

MUESTREO Y CALIDAD DEL AGUA



***Greys Carolina Herrera Morales
Mirian Yolanda Jiménez Gutiérrez
Leonardo Daniel Cabezas Andrade***

Editado y distribuido por

© FUNDACIÓN KOINONIA (980-7792)
Santa Ana de Coro, Venezuela. 2023.

Correo electrónico: fundakoinonia@gmail.com

Hecho el Depósito de Ley.

ISBN: 978-980-7792-84-4

<https://doi.org/10.35381/978-980-7792-84-4>

Serie: Tecnología, Ingeniería y Agricultura

Título: *Muestreo y Calidad del Agua*

Autores: ©Greys Carolina Herrera Morales, ©Mirian Yolanda Jiménez Gutiérrez
©Leonardo Daniel Cabezas Andrade

Todos los libros publicados por la Fundación Koinonía son sometidos previamente a un proceso de evaluación realizado por árbitros calificados.

Este es un libro digital destinado únicamente al uso personal y colectivo en trabajos académicos, de investigación, docencia y difusión del Conocimiento.



Esta obra está bajo una licencia internacional

Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0

Revisión, Ortografía y Redacción

Dra. Carlina García

Ing. Damil Maldonado Mosquera. MSc.

Diseño de portada

Licdo. Rodolfo Albarrán.

Diagramación:

Licdo. Rodolfo Albarrán.

CONSTANCIA DE ARBITRAJE

El Fondo Editorial “Fundación Koinonía” hace constar que este libro fue sometido a un arbitraje de contenido y forma por jurados especialista en el área de conocimiento de este. Además, se realizó una revisión del enfoque, paradigma y método investigativo desde la matriz epistémica asumida por los autores, garantizando así la científicidad de la obra.

Comité – Editorial “Ad – Hoc” del Fondo Editorial

“Fundación Koinonia”


Dr. Jairo Villasmil


Psic. Nicolás Rodríguez. MSc.


**FUNDACION
KOINONIA**
En la Comunión del Conocimiento
RIF.: J-407575716


Dr. Julio Aldana

INFORME DEL EVALUADOR DE LIBROS

Nombre y apellidos del evaluador: Dr. Freddy Rodríguez

Grado académico: Ph.D

Institución donde labora: Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, Venezuela

Cargo o función que desempeña: Decano de Investigación de la UNEFM

Título del libro: Muestreo y Calidad del Agua

Criterio	Mal	Regular	Bien	Excelente
1. El tema tratado es de actualidad e importancia para la ciencia específica.				x
2. La extensión del libro es adecuada				x
3. El análisis teórico es actualizado (más del 50% de las referencias son de los últimos cinco años)				x
4. El libro denota un aporte a la disciplina que aborda				x
5. Está bien fundamentada la teoría incluida en el libro				x
6. Se evidencia objetividad en los temas tratados				x
7. Aborda las corrientes principales de la ciencia específica				x
8. Los datos abordados en el libro se encuentran validados por métodos que lo fundamentan.				x
9. La redacción y ortografía son buenas.				x
10.Existe relación entre el título y los aspectos abordados en el libro.				x
11.Los cuadros, tablas y figuras tienen buena calidad.				x

Aspectos a comentar.

Comente en una o varias hojas los siguientes elementos relacionados con el libro.

- a) Actualidad e importancia del libro.

Pertinente para la profundización a nivel científico y académico en el tema desarrollado

- b) Aporte al estudio de la ciencia específica que trata.

La propuesta se considera un aporte significativo en el área preservación y manejo del agua; destacándose en ser un instrumento de obligatoria consulta para docentes y estudiantes

- c) Objetividad de la información presentada

Pertinentes

- d) Actualidad de las citas y referencias bibliográficas.

Acordes y pertinentes

- e) Validez de los datos incluidos en el libro.

Actualizados y pertinentes

Finalmente marque con una X su criterio general sobre la obra analizada

Publicar de manera directa	X
Publicar con adecuaciones menores (hasta 30 días para solucionar)	
Publicar con adecuaciones mayores (hasta 90 días para solucionar)	
No publicar	

Fecha: 15 de noviembre 2023

Firma:



INFORME DEL EVALUADOR DE LIBROS

Nombre y apellidos del evaluador: Dra Maribel Giménez Guariguata

Grado académico: Ph.D

Institución donde labora: Universidad Bolivariana de Venezuela, Venezuela

Cargo o función que desempeña: Directora de Postgrado

Título del libro: Muestreo y Calidad del Agua

Criterio	Mal	Regular	Bien	Excelente
12.El tema tratado es de actualidad e importancia para la ciencia específica.				x
13.La extensión del libro es adecuada				x
14.El análisis teórico es actualizado (más del 50% de las referencias son de los últimos cinco años)				x
15.El libro denota un aporte a la disciplina que aborda				x
16.Está bien fundamentada la teoría incluida en el libro				x
17.Se evidencia objetividad en los temas tratados				x
18.Aborda las corrientes principales de la ciencia específica				x
19.Los datos abordados en el libro se encuentran validados por métodos que lo fundamentan.				x
20.La redacción y ortografía son buenas.				x
21.Existe relación entre el título y los aspectos abordados en el libro.				x
22.Los cuadros, tablas y figuras tienen buena calidad.				x

Aspectos a comentar.

Comente en una o varias hojas los siguientes elementos relacionados con el libro.

- f) Actualidad e importancia del libro.

Pertinente para la profundización a nivel científico y académico en el tema desarrollado

- g) Aporte al estudio de la ciencia específica que trata.

La propuesta se considera un aporte significativo en el área de conservación y preservación del agua; destacándose en ser un instrumento de obligatoria consulta para docentes y estudiantes

- h) Objetividad de la información presentada

Pertinentes

- i) Actualidad de las citas y referencias bibliográficas.

Acordes y pertinentes

- j) Validez de los datos incluidos en el libro.

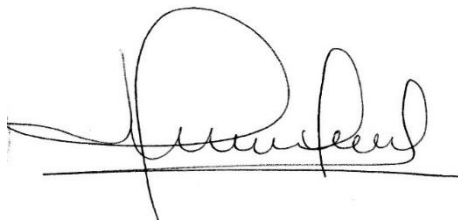
Actualizados y pertinentes

Finalmente marque con una X su criterio general sobre la obra analizada

Publicar de manera directa	X
Publicar con adecuaciones menores (hasta 30 días para solucionar)	
Publicar con adecuaciones mayores (hasta 90 días para solucionar)	
No publicar	

Fecha: 10 de noviembre

Firma:



INDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA	3
1.1. Políticas sobre monitoreo de la calidad del agua	11
1.1. Localización de puntos de monitoreo de la calidad del agua	14
1.3. Indicadores de calidad del agua	27
1.5. Planes y protocolos de monitoreo de la calidad del agua	39
CAPÍTULO II	42
CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL AGUA	42
2.1. Características microbiológicas del agua	44
2.2. Características fisicoquímicas del agua	50
2.3. Características fisicoquímicas de aguas residuales	62
2.4. Características fisicoquímicas de aguas industriales	68
2.5. Políticas de preservación del agua	70
CAPÍTULO III:	81
DISEÑO EXPERIMENTAL DE MEDICIÓN DE CALIDAD DEL AGUA	81
3.1. Diseños experimentales de calidad del agua	82
3.1.1. Diseño piloto de aguas de curtiembres a través de la <i>Eichhornia crassipes</i>	82
3.1.2. Método para cuantificar glifosato en agua Experimental	84
3.1.3. Determinación de la Alcalinidad	85
3.1.4. Método para la determinación de la Dureza Total	85
3.1.5. Método para la determinación de la Dureza Cálctica	90
3.1.6. Método para la determinación de la Dureza Magnésica	90
3.1.7. Método para la determinación del Cloro Libre Residual	90
3.1.8. Método para la determinación de Sulfato	91
3.1.9. Método para la determinación de Nitratos	93
3.1.10. Método para la determinación del Color Real	97
REFERENCIAS	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fuerza Motriz-Estado-Respuesta (fer).	28
Figura 2: Clasificación de Rosgen.....	38
Figura 3: Diseño del biosistema de tratamiento con sus dimensiones.	83
Figura 4: Experimentación y tratamiento al 40%.....	83
Figura 5: Diseño de experimento alternativo.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Dípteros macroinvertebrados.	256
Tabla 2: IBMWP “Iberian Biological Monitoring Working Party”	34
Tabla 3: IBMWP “Iberian Biological Monitoring Working Party”	345
Tabla 4: Rangos de calidad del agua según IBMWP.	35
Tabla 5: QBR (índice de calidad del bosque de ribera).....	36
Tabla 6: Rangos de calidad* según el índice QBR. 197.....	37
Tabla 7: Riparian Forest Evaluation (RFV).....	39
Tabla 8: Plan de desarrollo nacional 2017-2021.	41
Tabla 9: Parámetros fisicoquímicos en agua residuales del café.....	45
Tabla 10: Características físicas del agua.....	46
Tabla 11: Características biológicas del agua.....	49
Tabla 12: Características físico química del agua	51
Tabla 13: Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias.	64
Tabla 14: Características de las aguas residuales industriales	68
Tabla 15: Compuestos presentes en las aguas residuales industriales	70
Tabla 16: Dureza total de agua.	86

INTRODUCCIÓN

El agua representa no solo un líquido vital para el consumo humano o para el sostenimiento de especies vivas, riego de agricultura, higiene humana y animal, entre otros importantes usos. Hoy día se constituye en un elemento de importancia geopolítica que necesita ser preservada con la intención de mantener la soberanía de los países, por cuanto un país con suficiente agua, puede garantizar la alimentación y sanidad de su población.

Es allí donde es necesario tomar conciencia sobre la importancia de este vital líquido, que, aunque es un recurso renovable, representa producto de efecto invernadero y calentamiento global, estar ausente en muchas poblaciones, aunado, a lo costoso que implica su tratamiento, almacenaje, transporte, para el consumo humano y animal, desde una óptica de esta potable.

Es aquí donde se hace recurrente valorarla con la finalidad de su preservación en óptimas condiciones, es decir, evitar su contaminación con la finalidad de no proyectar mayor pobreza a la población, debido que al no contarse con el agua, se genera mayores posibilidades de pobreza en las comunidades, por cuanto se tiene que pagar un alto costo para ser provistos por sistemas, donde muchas veces no se cuenta con el adecuado cuidado para mantener su potabilización, contribuyendo a la generación de enfermedades.

Otro elemento de contar con el agua potable, es que hace posible que ciertas zonas del país, sean atractivas para el turista y para la inversión privada como medio de crecimiento social – económico; por lo tanto, contar con ella, garantiza mayor operatividad en los procesos sociales que son desarrollados en favor del crecimiento integral de la población.

Pero para mantener en óptimas condiciones los embalses, ríos, acueductos, es necesario que el ser humano tome conciencia de la importancia que representa el agua, de ese modo, podrá existir mayor posibilidad de generar políticas públicas que favorezcan la participación ciudadana con la intención de preservar el agua, siendo indiscutible la presencia y unión de las fuerzas públicas, privadas, para tal fin, debido que el agua no solo calma la sed, sino, que permite el real desarrollo de las especies vivas.

Contar con suficiente agua, garantiza una soberanía nacional en el renglón agroalimentario, brindándose así, la posibilidad de contar con alimentos a bajo costo en la mesa de las familias. Por otro lado, el agua genera posibilidad de realizar obras hidráulicas que brinden otros beneficios a la población, entre los cuales, se puede hacer mención de la electricidad, así como la generación de productos comercializables, imprimiendo un importante apoyo a la economía nacional.

En este sentido, el actual libro se divide en tres capítulos, con la intención de orientar al lector al uso racional del agua, así como de conocer ciertas técnicas o estrategias para mantener la calidad de la misma, aprovechándose para ser consumida y por las especies vivas. En el primer capítulo, se aborda la importancia de un monitoreo de la calidad del agua con la intención de propiciar en el lector, una cercanía con el vital líquido desde el parámetro de prevención y control de la contaminación que amenaza con destruirla. En el segundo capítulo, se describen las características del agua, tanto en forma como en contenido, mientras que, en el último, se hace mención de los principales métodos de análisis de los elementos que contiene el agua.

CAPÍTULO I

MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua dulce con factibilidad de ser potabilizada para la utilidad humana, así como la no potabilizada para ser usada en riego de cultivos, es un tema de vital importancia para la supervivencia de las especies vivas que dependen de ella; por lo tanto, este recurso natural, tiende a tener deficiencias en diversas zonas geográficas, los costos de potabilización pueden ser elevados, así como la contaminación ocasionada por diversas causas, proyectan la profundización de la escases en los próximos años en gran parte del planeta tierra, siendo determinante profundizar urgentemente en la educación ambiental sostenible de la población, especialmente aquella que vive en cercanía de los ríos con la intención de propiciar una actuación favorable a su preservación (François, et al., 2019).

El agua de los ríos constituye un aprovisionamiento importante para el riego de cultivo, abastecimiento humano, como canal de mercancía cuando su caudal lo permite; impulsando a promover la economía de una región o país, siendo imprescindible valorar su existencia, contribuyendo a mantenerlo en óptima condición a través del monitoreo efectivo de la calidad de agua, siendo indispensable para tal fin, la medición de valores físico – biológico – químicos (Morsy, et al., 2020); a través del cual, se podrá evidenciar presencia de sedimentos, coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales, amoníaco, concentración química de metales traza.

Inicialmente, para advertir si el agua está contaminada o no, si es apta para el consumo humano o para efectuar actividades derivadas como la preparación de alimentos, es conveniente comprender la dinámica social en razón de la importancia que tiene el agua en la calidad de vida de los seres humanos, desde un punto de vista de la salud pública, sobre todo cuando la cultura urbana tiende a consumir con frecuencia alimentos preparados en restaurantes o venta de comidas informales (Cho, et al., 2020), siendo parte de la vida diaria de las urbes, con lo cual, es necesario preservar el agua en óptimas condiciones, siendo una alternativa a través de programas de formación colectiva para sensibilizar y generar conciencia sobre el incalculable valor que representa el agua para la subsistencia de las especies vivas con la intención de propiciar una conducta social en preservación de los reservorios naturales y artificiales.

Propuesta apoyada por (AL-Dulaimi y Younes, 2017), al advertir de la importancia del agua potable en la calidad de vida humana, incluso invitan a desarrollar pruebas radiológicas con la finalidad de detectar posibles ataques bacteriológicos como parte de las guerras asimétricas propias del actual siglo, evidenciándose que no solo el agua es un recurso natural vital e importante como tradicionalmente se ha abordado, sino, un elemento de poder para quien la posee, por cuanto se puede dominar una población a causa de lograr una distribución necesaria para su subsistencia, por lo tanto, el agua juega un papel geopolítico – económico esencial en la sociedad del conocimiento.

Conllevando este enfoque estratégico del agua, a diseñar modelos computarizados de medición, sobre todo cuando en las cercanías de los ríos, existe concentración habitacional e industrial con posibilidad de arrojar residuos y desechos contaminantes (Chen, et al., 2020), lo cual, en los países llamados de primer mundo, el tema del agua es un punto esencial en el diseño de sus políticas públicas como parte de mantener su soberanía nacional, por cuanto incluye la supervivencia de las especies vivas, generación de alimentos, aspectos fundamentales para un auto abastecimiento promotor de una economía estable para la nación.

En consideración a lo descrito, las políticas públicas deben garantizar que la población tenga acceso a agua potable de calidad, alejándose de enfermedades asociadas a aguas contaminadas, siendo una representación mundial cercana al 80% de modo directo o indirecto (Rawat y Siddiqui, 2019), además el agua es un derecho fundamental para la humanidad, el cual debe ser preservado a través de su almacenamiento, transporte, manipulación, comercialización, antes del ser consumida (Hung, et al., 2020), conllevando el abordaje sobre las preocupaciones sobre el agua desde un enfoque multifacético e interdisciplinario porque la escasez y contaminación del agua tiene implicaciones sanitarias, económicas, sociales y políticas (Bishara, et al., 2021).

Visión apoyada por (Villena-Chávez, 2018), por cuanto indica que el agua es un valor ecológico vital para la salud y crecimiento económico, lo cual amerita precisar nuevas prácticas de medición de calidad del agua en ríos urbanos – suburbanos con la finalidad de estar en sintonía de lograr beneficios integrales para la comunidad, siendo necesario tener en cuenta la visión de (Kozaki, et al., 2016), al proponer el uso de

cromatografía de exclusión iónica / intercambio catiónico con índices de calidad del agua y datos de uso de la tierra, lo cual contribuye en analizar con mayor eficacia las aguas residuales descargadas en los ríos, siendo necesario implementar como parte de las políticas locales, la implementación de sistemas de medición automatizadas, sincronizadas, en diversas zonas del río con la finalidad de conocer a tiempo real la contaminación recibida (Li, 2020).

En razón de lo planteado, en el Ecuador a través de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Orellana, por medio de la Carrera de Agronomía, se ha venido desarrollando un proyecto de vinculación social referido a la concientización de la calidad del agua de la subcuenca del río Chambo, el cual posee una superficie aproximada de 3 580 km² y cubre un 54,2 % de la superficie total de la Provincia de Chimborazo, lo cual implica que atraviesa áreas urbanas – suburbanas, teniendo el doble propósito de abastecedor de agua potable y agua para cultivos, sufriendo contaminación por aguas residuales lanzadas desde urbanismos, materiales químicos referentes al sector agrícola, heces de animales que se proveen de agua, así como otras prácticas no ecológicas del ser humano.

Llevando a desarrollar en estudiantes de la Carrera de Agronomía de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Orellana y agricultores que conviven en las cercanías del río, donde además tienen plantaciones agrícolas, cría de ganado vacuno; situación que genera la posibilidad de promover una educación comunitaria con visión ecológica sostenible a través de una formación experiencial de los participantes, involucrándose como eje instrumental, la medición de la calidad del agua desde el método estándar APHA, AWWA, WEF, 2005, el permite analizar características físico – químicas del agua, pudiéndose detectar presencia de cuerpos fecales en la misma.

El proyecto de medición de calidad del agua desde un programa educativo experiencial en el río Chambo, se enmarca en las políticas públicas del Ecuador, a través de operacionalizar lo planteado en la “Estrategia Nacional de Calidad del Agua, ENCA 2016 – 2030”, como línea de acción de los objetivos de desarrollo sostenible; permitiendo diseñar un programa educativo experiencial en medición de calidad del agua, dirigido a estudiantes universitarios y comunidad aledaña al río, de ese modo,

se trabaja coordinadamente en transferir conocimientos a las organizaciones comunales en razón de empoderar de técnicas para estar alerta de los posibles estados de contaminación, contribuyendo además, en fomentar una visión de ciudadanía planetaria ecológica (Aldana y Colina, 2019).

El programa educativo experiencial, se fundamenta en la teoría de los estilos de aprendizaje de David Kolb, descrita en la investigación de (Espinar-Álava y Viguera-Moreno, 2020), como un proceso que parte de la experiencia de cada sujeto y va incorporando nuevos esquemas mentales a través de una interacción teórica – práctica generada por medio del ciclo experiencial de cuatro fases: i) observación reflexiva, ii) conceptualización abstracta, iii) experimentación activa, iv) experiencia concreta. En cada una de las fases se respeta la diversidad de los participantes, teniendo en cuenta su motivación o interés por aprender, contribuyendo al docente a desarrollar estrategias en fomento de cultivar habilidades en la persona.

Al generarse mayor significancia en experimentación activa, se concibe que los participantes en el tratamiento aplicado, han podido tener una mejor aprehensión del conocimiento (Barriga, et al., 2018), tanto estudiantes como agricultores han logrado compaginar lo teórico, reflexivo, hacer, para lograr un aprendizaje significativo (experimentación concreta), de ese modo, se encuentran en capacidad de replicar a experiencia de medir la calidad del agua del río Chambo a través del método estándar APHA, AWWA, WEF, 2005, el cual básicamente permite conocer las características físico – química del agua, así como desechos fecales, bacterias, (Chávez-Cadena, et al., 2021).

Destacándose que el programa de formación experiencial, involucró desde una connotación teórica, conocer los métodos que se vienen aplicando actualmente en el mundo con la finalidad de reflexionar sobre la necesidad de incorporar mediante proyectos de investigación y producción, la automatización de la medición de la calidad del agua, teniendo en cuenta la experiencia de (Mainali, et al., 2019), quienes estudiaron diversos modelos de progresión relacionados a monitorear la calidad del agua, esto incluye inversión en software, equipos de medición que deben ser colocados en ciertas zonas del río, siendo ventajoso porque los datos son remitidos a

una central en donde son analizados en tiempo real, esto permite proyectar rápidamente efectos contaminantes, sedimentación, entre otros factores diseñados.

No solo se trata de medir la calidad del agua en el río, sino, que se procedió a evaluar el vital líquido en cisternas que lo transportan a zonas residenciales, agua almacenada en casas, incluso se tomaron muestras de aguas embotelladas y comercializadas en la zona geográfica donde se desarrolló el proyecto, esto permitió expandir la experiencia concreta de los participantes a un aprendizaje significativo en relación a tener en cuenta la higiene del agua en diversos contextos, de ese modo, se procedió sensibilizar sobre la importancia del agua potable para el consumo humano, teniendo en cuenta las premisas de (Hung, et al., 2020).

Siendo importante generar la concienciación sobre el uso adecuado del agua con mayor énfasis de la preservación de los ríos, embalses, especialmente si estos abastecen a gran parte de la población (Barreto, et al., 2017), debido que es un privilegio contar en zona urbana con ríos sanos y aptos para proporcionar el vital líquido a la población, esto invita a un trabajo cooperativo donde todos los entes sociales deben aportar en la consolidación de una visión ecológica en preservación de las especies vivas, involucrándose el ser humano en tal perspectiva, corrigiéndose errores históricos donde el hombre como figura dominante de la naturaleza ha pretendido explotarla sin verse afectado por ella.

En tal sentido, se hace necesario formular políticas no solo locales, sino, que impliquen zonas limítrofes con la intención de propiciar acuerdos de protección en favor del agua (Köppel y Sprinz, 2019), esto permite además organizar a la población en favor de activarse en la generación de una visión de preservación ecológica, siendo uno de los propósitos del plan experiencial aplicado. Cuando una comunidad se auto organiza tiende a tener poder sobre las decisiones del Estado, puede incentivar al sector privado a configurar acciones reales en favor de proteger la naturaleza, de ese modo, se articula un gran movimiento en favor de la vida planetaria.

Retomando el tema técnico planteado por (Chávez-Cadena, et al., 2021) y (Mainali, et al., 2019), se adhiere (Pérez, et al., 2018), quienes indican la necesidad de calibrar permanente los equipos empleados para medir la calidad del agua, esto contribuye a formular mediciones objetivas, lo cual pueden alertar a tiempo praxis distorsionadas

que ocasionan el consumo de agua contaminada, tal como advierten (Fragoso-Castilla, et al., 2021), destacándose que el problema de la calidad del agua es complejo, involucra la conducta humana, lo técnico, política, economía, reafirmando la necesidad de atender la problemática relacionada al agua potable desde un enfoque multidimensional de (Bishara, et al., 2021).

Otra técnica abordada desde un constructo teórico referencial, fue lo referido a la cromatografía, procedimiento respaldado por (Trujillo, et al., 2009) y (Kozaki, et al., 2016), quienes indican, además, la aplicación de la misma por estudiantes entrenados, lo cual puede ser aplicada en una próxima fase del proyecto de vinculación social que se desarrolla en la Carrera de Agronomía de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Orellana, en el marco de operacionalizar lo planteado en la “Estrategia Nacional de Calidad del Agua, ENCA 2016 – 2030”, lo cual obliga aprender diversas técnicas, métodos, convencionales, automatizados, con la finalidad de proyectar desde la universidad el mejor aporte técnico – científico en relación a elevar la calidad del agua potable en el Ecuador.

Contribuyendo a la educación colectiva sobre la importancia que tiene el agua para la vida planetaria (François, et al., 2019), propiciándose en la población el imaginario social sobre la importancia de contribuir individualmente en mantener saneada, las riveras de los ríos y otros reservorios de agua, con la intención de proteger el consumo de agua saludable, por cuanto en estudios realizados por (Morsy, et al., 2020); se evidenció presencia de sedimentos, coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos, en agua de río urbano, situación similar planteada por (Chávez-Cadena, et al., 2021), al encontrar contaminación por heterótrofos aeróbicos y coliformes totales, en aguas del Río Chambo en adyacencias de la ciudad de Riobamba – Ecuador.

Esta situación origina una cadena de contaminación humana, por cuanto el agua es empleada en la preparación de alimentos, sobre todo en negocios informales o de dudoso control higiénico (Cho, et al., 2020), originándose un problema de salud pública (Villena-Chávez, 2018), esto contradice los parámetros de calidad de vida humana, articulándose una visión en detrimento de la economía basada en la gastronomía, por lo tanto, no es una problemática que debe ser inadvertida por la población, al contrario

debe exigir la presencia de agua potable de calidad como parte de sus derechos fundamentales, más aún, debe contribuir en el sostenimiento de su higiene (AL-Dulaimi y Younes, 2017).

(Hung, et al., 2020), recuerdan lo importante del agua como derecho fundamental, la política en Ecuador del buen vivir, promueve la preservación de la vida planetaria en todas sus manifestaciones, siendo una de ellas el agua, por lo tanto, se requiere activar una participación ciudadana con mayor participación en el diseño de políticas públicas en favor de apoyar tangiblemente en la consolidación de una ciudadanía responsable de sus actos contra el medio ambiente (Chen, et al., 2020), por consiguiente (Rawat y Siddiqui, 2019), conciben que dicha participación involucra el abordaje integral de la realidad social con la finalidad de establecer un valor ciudadano hacia el agua como elemento sostenible para la humanidad.

