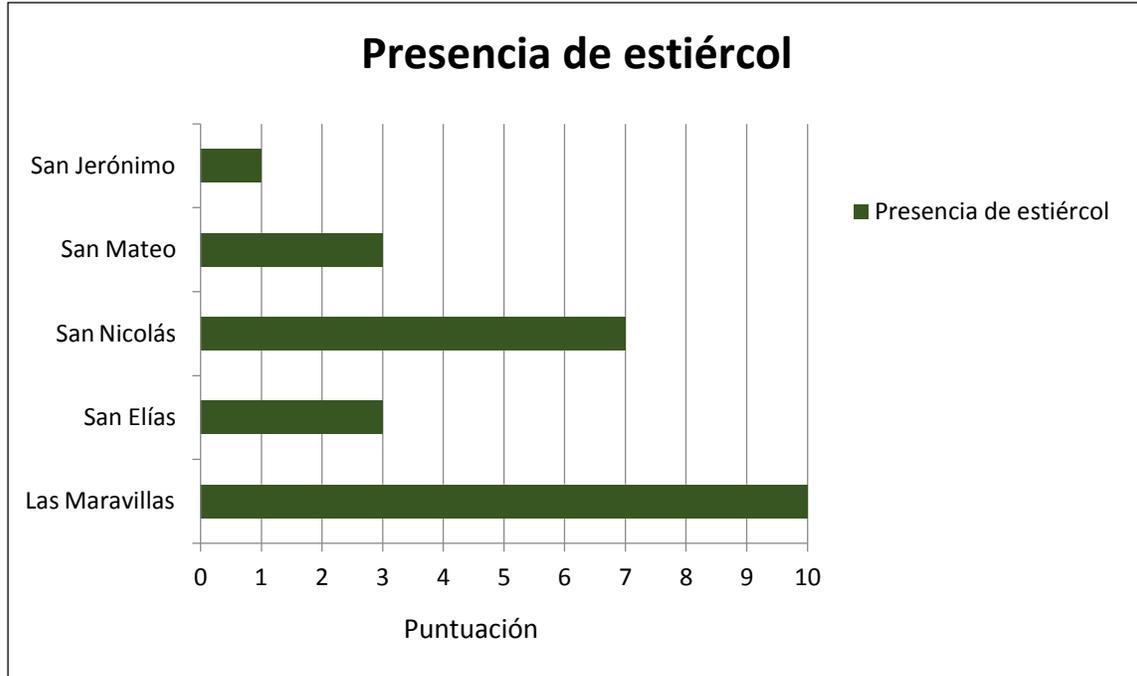
Figura 5.31. Presencia de aguas residuales.



Fuente: Elaboración propia con base en hoja de referencia.

Como tercer punto están los establecimientos relacionados al ganado. Este factor también es importante ya que ocasiona una disminución a la calidad del ambiente, esto debido a que las heces que se producen en granjas cercanas son depositadas por las personas en los cuerpos de agua, o al momento de llevar a cabo la práctica de pastoreo en las orillas de los bordos, con lo que hay aporte de heces, esta presión es atribuida al ganado ya sea de tipo bovino, ovino, porcino y avícola, la presencia de heces genera como consecuencia aumentos en demanda bioquímica de oxígeno, la carga de nutrientes y alteración en el estado trófico de la comunidad biológica acuática (Garrido 2017). Estas prácticas ganaderas también generan compactación del suelo, pérdida de flora y pérdida de fauna. Véase Figura 5.32.

Figura 5.32. Presencia de estiércol.

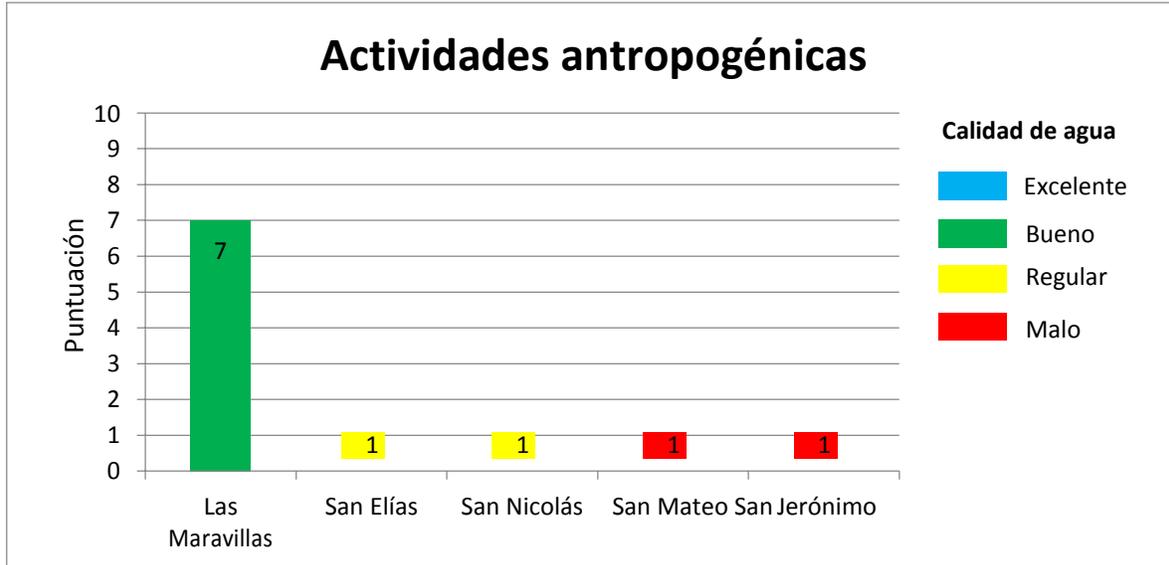


Fuente: Elaboración propia con base en hoja de referencia.

Se demuestra también que la calidad del agua en los bordos va muy relacionada a la cantidad y tipos de actividades antropogénicas que se realicen. Bordos con actividades relacionadas a la recreación e investigación pueden presentar niveles de calidad que vayan de buenos hasta excelentes como ejemplo está el bordo Las Maravillas. Los bordos con actividades que incluyan la agricultura, pastoreo, caza, pesca y recreación pueden presentar niveles de calidad regulares o malos es caso de los bordos San Nicolás y San Elías que obtuvieron índices de calidad regulares y los bordos San Jerónimo y San Mateo que obtuvieron niveles malos. Véase Figura 5.33.

Es importante mencionar si bien es cierto que estos cuatro bordos tuvieron los mismos usos antropogénicos se diferencian entre sí de acuerdo con el número y frecuencia de las prácticas. Que está relacionado con la capacidad de carga del ecosistema acuático.

Figura 5.33. Actividades antropogénicas.



Fuente: Elaboración propia con base en hoja de referencia.

