



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

Evaluación de la eficiencia de la especie *Phragmites australis* en el
tratamiento de aguas dulces mediante humedales artificiales en el río
Chibunga del cantón Riobamba.

EDWIN ROGELIO GUANGA CASCO

Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo,
presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH,
como requisito parcial para la obtención del grado de:

MAGÍSTER EN INGENIERÍA QUÍMICA APLICADA

RIOBAMBA – ECUADOR

FEBRERO 2023

© **2023**, Edwin Rogelio Guanga Casco

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, titulado Evaluación de la eficiencia de la especie *Phragmites Australis* en el tratamiento de aguas dulces mediante humedales artificiales en el río Chibunga del cantón Riobamba. De responsabilidad del Señor Edwin Guanga ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Dr. Galo Briam Montenegro Córdoba, Ph.D.

PRESIDENTE

Dr. Robert Alcides Cazar Ramirez, Ph.D.

DIRECTOR

Ing. Ivan Fernando Huacho Chavez, M.Sc.

MIEMBRO

Ing. Cesar Arturo Puente Guijarro, Ph.D.

MIEMBRO

Riobamba, febrero 2023

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, EDWIN ROGELIO GUANGA CASCO, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, y el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

GUANGA CASCO EDWIN ROGELIO

N° Cédula: 060293535-5

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, EDWIN ROGELIO GUANGA CASCO, declaro que el presente Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este proyecto de investigación de maestría.

Riobamba, febrero 2023

GUANGA CASCO EDWIN ROGELIO

N° Cédula: 060293535-5

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mis padres quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre, a mi esposa y mis hijos porque son mi mayor fortaleza, el pilar de mi vida y la fuente de inspiración para cumplir mis metas.

Edwin

AGRADECIMIENTO

Al finalizar este trabajo quiero utilizar este espacio para agradecer al Instituto de Posgrado y Educación Continua de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por promover la educación continua a través del programa de Maestría en Ingeniería Química Aplicada lo que me ha brindado una oportunidad de crecimiento académico, profesional y personal.

Quiero agradecer al Ph.D. Robert Cazar, por toda la ayuda brindada como tutor del presente trabajo, por compartir de manera generosa y magnánima todo su conocimiento durante el desarrollo de esta investigación.

Edwin

TABLA DE CONENIDO

RESUMEN	xiv
SUMMARY	xv
CAPÍTULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema de investigación.....	1
1.1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.1.2. Formulación del problema	2
1.1.3. Problemas específicos	2
1.1.4. Justificación de la investigación	2
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivo general	4
1.2.2. Objetivos específicos	4
1.3. Hipótesis	4
1.3.1. Hipótesis general	4
1.3.2. Hipótesis específicas	4
CAPÍTULO II	5
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes de la investigación	5
2.2. Marco conceptual.....	7
2.2.1. Importancia del agua	7
2.2.2. Hidrología.....	7
2.2.3. Recursos hídricos	7
2.2.3.1. Recursos hídricos en el Ecuador	8
2.2.4. Calidad del agua	8
2.2.5. Contaminación del agua.....	9
2.2.5.1. Fuentes de contaminación	9
2.2.6. Criterios de calidad en cuerpos de agua dulce	10

2.2.6.1.	Determinación del Índice de Calidad del Agua	11
2.2.7.	Contaminación del río Chibunga.....	11
2.2.8.	Sistemas de tratamiento de aguas residuales.....	12
2.2.8.1.	Tratamiento primario.....	12
2.2.8.2.	Tratamiento Secundario	13
2.2.9.	Humedales artificiales o construidos.....	14
2.2.9.1.	Procesos	15
2.2.9.2.	Clasificación de los humedales artificiales de flujo sub superficial.....	17
2.2.9.3.	Partes de un humedal de flujo subsuperficial.....	17
2.2.10.	Phragmites australis	18
CAPÍTULO III.....		19
3.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	19
3.1.	Metodología	19
3.1.1.	Tipo y Diseño de investigación	19
3.1.2.	Método de investigación	19
3.2.	Enfoque de la investigación.....	19
3.3.	Identificación de las variables	20
3.3.1.	Variable dependiente.....	20
3.3.2.	Variable independiente.....	20
3.3.3.	Operacionalización de variables	20
3.3.4.	Matriz de consistencia.....	21
3.4.	Diseño de la investigación	23
3.5.	Población de estudio	23
3.6.	Unidad de análisis	23
3.7.	Selección de la muestra	23
3.8.	Tamaño de la muestra	24
3.9.	Técnica de recolección de datos primarios y secundarios	24
3.10.	Tratamiento y diseño experimental.....	24
3.10.1.	Recolección de la muestra	24

3.10.2.	Construcción del humedal artificial	25
3.10.2.1.	Diseño de un Humedal Artificial	26
3.10.2.2.	Construcción de un Humedal Artificial.....	26
CAPÍTULO IV	.....	28
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
4.1.	Análisis de los resultados	28
4.1.1.	Índice de Calidad del Agua (ICA), muestra inicial.	28
4.1.2.	Índice de Calidad del Agua (ICA), muestra tratadas.....	30
4.1.3.	Análisis de la varianza (ANOVA).....	33
4.2.	Comprobación de hipótesis	35
4.2.1.	Hipótesis general	35
4.2.2.	Hipótesis específicas	35
4.2.3.	Discusión de resultados.....	35
CONCLUSIONES	.....	37
RECOMENDACIONES	.....	38
GLOSARIO	.....	39
BIBLIOGRAFÍA	.....	41
ANEXOS	.....	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Parámetros para determinar la calidad del agua características físicas	8
Tabla 2-2:	Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces.....	10
Tabla 3-2:	Tipos de tratamientos primarios.....	12
Tabla 4-2:	Tipos de tratamientos secundarios	13
Tabla 5-2:	Procesos involucrados en el humedal artificial	16
Tabla 6-2:	Clasificación de humedales artificiales.....	17
Tabla 7-3:	Operacionalización de variables	20
Tabla 8-3:	Matriz de consistencia	21
Tabla 9-4:	Parámetros de análisis agua sin tratamiento	28
Tabla 10-4:	Parámetros considerados para determinar el ICA	29
Tabla 11-4:	Parámetros de las muestras tratadas	30
Tabla 12-4:	ICA muestra tratada.....	32
Tabla 13-4:	Obtención de valores para análisis de varianza.....	33
Tabla 14-4:	Análisis de varianza.....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1-2:	Fuentes de contaminación de los ríos.....	10
Ilustración 2-2:	Humedal artificial de flujo subsuperficial.....	15
Ilustración 3-2:	Partes de un humedal de flujo subsuperficial	17
Ilustración 4-2:	Phragmites australis	18
Ilustración 5-3:	Diseño del proceso de investigación	23
Ilustración 6-3:	Humedal artificial de flujo superficial	25
Ilustración 7-4:	ICA propuesto por Brown	29
Ilustración 8-4:	Resultados DBO5 muestras tratadas	31
Ilustración 9-4:	Resultados coliformes fecales muestras tratadas	31
Ilustración 10-4:	Resultados sólidos suspendidos muestras tratadas	32

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A:** Ubicación geográfica del río Chibunga
- Anexo B:** Análisis de aguas

RESUMEN

En las dos últimas décadas, los humedales artificiales han incrementado mundialmente su desarrollo para el tratamiento de aguas residuales, es importante indicar que los humedales artificiales realizan procesos físicos, químicos y biológicos, basados en la fitorremediación (uso de plantas para descontaminar suelos y cuerpos de agua). Para el desarrollo del presente trabajo investigativo se utilizó un humedal construido con la especie (*Phragmites Australis*) comúnmente llamada carrizo para determinar su eficacia en la depuración del agua proveniente del río Chibunga, a la cual previo al tratamiento se le realizó el análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos que permitieron determinar el ICA mismo que se catalogó como pésimo, sin embargo tras el proceso de remediación mediante la aplicación del humedal construido se disminuyó la carga contaminante teniendo entonces un ICA de regular. De esta manera corroboramos la valiosa acción de los humedales en procesos de biorremediación y recuperación de cuerpos de agua.

Palabras claves: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA, ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA), CARRIZO (*Phragmites Australis*), HUMEDALES ARTIFICIALES, TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES.



18-11-2022

0183-DBRA-UPT-IPEC-2022

SUMMARY

In the last two decades, artificial wetlands have increased their development worldwide for wastewater treatment, it is important to indicate that artificial wetlands carry out physical, chemical and biological processes, based on phytoremediation (use of plants to decontaminate soils and water bodies). For the development of the present investigative work, a wetland constructed with the species (*Phragmites Australis*) commonly called reed was obtained to determine its effectiveness in purifying the water from the Chibunga River, to which, prior to treatment, the analysis of physical parameters was performed. , chemical and microbiological that allowed to determine the ICA itself that was classified as bad, however after the remediation process through the application of the constructed wetland the contaminant load was reduced, having then a regular ICA. In this way we corroborate the valuable action of wetlands in bioremediation processes and recovery of water bodies.

Key words: CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY, WATER QUALITY INDEX (ICA), REED (*Phragmites Australis*), ARTIFICIAL HUMIDITY, WASTEWATER TREATMENT.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de investigación

1.1.1. Planteamiento del problema

Existe una gran imposición sobre los recursos hídricos a nivel mundial, de acuerdo a datos reportados por la (UNESCO, 2021) en función de la calidad del agua disponible a nivel mundial para satisfacer toda una serie de necesidades humanas básicas se estima que el 69% del agua dulce disponible en el planeta se destina a la agricultura, representa el 9% a la industria y el 22% a la utilización doméstica, se estima que cerca del 50% de esta agua proviene de fuentes subterráneas. La mala distribución temporal y espacial o la degradación establecen un oscilación bastante holgada entre la oferta existente y la creciente demanda de agua (Torres et al., 2018), cabe recalcar que al ser un país en desarrollo vamos a tener que afrontar una mayor competencia por el acceso al agua en las próximas décadas, esto básicamente debido al incremento demográfico, a los nuevos hábitos de vida, pero sobre todo al desarrollo urbano e industrial que se da de manera desordenada. Es aquí que reside la importancia de buscar alternativas que permitan recuperar y reutilizar el agua, sobre todo para la agricultura, sector que demanda un mayor porcentaje.

La contaminación del agua es uno de los aspectos más preocupantes debido a la existencia de gran cantidad de efluentes que pueden contener elementos químicos muy tóxicos. Los hidrocarburos, los pesticidas, los metales pesados, etc., estos son los principales agentes contaminantes. Razón por la que el agua de los ríos ha jugado un papel importante en la evolución de las sociedades, desde una perspectiva hidrológica, los ríos desempeñan un papel medular en el ciclo global del agua entre el mar, el aire y la tierra; junto con los acuíferos subterráneos acumulan precipitación y la acarrear a manera de escurrimiento hacia el mar que, a su vez, continúa el ciclo y regresa la humedad a la tierra por medio de la atmósfera. Gracias a este proceso cíclico se renueva de manera constante el suministro finito de agua en los continentes promoviendo la vida de las especies sobre la tierra (Ramos, 2017).

El río Chibunga nace en las faldas del volcán Chimborazo cuyo cauce desciende por los páramos de la parroquia San Juan con el nombre de río Chimborazo mismo que se une con el río Cajabamba a 3.238msnm convirtiéndose de esta manera en el principal afluente del río Chambo (Jaque & Potocí, 2015), lo que le convierte en una de las vertientes con alto nivel de contaminación ya que a su paso arrastra una gran cantidad de sedimentos que constituyen componentes de impacto negativo para el entorno natural, tiene una distancia de 5.28 km y

sus límites son: norte con las comunidades del cantón Riobamba, al sur con el cantón Chambo, al este con el cantón Riobamba y al oeste con el cantón Colta (Ramos, 2017).

Por las razones expuestas, dentro del marco del proyecto de investigación aprobado de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo “**Evaluación de la eficiencia de la especie *Phragmites Australis* en el tratamiento de aguas dulces mediante humedales artificiales en el río Chibunga del cantón Riobamba**”, se busca plantear una alternativa que permita intervenir y recuperar el río Chibunga de tal forma que se mejore la utilización de las riberas creando un eje verde - cultural como aquel que posee la ciudad de Cuenca, generando espacios públicos de interés para la ciudadanía.