El tema de la calidad del agua, no solo involucra la medición y monitoreo oportuno por parte de las instituciones encargadas de preservarla, sino, de toda la comunidad, la cual participa de modo indirecto o directo sobre la contaminación o no del agua, de ese modo, el tratamiento aplicado a la muestra poblacional participante en la actual investigación, involucró la concienciación como eje fundamental para el establecimiento de una nueva visión auto responsable de preservar el agua, experiencia que permitió a estudiantes y agricultores intercambiar visiones, experiencias, conocimientos, en pro de articular un equipo de trabajado basado en la cooperación como aliada en cumplir los propósitos propuestos.

Es necesario seguir profundizando la aplicación del plan experiencial a la población no participante en esta primera fase, con la intención de multiplicar la experiencia, así como incorporar el conocimiento y manejo de alternativas para la medición de calidad del agua, esto permite diversificar la praxis profesional en favor de proyectar una sociedad que contribuye eficazmente su crecimiento integral de una visión comprometida con la sanidad ambiental de su ecosistema, retribuyendo en cierto modo, los beneficios que la naturaleza brinda para la consecución de una vida sostenible, esto como producto de encontrar un aprendizaje significativo en donde la experiencia es el punto de partida para lograr cambios transcendentales en la persona y sociedad (Espinar-Álava y Viguera-Moreno, 2020).

1.1. Políticas sobre monitoreo de la calidad del agua

El suministro de agua potable a la ciudadanía tanto en el ambiente rural – urbano en su totalidad, es una de las debilidades sociales del Ecuador, (Dávila & Rhon-Dávila, 2005), reseñan como una problemática a superar, mediante planes y estrategias de inversión social, fundamentados en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 2030), en donde el objetivo 6 del referido programa, tiene como norte, trabajar sobre la base de la consecución de “agua limpia y saneamiento” (PNUD, 2019), lo cual, implica además que los países miembros de las naciones unidas, deben abocarse a este proyecto global.

En complemento a lo planteado, Ecuador ha asumido la agenda 2030 como parte de sus políticas de gobierno, ratificando el compromiso de insertarse en una sociedad global, la cual, procura trabajar para la consecución de mejores condiciones climáticas para el acceso del agua a todos los ciudadanos, ante lo cual, es necesario tener en cuenta las metas del objetivo 6:

6.1 De aquí a 2030, lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos.

6.2 De aquí a 2030, lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones de vulnerabilidad.

6.3 De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.

6.4 De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua.

6.5 De aquí a 2030, implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda.

6.6 De aquí a 2020, proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos.

6.a De aquí a 2030, ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de capacidad en actividades y programas relativos al agua y el saneamiento, como los de captación de agua, desalinización, uso eficiente de los recursos hídricos, tratamiento de aguas residuales, reciclado y tecnologías de reutilización.

6.b Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento (PNUD, 2019b).

El trabajo a realizar es complejo para lograr un efectivo plan que garantice a toda la ciudadanía residente en el Ecuador, agua potable de calidad y a un precio sostenible, por cuanto se requiere de una profunda voluntad política e inversión monetaria para lograrlo, por lo tanto, debe ser un proyecto de toda la población para propiciar las condiciones en favor de establecer políticas concretas en favorecer tal meta. En este sentido, el (Informe de Avance del Cumplimiento de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, 2019), indica que se han registrado 112 proyectos para la construcción o mejora de embalses destinados a ampliar el derecho de agua potable en 95 cantones del país.

En el mismo informe se refleja, el programa PROAGUA, mediante el cual se financian proyectos para la consolidación de agua potable y alcantarillado; contándose además

con “Guardianes del Agua”, una iniciativa de la empresa de aguas públicas de Portoviejo; otro logro es el programa “Recirculación de Agua de Proceso”, de UNACEM Ecuador donde se procura optimizar la recirculación de agua en las cementeras del país; teniéndose en cuenta, viviendas dignas y abastecidas de agua potable a través del “Marco de Asociación País 2019- 2022 Hábitat”, de la Agencia de Cooperación Internacional para el Desarrollo (Aecid); siendo lo mencionado, los alcances evidenciados a la fecha de la elaboración del precitado informe.

Por otro lado, el Instituto Nacional de Estadística y Censos INEC. (2017), indica que Ecuador se encuentra entre 12 países como prueba piloto para trabajar en la consolidación del agua potable y sana, en función de la agenda 2030, por lo tanto, un estudio preliminar en ese sentido arrojó como resultado que:

El 70,1% de los ecuatorianos tiene acceso a agua segura para beber (sin e.coli) y el 21,8% tiene acceso básico, lo que significa en ambos casos que el agua la reciben de una fuente mejorada que está en la vivienda o cerca de ella y de manera suficiente (p. 1).

Para el 2017 se concentraban los referidos avances, sin embargo, diciembre 2020, la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS), cerraba la mesa técnica ODS 6, destacando que la pandemia por COVID-19 ha interferido profundamente en el trabajo sostenible de asentar la llegada del agua potable a la población ecuatoriana, por lo que refieren que la proyección al 2030 se ve mermada y corresponde esperar la salida de esta crisis sanitaria para dilucidar con mayor eficacia la consecución de las metas planteadas, lo cual, involucra la posibilidad de que no se cumplan a plenitud de cara al 2030.

Siendo necesario profundizar en el diseño de políticas públicas en favor de promover un alcance de agua potable al 100% de la población, sobre todo cuando Ecuador tiene uno de los mayores potenciales de contar con agua dulce en la región (Martínez-Moscoso, 2017), sobre todo cuando a través de la Estrategia Nacional de la Calidad del Agua (ENCA), se tiene como finalidad mejorar la calidad de los recursos hídricos, así como el ecosistema colindante en aras de promover mayor protección al agua y por consecuencia a las especies vivas.

1.1. Localización de puntos de monitoreo de la calidad del agua

La calidad del agua en su monitoreo por lo general, ha sido generada por métodos de ensayo – error por parte de las empresas públicas, siendo necesaria la optimización mediante la implementación de software para el modelado de la calidad, siendo pioneros en este escenario, autores como Clark y Coyle (1990), Rossman *et al.* (1994), Rossman (2000), citados por (Saldarriaga, et al. 2014); destacándose el diseño de un modelo matemático para la simulación del transporte del agua por las tuberías, introduciendo la cantidad de cloro como elemento prioritario para elevar la calidad del líquido.

Otro aspecto importante a tener en cuenta, es la localización de puntos de control automatizado para el monitoreo de la calidad del agua, a lo largo de la tubería, esto contribuye a detectar a tiempo, posibles rasgos de contaminación y cortar el suministro a tiempo para impedir daños a la población, para lo cual es interesante tener en cuenta, las premias de Berry et al. (2005), al indicar que:

1. Un evento puntual de contaminación ocurre únicamente en un punto de la red.
2. La población total expuesta no hace referencia a un impacto específico en la salud.
3. Los sensores protegen la población aguas abajo.
4. Las transiciones entre patrones de demanda son ignoradas, de tal manera que cada periodo es tratado de forma independiente.

Esto es imprescindible hoy día, siendo que el monitoreo de la calidad del agua, pasa a ser parte de la seguridad nacional, por cuanto podrían generarse ataques biológicos a las fuentes de suministro de agua dulce como parte de un proceso de dominación o invasión de una nación por parte de fuerzas extranjeras o terroristas, por cuanto esto reduce la posibilidad de reacción, además de promover conmoción epidemiológica (Santiago, 2003), requiriéndose para tal fin, un escenario donde las políticas públicas sean diseñadas desde una dimensión multidisciplinar de los actores políticos – militares de la nación. Entre los agentes químicos más comunes que pueden ocasionar contaminación, se encuentran:

- a. “Fenol: también conocido como hidroxibenceno, benzofenol o ácido carbólico, es un producto utilizado en la industria química como disolvente o para la fabricación de resinas y herbicidas. Es un potente corrosivo cutáneo, absorbiéndose con facilidad y dando lugar a un cuadro general caracterizado por fallo hepático y renal, así como por edema pulmonar y cerebral.
- b. Ácido clorhídrico También llamado ácido muriático, es utilizado como reactivo químico o en procesos de limpieza y de elaboración de algunos alimentos. Es un importante irritante cutáneo y a nivel corneal puede llegar a producir necrosis.
- c. Ácido sulfúrico También llamado aceite de vitriolo, ácido de baño, ácido electrolítico o ácido de decapado, es utilizado en industria para la fabricación de fertilizantes, explosivos y en el refinado del petróleo. Es fuertemente caustico para la piel y sus vapores pueden producir necrosis dental.
- d. Amoníaco También llamado hidróxido amónico o agua amoniacal, es un álcali empleado en la fabricación de fertilizantes y como producto de limpieza. Produce quemaduras cutáneas leves y, a veces, lesiones corneales permanentes.
- e. Ácido fluorhídrico Es un ácido débil, fuertemente corrosivo a nivel de la piel, comportándose, fisiopatológicamente hablando, como un álcali, ya que, a nivel tisular, produce licuefacción de las proteínas. Se utiliza principalmente en la industria del vidrio y en la limpieza industrial de cobre y bronce.
- f. Fósforo blanco También se le denomina fósforo amarillo. Se emplea principalmente en la industria pirotécnica y en la fabricación de cerillas y de venenos (raticidas). Es sólido e insoluble en agua, pegándose literalmente a la piel”. (Tomado de Santiago, 2003, p. 186).

De ese modo, es necesario diseñar puntos de monitoreo para detección de la calidad del agua, desde diversos ángulos químicos, para lo cual, podría ser interesante proponer como alternativa genérica, dispositivos de detección de elementos que habitualmente no son propios del agua o de su tratamiento, esto con la intención de examinar a profundidad las acciones preventivas en pro de la seguridad nacional desde un contexto sanitario.

Una de estas acciones es contribuir desde las casas, en formalizar la reutilización del agua como elemento complementario a la detección de su calidad a lo largo del sistema de suministro, por cuanto existen zonas urbanas y suburbanas donde las aguas residuales pasan a ser un contaminante nocivo del vital líquido, siendo necesario desde una óptica de prevención, contribuir en verter aguas lo más sanas posibles, para lo cual, (Ruiz-Cuello, et al. 2015), consideran aplicar un purificado a partir de emplear factores orgánicos como filtros, entre las cuales se encuentran: “carbón activado, cascarón de huevo, tezontle, zeolita, bagazo de café, cáscara de naranja, viruta de madera y hojas de maíz” (p. 1).

De ese modo, se coopera, además, a la conformación de una visión social basada sobre la responsabilidad social ambiental como entidad transversal para la conformación de un proceso de convivencia con las especies vivas en virtud de plantearse un buen vivir interrelacionado para ofrecer calidad de vida a todos los organismos que necesitan del agua para su supervivencia.

Entendiéndose entonces, la necesidad de colocar puntos de monitoreo para la calidad del agua, en diversos puntos estratégicos, diseñados en concordancia con la zona geográfica, especialmente aguas arriba en donde pueden ser contaminadas con mayor riesgo a propagarse a lo largo del embalse o río, siendo considerable poner en práctica la estrategia de monitoreo participativo.

Esta estrategia es definida por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), como “un proceso colaborativo para recoger y analizar los datos relacionados a la calidad y cantidad del agua, comunicar los resultados y manejar de manera conjunta el recurso” (p. 13). Esto involucra una participación ciudadana activa, en compañía de los entes públicos, privados, en relación a conformar un equipo de trabajo en donde se involucren perspectivas disciplinares con la finalidad de trabajar en una meta común como es la preservación de la calidad del agua. Entre los principales objetivos de la estrategia de monitoreo participativo, se encuentran:

1. “Establecer una base de datos creíble y trazable que respalde las demandas de remediación y mitigación, o acciones específicas que mejoren la calidad del agua.
2. Concienciar y educar sobre la calidad del agua a la que tienen acceso y las medidas necesarias para darle un uso adecuado.

3. Identificar problemas específicos, existentes o emergentes, asociados a los cambios en la calidad del curso de agua.
4. Reunir información para diseñar programas de prevención, mitigación o remediación.
5. Evaluar la calidad de los recursos hídricos en sus localidades; sus variaciones temporales y espaciales; y proteger al público.
6. Conocer la importancia de la calidad del agua y su relación con el bienestar humano y la salud de los ecosistemas.
7. Conocer los requisitos relativos a la protección del recurso para diversos usos.
8. Valorar los impactos de los usos del agua (y sus vertidos residuales) sobre los cursos de agua.
9. Reconocer la importancia del control y la vigilancia de la calidad del agua, las alertas tempranas y las respuestas coordinadas y oportunas" (UICN, 2018, p. 13).

Los objetivos planteados, permiten proyectar un mejor acercamiento al monitoreo de la calidad del agua, promoviéndose la integración comunitaria como un eslabón que contribuye a establecer un proceso democrático en la toma de decisiones del bienestar común, siendo recurrente optimizar a partir del diseño de políticas públicas factibles para permitir la participación activa de la ciudadanía.

Otra estrategia se focaliza en el monitoreo biológico o bioindicadores; siendo conformado por especies vivas que habitan en el agua, determinándose a partir de su reacción, si el agua se encuentra contaminada o no, en este sentido, "las comunidades de macroinvertebrados son los mejores bioindicadores de contaminación acuática, debido a que son muy abundantes, se encuentran en prácticamente todos los ecosistemas de agua dulce y su recolección son simple y de bajo costo" (Gamboa, 2008, p. 1).

A partir del monitoreo biológico, se involucra con mayor fuerza, la necesidad de tomar conciencia sobre la preservación del medio acuático, especialmente si es empleado con fines de abastecimiento para seres vivos; por cuanto se requiere de aspectos fundamentales como la preservación de los propios vivientes en el sistema acuático para su preservación, lo cual, involucra un círculo de coexistencia favorable para la

vida planetaria. A través del Proyecto Vida Silvestre del MAE, PNUD y GEF, por primera vez en el país se está realizando monitoreo a gran escala de 18 especies. Asimismo, en varias áreas protegidas marino costeras como Pacoche, Galera San Francisco, Machalilla, Puntilla Santa Elena, se trabaja conjuntamente en medidas de manejo para la conservación de tortugas marinas.

Es por tal motivo que Ecuador compartió la experiencia de más de 17 años en el monitoreo de ballenas jorobadas y la labor de seguimiento que desarrolla la Subsecretaría Marino Costera de aves migratorias, específicamente de albatros y petreles.

El encuentro fue altamente participativo, en el que además se identificaron los compromisos y responsabilidades que deben asumir todas las naciones que albergan a las especies migratorias durante su recorrido. “Cada país debe generar políticas públicas que aporten en la protección de la biodiversidad, a través de la ejecución de un trabajo articulado, optimización de recursos y concienciación social, en beneficio de la conservación de especies migratorias”, señaló Cristina Castro, especialista en el monitoreo de ballenas. El proceso de monitoreo biológico permite conocer de forma integral a las especies, sus hábitat, costumbres y ciclos reproductivos. También permite detectar cambios en las variables de interés de la investigación, evaluar las acciones y tomar las decisiones oportunas de manejo y conservación.

Este sistema facilita la identificación de las amenazas y genera acciones de impacto para la rehabilitación y protección de las especies, actividad que se fortalece mediante procesos de capacitación y generación de capacidades a actores locales y, fundamentalmente a través de la comunicación y educación ambiental.

Entre sus beneficios más directos se puede señalar la articulación de una serie de instituciones y organismos involucrados en las políticas de conservación de las especies migratorias, fomenta reglas de conducta, impulsa la creación de nuevas áreas protegidas y promueve procesos de sostenibilidad financiera para las comunidades a través del turismo.

Ecuador busca de esta forma fomentar el desarrollo de políticas públicas y mecanismos de conservación para que más países impulsen la aplicación de medidas

de monitoreo e investigación local que puede ser útil para la aplicación de mecanismos mundiales de protección.

En una red de distribución de agua potable (RDAP), la toma periódica de muestras es la forma tradicional de realizar un control sobre la calidad de agua entregada a los usuarios. De manera histórica, esta labor se ha realizado mediante la elaboración de ensayos estandarizados aplicados a muestras tomadas en distintos puntos de la red, tales como hidrantes, purgas, salidas domiciliarias o estructuras especiales diseñadas de manera exclusiva para tal fin. El propósito de localizar dichos puntos varía desde cumplir con las normas locales de calidad y monitorear eventos de contaminación accidental hasta detectar aquellos eventos de contaminación que puedan ser generados de manera intencional.

Para cumplir con el objetivo de garantizar que en todos los puntos de consumo se entregue a los usuarios agua con una concentración de cloro residual por encima de lo mínimo permitido por las normas, se han utilizado metodologías para determinar, en una red particular, los coeficientes de decaimiento de cuerpo (K_b) y de pared (K_w). En estos estudios se han encontrado resultados en los que se ha llegado a demostrar que el K_b tiene un mayor efecto sobre el decaimiento del cloro que el K_w , y otros en los que se concluye que tanto K_b como K_w son necesarios para determinar la cinética del cloro dentro de una red de distribución de agua potable (RDAP)(Saldarriaga, et al., 2014).

Por otro lado, y con el propósito de monitorear eventos de contaminación accidental o intencionales, se han propuestos diferentes modelos de localización de PMC, según el objetivo que se desee alcanzar. Estos objetivos se encuentran descritos en The Battle of Water Sensor Networks (BWSN; Ostfeld et al., 2008), y están resumidos por Preis y Ostfeld (2008): maximización de la cobertura, la cual busca cubrir la mayoría de la demanda en la red; minimización tanto del tiempo de viaje del contaminante antes de ser detectado como de la población en riesgo antes de la contaminación; minimización del consumo de agua contaminada antes de la detección, y por último, una vez que se tiene el diseño de la red de sensores, se busca optimizar la probabilidad de detección, en donde la variable directamente monitoreada es el tiempo de detección, el cual no puede exceder la diferencia entre el final del periodo de

simulación y el comienzo del evento de contaminación. Por lo anterior, este problema puede ser visto como un inconveniente multiobjetivo, que es en sí mismo una complicación NP hard (Saldarriaga, et al., 2014).

Ante esta problemática, diferentes autores han propuesto aproximaciones tales como la teoría de grafos (Freeman, 1997; Freeman et al., 1991; Newman, 2005; Xu et al., 2008); modelos de optimización determinística (Lee y Deininger, 1992; Kessler et al., 1998; Krause et al., 2006); modelos de optimización estocástica y modelos de optimización robustos (Xu et al., 2008 y 2009), además de otras metodologías que combinan conceptos de éstas, como Aral et al. (2010), y Shen y McBean (2011), quienes investigan la localización de PMC, considerándolo como un problema de optimización multiobjetivo, con dos objetivos competitivos: (1) minimizar el tiempo de detección y (2) maximizar la redundancia de detección del sensor. De esta forma se emplea el Principio de Pareto desarrollado para evaluar los impactos del aumento del número de PMC por AG denominados II (NSGA-II), haciendo uso de TEVA-SPOT(Saldarriaga, et al., 2014).

Asimismo, con el propósito de disminuir las falsas alarmas de los eventos de contaminación, existen estudios que mostraron la combinación de datos de diferentes estaciones por medio de métodos estadísticos se pueden encontrar grupos (clusters) de detección estadísticamente significativos, que reducirían de forma considerable estas falsas alarmas. A pesar del esfuerzo realizado durante muchos años por un gran número de investigadores, no se encuentra definida aún una metodología óptima para la localización de sensores de calidad en las RDAP. Por consiguiente, el objetivo de este estudio se centra en proponer las metodologías apropiadas para la localización de PMC en RDAP, en condiciones donde los modelos hidráulicos están completamente calibrados, pero los modelos de calidad de agua (i.e. parámetros K_b y K_w) tienen alta incertidumbre por escasez de PMC existentes (Saldarriaga, et al., 2014).

Existen dos metodologías para la localización de PMC desde dos puntos de vista, cada uno de los cuales presenta funciones objetivo inherentes. La primera aproximación al problema está relacionada con la calidad mínima, entendida como el monitoreo a la concentración mínima de cloro residual en cada uno de los puntos de la red. En la

segunda aproximación se contempla la posibilidad de un evento de contaminación accidental o mal intencionado (terrorismo) dentro del sistema, pues de esta forma la posible intrusión de contaminantes en las RDAP puede detectarse, garantizando la protección de los consumidores ante los riesgos de la exposición. Las soluciones deben tener en cuenta el decaimiento típico de la calidad de agua, así como la incertidumbre respecto a dónde, cuándo y qué tan largos son los eventos de contaminación externa (Saldarriaga, et al., 2014).

Dado que los resultados de dicha metodología son altamente dependientes de las condiciones hidráulicas de la RDAP (i.e. patrones de demanda, configuración de tanques, válvulas, bombas y demás) es de vital importancia considerar los escenarios más frecuentes de operación de la red, para los cuales se debe tener un modelo hidráulico completamente calibrado. De esta manera, los resultados acá reportados corresponden a una operación conocida de la red y a unas condiciones de demanda previamente determinadas en el proceso de calibración hidráulica.

El modelo de simulación de calidad de agua, que debe estar acoplado a un modelo hidráulico de la red, adoptado por la gran mayoría de los programas computacionales actuales, se basa en la suposición de una mezcla completa del soluto. Este tipo de modelo fue desarrollado por Clark y Coyle (1990), Rossman et al. (1994), y estudiado por Rossman (2000) y otros investigadores en la década de los años noventa. El modelo tiene en cuenta el transporte convectivo en las tuberías, descrito mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = -\mu_i \frac{\partial C_i}{\partial x} + R(C_i) \quad (1)$$

donde C_i es la concentración (ML-3) en la tubería i , la cual es función de la distancia x y del tiempo t ; μ_i es la velocidad del flujo (LT-1) en la tubería i , y R es la velocidad de reacción (ML-3 T-1), como una función de la concentración. El modelo tradicional también considera la mezcla en los nudos como completa e instantánea:

$$C_{salida} = \frac{\sum_{j=1}^{j=n} Q_j C_j}{\sum_{j=1}^{j=n} Q_j} \quad (2)$$

donde C_{salida} es la concentración de salida del nodo (ML-3); n , la cantidad de tuberías o flujos de entrada; Q_j , el caudal de entrada de la tubería j (L3T-1), y C_j es la concentración de entrada de la tubería j (ML-3).

Ahora bien, dado que el presente proyecto hace referencia a la concentración del cloro, se debe tener en cuenta su cinética de reacción, la cual depende del coeficiente de decaimiento en la masa de agua (K_b) y el coeficiente de reacción en la pared de la tubería (K_w). La variación de la concentración respecto al tiempo se modela por medio de una cinética exponencial de orden n :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -KC^n \quad (3)$$

donde C es la concentración de cloro a la entrada de la tubería (ML-3); n , el orden de la reacción, que para el cloro es $n = 1$ (Clark y Coyle, 1990); y K es el coeficiente de reacción (T-1), que tiene en cuenta los coeficientes (K_b) y (K_w) de la siguiente manera:

$$K = K_b + \frac{K_w + K_f}{r_n (K_w * K_f)} \quad (4)$$

donde K_f es el coeficiente de transferencia de masa desde el interior del fluido hacia las paredes (LT-1) y r_h es el radio hidráulico de la tubería (L). Los valores típicos de referencia para el coeficiente de cuerpo y coeficiente de pared son:

- En cloro residual libre: $-0.1/\text{día} < K_b < -1.5/\text{día}$.
- En cloro residual combinado: $-0.014/\text{día} < K_b < -0.019/\text{día}$.
- Para cloro residual libre: $-0.001 \text{ m/día} < K_w < -1.52 \text{ m/día}$.
- Para cloro residual combinado: $K_w \cong -0.006 \text{ m/día}$.

Por su parte, el coeficiente de transferencia de masa (K_f) desde el interior del fluido hacia las paredes de la tubería, introducido en la ecuación (4), es proporcional al número adimensional de Sherwood y a la difusividad del cloro, dado que la velocidad de decaimiento del desinfectante (cloro) dentro de la tubería depende de qué tan rápido llegue a las paredes de la misma:

$$K_f + \frac{Sh \cdot d}{D} \quad (5)$$

donde Sh es el número de Sherwood; D, el diámetro de la tubería (L), y d es la difusividad molecular del reactivo (L2T-1). Para el caso del cloro, la difusividad molecular se encuentra entre:

$$\frac{1.2 \cdot 10^{-9} m^2}{seg} < d_{cloro} < \frac{1.4 \cdot 10^{-9} m^2}{seg}$$

De manera análoga, el número de Sherwood (Sh) se usa en procesos de transferencia de masa; simboliza el cociente entre la transferencia de masa por convección y difusión:

$$Sh = \begin{cases} 3.65 + \frac{0.0668 \left(\frac{D}{L}\right) Re \left(\frac{v}{d}\right)^{\frac{2}{3}}}{1 + 0.04 \left[\left(\frac{D}{L}\right) Re \left(\frac{v}{d}\right)^{\frac{2}{3}}\right]^4} & Re < 1.0 \\ 0.023 * Re^{0.83} * \left(\frac{v}{d}\right)^{0.333} & 2300 < Re \end{cases} \quad (6)$$

Donde L es la longitud de la tubería (L); Re, el número de Reynolds, y v es la viscosidad cinemática del agua [$1.41 \cdot 10^{-6} m^2/s$ a 20 °C].

Localización de PMC que garantice concentración mínima de cloro

Dado que la concentración de cloro en una RDAP decae una vez que el agua sale de la planta de potabilización, en los sitios alejados de la planta el cloro residual puede estar ausente, permitiendo el aumento de los niveles bacterianos. Las EPS normalmente determinan la dosificación del desinfectante por medio de ensayo y error, aplicando cierta dosis y revisando la concentración en varios puntos de la red. Resulta imposible, económica y técnicamente, monitorear el desinfectante en todos los puntos que componen la RDAP, con lo que existe la incertidumbre de que ciertas partes de ésta queden desprotegidas, con el correspondiente riesgo para la salud de la

población. En el estudio realizado por Tzatchkov (1996) se presenta el desarrollo de un modelo de simulación dinámica, capaz de predecir las concentraciones de cloro en cualquier punto de la red y para cada uno de los intervalos de simulación, dadas ciertas concentraciones en las fuentes. Dicho modelo se compone de dos partes: una que modela el flujo en la red (modelo hidráulico) y otra que modela la transformación fisicoquímica del cloro (modelo de calidad del agua).

