TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

"EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LAS SUBCUENCAS ACHAMAYO Y SHULLCAS UTILIZANDO EL ÍNDICE DE CALIDAD CCME"

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERA AMBIENTAL

Presentado por:

Milagros Melissa Gutiérrez Vilela (0000-0003-3915-2602)

Asesor:

Wilfredo Celestino Baldeón Quispe (0000-0003-1937-534X)

Lima – Perú

2023

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 19 de abril del 2023.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Mg. Dámaso Wilfredo Ramirez Huaroto
Miembro: Mg. Olga Vadimovna Kostenko
Miembro: Dr. Maiquel López Silva

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

"EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LAS SUBCUENCAS ACHAMAYO Y SHULLCAS UTILIZANDO EL ÍNDICE DE CALIDAD CCME"

Presentada por la/el estudiante/bachiller:

- **Milagros Melissa Gutiérrez Vilela**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesorado por: Mg. Wilfredo Celestino Baldeón Quispe

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental en la sustentación, concluyen de manera unánime ( ) por mayoría simple (X) calificar a:

Tesista: Milagros Melissa Gutiérrez Vilela			Nota (en letras): (Catorce) 14
Aprobado (X)	Aprobado - Muy buena ( )	Aprobado - Sobresaliente ( )	Desaprobado ( )

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.

Mg. Dámaso Wilfredo Ramirez Huaroto
Presidente

Mg. Olga Vadimovna Kostenko
Miembro 1

Dr. Maiquel López Silva
Miembro 2

Mg. Wilfredo Celestino Baldeón Quispe
Asesor

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS / TRABAJO DE INVESTIGACIÓN[1]

Lima, 26 de agosto del 2023

Señor,
Dr. Carlos Zavalaga Reyes

Director General de Investigación, Desarrollo e Innovación
Universidad Científica del Sur
Presente. –

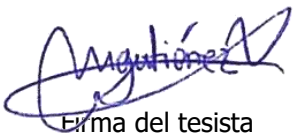
De nuestra consideración,

Yo: Milagros Melissa Gutiérrez Vilela, egresada de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Científica del Sur, en conjunto con el asesor de tesis, Mg. Wilfredo Baldeón Quispe, declaramos que este informe final de tesis titulado: **"EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LAS SUBCUENCAS ACHAMAYO Y SHULLCAS UTILIZANDO EL ÍNDICE DE CALIDAD CCME"**, sustentado para obtener el título de Ingeniero Ambiental es original.

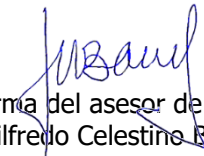
Es decir, no contiene plagio parcial ni total, cuando se utilizó información de fuentes externas se reconoció la autoría mediante la adecuada citación y los resultados obtenidos son producto entero de mi investigación y no han sido falseados ni fabricados. Todo esto en cumplimiento del Código de ética en la investigación, Reglamento del Comité de Integridad Científica, Reglamento de Propiedad Intelectual, Normas y procedimientos de los trabajos de investigación para la obtención de títulos profesionales y grados académicos [2], que afirmamos conocer en su totalidad.

Por ello, en caso de identificarse alguna situación de plagio, falsificación o fabricación de resultados, nos allanamos al proceso de investigación que establezca la Universidad y las posibles sanciones que pudieran surgir.

Firmamos en conformidad con lo declarado,



Firma del tesista
Milagros Melissa Gutiérrez Vilela
DNI: 73869024



Firma del asesor de tesis
Wilfredo Celestino Baldeón Quispe
DNI: 09807432

[1] En conformidad con la Resolución del Consejo Directivo N° 084-2022-SUNEDU/CD
[1] Los documentos están en: https://investigacion.cientifica.edu.pe/reglamentos/

INFORME DE REVISIÓN DE ORIGINALIDAD

Título del documento evaluado. Evaluación de la calidad del agua de las subcuencas Achamayo y Shullcas utilizando el índice de calidad CCME

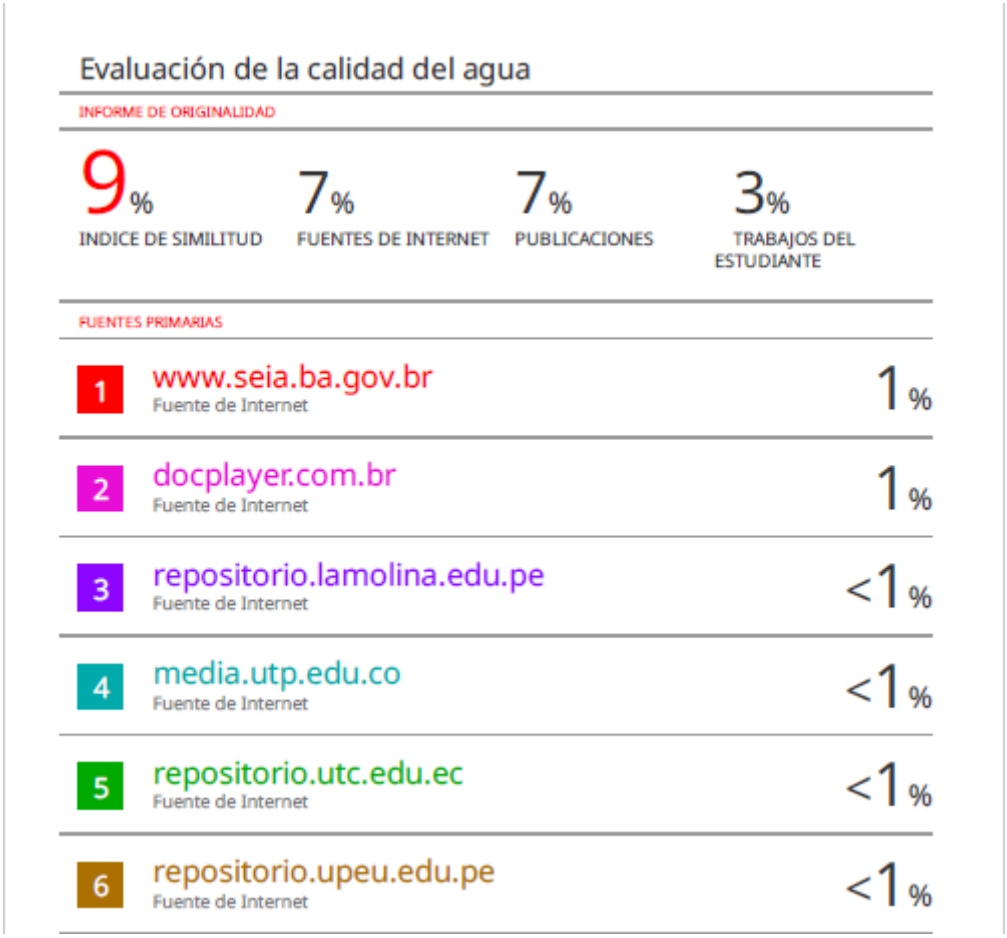
Autores. Milagros Melissa Gutierrez Vilela.