En el desarrollo del presente trabajo de investigación se prevé utilizar *Phragmites Australis* para la creación de un humedal artificial que permita el tratamiento de aguas contaminadas, de esta manera evaluar a nivel de laboratorio su capacidad de remoción y por ende el rendimiento en el tratamiento del agua objeto de estudio.

1.1.2. Formulación del problema

¿Cómo la especie *Phragmites Australis* incidirá en el tratamiento de aguas dulces del río Chibunga del Cantón Riobamba de la Provincia de Chimborazo?

1.1.3. Problemas específicos

- ¿Cuáles son los beneficios de la especie *Phragmites Australis*?
- ¿Qué porcentaje de elementos contaminantes puede remover la especie *Phragmites Australis*?
- ¿Qué tan eficiente es la especie *Phragmites Australis*?
- ¿En qué tiempo puede remover los elementos contaminantes la especie *Phragmites Australis*?

1.1.4. Justificación de la investigación

En la actualidad, todos los ríos del Ecuador se encuentran contaminados ya sea por la agricultura, industrias o por el ser humano. Ocasionando que estos puedan ser perjudiciales tanto como para las personas, animales y la vegetación. La presente investigación gira en torno a la capacidad depurativa de las especies carrizo (*Phragmites Australis*) la cual se lograrán usar en humedales artificiales para tratamiento de aguas dulces del río Chibunga ubicado en el Cantón Riobamba. Los humedales artificiales podrán brindar un sistema natural

de depuración de los contaminantes de las aguas dulces, su implementación podría representar un costo más conveniente en comparación con métodos de tratamientos convencionales. El río Chibunga es considerado uno de los ríos más contaminados en la Zona 3 del Ecuador, hecho que preocupa ya que el agua es utilizada para riego de cultivos.

El Chibunga es un recurso ambiental y paisajístico que compone uno de los patrimonios naturales más importantes en la ciudad de Riobamba (Veloz & Carbonel, 2018). El estudio contribuirá a evaluar los datos obtenidos acreditados y fiables el desempeño del carrizo (*Phragmites Australis*) como medio utilizado para el tratamiento de agua contaminada. Así mismo, los resultados de la investigación ayudan a futuras investigaciones en la preservación de los ecosistemas, conservación de la biodiversidad de especies, genómica y de sociedades de la microcuenca. La contaminación de los entornos acuáticos es un grave problema ambiental, por lo que existe la necesidad de establecer instrumentos que permitan realizar la evaluación de la calidad del agua de los ríos y de esta manera tomar medidas para su conservación.

De manera general las evaluaciones ambientales de los sistemas acuáticos se focalizan de manera primordial en el análisis fisicoquímico del agua, necesario para el cálculo del índice ICA. Es importante mencionar que en la cabecera cantonal de la ciudad de Riobamba no existen industrias a gran escala que aporten contaminantes a las aguas residuales, sino que estas provienen de fuentes domésticas, agrícolas, ganaderas y locales comerciales (restaurantes, lavadoras, entre otros) conteniendo altos niveles de carga orgánica. Dichas actividades han inducido el deterioro de las propiedades ecológicas, en virtud de que se convierte en un cuerpo receptor de desechos, y su caudal se reduce en época seca, lo cual genera varias complicaciones en el ámbito social, pero sobre todo en el ambiental.

De acuerdo a una extensa revisión bibliográfica de estudios anteriores podemos afirmar que el río Chibunga se ve afectado por actividades antrópicas como la agricultura, ganadería, industrialización y por el asentamiento humano. Para lograr lo antes descrito se contará con un análisis inicial de caracterización del agua que es objeto de estudio dentro del trabajo de investigación para conocer los niveles de contaminación que esta presenta y de esta manera realizar un análisis comparativo con los resultados obtenidos tras el tratamiento de dicha agua con el humedal artificial de *Phragmites Australis*.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Evaluar la eficiencia de la especie *Phragmites Australis* en el tratamiento de aguas dulces mediante la utilización de humedades artificiales en el río Chibunga del Cantón Riobamba de la Provincia de Chimborazo.

1.2.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar la composición biológica de la especie *Phragmites Australis*.
- Determinar las condiciones óptimas de trabajo para el proceso de descontaminación en aguas dulces.
- Determinar la influencia que tiene la especie *Phragmites Australis* sobre el rendimiento de descontaminación de aguas dulces del río Chibunga; mediante humedales artificiales.
- Validar, el porcentaje de descontaminación en base a los resultados arrojados por los laboratorios de la ESPOCH de las aguas dulces del río Chibunga.

1.3. Hipótesis

1.3.1. Hipótesis general

- La especie *Phragmites Australis* incide en el tratamiento de aguas dulces mediante la utilización de humedales artificiales en el río Chibunga del Cantón Riobamba.

1.3.2. Hipótesis específicas

- Puede un humedal artificial remover elementos contaminantes presentes en el río Chibunga.
- Un humedal artificial de *Phragmites Australis* permite la descontaminación de aguas dulces.
- El *Phragmites Australis* resultará un material óptimo para la adsorción y remoción de contaminantes presentes en medios acuosos.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Actualmente, el cambio climático y sus devastadoras consecuencias ha generado una gran preocupación por el ambiente y su protección a tomado fuerza alrededor del mundo, sin embargo, aun cuando es de suma importancia para la humanidad, hay Estados en los que sea por conveniencias políticas y/o económicas, no consiguen consolidar compromisos que perduren en el tiempo. Se cree que más de la mitad de los grandes ríos alrededor de todo el mundo están gravemente contaminados y agotados, degradando y envenenando los ecosistemas que los rodean, poniendo en riesgo la salud y sustento vital de personas que dependen de ella para realizar las diferentes actividades en el diario vivir (Garay, 2020).

En el caso particular del Ecuador la Constitución de la República cuenta con normas que exigen al Estado velar por un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado. De manera simultánea se ha declarado de interés público la preservación y conservación del ambiente, la biodiversidad e integridad del patrimonio genético del país y la prevención y recuperación del daño ambiental.

El río Chibunga en su recorrido atraviesa la ciudad de Riobamba y 25 comunidades cercanas contaminándose en cada sitio habitado. Esto sucede ya que la población, el sector industrial y agropecuario desechan sus desperdicios y aguas servidas sin ningún control, los mismos que por acción del viento y esorrentía son arrastrados hacia los afluentes provocando contaminación del recurso hídrico, nace de las vertientes ubicadas en las faldas del volcán Chimborazo y desciende por los páramos de El Arenal hasta llegar a zonas agrícolas en el sector de la parroquia San Juan, como las comunidades: Chimborazo, Shobol Llinllin, entre otras con el nombre de río Chimborazo, se une con el río Cajabamba a 3.238 msnm y toma el nombre de río Chibunga , su microcuenca se extiende a través de 38 Km, recorre de noroeste a sureste y es el principal afluente del río Chambo tributario del Pastaza y este del Amazonas kilómetros al este. Este río está en la lista de los más contaminados en la Zona 3 del Ecuador, el agua de este cuerpo de agua se utiliza para riego de cultivos, no solo esto, en sus márgenes se encuentra ubicada la empresa Cemento Chimborazo, zonas agrícolas ganaderas, industriales, urbanas, centros de educación y recreación, estas actividades han provocado el deterioro de las características ecológicas del medio. Por lo anterior, se han realizado varios estudios para dar solución al mismo. Entre los estudios más relevantes está:

El estudio realizado por (Patiño & Zhinín, 2015) con el tema: *”Estudio comparativo de la*

capacidad depuradora de Phragmites australis y cyperus papyrus en humedales artificiales subsuperficiales de flujo vertical para el tratamiento de aguas residuales en el cantón Santa Isabel”, cuyo objetivo general fue: Realizar un análisis comparativo de la capacidad depuradora entre *Phragmites Australis* y *Cyperus Papyrus* en humedales artificiales subsuperficiales de flujo vertical para el tratamiento de aguas residuales domésticas en el cantón Santa Isabel como conclusión obtuvieron: El estudio realizado muestra que el carrizo presenta valores de remoción en los siguientes parámetros: alcalinidad, conductividad, sólidos totales, sólidos suspendidos y sólidos disueltos; mientras que el papiro presenta mayor remoción en los parámetros de DBO5, DQO, nitrógeno amoniacal, fósforo, coliformes totales y fecales. En el caso del nitrato, existe un mayor incremento en su concentración a la salida del humedal con papiro. En las dos unidades experimentales la variación de pH y temperatura no son representativas y se mantienen dentro de los límites permisibles establecidas en la normativa ambiental.

La investigación realizada por (Torres et al., 2018), cuyo objetivo de esta investigación fue determinar la eficiencia de las especies *Cyperus Papyrus* y *Phragmites Australis* en el tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales a escala piloto de flujo libre superficial (FLS) en el agua para riego de Carapongo-Lurigancho, como resultado de este trabajo investigativo se logró evaluar la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales de Carapongo-Lurigancho para riego mediante humedales artificiales de flujo libre superficial (FLS) con las especies *Cyperus Papyrus* y *Phragmites Australis*. A pesar de que la remoción de los parámetros microbiológicos y DBO fue efectiva y eficiente reduciendo en un aproximado del 80 al 89% en todos los parámetros, estos resultados aún no llegan a cumplir los ECA para el uso de riego de vegetales. Es por ello que para que la eficiencia de este humedal sea completamente efectiva, será necesario anteponer otro método de remoción, ya sea un tratamiento secundario para que así usando los humedales como tratamiento terciario la remoción de los parámetros nombrados anteriormente estén dentro del parámetro establecido.

En ese marco es preciso examinar las técnicas que se tiene para el tratamiento de aguas residuales de tal manera que se utilicen criterios: ecológicos, económicos, técnicos y sociales, que permitan plantear la solución con mayor viabilidad, y una de estas es la de humedales artificiales (HA) (Marín Acosta et al., 2016). Con los resultados de la presente investigación se conocerá y tendrá información confiable sobre la calidad del agua actual del río Chibunga y además la viabilidad de la propuesta planteada para el tratamiento de la contaminación del río y medidas de control del mismo.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Importancia del agua

El agua es nuestro recurso máspreciado, un “oro azul” al que más de 2.000 millones de personas no tienen acceso. No solo es esencial para la supervivencia, sino que también desempeña un papel sanitario, social y cultural en el seno de las sociedades humanas (UNESCO, 2021). Dicho recurso es de gran importancia para el ser humano, así como para el resto de animales y seres vivos que nos acompañan en el planeta por tal razón se lo considera el elemento más importante para la vida (Ger, 2017).

2.2.2. Hidrología

La Hidrología es una de las ciencias más antiguas de la humanidad, lo cual está relacionado con la evolución de las necesidades del ser humano. En un principio las aglomeraciones humanas se formaban alrededor del agua, lagos o riberas, lo cual facilitaba el acceso al recurso y al transporte de personas y mercancías (Blandón, 2019). Es una rama de las ciencias de la Tierra que estudia el agua, su ocurrencia, distribución, circulación, esto incluye las precipitaciones, la escorrentía, la humedad del suelo, la evapotranspiración y el equilibrio de las masas glaciares (Porras, 2021), además estudia sus propiedades físicas, químicas y mecánicas en los océanos, atmósfera y superficie terrestre.

2.2.3. Recursos hídricos

Los recursos hídricos hacen referencia a la cantidad de aguas dulces superficiales y subterráneas de una determinada zona geográfica (normalmente una cuenca hidrográfica o un país), que se renuevan anualmente, dichos recursos están conformados por las aguas renovables, tanto superficiales como subterráneas cabe recordar que el agua dulce accesible para la humanidad representa una pequeña parte de la hidrosfera, y de ella una ínfima parte es la que se consigue captar.

En su investigación (Velóz, 2018) indica que la principal característica de los recursos hídricos incide en que están desigualmente repartidos tanto espacial como temporalmente a escala interanual y estacional. Lo que supone la presencia de cuencas y áreas geográficas con escaseces de agua, debido tanto a su falta física como a la inexistencia de infraestructuras suficientes que satisfagan las demandas hídricas. En el planeta existe unvolumen total de agua de 1.385,98 millones de km³, de la que el 97,5% es salada; y tan sólo el 0,01% que representa aproximadamente unos 104.590 km³, es apta para el consumo humano.