Localización de PMC para detección de eventos puntuales de contaminación, a lo largo de los últimos años ha surgido una preocupación mundial acerca de la posibilidad de que las RDAP se convirtieran en objetivo de ataques terroristas, y en especial a inyecciones deliberadas de contaminantes químicos y biológicos (Ostfeld et al., 2008). Debido a esto, los esfuerzos se encaminaron hacia la identificación de incidentes de contaminación de baja probabilidad, pero con un alto impacto, dando así el tiempo suficiente para una respuesta apropiada por parte de la EPS, que mitigue cualquier impacto adverso. Dichos esfuerzos resultan convenientes no sólo para el manejo de inyecciones deliberadas de contaminantes sino también para eventos accidentales, como el desprendimiento de biopelículas de las paredes de las tuberías y la posterior coloración del agua por cuenta de estos "contaminantes".

En el estudio presentado por Berry et al. (2005), los autores consideran un modelo de programación de enteros con base en una serie de simplificaciones:

1. Un evento puntual de contaminación ocurre únicamente en un punto de la red.
2. La población total expuesta no hace referencia a un impacto específico en la salud.
3. Los sensores protegen la población aguas abajo.
4. Las transiciones entre patrones de demanda son ignoradas, de tal manera que cada periodo es tratado de forma independiente.

Debido a que no se conoce a priori donde se va a presentar el evento de contaminación, la idea es localizar PMC para un amplio conjunto de escenarios de intrusiones.

Dada la complejidad de las RDAP, se han desarrollado diferentes herramientas computacionales para facilitar dichos análisis. Como un ejemplo de esto, la US

Environmental Protection Agency EPA, Sandia National Laboratories, Argonne National Laboratory y la Universidad de Cincinnati (US EPA, 2008) desarrollaron un software de acceso libre llamado TEVA-SPOT (por sus siglas en inglés; en español, Evaluación de la Vulnerabilidad ante un Conjunto de Amenazas y Herramienta para la Optimización en la Localización de Sensores) (Berry et al., 2008), para definir el número de PMC necesarios en una RDAP, a fin de reducir el riesgo de incidentes de contaminación bajo el lineamiento de una función objetivo (Saldarriaga, et al., 2014).

En la Tabla 1, tomada del trabajo de (Gamboa, 2008), se pueden apreciar algunas especies que cumplen con el proceso de monitores biológicos, siendo considerable exponerlos para darlos a conocer en función de establecer mayor sensibilidad al lector sobre la necesidad de profundizar su producción y preservación en los ambientes acuáticos, sobre todo, si estos cumplen con la función de ser filtros o alarmas vivas para la detección de posibles agentes contaminantes.

Tabla 1.
Dípteros macroinvertebrados.

Orden Díptera	Características	Rasgos clave
Familia Culicidae 	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre común: mosquitos. • Ciclo de vida: holometabolos (huevos, larvas acuáticas, pupas y adultos voladores) • Fase indicadora: larvas • Alimentación: larvas filtradoras y raspadoras. • Hábitat: aguas estancadas 	Larva ápoda con cabeza reducida. Penachos de pelos en el tubo respirador, por lo que cuelgan de cabeza hacia abajo de la superficie para tomar aire.
Familia Ephydriidae 	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre común: moscas, mosquitos. • Ciclo de vida: holometabolos (huevos, larvas acuáticas, pupas y adultos voladores) • Fase indicadora: larvas • Alimentación: larvas filtradoras y raspadoras. • Hábitat: aguas estancadas 	Cuerpo alargado con propatas en la mitad del mismo y un penacho de setas en la parte posterior.
Familia Chironomidae 	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre común: moscas, mosquitos • Ciclo de vida: holometabolos (huevos, larvas acuáticas, pupas y adultos voladores) • Fase indicadora: larvas • Alimentación: larvas filtradoras y raspadoras. • Hábitat: aguas estancadas y lólicas 	Cuerpo alargado, con un penacho de setas en la parte posterior.
Familia Psychodidae 	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre común: moscas • Ciclo de vida: holometabolos (huevos, larvas acuáticas, pupas y adultos voladores) • Fase indicadora: larvas • Alimentación: larvas filtradoras y raspadoras. • Hábitat: aguas estancadas y lólicas 	Cuerpo alargado con abundantes setas en todo el cuerpo
Familia Sirfidae 	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre común: moscas • Ciclo de vida: holometabolos (huevos, larvas acuáticas, pupas y adultos voladores) • Fase indicadora: larvas • Alimentación: larvas filtradoras y raspadoras. • Hábitat: aguas estancadas y lólicas 	Cuerpo robusto con un tubo respiratorio alargado y delgado

Fuente: (Gamboa, 2008).

En resumen, los puntos de monitoreo de la calidad del agua, debe estar diseñado en puntos cada 500 o 1000 mts, de ese modo, se podrá tener supervisión por cada tramo del caudal, generándose vigilancia con la intención de atender accidentes relacionados

a contaminación por agentes biológicos, químicos, bien sea por actos de la naturaleza o causados por la mano del hombre, de ese modo, se contribuye a prevenir con obtener agua en disposición de ser consumida por los seres vivos, es aquí donde estas medidas deben estar apoyadas desde políticas de seguridad nacional con la intención de contar con la inversión necesaria, especialmente para contar con puntos automatizados y posibilitar mayor control del líquido.

1.3. Indicadores de calidad del agua

Los indicadores de calidad del agua, se encuentran relacionados en primer lugar con los 17 indicadores de calidad ambiental, entre los cuales, se encuentra, el del agua. En este sentido, (ISOTools, 2015), indica que tales indicadores, son:

1. Disminución del suministro de agua en una región geográfica Indicador de condición ambiental.
2. Nivel de agua subterránea Indicador de desempeño ambiental operativo.
3. Cantidad de agua utilizada por día.
4. Cantidad de agua utilizada por unidad de producción Indicador de desempeño ambiental de gestión.
5. Recursos invertidos en investigación de métodos para la reducción del consumo de agua.
6. Disminución de consumo en relación con inversión.
7. Calidad de aire.
8. Concentración de contaminante específico en aire, agua, suelo.
9. Biodiversidad y número de especies en peligro.
10. Longevidad de los seres humanos en una determinada zona.
11. Densidad de población.
12. Tasa de nacimiento.
13. Niveles de contaminante en sangre.
14. Estudios epidemiológicos.
15. Cantidad o calidad de recursos naturales.
16. Concentración de contaminantes en los tejidos de organismos vivos.
17. Reducción de ozono atmosférico.

Cada uno de los indicadores anteriores, directa o indirectamente se relacionan con la calidad del agua, por lo tanto, es necesario abordarlos desde una estructura social en donde se intervenga para contribuir desde una óptica multidisciplinar el abordaje del cuidado y preservación del agua como elemento fundamental para la subsistencia de los seres vivos en el planeta tierra. Por otro lado, la definición de indicador, se debe tener en cuenta lo siguiente:

Un indicador es “un parámetro o un valor derivado de parámetros, que sugiere, proporciona información acerca de, o describe el estado de un fenómeno, el medio ambiente o un área, con un significado que se extiende más allá de que estén directamente vinculados con el valor de un parámetro” (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico OCDE, 2003), tomado de Loné-Pérez, 2016a).

Partiendo de la anterior definición, se corrobora la intención de estudiar la calidad del agua desde indicadores abordados de visiones multidisciplinarias, involucrando el saber ancestral con lo científico, articulándose el diseño de políticas públicas, en razón de estructurar la participación ciudadana como articulación de nuevas premisas sociales en función de preservar la vida planetaria en el ecosistema natural.

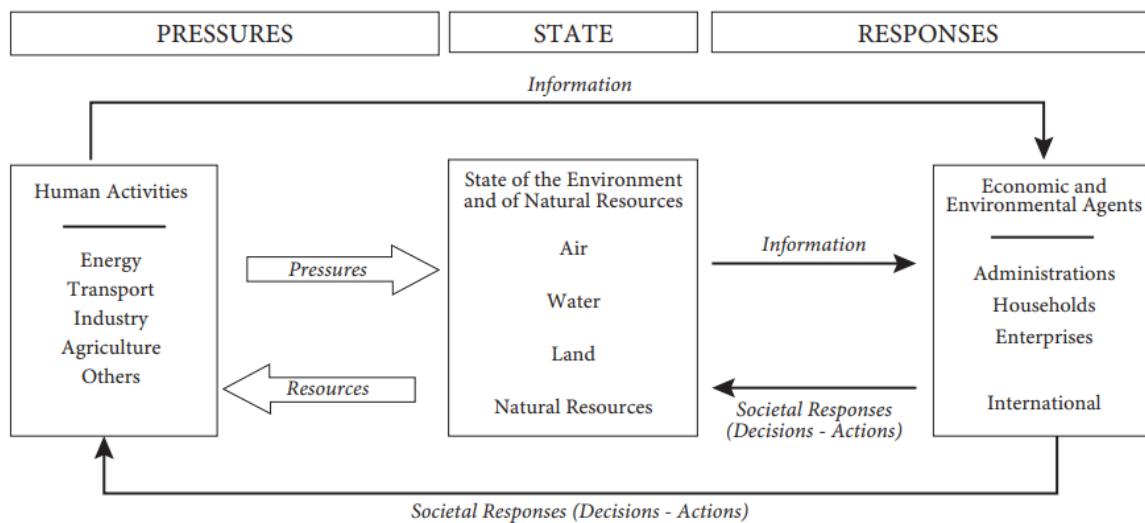


Figura 1. Fuerza Motriz-Estado-Respuesta (fer).

Fuente: Castro et al. (2014).

La Fuerza Motriz-Estado-Respuesta (fer), ha sido adoptado por organismos multilaterales con la intención de explicar la causalidad de la mano del ser humano en la intervención de la naturaleza, medio ambiente, como receptores de las acciones humanas, es decir, básicamente explica como el estímulo de las conductas humanas, tienen una respuesta por parte de la naturaleza.

Tales respuestas podrían ser favorables o desfavorables para las especies vivas en función de la acción ejercida sobre ella, esto fundamentalmente describe que entre mayor sea la proporción, en consideración será la respuesta por parte de la naturaleza. Podría aplicarse como esencia epistemológica para este modelo, la ley de acción y reacción como base fundamental para establecer la perspectiva de preservación de la calidad del agua.

Siendo necesario desde la óptica planteada anteriormente, posible estudiar las diversas áreas donde se clasifican los indicadores de calidad del agua, clasificándose en:

Parámetros:

1. **Físico-químicos:** se basan en parámetros físicos o químicos del agua como pueden ser el pH, los sólidos en suspensión, la temperatura, la DBO5, etc. o en un conjunto de los mismos.
2. **Biológicos:** es un organismo que con su presencia informa del estado de salud del medio acuático en el cual se desarrolla su ciclo biológico. Organismos usados como indicadores biológicos de calidad de aguas son los siguientes: macroinvertebrados, peces, diatomeas, organismos patógenos, etc.
3. **Hidromorfológicos:** evalúan, por un lado, la diferencia entre las características hidrológicas y geomorfológicas actuales de los ríos, y por el otro, las características que tendrían los ríos en ausencia de alteraciones humanas, para garantizar el buen funcionamiento del ecosistema fluvial.

Pueden encontrarse en el orden de la complejidad:

1. Simples: consisten en el uso de un parámetro determinado que permita medir la calidad o grado de contaminación del agua, es decir, en el uso de una medida (valor obtenido) al analizar una muestra de agua, u obtenida directamente en el cuerpo de agua. Por ejemplo: concentración de clorofila, concentración de fósforo, etc.
2. Complejos: expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros que sirve como medida de la calidad o grado de contaminación de un agua.

La información anterior tomada a partir de (Loné-Pérez, 2016a), permite estudiar el impacto sobre el agua, desde diversos ángulos con la intención de adaptar a las realidades locales donde se necesita contar con indicadores de calidad del agua, en función de establecer la integración de las organizaciones comunitarias como entes responsables de promover acciones favorables en favor de constituir una alianza favorable como medida de protección del agua como elemento natural fundamental para la subsistencia de las especies vivas.

1.4. Indicadores de Calidad de agua en ríos

La medición de calidad del agua en ríos tradicionalmente se ha venido realizando en consideración de análisis físico – químicos, sin embargo, este examen se concentra en una determinada zona, siendo considerable extender hasta lograr un registro histórico del río, ante lo cual, Delgado (2020, p. 1), indica que es necesario involucrar los siguientes indicadores:

i) Biológicos

- a) Fitoplancton
- b) Otra flora acuática
- c) Fauna bentónica de invertebrados
- d) Fauna Ictiológica

ii) Hidromorfológicos

- a) Régimen hidrológico
- b) Continuidad del río
- c) Condiciones morfológicas

iii) Químicos y Fisicoquímicos

- a) Transparencia
- b) Condiciones térmicas
- c) Condiciones de Oxigenación
- d) Salinidad
- e) Estado de acidificación
- f) Nutrientes
- g) Contaminantes específicos

Se evidencia la existencia de tres grupos de indicadores, cada uno aporta al estudio de la calidad del agua en ríos, por cuanto el grupo biológico, está conformado por especies vivas cuya presencia o ausencia indican la sanidad o contaminación de un determinado tramo del río, siendo necesario saber medir a partir del comportamiento exteriorizado por los organismos en el ecosistema donde habitan, posibilitando constituirse en alarmas vivas del río, para lo cual es necesario formar a las poblaciones aledañas al río con la intención de que puedan detectar anomalías y avisar a las autoridades correspondientes para tomar acciones pertinentes, según sea el caso presentado.

Por otro lado, los indicadores Hidromorfológicos permiten estudiar las características hidrológicas y geomorfológicas del río, contribuyendo a estudiarlos a partir de la ausencia de alternación humana en comparación con presencia de alteración humana, utilizándose para tal fin, los descriptores para obtener la calificación necesaria para convalidar la calidad del agua presente en el tramo evaluado (Loné-Pérez, 2016b). En ese sentido, uno de los métodos de mayor empleo para evaluar este grupo de

indicadores, se hace referencia al índice de hábitat fluvial (IHF), el cual permite estudiar desde cinco ángulos la calidad del agua, entre las cuales se encuentran:

- i. **Bloque 1: Inclusión rápidos-sedimentación pozas: Inclusión:** Se contabiliza el grado en que las partículas del sustrato están fijadas (hundidas) en el lecho del río. Sedimentación: Consiste en la deposición de material fino en zonas más lénticas del río. La inclusión se mide aguas arriba y en la parte central de rápidos y zonas de piedras, donde no exista una deposición de sedimentos y la distribución de las partículas del sustrato pueda verse con mayor claridad.
- ii. **Bloque 2: Frecuencia de rápidos:** Se hace una estima promedio de la aparición de rápidos con respecto a la presencia de zonas más remansadas. En este apartado se pretende evaluar la heterogeneidad del curso del río. El que se produzca de forma frecuente la alternancia de rápidos con pozas a la escala de tramo fluvial, asegura la existencia de una mayor diversidad de hábitats para la comunidad de organismos acuáticos.
- iii. **Bloque 3: Composición del sustrato:** Para rellenar este apartado se hace una estima visual aproximada de la composición media del sustrato, siguiendo las categorías del RIVPACS (River InVertebrate Prediction And Classification System) (Wright et al., 1984). El diámetro de partícula considerado en las categorías del RIVPACS es el siguiente: Bloques y piedras: > 64 mm. Cantos y gravas: > 64 mm > 2 mm. Arena: 0.6 – 2 mm. Limo y arcilla: < 0.6 mm.
- iv. **Bloque 4: Regímenes de velocidad/profundidad:** La presencia de una mayor variedad de regímenes de velocidad y profundidad proporciona una mayor diversidad de hábitat disponibles para los organismos. Como norma general se considera una profundidad de 0.5 m para distinguir entre profundo y somero y una velocidad de 0.3 m/s para separar rápido de lento.
- v. **Bloque 5: Porcentaje de sombra en el cauce:** Estima, de forma visual, la sombra proyectada por la cubierta vegetal adyacente, que determina la cantidad de luz que alcanza el canal del río e influencia el desarrollo de los productores primarios.
- vi. **Bloque 6: Elementos de heterogeneidad:** Mide la presencia de elementos tales como hojas, ramas, troncos o raíces dentro del lecho del río. Estos elementos

proporcionan el hábitat físico que puede ser colonizado por los organismos acuáticos, a la vez que constituyen una fuente de alimento para los mismos. En este apartado se tendrá en cuenta únicamente la aparición de los elementos indicados. Si no existiesen no se les daría ninguna puntuación.

- vii. **Bloque 7: Cobertura y diversidad de la vegetación acuática:** Mide la cobertura de la vegetación acuática en el cauce fluvial. La mayor diversidad de morfologías en los productores primarios incrementa la disponibilidad de hábitats y de fuentes de alimento para muchos organismos. En la misma medida la dominancia de un grupo sobre el total de la cobertura no debería superar el 50%. Plocon: incluye organismos fijos al sustrato por un extremo -rizoides- en muchos casos desprendidos y flotando, por ejemplo, Cladophora, Zygnematales, Oedogoniales y Briófitos. Pecton: incluye talos aplanados, laminares o esféricos, por ejemplo, Nostoc, Hildenbrandia, Chaetoforales, Rivulariáceas, Fieitos de oscilatorias o Perifiton de diatomeas. Fanerógamas y charales: por ejemplo, especies de los géneros Potamogeton, Ranunculus, Ceratophyllum, Apium, Lemna, Myriophyllum, Zannichellia o Rorippa y Chara Briófitos: incluyen musgos y hepáticas.

La información descriptiva de los 7 bloques anteriores, es tomada literalmente del trabajo de (Jaimez-Cuéllar et al. 2002), contribuyendo en sintetizar la definición y operacionalización de cada uno, con la finalidad de ilustrar al lector a la realización de una medición bajo el protocolo de índice de hábitat fluvial (IHF), con la finalidad de establecer un proceso de medición ajustado a los parámetros internacionales establecidos para tal fin. Así mismo, (Jaimez-Cuéllar et al. 2002), describen otros protocolos que son de conveniencia citar en el presente documento, con el propósito de proveer el material necesario para quienes se inician en el estudio de la temática, en este sentido, se presentan:

Tabla 2:
IBMWP “Iberian Biological Monitoring Working Party”.

Consideraciones previas a tener en cuenta en la aplicación del índice:

Pasos a seguir	Observaciones
<p>1 Selección del área de observación El tramo de río evaluado deberá tener una longitud aproximada de 100 m. Se realizará un recorrido visual a lo largo del tramo a muestrear y se identificarán los diferentes hábitats para macroinvertebrados presentes: zonas lólicas o lentíticas, con macrófitos o no, con raíces o con diferentes tipos de sustratos: arena, limo, etc.</p>	<p>El índice no se deberá aplicar inmediatamente después de una crecida, ni inmediatamente después de un periodo en que el cauce haya estado seco. En ambos casos debe esperarse al menos un mes antes de realizar el muestreo</p>
<p>2 Muestreo de los hábitats Una vez recorrida la zona y localizados los diferentes microhábitats, antes de introducirse en el agua es importante localizar animales esquivos que viven en la superficie como Gyrinidae, Gerridae o Hydrometridae, ya que tratan de huir rápidamente y podrían pasar desapercibidos si se lleva a cabo el muestreo de inmediato. A continuación se muestrearán todos los hábitats presentes con una red de mano de 300 µm* de luz de malla y una boca de entrada de unos 30 cm de diámetro. El muestreo se realizará colocando la malla a contracorriente y removiendo el sustrato aguas arriba de la manga con la mano o el pie, realizando un movimiento zigzagante con la red para que todo el material removido entre a través de ésta. Las piedras deben limpiarse bien dentro de la red o en una batea por ambas caras, así como troncos, raíces, masas de algas, etc.</p>	<p>El muestreo se realiza desde aguas abajo hacia aguas arriba del tramo para evitar que la perturbación haga huir a los animales. Para evitar que al colmatar la red la corriente ayude a los animales a escapar se debe vaciar a menudo el contenido de ésta en bateas de plástico blanco.</p>
<p>3 Identificación de los taxones Se proponen dos protocolos de identificación dependiendo de si se está muestreando una estación de referencia o no. En caso del muestreo de una estación de referencia se realiza un mayor esfuerzo en la identificación de los taxones, ya que se prevé que estas localidades serán muchos más diversas que las de “no referencia”. Además, en estas localidades, se propone la toma de datos de abundancia relativa en laboratorio, para un posible posterior tratamiento de los datos. En caso de que no interese tal tratamiento será suficiente con aplicar el Protocolo I a todas las localidades de muestreo.</p>	
<p>3.1 “Estaciones de no referencia”. Protocolo I. En el campo se toma una batea blanca de plástico y se llena de agua. El contenido de las redadas se deposita en la batea asegurándose de que no queda ningún individuo adherido a la red. Se capturan los diferentes taxones con ayuda de unas pinzas finas o un aspirador entomológico y se van identificando a medida que se localizan en la batea. Los taxones que son dudas y que quedan sin identificar se introducen en un vial con alcohol de 70°. Y el material revisado de la batea es devuelto al río.</p>	<p>El muestreo debe continuar hasta que nuevas redadas no aporten nuevos taxones. La duración de esta operación depende de la experiencia y habilidad del operador. Entre distintos puntos de muestreo se han de lavar bien las bateas y las redes para evitar llevar individuos de unos puntos de muestreo a otros.</p>
<p>* Si la corriente es muy fuerte, utilizar tamaños de malla de 500 µm.</p>	

Fuente: Jaimez-Cuéllar et al. (2002)

Tabla 3.
IBMWP “Iberian Biological Monitoring Working Party”.

Consideraciones previas a tener en cuenta en la aplicación del índice. Continuación.

Pasos a seguir	Observaciones
<p>3.2. “Estaciones de referencia”. Protocolo II.</p> <p>Se procede igual que en el caso anterior pero de cada taxón nos aseguramos capturar al menos de 1-3 individuos, que se introducen en un vial con alcohol de 70°. Todo el material sobrante después de las redadas se introduce en un bote de boca ancha o en una bolsa hermética de plástico y se fija con Formol al 4 %. En el laboratorio se submuestra separando 200 individuos al azar (Bonada <i>et al.</i>, en este volumen) y se revisa la muestra por si algún taxón escaso o críptico no se hubiera detectado en el submuestreo y además hubiese escapado al muestreo de campo. De esta forma se puede obtener sumando los animales separados en campo y los separados en laboratorios un dato semi-cuantitativo que nos permita calcular las abundancias relativas de los distintos taxones.</p>	<p>Dada la elevada toxicidad del formol, la muestra se puede conservar igualmente en alcohol de 70°. En este último caso el volumen de fijador en el bote ha de ser mucho mayor y la muestra no se podrá conservar por mucho tiempo en el laboratorio.</p>
<p>5 Cálculo del índice</p> <p>Para el cálculo del índice se suman las puntuaciones parciales que se obtienen de la presencia de cada familia y de esta forma se obtiene la puntuación global del punto de muestreo. Si en el tramo aparecen más de un individuo de una familia esta sólo puntuará una vez.</p>	

Fuente: Jaimez-Cuéllar et al. (2002).

Tabla 4.
Rangos de calidad del agua según IBMWP.

Estado Ecológico	CALIDAD	IBMWP	Color
Muy Bueno	Buena. Aguas no contaminadas o no alteradas de modo sensible.	≥ 101	Azul
Bueno	Aceptable. Son evidentes algunos efectos de contaminación.	61-100	Verde
Aceptable (=Moderado)*	Dudosa. Aguas contaminadas.	36-60	Amarillo
Deficiente	Crítica. Aguas muy contaminadas.	16-35	Naranja
Malo	Muy crítica. Aguas fuertemente contaminadas	<15	Rojo

* Hay que señalar que en la versión inglesa de la Directiva Marco del agua, se lee “Moderate”, que ha sido traducida al castellano como “Aceptable” en vez de como “Moderado”, indicando que existe una alteración (ver Ortiz, en este volumen)

Fuente: Jaimez-Cuéllar et al. (2002).

A partir de las tablas correspondiente al número 3, se destaca que se constituye en debilidad constituir parámetros estrictos, siendo considerable establecer valores intermedios con la finalidad de alcanzar un parámetro internacional de medición de calidad del agua a partir de la evaluación de los colores establecidos en la tabla 7, brindando un criterio de mayor confiabilidad de las pruebas que se realicen en función del protocolo IBMWP.

Tabla 5:
QBR (índice de calidad del bosque de ribera).