Mecanismo de revisión de originalidad. Evaluación con Turnitin (ID 2209349508).

Resultado de la evaluación. 9%

Revisado por. Magaly Kelly Guerrero Huaracallo.

Comentarios sobre la revisión. Filtros usados: excluir fuentes de menos de 12 palabras.



Evaluación de la calidad del agua

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%	7%	7%	3%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.seia.ba.gov.br Fuente de Internet	1%
2	docplayer.com.br Fuente de Internet	1%
3	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1%
4	media.utp.edu.co Fuente de Internet	<1%
5	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.upeu.edu.pe Fuente de Internet	<1%

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LAS SUBCUENCAS ACHAMAYO Y SHULLCAS UTILIZANDO EL ÍNDICE DE CALIDAD CCME

WATER QUALITY EVALUATION OF THE ACHAMAYO AND SHULLCAS SUB-BASINS USING THE CCME QUALITY INDEX

Milagros Gutiérrez Vilela[1] y Wilfredo Baldeón Quispe[2]

[1] Facultad de Ciencias Ambientales, Carrera Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Científica del Sur.

ORCID: 0000-0003-3915-2602. Autor para correspondencia: 4201010562@cientifica.edu.pe

[2] Departamento de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Agraria La Molina.

ORCID: 0000-0003-1937-534X

Resumen

Los ríos y quebradas, en la mayoría de casos, son utilizados como cuerpo receptor de los vertimientos municipales, que, sin el debido tratamiento, genera problemas de contaminación del agua. En las áreas de estudio de esta investigación, se tiene datos de los monitoreos de calidad del agua publicadas por la Autoridad Nacional del Agua, donde los resultados no son muy comprensibles para una población que no conoce el tema. Los Índices de Calidad del Agua (ICA) son una de las herramientas más utilizadas para evaluar la calidad del agua, ya que resumen los datos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de una manera sencilla y de fácil comprensión. El objetivo de esta investigación fue realizar la evaluación de los ICA en las subcuencas Achamayo y Shullcas a través de la metodología CCME-WQI. Para ello se utilizaron los datos de los reportes de monitoreo de la calidad del agua de los años 2015 al 2020, los vertimientos municipales e información geoespacial de los ríos y cuencas. La subcuenca Shullcas obtuvo un resultado del

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ICA de 46.2 que corresponde a una calidad de agua “marginal”, este resultado es consecuencia de las altas concentraciones de coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*, mientras que la subcuenca Achamayo obtuvo un ICA de 67.8, que corresponde a una calidad “regular”, llegando a la conclusión que la subcuenca Shullcas es la más impactada por los vertimientos municipales, por lo que se recomienda construir plantas de tratamiento de aguas residuales con tecnología de lodos activados o lagunas de estabilización.

Palabras Clave: Vertimientos municipales, contaminación de ríos, índice de calidad de agua CCME

Abstract

Rivers and streams, in most cases, are used as a receiving body for municipal discharges, which, without proper treatment, generates water pollution problems. In the study areas of this research, there is data from the water quality monitoring published by the National Water Authority, where the results are not very understandable for a population that does not know the subject. The Water Quality Indices (ICA) are one of the most widely used tools to evaluate water quality, since they summarize the data of the physicochemical and microbiological parameters in a simple and easy-to-understand way. The objective of this research was to carry out the evaluation of the ICA in the Achamayo and Shullcas sub-basins through the CCME-WQI methodology. For this, the data from the water quality monitoring reports from 2015 to 2020, municipal discharges and geospatial information of rivers and basins were used. The Shullcas sub-basin obtained an ICA result of 46.2,

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

which corresponds to a "marginal" water quality, this result is a consequence of the high concentrations of thermotolerant coliforms and *Escherichia coli*, while the Achamayo sub-basin obtained an ICA of 67.8, which corresponds to a "regular" quality, reaching the conclusion that the Shullcas sub-basin is the most impacted by municipal discharges, for which it is recommended to build water treatment plants. residuals with activated sludge technology or stabilization ponds.

Keywords: Municipal sewage, contamination of rivers, water quality index CCME

Introducción

El crecimiento económico y demográfico está generando una presión ambiental sobre los recursos naturales (González-Val & Pueyo, 2019), entre ellas el agua superficial, donde proviene el agua dulce que consume la población, el cual es una matriz que corre riesgo de contaminación (Van Winckel et al., 2021). La insuficiente gestión de los residuos sólidos y las descargas directas de las aguas servidas han emergido como la principal fuente de degradación ambiental en los ríos (Wan & Wang, 2021). Dentro del análisis realizado al plan de gestión de recursos hídricos de la cuenca del río Mantaro, se manifiesta que los problemas primordiales que inciden sobre la calidad hídrica se relacionan con el inadecuado manejo y disposición de las aguas servidas de origen urbano, la falta de concientización ambiental y difusión sobre la situación actual de las fuentes de agua (Autoridad Nacional del Agua, 2020). Los Índices de Calidad de Agua (ICA) se perfilan como una herramienta potencial para evaluar la calidad del agua y reducir las brechas de divulgación de la información y sensibilización, ya que resumen los