2.2.3.1. Recursos hídricos en el Ecuador

El agua dulce en Ecuador es un recurso limitado, su calidad está bajo presión constante; ya que, es esencial para los distintos usos como la agricultura, la industria y para cubrir todas las necesidades del hombre, actualmente la calidad del agua ha venido deteriorándose por ello preservar el agua dulce en buenas condiciones es de vital importancia.

La precipitación media anual en el Ecuador es de aproximadamente 2 274 mm, lo cual supone 645 km³/año en el territorio continental, que cuenta con dos grandes vertientes hidrográficas. Por un lado la vertiente Pacífica y por el otro la vertiente Atlántica o Amazónica. De manera general, el país está constituido por 31 Sistemas Hidrográficos, incluidas las Islas Galápagos, lo que representa 432 km³/año” de recursos hídricos internos renovables (Jaque & Potocí, 2015).

2.2.4. Calidad del agua

Es un término que describe las características físicas, químicas y biológicas del agua determinando así los parámetros que deben ser aceptables para los distintos tipos de usos (González & Morales, 2020).

Tabla 1-2: Parámetros para determinar la calidad del agua características físicas

Color	Se da principalmente por la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, etc., en diferentes estados de descomposición, y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales.
Turbidez	La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua.
Conductividad	Es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica, que depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua.
Potencial de Hidrógeno	Indica la concentración de iones hidronio [H ₃ O] ⁺ presentes en determinadas sustancias. La escala de pH típicamente va de 0 a 14 en disolución acuosa, siendo ácidas las disoluciones con pH menores a 7 y alcalinas las que tienen pH mayores a 7. El pH igual a 7 indica la neutralidad de la disolución.

<i>Sólidos totales</i>	El valor de los sólidos totales incluye material disuelto y no disuelto (sólidos suspendidos).
<i>Sólidos suspendidos</i>	Sólidos insolubles que flotan en la superficie de, o están en suspensión en el agua, las aguas residuales u otros líquidos. Partículas sólidas orgánicas o inorgánicas (dispersas, coaguladas o floculadas) mantenidas físicamente en suspensión por agitación o flujo.
<i>Nitratos, Nitritos y Fosfatos</i>	Los nitratos inorgánicos se forman en la naturaleza por la descomposición de los compuestos nitrogenados como las proteínas, la urea, los fertilizantes y las aguas negras de origen animal también son fuentes de nitratos.
<i>Alcalinidad</i>	Mide la capacidad del agua para neutralizar los ácidos. Los componentes alcalinos en el agua como los bicarbonatos, carbonatos y los hidróxidos remueven iones de H ⁺
<i>Dureza</i>	concentración de compuestos minerales de cationes polivalentes (principalmente divalentes y específicamente los alcalinotérreos) que hay en una determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio y calcio

Realizado por: Guanga E. 2022
Fuente: (Ger, 2017)

2.2.5. Contaminación del agua

Dicese a la modificación negativa en su calidad y en especial su composición química, que se da comoresultado de introducir elementos o formas de energía o provocar condiciones desfavorables en relación al uso al que está destinada (O. García & Ramírez, 2019).

El foco de contaminación mas frecuente que afecta este recurso se da por las actividades antropogénica, debido a que las sustancias tóxicas vertidas provocan interacción con la biosfera y desencadenan efectos que alteran de forma nociva el ambiente (Garay, 2020). Convirtiéndose así en un agente portador de contaminantes infecciosos, tóxicos y perjudiciales para la salud como para el ambiente acuático y su interacción con la biosfera.

2.2.5.1. Fuentes de contaminación

Son las fuentes naturales y las fuentes antrópicas las que generan gran afectacion a los rios, en la tabla que presede se detallan dichas fuentes,

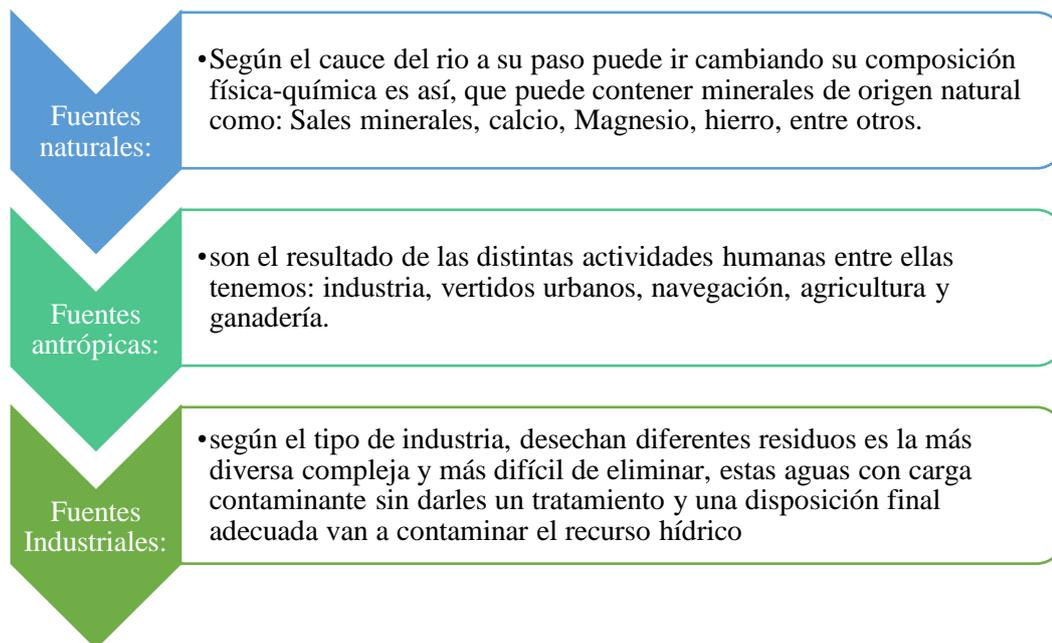


Ilustración 1-2: Fuentes de contaminación de los ríos

Realizado por: Guanga E. 2022

Fuente: (Mendes, 2019)

2.2.6. Criterios de calidad en cuerpos de agua dulce

Se define como calidad del agua a aquellas características físicas, químicas, biológicas, microbiológicas y radiológicas susceptibles de control a través del análisis de diversos parámetros cuyos resultados se comparan con valores de referencia que han sido establecidos en función de su uso y aprovechamiento, así como también de la conservación de los ecosistemas.

El origen de toda el agua es el medio ambiente y toda el agua extraída por los seres humanos regresa al medio ambiente, pero lo hace arrastrando gran cantidad de impurezas. Sin embargo el estado y las tendencias de las interacciones entre el medio ambiente y el agua muestran visiblemente la necesidad de una considerable y mejor incorporación del valor del medio ambiente en la gestión de los recursos hídricos (Godoy et al., 2020). En la tabla 2-2, se muestran los parámetros y los límites permisibles que determinan la calidad de un cuerpo de agua dulce.

Tabla 2-2: Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces

<i>Parámetros</i>	<i>Expresados como</i>	<i>Unidad</i>	<i>Agua Dulce</i>
Oxígeno disuelto	OD	% de saturación	>80

Potencial hidrógeno	pH	Unidades de pH	6,5 – 9
DQO	DQO	mg/l	40
DBO ₅	DBO ₅	mg/l	20
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/l	Max. Incremento de 10%

Realizado por: Guanga E. 2022

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2017)

2.2.6.1. Determinación del Índice de Calidad del Agua

El índice de calidad de agua (ICA) es una herramienta que permite identificar la calidad de agua de un cuerpo superficial o subterráneo en un tiempo determinado, es un valor numérico que oscila entre 0 y 1 (Ramos, 2017). Dicho número incorpora datos de múltiples parámetros físicos, químicos y biológicos, en una ecuación matemática, mediante la cual se evalúa el estado de un cuerpo de agua, el cual da indicios de los problemas de contaminación (Blandón, 2019). Para el cálculo del índice de calidad del agua se han considerado ciertos parámetros: pH, turbidez, total sólidos disueltos, conductividad eléctrica, cloruros, alcalinidad, acidez, fluoruros, oxígeno disuelto total, sólidos suspendidos totales, sólidos totales. Mediante el uso del método aritmético ponderado se analiza el índice de calidad del agua. Este estudio es una referencia para implementar la mejor técnica adecuada para construir el relleno sanitario (Munagala et al., 2020).

En la actualidad existen diferentes metodologías para evaluar la calidad de agua de un cuerpo; la diferencia entre una y otra radica en la forma de calcularse y en los parámetros que se tienen en cuenta en la formulación del índice respectivo (Caho & López, 2017).

2.2.7. Contaminación del río Chibunga

En términos generales, los estudios realizados en los últimos años han permitido determinar que el río Chibunga está gravemente contaminado por las varias actividades que son desarrolladas por parte de las personas que residen en el lugar de influencia. Se puede decir que del 100% de la contaminación que recibe el río, el 25% corresponde a desechos agroquímicos, 20% desechos inorgánicos, 10% desechos orgánicos, un 15% corresponde a la pérdida de caudal que es utilizado en regadío de cultivos, además de un 30% por aguas residuales de la ciudad de Riobamba (Ramos, 2017).

De acuerdo a un análisis realizado por la ESPOCH en el año de 1994, se reportó que el índice de calidad del agua del río Chibunga localizada en la zona del parque Lineal Chibunga es de 24 a 37 (Godoy et al., 2020); más tarde en el año de 1998 se detectó que fue superior a 37 en todo su curso, lo que indica la mala calidad, mientras que en el año 2009 se reportan valores de entre 24 y 37 dando como resultado un río de mala calidad (Velóz, 2018), sin embargo a lo largo de estos años ha sufrido un deterioro mucho más severo así, en el 2014 se obtiene que el ICA equivalente a PÉSIMO (Veloz & Carbonel, 2018).

2.2.8. Sistemas de tratamiento de aguas residuales

Un sistema de tratamiento de aguas residuales está constituido por una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que permiten la remoción de los contaminantes que alteran la calidad de aquellos efluentes que proviene tanto de uso doméstico como industrial en una superficie definida y bajo parámetros controlados. Cuyo principal objetivo es cumplir con los límites permisibles determinados por los entes reguladores en materia ambiental, por otro lado, se busca conservar un balance ecológico que permita proteger el entorno (Patiño & Zhinín, 2015).

El agua atraviesa el sistema complejo de manera continua, la superficie permanece libre al nivel del suelo o por encima del mismo, manteniéndolo en estado de saturación durante un largo periodo de tiempo (Acosta et al., 2007).

2.2.8.1. Tratamiento primario

Consiste en un tratamiento físico-químico que permite la remoción de sólidos y arena, mediante la precipitación de estas partículas para lo cual se puede aplicar coagulantes o floculantes, se busca además la separación de aceites y grasas para garantizar los tratamientos posteriores, ya que los tratamientos biológicos no están diseñados para tratar sólidos (López, 2015).

Tabla 3-2: Tipos de tratamientos primarios

TIPOS FUNDAMENTALES DE TRATAMIENTOS PRIMARIOS	
Cribado o desbrozo	Proceso físico o mecánico que separa los materiales de acuerdo a su tamaño de partícula individual; consiste en filtrar el afluente en cámaras de rejas para eliminar todos los objetos grandes
Sedimentación	Ésta se utiliza en los tratamientos de aguas residuales para separar sólidos en suspensión de las mismas, basándose en la diferencia de peso

	específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se encuentran.
Flotación	La flotación se usa para separar partículas líquidas (grasas, aceites, etc.), fibras y otros sólidos de baja densidad, así como para espesar los lodos procedentes de los procesos de lodos activados. La separación se lleva a cabo introduciendo un gas (normalmente aire) en la fase líquida, en forma de burbujas

Realizado por: Guanga E. 2022
Fuente: (López, 2015)

2.2.8.2. Tratamiento Secundario

Intuyen aquellos procesos biológicos aerobios y anaerobios con los que se busca reducir la mayor parte de la materia orgánica para el posterior tratamiento de potabilización o liberación al medio de efluentes, de acuerdo a los límites permisibles (Blandón, 2019).