Pasos a seguir	Observaciones
1 Seleccionar el área de observación Se debe escoger un tramo de 100 m de longitud, aguas arriba del punto de muestreo, y se considera toda la anchura potencial del bosque de ribera para calcular el QBR. Se delimitará visualmente la orilla y la ribera (ver dibujo de la hoja de campo de este índice) de la zona riparia. En las <i>estaciones de referencia</i> se considerará el tramo de río que tome los mayores valores de QBR.	Orilla. Zona del cauce inundable en crecidas periódicas en un periodo aproximado de dos años. Ribera. Zona inundable en crecidas de gran magnitud (periodos de hasta 100 años). Pueden estar incluidas varias terrazas aluviales. El índice no es aplicable en las <i>zonas altas de montaña</i> , donde no existe de manera natural vegetación arbórea.
2 Independencia de los bloques a analizar Los cuatro bloques en los que está basado el QBR son totalmente independientes y la puntuación de cada uno de ellos no puede ser negativa ni superior a 25.	
3 Cálculo bloque por bloque En cada bloque se escoge una de las cuatro opciones principales, puntuando 25, 10, 5 ó 0. Solamente se puede escoger una entrada: La que cumpla la condición exigida siempre leyendo de arriba abajo. La puntuación final de cada bloque será modificada por las condiciones expuestas en la parte inferior de cada bloque, tantas veces como se cumpla la condición (sumando o restando).	De las cuatro opciones principales, se escogerá solamente una de ellas. La puntuación final de cada bloque tendrá un 25 como máximo y un 0 como mínimo. Las condiciones se analizarán considerando ambos márgenes del río como una única unidad.
4 Puntuación final La puntuación final será el resultado de la suma de los cuatro bloques, por tanto variará entre 0 y 100.	
5 Nota Los puentes y caminos utilizados para acceder a la estación de muestreo no se tendrán en cuenta para la evaluación del índice QBR. Si es posible, el QBR debería ser analizado aguas arriba y debajo de estos accesos. Otros puentes o carreteras (por ejemplo las paralelas al río) sí que deberán ser consideradas.	Los tramos de ribera cercanos a la zona de acceso al río suelen estar perturbados y pueden hacer disminuir la puntuación. Si es posible, es interesante realizar varios transectos (cada 100-200 m) y evaluar el QBR en un tramo largo para tener una puntuación más representativa de la zona.

Fuente: Jaimez-Cuéllar et al. (2002).

Tabla 6.
Rangos de calidad* según el índice QBR. 197.

Nivel de calidad	QBR	Color representativo
<i>Bosque de ribera sin alteraciones, calidad muy buena, estado natural</i>	≥ 95	Azul
<i>Bosque ligeramente perturbado, calidad buena</i>	75-90	Verde
<i>Inicio de alteración importante, calidad intermedia</i>	55-70	Amarillo
<i>Alteración fuerte, mala calidad</i>	30-50	Naranja
<i>Degradación extrema, calidad pésima</i>	≤ 25	Rojo

* Los rangos de calidad son provisionales, están sujetos a revisión en la segunda fase del proyecto GUADALMED.

Fuente: Jaimez-Cuéllar et al. (2002).

Una de las ventajas que tiene el aplicar el índice QBR, es que permite a los evaluadores mapear las riberas del ribero con la finalidad de diseñar planes o estrategias para el abordaje de los ecosistemas riparios, con lo cual se contribuye a fortalecer el mapeo preventivo de los ríos del país. Siendo catalogado como un índice fácil de aplicar, económico y con la importancia de aportar datos confiables (Rodríguez-Téllez et al. 2012).

La clasificación de Rosgen, es otro de los índices o protocolos de evaluación mencionados por (Loné-Pérez, 2016b), el cual permite identificar de forma sucinta los tramos fluviales internos y sus características homogéneas, combinando, además, cauce y valle a partir de evaluaciones topográficas que discurren en el mapeo planteado para la evaluación del cauce. En **la figura 2, se aprecia la clasificación de Rosgen.**

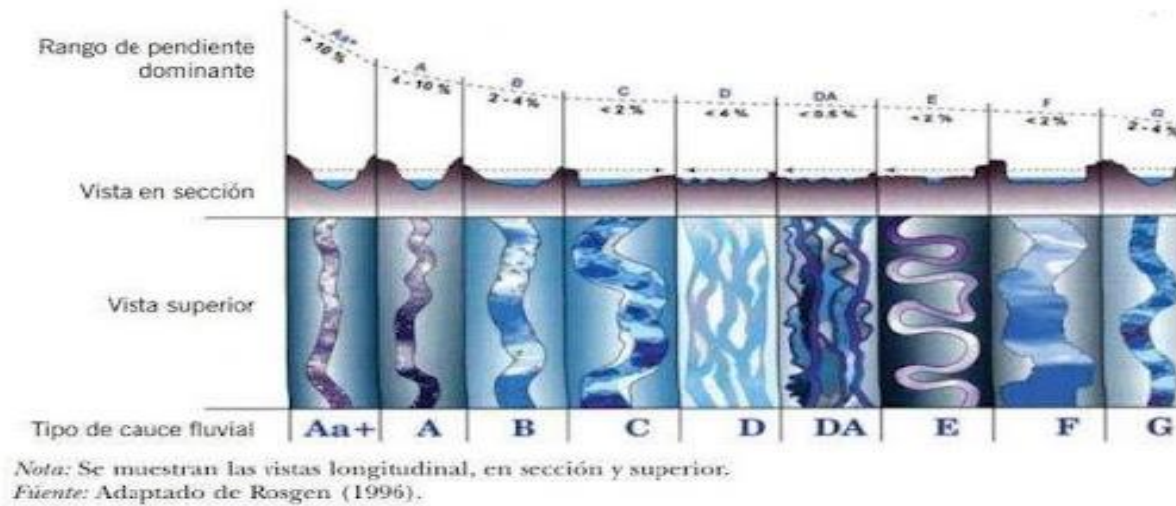


Figura 2. Clasificación de Rosgen.

Fuente: Martín (2020).

Otro protocolo a tener en consideración, en el denominado Riparian Forest Evaluation (RFV), el cual valora la calidad ambiental de las riberas del río, así como sus ecosistemas, espacio de vegetación asociada al río, siendo necesario un exhaustivo estudio de la vegetación con mayor intensidad que otros protocolos, esto con la finalidad de establecer mayor credibilidad de los resultados obtenidos, en la figura 7, se evidencia los criterios de evaluación de este protocolo.

Tabla 7.
Riparian Forest Evaluation (RFV).

ÍNDICE RFV PARA LA VALORACIÓN DEL ESTADO DEL BOSQUE DE RIBERA				
Estado excelente	Estado bueno	Estado moderado	Estado deficiente	Estado malo
Abundancia de ejemplares jóvenes de las especies arbóreas y arbustivas, tanto en el bosque consolidado como en los espacios abiertos del cauce (barras, islas, etc.)	Presencia de ejemplares jóvenes de las especies arbóreas y arbustivas, tanto en el bosque consolidado como en los espacios abiertos del cauce (barras, islas, etc.)	Presencia puntual de ejemplares jóvenes, condicionada por una dinámica artificial del cauce, o por actividades antrópicas	Inexistencia de ejemplares jóvenes, condicionada por una dinámica artificial del cauce, o por actividades antrópicas.	Sólo existen pies extramaduros y con problemas fitopatológicos.
Puntuación: 5	Puntuación: 4	Puntuación: 3	Puntuación: 2	Puntuación: 1

Estado	Color
Muy bueno – el bosque de ribera tiene una continuidad longitudinal y transversal casi total, su regeneración está asegurada y su composición y estructura atienden a las características de un bosque de gran valor ecológico.	Azul
Bueno – el bosque de ribera tiene una continuidad longitudinal y transversal elevada, presenta regeneración, y su composición y estructura muestran un notable valor ecológico	Verde
Moderado – el bosque de ribera presenta una cierta alteración de la continuidad longitudinal y transversal, su regenerado es escaso, o bien su composición y estructura responden a una cierta antropización.	Amarillo
Pobre – el bosque de ribera cuenta con una apreciable alteración de la continuidad longitudinal y transversal, el regenerado es prácticamente inexistente, o bien la composición y estructura muestran evidentes signos de artificialidad.	Naranja
Malo – el bosque de ribera presenta una notable alteración de la continuidad longitudinal y transversal, el bosque no tiene regeneración natural, o bien su composición y estructura evidencian una falta completa de valor ecológico.	Rojo

Fuente: Magdaleno et al. (2010).

La incorporación del bosque ripario en la evaluación de la calidad del agua, permite analizar el contexto del río, prevenir de la mano de los pobladores cercanos, una planificación de actividades de prevención con la intención de evitar la acumulación de vegetación y desechos innecesarios para el libre desenvolvimiento del caudal, evitándose tragedias que puedan interferir en el sano desenvolvimiento de los ecosistemas riparios y humanos alrededor de las riberas.

1.5. Planes y protocolos de monitoreo de la calidad del agua

Los planes y protocolos de monitoreo de la calidad del agua, se constituyen por ser planes de seguimiento para el control en tiempo y espacio de los diversos indicadores empleados, de ese modo, los organismos y comunidades organizadas, pueden establecer alianzas y desarrollar planes estratégicos para el trabajo en conjunto, el cual contribuya al fortalecimiento de una visión preventiva en pro de la calidad de vida

de las especies vivas, así como también se pueden emplear estrategias para el cumplimiento de objetivos sostenibles como parte de una política.

Características de los planes y protocolos de monitoreo de la calidad del agua

- i. Caracterizar la calidad del agua e identificar los cambios o tendencias en el tiempo.
- ii. Identificar los problemas de calidad del agua específicos existentes o emergentes.
- iii. Reunir información para diseñar programas específicos de prevención o remediación de la contaminación.
- iv. Determinar si las metas de un programa de reducción de la contaminación como el cumplimiento de los reglamentos o la implementación de acciones efectivas de control de la contaminación se están cumpliendo o están siendo efectivas.
- v. Responder a situaciones de emergencia, tales como derrames e inundaciones. (Información tomada de Aguas Urbanas, 2018).

Es necesario construir planes estratégicos de abordaje de medición de la calidad de agua en ríos, embalses; esto asegura el establecimiento de políticas públicas en donde se tiene el agua no solo como un vital líquido, sino, como parte de la seguridad nacional, dado que es un elemento estratégico para el desarrollo del país, por cuanto contar con agua saneada permite tener una población humana y animal sana, vegetación propicia para diversificar la agroecología como elemento de producción de alimentos, proyectándose una soberanía alimentaria en capacidad de evitar exportaciones innecesarias, siendo el ahorro obtenido de este renglón, propicio para ser invertidos en planes de crecimiento social – cultural en la nación, en la figura 6, se ilustra un ejemplo de plan para la calidad del agua.

Tabla 8:
Plan de desarrollo nacional 2017-2021.

PLAN NACIONAL DE DESARROLLO 2017 – 2021	
Objetivo	Política Pública
Objetivo 1: Garantizar una vida digna con igual oportunidades para todas las personas.	1.8. Garantizar el acceso a una vivienda adecuada y digna, con pertinencia cultural y a un entorno seguro, que incluya la provisión y calidad de los bienes y servicios públicos vinculados al hábitat: suelo, energía, movilidad, transporte, agua y saneamiento, calidad ambiental, espacio público seguro y recreación.
	1.17. Garantizar el acceso, uso y aprovechamiento justo, equitativo y sostenible del agua; la protección de sus fuentes; la universalidad, disponibilidad, y calidad para el consumo humano, saneamiento para todos y desarrollo de sistemas integrales de riego.
Objetivo 3: Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones.	3.1. Conservar, recuperar y regular el aprovechamiento del patrimonio natural y social, rural y urbano, continental, insular y marino-costero, que asegure y precautele los derechos de las presentes y futuras generaciones.
	3.2. Distribuir equitativamente el acceso al patrimonio natural, así como los beneficios y riqueza obtenidos por su aprovechamiento
	y promover la gobernanza sostenible de los recursos naturales renovables y no renovables.
	3.8. Promover un proceso regional de protección y cuidado de la Amazonía, como la mayor cuenca hidrográfica del mundo.
Objetivo 6: Desarrollar las capacidades productivas y del entorno para lograr la soberanía alimentaria y el desarrollo rural integral.	6.2. Promover la redistribución de tierras y el acceso equitativo a los medios de producción, con énfasis en agua y semillas, así como el desarrollo de infraestructura necesaria para incrementar la productividad, el comercio, la competitividad y la calidad de la producción rural, considerando las ventajas competitivas y comparativas territoriales.
	6.6. Fomentar en zonas rurales el acceso a servicios de salud, educación, agua segura, saneamiento básico, seguridad ciudadana, protección social rural y vivienda, con pertinencia territorial y de calidad; así como el impulso a la conectividad y viabilidad nacional.
Objetivo 7: Incentivar una sociedad participativa, con un Estado cercano al servicio de la ciudadanía.	7.6. Mejorar la calidad de las regulaciones y simplificación de trámites para aumentar su efectividad en el bienestar económico, político, social y cultural.
	7.7. Democratizar la prestación de servicios públicos territorializados, sostenibles y efectivos, de manera equitativa e incluyente, con énfasis en los grupos de atención prioritaria y poblaciones en situación de vulnerabilidad, en corresponsabilidad entre el Estado y la sociedad.

Fuente: ARCA, 2018.

CAPÍTULO II

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL AGUA

Uno de los recursos vitales e indispensables para preservar la vida es el recurso hídrico, el cual se ha visto afectado por el crecimiento industrial y la sobrepoblación, los cuales provocan varios tipos de contaminación y polución en los sistemas acuáticos. Muchos de los elementos químicos del agua y sus compuestos que existían en forma natural, han sufrido alteraciones en sus concentraciones y sumado a la contaminación de agrotóxicos y metales traen como consecuencia aguas alteradas dañinas para la salud del consumidor. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) los agentes patógenos transmitidos por el agua constituyen una dificultad de salud ambiental, frente a esta problemática existe una demanda urgente de control mediante la implementación de medidas de protección ambiental y de saneamiento, a fin de evitar el incremento de la prevalencia de las enfermedades relacionadas con la calidad del agua de acuerdo a su procedencia y almacenamiento, considerando el coste beneficio y su efectividad. Por ello es necesario el conocimiento de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua de consumo para cumplir con las exigencias de la entidad reguladora (Brouset et al., 2018).

Varios países enfrentan el desafío de la degradación de la calidad de agua provocado principalmente por las interferencias antrópicas. En los reservorios brasileiros el problema se ha incrementado considerablemente, afectando el balance ecológico, aumentando la vulnerabilidad ambiental, y comprometiendo la calidad de los recursos hídricos en el país. En el Perú no se ha dado mucha importancia al estudio de la contaminación de aguas, especialmente de reservorios, tanques o cisternas que son las vías de distribución directa para los habitantes, encontrándose casos aislados como la investigación que revela el estudio microbiológico de agua provenientes de pozos en zonas rurales de diez zonas de Lima, encontrando un 92,86% de coliformes totales; 92,86% de coliformes fecales (termotolerantes) y 42,86% de bacterias heterotróficas, concluyendo en aguas inaptas para el consumo humano (Brouset et al., 2018).

Las características fisicoquímica y microbiológica del agua, son necesarias de tener en consideración al momento de evaluar la calidad del agua, tanto en ríos, embalses, represas, agua potable para el consumo humano, agua para el consumo vegetal, agua

para riego, aguas servidas, entre otras; por cuanto esto permite cotejar si es apta para ser usada según la finalidad para la cual ha sido destinada, o no es apta para tal fin. De ese modo, se hace necesario contar con los laboratorios e instrumentos pertinentes para el procesamiento de análisis que contribuyan a identificar las características del agua, pero esta acción debe ser complementada con la lectura correcta de los resultados, por parte del personal calificado con el objetivo de orientar al uso o no del agua.

Otra importancia que tiene la realización de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua es que, con ellos, se orienta el correcto diseño de planes estratégicos para el sostenimiento de cuencas, embalses, vías de transmisión de agua potable a los hogares; debido que solo una acción guiada por la visión científica, se podrá establecer los parámetros necesarios para configurar la preservación del agua.

En ese sentido, a continuación, se presentan subtemas que contribuyen a configurar el aprendizaje de las características fisicoquímica y microbiológica del agua, esto con el propósito de contar con una guía accesible, organizada, la cual podrá ser empleada con el fin de vincular a la universidad con la sociedad, por medio de proyectos donde intervengan para el trabajo cooperativo en favor de preservar el agua para el uso humano y demás especies vivas del planeta.

2.1. Características microbiológicas del agua

Las Características microbiológicas del agua se circunscriben a parámetros e indicadores establecidos internacionalmente donde se comparan o se detectan si existen bacterias o propiedades contaminantes, indicando que no es propicia su consumo, debido que causaría enfermedades al humano o demás especies vivas, incluso es necesario tener en consideración la no existencia de agentes químicos, debido que podría contaminar los cultivos, cotejándose una cadena de contaminación a través de alimentos.

Como dato se tiene que la identificación de parámetros en el agua, se refiere a bacterias coliformes totales y fecales, enterococos fecales, *Clostridium perfringens* y la presencia de microorganismos viables a 37°C y a 22°C, esto con la intención de identificar la presencia de heces en el agua, los cuales podrían ser diagnosticado

desde un proveedor humano o animal (Coelho & Pinheiro, 2016). Siendo muy importante tener en cuenta este análisis a la hora de evaluar la calidad del agua, debido que esto contribuye a detectar focos de contaminación, así como evitar el consumo de organismos que afecten la salud pública. La tabla 9, muestra algunos indicadores a ser tenidos en consideración a la hora de evaluar los parámetros fisicoquímicos en agua residuales del café.

Tabla 9:
Parámetros fisicoquímicos en agua residuales del café.

Característica	Fermentación 24 horas (M1)	Fermentación 14 horas (M2)
pH	4,025 ± 0,035 ^a	3,995 ± 0,021 ^a
Conductividad (µS/cm)	3,035 ± 0,035 ^a	1990,00 ± 0,00 ^b
Oxígeno disuelto (mg/L)	1,25 ± 0,070 ^a	3,05 ± 0,070 ^b
Cromo (mg/L)	< 0,02	
Amonio (mg/L)	< 0,1	
Nitrógeno total (mg/L)	135	65,00
DQO (mg/L)	> 1500	
Sólidos volátiles (g/L)	26,41 ± 0,028 ^a	9,925 ± 0,063 ^b
Sólidos minerales (g/L)	3,29 ± 0,070 ^a	1,015 ± 0,120 ^b
Sólidos totales (g/L)	29,705 ± 0,091 ^a	10,945 ± 0,063 ^b
Acidez volátil (mg ácido acético/L)	90	60,00
Cloruros (mg/L)	20 ± 1,2 ^a	18,00 ± 0,99 ^a
Fósforo soluble (mg/L)	15,157 ± 0,88 ^a	7,557 ± 1,31 ^b
Color (ΔE)	8,11	11,48

Fuente: Torres-Valenzuela et al. (2018).

La tabla 10, permite identificar elementos a tener en consideración para efectuar un análisis fisicoquímico acorde con aguas residuales producto del procesamiento del café, lo cual indica la posibilidad de analizar el agua en diversos contextos con la intención de estudiar su reutilización en procesos alternativos como su empleo para riego o para uso de sanitarios, así como otros subprocesos propios de la industria del café, el cual no será tocado o profundizado en la presente documentación, por cuanto, lo que se pretende es resaltar la importancia de analizar el agua para ser usada favorablemente como primera o segunda fuente para el beneficio de los seres vivos. Por otro lado, (Cervantes-Zepeda et al. 2011), muestran la importancia de ejecutar mecanismos alternativos para la filtración de organismos contrario a la salubridad del agua, en este caso a través de un reactor donde se almacenan los microorganismos

fecales, se evita su paso al agua que va a ser empleada con fines de riego o para uso urbano donde se emplea agua no potable, situación que contribuye a promover una cultura de ahorro del agua. En la tabla 10, se presentan las características del agua.

Tabla 10.
Características físicas del agua.

Característica física	Descripción
Color	<p>Esta característica del agua puede estar ligada a la turbidez o presentarse independiente de ella. Aún no es posible establecer las estructuras químicas fundamentales de las especies responsables del color, se atribuye comúnmente a la presencia de taninos, lignina, ácidos húmicos, ácidos grasos, ácidos fúlvicos, etc. Se considera que el color natural del agua puede originarse por las siguientes causas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • la descomposición de la materia; • la materia orgánica del suelo; • la presencia de hierro, manganeso y otros compuestos metálicos <p>En la formación del color en el agua intervienen, entre otros factores, el pH, la temperatura, el tiempo de contacto, la materia disponible y la solubilidad de los compuestos coloreados.</p>
Olor y sabor	<p>El sabor y el olor están estrechamente relacionados y constituyen el motivo principal de rechazo por parte del consumidor. La falta de olor puede ser un indicio indirecto de la ausencia de contaminantes, tales como los compuestos fenólicos, por otra parte, la presencia de olor a</p>

	<p>sulfuro de hidrógeno puede indicar una acción séptica de compuestos orgánicos en el agua.</p> <p>Las sustancias generadoras de olor y sabor en aguas crudas pueden ser o compuestos orgánicos derivados de la actividad de microorganismos y algas, o provenir de descargas de desechos industriales.</p>
Temperatura	<p>Es uno de los parámetros físicos más importantes, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración.</p> <p>Existen múltiples factores, que principalmente son ambientales, pueden hacer que la temperatura del agua varíe.</p>
pH	<p>El pH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución. Aunque podría decirse que no tiene efectos directos sobre la salud, sí puede influir en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección. Por lo general, las aguas naturales (no contaminadas) exhiben un pH en el rango de 6 a 9.</p> <p>Cuando se tratan aguas ácidas, es común la adición de un álcali (por lo general, cal) para optimizar los procesos de coagulación. En el tratamiento del agua de consumo, se requerirá</p>

	volver a ajustar el pH del agua hasta un valor que no le confiera efectos corrosivos ni incrustantes.
Turbidez	<p>Es originada por las partículas en suspensión o coloides. Es decir, causada por las partículas que, por su tamaño, se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado. La medición de la turbidez se realiza mediante un turbidímetro o nefelómetro, siendo la unidad utilizada la unidad nefelométrica de turbidez (UNT).</p> <p>Aunque no se conocen sus efectos directos sobre la salud, esta afecta la calidad estética del agua, lo que muchas veces ocasiona el rechazo de los consumidores. Por otra parte, se ha demostrado que, en el proceso de eliminación de organismos patógenos, por la acción de agentes químicos como el cloro, las partículas causantes de la turbidez reducen la eficiencia del proceso y protegen físicamente a los microorganismos del contacto directo con el desinfectante. Por esta razón, si bien las normas de calidad establecen un criterio para turbidez, esta debe mantenerse mínima para garantizar la eficacia del proceso de desinfección.</p>

Fuente: Pradillo (2016).

Las diversas características físicas del agua, permiten tener claridad a la hora de ser analizada y presentada para el consumo humano o de especies vivas, proyectándose la generación de un consumo saludable en apariencia y contenido, proyectándose un proceso de prevención de la salud pública, seguridad nacional como parte de la soberanía, articulada entre los diversos organismos oficiales y privados que hacen vida en el país.

Para que el agua sea destinada a la provisión de agua potable, debe ser tratada para eliminar los elementos biológicos que contiene. Las aguas poseen en su constitución una gran variedad de elementos biológicos, desde microorganismos hasta peces, entre ellos algas, bacterias hongos mohos y levaduras. Este microorganismo pernicioso para la salud dificulta el consumo del agua potable para los seres humanos. En ese sentido, en la tabla 11, se presentan las características biológicas del agua.

Tabla 11.
Características biológicas del agua.

Organismo	Descripción
Algas	Contienen fundamentalmente clorofila necesaria para las actividades fotosintéticas y por lo tanto necesitan la luz solar para vivir y reproducirse. La mayor concentración se da en los lagos, lagunas, embalses, remansos de agua y con menor abundancia en las corrientes de agua superficiales. Las algas a menudo tienen pigmentos que pueden colorear el agua.
Bacterias	Las que se pueden encontrar en el agua son de géneros muy numerosos, pero las patógenas para el hombre son las bacterias coliformes y los estreptococos, que se utilizan como índice de contaminación fecal.

Hongos, mohos y levaduras	Pertenecen al grupo de bacterias, pero no contienen clorofila y en general son incoloras. Todos estos organismos son heterótrofos y en consecuencia dependen de la materia orgánica para su nutrición.
----------------------------------	--

Fuente: Pradillo, 2016.

Se presentan los agentes biológicos presentes en el agua, los cuales en primera instancia no pueden ser consumidas por el humano, siendo considerable tratar el agua hasta lograr ser potable y apta para el consumo. Sin embargo, el agua al estar en condiciones naturales en su hábitat (embalses, ríos), necesitan de estos organismos para lograr el equilibrio necesario con la finalidad de auto protegerse de factores que alteren sus características, así como esta presencia permite analizar la calidad del agua.

2.2. Características fisicoquímicas del agua

Las características químicas presentes en el contenido del agua, permiten analizar la calidad de la misma, es así que el déficit de alguno o varios de estos elementos, permite involucrar procesos para la potabilización del líquido y así, promover la calidad del agua para beneficiar a la comunidad como parte de un aporte a la generación de salud pública. De ese modo, en la tabla 12, se presentan las características químicas del agua.

Tabla 12.
Características físico química del agua.

Característica química	Descripción
Aluminio	Es un componente natural del agua, debido principalmente a que forma parte de la estructura de las arcillas. Puede estar presente en sus formas solubles o en sistemas coloidales, responsables de la turbidez del agua. El problema mayor lo constituyen las aguas que presentan concentraciones altas de aluminio, las cuales confieren al agua un pH bajo.
Mercurio	Se considera al mercurio un contaminante no deseable del agua, ya que es un metal pesado muy tóxico para el hombre. En el agua, se encuentra principalmente en forma inorgánica, que puede pasar a compuestos orgánicos por acción de los microorganismos presentes en los sedimentos. De estos, puede trasladarse al plancton, a las algas y, sucesivamente, a los organismos de niveles tróficos superiores como peces, aves rapaces e incluso al hombre.
Plomo	Prácticamente no existe en las aguas naturales superficiales, pudiendo detectarse su presencia en algunas aguas subterráneas. Su presencia en aguas superficiales generalmente proviene es consecuencia de vertidos industriales. En instalaciones antiguas, la mayor fuente de plomo en el agua de bebida proviene de las tuberías de abastecimiento y de las uniones de plomo. Si el agua es ácida, puede liberar gran cantidad de

	plomo de las tuberías, principalmente en aquellas en las que el líquido permanece estancado por largo tiempo.
Hierro	Por lo general, no produce trastornos en la salud en las proporciones en que se lo encuentra en las aguas naturales. La presencia de hierro puede afectar el sabor del agua. También puede formar depósitos en las redes de distribución y causar obstrucciones, así como alteraciones en la turbidez y el color del agua. Tiene gran influencia en el ciclo de los fosfatos, lo que hace que su importancia sea muy grande desde el punto de vista biológico.
Fluoruro	Elemento esencial para la nutrición del hombre. Su presencia en el agua de consumo a concentraciones adecuadas combate la formación de caries dental, principalmente en los niños. Sin embargo, si la concentración de fluoruro en el agua es alta, podría generar “fluorosis” y dañar la estructura ósea, los efectos tóxicos ocurren con concentraciones excesivamente altas.
Cobre	En el agua potable puede existir debido a la corrosión de las cañerías de viviendas, la erosión de depósitos naturales y el percolado de conservantes de madera, también, por el sulfato de cobre que se aplica para controlar las algas en plantas de potabilización. En concentraciones muy altas la presencia de cobre da un sabor muy desagradable al agua.