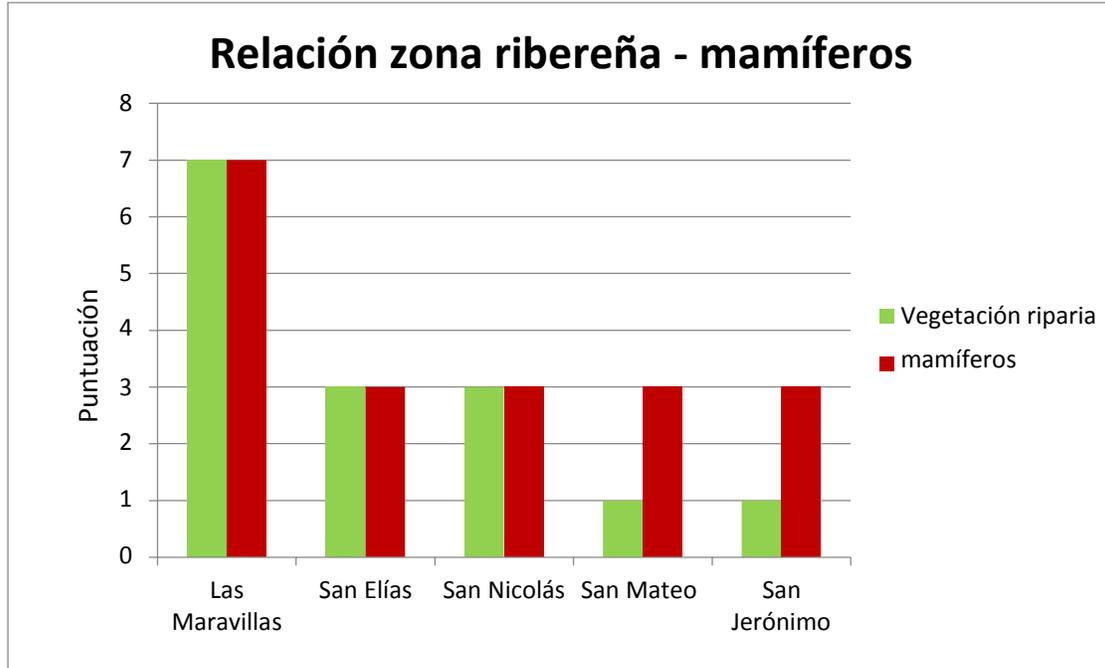
Condiciones biológicas

Los resultados de condiciones biológicas tuvieron el siguiente comportamiento.

Con base en los resultados obtenidos se puede demostrar que los bordos que tenían un mayor ancho en la zona ribereña son los que pueden albergar y soportar un nivel más alto de cadena trófica en los mamíferos.

En la Figura 5.34 se puede observar que el bordo Las Maravillas tuvo un ancho de zona ribereña de entre 10 a 7 metros lo cual le permitió albergar consumidores de tipo secundario y primario. Por otra parte los bordos restantes que tenían un ancho de zona riparia de 7 a menor a 4 metros solamente albergan consumidores primarios. La distribución, diversidad y la abundancia de las poblaciones de mamíferos también pueden verse afectadas como consecuencia de la transformación del hábitat y en tamaño de la zona ribereña (Murcia, 1995).

Figura 5.34. Relación de zona ribereña con mamíferos.



Fuente: Elaboración propia con base en hoja de referencia.

Se muestra también que los resultados arrojados tienen relación con el nivel de calidad del cuerpo de agua.

Por ejemplo, el bordo Las Maravillas que obtuvo un ancho de zona ribereña dentro de la categoría de bueno también tuvo un nivel de calidad del agua aceptable. Las formaciones vegetales riparias tienen una importante función de filtro verde que ayuda a mejorar la calidad del agua, ya que su capacidad de retención evita la llegada a las aguas de contaminantes y exceso de nutrientes por escorrentía o de forma subsuperficial (Quinn y colaboradores, 1992).

Para el caso de los mamíferos los cuerpos de agua que presenten mayor tipo y variedad de consumidores serán aquellos que presenten un mejor flujo de energía en el ecosistema esto mediante servicios vitales y ecológicos como el control de poblaciones de pequeños vertebrados, la dispersión y predación de semillas (Emmons, 1990). Tal es el caso del Bordo las Maravillas el cual presentó consumidores primarios y secundarios y por ende el dinamismo ecológico fue

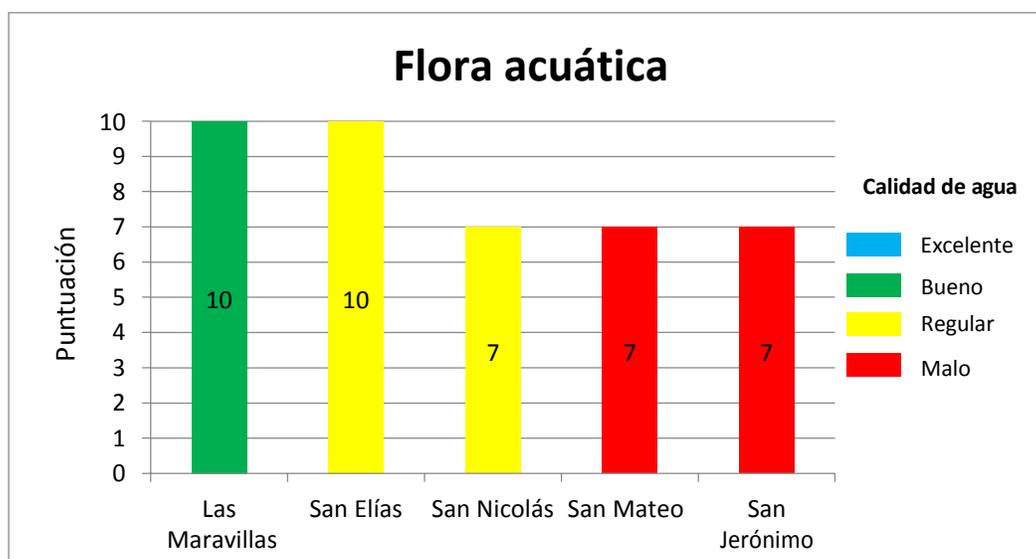
mejor en comparación con el resto de los cuerpos de agua que únicamente contaron con presencia de consumidores primarios.

Los resultados correspondientes a flora acuática se muestran en la Figura 5.35.

Como se puede observar aquellos cuerpos de agua con una mayor diversidad de grupos de flora acuática los cuales son Las Maravillas y San Elías presentaron los puntajes más altos y del mismo modo una buena y regular calidad del agua respectivamente. Por otra parte, aquellos cuerpos que presentaron una menor diversidad de flora acuática fueron los que obtuvieron regular y mala calidad del agua, fue el caso de los bordos (San Nicolás, San Mateo y San Jerónimo). Así mismo estos tres cuerpos de agua albergaron la especie *Lemna minor* (lenteja de agua), la cual es un indicador de eutrofización y de mala calidad de agua. (García y colaboradores, 2009).

La presencia de los cuatro grupos de flora acuática indica un buen estado de salud del medio donde se encuentran y contribuyen de forma muy importante a mantener la integridad de los ecosistemas acuáticos (García y colaboradores, 2009).

Figura 5.35. Flora acuática.



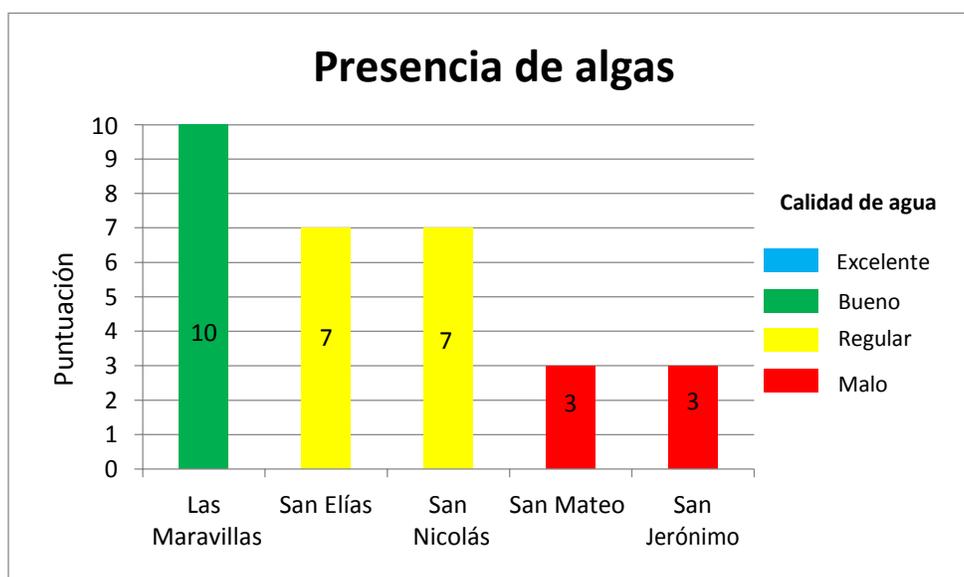
Fuente: Elaboración propia con base en hoja de referencia.