Tabla 4-2: Tipos de tratamientos secundarios

TIPOS FUNDAMENTALES DE TRATAMIENTOS SECUNDARIOS	
Lodos activados	Consta de un reactor donde se mantiene en suspensión un cultivo microbiano capaz de asimilar la materia orgánica presente en el agua residual a depurar, requiere un sistema de aireación y de agitación, que suministre el oxígeno requerido por las bacterias encargadas de la depuración
Aireación prolongada o de oxidación total	Es una modificación del proceso de lodos activados. La diferencia fundamental es disminuir la cantidad de lodo residual. Esto se consigue aumentando el tiempo de residencia, el lodo formado se consume mediante respiración endógena.
Estabilización por contacto	El agua residual afluyente se mezcla con lodo estabilizado y esta mezcla se somete a aireación en el tanque de contacto inicial, para el cual, el tiempo de retención es solamente de 20 a 40 min.
Lagunas aireadas	Son lagunas con profundidades de 1 a 4m en las que la oxigenación de

	las aguas residuales se realiza mediante unidades de aireación bien sean superficiales, turbinas o difusores.
Estabilización por lagunaje o lagunas de estabilización	En este proceso no se utilizan equipos de aireación; el oxígeno necesario se obtiene de la superficie natural de aireación y de las algas que producen oxígeno por fotosíntesis. El oxígeno liberado por las algas por la fotosíntesis se utiliza por las bacterias para la degradación aerobia de la materia orgánica. Los productos de esta degradación (CO ₂ , amoníaco, fosfatos) son utilizados de nuevo por las algas.
Filtros biológicos	Se basan en el paso del agua residual a través de materiales con gran superficie como piedras, plásticos, etc., que se recubren de una película o zooglea de organismos aerobios que van consumiendo la materia orgánica aportada con el agua.
Humedales artificiales	Son cuerpos de agua de baja profundidad que retienen temporalmente el agua con la finalidad de promover la degradación con ayuda de bacterias aerobias y anaerobias, oxigenar el sistema, y remover la mayor parte de los patógenos.
Discos biológicos o biodiscos	El sistema consiste en un cilindro de plástico de gran tamaño y superficie, que gira alrededor de un eje horizontal y está sumergido parcialmente en el agua residual a tratar.
Tratamiento anaerobio	Es frecuente que las aguas residuales de las industrias agroalimentarias tengan una carga orgánica elevada, en cuyo caso se utilizan sistemas anaerobios (digestores).

Realizado por: Guanga E. 2022
Fuente: (Blandón, 2019)

2.2.9. Humedales artificiales o construidos

Los humedales artificiales no son otra cosa que sistemas pasivos de depuración, de poca profundidad, con plantas propias de zonas húmedas, y en los que se desarrollan procesos simultáneos de descontaminación dados por componentes físicos, químicos y biológicos (Luna & Aburto, 2014), que permiten simular los procesos naturales que suceden en el

ambiente y que involucran el uso de vegetación, material de soporte y asociaciones microbianas (Asprilla et al., 2020).

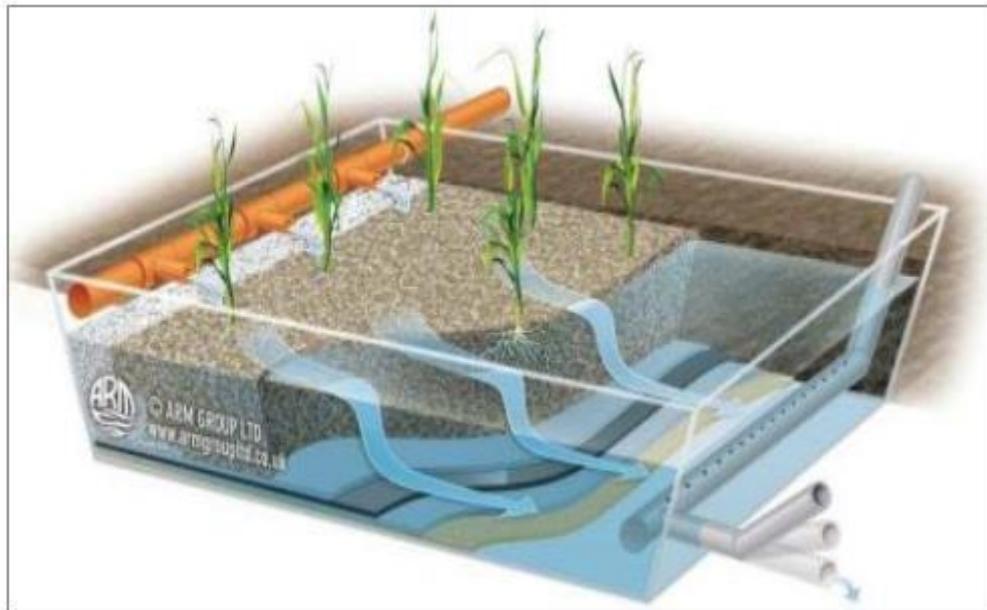


Ilustración 2-2: Humedal artificial de flujo subsuperficial
Fuente: (Aguilar, 2020)

La principal característica de estos sistemas de flujo subsuperficial, está dada por la circulación del agua que se lleva a cabo a través de un medio granular (subterráneo), con una profundidad de agua cercana a los 0,6 m. En dicho medio se planta la vegetación y el agua está en contacto con los rizomas y raíces de las plantas.

2.2.9.1. Procesos

En los humedales artificiales se llevan a cabo procesos de tipo físicos, químicos y biológicos, que se fundamentan en la fitorremediación que no es otra cosa que la descontaminación de suelos y cuerpos de agua por medio de plantas. Una de las principales ventajas de este proceso es el bajo costo de operación y mantenimiento junto con la alta eficiencia de remoción; en este tipo de operaciones no se utiliza reactivos químicos peligrosos; evitando de tal forma la alteración de la estructura del suelo; ya que básicamente se emplean técnicas de carácter agrícola; el proceso se realiza in situ evitando costos de transporte; y se aplica tanto a contaminantes orgánicos como inorgánicos.

Tabla 5-2: Procesos involucrados en el humedal artificial

PROCESOS INVOLUCRADOS EN EL HUMEDAL ARTIFICIAL	
Volatilización	Un proceso de evaporación en el cual los contaminantes volátiles disueltos en las aguas residuales se transfieren a la atmósfera al entrar en contacto con ésta. Al tener una cantidad adecuada de superficie de contacto se promueve la eliminación de gases como el metano.
Filtración	Consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que escurre a través de un medio poroso o filtrante. Se le considera como un proceso de clarificación y es el resultado de fenómenos físicos e hidráulicos, afectados principalmente por la adherencia entre partículas y granos. Básicamente es un fenómeno de acción superficial, en donde las partículas por remover, permanecen adheridas a la superficie de los granos por la acción de las fuerzas de cizallamiento.
Absorción de oxígeno	Son procesos en los cuales se transfiere el oxígeno entre la atmósfera y las aguas dulces a través de la superficie de contacto; se producen por la carencia (absorción) de oxígeno disuelto en el agua y, cuanto mayor sea la superficie de contacto, mayor será el intercambio de oxígeno.
Absorción de las raíces	La raíz realiza una función por medio de los pelos absorbentes que son prolongaciones de las células epidérmicas de la raíz, construidas por poros.
Fotosíntesis	La fotosíntesis es un proceso químico mediante el cual las plantas fabrican su propio alimento. Básicamente consiste en la elaboración de azúcares, en presencia de la luz solar, a partir de CO ₂ , minerales y agua
Acción bacteriana	Como resultado de la actividad bacteriana los residuos orgánicos se pueden transformar en partículas inorgánicas (nutrientes) necesarias

para la alimentación de las plantas.

Realizado por: Guanga E. 2022
Fuente: (López, 2015)

2.2.9.2. Clasificación de los humedales artificiales de flujo sub superficial

Los humedales artificiales de flujo sub superficial se pueden clasificar en horizontales y verticales según el movimiento del flujo.

Tabla 6-2: Clasificación de humedales artificiales

Humedales horizontales	Humedales verticales
Están compuestos principalmente por grava como soporte para el desarrollo radicular de las especies de macrófitas ¹ y para la adherencia de los microorganismos encargados de la degradación de la materia orgánica	En estos sistemas la circulación del agua es de tipo vertical y tiene lugar de forma discontinua o por medio pulsos, de manera que el medio granular no está permanentemente inundado

Realizado por: Guanga E. 2022
Fuente: (López, 2015)

2.2.9.3. Partes de un humedal de flujo subsuperficial

Los humedales artificiales de flujo sub superficial están compuestos fundamentalmente por cuatro elementos: agua residual, sustrato, vegetación y microorganismos

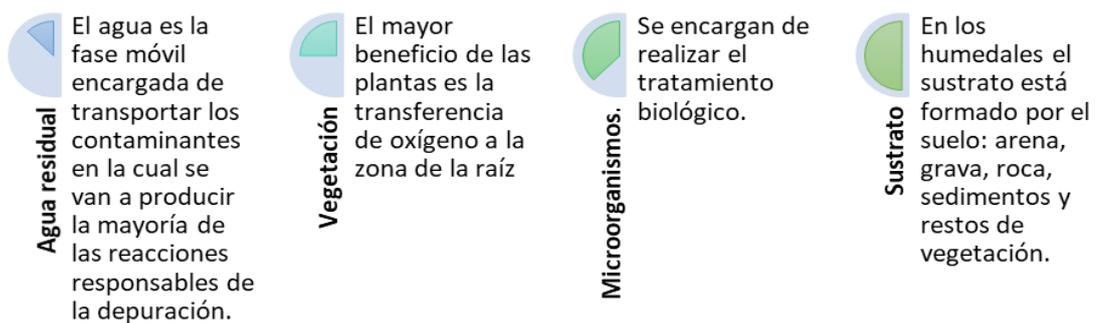


Ilustración 3-2: Partes de un humedal de flujo sub superficial

Realizado por: Guanga E. 2022
Fuente: (María Reyes et al., 2013)

¹ Las plantas acuáticas, hidrófitas son plantas adaptadas a los medios muy húmedos o acuáticos

2.2.10. *Phragmites australis*

Es una de las especies de plantas acuáticas de mayor distribución en el mundo. Esta planta se ha utilizado para la fitorremediación de diferentes tipos de aguas residuales, suelos y sedimentos desde la década de 1970. Las investigaciones publicadas confirman que *P. australis* es un gran acumulador de diferentes tipos de nutrientes y metales pesados que otras de su especie (Rezania et al., 2019).

La particularidad de esta planta es capacidad de adaptación, debido a la alta diversidad intraespecífica del carrizo, así como a su plasticidad fenotípica, la planta muestra una amplia amplitud ecológica (F. García et al., 2019). Además, la planta presenta una alta capacidad de aclimatación a las condiciones ambientales que se consideran adversas. Esta planta se ha utilizado durante muchos años en fitorremediación para depurar varios tipos de aguas residuales. *Phragmites australis* tiene una gran capacidad para acumular diversos nutrientes, metales pesados y microcontaminantes y, en este sentido, es superior a otras plantas acuáticas (Milke et al., 2020). El carrizo tiene una amplia gama de usos, desde artesanal hasta en la construcción de techos y más recientemente, en programas de control de erosión de suelos y restauración y tratamiento de aguas residuales. Desde el punto de vista biológico, *Phragmites australis* es una planta muy versátil.

La *Phragmites Australis* se describe como una especie de gran tamaño, perenne y provisto de un gran rizoma leñoso cubierto con vainas coriáceas semejantes a escamas. Tallo de 80 - 350 (1000) x 0.5 - 1.2 cm, generalmente no ramificado (Chi et al., 2021). Sus hojas tienen una dimensión de 50 x 5 cm, presentan un color verde grisáceas, aplanadas, que se adelgazan progresivamente hacia un largo ápice; además presenta vainas lisas, cubriendo los nudos y la lígula formada por una línea de pelos (Mahmoud et al., 2020).