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

datos de los reportes de monitoreo, facilitando la interpretación para una audiencia no especializada (Valcárcel et al., 2009). El ICA propuesto por el Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) denominada como CCME WQI, es uno de los enfoques más prevalentes para la evaluación de la condición del agua superficial, a partir del año 2006, ha recibido el respaldo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (Yotova et al., 2021). En el contexto de la cuenca del río Ganges en la India, se llevó a cabo una evaluación de la calidad del agua mediante el uso del ICA, los resultados demostraron que la calidad del agua en diferentes segmentos, desde las zonas más altas hasta las más bajas, exhibe variaciones que oscilan entre calificaciones de "excelente" y "buena", no obstante, la liberación constante de agentes contaminantes plantea el riesgo de menoscabar la capacidad de autodepuración del río (Dimri et al., 2021). En el río Joanes (Brasil), se empleó el CCME-WQI en tres tramos del río, la evaluación de la calidad reveló escalas que abarcan desde "muy mal", "regular" y "malo", la principal fuente de contaminación se originó en las descargas de las aguas servidas provenientes de fuentes domésticas e industriales, junto con la presencia de desechos sólidos (de Almeida et al., 2018). En otro estudio, Gikas et al. (2020) llevó a cabo una evaluación comparativa de la condición química del río Nestos en Grecia, empleando las metodologías WFD-MEEG y CCME-WQI, los resultados obtenidos mediante la metodología WFD-MEEG indicaron una calidad "buena" en las aguas del río principal, mientras que la evaluación basada en el CCME-WQI osciló entre "marginal" a "buena". En el río Dulce en Guatemala, Hernández (2022) llevó a cabo una evaluación de la calidad del agua mediante la aplicación del

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

CCME-WQI, como conclusión general se determinó que las aguas de este río poseen una calificación de "regular". En una perspectiva peruana, Choque-Quispe et al. (2021) puso en práctica el ICA Dinius en la microcuenca del río Chumbao en Andahuaylas, los resultados indicaron que los puntos ubicados en la cabecera de cuenca se encontraban con una calidad "excelente" mientras que, a lo lago de su trayectoria, la calidad varió entre "aceptable" a "excesivamente contaminado". Dentro de esta investigación se procedió a realizar el cálculo del ICA en las subcuencas Achamayo y Shullcas utilizando la metodología CCME-WQI, lo cual se sustentó en los registros de los monitoreos de la calidad del agua en el periodo comprendido entre los años 2015 al 2020. Los objetivos específicos fueron: (1) Analizar la información de los monitoreos de la calidad del agua del periodo 2015-2020 de la ANA con el ECA-Agua 2017, (2) Determinar el ICA de las subcuencas Shullcas y Achamayo por influencia de los vertimientos de las aguas residuales municipales en época de estiaje y avenida en el periodo 2015-2020, y (3) Plantear propuestas de mejora para la gestión de la calidad del agua de las subcuencas Achamayo y Shullcas.

Este trabajo nos permitirá conocer el nivel de contaminación de los ríos y reducir las brechas de acceso a la información de manera entendible (Damania *et al*, 2019). Asimismo, generará antecedentes para diferentes estudios que se puedan desarrollar en el sector agua y saneamiento; también permitirá que diferentes actores y tomadores de decisiones puedan orientar políticas de manejo para la conservación de los recursos hídricos (Gil-Marín *et al*., 2018).

Materiales y métodos

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Las subcuencas Achamayo y Shullcas (también denominados como unidades hidrográficas menores) pertenecen a la cuenca del río Mantaro, la codificación de acuerdo a la metodología Pfasfstetter es de 499691 (nivel 6) y 49967 (nivel 5) respectivamente (ANA, 2015), los nombres de estas subcuencas provienen de la denominación de sus ríos principales. Las subcuencas de estudio se encuentran ubicados en la región Junín, abarcando las provincias de Jauja, Concepción, Huancayo y Chupaca. En la Figura 1 y Figura 2, se presentan los mapas de ubicación de las subcuencas estudiadas.

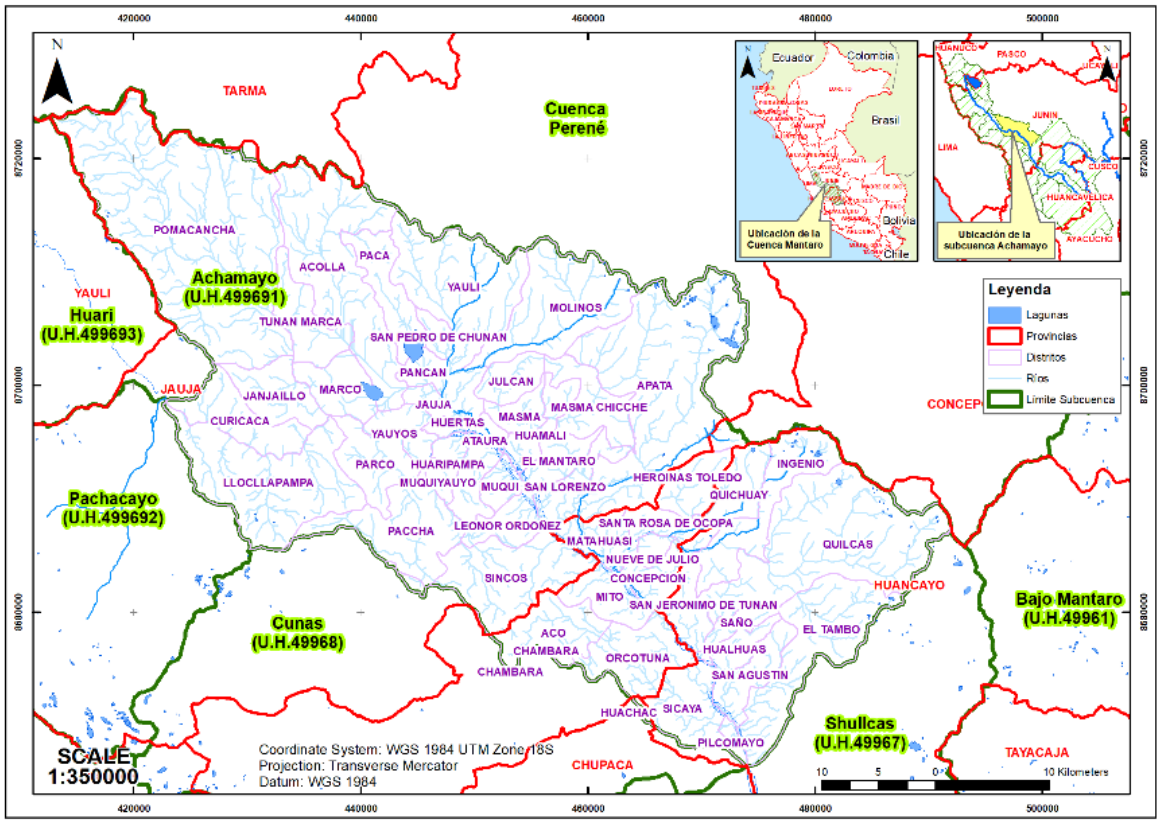


Figura 1. Mapa de ubicación de la subcuenca Achamayo.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