Los resultados correspondientes a presencia de algas tuvieron el siguiente comportamiento.

Como se puede observar la variable de algas tiene una relación directa con el tipo de calidad de agua. Una comunidad de algas de baja densidad resulta ser el ambiente óptimo mientras que la alta densidad de algas degrada la calidad del agua y el hábitat (USDA, 1998). Aquellos cuerpos de agua que albergan una baja densidad de algas tal es el caso del bordo Las Maravillas reflejaran una buena calidad de agua, los cuerpos de agua que presentan un crecimiento moderado de algas cercano a un cuarto del cuerpo de agua pueden presentar un nivel de calidad regular como ejemplo se tienen los bordos San Elías y San Nicolás, por último los bordos que tengan una densidad de algas abundante seguramente presentaran una mala calidad del agua como los bordos San Mateo y San Jerónimo. Véase Figura 5.36.

Las algas proporcionan hábitat y alimento para los organismos acuáticos, no obstante, una cantidad excesiva genera una alta demanda de oxígeno disuelto en el agua ocasionando estrés para todos los organismos acuáticos pudiendo causar la muerte.

Figura 5.36. Presencia de algas.



Fuente: Elaboración propia con base en hoja de referencia.

5.3 Elaboración de análisis FODA

Análisis FODA para el método de evaluación de la calidad ambiental en cuerpos de agua lenticos

Fortalezas

- Proporciona información sobre la calidad del ambiente actual en un cuerpo de agua de manera sencilla, rápida y de bajo presupuesto.
- Facilita la obtención de resultados, debido a que no maneja modelos matemáticos complejos.
- Puede ser aplicado por personas que no cuenten con un conocimiento avanzado en la materia.
- Evalúa condiciones ambientales de periodos de tiempo largo.
- No requiere de equipo especial o costoso para su aplicación.
- Maneja parámetros físicos, químicos, biológicos y antropogénicos.
- Puede aplicarse en temporada de lluvias o estiaje, si es aplicado en ambas temporadas se obtendrá contrastes entre variables.
- Puede excluir variables que no apliquen en el cuerpo de agua, esto no afecta el resultado final en el nivel de la calidad de agua.
- Contiene variables aplicadas en otros métodos ampliamente reconocidos como la USDA, Barbour y Rodríguez y Ramírez.

Oportunidades.

- Es posible complementar el método agregando variables que el usuario crea convenientes, así como modificarlo de acuerdo a la zona de estudio donde sea aplicado.
- Puede utilizarse como herramienta para identificar los puntos que requieren atención para su aprovechamiento, restauración y conservación
- Actualmente hay pocos métodos para calcular la calidad del ambiente en cuerpos de agua mediante características medioambientales, por lo que representa un avance para la medición de la calidad del agua.

- La tendencia para la medición de la calidad del ambiente en cuerpos de agua, suelo, aire así como zonas de cultivo va en aumento.
- Al ser un método de bajo costo, puede llegar a convertirse en una herramienta recomendada por instituciones gubernamentales.
- Sirve de guía para evaluadores de calidad del agua.

Debilidades.

- Los datos obtenidos son resumidos, por lo que la información no es detallada y tendrá que realizarse un análisis exhaustivo si se desea conocer un diagnóstico o un pronóstico.
- Requiere de la realización de entrevistas para complementar la obtención de datos y hacer que el método sea más eficiente.
- Debido a la dificultad para avistar distintos tipos de fauna, se recomienda realizar más de una visita de campo.
- No es recomendable aplicarse en días de lluvia debido a que se presentan diversos fenómenos meteorológicos los cuales alteran la calidad del agua y los resultados obtenidos pueden tener un alto sesgo.

Amenazas.

- Mayor uso de métodos convencionales como fisicoquímicos, micrófitos, macroinvertebrados, etcétera.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio demostró que la elaboración del protocolo para la medición de la calidad del ambiente en cuerpos de agua lenticos el cual está integrado por variables medioambientales de evaluación visual arrojó resultados fiables al momento de analizar la condición ambiental de los bordos.

Los objetivos establecidos en este trabajo se cumplieron ya que se desarrolló y se aplicó el método para calcular la calidad del ambiente en cuerpos de agua lenticos para la zona de estudio. Así mismo se llevó a cabo una evaluación exhaustiva del método propuesto.

Para demostrar la efectividad del método se realizó un análisis de las variables utilizadas. Se observó que cada variable tuvo un comportamiento similar de acuerdo con el nivel de calidad del agua con lo que se comprueba una correlación de las variables utilizadas con el nivel de calidad.

Es importante mencionar que se cumplieron las condicionantes fijadas desde un inicio en esta investigación; que fuese de bajo costo y fácil aplicación, así como del poder ser utilizado por personas que no cuenten con conocimientos necesarios para una evaluación exhaustiva de la calidad de cuerpos de agua lénticos. Con lo que este protocolo puede ser aplicado por investigadores, técnicos, estudiantes y en general toda aquella persona que cuente con conocimientos básicos para medir la calidad del ambiente en este tipo de ecosistemas acuáticos.

Resulta importante considerar el uso de este tipo de proyecciones rápidas debido a que los gastos son menores en comparación con los protocolos de evaluación convencionales, teniendo en cuenta que el protocolo propuesto solo consiste en la evaluación visual, mientras que los protocolos de evaluación fisicoquímicos necesitan equipo de campo y laboratorio especializado, como por ejemplo la botella de van dorn, potenciómetro, conductímetro, disco de Secchi, entre otros.

Por otra parte, los protocolos de evaluación de calidad del agua por medio de parámetros biológicos y fisicoquímicos requieren de un conocimiento amplio. En el caso de los protocolos biológicos se requiere de la identificación de taxones sobre especies de macroinvertebrados acuáticos, y para los protocolos fisicoquímicos se necesitan conocimientos relacionados con química, física y estadística, por lo cual personas sin dichas preparaciones serían incapaces de realizar este tipo de evaluaciones. Caso contrario del método propuesto, en el cual, toda persona podrá hacer uso de este sin mayor dificultad. Por lo que es una excelente herramienta que facilita la comunicación entre los usuarios, las autoridades de gobierno y la sociedad en general acerca de los procedimientos y resultados de la calidad y las condiciones ambientales en los cuerpos de agua lénticos que sean evaluados.

Este método de evaluación rápida de ecosistemas acuáticos lénticos es más accesible en comparación con todos aquellos protocolos convencionales que se encuentran orientados a calcular la calidad del agua, por lo que se recomienda incluirlos en los planes de gestión integral de los recursos hídricos con la finalidad de obtener información que permita conocer el estado de este tipo de cuerpos de agua, dicha información servirá de base para establecer acciones oportunas encaminadas a la rehabilitación, aprovechamiento, restauración y/o conservación según sea el caso, minimizando así presiones y evitando impactos negativos en estos ecosistemas y de esta forma viéndose beneficiados los sectores social, económico, y ambiental.