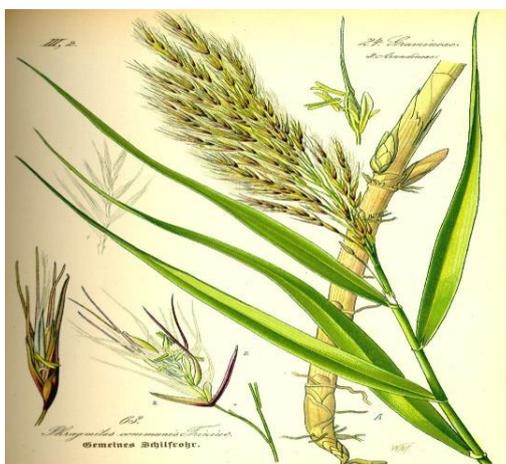


Ilustración 4-2: *Phragmites australis*

Fuente: (ecosostenible, 2018)

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Metodología

3.1.1. Tipo y Diseño de investigación

En función a los objetivos planteados para el desarrollo del presente trabajo investigativo podemos afirmar que es un trabajo de tipo experimental. La selección de la tecnología, a base de humedales artificiales, se efectuó considerando las características y vocación del área, composición del agua a tratar, calidad del agua tratada requerida y ensayos de laboratorio específicos.

También podemos mencionar que la investigación es aplicada ya que establece un objetivo directo e inmediato, mediante los análisis químicos y microbiológicos se define la calidad del agua en el río, además por la temporalidad podemos indicar que nuestro trabajo se ajusta a una investigación transversal ya que apunta a un momento y tiempo definido, así también, el estudio corresponde a una investigación mixta debido a que la obtención de datos se realizó in situ, el análisis de los parámetros en el laboratorio de aguas de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

La presente investigación, cuenta con un diseño de investigación estrictamente experimental enfocados en evaluar la capacidad de un humedal artificial elaborado con *Phragmites Australis* para el tratamiento de agua contaminada mediante procesos experimentales realizados en un laboratorio.

3.1.2. Método de investigación

En el desarrollo de dicho proyecto se trabajó mediante el método de investigación deductivo, ya que se comprobó la capacidad que tiene la *Phragmites Australis* para el tratamiento de aguas contaminada. Para ello tomamos como punto de partida la caracterización inicial en una muestra de agua sin tratar mediante el análisis de diferentes parámetros tanto físicos como químicos y lo comparamos con los resultados obtenidos en las muestras de agua que han sido tratadas mediante la utilización del humedal piloto que se elaboró para este fin de variando el tiempo de permanencia de tal manera que podamos determinar en cuál de los casos se tuvo mayor eficiencia en la remoción de contaminantes.

3.2. Enfoque de la investigación

En función a la recolección de información acerca de parámetros físicos y químicos de la

calidad del agua, para probar la hipótesis planteada, con base a una relación numérica podemos afirmar que el enfoque de la investigación es de carácter cuantitativo.

3.3. Identificación de las variables

3.3.1. Variable dependiente

- Índice de calidad del agua

3.3.2. Variable independiente

- Porcentaje de remoción de residuos contaminantes de aguas dulces.
- Tiempo en que tarda el carrizo en reducir el nivel de contaminación de aguas dulces

3.3.3. Operacionalización de variables

Tabla 7-3: Operacionalización de variables

Variable	Definición	Dimensión	Indicadores	Ítems	Instrumento
Índice de calidad del agua	El ICA se define como el grado de contaminación existente en el agua a la fecha de un muestreo, expresado como un porcentaje de agua pura. Así, agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a 0% y de 100% para el agua en excelentes condiciones.	Índice de calidad del agua	Porcentaje	% ICA	-
Porcentaje de remoción de residuos contaminantes	Es la cantidad de contaminantes físicos y químicos que puede adsorber la <i>Phragmites Australis</i> .	Porcentaje de remoción de residuos contaminantes	Porcentaje	%	Análisis físicos y químicos
Tiempo de contacto	Es el tiempo en el que el líquido permanece junto al medio filtrante.	Tiempo	Minutos	min	Cronometro

Realizado por: Guanga E. 2022

3.3.4. Matriz de consistencia

Tabla 8-3: Matriz de consistencia

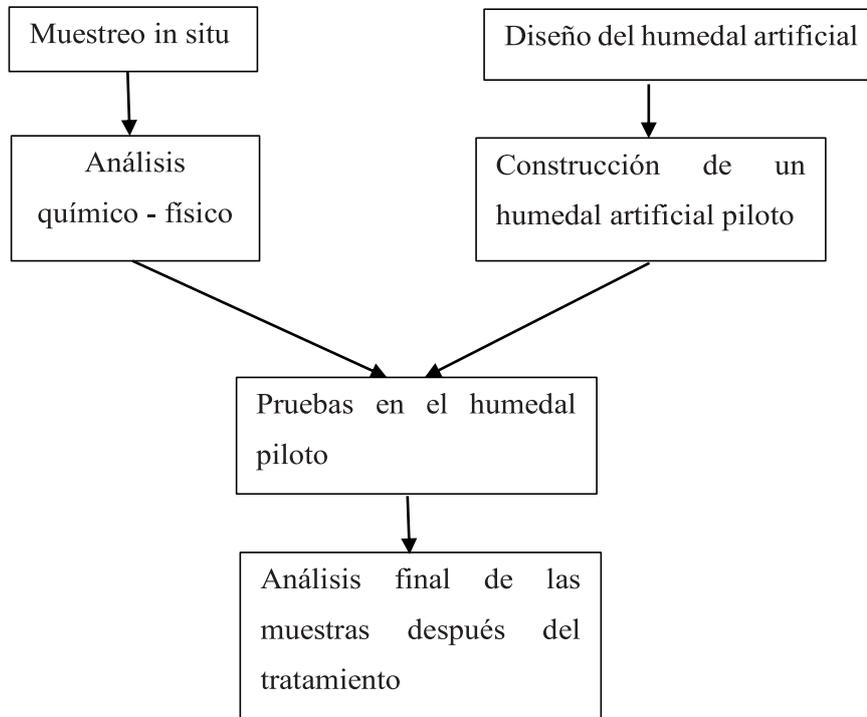
Formulación del problema		Objetivo general		Hipótesis general		
¿Cómo la especie Phragmites Australis incidirá en el tratamiento de aguas dulces del río Chibunga del Cantón Riobamba de la Provincia de Chimborazo?		Evaluar la eficiencia de la especie Phragmites Australis en el tratamiento de aguas dulces mediante la utilización de humedades artificiales en el río Chibunga del Cantón Riobamba de la Provincia de Chimborazo.		La especie Phragmites Australis incide en el tratamiento de aguas dulces mediante la utilización de humedales artificiales en el río Chibunga del Cantón Riobamba.		
Preguntas directas	Objetivo específico	Hipótesis específica	Variables	Indicadores	Técnicas	Instrumentos
¿Cuáles son los beneficios de la especie Phragmites Australis?	Determinar las condiciones óptimas de trabajo para el proceso de descontaminación en aguas dulces.	Puede un humedal artificial remover elementos contaminantes presentes en el río Chibunga.	Índice de calidad del agua	Porcentaje	-	-
¿Qué porcentaje de elementos contaminantes puede remover la especie Phragmites	Determinar la influencia que tiene la especie Phragmites Australis sobre el rendimiento de descontaminación de aguas dulces del Río	Un humedal artificial de Phragmites Australis permite la descontaminación de aguas dulces.	Porcentaje de remoción de residuos contaminantes	Porcentaje	-	-

Australes?	Chibunga; mediante humedales artificiales					
¿Qué tan eficiente es la especie Phragmites Australis?	Validar, el porcentaje de descontaminación en base a los resultados arrojados por los laboratorios de la ESPOCH de las aguas dulces del Río Chibunga	El Phragmites Australis resultará un material óptimo para la adsorción y remoción de contaminantes presentes en medios acuosos.	Tiempo de contacto	Minutos	-	-

Realizado por: Guanga E. 2022

3.4. Diseño de la investigación

Ilustración 5-3: Diseño del proceso de investigación



Realizado por: Guanga E. 2022

3.5. Población de estudio

Se ejecutaron 3 muestreos aleatorios cada muestra fue sometida a una caracterización tras la determinación de diferentes parámetros tanto físicos como químicos para determinar el grado de contaminación de la muestra previo al tratamiento, posterior a ello cada muestra fue llevada al humedal artificial donde se manejaron 3 tiempos de residencia

3.6. Unidad de análisis

Se aplicó el ICA para la determinación de la calidad del agua en el punto de recolección de muestras. Para lo cual se realizó la interpolación con los datos obtenidos de la concentración del contaminante.

3.7. Selección de la muestra

Se tomaron 3 muestras in situ de manera aleatoria en el Rio Chibunga, para cada una se aplicaron 4 pruebas la primera se realizó previo al proceso de tratamiento para determinar la calidad de agua y el grado de contaminación que esta presenta de manera general y las otras

3 pruebas al resultado obtenidos tras el tratamiento en el humedal de carrizo, en la cual se varió el tiempo de residencia, repitiendo el procedimiento para cada muestra

3.8. Tamaño de la muestra

El análisis se aplicará al 100% de la muestra recogida y tratada.

3.9. Técnica de recolección de datos primarios y secundarios

Para la recolección de datos se empleará una técnica de observación experimental, aplicando un conjunto de procedimientos y operaciones de control, para adquirir información relevante en función de las condiciones de la variable dependiente a partir de la variación de las variables independientes.

Se manejará una bitácora para generar un registro de los resultados y las condiciones de trabajo. Por otro lado, los resultados de las distintas pruebas, se registrarán en hojas de Excel para su posterior interpretación y análisis.

3.10. Tratamiento y diseño experimental

3.10.1. Recolección de la muestra

Para el desarrollo del estudio, se utilizaron varias técnicas de recolección de datos como: visitas en campo, observación, medición de caudales, nivel del río, topografía y análisis en laboratorio, ya que mediante su aplicación podemos obtener datos con alta confiabilidad, validez y objetividad.

Se tomaron muestras puntuales en cada estación, de acuerdo a las normas vigentes en el Ecuador: NTE INEN 2169:98 y NTE INEN 2176:98, según se indica a continuación:

- Normas Técnicas Ecuatorianas: NTE INEN 2169:98. Agua: Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras.
- Normas Técnicas Ecuatorianas: NTE INEN 2176:98 para la calidad de agua, técnicas de muestreo.
- Para los análisis microbiológicos (coliformes fecales y totales) se utilizó la norma NTE INEN 1105:1983.

La toma de muestras puntuales se basó en la revisión bibliográfica, en donde se señala que este tipo de muestras son esenciales cuando el objetivo del programa de muestreo es estimar si

la calidad del agua cumple con los límites o se aparta del promedio de calidad.

3.10.2. Construcción del humedal artificial

Se construyó un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal mostrado en la figura 2-3. Este se encuentra precedido por un sistema compuesto por un tanque séptico, cajas de registro y sedimentador que se encarga de remover los sólidos suspendidos y disminuir la carga de DBO5 de las aguas.



Ilustración 6-3: Humedal artificial de flujo superficial

Realizado por: Guanga E. 2022

Los humedales artificiales realizan procesos físicos, químicos y biológicos, basados en la fitorremediación (uso de plantas para descontaminar suelos y cuerpos de agua). Esta tecnología reúne un gran número de ventajas: especialmente la limpieza y el bajo costo de operación y mantenimiento; no utiliza reactivos químicos peligrosos; no afecta negativamente a la estructura del suelo; sólo aplica prácticas agrícolas comunes como la construcción de barreras vivas, aprovechamiento de pendientes naturales para el transporte del agua para riego y la conservación de la productividad de los suelos y el medio ambiente; el proceso se realiza in situ evitando costos de transporte; y se aplica tanto a contaminantes orgánicos como inorgánicos. Entre los procesos involucrados en el humedal artificial se distinguen:

- Volatilización. Método que busca la evaporación de los contaminantes volátiles disueltos

en las aguas residuales se transfieren a la atmósfera al entrar en contacto con ésta. Al tener una cantidad adecuada de superficie de contacto se promueve la eliminación de gases como el metano.