Cloruro	En el agua potable, su presencia se debe al agregado de cloro en las estaciones de tratamiento como desinfectante. El cloruro, en forma de ion Cl^- , es uno de los aniones inorgánicos principales en el agua, sin embargo, en altas concentraciones puede tener un sabor salado fácilmente detectable si el anión está asociado a los cationes sodio o potasio, pero el sabor no es apreciable si la sal disuelta es cloruro de calcio o magnesio, ya que en estos casos el sabor salado no se aprecia. A partir de ciertas concentraciones, los cloruros pueden ejercer una acción corrosiva y erosionante, en especial a pH bajo.
Sulfatos	Son un componente natural de las aguas superficiales y, en general, no se encuentran en concentraciones que puedan afectar a su calidad, pueden provenir de la oxidación de los sulfuros existentes en el agua. Los sulfatos de calcio y magnesio contribuyen a la dureza del agua. Un alto contenido de sulfatos puede proporcionar sabor amargo al agua y podría tener un efecto laxante, sobre todo cuando se encuentra presente el magnesio. Cuando el sulfato se encuentra en concentraciones excesivas le confiere propiedades corrosivas.
Nitritos y nitratos	Las concentraciones altas de nitratos generalmente se encuentran en el agua en zonas rurales por la descomposición de la materia orgánica y los fertilizantes utilizados. Si

	<p>un recurso hídrico recibe descargas de aguas residuales domésticas, el nitrógeno estará presente como nitrógeno orgánico amoniacal, el cual, en contacto con el oxígeno disuelto, se irá transformando por oxidación en nitritos y nitratos. Este proceso de nitrificación depende de la temperatura, del contenido de oxígeno disuelto y del pH del agua.</p> <p>El ion nitrito es menos estable que el ion nitrato. Es muy reactivo y puede actuar como agente oxidante y reductor, por lo que solo se encuentra en cantidades apreciables en condiciones de baja oxigenación. Esta es la causa de que los nitritos se transformen rápidamente en nitratos y que, generalmente, estos últimos predominen en las aguas, tanto superficiales como subterráneas. Esta reacción de oxidación se puede efectuar en los sistemas biológicos y también por factores abióticos.</p>
--	--

Fuente: Pradillo, 2016.

Las características fisicoquímicas permiten establecer que óptima se encuentra el agua para ser consumida, de ese modo, se establece el criterio de considerarla como de calidad para su consumo, por lo tanto, no existe una referencia universal sobre en qué, condiciones químicas debe contener el agua, sino, la posibilidad de ser consumida sin perjudicar la salud de la población, siendo así de calidad para establecer acciones favorables par su consumo.

De la misma manera, es importante señalar lo referente a las propiedades físicas del agua; en ese sentido se puede afirmar que el agua es un líquido en el rango de temperaturas y presiones más adecuado para las formas de vida conocidas: a la presión de 1 atm, el agua es líquida entre las temperaturas de 273,15 K (0 °C) y

373,15 K (100 °C). Los valores para el calor latente de fusión y de vaporización son de 0,334 kJ/g y 2,23 kJ/g respectivamente. Al aumentar la presión, disminuye ligeramente el punto de fusión, que es de aproximadamente -5 °C a 600 atm y -22 °C a 2100 atm. Este efecto es el causante de la formación de los lagos subglaciales de la Antártida y contribuye al movimiento de los glaciares. A presiones superiores a 2100 atm el punto de fusión vuelve a aumentar rápidamente y el hielo presenta configuraciones exóticas que no existen a presiones más bajas.

Las diferencias de presión tienen un efecto más dramático en el punto de ebullición, que es aproximadamente 374 °C a 220 atm, mientras que, en la cima del Monte Everest, donde la presión atmosférica es de alrededor de 0,34 atm, el agua hierve a unos 70 °C. El aumento del punto de ebullición con la presión se puede presenciar en las fuentes hidrotermales de aguas profundas, y tiene aplicaciones prácticas, como las ollas a presión y motores de vapor. La temperatura crítica, por encima de la cual el vapor no puede licuarse al aumentar la presión es de 373,85 °C (647,14 K). A presiones por debajo de 0,006 atm, el agua no puede existir en el estado líquido y pasa directamente del sólido al gas por sublimación, fenómeno explotado en la liofilización de alimentos y compuestos. A presiones por encima de 221 atm, los estados de líquido y de gas ya no son distinguibles, un estado llamado agua supercrítica. En este estado, el agua se utiliza para catalizar ciertas reacciones y tratar residuos orgánicos.

La densidad del agua líquida es muy estable y varía poco con los cambios de temperatura y presión. A la presión de una atmósfera, la densidad mínima del agua líquida es de 0,958 kg/l, a los 100 °C. Al bajar la temperatura, aumenta la densidad constantemente hasta llegar a los 3,8 °C donde alcanza una densidad máxima de 1 kg/l. A temperaturas más bajas, a diferencia de otras sustancias, la densidad disminuye. A los 0 °C, el valor es de 0,9999 kg/l; al congelarse, la densidad experimenta un descenso más brusco hasta 0,917 kg/l, acompañado por un incremento del 9 % en volumen, lo que explica el hecho de que el hielo flote sobre el agua líquida.

El agua como tal no tiene olor, ni color ni sabor, sin embargo, el agua en la Tierra contiene minerales y sustancias orgánicas en disolución que le pueden aportar

sabores y olores más o menos detectables según la concentración de los compuestos y la temperatura del agua. El agua puede tener un aspecto turbio si contiene partículas en suspensión. La materia orgánica presente en el suelo, como los ácidos húmicos y fúlvicos, también imparte color, así como la presencia de metales, como el hierro. En la ausencia de contaminantes, el agua líquida, sólida o gaseosa apenas absorbe la luz visible, aunque en el espectrógrafo se prueba que el agua líquida tiene un ligero tono azul verdoso. El hielo también tiende al azul turquesa. El color que presentan las grandes superficies de agua es en parte debido a su color intrínseco, y en parte al reflejo del cielo. Por el contrario, el agua absorbe fuertemente la luz en el resto del espectro, procurando protección frente a la radiación ultravioleta.

En ese mismo orden de ideas, es importante destacar las propiedades químicas del agua, dentro cual están las siguientes: 1. Reacciona con los óxidos ácidos: Los anhídridos u óxidos ácidos reaccionan con el agua y forman ácidos oxácidos.

2. Reacciona con los óxidos básicos: Los óxidos de los metales u óxidos básicos reaccionan con el agua para formar hidróxidos. Muchos óxidos no se disuelven en el agua, pero los óxidos de los metales activos se combinan con gran facilidad.

3. Reacciona con los metales: Algunos metales descomponen el agua en frío y otros lo hacían a temperatura elevada.

4. Reacciona con los no metales: El agua reacciona con los no metales, sobre todo con los halógenos, por ej: Haciendo pasar carbón al rojo sobre el agua se descompone y se forma una mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno (gas de agua).

5. Se une en las sales formando hidratos: El agua forma combinaciones complejas con algunas sales, denominándose hidratos.

En algunos casos los hidratos pierden agua de cristalización cambiando de aspecto, y se dice que son eflorescentes, como le sucede al sulfato cúprico, que cuando está hidratado es de color azul, pero por pérdida de agua se transforma en sulfato cúprico anhidro de color blanco. Por otra parte, hay sustancias que tienden a tomar el vapor de agua de la atmósfera y se llaman hidrófilas y también higroscópicas; la sal se dice entonces que deliquesce, tal es el caso del cloruro cálcico.

El agua como compuesto químico:

Habitualmente se piensa que el agua natural que conocemos es un compuesto químico de fórmula H_2O , pero no es así, debido a su gran capacidad disolvente toda el agua que se encuentra en la naturaleza contiene diferentes cantidades de diversas sustancias en solución y hasta en suspensión, lo que corresponde a una mezcla.

El agua químicamente pura es un compuesto de fórmula molecular H_2O . Como el átomo de oxígeno tiene sólo 2 electrones no apareados, para explicar la formación de la molécula H_2O se considera que de la hibridación de los orbitales atómicos 2s y 2p resulta la formación de 2 orbitales híbridos sp^3 . El traslape de cada uno de los 2 orbitales atómicos híbridos con el orbital 1s1 de un átomo de hidrógeno se forman dos enlaces covalentes que generan la formación de la molécula H_2O , y se orientan los 2 orbitales sp^3 hacia los vértices de un tetraedro triangular regular y los otros vértices son ocupados por los pares de electrones no compartidos del oxígeno.

Esto cumple con el principio de exclusión de Pauli y con la tendencia de los electrones no apareados a separarse lo más posible. Experimentalmente se encontró que el ángulo que forman los 2 enlaces covalentes oxígeno-hidrógeno es de 105° y la longitud de enlace oxígeno-hidrógeno es de 0.96 angstroms y se requiere de 118 kcal/mol para romper uno de éstos enlaces covalentes de la molécula H_2O . Además, el que el ángulo experimental de enlace sea menor que el esperado teóricamente (109°) se explica como resultado del efecto de los 2 pares de electrones no compartidos del oxígeno que son muy voluminosos y comprimen el ángulo de enlace hasta los 105° .

Las fuerzas de repulsión se deben a que los electrones tienden a mantenerse separados al máximo (porque tienen la misma carga) y cuando no están apareados también se repelen (principio de exclusión de Pauli). Además, núcleos atómicos de igual carga se repelen mutuamente. Las fuerzas de atracción se deben a que los electrones y los núcleos se atraen mutuamente porque tienen carga opuesta, el espín opuesto permite que 2 electrones ocupen la misma región, pero manteniéndose alejados lo más posible del resto de los electrones. La estructura de una molécula es el resultado neto de la interacción de las fuerzas de atracción y de repulsión (fuerzas intermoleculares), las que se relacionan con las cargas eléctricas y con el espín de los electrones.

De acuerdo con la definición de ácido y álcali de Brönsted-Lowry, los 2 pares de electrones no compartidos del oxígeno en la molécula H_2O le proporcionan características alcalinas. Los 2 enlaces covalentes de la molécula H_2O son polares porque el átomo de oxígeno es más electronegativo que el de hidrógeno, por lo que esta molécula tiene un momento dipolar electrostático igual a 6.13×10^{-30} (coulombs)(angstrom), lo que también indica que la molécula H_2O no es lineal, H-O-H. El agua es un compuesto tan versátil principalmente debido a que el tamaño de su molécula es muy pequeño, a que su molécula es buena donadora de pares de electrones, a que forma puentes de hidrógeno entre sí y con otros compuestos que tengan enlaces como: N-H, O-H y F-H, a que tiene una constante dieléctrica muy grande y a su capacidad para reaccionar con compuestos que forman otros compuestos solubles.

Difusión

Proceso mediante el cual ocurre un flujo de partículas (átomos, iones o moléculas) de una región de mayor concentración a una de menor concentración, provocado por un gradiente de concentración. Si se coloca un terrón de azúcar en el fondo de un vaso de agua, el azúcar se disolverá y se difundirá lentamente a través del agua, pero si no se remueve el líquido pueden pasar semanas antes de que la solución se aproxime a la homogeneidad.

Ósmosis

Fenómeno que consiste en el paso del solvente de una solución de menor concentración a otra de mayor concentración que las separe una membrana semipermeable, a temperatura constante. En la ósmosis clásica, se introduce en un recipiente con agua un tubo vertical con el fondo cerrado con una membrana semipermeable y que contiene una disolución de azúcar. A medida que el agua pasa a través de la membrana hacia el tubo, el nivel de la disolución de azúcar sube visiblemente. Una membrana semipermeable idónea para este experimento es la que existe en el interior de los huevos, entre la clara y la cáscara.

En este experimento, el agua pasa en ambos sentidos a través de la membrana, pasa más cantidad de agua hacia donde se encuentra la disolución concentrada de azúcar, pues la concentración de agua es mayor en el recipiente con agua pura; o lo que es lo mismo, hay en ésta menos sustancias diluidas que en la disolución de azúcar. El nivel del líquido en el tubo de la disolución de azúcar se elevará hasta que la presión hidrostática iguale el flujo de moléculas de disolvente a través de la membrana en ambos sentidos. Esta presión hidrostática recibe el nombre de presión osmótica. Numerosos principios de la física y la química intervienen en el fenómeno del ósmosis en animales y plantas.

Capilaridad.

Es el ascenso o descenso de un líquido en un tubo de pequeño diámetro (tubo capilar), o en un medio poroso (por ej. Un suelo), debido a la acción de la tensión superficial del líquido sobre la superficie del sólido. Este fenómeno es una excepción a la ley hidrostática de los vasos comunicantes, según la cual una masa de líquido tiene el mismo nivel en todos los puntos; el efecto se produce de forma más marcada en tubos capilares, es decir, tubos de diámetro muy pequeño. La capilaridad, o acción capilar, depende de las fuerzas creadas por la tensión superficial y por el mojado de las paredes del tubo. Si las fuerzas de adhesión del líquido al sólido (mojado) superan a las fuerzas de cohesión dentro del líquido (tensión superficial), la superficie del líquido será cóncava y el líquido subirá por el tubo, es decir, ascenderá por encima del nivel hidrostático. Este efecto ocurre por ejemplo con agua en tubos de vidrio limpios. Si las fuerzas de cohesión superan a las fuerzas de adhesión, la superficie del líquido será convexa y el líquido caerá por debajo del nivel hidrostático.

Ciclo hidrológico

Con ciclo del agua, conocido científicamente como el ciclo hidrológico, se denomina al continuo intercambio de agua dentro de la hidrósfera, entre la atmósfera, el agua superficial y subterránea y los organismos vivos. El agua cambia constantemente su posición de una a otra parte del ciclo de agua y se pueden distinguir numerosas componentes que implican básicamente los siguientes procesos físicos de

evaporación de los océanos y otras masas de agua y transpiración de los seres vivos (animales y plantas) hacia la atmósfera, precipitación, originada por la condensación de vapor de agua, y que puede adoptar múltiples formas, transporte del agua mediante escorrentía superficial o por flujos subterráneos tras la infiltración en el subsuelo.

La energía del sol calienta el agua, generando la energía necesaria para romper los enlaces entre las moléculas de agua líquida que pasa así al estado gaseoso. El agua evaporada asciende hacia las capas superiores de la atmósfera donde se enfría hasta condensarse y formar nubes compuestas de gotas minúsculas. En ciertas condiciones, estas pequeñas partículas de agua se unen para formar gotas de mayor tamaño que no pueden mantenerse suspendidas por las corrientes de aire ascendentes y caen en forma de lluvia o granizo o nieve según la temperatura. Un 90 % del vapor de agua presente en la atmósfera procede de la evaporación de los océanos, a donde vuelve directamente la mayor parte; sin embargo, el viento desplaza un 10 % hacia la tierra firme, en la que el volumen de precipitaciones supera de este modo al de evaporación, proveniente principalmente de cuerpos acuáticos y la transpiración de los seres vivos, predominantemente de las plantas.

Parte del agua que cae sobre la tierra como lluvia o proveniente del deshielo se filtra en la tierra o se evapora, pero alrededor de un tercio se desplaza por la superficie siguiendo la pendiente. El agua de escorrentía suele formar cuencas, donde los cursos de agua más pequeños suelen unirse formando ríos. El desplazamiento constante de masas de agua sobre diferentes terrenos geológicos es un factor muy importante en la conformación del relieve. En las partes del curso con pendiente alta, los ríos arrastran minerales durante su desplazamiento, que depositan en las partes bajas del curso. Por tanto, los ríos cumplen un papel muy importante en el enriquecimiento del suelo. Parte de las aguas de esos ríos se desvían para su aprovechamiento agrícola. Los ríos desembocan en el mar formando estuarios o deltas. Las aguas subterráneas, por su parte, pueden aflorar a la superficie como manantiales o descender a acuíferos profundos, donde pueden permanecer milenios.

Es importante destacar que en el agua se encuentra el origen de la vida en nuestro planeta, es un elemento esencial para nuestro cuerpo. Sin embargo, como todos sabemos, el agua natural posee una serie de características o cambios en cuanto a su calidad que la hacen no apta para el consumo humano. Cuando abres el grifo para recibir un vaso de agua probablemente te preguntes ¿qué ocurre hasta que llega a mi casa? Con seguridad la mayoría de las personas no lo saben, la calidad del agua para el abastecimiento a la población, comienza en el origen de la misma, es decir, en embalses, ríos y pozos, continúa durante su tratamiento en las estaciones de tratamiento de agua potable y a través de su paso por la red de distribución hasta que llega al consumidor.

El agua potable que debe estar libre de microorganismos patógenos, de minerales y sustancias orgánicas que puedan producir efectos fisiológicos adversos. Debe ser estéticamente aceptable y, por lo tanto, debe estar exenta de turbidez, color, olor y sabor desagradable, es apta para la alimentación y uso doméstico: no deberá contener sustancias o cuerpos extraños de origen biológico, orgánico, inorgánico o radiactivo que vaya en contra de la salud.

En base a las consideraciones anteriores, Existen ciertos cambios o características del agua, se consideran físicas porque son perceptibles por los sentidos (vista, olfato o gusto), y tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua como el color que puede originarse por la descomposición de la materia, la materia orgánica del suelo y la presencia de hierro, manganeso, entre otros factores como el pH, temperatura, etc. El olor y sabor en aguas crudas pueden ser de descargas de desechos industriales o compuestos orgánicos derivados de la actividad de microorganismos y algas. Son el principal motivo de rechazo por parte del consumidor. Otro factor de rechazo por parte del consumidor son las partículas en suspensión o coloides causantes del agua turbia, es decir, partículas que, por su tamaño, se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado, no se conocen sus efectos directos sobre la salud, pero afectan la calidad estética del agua.

De igual manera, el agua presenta ciertos cambios químicos debido a los múltiples compuestos químicos disueltos en el agua pueden ser de origen natural o industrial y

serán benéficos o dañinos de acuerdo a su composición y concentración. Entre algunos de ellos está el Aluminio que es un componente natural del agua, el problema sería la alta concentración de aluminio que confiere al agua un pH bajo. También está el Mercurio, que es un componente muy dañino para el ser humano, es un metal pesado muy toxico, un contaminante no deseado en el agua. El plomo, podría detectarse en aguas subterráneas, en aguas superficiales tendría que provenir de vertidos industriales también podría ser de instalaciones antiguas de tuberías de plomo.

Otro sería el Hierro, en proporciones muy bajas se encuentra en aguas naturales, no produce trastornos en la salud, pero afecta en la turbidez y color del agua, también podría causar obstrucciones en las redes de distribución. El cloruro en el agua potable es uno de los aniones inorgánicos principales, su presencia se debe al agregado de cloro en las estaciones de tratamiento como desinfectante. En cambio, el Cobre, en el agua potable puede existir por la corrosión de las cañerías en las viviendas o para controlar las algas en plantas de potabilización.

Un elemento esencial para la nutrición del ser humano es el Fluoruro, pero en cantidades adecuadas, en concentraciones muy altas podría dañar la estructura ósea. Debido a la descomposición de la materia orgánica y los fertilizantes utilizados las concentraciones altas de nitratos generalmente se encuentran en el agua en zonas rurales, el ion nitrito es menos estable que el ion nitrato. Es muy reactivo y puede actuar como agente oxidante y reductor, por lo que solo se encuentra en cantidades apreciables en condiciones de baja oxigenación.

2.3. Características fisicoquímicas de aguas residuales

El volumen de agua residual urbano-industrial que se produce en el Valle de México generalmente ha aumentado conjuntamente con el crecimiento de la población. El agua residual urbano-industrial que se genera en la cuenca endorreica del Valle de México se deriva hacia el Valle del Mezquital a través del sistema hidrográfico Gran canal oriente D.F.-Zumpango-Ixmiquilpan-Alfajayucan-Zimapán. Las áreas agrícolas de riego en el Valle del Mezquital, Edo., de Hidalgo, son de alrededor de 90 775.8 ha. Las superficies agrícolas del Valle del Mezquital se encuentran localizadas en los

valles intermontanos de la zona Zumpango-Actopan-Tula-Alfajayucan. El volumen aproximado de agua residual urbano-industrial que las poblaciones del valle de México vierten al Valle del Mezquital es de aproximadamente $56.60 \text{ m}^3/\text{s}$. Se ha señalado que el agua residual que riega el Valle del Mezquital posee ciertos beneficios desde el punto de vista de sus características nutricionales ya que proporciona 2400 kg de materia orgánica, 195 kg de nitrógeno, y 81 kg de fósforo $\text{ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Todo esto contribuye de manera significativa en los rendimientos de los cultivos que se siembran en el Valle del Mezquital (López et al., 2016).

El agua residual sin tratamiento es utilizada para riego de diferentes cultivos en el Valle del Mezquital, y riega principalmente grandes áreas de maíz, alfalfa, avena, trigo, y diferentes áreas de frijol. Además, en la zona de Ixmiquilpan se riegan cultivos hortícolas. Durante el uso del agua residual se debe tener como objetivo fundamental, el estudio de tres aspectos que son de importancia: a) Problemas de salinización y de sodificación en los suelos. b) Variaciones de la relación de adsorción de sodio (*RAS*) y c) El régimen fisicoquímico (*pH*) como una tendencia a la precipitación del carbonato de calcio o de la calcita (López et al., 2016).

Las características fisicoquímicas de aguas residuales, tiene propiedades diferentes o diversas en comparación con las aguas no residuales, por cuanto están han sido alteradas directamente por la mano del ser humano, a través de los agentes tóxicos, contaminantes, presentes en la elaboración de productos industriales, sumado a los desechos orgánicos que van directamente al canal de aguas residuales, entre algunas de estas características, se presentan en la tabla 13.

Tabla 13:

Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias.

Característica	Procedencia
Propiedades físicas	<p>Color Aguas residuales domésticas e industriales, degradación natural de materia orgánica.</p> <p>Olor Agua residual en descomposición, residuos industriales.</p> <p>Sólidos Agua de suministro, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas.</p> <p>Temperatura Aguas residuales domésticas e industriales.</p>
Constituyentes químicos	<p>Orgánicos</p> <p>Carbohidratos Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales</p> <p>Grasas animales, aceites Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales y grasa</p> <p>Pesticidas Residuos agrícolas</p> <p>Fenoles Vertidos industriales</p> <p>Proteínas Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales</p> <p>Contaminantes prioritarios Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales</p> <p>Agentes tensoactivos Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales</p> <p>Compuestos orgánicos volátiles Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales</p> <p>Otros Degradación natural de materia orgánica</p>

	<p>Inorgánicos:</p> <p>Alcalinidad Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea</p> <p>Cloruros Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea.</p> <p>Metales pesados Vertidos industriales</p> <p>Nitrógeno Residuos agrícolas y aguas residuales domésticas</p> <p>PH Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales</p> <p>Fósforo Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales; aguas de Escorrentía</p> <p>Contaminantes prioritarios Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales</p> <p>Azufre Agua de suministro; aguas residuales domésticas, comerciales e industriales</p> <p>Gases:</p> <p>Sulfuro de hidrógeno Descomposición de residuos domésticos</p> <p>Metano Descomposición de residuos domésticos</p> <p>Oxígeno Agua de suministro; infiltración de agua superficial</p> <p>Constituyentes biológicos:</p> <p>Animales Cursos de agua y plantas de tratamiento</p> <p>Plantas Cursos de agua y plantas de tratamiento</p> <p>Protistas: Eubacterias Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento</p> <p>Arqueobacterias Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento</p>
--	---

	Virus Aguas residuales domésticas
Temperatura	<p>La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales.</p> <p>Dado que el calor específico del agua es mucho mayor que el del aire, las temperaturas registradas de las aguas residuales son más altas que la temperatura del aire durante la mayor parte del año, y sólo son menores que ella durante los meses más calurosos del verano.</p>
Densidad	<p>Se define la densidad de un agua residual como su masa por unidad de volumen, expresada en kg/m^3. Es una característica física importante del agua residual dado que de ella depende la potencial formación de corrientes de densidad en fangos de sedimentación y otras instalaciones de tratamiento. La densidad de las aguas residuales domésticas que no contengan grandes cantidades de residuos industriales es prácticamente la misma que la del agua a la misma temperatura.</p>

Color	<p>El agua residual reciente suele tener un color grisáceo. Sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro. Llegado este punto, suele clasificarse el agua residual como séptica. Algunas aguas residuales industriales pueden añadir color a las aguas residuales domésticas. En la mayoría de los casos, el color gris, gris oscuro o negro del agua residual es debido a la formación de sulfuros metálicos por reacción del sulfuro liberado en condiciones anaerobias con los metales presentes en el agua residual.</p>
Turbiedad	<p>La turbiedad, como medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. La medición de la turbiedad se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones.</p>

Fuente: Adaptado de García & Pérez-López, (2018).