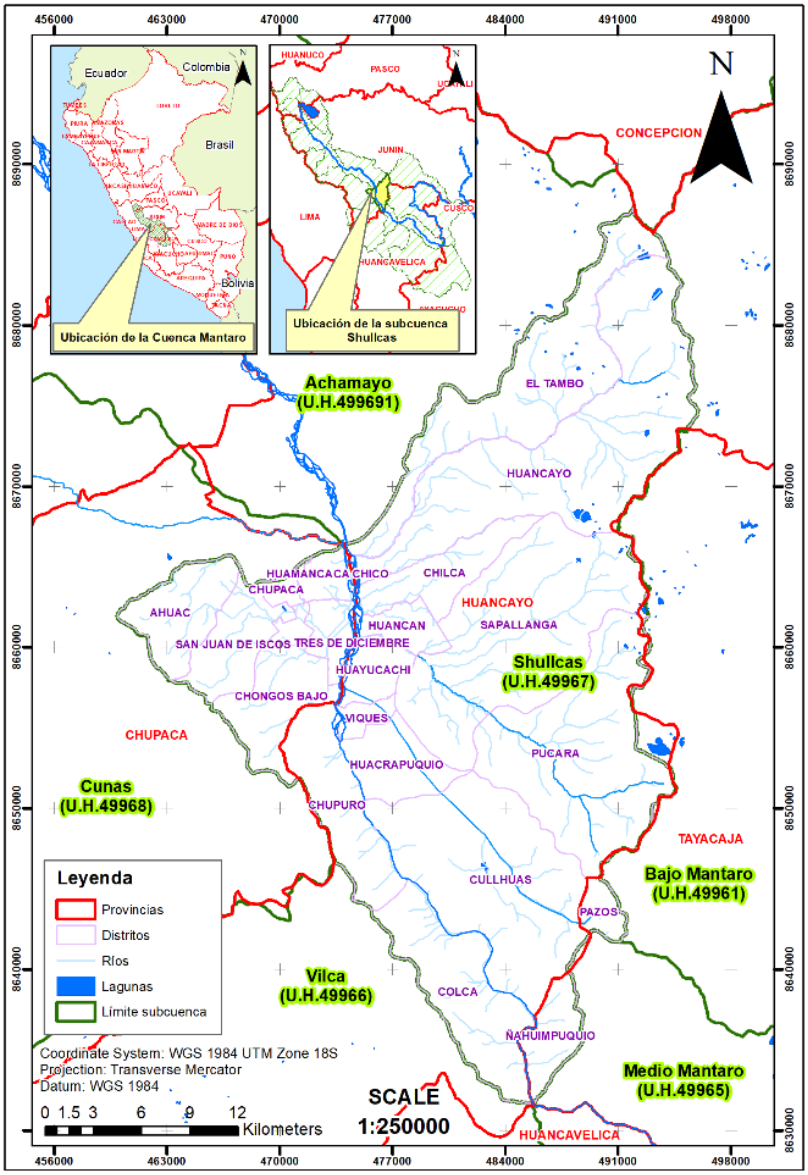


Figura 2. Mapa de ubicación de la subcuenca Shullcas.

Adquisición de datos

Los datos de los monitoreos de calidad del agua y de las fuentes contaminantes fueron obtenidos del observatorio del agua de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) (https://snirh.ana.gob.pe/observatoriosnirh/)

Puntos de muestreo

Los puntos de muestreo se obtuvieron de la red de monitoreo establecida por la ANA en la cuenca del río Mantaro, los cuáles se encuentran en el observatorio del agua de la mencionada entidad (https://snirh.ana.gob.pe/observatoriosnirh/).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Tabla 1. Puntos de muestreo de la subcuenca Achamayo

Sub-cuenca	N°	Puntos de muestreo	UTM WGS 84 Zona 18 L	
			Este (m)	Norte (m)
Achamayo	1	RMant11	422831	8698467
	2	RMant12	446138	8694663
	3	RMant13	464563	8680918
	4	RMant14	473270	8668692
	5	RMant15	473529	8668081
	6	RMant16	473874	8667464
	7	RChia1	474340	8687246
	8	RChia2	471466	8686244
	9	RAcha1	464943	8681069

Nota: Adaptado del Observatorio del Agua de la ANA.

Tabla 2. Puntos de muestreo de las subcuencas limitantes

Sub-cuenca	N°	Puntos de muestreo	UTM WGS 84 Zona 18 L	
			Este (m)	Norte (m)
Huari	10	RMant10	422743	8699253
Pachacayo	11	RPach1	422221	8698584

Nota: Adaptado del Observatorio del Agua de la ANA.

Tabla 3. Puntos de muestreo de la subcuenca Shullcas

Sub-cuenca	N°	Puntos de muestreo	UTM WGS 84 Zona 18 L	
			Este (m)	Norte (m)
Shullcas	1	RMant17	474284	8665745
	2	RMant18	474537	8664958
	3	RMant19	473680	8654812
	4	RShul2	474843	8665712
	5	RChan1	475597	8660727
	6	RShul1	484115	8673070

Nota: Adaptado del Observatorio del Agua de la ANA.

Tabla 4. Puntos de muestreo de la subcuenca limitantes

Sub-cuenca	N°	Punto de muestreo	UTM WGS 84 Zona 18 L	
			Este (m)	Norte (m)
Cunas	7	RCuna2	473413	8666502

Nota: Adaptado del Observatorio del Agua de la ANA.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Las subcuencas Huari y Pachacayo, están limitando con la subcuenca Achamayo, por lo que fue necesario considerar los puntos de muestreo que están ubicados a la salida de las subcuencas vecinas y que a la vez ingresan a nuestra subcuenca de estudio. Esto nos permitirá conocer con que calidad están ingresando sus aguas, del mismo modo sucede con el punto de muestreo ubicado a la salida de la subcuenca del Cunas, donde sus aguas ingresan a la subcuenca Shullcas.