- **Filtración.** Consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que escurre a través de un medio poroso o filtrante. Se le considera como un proceso de clarificación y es el resultado de fenómenos físicos e hidráulicos, afectados principalmente por la adherencia entre partículas y granos. Básicamente es un fenómeno de acción superficial, en donde las partículas por remover, permanecen adheridas a la superficie de los granos por la acción de las fuerzas de cizallamiento
- **Absorción de oxígeno.** Son procesos en los cuales se transfiere el oxígeno entre la atmósfera y las aguas residuales a través de la superficie de contacto; se producen por la carencia (absorción) o el exceso (desorción) de oxígeno disuelto en el agua y, cuanto mayor sea la superficie de contacto, mayor será el intercambio de oxígeno
- **Adsorción.** La adsorción se utiliza para eliminar sustancias solubles en agua que se adhieren a la superficie de un sólido. El sólido más utilizado es el carbón activado (PAC, carbón activado en polvo, y GAC, carbón activado granular, este último es el más utilizado para el tratamiento de aguas). La operación contraria es la desorción y se realiza calentando el sólido adsorbente
- **Fotosíntesis.** La fotosíntesis es un proceso químico mediante el cual las plantas fabrican su propio alimento. Básicamente consiste en la elaboración de azúcares, en presencia de la luz solar, a partir de CO₂, minerales y agua
- **Acción bacteriana.** Como resultado de la actividad bacteriana los residuos orgánicos se pueden transformar en partículas inorgánicas (nutrientes) necesarias para la alimentación de las plantas. Por ejemplo, las leguminosas enriquecen el suelo al incrementar el contenido de nitrógeno gracias a bacterias que originan nódulos de fijación en sus raíces.

3.10.2.1. *Diseño de un Humedal Artificial*

El diseño de un humedal depende del tipo y concentración de los contaminantes presentes (materia orgánica medida en DBO₅, nitrógeno y fósforo, entre otros). Existen diferentes metodologías de diseño según el contaminante de que se trate.

3.10.2.2. *Construcción de un Humedal Artificial*

Los materiales básicos para la construcción de un humedal artificial incluyen: equipo de

construcción, recubrimiento, grava, tuberías de PVC, sustrato y vegetación. Los costos variarán dependiendo del sitio, de los materiales utilizados y la mano de obra. A continuación, se describen algunas de las características constructivas a tomar en cuenta.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de los resultados

Previo al tratamiento de las muestras tomadas en la cuenca del Río Chibunga, se realizó el análisis para conocer las condiciones del agua a tratar, conociendo de esta manera que los parámetros están por encima de lo que la norma establece en la Tabla 3 Criterios de calidad de aguas para la preservación de flora y fauna en aguas dulces frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuarios del Libro VI, Anexo 1 del TULSMA.

Tabla 9-4: Parámetros de análisis agua sin tratamiento

Parámetros	MUESTRAS SIN TRATAMIENTO				
	UNIDADES	M1	M2	M3	MP
Color	pH	241	241	236	239,33
Ph	-	6,52	7,2	6,6	6,77
Conductividad	mSiems/cm	396,8	397,2	396,7	396,90
Turbiedad	UNT	138	136	142	138,67
Nitratos	mg/L	5,2	5,6	4,9	5,23
Fosfatos	mg/L	4,8	4,7	5,1	4,87
DQO	mg/L	164	165	162	163,67
DBO	MgO2/L	72	74	70	72,00
Oxígeno disuelto	mg/L	5,7	5,5	6,2	5,80
SST	mg/L	161	160	158	159,67
Coliformes totales	NMP/100mL	300000	310000	290000	300000,00
Coliformes fecales	NMP/100mL	250000	250000	230000	243333,33

Realizado por: Guanga E. 2022

De acuerdo a lo resultados obtenidos es claro que los parámetros están fuera de los límites establecidos. La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar (estabilizar) la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias. La DBO es la medida más utilizada para determinar la calidad de aguas residuales y superficiales.

4.1.1. Índice de Calidad del Agua (ICA), muestra inicial.

El índice de calidad de agua (ICA) (WQI, Water Quality Index) incorpora parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en una ecuación, para determinar la calidad de agua en un lugar y tiempo determinados.

CRITERIO GENERAL	ICA
EXCELENTE	91 – 100
BUENA	71 - 90
REGULAR	51 - 70
MALA	26 - 50
PÉSIMA	0 - 25

Ilustración 7-4: ICA propuesto por Brown

Fuente: (Ramos, 2017)

El índice de Brown o índice de Calidad de Agua General, los parámetros utilizados en este modelo son: porcentaje de oxígeno disuelto (%O), fosfatos (mg/l), nitratos (mg/l), pH, turbiedad (NTU), sólidos totales disueltos (mg/l), coliformes fecales (NMP/100 ml) y demanda bioquímica de oxígeno (mg/l) (Ramos, 2017) y se puede determinar de dos formas, una de ellas es realizando una suma lineal ponderada de los subíndices que integran el Índice de Calidad del Agua (ICAa) o bien mediante función ponderada multiplicativa de cada uno de los subíndices (ICAm).

Tabla 10-4: Parámetros considerados para determinar el ICA

PARÁMETROS	VALOR	UNIDADES
Ph	6.52	-
DBO ₅ (mg/L)	72	mgO ₂ /L
Coliformes Fecales (NPM / 100mL)	250000	NMP/100mL
Nitratos (mg/L)	5.2	mg/L
Fosfatos (mg/L)	4.8	mg/L
Turbidez (FAU)	138	UNT
Sólidos disueltos totales (mg/L)	161	mg/L
Oxígeno Disuelto (% de saturación)	5.7	mg/L
Temperatura ambiente	17	°C
Temperatura de la muestra	25	°C
ICAm (función ponderada multiplicativa)	0	-
ICAa (suma lineal ponderada)	0	-

Realizado por: Guanga E. 2022

Una vez calculado el ICA del agua que se muestra en la Tabla 3-4, podemos determinar que vamos a trabajar con una muestra caen en la categoría de “Pésima” lo que significa un alto grado de contaminación lo cual sugiere que no sería considerado aceptable para las actividades que implican el contacto directo con ella, tal como natación.

4.1.2. Índice de Calidad del Agua (ICA), muestra tratadas.

Una vez determinada la calidad de agua del río Chibunga se procedió con el tratamiento de las muestras tomadas en su cuenca, para ello se utilizó un humedal artificial de flujo superficial construido con *Phragmites Australis*, para determinar la eficiencia del proyecto se realizó 3 tratamientos con tiempos de permanencia diferentes. Los resultados se muestran en la Tabla 4-4.

Tabla 11-4: Parámetros de las muestras tratadas

Parámetros	UNIDADES	Muestra sin tratamiento	Muestras tratadas Tiempo de residencia en él HA		
			4 días	8 días	15 días
Color	UPCJKNÑ	239,33	219	205	183
pH	-	6,77	6,84	7,02	7,19
Conductividad	mSiems/cm	396,90	361,3	345,4	336,4
Turbiedad	UNT	138,67	27,3	14,4	10,6
Nitratos	mg/L	5,23	5,2	4,9	4,6
Fosfatos	mg/L	4,87	3,1	2,2	0,49
DQO	mg/L	163,67	102,6	83	41
DBO	mgO ₂ /L	72,00	32	18	12
Oxígeno disuelto	mg/L	5,80	6,3	6,4	6,6
SST	mg/L	159,67	142	16	5
Coliformes totales	NMP/100mL	300000,00	36000	32000	2100
Coliformes fecales	NMP/100mL	250000,33	22000	1800	110

Realizado por: Guanga E. 2022

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)**

El límite permisible para el DBO₅ en aguas dulces frías es de 20 mg/L. En la muestra inicial previo al tratamiento se tiene un valor de 72 mg/L, posterior al tratamiento se puede apreciar una disminución importante de este valor a medida que aumenta el tiempo de residencia de la muestra en el humedal.

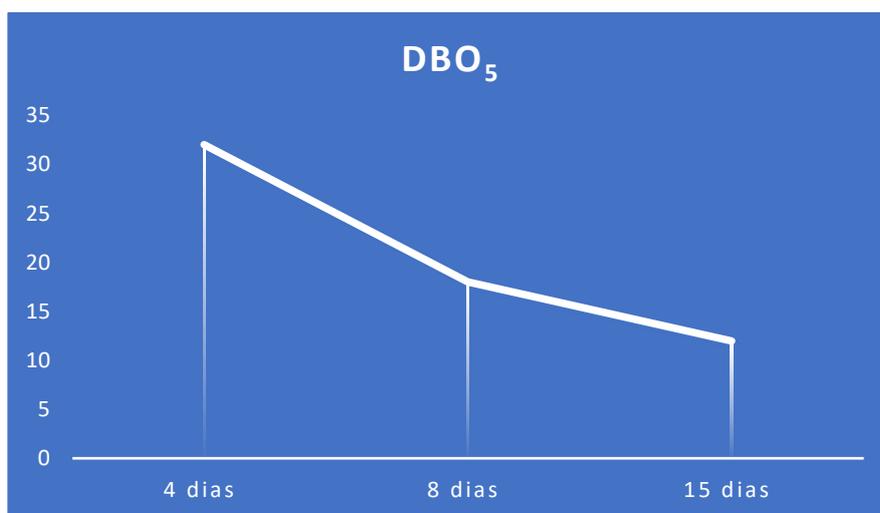


Ilustración 8-4: Resultados DBO₅ muestras tratada
 Realizado por: Guanga E. 2022

- **Coliformes fecales (CF)**

Los valores de coliformes fecales sobrepasan los valores máximos permisibles indicados en la Tabla 3 del TULSMA 2003 cuyo límite máximo permisible para aguas dulces frías es de 200 NMP/100mL (Velóz, 2018). Conforme a los resultados podemos afirmar que aquella muestra que tuvo un mayor tiempo de residencia en el humedal disminuyo de manera considerable el valor para este parámetro quedando por debajo del límite permisible.

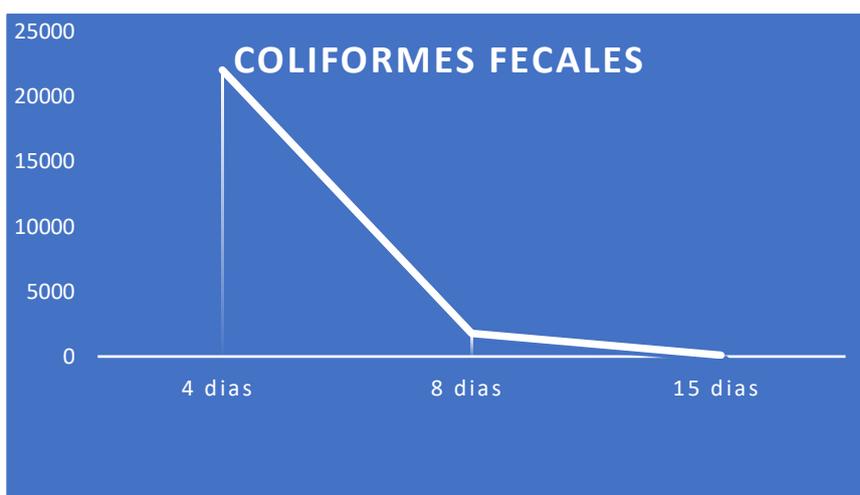


Ilustración 9-4: Resultados coliformes fecales muestras tratadas
 Realizado por: Guanga E. 2022

- **Sólidos suspendidos (SS)**

El límite máximo permisible para sólidos suspendidos en el TULSMA modificado 2015 es:

máximo incremento de 10% de la condición natural. De la misma manera como en el caso de los otros parámetros los sólidos suspendidos se pudieron reducir drásticamente como se puede apreciar en el gráfico 3-4, donde podemos ver el descenso de los valores conforme aumenta el tiempo de residencia del agua en el humedal artificial de flujo superficial.



Ilustración 10-4: Resultados sólidos suspendidos muestras tratadas
Realizado por: Guanga E. 2022

Se realizó el cálculo del ICA después del tratamiento, para lo cual se consideró los resultados de la muestra cuyo tiempo de permanencia responde a los 15 días, ya que es en esta muestra en las que se ve una mayor reducción en los valores de los respectivos parámetros.