2.4. Características fisicoquímicas de aguas industriales

Este tipo de agua residuales se caracteriza primariamente por que se encuentra ligada con químicos orgánicos e inorgánicos, caracterizándose por la inexistencia o nula presencia de oxígeno; son aguas que requieren un tratamiento de desintoxicación para ser vertidas al canal residual o al desecho, para evitar contaminar el medio ambiente, así como a especies vivas. Es considerable generar acciones de supervisión de las industrias para conocer el manejo que realizan del agua y como la tratan para conformar las medidas pertinentes para promover la calidad del ambiente. En la tabla 14, se muestran las características de este tipo de agua residual.

Las aguas residuales industriales características son aquellas que poseen químicos tanto inorgánicos como orgánicos. Su aspecto principal de contaminación es por productos orgánicos. Se identifican con la disminución de oxígeno gracias al proceso de degradación en el ámbito biológico.

Es sumamente importante destacar que cada una de las industrias, debido a sus actividades, genera contaminación. Una vez se determine el nivel de contaminación, se toman las medidas necesarias para no hacer daño alguno al medio receptor y resto del medio ambiente con las aguas residuales industriales características. Depende del sector que sea la industria, sus agentes contaminantes y aguas residuales industriales características, varían. Un ejemplo claro es la industria papelera, cuya contaminación característica es el color al agua. Así como también la materia en suspensión, el DBO5 y en algunos casos a pesar de ser pocos, la modificación del pH en el agua.

Tabla 14.

Características de las aguas residuales industriales.

Característica	Procedencia
Físicas	Olor fuerte y toxico, color oscuro muy turbio y temperaturas muy bruscas desde muy altas a muy bajas, que al incorporarse a las masas de agua crean un desbalance en los ecosistemas

Químicas	Altos niveles de metales pesados, materia orgánica, fosforo, azufre, sulfuros de hidrogeno metano, oxido de plata, mercurio. Aunque pueden existir otros elementos, dependiendo la naturaleza de la industria.
Biológicos	Virus, bacterias, plantas de diferentes tipos, animales como insectos, entre otros seres vivos.

Fuente: Adaptado de Fibras y Normas de Colombia S.A.S. (2019).

Otros componentes presentes en las aguas residuales industriales, pueden estar enmarcadas por la presencia de desechos de animales, en forma de proteínas, carbohidratos, grasas, descomposición que conlleva a percibir malos olores, así como la presencia de bacterias, virus, producidos a partir de no ejecutarse una limpieza o desecho adecuada a un drenaje seguro, por lo tanto, la industria no solo contamina por los agentes tóxicos que emana, sino, por los desechos producidos que sí no son atendidos eficientemente, se constituye en contaminante para el planeta. En la tabla 15, se presentan algunos compuestos presentes en las aguas residuales industriales.

Tabla 15.

Compuestos presentes en las aguas residuales industriales.

Compuesto	Fórmula típica	Calidad del olor
Aminas	$\text{CH}_3 \text{NH}_2$	A pescado
Amoníaco	NH_3	Amoniacal
Diaminas	$\text{NH}_2 (\text{CH}_2)_4 \text{NH}_2$	Carne descompuesta
$\text{H}_2 \text{S}$	$\text{H}_2 \text{S}$	Huevos podridos
Mercaptanos	$\text{CH}_3 \text{SH}$	$\text{CH}_3 \text{SH}$

Elaboración: Los autores

2.5. Políticas de preservación del agua

Las políticas de preservación del agua son importante para generar acciones que dictaminen eficacia en su protección, así como revisar el diseño de estrategias para elevar la cultura ciudadana a tomar conciencia sobre la necesidad de preservar el agua, no verla como un mero recurso de explotación, por lo tanto, el actual apartado no trata de hacer un resumen de las políticas internacionales o nacionales existentes hasta el momento, sino, de publicitar 10 líneas desde las cuales se pueden generar políticas públicas, para tal fin, se tiene como referencia el trabajo de Barlow (2006), donde se destacan:

- 1. El agua pertenece a la tierra y a todas las especies:** El agua, al igual que el aire, es necesaria para la vida. Sin agua, los humanos y otros seres morirían y sería el fin de los sistemas hidrográficos de la tierra. La sociedad moderna ha perdido el respeto por el lugar sagrado que le corresponde al agua en el ciclo de vida, así como sus afinidades espirituales con el preciado líquido. Esta falta de respeto por el agua ha permitido que abusáramos de ella. Para poder enderezar el mal que hemos causado, tenemos que empezar por redefinir nuestra relación con el agua y reconocer su lugar esencial y sagrado en el seno de la naturaleza.

- 2. El agua debe dejarse donde está, en la medida de lo posible:** La naturaleza ha puesto el agua en el lugar que le pertenece. Jugar con la naturaleza acarreado grandes cantidades de agua de los cauces puede causar la destrucción de los ecosistemas. La extracción y desvío de las aguas a gran escala afecta no solo los sistemas circundantes, sino también a los que se encuentran lejos. El agua que desemboca en el mar no se “desperdicia”. Los efectos acumulados de la extracción del agua de los lagos, ríos y arroyos tienen impactos desastrosos a gran escala para el entorno del litoral y del mar, así como para los pueblos indígenas de la región y para otras personas cuyo modo de vida depende de los recursos naturales del lugar.
- 3. El agua debe ser conservada para todos los tiempos:** A cada generación le toca asegurarse que sus actividades no redunden en un empobrecimiento de la abundancia y de la calidad del agua. La única manera de resolver el problema de la escasez mundial estriba en un cambio radical de nuestras costumbres, especialmente en lo que se refiere a la conservación del agua. Los habitantes de los países acaudalados deben cambiar sus hábitos de consumo, sobre todo en las regiones fértiles donde prolifera la biodiversidad. De no actuar de manera más ahorrativa, estos países tampoco tendrán derecho a mostrarse reticentes a la hora de compartir el agua –aún por motivos ecológicos y éticos– so pena de exponerse a críticas enteramente justificadas.
- 4. El agua contaminada debe ser recuperada:** La raza humana ha contribuido colectivamente a la contaminación del agua en el mundo y por lo tanto, debe responsabilizarse colectivamente de la labor de saneamiento. La escasez de agua y la contaminación vienen causadas por valores económicos que propician un consumo abusivo y muy poco rentable de este recurso. Estos valores están equivocados. Una resolución para el saneamiento del agua contaminada es un acto de autopreservación. Nuestra supervivencia, así como la de todas las especies dependen de la recuperación de los ecosistemas que funcionan al son de la naturaleza.

- 5. La mejor forma de proteger el agua es dejarla en su entorno natural:** El futuro para un mundo que pueda garantizar el agua reposa en la necesidad de residir en las “bioregiones”, es decir en el entorno natural de las cuencas de los ríos. El bioregionalismo es la práctica de vivir adaptándose a los límites de un ecosistema natural. Las características de las aguas superficiales y subterráneas de cada cuenca constituyen un conjunto de parámetros fundamentales que gobiernan casi por entero la vida de determinada región; otros elementos, tales como la flora y la fauna, están ligados a las condiciones hidrológicas de la región. Por tanto, si vivir dentro de los límites ecológicos de una región es un factor clave para el desarrollo de una sociedad sostenible, las cuencas son un excelente punto de partida para establecer prácticas bioregionales.
- 6. El agua es un mandato público por el que todos los niveles de gobierno deben velar:** Ya que el agua, al igual que el aire, pertenece a la tierra y a todas las especies, nadie tiene el derecho de apropiarse o de sacar provecho de ella a costa de otros. El agua constituye así pues un mandato público que debe de ser protegido por todos los niveles de gobierno y todas las localidades del mundo. Por lo tanto, el agua no debe ser privatizada, reíficada, comercializada o exportada a granel para fines comerciales. Los gobiernos de todo el mundo deben de tomar medidas sin más tardanza para declarar que las aguas de sus territorios son un bien público y deben poner en pie sólidas estructuras de reglamentación para protegerlas. El agua debe ser exonerada inmediatamente de todo acuerdo internacional, bilateral y de libre comercio e inversiones, existente o futuro. Los gobiernos deben de prohibir los proyectos de comercio del agua a gran escala.
- 7. Disponer de agua potable suficiente es un derecho fundamental:** Todas las personas del mundo tienen derecho a disponer de agua potable y de sistemas sanitarios en condiciones, donde quiera que vivan. La mejor manera de asegurar este derecho es manteniendo los servicios de abastecimiento y alcantarillado en el sector público, regulando la protección de las aguas y fomentando el consumo sensato del agua. Las personas que viven en las regiones donde escasea el agua

únicamente podrán disponer del agua potable que necesitan mediante el fomento de la conservación y protección de sus recursos locales.

- 8. Los mejores defensores del agua son las localidades y sus ciudadanos:** Las administraciones locales -que no las empresas privadas, las tecnologías prohibitivas o inclusive el gobierno- son la mejor garantía de protección del agua. Los únicos que pueden hacerse una idea del efecto acumulado de la privatización, la contaminación, la extracción y el desvío de las aguas de una localidad, son sus ciudadanos. Son los únicos que conocen los efectos de las pérdidas de empleo o de las granjas debido a que las grandes empresas toman las riendas o desvían el agua para usarla en lugares lejanos. Hay que comprender que los ciudadanos y las localidades en las que residen, son los “guardianes” en primera línea de los ríos, lagos y de los sistemas de los cuales dependen su vida y sus quehaceres.
- 9. El público debe participar a partes iguales con el gobierno para proteger el agua:** Un principio fundamental para salvaguardar el agua de cara al futuro es que el público debe de ser consultado e invitado a participar a partes iguales con los gobiernos en la formulación de las políticas relativas al agua. Hace demasiado tiempo que los gobiernos y las organizaciones económicas internacionales como son el Banco Mundial, la OCDE y los burócratas del libre comercio se dejan guiar por intereses comerciales. Inclusive en las rarísimas ocasiones en que se las invita a tomar asiento en la mesa de negociaciones, las organizaciones no gubernamentales (ONG) y los grupos ecológicos no suelen tener ni voz ni voto. Las empresas que dedican importantes fondos al apoyo de campañas políticas suelen obtener contratos ultra preferentes para el dominio de los recursos hídricos. A veces incluso ocurre que los grupos empresariales que hacen presión en los pasillos terminan redactando el enunciado de los acuerdos y tratados que adoptan los gobiernos. Esta práctica ha dejado en entredicho la legitimidad de los gobiernos en todas partes.

10.El agua no será un recurso sostenible si prevalecen las políticas de mundialización económica: Los valores de la mundialización económica, es decir el crecimiento ilimitado y la expansión del comercio mundial, son totalmente incompatibles con la búsqueda de soluciones para resolver la escasez del agua. Concebida para recompensar al más fuerte y al menos escrupuloso, la mundialización económica pone fuera de juego a las fuerzas de la democracia local que tan desesperadamente hacen falta para asegurar el futuro del agua. Si aceptamos el principio que para proteger el agua debemos esforzarnos por vivir dentro de nuestros propios cauces, se debe renunciar a la práctica de percibir al mundo como un sólo, único y perfectísimo mercado de consumo.

El decálogo de Barlow (2006), presentado anteriormente, se constituye en una guía para construir políticas y acciones ciudadanas favorables a la preservación del agua, teniendo diversos ángulos desde donde trabajar para confrontar a una sociedad consumista y explotadora deliberadamente de los recursos naturales, siendo, además la posibilidad de incentivar a la consolidación de una cultura de respeto y preservación de las especies que habitan en la tierra, siendo esto concordante con los principios del buen vivir establecidos en la constitución del Ecuador, por lo tanto, se posibilita además, la generación de proyectos de vinculación social desde las universidades ecuatorianas como un bloque de trabajo para el crecimiento de la calidad del medio ambiente de la nación.

La lucha y competencia por el acceso y disposición de los satisfactores básicos como el agua es más que evidente, al grado de hablarse de una *crisis alimentaria mundial*. El agua para consumo humano (potable) se ha convertido en un indicador importante para determinar el nivel de bienestar social y explicar su comportamiento contemporáneo en los diferentes entornos territoriales. Al cierre del año 2006, se estimaba que había en el mundo 1 100 millones de personas que no tenían acceso al agua potable, y a finales de 2014 esta carestía creció a una tasa de 703.18%, equivalente a 8 835 millones de seres humanos sin dicho satisfactor (Iglesias et al., 2017).

En México, alrededor de doce millones de personas enfrentan este problema, en tanto que en el Estado de México 1.3 millones de habitantes todavía no disfrutan del vital recurso. En los medios urbanos, el problema es más latente, y se explica por la acelerada tasa de crecimiento demográfico, la transición productiva-sectorial, la modificación de los patrones de consumo, la alteración de los ciclos climáticos, la ubicación de las viviendas, las condiciones físico-geográficas del lugar, la traza territorial, la distribución del espacio, las condiciones de la infraestructura sanitaria, los costos de extracción y distribución, entre otros, que provocan que el acceso a dicho recurso sea cada vez más complejo(Iglesias et al., 2017).

Este cúmulo de factores, aunados al desaprovechamiento por fugas derivado del deterioro de la infraestructura y el costo monetario que ello implica para distribuir el recurso, reducen cada vez más las posibilidades de aumentar la cobertura, frecuencia y presión de disposición del agua potable, afectando la calidad de vida y los niveles de desarrollo social. El objetivo de este documento es explicar y evidenciar los costos de disposición del agua para consumo humano en el Estado de México desde algunos posicionamientos de la teoría económica. Para ello, se resaltan algunos de los principales factores que influyen en una valoración nominal creciente, al grado de incluso concebir al agua como un recurso mercantilizado, provocando amplios contrastes sociales y territoriales, así como un panorama de carestía y conflicto humano mundial.

La conversión nominal y mercantil del agua, algunos elementos fácticos

Por su naturaleza, el agua es considerada un bien libre y público puro, ya que no es de acceso exclusivo, y, dada su cantidad ilimitada, no debe haber competencia para su consumo, exclusión en su uso ni mucho menos una disponibilidad racionada; más aún, su carácter libre permite que todos los individuos puedan disfrutar simultáneamente de dicho bien. Es así que el agua pertenece al ambiente: desde las perspectivas preservacionista y del naturalismo, fundadas en las tesis geocéntricas (*gaia*) o biocéntricas (ecología profunda), se argumenta que no debe ser trastocada por las actividades del ser humano, pues este no posee ningún derecho sobre el agua y el resto de los recursos naturales, razón por la que estas mismas perspectivas se

oponen directamente a la valoración económica del ambiente a través del mercado. Esto es, hay un rechazo de la economía de los recursos naturales y del ambiente (Iglesias et al., 2017).

A pesar de este precepto, el agua presenta una serie de características y atributos cuyo nivel de utilidad y grado de satisfacción socioambiental empieza no sólo a diferenciarse, sino a convertirla en un recurso altamente demandado y susceptible de apropiación. Este es el caso del agua dulce, indispensable para la sobrevivencia humana, razón por la que el hombre no sólo se ha apropiado su existencia, sino que se ha limitado su disposición y se ha valorado monetariamente su consumo, ya que el agua dulce no es tan abundante y su existencia ilimitada es sólo aparente, de ahí que su valoración mercantil y apropiación privada sean consideradas como reguladores de su explotación intensiva. Cuando un recurso natural existe en abundancia no es un bien económico, sino un bien libre, por lo tanto no es objeto de valoración económica; más bien, para que un recurso natural o ambiental sea susceptible de asignársele un costo y precio en el mercado, debe cumplir una triple exigencia:

1. Tener existencia limitada.
2. Su consumo o disposición genera una utilidad vital y puede intercambiarse.
3. Puede ser industrialmente producible y multiplicable (obtención de una gama de productos con la utilización del agua) (Iglesias et al., 2017).

Bajo esta consideración, y desde el punto de vista de la eficiencia económica, ahora el agua le pertenece al hombre para su consumo y para desarrollar un sinfín de actividades económicas y productivas, donde el desarrollo tecnológico y la existencia de sustitutos perfectos e imperfectos determinan el nivel de explotación de dicho recurso, todo en función de los precios, estando ausente toda consideración intra- e intergeneracional, lo que, por un lado, rompe con el principio de sostenibilidad, en términos del disfrute generacional de dicho recurso, mientras que por otro se acepta que la dinámica de los recursos naturales da lugar a una interpretación contemporánea de las relaciones entre economía y recursos naturales (coevolución ambiental). Por tanto, la centralidad universal que el agua tiene para la vida humana se incrementa en

las cuencas, donde las restricciones naturales se unen a las de la intervención humana (Iglesias et al., 2017).

Desde la perspectiva del utilitarismo se otorga valor a todo aquello que contribuye positivamente al bienestar de la persona, razón del énfasis en el bienestar de los individuos como criterio de demarcación de los distintos valores. Vastos recursos ambientales como el agua dulce, que son necesarios para la sobrevivencia humana, tienen un costo que deriva de su utilidad, por lo que el proceso de valoración se basa en el reconocimiento de esta cualidad, y recientemente por su existencia en la naturaleza, de ahí que los seres humanos vayan otorgando o descubriendo valores funcionales, económicos, ecológicos, estéticos, culturales, históricos, ambientales, entre otros, no sólo del agua dulce, sino del conjunto de recursos que conforman el ambiente. El medio ambiente adquiere, pues, toda una serie de valores porque cumple una gama de funciones que afectan positivamente al bienestar, utilidad o deleite de las personas que componen la sociedad, bien sea como productor de bienes y servicios, espacio de placer, estímulo para la perfección personal, reducto de civilización o símbolo de cultura (Iglesias et al., 2017).

Es así que este recurso se convierte en un capital natural objeto de transacción o negociación entre las personas desde la perspectiva de la teoría económica clásica. El realismo ambiental asume que la idea más ingenua de los recursos de la naturaleza es que sean considerados como una entidad real (idealismo ambiental), siendo que el humano y la sociedad le han contrapuesto valores al propio esquema epistemológico para interpretar su utilidad individual y colectiva. De esta manera, la valoración económica del agua dulce gana terreno a medida que se expande la sociedad y el desarrollo de sus actividades económicas, por lo que su existencia enfrenta una serie de externalidades negativas irreversibles, siendo una de las más relevantes su escasez y contaminación, lo que ha obligado al Estado a instrumentar políticas públicas para una mejor extracción, distribución y aprovechamiento.

De esta manera, la política del agua se convierte en el fundamento de análisis de los problemas sociales y económicos, pero también la convierte en el recurso de mayor disputa entre los colectivos, ya que al ser uno de los elementos nodales para la generación de riqueza y bienestar social aumenta su atracción y competencia en el

mercado. De hecho, la misma Conferencia sobre el Agua y el Medio Ambiente, también conocida como Declaración de Dublín, realizada en Irlanda en enero de 1992, señaló dentro de sus principios rectores que el agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente, por lo que esta tiene un valor económico en todos sus diversos usos en competencia a los que se destina, y que debería reconocérsele como un bien económico (Iglesias et al., 2017).

El desarrollo del mercado global para el agua está emergiendo porque la consideración se está moviendo rápidamente desde el concepto de gestión pública del recurso hacia la atención al agua como bien económico, ya que las agencias públicas se han mostrado ineficientes a la hora de garantizar su disponibilidad como necesidad básica, en cantidad y calidad suficiente y bajo una adecuada gestión para todos los seres humanos. El argumento de que ahora el agua para consumo humano sea considerada como recurso económico estriba en que sólo el 0.007% (equivalente a 4 200 km³) del agua disponible en el planeta es dulce y apta para consumo directo de los seres humanos. Si esta cantidad se divide entre los aproximadamente 6 000 millones de habitantes del mundo, se tiene que cada persona dispone de 700 m³ anualmente para su sobrevivencia. Sin embargo, esta cantidad no refleja la disponibilidad real para todos los habitantes del planeta, debido a que esta se distribuye de manera geográfica y no de forma administrativa, es decir, su disponibilidad depende de la altitud, latitud, clima, entre otros factores ambientales, no de la manera en que los habitantes seleccionan los espacios territoriales para formar sus comunidades influenciadas por intereses políticos y económicos (Iglesias et al., 2017).

La relación de los humanos con los recursos ambientales como el agua siempre ha sido una cuestión de política, dadas las formas de organización para explotar los medios a su alcance para cubrir sus necesidades y para resistir los embates que de esta emanan (como la escasez y el encarecimiento). A partir de los años setenta, los recursos naturales y los problemas generados en torno a ellos comenzaron a ser materia de amplia discusión en las universidades, en los círculos científicos y entre los organismos internacionales, cuyos argumentos y aportaciones sobre las mejores prácticas de aprovechamiento y utilidad quedaron plasmados en iniciativas como la

Carta de Estrasburgo, en 1968, la Declaración de Estocolmo, en 1972, y el Plan de Acción de Mar del Plata, en 1977(Iglesias et al., 2017).

Desde el ámbito académico-científico emergieron diferentes posicionamientos teóricos como la corriente de la eficiencia económica, que apoyada del análisis costo-beneficio argumentó que el mercado debía fungir como regulador de la explotación de los recursos naturales y del ambiente para buscar su existencia en el tiempo. Con estos precedentes, a partir de los años noventa fue más que evidente el uso creciente de recursos como el agua dulce para consumo humano y sus efectos irreversibles, al tiempo que se reconoció su valor social y económico (Iglesias et al., 2017).

En el caso de México, la Ley de Aguas Nacionales de 1994 eliminó el orden de prelación del agua, dejando que dicho recurso se rigiera bajos las condiciones de oferta y la demanda del mercado. A partir de esta condición mercantil, el agua dejó de considerarse un bien natural para convertirse en un recurso de mercado, cuyo valor de uso, de existencia y de herencia, aunado a sus atributos, permitió crear un mercado hipotético: de acuerdo al método de los precios hedónicos, su valor se determina con base en sus propias características y al valor interno del producto.

Incluso, la economía ambiental asume que los recursos, aun y cuando son naturales, independientemente de su abundancia o escasez deben ser valorados monetariamente dentro del mercado a través de la interacción directa entre los interesados (negociación de mercado) o mediante la intervención pública (aplicación de una carga fiscal por uso o desaprovechamiento). En esta misma línea versó la postura del economista neoclásico León Walras, al asumir que todo recurso natural (como el agua) puede concebirse como bien económico si su existencia es limitada con carácter apropiable, máxime si genera utilidad y bienestar individual y colectivo (Iglesias et al., 2017).

Es claro que la valoración monetaria del agua, concebida ahora como capital privado, es motivo de conflicto entre partes, ya que su denominación hedónica puede convertirse en un problema ético pues su pecunia no siempre refleja el valor de uso y su carácter no renovable. Más bien, lo que determina esta asignación es el costo de extracción, tratamiento, distribución y disposición, mismo que varía acorde a las características orográficas del territorio. Esta valoración monetaria, en términos de la

administración pública se traduce en tarifas o pagos por concepto de uso o disposición de dicho recurso, convertido ahora en servicio; sin embargo, generalmente no están incluidos los costos ambientales, de aquí que al establecer las tarifas no sólo se deben considerar los aspectos técnicos (que por sí solos tendrían dificultades para definir el costo real del agua), sino también los aspectos sociales y políticos (Iglesias et al., 2017).

En afán de definir un valor nominal al agua dulce, algunos países ya han implementado diversos métodos e instrumentos no sólo para racionalizar su uso, sino también para ampliar su cobertura ante la creciente dinámica demográfica y el aumento de la demanda de dicho recurso. A sabiendas de que este no es renovable, su calidad frecuentemente indeseable (por la contaminación) y su disponibilidad cada vez más limitada han provocado que el precio se incremente gradualmente, tal como se aprecia en el Cuadro 1, lo que se convierte en una seria restricción a su consumo, al grado de considerarla como un *recurso club* (“club godo”) cuyo disfrute será para quien pueda pagar o asumir el costo correspondiente (Iglesias et al., 2017)

CAPÍTULO III: DISEÑO EXPERIMENTAL DE MEDICIÓN DE CALIDAD DEL AGUA

El actual capítulo, presenta diversos diseños para realizar medición de calidad del agua en diversos contextos geográficos, por consiguiente, se hace una recopilación con la finalidad de ilustrar al lector al buen uso del diseño a considerar en relación a la medición que tenga dispuesto ejecutar.

3.1. Diseños experimentales de calidad del agua

Los diseños experimentales de calidad del agua, son procedimientos que los investigadores han venido implementando con la finalidad de generar mayor confiabilidad a la hora de obtener resultados en la medición y lograr un agua consistente para el consumo de las especies vivas, o ser empleada con fines empresariales sin correr riesgo de contaminación a los ecosistemas terrestres y acuáticos. En este sentido, se presentan:

3.1.1. Diseño piloto de aguas de curtiembres a través de la *Eichhornia crassipes*

En cuanto a este diseño se presenta la experiencia de (Carreño-Sayago, 2016), donde indica que en la industria de curtiembre se generan metales pesados, siendo altamente contaminante para el medio ambiente, el principal de estos elementos es el Cromo (Cr), de ahí la necesidad de diseñar un experimento que pudiera minimizar este metal en los desechos de curtiembre de modo seguro para la salud humana y ambiental, por lo tanto, se procedió a aislar la planta de *Eichhornia crassipes* de un humedal a las afueras de Bogotá, con la intención de ser empleada como filtro natural para eliminar Cromo. En este sentido, se procedió un montaje de un modelo experimental, descrito: Las dimensiones de este sistema de tratamiento es de largo 40 cm, de alto 15 cm y de ancho 15 cm, donde el experimento conto con 10 l de agua. Este diseño es a escala piloto y tuvo 180 gramos de *Eichhornia Crassipes*, que es el equivalente a dos plantas. En la figura 3, se muestra el diseño del biosistema. Mientras que en la figura 4, se presenta parte del proceso del experimento.

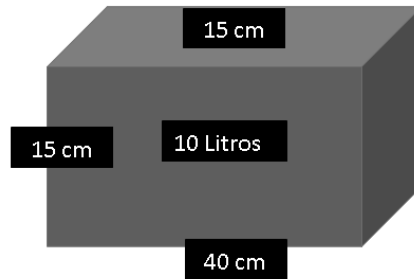


Figura 3. Diseño del biosistema de tratamiento con sus dimensiones.
Fuente: Carreño-Sayago (2016).