De manera general el protocolo fue utilizado sin mayor inconveniente debido a la fácil obtención de los datos a través de los formatos (hoja de referencia y formato de campo) y a la rápida forma de cálculo del índice ya que no se utilizaron modelos matemáticos complejos.

Cabe mencionar que los tres métodos que sirvieron de base para la elaboración del *Método para calcular la calidad ambiental en cuerpos de agua lénticos* (USDA 1998, Barbour y colaboradores 1999 y Rodríguez y Ramírez 2014) son consideradas herramientas de evaluación visual internacional que son aplicados

en Estados Unidos y Puerto Rico por lo que el método propuesto garantiza resultados confiables y eficientes.

Por último, se exhorta a utilizar este tipo de métodos de evaluación visual en los cuales se calculan de manera conjunta elementos estructurales del ecosistema acuático con la finalidad de obtener una evaluación veraz y completa del nivel de calidad ambiental.

Visto desde el punto de las ciencias ambientales se concluye lo siguiente para esta investigación:

Se sabe que las Ciencias Ambientales son una disciplina científica con un enfoque interdisciplinario, cuyo principal objetivo es el estudio y solución de las problemáticas ambientales, así como el impulso de modelos y acciones encaminados al desarrollo sustentable.

Bajo el esquema del desarrollo sostenible se han creado múltiples estudios y herramientas que permiten conocer en primera instancia un diagnóstico del ecosistema el cual posteriormente permitirá realizar un adecuado aprovechamiento de los recursos bióticos y abióticos y conjuntamente beneficiar el desarrollo económico, así mismo medir riesgos naturales que pongan en peligro la salud del hombre, salvaguardar los espacios naturales que aún mantienen sus servicios ambientales, entre otras muchas utilidades.

El método para evaluar la calidad ambiental en cuerpos de agua lenticos se considera como una de estas herramientas, ya que tiene las bases generales a considerar en el desarrollo sustentable (sociedad, ambiente, economía). Además, este protocolo resulta ser una aportación importante en la materia, ya que no se contaba con estudios que evaluaran específicamente este tipo de ecosistemas, de una forma rápida y eficiente. Comúnmente los protocolos para evaluar la calidad del agua a lo largo del mundo se han centrado en la evaluación de los ecosistemas lóticos.

Recomendaciones

- Realizar más de una visita de campo con la finalidad de obtener más datos y así obtener un mejor resultado.
- Se recomienda tomar evidencia fotográfica para el posterior análisis de los resultados.
- Posterior a la evaluación del cuerpo de agua es recomendable realizar un análisis de los resultados obtenidos por medio de graficas ya que se obtiene una mejor retroalimentación.
- En el caso de que alguna de las siguientes variables no esté presente (estabilidad de bancos, condiciones y alteraciones del flujo del canal y peces) no se deberá de aplicar en el método según sea el caso.
- No es recomendable aplicarse en días de lluvia ya que se presentan distintos fenómenos meteorológicos que alteran la calidad del agua y que de aplicarse en esas condiciones se obtendrán resultados equívocos.
- En caso de que la variable de sedimentación no se pueda evaluar. Se recomienda realizar una visita en temporada de estiaje con la finalidad de apreciar y medir el grado de sedimentación en el cuerpo de agua con mayor facilidad.
- Para realizar la identificación de los grupos de macroinvertebrados se recomienda contar con equipo de recolección para la captura de estos organismos (redes, coladores y bandejas). En caso de que el aplicador no cuente con el equipo necesario para la captura e identificación no deberá de aplicarse esta variable.
- En caso de que el aplicador no cuente con el conocimiento de las especies nativas y exóticas de la zona donde se desea aplicar el método no deberá de aplicarse la variable de especies exóticas.
- Para el caso de la evaluación de las variables anfibios y reptiles se recomienda utilizar barreras de desvío y trampas caída para la recolección e identificación de especies además de hacer más de una visita de campo con el fin de realizar transectos.

- Para la variable de mamíferos se recomienda realizar visitas a campo para observación directa de las especies, así como también avistar registros indirectos tales como huellas y excretas.
- Para el caso de identificación de flora y fauna, así como de las especies nativas y exóticas se recomienda utilizar la aplicación Naturalista la cual es una fuente de información confiable ya que es un proyecto de la Academia de Ciencias de California y la Sociedad Nacional Geográfica.
- Se recomienda realizar entrevistas para así obtener una mayor cantidad de información de manera rápida acerca del estado del cuerpo de agua.
- Se recomienda dar seguimiento a las evaluaciones con el método propuesto una vez al año para así medir los cambios que se han producido durante ese lapso de tiempo.

ANEXOS

ANEXO 1 GALERÍA FOTOGRÁFICA

Bordo las maravillas



Fotografía 1. Foto panorámica Bordo las Maravillas (Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 2. Dosel de árboles que proporcionan sombra (Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 3. Registro de mamíferos (Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 4. Peces muertos (Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 5. Vegetación riparia (Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 6. Presencia de basura (Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 7. Gallareta americana
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 8. Lagartija espinosa
(Fuente: Obtención en campo)

Bordo San Elías



Fotografía 9. Nenúfar amarillo
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 10 Anfibios. (Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 11. Rana de árbol plegada
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 12. Establecimientos en orillas del bordo.
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 13. Sembradio de maiz
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 14. Planta flotante enraizada
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 15. Pastoreo ganado bovino
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 16. Estiércol en orillas del bordo
(Fuente: Obtención en campo)

Bordo San Nicolas



Fotografía 17. Presencia de reptiles
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 18. Vegetación riparia
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 19. Residuos inorgánicos
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 20. Lentejilla
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 21. Plantas flotantes enraizadas y emergentes (Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 22. Presencia de aves silvestres
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 23. Presencia de caza
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 24. Presencia de pesca con redes
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 25. Presencia de establecimientos
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 26. Canal de desvío de agua
(Fuente: Obtención en campo)

Bordo San Mateo



Fotografía 27. Agricultura y pastoreo en orillas del Bordo (Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 28. Presencia de estiércol
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 29. Contaminación por residuos orgánicos e inorgánicos (Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 30. Presencia de algas
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 31. Vegetación riparia
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 32. Establecimientos (mercado palmillas)
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 33. Lentejilla
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 34. Presencia de colorantes
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 35. Aguas residuales
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 36. Evidencia de drenaje sanitario
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 37. Presencia de establecimientos
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 38. Deposición de sedimentos
(Fuente: Obtención en campo)

Bordo San Jerónimo



Fotografía 39. Residuos orgánicos e inorgánicos
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 40. Presencia de escombros
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 41. Agricultura
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 42. Presencia de lentejilla
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 43. Evidencia de mamíferos
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 44. Presencia de establecimientos
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 45. Degradación de vegetación ripiara
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 46. Evidencia de ganado porcino
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 47. Presencia de aves nativas
(Fuente: Obtención en campo)



Fotografía 48. Evidencia de ganado bovino
(Fuente: Obtención en campo)

ANEXO 2: FORMATO DE CAMPO

Cédula para la evaluación de parámetros.

Formato de campo.

Fecha de muestreo: _____

Nombre de quien levanto los datos: _____

Nombre del sitio: _____ Número: _____

Posición geográfica: _____

Localidad y municipio: _____

Altitud: _____

Temporada: Estiaje_Lluvias _____

CARACTERISTICAS

Superficie del agua: Calma_oleaje _____

Corriente de agua: Agua estacionada _____ Agua corriente _____

Alimentación del cuerpo de agua: Lluvia _____ Canal _____ Aguas residuales _____

Arroyo _____ Se alimenta de otro cuerpo de agua/lago _____

otro _____

Color del agua: Agua clara _____ ligero color verde _____ verde _____ café _____

otros _____

Olor: Ligero olor a tierra y/o hierba _____ fuertes olor a tierra o hierba _____ productos

químicos y/o aguas residuales _____ a amoniaco o huevos podridos _____

otro _____

Turbidez.