Tabla 12-4: ICA muestra tratada

PARÁMETROS	VALOR	UNIDADES
pH	6.52	-
DBO ₅ (mg/L)	72	mgO ₂ /L
Coliformes Fecales (NPM / 100mL)	250000	NMP/100mL
Nitratos (mg/L)	5.2	mg/L
Fosfatos (mg/L)	4.8	mg/L
Turbidez (FAU)	138	UNT
Sólidos disueltos totales (mg/L)	161	mg/L
Oxígeno Disuelto (% de saturación)	5.7	mg/L
Temperatura ambiente	17	°C
Temperatura de la muestra	25	°C
ICAm (función ponderada multiplicativa)	41,611	-
ICAA (suma lineal ponderada)	54,894	-

De acuerdo a la tabla propuesta por Brown, podemos afirmar que tras el tratamiento pasamos de un agua catalogada como pésima a una catalogada como regular, con una aparente reducción de contaminantes, esto por la acción de la Phragmites Australis utilizada en el humedal artificial.

4.1.3. Análisis de la varianza (ANOVA)

Se aplica el análisis de varianza ANOVA para determinar si existe diferencia entre los valores de los parámetros medidos en función del tiempo de permanencia de la muestra en el humedal, y si esto afecta el ICA:

- Hipótesis nula: Todas las medias son iguales
- Hipótesis alterna: No todas las medias son iguales
- Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Tabla 13-4: Obtención de valores para análisis de varianza

<i>Parámetros analizados</i>						
<i>Nitratos</i>	<i>Fosfatos</i>	<i>SS</i>	<i>DBO</i>	<i>OD</i>	<i>DQO</i>	
5,2	3,1	142	32	6,3	102,6	
4,9	2,2	16	18	6,4	83	
4,6	0,49	5	12	6,6	41	
4,9	1,9	54,3	20,7	6,4	75,5	Suma totales
14,7	5,79	163	62	19,3	226,6	163,8
3	3	3	3	3	3	491,4
72,2	14,7	20445,0	1492,0	124,2	19096,8	18
72,0	11,2	8856,3	1281,3	124,2	17115,9	41244,9
						27460,9

Realizado por: Guanga E. 2022

Suma de cuadrados entre grupos

$$SST = \sum \left(T_c^2 / n_c \right) - \frac{(\sum X)^2}{2}$$

$$SST = 14046,2$$

Suma de cuadrados dentro de grupos

$$SSE = \sum X^2 - \sum \left(T_c^2 / n_c \right)$$

$$SSE = 13784,0$$

Grados de libertad entre grupos

$$K - 1$$

$$6 - 1$$

$$5$$

Grados de libertad dentro de grupos

$$N - K$$

$$18 - 6$$

$$12$$

Tabla 14-4: Análisis de varianza

<i>FUENTE DE VARIACIÓN</i>	<i>SUMA DE CUADRADOS</i>	<i>GRADOS DE LIBERTAD</i>	<i>CUADRADOS MEDIOS</i>
ENTRE GRUPOS	14046,2	5	8923,8
EN LOS GRUPOS	13784,0	12	8565,6
		F	2,45

Realizado por: Guanga E. 2022

- El valor $F = 2,45$ es la función de prueba
- Grados de libertad = 5 en el numerador y 12 en el denominador
- El valor $F_{\left(\frac{5}{12}\right)} = 3,11$ es el valor crítico de la función

En función al análisis de varianza realizado podemos decir que el valor de la función de prueba es menor que el valor crítico de la función, dado esto aceptamos la hipótesis nula que dice que las medias de los valores para los respectivos parámetros medidos que determinan el ICA para cada uno de los diferentes tiempos de permanencia usados para el tratamiento no presenta diferencias significativas, es decir que ninguna de las variables tiene relación con nuestra variable regresora.

De lo antes escrito afirmamos que el uso de humedales artificiales contruidos con Phragmites Australis, permiten la reducción de la carga contaminante presente, mejorando de esta manera los parámetros del ICA.

4.2. Comprobación de hipótesis

4.2.1. Hipótesis general

Por los resultados obtenidos después de haber tratado el agua dulce del río Chibunga del cantón Riobamba con la utilización de un humedal artificial construido utilizando la especie *Phragmites Australis* se corrobora que su presencia incide en el mejoramiento de la calidad de dichas aguas.

4.2.2. Hipótesis específicas

- Mediante un análisis comparativo entre los valores de los parámetros medidos previo al tratamiento y después de haber utilizado el humedal artificial verificamos la remoción de los elementos contaminantes presentes en el río Chibunga.
- Basados en el ICA se afirma que el uso de un humedal artificial de *Phragmites Australis* permite la descontaminación de aguas dulces.
- Se comprueba que el *Phragmites Australis* resulta ser un material óptimo para la adsorción y remoción de contaminantes presentes en medios acuosos, permitiendo de esta manera mejorar la calidad de los cuerpos de agua además de garantizar un correcto desarrollo de la vida acuática.

4.2.3. Discusión de resultados

Es importante recalcar que una inadecuada disposición final de los efluentes genera graves daños por contaminación a cuerpos de agua dulce, en este caso el río Chibunga de acuerdo a los análisis realizados tiene un alto grado de contaminación generado principalmente por carga orgánica, lo cual genera un desequilibrio acabando con las diferentes formas de vida acuática, además, de que se vuelve inutilizable incluso para actividades de riego.

Es por este motivo que se busca alternativas que permitan mejora la calidad de agua y por ende la calidad de vida de quienes viven a las riveras del río Chibunga.

El uso de humedales artificiales puede ser una solución óptima para la depuración de agua, respecto de los resultados obtenidos después del correspondiente tratamiento podemos ver un descenso de la contaminación.

Al respecto conviene decir que el uso de humedales artificiales contruidos con *Phragmites Australis* es un método bastante viable para ser utilizado en la recuperación del río Chibunga, ya que permite reducir los contaminantes presentes en el agua.

CONCLUSIONES

- El tratamiento de aguas dulces por humedales artificiales de flujo sub-superficial con *Phragmites Australis* (carrizo) de las aguas dulces del río Chibunga del cantón Riobamba tuvo un efecto significativo, con buenas eficiencias de remoción en las variables de respuesta.
- Al realizar un diagnóstico de la composición biológica de *Phragmites Australis* se estableció que es un proceso de fotosíntesis adaptado a un humedal artificial realizando un mecanismo de remoción y transformación por bacterias facultativas y anaerobias ubicadas en toda la sección del humedal, y bacterias aerobias asociadas en las raíces de las plantas realizando la adsorción de los contaminantes del agua dulce.
- Por lo observado podemos afirmar que las condiciones óptimas de trabajo para el proceso de descontaminación en aguas dulces, es la prolongación del tiempo de contacto del agua con las raíces del *Phragmites Australis*, presente en los humedales artificiales.
- La especie *Phragmites australis* cumple un papel importante en el rendimiento del humedal artificial ya que permite la descontaminación de aguas dulces del río Chibunga; mediante humedales artificiales.
- El porcentaje de descontaminación es muy eficiente después de 15 días en cuanto a los parámetros utilizados, se logra una disminución del 10% en el color; en tanto los fosfatos presentan una reducción del 77%, el DBO₅ tiene una tendencia baja en 33.3%; así mismo los coliformes fecales fueron reducidos en un 93.8%; de acuerdo a estos valores se afirma una gran disminución de los contaminantes presentes inicialmente en el agua.

RECOMENDACIONES

- Utilizar humedales artificiales de mayor dimensión para determinar si se puede aumentar la capacidad depuratoria.
- Realizar un pretratamiento para poder determinar si los resultados obtenidos brindan mayor ventaja en función al mejoramiento del ICA.
- El problema más frecuente de los sistemas de humedales artificiales de flujo subsuperficial son los cortocircuitos (zonas muertas en el humedal donde el agua pasa sin tratamiento), por lo que se recomienda inspeccionar de manera visual el área del humedal para verificar que no exista líquido en la superficie, de ser ese el caso se deberá suspender el flujo en esa celda y bombear agua a presión buscando restablecer el flujo laminar uniforme en la celda.

GLOSARIO

A

Alcalinidad

Mide la capacidad del agua para neutralizar los ácidos. Los componentes alcalinos en el agua como los bicarbonatos, carbonatos y los hidróxidos remueven iones de H⁺ 9

Antrópica

adj. Producido o modificado por la actividad humana. 3

C

Carrizo

Planta herbácea de tallo alto y delgado, hojas perennes, planas y lanceoladas y flores en panojas anchas. 3

Conductividad

Es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica, que depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua. 8

F

Filtración

Consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que escurre a través de un medio poroso o filtrante. Se le considera como un proceso de clarificación y es el resultado de fenómenos físicos e hidráulicos, afectados principalmente por la adherencia entre partículas y granos. Básicamente es un fenómeno de acción superficial, en donde las partículas por remover, permanecen adheridas a la superficie de los granos por la acción de las fuerzas de cizallamiento. 16

Fitorremediación

Es un conjunto de tecnologías que reducen in situ o ex situ la concentración de diversos compuestos a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas. xiii

Flotación

La flotación se usa para separar partículas líquidas (grasas, aceites, etc.), fibras y otros sólidos de baja densidad, así como para espesar los lodos procedentes de los procesos de lodos activados. La separación se lleva a cabo introduciendo un gas (normalmente aire) en la fase líquida, en forma de burbujas 13

Fotosíntesis

La fotosíntesis es un proceso químico mediante el cual las plantas fabrican su propio alimento. Básicamente consiste en la elaboración de azúcares, en presencia de la luz solar, a partir de CO₂, minerales y agua 16

G

Genómica

f. Biol. Estudio de la composición, estructura y función del genoma. 3

H

Hidrología

Es una de las ciencias más antiguas de la humanidad, lo cual está relacionado con la evolución de las necesidades del ser humano. 7

P

PHRAGMITES AUSTRALIS

Es una planta fanerógama de la familia de las Gramíneas o Poáceas. Es perenne y posee un potente y largo rizoma leñoso que se

desarrolla de forma rastrera y muy activa sobre la superficie del terreno en busca del agua. 1

S

Sedimentación

Ésta se utiliza en los tratamientos de aguas residuales para separar sólidos en suspensión de las mismas, basándose en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se

encuentran. 12

T

Turbidez

Es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. 8

V

Volatilización

Un proceso de evaporación en el cual los contaminantes volátiles disueltos en las aguas residuales se transfieren a la atmósfera al entrar en contacto con ésta. Al tener una cantidad adecuada de superficie de contacto se promueve la eliminación de gases como el metano. 16

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, C., Silván, R., & Ocaña, G. (2007). Tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales. *Revista Iberoamericana de Las Ciencias Y Agropecuarias*, 5, 1–20.
- Aguilar, D. (2020). Diseño de un humedal artificial de flujo sub-superficial para el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Internacional SEK. In *Universidad Internacional SEK*.
<http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/3829%0Ahttp://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3218>
- Asprilla, W., Ramírez, J., & Rodríguez, D. (2020). Humedales artificiales subsuperficiales: comparación de metodologías de diseño para el cálculo del area superficial basado en la remoción de la materia organica. *Ingenierías USBMed*, 11(1), 65–73.
<https://doi.org/10.21500/20275846.4558>
- Blandón, L. (2019). Calidad de las aguas superficiales en la microcuenca río Pire, municipio de Condega Nicaragua. *Revista Científica de FAREM-Estelí*, 31, 58–64.
<https://doi.org/10.5377/farem.v0i31.8470>
- Caho, A., & López, E. (2017). Determination of the water quality index for the western section of the Torca_Guaymaral wetland using UWQI and CWQI methodologies. *Producción + Limpia*, 2(2). <https://doi.org/10.22507/pml.v12n2a3>
- Chi, Z., Wang, W., Li, H., Wu, H., & Yan, B. (2021). Soil organic matter and salinity as critical factors affecting the bacterial community and function of *Phragmites australis* dominated riparian and coastal wetlands. *Science of The Total Environment*, 762, 143156. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.143156>
- ecosostenible. (2018). *Phragmites australis: Sistematica, Etimologia, Descrizione*. Phragmites Australis. <https://antropocene.it/es/2018/05/29/phragmites-australis/>
- Garay, A. (2020). *Contaminacion Ambiental : La Importancia del Agua en la Vida*.
- García, F., Patiño, J., Zhinín, F., Donoso, S., Flores, L., & Avilés, A. (2019). Performance of *Phragmites Australis* and *Cyperus Papyrus* in the treatment of municipal wastewater by vertical flow subsurface constructed wetlands. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(3), 286–296. <https://doi.org/10.1016/J.ISWCR.2019.04.001>
- García, O., & Ramírez, L. (2019). *Evaluación de una propuesta para el sistema de*

tratamiento de aguas residuales de curtiembre y marroquinería. Fundación Universidad de América.