Categoría de ríos

Tabla 5. Categoría de ríos de la subcuenca Achamayo

Subcuenca	Cuerpo de agua	Punto	Categoría
Achamayo	Río Mantaro	RMant11	Categoría 3-D1
Achamayo	Río Mantaro	RMant12	Categoría 3-D1
Achamayo	Río Mantaro	RMant13	Categoría 3-D1
Achamayo	Río Mantaro	RMant14	Categoría 3-D1
Achamayo	Río Mantaro	RMant15	Categoría 3-D1
Achamayo	Río Mantaro	RMant16	Categoría 3-D1
Achamayo	Río Chia	RChia1	Categoría 3-D1
Achamayo	Río Chia	RChia2	Categoría 3-D1
Achamayo	Río Achamayo	RAcha1	Categoría 3-D1
Huari	Río Mantaro	RMant10	Categoría 3-D1
Pachacayo	Río Pachacayo	RPach1	Categoría 4-E2

Nota: Adaptado del Observatorio del Agua de la ANA.

Tabla 6. Categoría de ríos de la subcuenca Shullcas

Subcuenca	Cuerpo de agua	Punto	Categoría
Shullcas	Río Mantaro	RMant17	Categoría 3-D1
Shullcas	Río Mantaro	RMant18	Categoría 3-D1
Shullcas	Río Mantaro	RMant19	Categoría 3-D1
Shullcas	Río Shullcas	RShul2	Categoría 3-D1
Shullcas	Río Chanchas	RChan1	Categoría 3-D1
Shullcas	Río Shullcas	RShul1	Categoría 1-A2
Cunas	Río Cunas	RCuna2	Categoría 3-D1

Nota: Adaptado del Observatorio del Agua de la ANA.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Parámetros de evaluación

Tabla 6. Parámetros de evaluación a considerar

Categoría	Parámetros a evaluar
Categoría 3-D1	Aceites y grasas, conductividad eléctrica, DBO5, DQO, detergentes SAAM, nitritos-N, oxígeno disuelto, pH, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli.*
Categoría 1-A2	pH, aceites y grasas, coliformes termotolerantes, DBO5, DQO y fósforo.
Categoría 4-E2	DBO5, oxígeno disuelto, coliformes termotolerantes, conductividad eléctrica, pH, aceites y grasas, DBO5, fósforo y nitrógeno total.

Número de orden de ríos

La determinación del número de orden de ríos se llevo a cabo mediante la aplicación del método Strahler, que establece lo siguiente: Los ríos que no cuentan con afluentes se les asigna el orden 1; cuando dos ríos de orden 1 se fusionan, crean un río de orden 2; cuando lo hacen dos ríos de orden 2 resulta uno de orden 3, y así sucesivamente. En términos generales, cuando dos ríos de orden w convergen, se origina un río de orden w+1. Si dos ríos de diferentes jerarquías confluyen, el río resultante mantendrá la jerarquía del mayor orden (Mesa Sánchez, 2018).

Se empleó el ASTER GDEM facilitado por el geoservidor del MINAM (https://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/download_raster.aspx) para establecer la dirección de flujo. Por medio del "Spatial Analyst Tools" se hizo el uso de la herramienta "Hydrology" y lo contenido dentro de ella como Fill, Hillshade, Flow Direction, Flow Acumulation, Stream Order y Stream to Feature, para determinar la jerarquía de orden de ríos.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Índice de Calidad del Agua del Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (CCME-WQI).

Según el Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (2017), el índice se realizó mediante el cálculo de la siguiente fórmula:

CCME Water Quality Index (CCME WQI):

$$CCMEWQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1.732}\right)$$

Donde:

F1 (Alcance): Parámetros que no cumplen los valores estipulados por la normativa expresado en porcentaje.

$$F_1 = \left(\frac{Número\ de\ variables\ fallidas}{Número\ total\ de\ variables}\right) \times 100$$

F2 (Frecuencia): Porcentaje de datos que no cumplen la normativa.

$$F_2 = \left(\frac{Número\ de\ pruebas\ fallidas}{Número\ total\ de\ pruebas}\right) \times 100$$

F3 (Amplitud): Es el cálculo del exceso de todos los datos respecto al número total de datos.

$$F_3 = \left(\frac{nse}{0.01nse + 0.01}\right)$$

El cálculo de la amplitud se realiza de acuerdo a la suma normalizada de excedentes (nse):

$$nse = \frac{\sum_{i=1}^{n} excursión_i}{\#\ de\ test}$$

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Caso 1: Cuando la concentración del parámetro supera lo establecido en la normatividad ambiental.

$$excursion_i = \left(\frac{Valor\ de\ la\ prueba\ fallida_i}{Objetivo_j}\right) - 1$$

Caso 2: Cuando el valor de la concentración del parámetro es menor al valor establecido en el estándar de calidad del agua. Como ejemplo se tiene al oxígeno disuelto con un resultado de 3.59 mg/L, el ECA-Agua indica que los valores deseables deben ser mayores a 4 (>4) por lo que nuestro resultado de 3.59 mg/L estaría incumpliendo lo señalado en el ECA. En ese sentido, el cálculo del excedente se realiza de la siguiente manera:

$$excursion_i = \left(\frac{Objetivo_j}{Valor\ de\ la\ prueba\ fallida}\right) - 1$$

Tabla 7. Interpretación y descripción del Índice de Calidad del Agua CCME

Calificación	Interpretación
Excelente (E) (95-100)	La inexistencia de amenazas o daños permite que la **calidad del agua este protegida**. Las condiciones se encuentran en gran proximidad a los niveles naturales o ideales.
Buena (B) (80-94)	**Se salvaguarda la calidad del agua con un nivel reducido de peligro o impacto de menor escala**; las situaciones pocas veces se apartan de los niveles naturales o deseables.
Regular (R) (65-79)	**Por lo general, se resguarda la calidad del agua,** aunque en ciertas instancias enfrenta riesgos o deterioros; en algunas ocasiones, las circunstancias se desvían de los niveles óptimos según el estándar de calidad".
Marginal (M) (45-64)	Con regularidad, **la calidad del agua no alcanza los objetivos preferidos** y se encuentra frecuentemente en riesgo o experimenta deterioro.
Pobre (P) (0-44)	**La calidad del agua no satisface los objetivos deseados** y se encuentra invariablemente bajo amenaza o sufre daños.

Nota: Información adaptada de las directrices para la protección de la vida acuática (CCME, 2017).

Resultados y discusiones

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Evaluación de resultados de los monitoreos de calidad de agua en el periodo 2015-2020.