Figura 4. Experimentación y tratamiento al 40%.
Fuente: Carreño-Sayago (2016).

El diseño y puesta en marcha de un biosistema de tratamiento a escala de laboratorio con *Eichhornia crassipes* se comprobó que es una alternativa para usarse como retenedor de metales pesados y materia orgánica (Carreño-Sayago, 2016). Se evidencia la posibilidad de generar ecosistemas como protectores de ciertas zonas industriales, en este caso, referido a la curtiembre, pero podría experimentarse con otros elementos con la finalidad de procurar la mayor preservación y sostenimiento de los ecosistemas naturales a partir del uso racional del agua.

3.1.2. Método para cuantificar glifosato en agua Experimental

El glifosato es otro elemento altamente contaminante del agua, al estar presente en los herbicidas, pueden ocasionar deterioro en el agua y vida agrícola, además que puede transmitirse por efectos de la lluvia, siendo una molécula pequeña y difícil de analizar, siendo considerable emplear diseños experimentales, por lo tanto, se presenta:



Figura 5. Diseño de experimento alternativo.

Fuente: Paravani et al. (2016).

En este sentido, (Paravani et al. 2016), determinaron que es factible la implementación de la técnica de ELISA en programas de monitoreo de la calidad del agua, al ser un método de carácter exploratorio que permite detectar en forma cualitativa la presencia o ausencia de glifosato de forma rápida y apropiada. Sin embargo, cuando esta técnica detecta glifosato, se requiere la aplicación de la técnica de UHPLC-MS/MS para la cuantificación de la concentración del herbicida.

3.1.3. Determinación de la Alcalinidad

La alcalinidad en el agua permite neutralizar o controlar ácidos hasta equilibrar a su pH natural, además determina las características corrosivas del agua debido principalmente a los iones hidróxido, carbonato y bicarbonato. En este sentido, (Pilar-Bojaca et al. 2006), presentan una prueba de alcalinidad potenciometría, en donde se debe tener en cuenta que Para alcalinidades mayores a 100 mg/L (aguas superficiales contaminadas o aguas residuales) tome una alícuota de 50 o 25 mL con probeta, ya que la cantidad de sólidos suspendidos obstruye la pipeta y dificulta la medición de la alícuota. La alícuota de 25 mL debe tomarse en un vaso de 100 mL o menor, para que el sensor del electrodo de vidrio quede sumergido en la muestra y Para muestras de baja alcalinidad (menor de 20 mg CaCO_3/L) se aplica una técnica de extrapolación basada en la proporcionalidad aproximada de la concentración de iones hidrógeno por el exceso de titulante más allá del punto de equivalencia. Se mide cuidadosamente la cantidad de ácido estándar requerido para reducir el pH exactamente en 0,30 unidades.

3.1.4. Método para la determinación de la Dureza Total

La Dureza Total del agua se hace por complexometría empleando ácido etildiaminotetraacético, EDTA, siendo el método oficial de la American Society for Testing and Materials, ASTM, D1126-02. En la tabla 16 se detalla parte de los resultados de un proceso de dureza.

Tabla 16.
Dureza total de agua.

NOMBRE DEL METODO:	Dureza Total en Agua con EDTA por Volumetría		
CÓDIGO DEL PSO:	TP0341		
FECHA DEL INFORME DE VALIDACIÓN:	17/02/2005		
PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES	OBSERVACION
LIMITE DE DETECCION	1.0	mg CaCO ₃ /L	Corresponde al límite de cuantificación.
PRECISION EN TÉRMINOS DE %CV	0.51	%	Std. 5.07 mg CaCO ₃ /L
	0.29	%	Std. 202.8 mg CaCO ₃ /L
EXACTITUD EXPRESADO COMO % DE ERROR RELATIVO	- 0.09	%	Std. 5.07 mg CaCO ₃ /L
	- 0.22	%	Std. 202.8 mg CaCO ₃ /L
	- 0.99	%	Muestra Certificada 27.6 mg CaCO ₃ /L
RANGO DE TRABAJO (Lectura Directa)	1.0 - 600	mg CaCO ₃ /L	Sin dilución de la muestra
INTERVALO DE APLICACIÓN DEL METODO	1.0 - 6000	mg CaCO ₃ /L	Para una dilución de 10 veces.
RECUPERACIÓN EXPRESADO COMO %	119.2	%	Adición de 2 mg CaCO ₃ /L
	94.4	%	Adición de 40 mg CaCO ₃ /L

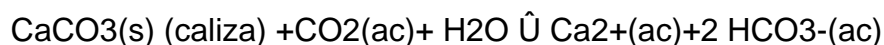
Fuente: Rodríguez et al. 2007.

Por lo tanto, la dureza total se define como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio, presentes como carbonato de calcio, en miligramos por litro. Siendo aplicable este método a aguas potables, contaminadas, aguas residuales y superficiales, El ácido etilendiaminotetraacético y sus sales de sodio (EDTA) forman un complejo de quelato soluble al añadirlo a las soluciones de algunos cationes metálicos. Cuando se añade EDTA al agua que contiene calcio y magnesio, aquél se combina primero con el calcio.

El agua proveniente de fuentes naturales es una mezcla compleja de compuestos químicos en solución y sólidos suspendidos que requiere para su caracterización de análisis microbiológicos, físicos y químicos. Uno de estos ensayos, que representa un parámetro indicador de la calidad de las aguas industriales y de consumo, es el denominado Dureza. El término Dureza se ha utilizado tradicionalmente para referirse a los cationes alcalinotérreos que se hayan disueltos en el agua. Cuando se denomina

Dureza Total, se refiere a la concentración total de iones calcio y magnesio (Capote et al., 2015).

También, se emplea el término Dureza Temporal para indicar la concentración de calcio y magnesio disueltos que precipitan en forma de carbonatos; lo cual ocurre cuando, por efecto del calentamiento del agua a ebullición, se desplaza el equilibrio y se favorece la conversión del hidrogeno carbonato, HCO_3^- , en carbonato, CO_3^{2-} . La concentración de iones calcio y magnesio que permanecen en solución luego de someterse a ebullición el agua es denominada Dureza Permanente. Los iones de alcalinotérreos presentes en el agua son producidos cuando ácidos disueltos en el agua entran en contacto con rocas calizas:



En algunas zonas del país el agua posee elevados valores de Dureza Total que causan problemas domésticos o afectan de manera desfavorable los procesos industriales. Por ejemplo, para el estado Lara se reporta la formación de residuos en la ropa lavada, utensilios de cocina y obstrucción de tuberías, en el Distrito Capital es causa de incrustaciones en calderas e intercambiadores de calor por la formación de costras de material sólido en las tuberías de la industria farmacéutica, encarece el proceso de teñido de la industria textil y en el estado Falcón afecta los intercambiadores de calor usados en la refinación de petróleo (Capote et al., 2015).

Aunque diversos iones metálicos polivalentes disueltos en el agua son causantes de la dureza, las elevadas concentraciones de iones calcio y magnesio en comparación a los iones restantes hacen que la Dureza Total, en términos analíticos, sea expresada solo por el contenido de calcio y magnesio. La determinación en el laboratorio de la Dureza Total del agua se hace por complexometría empleando ácido etildiaminotetraacético, EDTA, siendo el método oficial de la American Society for Testing and Materials, ASTM, D1126-02, Comisión Venezolana de Normas Industriales, COVENIN, 2408-86 y 2771-91.

El EDTA es un ácido débil con capacidad para formar compuestos complejos en proporción 1:1 con iones metálicos como Mg^{+2} , Ca^{+2} , Ba^{+2} , Fe^{+3} , V^{+3} , Th^{+4} . La extensión de la reacción está muy influida por el pH del medio, de forma que para cationes tetravalentes se favorece su formación en disoluciones cercanas a pH 1, cationes trivalente en disoluciones ligeramente ácidas y para cationes divalentes en un medio básico. La detección del punto final de la valoración se consigue con el empleo del indicador negro de eriocromo T el cual posee un rango de viraje de color azul cuando se encuentra libre a rojo cuando forma el complejo metálico (Capote et al., 2015).

Como se señaló en el párrafo anterior el pH del medio de reacción es un factor crítico para que la reacción entre el EDTA y el ión metálico sea completa, razón por la cual en la determinación de la Dureza Total se debe ajustar en pH 10,1 con el empleo de una solución amortiguadora o buffer. La acidez del medio a este pH solo permite formar un complejo estable entre el EDTA y los iones Ca^{+2} y Mg^{+2} . Además, para ese pH, en una curva típica de valoración de calcio, en la cercanía del punto final el punto de inflexión es muy amplio, de 4,0 a 4,5 unidades logarítmicas lo que minimiza el error de titulación. El control de pH en la disolución se logra con el empleo de una solución amortiguadora compuesta de amoníaco e ión amonio (buffer amoníaco/amonio) que tiene un rango de regulación de entre pH 8,2 y 10,2; además con su uso se asegura que el Mg^{+2} permanezca en solución formando el complejo amino y no precipite como $Mg(OH)_2$ (Capote et al., 2015).

Del empleo de la solución amortiguadora de amonio es característico el olor de los vapores de amoníaco que se desprenden de la solución; siendo conocido que es un gas irritante que puede ser molesto para el operario o incluso ser causa de una reacción inflamatoria en la piel o las mucosas durante exposiciones prolongadas. Aunque el umbral de olor del amoníaco está determinado en 17 mg/mm³ los máximos de seguridad recomendados por las organizaciones de salud varían, así para la Occupational Safety and Health Administration, OSHA, el límite permisible es de 35 mg/mm³ y para la National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH, de 18 mg/mm³ de manera que el olor no debe confiarse como advertencia para exposiciones potencialmente peligrosas. Una desventaja adicional del empleo de buffer amonio en

nuestro país es la restricción de comercialización que lo hacen un reactivo de difícil acceso, por estar clasificada como una sustancia química controlada y sujeta a un régimen legal especial en la Ley Orgánica de Drogas (Capote et al., 2015).

Como alternativa al empleo del buffer amonio las normas COVENIN y la American Public Health Association, APHA, permiten la sustitución de dicho buffer por otro de olor reducido, recomendando el uso de una solución buffer de 2-aminoetanol o sus preparaciones comerciales disponibles. Una desventaja analítica del uso del buffer de 2-aminoetanol que señala la norma COVENIN 2408-66 es la lentitud de su reacción de titulación lo cual podría conducir a un error en la determinación del punto final. Por otra parte, el 2-aminoetanol es un reactivo que posee ciertas limitaciones por ser inflamable, higroscópico y propenso a la descomposición con la exposición al aire y la luz; tampoco es completamente inodoro debido que posee un ligero olor a amoníaco. En la determinación de Dureza Total Millán y col. utilizaron como solución reguladora un buffer borato pH 10 en un estudio comparativo en aguas de diferentes localidades de Venezuela, pero en el trabajo no justificaron su empleo ni validaron o señalaron referencia alguna que sustentara la modificación realizada a la metodología establecida por la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN).

El buffer borato es una solución reguladora formada por el equilibrio entre el ácido bórico, H_3BO_3 , y su sal. El ácido bórico es un ácido débil con una constante de disociación de $K_{a1} = 5,81 \cdot 10^{-10}$, valor del mismo orden de magnitud a la constante del ión 2-aminoetanol $K_a = 3,18 \cdot 10^{-10}$. Esta característica de ambos compuestos es la que permite que desarrollen su mayor capacidad amortiguadora en las cercanías del pH 10 como es requerido en el ensayo de dureza total con EDTA (Capote et al., 2015).

Como el ácido bórico no forma compuestos insolubles con el calcio tampoco existe la posibilidad de interferir en la reacción analítica. Además, el ácido bórico es una sustancia de baja peligrosidad y riesgo que no se encuentra sometida a restricciones legales de uso y por lo tanto de fácil adquisición, lo que representa una alternativa al empleo de buffer amonio/amoniaco o de 2-aminoetanol. En razón de las desventajas para la salud y limitaciones de uso que implican el empleo del buffer amonio en el laboratorio de análisis químico, en este trabajo se evalúa la factibilidad del empleo de un buffer de borato para sustituir el buffer de amonio/amoniaco en la determinación de

dureza total en agua naturales y de consumo de diferentes grados de dureza provenientes del estado Lara y la región andina del país (Capote et al., 2015).

3.1.5. Método para la determinación de la Dureza Cálcica

La dureza del calcio es la medida de cuánto calcio (o cal) se disuelve en el agua. Los términos "agua dura", "agua blanda" y "dureza total" en general se refieren al nivel de dureza de calcio junto con otros minerales como el magnesio. Se trabaja bajo el Método SM 3500-Ca D Método titrimétrico EDTA Al agregar EDTA al agua que contiene calcio y magnesio, se combina primero con el calcio. El calcio se puede determinar directamente, con EDTA siempre y cuando el pH, es suficientemente alto como para que el magnesio se precipite, se utiliza el indicador murexida que se combina solo con el calcio (Baird, et al., 2017).

3.1.6. Método para la determinación de la Dureza Magnésica

Se trabaja desde el Método 3111 B – Método directo de llama de acetileno y aire En la espectrometría de absorción atómica con llama, una muestra se aspira en una llama y se atomiza. Un haz de luz se dirige a través de la llama, a un monocromador y a un detector que mide la cantidad de luz absorbida por el metal atomizado en la llama. La cantidad de energía en la longitud de onda característica absorbida en la llama es proporcional a la concentración del elemento en la muestra en un rango de concentración limitado. (Baird, et al., 2017)

3.1.7. Método para la determinación del Cloro Libre Residual

La determinación de cloro en el agua potable es de suma importancia para que esta pueda ser consumida satisfactoriamente, entre las pruebas más comunes para lograr tal fin, se encuentran:

- a) Clorómetros. Test rápido colorimétrico cuantitativo. Con patrones estables entre 0 y 1 ppm de cloro residual. Método de la otolidina.
- b) Test rápido de cloro mediante juegos de reactivos con escala de colores. Contenidos de cloro entre 0,1 y 1,5 ppm.

- c) Método iodométrico para la determinación del contenido de cloro activo en concentraciones elevadas, superiores a 1 mg/l.
- d) Determinación volumétrica mediante el reactivo N, N-dietil-p-fenilendiamonio, DPD. Adecuado para concentraciones de "cloro activo libre" entre 0,1 y 4 mg/l o ppm.
- e) Método colorimétrico de la ortotolidina para concentraciones entre 0,01 y 1 ppm de cloro libre residual.
- f) Método amperométrico.

3.1.8. Método para la determinación de Sulfato

La determinación del contenido de sulfatos puede hacerse por diferentes métodos. Uno de ellos es el Test rápido de sulfatos. El Método gravimétrico, mediante precipitación con cloruro de bario, es un método muy preciso y aplicable a concentraciones superiores a 10 mg/l. Los resultados previamente precipitados con cloruro bórico, en medio ácido, son secados a 110°C y calcinados a 600°C.

El Método nefelométrico, mediante turbidímetro nefelométrico, es menos preciso que el gravimétrico para concentraciones inferiores a 10 mg/l. Se recomienda, preferentemente, para la determinación de sulfatos en aguas con contenidos superiores a 60 mg/l y siempre que se disponga de turbidímetro. Este método no es recomendable para aguas con color, materias en suspensión o con elevado contenido en materias orgánicas. (tomado de Ambientum, 2021).

Los sulfatos pueden tener su origen en que las aguas atraviesen terrenos ricos en yesos, o a la contaminación con aguas residuales industriales. El contenido de este no suele presentar problemas de potabilidad para las aguas de consumo, pero, contenidos superiores a 300 mg/L pueden causar trastornos gastrointestinales en los niños. Se sabe que los sulfatos de sodio y magnesio tienen acción laxante, por lo que no es deseable un exceso de los mismos en las aguas de consumo. El contenido de sulfatos en las aguas naturales es muy variable, y puede ir desde muy pocos miligramos por litros, hasta cientos de miligramos por litros. Por esto, la norma cubana para agua potable /1/, establece como valor orientador de calidad 200 mg/L, y como límite máximo tolerable 400 mg/L (concentración máxima admisible). (Aguilera et al., 2010).

La determinación de la concentración de sulfatos puede hacerse por diferentes métodos. Se puede citar la prueba rápida de sulfatos, /2,3/ el método gravimétrico mediante precipitación con cloruro de bario, el cual es muy preciso y aplicable a concentraciones superiores a 10 mg/L, y el método volumétrico, cuyo principio consiste en la determinación de los iones sulfatos mediante una valoración por retroceso en presencia de sulfato de bario y en medio alcohólico con la sal disódica de la EDTA) (Aguilera et al., 2010).

Este método es aplicable a la determinación de sulfatos en concentración inferior a 100 mg/L /4/. El método nefelométrico se recomienda, preferentemente, para la determinación de sulfatos en aguas con contenidos superiores a 60 mg/L. El ion sulfato (SO_4^{2-}) precipita, en un medio de ácido acético, con ión Ba^{2+} , de modo que forma cristales de sulfato de bario (BaSO_4), los que deben mantenerse en suspensión durante un período de tiempo que resulte suficiente para medir la absorbancia que la misma produzca. El contenido de SO_4 = de cada muestra se obtiene a partir de la curva de calibración previamente obtenida) (Aguilera et al., 2010).

Este método no es recomendable para aguas con color, materias en suspensión o con elevado contenido en materias orgánicas, ya que interfieren en la determinación, pudiendo ser eliminadas por filtración o centrifugación. La interferencia del color puede soslayarse utilizando la muestra coloreada como testigo, a la que se le adiciona reactivo de la disolución precipitante de bario, o empleando como instrumento de medida un nefelómetro de doble posición de cubeta, con lo que elimina la influencia del color /5/. El Grupo Analítico CEBI-DQ de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Oriente, tiene entre sus misiones, la determinación de parámetros ambientales en aguas y aguas residuales.) (Aguilera et al., 2010).

Teniendo en cuenta la existencia en la región de industrias que realizan el vertido de sus residuales con cantidades considerables de sulfato, se propuso la búsqueda de un método sencillo y rápido para la determinación de este parámetro, el método turbidimétrico, basado sobre la medida de la turbidez producida por la reacción de precipitación del ion sulfato, con una sal bárica en medio ácido a una longitud de onda de 450 nm. Para conseguir que el sulfato de bario se mantenga en suspensión, se utiliza una disolución acondicionadora que contiene glicerina y alcohol, de forma que

se modifica la viscosidad de la muestra, permitiendo así una turbidez estable en un período de tiempo suficiente para medir la turbidez /6/) (Aguilera et al., 2010).

Por tal motivo, el objetivo del siguiente trabajo es realizar la validación de este método en las condiciones actuales del laboratorio analítico del Grupo CEBI-DQ. Materiales y métodos Las determinaciones se realizaron en el espectrofotómetro Génesis-10 UV-visible. Toda la cristalería y el equipamiento utilizado en el análisis fueron verificados y calibrados por la Oficina Territorial de Normalización de la provincia Santiago de Cuba. Los reactivos empleados fueron calidad puro para análisis) (Aguilera et al., 2010).

3.1.9. Método para la determinación de Nitratos

Se trabaja básicamente con dos técnicas, las técnicas de separación, como su nombre indica, pretenden separar los nitratos de la corriente de agua a depurar, concentrándolos en un segundo desecho (la salmuera) que habría que tratar o almacenar en un depósito. Estas técnicas son: la electrodiálisis, la ósmosis inversa y las resinas aniónicas. Las técnicas de transformación pretenden transformar los nitratos en otros compuestos químicos inocuos por medio de vías biológicas o catalíticas

Los niveles de nitratos y nitritos en aguas naturales son un indicador importante de la calidad del agua. Ambos se encuentran relacionados con el ciclo del nitrógeno de suelo y plantas superiores, aunque los nitratos son añadidos por medio de fertilizantes que puede ocasionar que los niveles de estos aumenten. Los nitritos también se forman durante la biodegradación de nitratos, nitrógeno amoniacal u otros compuestos orgánicos nitrogenados y se utiliza como indicador de contaminación fecal en aguas naturales.

Los nitratos no se consideran en sí tóxicos, pero la ingesta de grandes cantidades produce un efecto diurético. Por otra parte, los nitritos pueden producir compuestos cancerígenos, las nitrosaminas, por su reacción con aminas secundarias o terciarias, además de interaccionar con los glóbulos rojos de la sangre produciendo metahemoglobinemia que impide el transporte de oxígeno al cuerpo. Se han desarrollado una gran cantidad de métodos para la cuantificación de estos analitos en

aguas y en otro tipo de muestras como alimentos y fluidos biológicos. Muchos de los métodos están basados en cromatografía iónica, de hecho, la EPA recomienda la determinación de nitratos y nitritos por este método, aunque existen varios métodos enfocados a la cromatografía líquida de alta presión o a la electroforesis capilar.

Varios métodos analíticos están basados en la reducción de nitratos a nitritos con detección colorimétrica posterior. Se han utilizado varios agentes reductores como zinc, cadmio o cadmio cuperizado que se han acoplado como columnas reductoras a configuraciones de flujo continuo no segmentado para la cuantificación simultánea de nitratos y nitritos.

En la actualidad, los laboratorios ambientales de rutina requieren métodos rápidos, precisos y económicos. Estos laboratorios realizan la determinación de nitritos en aguas de acuerdo a la Norma Mexicana que se basa en la reacción de los nitritos con sulfanilamida y 1-naftiletilendiamina para formar un compuesto azo que se mide espectrofotométricamente.

Las cuantificaciones de nitratos se basan en la reacción con sulfato de brucina la cual requiere altas temperaturas de reacción haciendo la determinación poco precisa, costosa y muy laboriosa, aunque también se contempla la determinación por medio de una columna de cadmio cuperizada. Los métodos estándar de la ASTM describen la determinación de nitratos y nitritos utilizando una columna de cadmio cuperizado para la reducción de nitratos y la formación de un azo compuesto, estos métodos incluyen un método automático de flujo segmentado.

Las ventajas económicas que implica el utilizar un método automático de flujo continuo, aunque ha sido estudiado, no existen reportes en cuanto a la reducción de costos. En los trabajos referidos a estas metodologías se ha demostrado la gran reproducibilidad y exactitud de estos métodos, pero en muchos casos estos parámetros son equivalentes a los obtenidos por metodologías que no son de flujo continuo (Cabrera. et al., 2003).

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en la determinación de nitratos y nitritos en aguas naturales por análisis por inyección en flujo, utilizando una columna de cadmio cuperizado. Se realizó el estudio económico para esta metodología y se comparó con su similar en donde la determinación no se realiza en un sistema de flujo.

Parte Experimental

Reactivos

Todos los reactivos utilizados fueron grado reactivo.

Para preparar la disolución cuprizante se utilizó sulfato de cobre pentahidratado (J.T. Baker, 98 %) 0.008 M y ácido etilendiamino tetracético 0.1 M (EDTA, J.T. Baker).

Se preparó una disolución amortiguadora de amonio / amoniaco 0.05 M / EDTA 0.1 M pH 8.5.

Para preparar el reactivo de color se pesó 1 g de sulfanilamida (Aldrich) y 0.5 g de 1-naftiletilendiamina (NED) (J.T. Baker) que se disolvieron en 250 mL de ácido fosfórico (Merck) al 10 %

Para preparar la columna de cadmio se utilizó cadmio granulado (Fluka) que se tamizó en una malla de 40-60 µm, para homogenizar el tamaño de gránulo, y se empacó en una columna de teflón de 10 cm x 0.3 mm.

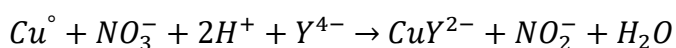
Se preparó una disolución madre de NO₂⁻ (nitrito de sodio; Sigma) de 1000 µg / mL (como nitrógeno de nitritos, N-NO₂⁻) a partir de la cual se prepararon estándares entre 0.1 y 10 µg / mL. Para la curva de calibración de nitratos se utilizó nitrato de sodio (Sigma) a partir del cual se preparó una disolución madre de 1000 µg / mL (como nitrógeno de nitratos, N-NO₃⁻) y estándares en el mismo intervalo que para nitritos. De igual forma se prepararon mezclas de NaNO₂ / NaNO₃ en diferentes proporciones.

Instrumentos

Todas las determinaciones se realizaron en un equipo automatizado de Análisis por Inyección en Flujo OI-Analytical 3000, Alpkem. El equipo consta de dos canales con bomba peristáltica, válvula de inyección y un filtro de 540 nm, por lo que es posible realizar la determinación simultánea de nitratos y nitritos. El automuestreador y cada uno de los canales están controlados por un programa de computadora, así como el procesamiento de datos.

Fundamento de la reacción

Los nitratos se reducen cuantitativamente a nitritos de acuerdo al siguiente equilibrio químico:



El cobre se encuentra en su forma reducida en la columna de cadmio. El nitrito formado reacciona con la sulfanilamida para formar la sal de diazonio que reacciona con el clorhidrato de N-1-naftiletilendiamina para formar el azo compuesto cuya absorbancia se mide a 540 nm.

Procedimiento

Preparación de la columna de reducción

El procedimiento de cuperización del cadmio se realizó de acuerdo a lo establecido por la American Society for Testing and Materials (ASTM).

Se pesaron aproximadamente 20 g de gránulos de cadmio metálico y se tamizaron en una malla de 40-60 μm para homogenizar el tamaño del gránulo. Se pesaron 10 g de los gránulos de cadmio tamizado y se lavaron varias veces con HCl 1:1. Finalmente, se lavaron con agua destilada hasta eliminar completamente el exceso del ácido. A continuación, se adicionó la disolución cuperizante y se mantuvo en agitación suave hasta la desaparición del color azul de la disolución. Posteriormente se eliminó esta disolución y se adicionó otra porción (aproximadamente 20 mL) de la disolución cuperizante. Este procedimiento se realizó varias veces hasta que se hubieron adicionado 250 mL de disolución.