Sí _____ No _____

Objetos apreciables a:

De 30cm a 1m _____ De 1m a 1.50m _____ Mayor a 1.50 m

Profundidad aproximada: _____

Tipo de suelo: _____

Características de acuerdo al tipo de suelo: _____

Textura del suelo: Arcillosa___Limosa___Arenosa___

OBSERVACIONES BIÓTICAS

Flora acuática: Si___No___

Plantas flotantes libres___Plantas flotantes enraizadas___Plantas
sumergidas___Plantas emergentes___

Vegetación riparia: Sí___No___

Tipo: Pastos___Arbustos___Árboles___Hierbas___

Ancho de zona ribereña: > 10 m___10m a 7m___7m a 4m___< 4m___

Presencia de algas: Sí___No___

Densidad de algas:

No significativa___1/4 de cuerpo de agua___1/2 de cuerpo de agua___>1/2 de
cuerpo de agua___

Presencia de mamíferos: Si___No___

Consumidores primarios___Consumidores secundarios___Consumidores
terciarios___

Mamíferos avistados: _____

Presencia de Anfibios: Sí___No___

Anfibios avistados: _____

Presencia de reptiles: Sí___No___

Consumidores secundarios___Consumidores terciarios___

Reptiles avistados _____

Presencia de macroinvertebrados: Sí___No___

Grupo 1___Grupo 2___Grupo 3___

Presencia de aves: Sí___No___

Aves silvestres___Aves domesticas___

Aves avistadas _____

Presencia de peces: Sí _____ No _____

Peces nativos _____ Peces exóticos _____

Especies exóticas:

Vegetación nativa _____ Especies exóticas _____ Exóticas invasoras _____

Descripción de avistamientos faunísticos:

CONDICIONES DE CAMPO.

Nivel del cuerpo de agua.

Seco _____ Debajo de lo normal _____ Normal (promedio) _____ Lleno _____

Degradación de vegetación riparia:

Sin degradación _____ Indicios de degradación _____ Degradación severa _____

Estabilidad de bancos

Bancos estables _____ Bancos moderadamente estables _____ Bancos moderadamente inestables _____ Bancos inestables _____

Hábitats para peces

Escombros leñosos _____ vegetación sobresaliente _____ rocas _____ tapetes de raíces _____ macrófitas densas _____ piscinas aisladas _____

Hábitats para invertebrados

Restos leñosos finos _____ troncos _____ hojarascas _____ bancos socavados _____ rocas _____ grava gruesa _____

Deposición de sedimentos en el cuerpo de agua

Menos del 5% afectado _____ Del 5 al 30% afectado _____ Del 30 al 50% afectado _____

Mas del 50% afectado _____

Presencia de erosión: Si___No___

Tipo: Laminar___Cárcava___

CONDICIONES ANTROPOGÉNICAS

Condiciones y alteraciones del flujo del canal de alimentación

Sin tomas de agua___Tomas de agua permanentes___Tomas de agua temporales___

Ubicación: A pie de calle/carretera___Aislado___Inmerso en comunidad___
Inmerso en área agrícola___Otro_____

Tipo de residuos:

Orgánicos	Inorgánicos	Otros_____
___restos de animales	___Latas y metales	_____
___Restos de alimentos	___Plásticos	_____
___Pastos, ramas y hojarasca	___Vidrio	_____
___Papeles y cartón	___Tejidos y telas	
	___Escombros	
	___Sanitaria (jeringas, gasas, etc)	

Presencia de aguas residuales: Si___No___

Presencia de aceites y contaminantes químicos

Sin presencia___Aceites___Colorantes___Espumas___

Establecimientos: Sí___No___

Localidades___Casas___Granjas___Comercial___Industria___Recreación___
Otros_____

Presencia: Moderada (1-8 establecimientos)___Media (9-16 establecimientos)
___Alta (+16 establecimientos)___

Actividades antropogénicas: Pesca___Agricultura___Pastoreo___Caza___
Otras_____

Presencia de estiércol: Sin presencia___Baja evidencia de acceso de acceso de
ganado___Presencia moderada___Presencia severa___

Observaciones adicionales: _____

ANEXO 3 HOJAS DE RESÚMENES DE EVALUACIÓN, PARA LOS PROTOCOLOS DE EVALUACIÓN VISUAL

Hoja de resumen de evaluación de la (USDA, 1998)

Assessment Scores													
Channel condition	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text" value="8"/>												
Hydrologic alteration	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text" value="10"/>												
Riparian zone	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text" value="1"/>												
Bank stability	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text" value="5"/>												
Water appearance	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text" value="3"/>												
Nutrient enrichment	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text" value="7"/>												
Barriers to fish movement	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text" value="10"/>												
Instream fish cover	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text" value="3"/>												
Pools	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text" value="3"/>												
Invertebrate habitat	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text" value="7"/>												
<i>Score only if applicable</i>													
Canopy cover	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text" value="3"/>												
Manure presence	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text" value="1"/>												
Salinity	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>												
Riffle embeddedness	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text" value="5"/>												
Macroinvertebrates Observed (optional)	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text" value="10"/>												
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="border: none;">Overall score</td> <td style="border: none; text-align: right;"><6.0</td> <td style="border: none; text-align: right;">Poor</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">(Total divided by number scored)</td> <td style="border: none; text-align: right;">6.1-7.4</td> <td style="border: none; text-align: right;">Fair</td> </tr> <tr> <td style="border: none;"><i>76/14</i></td> <td style="border: none; text-align: right;"><u>5.4</u></td> <td style="border: none; text-align: right;">7.5-8.9 Good</td> </tr> <tr> <td style="border: none;"></td> <td style="border: none; text-align: right;"></td> <td style="border: none; text-align: right;">>9.0 Excellent</td> </tr> </table>		Overall score	<6.0	Poor	(Total divided by number scored)	6.1-7.4	Fair	<i>76/14</i>	<u>5.4</u>	7.5-8.9 Good			>9.0 Excellent
Overall score	<6.0	Poor											
(Total divided by number scored)	6.1-7.4	Fair											
<i>76/14</i>	<u>5.4</u>	7.5-8.9 Good											
		>9.0 Excellent											

Hoja de resumen de evaluación de la (USDA, 2001)

Score Each Element - Use "Scoring Sheet for the Elements" Guidance			
1. Turbidity			
2. Plant Growth			
3. Channel Condition			
4. Channel Flow Alteration			
5. Percent Embeddedness			
6. Bank Stability			
7. Canopy			
8. Riparian Condition			
9. Habitat Available			
10. Litter/Trash			
Total score			
Total score / # of elements			
Rating of Average			
1.8 - 2.0 Very High			
1.5 - 1.7 High			
1.1 - 1.4 Medium			
0 - 1.0 Low			

Hoja de resumen de evaluación del protocolo de (Rodríguez y Ramírez 2014)

Pasos para calcular el Índice de la Quebrada

Paso 1 –

Resumen de la evaluación:

Elementos Evaluados	Puntuación adjudicada
1. Turbidez	
2. Crecimiento de Plantas	
3. Condición del Canal	
4. Alteración del flujo del Canal	
5. Porcentaje de encrustamiento	
6. Estabilidad de los bancos	
7. Dosel	
8. Condición ribereña	
9. Disponibilidad de Hábitats	
10. Basura	
Puntuación Total	

Paso 2 –

Cálculo del índice:

$$\frac{\text{Suma total de las puntuaciones en el paso 1}}{\text{Total de elementos evaluados}} = \text{Índice de la quebrada}$$

Paso 3 –

Calificación e interpretación:

Índice	Calificación	Interpretación
1.8 – 2.0	Muy alto	Quebrada en excelentes condiciones físicas, sin señales de degradación.
1.5 – 1.7	Alto	Quebrada en buenas condiciones físicas, pero con algunas señales de degradación.
1.1 – 1.4	Regular	Quebrada con claras señales de degradación física en el cauce y orillas.
0 – 1.0	Bajo	Quebrada severamente degradada en sus aspectos físicos.