Subcuenca Achamayo

Los puntos de muestreo: RAcha1, RChia2, RMant12, RMant14, RMant15 y RMant16 presentan resultados elevados de *Escherichia coli* y coliformes termotolerantes respecto al valor deseable indicado en el ECA-Agua 2017 de 1000 NMP/100 mL para ambos parámetros (Ver Tabla 11). El punto RMant10 (ubicado a la salida de la subcuenca del río Huari) contiene concentraciones elevadas de *Escherichia coli* y coliformes termotolerantes, las cuáles ingresan a nuestra subcuenca de estudio. El punto RPach1, ubicada dentro de la Reserva Paisajística Nor Yauyos Cochas, también desemboca en nuestra subcuenca de estudio sin algún indicio de contaminación según los resultados.

Subcuenca Shullcas

Los puntos de muestreo: RMant17, RMant18, RChan1 y RMant19 tienen resultados elevados de *Escherichia coli* y coliformes termotolerantes respecto a los valores deseables del ECA Agua Categoría 3-D1 (Ver Tabla 12). El punto de muestreo RShul2 es el más crítico porque aparte de tener los parámetros microbiológicos elevados, también se le suma la DBO5, DQO y Detergentes SAAM que exceden los valores deseables del ECA-Agua Categoría 3. El punto de muestreo RCuna2 (ubicado a la salida de la subcuenca del río Cunas) aporta concentraciones elevadas de pH, *Escherichia coli* y coliformes termotolerantes (Ver Tabla 14), debido a que existen poblaciones extensas en la zona media y baja de la subcuenca del río Cunas.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Esto guarda relación con el estudio realizado por Pereira *et al.* (2021) donde determinó que el río Caeté (Brasil) tiene altas concentraciones de bacterias patógenas como coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*, provocadas por la falta de un sistema de saneamiento público. Los coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* pueden considerarse como indicadores equivalentes de contaminación fecal (Horan, 2003).

Resultados de la IFC

De acuerdo a Identificación de Fuentes Contaminantes (IFC) realizadas por la ANA entre los años 2018-2020, en la subcuenca Achamayo, se tiene un registro de 39 vertimiento de aguas residuales municipales, los cuales están representados en la Figura 5 por medio de la distribución espacial de puntos en el entorno de la subcuenca. En la subcuenca Shullcas se tiene un registro de 49 vertimientos de aguas residuales municipales, los cuáles se pueden visualizar en la Figura 6 a través de la distribución espacial en el ámbito de la subcuenca de estudio.

Número de orden de ríos

En la siguiente tabla, se muestra el número de orden de ríos obtenidos mediante el método de Strahler.

Tabla 8. Número de orden de ríos de las subcuencas de estudio.

Subcuenca	Punto de muestreo	Orden	Cuerpo de agua
Huari	RMant10	6	Río Mantaro
Pachacayo	RPach1	4	Río Pachacayo
Achamayo	RMant11	6	Río Mantaro
	RMant12	6	Río Mantaro
	RMant13	6	Río Mantaro
	RChia1	2	Río Chia
	RChia2	2	Río Chia

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Subcuenca	Punto de muestreo	Orden	Cuerpo de agua
	RAcha1	3	Río Achamayo
	RMant14	6	Río Mantaro
	RMant15	6	Río Mantaro
	RMant16	6	Río Mantaro
Cunas	RCuna2	5	Río Cunas
Shullcas	RMant17	6	Río Mantaro
	RShul1	3	Río Shullcas
	RShul2	3	Río Shullcas
	RMant18	6	Río Mantaro
	RChan1	3	Río Chanchas
	RMant19	6	Río Mantaro

De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 8, el río Mantaro es el que tiene un orden de 6, siendo el de mayor orden y el cuerpo de agua que recepciona toda la carga de los ríos de ordenes menores. El río Chia es el de menor orden y que se relaciona a un caudal más bajo con respecto al río Mantaro.

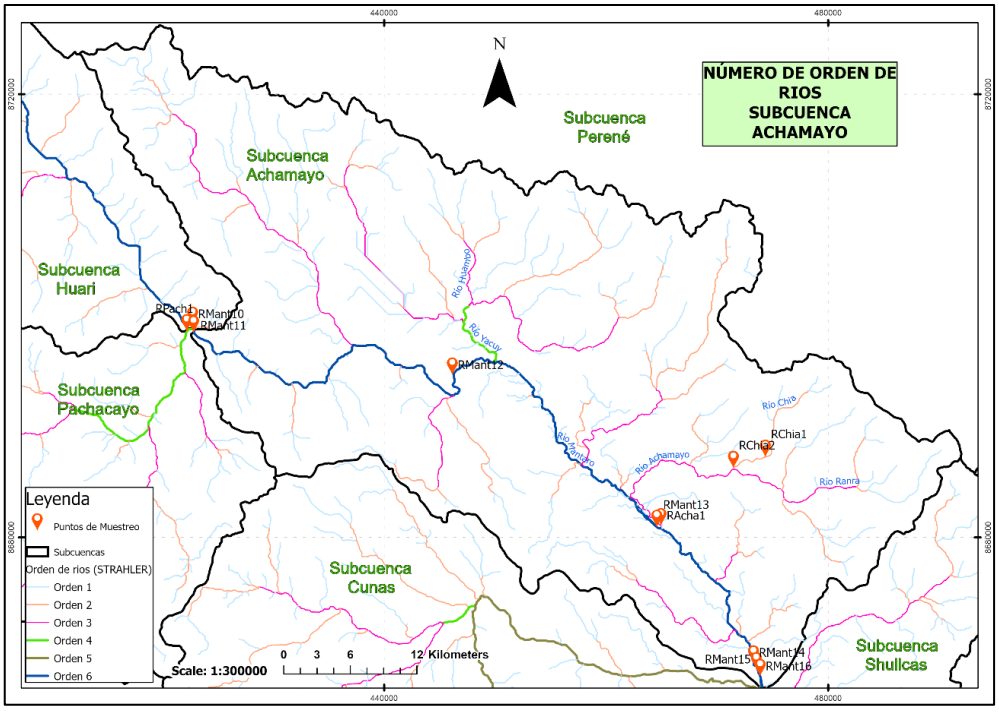


Figura 3. Distribución espacial del número de orden de ríos en la subcuenca Achamayo