Una vez cuperizado el cadmio se lavaron varias veces los gránulos con agua destilada y se empacaron en una columna de teflón de 10 cm de largo y 0.3 mm de diámetro interno (Cabrera. et al., 2003).

Determinación de nitratos y nitritos por flujo continuo

La configuración FIA utilizada para determinar NO_2^- y $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$

Se inyectan 100 μL de muestra en un portador de agua destilada que confluye con una disolución amortiguadora de pH 8.5. Posteriormente reacciona con el reactivo de color (sulfanilamida y NED) a lo largo del reactor r1 donde se forma el compuesto azoico cuya absorbancia se mide a 540 nm. Al tener dos canales el equipo automatizado se utilizan dos configuraciones iguales con la diferencia que para la determinación de $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ se coloca la columna de cadmio cuperizado después de la válvula de inyección (Cabrera. et al., 2003).

3.1.10. Método para la determinación del Color Real

Para determinar el color real del agua, se trabaja bajo comparación visual y método espectrofotométrico. El primero se basa en comparar la muestra con soluciones coloreadas o discos de cristal de color, que han sido calibrados previamente. La coloración del agua se compara visualmente con una serie de patrones de color, que por unidad de medida simulan el color que produce 1 ppm de platino (en forma de cloroplatinato) con determinada cantidad de cobalto añadida, que se utiliza para igualar el matiz del color. Los resultados se expresan como unidades platino cobalto (UPC)

En el segundo caso, el color se determina mediante un espectrofotómetro, instrumento capaz de proyectar a través de la muestra un haz de luz con una longitud de onda única o con un nº de ciertas longitudes de onda, y medir la cantidad de luz que es absorbida o transmitida a través de la muestra. Los resultados obtenidos se comparan con colores estándar establecidos. (Fuente: HANNA Instruments, 2019).

Encontrar una definición clara sobre el concepto de color es sumamente complejo, ya que esta propiedad por ser una respuesta ocular y de los mecanismos nerviosos a un estímulo que produce una sensación subjetiva percibida por el observador (Kuehni, 2012). De acuerdo con esto el color se dice que es un conjunto de sensaciones las cuales son interpretadas por nuestro cerebro, que dependen de la composición espectral de la luz con la que se ilumina y la capacidad del objeto para absorber, reflejar, reflectar o emitir estas ondas electromagnéticas (ICARO, 2006). En recientes estudios se ha ampliado y reconocido el intervalo visible por el ojo humano a longitudes de onda entre 310 nm en el ultravioletas hasta 1100 nm en el infrarojo, pero dependen mucho de la luminosidad de la fuente “brillo” (Sliney, 2016). La radiación que incide sobre la materia puede ser absorbida total o parcialmente, el color percibido de los objetos corresponde a la luz reflejada por este, este color es complementario al color absorbido por el medio. Cuando una molécula absorbe a ciertas longitudes de onda de luz visible y transmite o refleja otras, se dice que la molécula tiene un color, si absorbe todas las longitudes de onda el objeto aparece color negro, si por el contrario refleja todas las longitudes de onda se observa color blanco (González & Hernández, 2002). Debido a que en la mayoría de los casos los colores no solo son producidos por

una sola longitud de onda monocromática o de espectro puro, el determinar el color mediante la absorbancia o viceversa no es sencillo, ya que el color puede ser el resultado de una interferencia a diversas longitudes de onda, generando un color observado como resultado de la interferencia ya sea constructiva o destructiva de ciertas longitudes de onda. Aunque el espectro entre 380 y 780 nm se considera como visible por el ojo humano, no se debe confundir el color absorbido con el color reflejado. El color en cuerpos de agua natural podría reflejar la presencia de moléculas orgánicas complejas derivadas de materias vegetales (húmicas) tales como turba, hojas, ramas, etcétera. Su efecto puede ser aumentado por la presencia de materia en suspensión, pero esto se elimina normalmente en el análisis por filtración

Con menor frecuencia el color en cuerpos de agua natural puede surgir de la presencia de iones de hierro y/o manganeso. El color que podemos observar en estos tipos de agua están asociados a las longitudes entre 380 y 490 nm. En cuerpos de agua residual por el contrario el color es producto de residuos y colorantes industriales (EPA, 2001). El color en cuerpos de agua es el resultado de la presencia de tanto sustancias suspendidas como disueltas y se denomina color aparente, mientras que al color producto únicamente de sustancias disueltas es llamado color real o verdadero (APHA, AWWA & WEF, 2012). La filtración permite eliminar estas sustancias suspendidas usando un filtro de poro de 0.45 μm .

Debido al alto impacto ambiental causado por vertimientos coloreados a cuerpos de agua la medición de color en aguas ha venido siendo estudiada con el fin de buscar metodologías que permitan ofrecer resultados confiables y así permitir legislar este parámetro. En Colombia en el año 2016 por medio de la Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se establecieron los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público, incluyendo el parámetro de color real medido a 3 longitudes de onda (436, 525 y 620 nm) el cual es de interés para este estudio de validación, aunque en dicha norma no se fijan límites para dicho parámetro, esta establece en su artículo 18 que los responsables de la actividad realizarán la determinación de los parámetros solicitados como de análisis y reporte en las longitudes de onda antes mencionadas (MINAMBIENTE, 2015).

Una de las metodologías más usadas en la actualidad para el análisis del parámetro color verdadero o real es el método de platino-cobalto (UPC) de (APHA, AWWA & WEF, 2012) en su método 2120C, el cual se mide a una sola longitud de onda que es propia de tonalidades amarillas, este método se ajusta muy bien al perfil de aguas naturales y residuales domésticas producto de una coloración por la presencia de sustancias orgánicas, húmicas y flúvicas (Kao et al., 2001), pero no se ajusta a la gran variedad de perfiles encontrados en matrices de agua residual no domésticas producto de colorantes industriales. Algunos países ya están implementando este parámetro dentro de su legislación, como lo son Taiwan, Filipinas, Mainland China, Korea, los Estados de Alabama, Rhode Island (USA), Hochiminh-Vietnam y Hon Kong (Kang & Kuo, 1999). Dentro de las ventajas del método planteado se encuentran su facilidad de implementación y análisis rápido, adicionalmente el método propone un análisis a tres longitudes de onda que pretenden abarcar el espectro visible midiendo absorbancias y reportando coeficientes de absorción espectral, algunas desventajas se encuentran en que se aparta de métodos estándar habituales, por lo tanto, no hay criterios restrictivos y no hay pruebas de laboratorio internacionales (Umek, 2016). Dentro de las posibles interferencias en los métodos de medición de color se tienen, reacciones fotoquímicas que se inician a partir de la excitación de una molécula por la luz (Ueno & Misawa, 2013), reacciones de oxidación y el tiempo de análisis, estas pueden presentarse alterando el comportamiento de la muestra generando desviaciones en la medición.

El proceso de validación de este método se vuelve importante debido a ciertas consideraciones que se han encontrado en la literatura respecto al método descrito por la norma, especialmente en el control de calidad que se propone con el ácido húmico. Se han hecho varios intentos para componer estructuras químicas definidas del ácido húmico, pero muy a menudo estas actividades han conducido a la mala interpretación (Frimmel, 2005), se sabe que sus grupos funcionales principales incluyen restos carboxílicos, fenólicos, carbonilo, hidroxilo, amina, amida y alifáticos, entre otros (Peña et al., 2005). Por tanto, el desconocimiento de la naturaleza del estándar y la dificultad de poder prepararlo, hace que el proceso de validación sea riguroso y se opta por utilizar ácido húmico comercial para desarrollar la validación.

REFERENCIAS

- Aguas Urbanas. (2018). Conceptos sobre monitoreo de calidad de agua. [Documento en línea]. Recuperado a partir de <https://n9.cl/zru05>
- Aguilera Rodríguez, I.; Pérez Silva, R.M.; Marañón Reyes, A. Determinación de sulfato por el método Turbidimétrico en aguas y aguas Residuales. Validación del Método. *Revista Cubana de Química*. Vol. XXII, num.3, 2010, pp.39-44. <https://www.redalyc.org/pdf/4435/443543720007.pdf>
- Aldana-Zavala, J., y Colina-Ysea, F. (2019). Marketing verde en la conformación de una ciudadanía planetaria en el ámbito educativo latinoamericano. *Revista San Gregorio*, 31, 150-161. <http://dx.doi.org/10.36097/rsan.v0i31.972>
- AL-Dulaimi, G. A., y Younes, M. K. (2017). Assessment of Potable Water Quality in Baghdad City, Iraq. *Air, Soil and Water Research*. <https://doi.org/10.1177/1178622117733441>
- Ambientum. (2021). Determinación de sulfatos. Recuperado de <https://n9.cl/gdve>
- APHA, AWWA, WEF. (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
- Baird, R. B., Eaton, A. D. & Rice, E. W., (2017). Standard Method for the Examination of Water and Wastewater.
- Barlow, M. (2006). La protección del agua: diez principios. *Polis* [En línea]. Recuperado de <http://journals.openedition.org/polis/5072>
- Barreto, P., Dogliotti, S., & Perdomo, C. (2017). Surface Water Quality of Intensive Farming Areas Within the Santa Lucia River Basin of Uruguay. *Air, Soil and Water Research*. <https://doi.org/10.1177/1178622117715446>
- Barriga, Santiago F., Barbón, Olga G., Buenaño, Carlos V., & Barriga, Luis F. (2018). Impacto en la Producción Científica de un Programa Experiencial de Preparación para la Investigación Dirigido a Docentes Universitarios. *Formación universitaria*, 11(3), 41-48. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062018000300041>
- Berry, J.W., Fleischer, L. Hart, W., & Phillips, C. (2005). Sensor placement in municipal water networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 131(3), 237-243.
- Bishara, A., Al-Azraq, N., Alazze, S., y Durant, J. L. (2021). The multifaceted outcomes of community-engaged water quality management in a Palestinian refugee camp. *Environment and Planning E: Nature and Space*, 4(1), 65–84. <https://doi.org/10.1177/2514848620921856>

- Brousett-Minaya, Magaly, Chambi Rodríguez, Alex, Mollocondo Turpo, Mery, Aguilar Atamari, Luzbenita, & Lujano Laura, Efrain. (2018). Evaluación Físico-Química y Microbiológica de Agua para Consumo Humano Puno - Perú. *Fides et Ratio - Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, 15(15), 47-68. <https://n9.cl/i93lv>
- Cabrera Molina, Erika, Hernández Garciadiego, Lucía, Gómez Ruíz, Humberto, & Cañizares Macías, Ma. del Pilar. (2003). Determinación de nitratos y nitritos en agua: Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar. *Revista de la Sociedad Química de México*, 47(1), 88-92. <https://n9.cl/dljcy>
- Capote L, TarcisioJ, Matute P, Saida B, & Rojas V, Jesús R. (2015). Determinación de la dureza total en agua con EDTA empleando una solución amortiguadora inodora de borato. *Revista del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel*, 46(1-2), 25-37. <https://n9.cl/6attc>
- Carreño-Sayago, U. F. (2016). Diseño y evaluación de un biosistema de tratamiento a escala piloto de aguas de curtiembres a través de la *Eichhornia crassipes*. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18(2), 74-81. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n2.52271>
- Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J., & Diaz, D. (2014). Water Quality Indexes: Evolution and Trends at the Global Level. *Ingeniería Solidaria*, 10(17), 111-124. <https://doi.org/10.16925/in.v9i17.811>
- Cervantes-Zepeda, A.I., Cruz-Colín, M.R., Aguilar-Corona, R., Castilla-Hernández, P., & Meraz-Rodríguez, M. (2011). Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua tratada en un reactor UASB escala piloto. *Revista mexicana de ingeniería química*, 10(1), 67-77.
- Chávez-Cadena, M., Herrera-Morales, G., y Jiménez-Gutiérrez, M. (2021). Monitoreo y calidad del agua en contribución a una experiencia sostenible de vida. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 6(11), 34-43. <http://dx.doi.org/10.35381/r.k.v6i11.1146>
- Chen, F.-L., Yang, B.-C., Peng, S.-Y., y Lin, T.-C. (2020). Applying a deployment strategy and data analysis model for water quality continuous monitoring and management. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. <https://doi.org/10.1177/1550147720929825>
- Cho, M., Bonn, M. A., y Li, J. (2020). Examining Risk-Reduction Behavior Toward Water Quality Among Restaurant Guests. *Cornell Hospitality Quarterly*, 61(3), 255–270. <https://doi.org/10.1177/1938965520919106>

- Clark, R.M. And Coyle, J.A. Measuring and modeling variations in distribution system water quality. *Journal of the American Water Works Association*. Vol. 2, 1990, pp. 46-53.
- Coelho A.C, & Pinheiro V. (2016). Características microbiológicas del agua en granjas de conejos del nordeste de Portugal. Recuperado de <https://n9.cl/yelf>
- Dávila, J., & Rhon-Dávila, M. (2005). Ecuador: La gobernabilidad en el suministro de agua y saneamiento en la interfaz periurbana de áreas metropolitanas. *Cuadernos del Cendes*, 22(59), 171-172.
- Delgado, R. (2020). Nuestros ríos y los indicadores de calidad del agua [Documento en línea]. Recuperado a partir de <https://n9.cl/rs8i>
- Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito EPMAPS. (2020). Cierre de la mesa del ODS 6, liderada por EPMAPS. <https://n9.cl/onc7v>
- EPA. (2001). Parameters of water quality. Interpretation and Standards. Irlanda: Environmental Protection Agency.
- Espinar Álava, Estrella Magdalena, & Vigueras Moreno, José Alberto. (2020). El aprendizaje experiencial y su impacto en la educación actual. *Revista Cubana de Educación Superior*, 39(3), e12.
- Estrategia Nacional de la Calidad del Agua (ENCA). (2016). [Internet]. Recuperado desde
- Fibras y Normas de Colombia S.A.S. (2019). Las aguas residuales de carácter industrial, sus características y complejidades. Recuperado de <https://n9.cl/xrl7g>
- Frimmel, F. (2005). Aquatic humic substances. In Biopolymers Online. Karlsruhe, Alemania: Wiley-VCH. DOI: [10.1002/3527600035.bpol1010](https://doi.org/10.1002/3527600035.bpol1010)
- Gamboa, M, Reyes, R, & Arrivillaga, J. (2008). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 48(2), 109-120.
- García, M., & Pérez-López, J. (2018). Características de las aguas residuales. Recuperado de <https://n9.cl/dg5f>
- González-Acosta, Eloy, Almeida-González, Maylié, y Maqueira-Caraballo, Giceya C. (2020). El software empresarial como tecnología para el aprendizaje y el conocimiento: un enfoque experiencial. *Formación universitaria*, 13(3), 101-110. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062020000300101>
- González, C. & Hernández, L. (2002). Introducción al análisis instrumental. Barcelona: Ariel.

- HANNA Instruments. (2019). Color del agua, parámetro indicador de calidad. Recuperado de <https://n9.cl/6w6o>
- Icaro. (2006). Manual de la Iluminación. Las Palmas de Gran Canaria: Editorial de Construcción Arquitectónica.
- Iglesias Piña, David. (2017). La valoración económica y mercantilización del agua de consumo humano en el Estado de México. Algunos determinantes. *Espiral (Guadalajara)*, 24(68), 79-109. <https://n9.cl/b4r9i>.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos INEC. (2017). Ecuador, pionero en medición de ODS de Agua, Saneamiento e Higiene. [Internet]. Recuperado desde <https://n9.cl/5ui07>
- ISOTools. (2015). Los 17 indicadores de calidad ambiental imprescindibles. Recuperado de <https://n9.cl/nwqop>
- Jaimez-Cuéllar, P. y otros 18 autores del proyecto. (2002). Protocolo GUADALMED (PRECE). *LIMNETICA* 21, 21(2), 187-20. <https://www.limnetica.com/pt/node/797>
- Kang, S. & Kuo, S. (1999). Correlation among indicators in regulating colored industrial wastewaters. *Chemosphere*, 39(12), 1983-1996.
- Kao, C.; Chou, M.; Fang, W.; Liu, W. & Huang, B. (2001). Regulation colored textile wastewater by 3/31 wavelength admittance methods in Taiwan. *Chemosphere*, 44(5), 1055-1063.
- Kuehni, R. G. (2012). Color: An Introduction to practice and principles (3th ed). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Kozaki, D., Rahim, M. H. bin A., Ishak, W. M. F. bin W., Yusoff, M. M., Mori, M., Nakatani, N., & Tanaka, K. (2016). Assessment of the River Water Pollution Levels in Kuantan, Malaysia, Using Ion-Exclusion Chromatographic Data, Water Quality Indices, and Land Usage Patterns. *Air, Soil and Water Research*. <https://doi.org/10.4137/ASWR.S33017>
- Li, H. (2020). Investigation of Highway Stormwater Management Pond Capacity for Flood Detention and Water Quality Treatment Retention via Remote Sensing Data and Conventional Topographic Survey. *Transportation Research Record*, 2674(7), 514–527. <https://doi.org/10.1177/0361198120923658>
- Loné-Pérez, P. (2016a) ¿Qué es un indicador ambiental? Recuperado de <https://n9.cl/fzjdy>

- Loné-Pérez, P. (2016b). El papel de los indicadores hidromorfológicos en la determinación del estado ecológico de los ríos. [Documento en línea]. Recuperado a partir de <https://n9.cl/ph86>
- López-García, Alma Delia, Ortega-Escobar, Héctor Manuel, Ramírez-Ayala, Carlos, Sánchez-Bernal, Edgar Iván, Can-Chulim, Álvaro, Gómez-Meléndez, Domingo José, & Vázquez-Alvarado, Rigoberto Eustacio. (2016). Caracterización fisicoquímica del agua residual urbano-industrial y su importancia en la agricultura. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(6), 139-157. <https://n9.cl/1g2vo>
- Magdaleno, F., & Martínez, R., & Roch, V. (2010). Índice RFV para la valoración del estado del bosque de ribera. *Ingeniería Civil*. 157. 85:96. [http://oa.upm.es/38097/1/INVE MEM 2010 207616.pdf](http://oa.upm.es/38097/1/INVE_MEM_2010_207616.pdf)
- Mainali, J., Chang, H., y Chun, Y. (2019). A review of spatial statistical approaches to modeling water quality. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 43(6), 801–826. <https://doi.org/10.1177/0309133319852003>
- Martín, M. (2020). **Clasificación de Rosgen**. [Documento en línea]. Recuperado a partir de <https://n9.cl/85o4t>
- Martínez-Moscoso, A. (2017). El derecho al agua en el Ecuador: Un análisis desde la ciencia política y el derecho público. [Internet]. Recuperado desde <https://n9.cl/q7et0>
- MINAMBIENTE. (2015). Resolución N° 0631 17 Marzo 2015. Recuperado de <https://n9.cl/v5az6>
- Morsy, K. M., Mishra, A. K., y Galal, M. M. (2020). Water Quality Assessment of the Nile Delta Lagoons. Air, Soil and Water Research. <https://doi.org/10.1177/1178622120963072>
- Ostfeld, A., Uber, J. *et al*. The Battle of the Water Sensor Networks (BWSN): A Design Challenge for Engineers and Algorithms. *Journal of Water Resources Planning and Management*. Vol. 134, No. 6, 2008, pp. 556-568.
- Paravani, E., Sasal, C., Sione, M., Gabioud, A., Oszust, D., Wilson, G., Demonte, L., & Repetti, R. (2016). Determinación de la concentración de glifosato en agua mediante la técnica de inmunoabsorción ligada a Enzimas (ELISA). *Revista internacional de contaminación ambiental*, 32(4), 399-406. <https://doi.org/10.20937/rica.2016.32.04.03>
- Peña, E.; Havel, J. & Patocka, J. (2005). Humic substances - compounds of still unknown structure: applications in agriculture, industry, environment, and biomedicine. *Journal of Applied Biomedicine*, 3(1), 13-24.

- Pilar-Bojaca, R. et al. (2006). Alcalinidad potenciometría. Recuperado de <https://n9.cl/jn979>
- Pradillo, B. (2016). Parámetros de control del agua potable. Recuperado de <https://n9.cl/avlvf>
- Preis, A. and OSTFELD, A. Multiobjective Contaminant Sensor Network Design for Water Distribution Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*. Vol. 134, No. 4, 2008, pp. 366-377.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD (2019). Agua limpia y saneamiento. [Internet]. Recuperado desde <https://n9.cl/w9zqi>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD (2019b). Los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Ecuador. Agua limpia y saneamiento. [Internet]. Recuperado desde <https://ecuador.un.org/es/sdgs/6>
- Rawat, R., y Siddiqui, A. R. (2019). Assessment of Physiochemical Characteristics of Drinking Water Quality in Allahabad Metropolitan City, India. *The Oriental Anthropologist*, 19(1), 121–135. <https://doi.org/10.1177/0972558X19835368>
- Resolución No. 002 del Consejo Nacional de Planificación, de 28 de mayo de 2019, Informe de Avance del Cumplimiento de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, 2019. [Internet]. Recuperado desde <https://n9.cl/3gyp>
- Rodríguez et al. (2007). Dureza Total en Agua con EDTA por Volumetría. Recuperado de <https://n9.cl/97aw>
- Rodríguez-Téllez, E, Domínguez-Calleros, A, Pompa-García, M, Quiroz-Arratia, A, & Pérez López, M. (2012). Calidad del bosque de ribera del río El Tunal, Durango, México; mediante la aplicación del índice QBR. *Gayana. Botánica*, 69(1), 147-151. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432012000100014>
- Ruiz-Cuello, T., Pescador-Piedra, J., Raymundo-Núñez, L., & Pineda-Camacho, G. (2015). Dimensionamiento de un sistema hidráulico en casa-habitación para el uso de agua residual. *Revista Cubana de Química*, 27(3), 315-324.
- Saldarriaga, J., Ximena Hernández, M, Prieto, C, Jurado, M, Gacharná, S, & Páez, D. (2014). Localización de puntos de monitoreo de calidad de agua en sistemas de distribución. *Tecnología y ciencias del agua*, 5(2), 39-53. <https://n9.cl/9mvwn>
- Santiago, I. (2003). Contaminación por agentes químicos. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 26(Supl. 1), 181-190.

- Sliney, D. H. (2016). What is light? The visible spectrum and beyond. *Eye*, 30(2), 222-229.
- Torres-Valenzuela, L, Sanín-Villarrea, A, Arango-Ramírez, A, & Serna-Jiménez, J. (2019). Caracterización fisicoquímica y microbiológica de aguas mieles del beneficio del café. *Revista ION*, 32(2), 59-66. <https://doi.org/10.18273/revion.v32n2-2019006>
- Ueno, K. & Misawa, H. (2013). Surface plasmon-enhanced photochemical reactions. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 15, 31-52.
- UICN. (2018). Guía de Monitoreo Participativo de la Calidad de Agua. Quito – Ecuador: UICN. <https://n9.cl/olc10>
- Umek, M. (2016). Development and validation of analytical method B according to standard sist en ISO 7887:2012 for water color determination. Maribor. Recuperado de <https://n9.cl/kfubq>
- US EPA. *User's Manual: TEVA-SPOT Toolkit*. Cincinnati: USA Environmental Protection Agency, 2008.
- Wright, J. F., D. Moss, P. D. Armitage. & M. T. Furse. (1984). A preliminary classification of running water sites in Great Britain based on macroinvertebrate species and the prediction of community type using environmental data. *Freshwater Biology*, 14: 221-256. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1984.tb00039.x>

SOBRE LOS AUTORES



Greys Carolina Herrera Morales

<https://orcid.org/0000-0002-9184-0333>

Docente Universitaria de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador. Miembro de la Red de Investigación Koinonía. Miembro del grupo de investigación Causana Yachay. Su desarrollo profesional está vinculado al área ambiental. Posee más de 5 años de experiencia como responsable de gestión ambiental, consultoría y manejo de laboratorios ambientales. Ingeniería en Biotecnología Ambiental y una especialización en Sistemas Integrados de Gestión en mención Seguridad Industrial, Calidad y Ambiente. Se desempeña como coordinadora en técnica en el mejoramiento y preservación de las áreas ambientales, así como la gestión de planificación, licenciamientos, certificados y registros ambientales para diversos proyectos en instituciones públicas y privadas como el GAD- Dirección de Gestión de Higiene y Ambiente, laboratorio Ambiental LAB CESTTA, Coordinación Zonal 3 de Salud, departamento de Promoción de Salud y Ambiente.



Mirian Yolanda Jiménez Gutiérrez

<https://orcid.org/0000-0002-8047-7911>

Estudios de tercer nivel en la Universidad Técnica del Norte en Imbabura- Ibarra, Ingeniería en Gestión Turística. Maestría en Peoples' Friendship. University of Russia en Rusia – Moscú, Ecología y gestión Ambiental. Docente – investigador en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo desde el 2019, miembro del grupo de investigación Causana Yachay. Coordinadora de la carrera de Ing. Ambiental y coordinadora académica.



Leonardo Daniel Cabezas Andrade

<https://orcid.org/0000-0001-5056-9180>

Ingeniero en Recursos Naturales Renovables y Magister en Gestión Ambiental. Participante en proyectos para la creación de una Ordenanza Municipal que controla y regula el arbolado urbano, también en proyectos con las comunidades para potencializar el desarrollo sostenible rural. Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Sede Orellana en el área ambiental, donde actualmente dirige un proyecto de vinculación con la comunidad de Puerto Francisco de Orellana para la restauración de áreas degradadas y mejorar la conectividad ecosistemas, basado en la experiencia en programas de Restauración forestal con fines de conservación ambiental y protección de cuencas hídricas. Miembro del grupo de investigación Yasuní SDC.

MUESTREO Y CALIDAD DEL AGUA



***Greys Carolina Herrera Morales
Mirian Yolanda Jiménez Gutiérrez
Leonardo Daniel Cabezas Andrade***