BIBLIOGRAFÍA

Abarca, F. (2007). Técnicas para evaluación y monitoreo del estado de los humedales y otros ecosistemas acuáticos. En: Ó. Sánchez, M. Herzig, E. Peters, R. Márquez-Huitzil & L. Zambrano, *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México* (1st ed., p. 113). México, D.F: Instituto Nacional de Ecología. Recuperado el 7 de enero de 2018 de <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/11/Perpectivas-sobre-conservaci%C3%B3n-de-ecosistemas-acu%C3%A1ticos-en-M%C3%A9xico.pdf>

Angeler, D., Álvarez, M., Sánchez, S., y Rodrigo, M. (2002). Assessment of exotic fish impacts on water-quality and zooplankton in a semi-arid floodplain wetland. *Aquatic Sciences*, 64, 76-86. Recuperado el 5 de enero de 2018 de <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00027-002-8056-y>

Aznar, A. (2000). Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas. *Gestión Ambiental*, 2(23), 4. Recuperado el 17 de febrero de 2018 de <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf>

Ball, R., & Church, R. (1980). Water quality indexing and scoring. *Journal Of The Environmental Engineering Division*, Vol. 106(4), 757-771.

Barbour, M, Gerritsen, J., Snyder, B. y Stribling, J. (1999). *Protocolos rápidos de evaluación biológica para uso en arroyos y ríos inundables: Perifiton, macroinvertebrados bénticos y peces*. (2da edición). EPA 841-B-99-002. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos; Oficina de Agua; Washington DC. Recuperado el 11 de julio de 2017 de http://www.krisweb.com/biblio/gen_usepa_barbouretal_1999_rba.pdf

Belamendia, G. (2010). *Estudio de la comunidad de Anfibios y Reptiles en la Cuenca de Bolintxu: Propuesta para el conocimiento de la diversidad de Herpetofauna, detección de especies de interés y propuestas de gestión*. Bilbao. Recuperado el 15 de septiembre de 2017 de

http://www.bilbao.eus/Agenda21/documentos/estudio_comunidad_anfibios_reptiles.pdf

Calvo, G., y Mora, J. (2012). Análisis de la calidad de varios cuerpos de agua superficiales en el GAM y la Península de Osa utilizando el Índice Holandés. *Tecnología En Marcha*, 25 (5).

Carabias, J., Landa, R., Collado, J., & Martínez, P. (2005). *Agua, medio ambiente y sociedad: hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México*. (1ra ed., p. 35). México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado el 2 de agosto de 2017 de http://www.bibliotecavirtual.info/recursos/agua_medio_ambiente_y_sociedad.pdf

Cardona, A. (2003). *Calidad y riesgo de contaminación de las aguas superficiales en la microcuenca del Río La Soledad, Valle de Ángeles, Honduras*. (Maestría). Escuela de Posgrado del CATIE.

Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J., y Diaz, D. (2014). Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. *Ingeniería Solidaria*, 10(17), 111-124. Recuperado el 22 de agosto de 2017 de <https://revistas.ucc.edu.co/index.php/in/article/download/811/770>

Ceballos, G., List, R., Garduño, G., López, R., Muñozcano, M., Collado, E., y San Román, J. (2009). *La diversidad biológica del Estado de México estudio de estado*. (1ra ed.). México: Secretaria del Medio Ambiente. Recuperado el 27 de agosto de 2017 de <http://www.ecologia-unam.com.mx/wp-content/uploads/2016/02/2009-Diversidad-Biologica-Estado-de-Mexico.pdf>

Celemín, J., y Velázquez, G. (2010). Elaboración y aplicación de un índice de calidad ambiental para la región del nordeste argentino, 2010. *Economía Sociedad Y Territorio*, 15(47), 123-151. Recuperado el 11 de julio de 2017 de <http://www.scielo.org.mx/pdf/est/v15n47/v15n47a6.pdf>

CEMDA, (2006). *El agua en México: lo que todos y todas debemos saber* (1ra ed.). México, D.F. Recuperado el 3 de Julio de 2017 de https://www.cemda.org.mx/wp-content/uploads/2011/12/agua-mexico_001.pdf

Chávez, S., Casas, G., García, A., Cifuentes, J., & Cupul, F. (2015). *Anfibios y reptiles del estado de Jalisco Análisis espacial, distribución y conservación*. (1ra ed.). Jalisco, México: Universidad de Guadalajara. Recuperado el 27 de agosto de 2017 de <http://www.cuc.udg.mx/sites/default/files/publicaciones/2015%20-%20Anfibios%20y%20reptiles%20del%20estado%20de%20Jalisco.pdf>

CONABIO. (2003). Aguas continentales y diversidad biológica de México: Un recuento actual. *Biodiversitas*, 48, 10-13. Recuperado el 14 de julio de 2017 de <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2007/11/aguas%20continentales%20cuencas%20conabio.pdf>

CONAGUA. (2011). *Estadísticas del agua en México*. México, D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado el 12 de julio de 2017 de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-1-11-EAM2011.PDF>

CONAGUA. (2016). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Diseño de Plantas Potabilizadoras de Tecnología Simplificada*. México, D.F. Recuperado el 19 de julio de 2017 de <http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2016/04/SGAPDS-1-15-Libro24.pdf>

CONAGUA. (2017). *Estadísticas del Agua en México Edición 2017* (p. 62). México. D.F. Recuperado el 19 de julio de 2017 de http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2017.pdf

CONAGUA. (2018). Sistema Nacional de Información del Agua. Recuperado el 18 de julio de 2017 de <http://sina.conagua.gob.mx/sina/>

Contreras, K., Contreras, J., y Corti, M. (2008). *El agua un recurso para preservar*. (pp. 3-4). Mérida: Universidad de Los Andes. Recuperado el 13 de julio de 2017 de <http://www.eventos.ula.ve/ciudadesostenible/documentos/pdf/agua.pdf>

Crooks, K. (2002). Relative Sensitivities of Mammalian Carnivores to Habitat Fragmentation. *Conservation Biology*, 16(2), 488-502. Recuperado el 25 de septiembre de 2017 de https://www.uni-landau.de/umwelt/study/content/files/archiv/H.Schulz/WS09/Biodiversitaet_und_Naturschutz/Crooks%202002.pdf

De la Lanza, G. (2014). *Protocolo para el muestreo de calidad del agua en ríos endorréicos y exorréicos, y en humedales para la aplicación de la Norma de Caudal Ecológico (NMXAA- 159-SCFI-2012)*. México: Sergio Salinas. Recuperado el 6 de julio de 2017 de <http://www.ibiologia.unam.mx/aguas/Protocolo%20calidad%20de%20aguai.pdf>

De Miguel, E., de Miguel, J., y Curt, M. (s/f). *Manual de Fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación*. (p. 91). Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado el 24 de julio de 2017 de <https://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/Manual%20sobre%20fitodepuracion.htm>

Emmons L. (1990). Neotropical Rainforest Mammals. A Field Guide. The *University of Chicago Press*. Chicago, USA. 281 p.