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

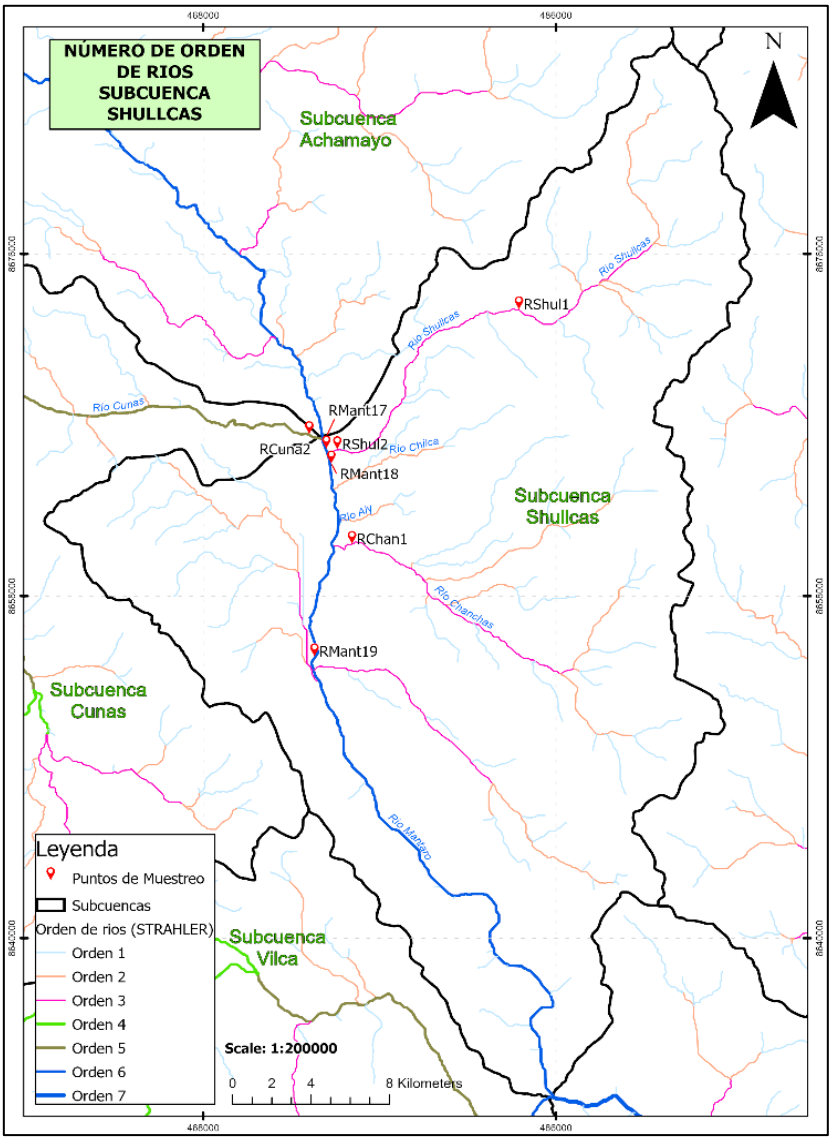


Figura 4. Distribución espacial del número de orden de ríos en la subcuenca Shullcas

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Evaluación del cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA) CCME

El cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA) se realizó con los resultados de las 12 campañas de monitoreo, cubriendo los siguientes meses: marzo, abril, mayo, junio, agosto, setiembre, octubre, noviembre y diciembre, los cuales se separaron por temporadas de estiaje y avenida. Para ello se tomó en cuenta lo mencionado por el Instituto Geofísico del Perú (2010) y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2021) donde indican que la temporada de avenida ocurre en los meses de setiembre a abril y la temporada de estiaje de mayo a agosto.

A continuación, se presentan los resultados del cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA) utilizando la metodología propuesta por el Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME) en las subcuencas Achamayo y Shullcas. La distribución espacial de los resultados se ICA se muestran en la Figura 5 y Figura 6.

Tabla 9. Cálculo del ICA CCME de la subcuenca Achamayo.

Subcuenca	Punto	Orden	Estiaje	Avenida	Todas las épocas
			Valor/ CCME-WQI	Valor/ CCME-WQI	Valor/ CCME-WQI
Huari	RMant10	6	**80 / Buena**	**83 / Buena**	**79 / Regular**
Pacha-cayo	RPach1	4	**100 / Excelente**	**81 / Buena**	**86 / Buena**
Achamayo	RMant11	6	**93 / Buena**	**87 / Buena**	**87 / Buena**
	RMant12	6	**86 / Buena**	**84 / Buena**	**85 / Buena**
	RMant13	6	**46 / Marginal**	**81 / Buena**	**55 / Marginal**
	RChia1	2	**94 / Buena**	**94 / Buena**	**94 / Buena**
	RChia2	2	**93 / Buena**	**81 / Buena**	**81 / Buena**
	RAcha1	3	**39 / Pobre**	**39 / Pobre**	**37 / Pobre**
	RMant14	6	**45 / Marginal**	**54 / Marginal**	**49 / Marginal**
	RMant15	6	**47 / Marginal**	**56 / Marginal**	**52 / Marginal**
	RMant16	6	**67 / Regular**	**49 / Marginal**	**52 / Marginal**
Promedio Subcuenca Achamayo			**67,78 / Regular**	**69,44 / Regular**	**65,8 /Regular**

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

En la subcuenca Achamayo, según los resultados de la Tabla 9, el punto RAcha1 obtuvo una calificación de “pobre” y el mismo comportamiento se tiene en las épocas de estiaje y avenida. Este resultado se debe a que los parámetros de *Escherichia coli* y coliformes termotolerantes excedieron los ECA-Agua Categoría 3-D1 en los 6 años de evaluación y los parámetros de aceites & grasas, detergentes y pH en 1 año de evaluación; aguas arriba de este punto se encuentran 2 vertimientos de aguas residuales municipales a menos de 500 metros de acuerdo a lo presentado en la Figura 5; el número de orden Strahler para el río Achamayo corresponde a 3, lo cual nos indica que es un cuerpo de agua con características de un caudal bajo que puede permitir una mayor concentración de la carga contaminante. El punto evaluado se encuentra ubicado en el distrito de Concepción con una población de 15 428 ha. En la parte alta de esta subcuenca están los puntos RChia1 y RChia2 donde ambos tienen una calificación de “bueno”. Esta evaluación tiene similitud con la investigación realizada por Dimri *et al.* (2021) que realizó el cálculo del WQI en el río Ganges (Índia), donde los resultados de la parte alta y baja disminuyen de “excelente” a “bueno” debido a la contaminación con coliformes totales en la parte baja de la cuenca provenientes de las actividades antropogénicas. Este resultado también es coincidente con el trabajo de Choque-Quispe *et al*. (2021) que aplicó el ICA Dinius en la microcuenca altoandina del río Chumbao en Andahuaylas, los resultados fueron que los puntos ubicados en la cabecera de cuenca se encontraban con una calidad “excelente” y en su recorrido varía de “aceptable” a “excesivamente contaminado”.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Tabla 10. Cálculo del ICA CCME de la subcuenca Shullcas.