- Ger, J. (2017). *Análisis del bagazo de caña de azúcar como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la curtiembre los tres Juanes, provincia de Tungurahua* [Univerdidad Técnica de Ambato]. <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/5301/Mg.DCEv.Ed.1859.pdf?sequence=3>
- Godoy, S., González, J., & Viñan, J. (2020). Study of the sustainability impact of the Chibunga river sediment treatment. *Ciencias Técnicas y Aplicadas*, 6, 442–463.
- González, M., & Morales, T. (2020). Unidad didáctica y lúdica para explicar el fenómeno de contaminación del agua. *Zona Próxima*, 32, 41–50. <https://doi.org/10.14482/ZP.32.370>
- Jaque, E., & Potocí, C. (2015). Evaluación del índice de calidad de agua (ICA) de la microcuenca del río Chibunga, en variaciones estacionales, provincia de Chimborazo – Ecuador, durante el periodo 2014. *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*, 1, 167. [http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4077%0Ahttp://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4077/1/236T0132 UDCTFCl.pdf](http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4077%0Ahttp://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4077/1/236T0132%20UDCTFCl.pdf)
- López, J. (2015). *Tratamiento de aguas residuales, aplicación de humedales artificiales*. \Univerdidad Nacional Autónoma de México.
- Luna, V., & Aburto, S. (2014). Sistema de humedales artificiales para el control de la eutroficación del lago del Bosque de San Juan de Aragón. *Tip Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 17(1), 32–55. [https://doi.org/10.1016/s1405-888x\(14\)70318-3](https://doi.org/10.1016/s1405-888x(14)70318-3)
- Mahmoud, A. E. D., Fawzy, M., Hosny, G., & Obaid, A. (2020). Equilibrium, kinetic, and diffusion models of chromium(VI) removal using *Phragmites australis* and *Ziziphus spina-christi* biomass. *International Journal of Environmental Science and Technology* 2020 18:8, 18(8), 2125–2136. <https://doi.org/10.1007/S13762-020-02968-7>
- María Reyes, R.-G., Judith, M.-B., Alfredo, J.-B., & Joaquín, S.-L. (2013). Humedal de flujo vertical para tratamiento terciario del efluente físico-químico de una estación depuradora de aguas residuales domésticas. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 14(2), 223–235. [https://doi.org/10.1016/s1405-7743\(13\)72238-8](https://doi.org/10.1016/s1405-7743(13)72238-8)

- Marín Acosta, C., Solís Silván, R., López Ocaña, G., Bautista Margulis, R. G., & Romellón Cerino, M. J. (2016). Treatment of water waste by wetlands artificial tropical in Tabasco. *CIBA Revista Iberoamericana de Las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 5(10), 1. <https://doi.org/10.23913/ciba.v5i10.54>
- Mendes, L. (2019). *Tratamiento de aguas residuales mediante electrocoagulación acoplada a un MBR para minimizar el ensuciamiento de la membrana y obtener efluentes de alta calidad*. Univerdad de Alicante.
- Milke, J., Gałczyńska, M., & Wróbel, J. (2020). The Importance of Biological and Ecological Properties of *Phragmites Australis* (Cav.) Trin. Ex Steud., in Phytoremediation of Aquatic Ecosystems—The Review. *Water* 2020, Vol. 12, Page 1770, 12(6), 1770. <https://doi.org/10.3390/W12061770>
- Ministerio del Ambiente. (2017). *Texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente*. www.lexis.com.ec
- Munagala, S., Kumar, D., & Ratnamala, R. (2020). Determination of water quality index for ground water near municipal dump site in Guntur. *Materials Today: Proceedings*, 33(xxxx), 724–727. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.030>
- Patiño, J., & Zhinín, F. (2015). Estudio comparativo de la capacidad depuradora de *Phragmites Australis* y *Cyperus Papyrus* en humedales artificiales subsuperficiales de flujo vertical para el tratamiento de aguas residuales en el cantón Santa Isabel. In *Universidad de Cuenca*. Universidad de Cuenca.
- Porras, L. (2021). *Representación social de derechos de la naturaleza en la microcuenca-río Mariño región Apurímac*. 051.
- Ramos, E. (2017). *Desechos contaminantes e índice de calidad del agua del Río Chibunga, cantón Riobamba*. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Rezania, S., Park, J., Rupani, P. F., Darajeh, N., Xu, X., & Shahrokhishahraki, R. (2019). Phytoremediation potential and control of *Phragmites australis* as a green phytomass: an overview. *Environmental Science and Pollution Research* 2019 26:8, 26(8), 7428–7441. <https://doi.org/10.1007/S11356-019-04300-4>
- Torres, J., Magno, J., Pineda, R., & Cruz, M. (2018). Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales para riego mediante humedales Artificiales de flujo libre superficial (FLS) con las especies *Cyperus Papyrus* y *Phragmites Australis*, en

Carapongo-Lurigancho. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 3(2), 48–64. <https://doi.org/10.17162/rictd.v3i2.657>

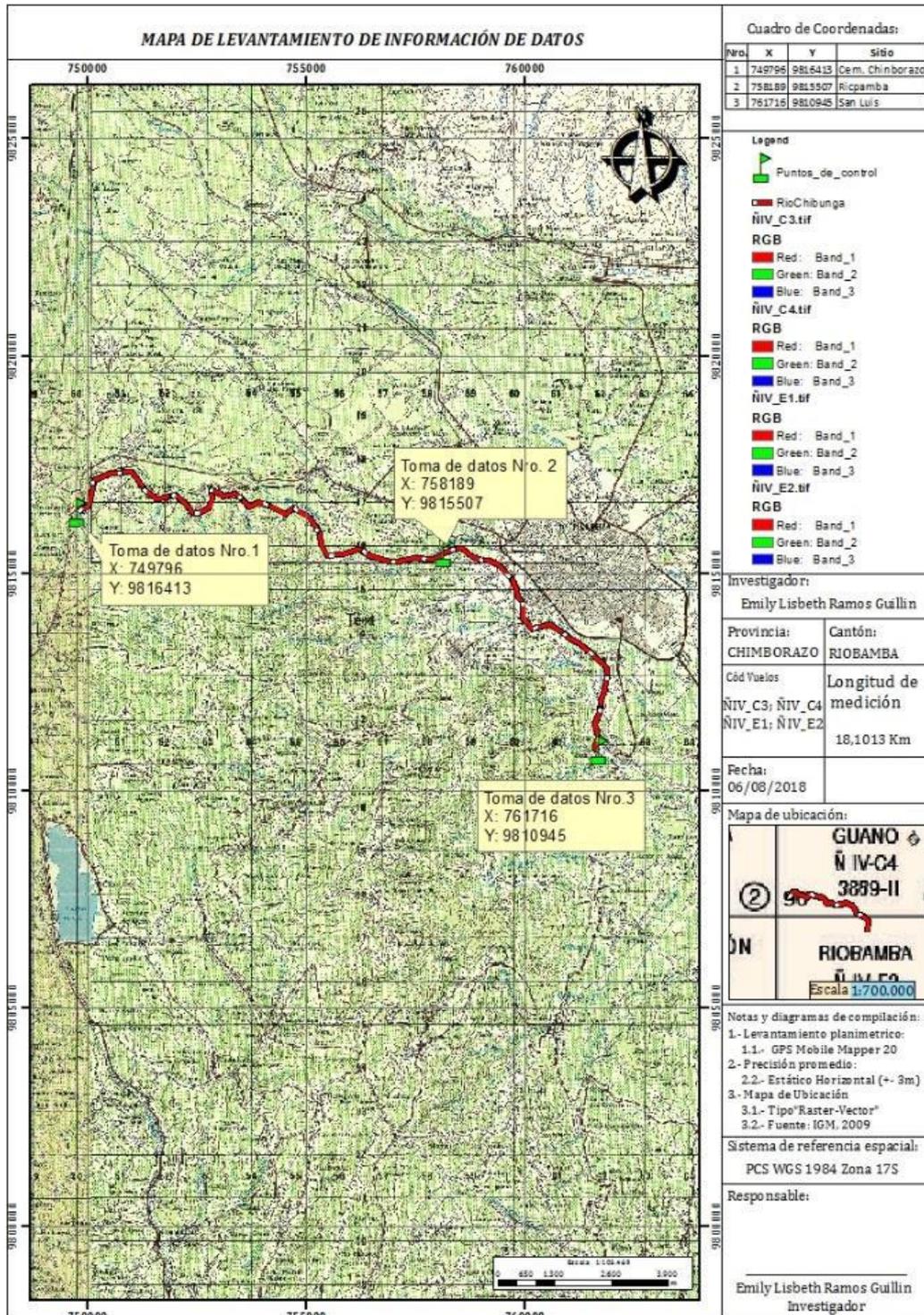
UNESCO. (2021). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2021*.

Velóz, N. (2018). *Estudio de los factores condicionantes de contaminación que afectan la calidad del agua de la microcuenca del río Chibunga – Chimborazo*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Veloz, N., & Carbonel, C. (2018). Evaluación de la calidad del agua de la microcuenca del río Chibunga-Ecuador en variaciones estacionales, periodo 2013- 2017. *Revista Del Instituto de Investigaciones de La Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 21(42), 13–26.

ANEXOS

ANEXO A: Ubicación geográfica del río Chibunga



ANEXO B: Análisis de aguas



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Fecha: 12 de mayo del 2022

Análisis solicitado por: Dr. Edwin Guanga

Tipo de muestras: Aguas superficial dulce, Río Chibunga Agua Tratada

Localidad: Riobamba

TRABAJO DE TESIS: MAESTRIA ING. QUIMICA APLICADA

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Métodos de análisis	Resultados
Color	Und. Pt/Co	2120-C	219
pH	-	4500-H-B	6.64
Conductividad	mSiemens/cm	2510-B	361.3
Turbiedad	NTU	2130-B	27.3
Nitratos	mg/L	4500-NO ₃ -D	5.2
Fosfatos	mg/L	4500-P-D	3.1
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-D	102.6
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	32
Oxígeno disuelto	mg/L	4500-O-C	6.3
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2540-D	142
Coliformes Totales	UFC/100mL	8222-B	3.6×10^4
Coliformes Fecales	UFC/100mL	9222-D	2.2×10^4

Observaciones:

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.

RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Fecha: 12 de mayo del 2022

Análisis solicitado por: Dr. Edwin Guanga

Tipo de muestras: Aguas superficial dulce, Río Chibunga Agua Tratada

Localidad: Riobamba

TRABAJO DE TESIS: MAESTRIA ING. QUIMICA APLICADA

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Métodos de análisis	Resultados
Color	Und. Pt/Co	2120-C	210
pH	-	4500-H-B	6.64
Conductividad	mSiems/cm	2510-B	361.3
Turbiedad	NTU	2130-B	27.3
Nitratos	mg/L	4500-NO ₃ -D	5.2
Fosfatos	mg/L	4500-P-D	3.1
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-D	102.6
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	32
Oxígeno disuelto	mg/L	4500-O-C	6.3
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2540-D	142
Coliformes Totales	UFC/100mL	8222-B	3.8×10^4
Coliformes Fecales	UFC/100mL	9222-D	2.2×10^3

Observaciones:

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.
RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Fecha: 02 de junio del 2022

Análisis solicitado por: Dr. Edwin Guanga

Tipo de muestras: Aguas superficial dulce. Río Chibunga Agua Tratada

Localidad: Riobamba

TRABAJO DE TESIS: MAESTRIA ING. QUMICA APLICADA

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Métodos de análisis	Resultados
Color	Und. Pt/Co	2120-C	183
pH	-	4500-H-B	7.19
Conductividad	mSiems/cm	2510-B	336.4
Turbiedad	NTU	2130-B	10.6
Nitratos	mg/L	4500-NO ₃ -D	4.6
Fosfatos	mg/L	4500-P-D	0.49
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-D	41.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	12.0
Oxígeno disuelto	mg/L	4500-O-C	6.6
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2540-D	5.0
Coliformes Totales	UFC/100mL	9222-B	2.1 x 10 ³
Coliformes Fecales	UFC/100mL	9222-D	1.1 x 10 ²

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.

RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.