Escobar, L. (2006). Indicadores sintéticos de calidad ambiental: un modelo general para grandes zonas urbanas. *EURE*, 32(96), 73-98. Recuperado el 19 de agosto de 2017 de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-71612006000200005

Espinal, T., Sedeño, J., y López, E. (2013). Evaluación de la calidad del agua en la Laguna de Yuriria Guanajuato, México, mediante técnicas multivariadas: Un análisis de valoración para dos épocas 2005, 2009-2010. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 29 (3), 147-163. Recuperado el 10 de julio de 2017 de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992013000300002

Fondo Agua por la Vida y la Sostenibilidad. (2012). *Protocolos elaborados para medir el impacto de las intervenciones del fondo agua por la vida y la sostenibilidad*. Cali: The Nature Conservancy. Recuperado el 5 de agosto de 2017 de <http://www.asocana.org/documentos/472014-F910E241-00FF00,000A000,878787,C3C3C3,0F0F0F,B4B4B4,FF00FF,FFFFFF,2D2D2D,B9B9B9.pdf>

García E., Almeida D., Benejam L., Magellan K., Bae M.J, Casals F., Merciai R. (2014). Impacto ecológico de los peces continentales introducidos en la península ibérica. *Ecosistemas*, 24 (1), 36-42. Recuperado el 8 de septiembre de 2017 de https://invasiber.org/GarciaBerthou/docs/papers/GarciaBerthou_etal_Ecosistemas_15.pdf

García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. (5ta ed., pp. 20,44). México: Instituto de Geografía- UNAM. Recuperado el 16 de septiembre de 2017 de http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo_siglo21/serie_lib/modific_al_sis.pdf

García, J., Sarmiento, L., Rodríguez, M., y Porras, L. (2017). Uso de bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en ríos: aplicación en ríos tropicales de alta montaña. *Ugciencia*, 23, 47-62. Recuperado el 4 de agosto de 2018 de <http://revistas.ugca.edu.co/index.php/ugciencia/article/download/659/1174>

García, M., Sánchez, F., Marín, R., Guzmán, H., Verdugo, N., y Domínguez, E. et al. (2001). El agua. En Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, *El medio ambiente en Colombia* (pp. 115-116). Bogotá: Pablo Leyva. Recuperado el 7 de septiembre de 2018 de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/000001/cap4.pdf>

García, P., Fernández, R., y Cirujano, S. (2009). *Habitantes del agua. Microfitos*. Andalucía, España: Agencia Andaluza del Agua. Recuperado el 24 de enero de 2018 de http://www.jolube.es/pdf/libro_macrofitos_andalucia_2010.pdf

Garrido, N. (2017). *Propuesta de rehabilitación del bordo Santa Rita en el ejido de San Lorenzo Cuauhtenco, Estado de México*” (Licenciatura). Universidad Autónoma del Estado de México.

Green, A., y Figuerola, J. (2003). Aves acuáticas como bioindicadores en los humedales. En Instituto de Estudios Almerienses, *Ecología, manejo y conservación de humedales*. Almería: Mariano Paracuellos. Recuperado el 3 de febrero de 2018 de <https://marianoparacuellos.files.wordpress.com/2012/01/ecologia-manejo-y-conservacion-de-los-humedales.pdf>

Gregory, S., Boyer, K., y Gurnell, A. (2003). *The Ecology and Management of Wood in World Rivers*. Bethesda, Maryland: American Fisheries Society Symposium 37. Recuperado el 20 de marzo de 2018 de <https://andrewsforest.oregonstate.edu/sites/default/files/lter/pubs/pdf/pub3728.pdf>

Gutiérrez, P., y Ramírez, A. (2016). Evaluación de la calidad ecológica de los ríos en Puerto Rico: principales amenazas y herramientas de evaluación. *Hidrobiológica*, 26 (3), 433-441. Recuperado el 2 de julio de 2017 de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972016000300433

Hernández, L., Chamizo, H., y Mora, D. (2011). Calidad del agua para consumo humano y salud: dos estudios de caso en Costa Rica. *Costarr Salud Pública*, 1(20). Recuperado el 14 de octubre de 2017 de <http://www.scielo.sa.cr/pdf/rcsp/v20n1/art4v20n1.pdf>

Huertas, D. (2014). *Análisis de la calidad de agua del Río Cutuchi con base a variables físico-químicas y macroinvertebrados acuáticos* (Licenciatura). Universidad Tecnológica Equinoccial.

INEGI. (2004). *Guía para la interpretación de cartografía: edafología. 2004* (pp. 14-20). México. Recuperado el 23 de febrero de 2018 de

http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1329/702825231736/702825231736_4.pdf

INEGI. (2008). Mapas. Recuperado el 4 de febrero de 2018 de <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/>

INEGI. (2013). Diccionario de Datos del Continuo Nacional Geológico INEGI-SGM. México Recuperado el 4 de marzo de 2018 de http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/geologia/doc/dd_contnacgeol_250k.pdf

Ingold, T. (2002). *The perception of the environment: Essays in livelihood, dwelling and skill*. Londres: Routledge. Recuperado el 17 de noviembre de 2017 de <https://leiaarqueologia.files.wordpress.com/2017/08/the-perception-of-the-environment-tim-ingold.pdf>

Jiménez, B. (2007). Información y calidad del agua en México. *Trayectorias*, IX (24), 45. Recuperado el 6 de agosto de 2017 de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60715115006>

Ladrera, R., Rieradevall, M., y Prat, N. (2013). Macroinvertebrados Acuáticos Como Indicadores Biológicos: Una Herramienta Didáctica. *Ikastorratza, E-Revista De Didáctica*, 11, 1-2. Recuperado el 5 de agosto de 2017 de http://www.ehu.eus/ikastorratza/11_alea/macro.pdf

Layman, C., Allgeier, J., Yeager, L., & Stoner, E. (2013). Thresholds of ecosystem response to nutrient enrichment from fish aggregations. *Ecology*, 94(2), 530-535. Recuperado el 28 de agosto de 2017 de <http://craiglaymanlab.com/wp-content/uploads/Layman-et-al-Ecology-2013.pdf>

León, L. (1991). *Índice de Calidad del Agua ICA* (p. 36). México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

López, O., y Lechuga, M. (2001). Contaminantes en los cuerpos de agua del sur de Sonora. *Salud Pública de México*, 43(4), 298-305. Recuperado el 18 de

septiembre de 2017 de
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342001000400006

Luengo, G. (1998). *Elementos para la definición y evaluación de la calidad ambiental urbana. Una propuesta teórico-metodológica*. (pp. 1-3). Venezuela. Recuperado el 3 de septiembre de 2017 de <https://docplayer.es/21631585-Elementos-para-la-definicion-y-evaluacion-de-la-calidad-ambiental-urbana-una-propuesta-teorico-metodologica-gerardo-luengo-f.html>

Marín, E. (2017). Geología de la Región Pacífica de Nicaragua. *Revista De Temas Nicaragüenses*, 109, 310-311. Recuperado el 7 de febrero de 2018 de <http://www.temasnicas.net/split109/geologiapacifico.pdf?fbclid=IwAR1YqGPVrTiBzIPRifB3BNtATafHCNehAwD3NBHQ1cjZ5tT5OJS99DyIXd8>

Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente. (2013). *Designación de masas de agua artificiales y muy modificadas* (pp. 2-8). España. Recuperado el 7 de septiembre de 2017 de https://www.chj.es/descargas/ProyectosOPH/Consulta%20publica/Anejos/PHJ_An_ejo01_MAMM.pdf

Ministerio de Medio Ambiente. (2000). *Libro blanco del agua en España*. España: Centro de Publicaciones Secretaría general Técnica. Recuperado el 18 de octubre de 2017 de <http://hispagua.cedex.es/node/66958>

Mora, J., y Calvo, G. (2011). Evaluación y clasificación de la calidad de varios cuerpos de agua en la Península de Osa. *Tecnología En Marcha*, 24 (3). Recuperado el 10 de abril de 2018 de http://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/144

Murcia, C. (1995). Edge Effects In Fragmented forest: Implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution*. 10 (2): 58 - 62.

Naiman, R., Decamps, H., & Pollock, M. (1993). The role of riparian corridors in maintaining regional biodiversity. *Ecological Applications*, 3(2), 209-212.

Recuperado el 13 de abril de 2018 de https://www.researchgate.net/publication/271747936_The_Role_of_Riparian_Corridors_in_Maintaining_Regional_Biodiversity

Observatorio Ambiental De La Unión Europea (2010). *Concepto de Calidad Ambiental*. Recuperado el 23 mayo de 2018 de <http://www.observatorio-camaravalladolid.com/>

OECD. (1998). *Environmental Indicators. Towards Sustainable Development*. France. Recuperado el 20 de mayo de 2018 de https://read.oecd-ilibrary.org/environment/towards-sustainable-development_9789264163201-en#page1

ONU. (2014). Calidad del agua. Recuperado el 23 de mayo de 2018 de <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>

Quinn, J., Williamsom, B., Smith, K., y Vickers, M. (1992). Effects of riparian grazing and channelisation on stream in Southland, New Zealand. 2. Benthic invertebrates. *New Zealand Journal Of Marine And Freshwater Research*, 26(2), 259-269. Recuperado el 4 de enero de 2018 de <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00288330.1992.9516520?needAccess=true>

Ramos, C., Cárdenas, N., y Herrera, Y. (2013). Caracterización de la comunidad de Macrófitas acuáticas en lagunas del Páramo de La Rusia (Boyacá-Colombia). *Revista Ciencia En Desarrollo*, 4(2). Recuperado el 5 de diciembre de 2017 de <http://www.scielo.org.co/pdf/cide/v4n2/v4n2a09.pdf>

Reséndiz, J. (2011). *Evaluación de la calidad del agua en lagos y embalses* (Ingeniería Civil). Universidad Nacional Autónoma de México.

Rodríguez, N. (2014). *Adaptación del Protocolo de Evaluación visual de Quebradas para Puerto Rico* (Maestría en Ciencias Ambientales). Universidad de Puerto Rico.

Rodríguez, N., y Ramírez, A. (2014). *Protocolo de evaluación visual de quebradas para Puerto Rico*. (pp. 1-33). Puerto Rico. Recuperado el 23 de julio de 2017 de https://www.researchgate.net/publication/264974050_PROTOCOLO_DE_EVALUACION_VISUAL_DE_QUEBRADAS_PARA_PUERTO_RICO

Rolland, L., y Vega, Y. (2010). La gestión del agua en México. *Polis*, 6(2), 155-188. Recuperado el 3 de enero de 2018 de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-23332010000200006&lng=es&tlng=es.

Sánchez, M. (2005). El índice biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party score), modificado y adaptado al cauce principal del río pamplonita norte de Santander. *Revista De La Facultad De Ciencias Básicas*, 3 (2), 54-67. Recuperado el 23 de agosto de 2017 de <https://www.redalyc.org/pdf/903/90330207.pdf>

Sánchez, O. (2007) Ecosistemas acuáticos: diversidad, procesos, problemática y conservación. En: Ó. Sánchez, M. Herzig, E. Peters, R. Márquez-Huitzil & L. Zambrano, *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México* (1st ed., p. 17-27). México, D.F: Instituto Nacional de Ecología. Recuperado el 15 de noviembre de 2017 de <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/11/Perspectivas-sobre-conservacion-de-ecosistemas-acuaticos-en-Mexico.pdf>

Sancho, V., y Lacomba, I. (2010). *Conservación y restauración de puntos de agua para la biodiversidad*. Valencia: Conselleria de Medi Ambient, Aigua, Urbanisme i Habitatge de la Generalitat Valenciana. Recuperado el 26 de enero de 2017 de https://www.researchgate.net/publication/260919843_Conservacion_y_restauracion_de_puntos_de_agua_para_la_biodiversidad

Secretaría de la Convención de Ramsar. (2013). *Manual de la Convención de Ramsar Guía a la Convención sobre los Humedales* (6ta ed., p. 7). Suiza: Secretaría de la Convención de Ramsar. Recuperado el 4 de febrero de 2018 de <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/manual6-2013-sp.pdf>

Segura, S. (2005). Las especies introducidas: ¿benéficas o dañinas?. En O. Sánchez, R. Márquez, E. Vega y M. Valdez (editores), *Temas sobre restauración ecológica* (1ra ed., pp. 127-133). México: INE-SEMARNAT. Recuperado el 19 de marzo de 2018 de <http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/temas/gestionambiental/vidasilvestre/Documents/publicaciones/Libro%20Restauracion%20Ecologica%20Oscar%20Sanchez%20et%20al%202005.pdf>

SEMARNAT. (2007). *¿Y el medio ambiente? Problemas en México y el mundo* (pp. 85-86). México. Recuperado el 28 de abril de 2018 de <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/CG007297.pdf>

SEMARNAT. (2015). Indicadores de calidad del agua. Recuperado el 13 de febrero de 2018 de http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_R_AGUA05_01&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce

SEMARNAT. (2016). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Edición 2015.* (pp. 363-372). México: SEMARNAT. Recuperado el 3 de septiembre de 2018 de https://apps1.semarnat.gob.mx:445/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf

Servicio Meteorológico Nacional. (2019). Información Climatológica por Estado. Recuperado el 14 de agosto de 2018 de <https://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=mex>

Štambuk-Giljanović, N. (1998). Water quality evaluation by index in Dalmatia. *Water Research, Vol. 33*(16), 3423-3440.

Tarback, E. y Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la Tierra Una Introducción a la Geología Física*. 8th ed. Madrid, p.205. Recuperado el 8 de noviembre de 2018 de

<https://www.osop.com.pa/wp-content/uploads/2014/04/TARBUCK-y-LUTGENS-Ciencias-de-la-Tierra-8va-ed.-1.pdf>

Toledo, A. (2002). El agua en México y el mundo. *Gaceta Ecológica*, (64), 9-18. Recuperado el 9 de septiembre de 2017 de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53906402>

Torres, P., Hernán Cruz, C., y Patiño, P. (2009). Índices de Calidad de Agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8 (15), 83. Recuperado el 12 de septiembre de 2017 de <https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/59>

Trojan Technologies, (2008). *Tratamiento de contaminantes medioambientales* (pp. 1-2). Canadá. Recuperado el 19 de septiembre de 2017 de <https://www.resources.trojanuv.com/es/olor-y-sabor/>

United State Department of Agriculture (2001). *Hawaii Stream Visual Assessment Protocol*. Recuperado el 13 de julio de 2017 de https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_036776.pdf

United States Department of Agriculture, (1998). *Stream Visual Assessment Protocol*. Recuperado el 14 de julio de 2017 de https://efotg.sc.egov.usda.gov/references/public/OK/NWCC_991_Stream_Visual_Assessment_Protocol.pdf

Velázquez, E., Rivera, G., Pérez, M., y Chávez, A. (2014). *Introducción de especies exóticas: implicaciones para la biodiversidad*. (1ra ed., pp. 115-116). Chiapas. Recuperado el 9 de febrero del 2018 de https://www.researchgate.net/publication/274312039_Introduccion_de_especies_exoticas_implicaciones_para_la_biodiversidad