Subcuenca	Punto	Orden	Estiaje	Avenida	Todas las épocas
			Valor/ CCME-WQI	Valor/ CCME-WQI	Valor/ CCME-WQI
Cunas	RCuna2	5	**75 / Regular**	**78 / Regular**	**77 / Regular**
Shullcas	RMant17	6	**44 / Pobre**	**46 / Marginal**	**45 / Marginal**
	RShul1	3	**84 / Buena**	**100 / Excelente**	**92 / Buena**
	RShul2	3	**18 / Pobre**	**23 / Pobre**	**19 / Pobre**
	RMant18	6	**34 / Pobre**	**35 / Pobre**	**32 / Pobre**
	RChan1	3	**41 / Pobre**	**51 / Marginal**	**44 / Pobre**
	RMant19	6	**56 / Marginal**	**45 / Marginal**	**45 / Marginal**
Promedio Subcuenca Shullcas			**46,17/Marginal**	**50 / Marginal**	**46,2 / Marginal**

En la subcuenca Shullcas, según los resultados de la Tabla 10, los puntos que obtuvieron calificación de "pobre" fueron: RShul2, RMant18 y RChan1, los cuales se encuentran ubicados en los distritos de El Tambo, Huancayo y Huancán, con una población de: 166 359 ha 119 993 ha y 24 830 hab. respectivamente. El punto RShul2 es el más crítico de todos con una calificación de “pobre”, debido a que aguas arriba recibe las descargas de 17 vertimientos de aguas residuales municipales (ver Figura 6), ocasionando que los parámetros microbiológicos excedan los ECA Agua Categoría 3-D1 en todas las campañas de monitoreo; estos resultados son coincidentes con Nhantumbo *et al.* (2023), donde los resultados de su investigación mostraron elevadas concentraciones de Coliformes Totales y E. Coli en las zonas ubicadas a la salida de las aguas residuales de la cervecera, los sistemas de drenajes y asentamientos informales con un sistema de saneamiento muy limitado. La misma situación ocurre en el río Joanes (Brasil), donde de Almeida & de Oliveira (2018) aplicaron el CCME-WQI en tres secciones del río, durante el periodo 2008 al 2011, los resultados variaron entre “muy mal”, “regular” y “malo”; la principal fuente de contaminación fueron los vertimientos de aguas

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

residuales domésticas e industriales y la presencia de residuos sólidos. El número de orden del río Shullcas corresponde a 3, por lo que tiene características de un cuerpo de agua con bajo caudal, lo cual favorece a que haya una menor dilución de la carga contaminante especialmente en temporada de estiaje.

El punto RMant18 (ubicado en el río Mantaro) tiene una calificación de “pobre” porque aguas arriba recibe toda la carga contaminante del río Shullcas y la de 1 vertimiento de agua residual municipal. En el punto RChan1, no se encontraron vertimientos municipales aguas arriba, sin embargo, se obtuvo una calificación de "pobre"; asimismo, Aylas *et al*. (2021) evidencia en su estudio que el río Chanchas es el que tiene una mayor concentración de contaminantes debido a que los valores de las mediciones de pH salieron más elevados que los otros puntos de medición en los ríos Chilca, Shullcas y Mantaro. Además, los autores del estudio argumentan que, en los mencionados ríos, la mayor actividad antrópica proviene del lavado de ropa, vertido de residuos sólidos y vertido de aguas residuales domésticas, manteniéndolos con una mala calidad.

Propuestas de mejora

De acuerdo a la evaluación de resultados de los monitoreos de calidad del agua en las subcuencas Achamayo y Shullcas, sus ríos se caracterizan por tener altas concentraciones de patógenos, por lo que se recomienda construir plantas de tratamiento de aguas residuales como las lagunas de estabilización y lodos activados de aireación extendida en los puntos de vertimientos de las aguas residuales municipales identificadas por la ANA. Las lagunas de estabilización son

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

tecnologías que se ajustan para las zonas periurbanas y rurales con terrenos extensos (Tilley *et al*., 2018). Este tipo de tratamientos son de bajo costo y requieren poco mantenimiento (Baeza Gómez, 2018), lo cual se podría ajustar a los presupuestos de las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS). Los procesos de lodos activados de aireación extendida es uno de los más utilizados para el tratamiento de las aguas residuales municipales (Noyola *et al*., 2013). Estos tratamientos tienen altos costos operativos y de inversión (Tilley *et al*., 2018), sin embargo, es lo más recomendable para las zonas urbanas ya que no requiere extensas áreas de terreno para su construcción a diferencia de las lagunas de estabilización.

Los distritos que necesitan un mayor énfasis para la construcción de están planta de tratamiento son: El Tambo, Huancayo, Chilca y Huancán, ubicados en el ámbito de la subcuenca Shullcas, lo cual concuerda con Bisimwa *et al.* (2022) que recomienda establecer plantas de tratamiento de aguas residuales eficientes en varios puntos de la cuenca del lago Kivu (Congo) para mitigar la contaminación producida por los vertederos de desechos domésticos no controlados y caudales de vertidos líquidos.

Conclusiones

• Se analizó la información de los monitoreos de calidad de agua en las subcuencas Achamayo y Shullcas durante los años 2015 al 2020, determinándose que los parámetros de *Escherichia coli* y coliformes termotolerantes son los que más sobrepasan los ECA-Agua vigentes.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

• De acuerdo con los resultados del cálculo ICA, se determinó que la subcuenca Achamayo obtuvo una calificación de “regular” en las épocas de estiaje y avenida; mientras que en la subcuenca Shullcas se obtuvo la calificación de “marginal” para ambas épocas siendo la más impactada.

• Se planteó propuestas de mejora para la calidad del agua que consisten en construir plantas de tratamiento de aguas residuales con un sistema de lodos activados de aireación extendida o lagunas de estabilización, con especial énfasis en los distritos de Concepción, Huancayo, El Tambo, Chilca y Huancán.

Literatura citada

Autoridad Nacional del Agua (2015). Evaluación de Recursos Hídricos en la Cuenca del Mantaro. https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/36

Autoridad Nacional del Agua. (2020). Plan de Gestión de Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Mantaro. Etapa 1. https://crhc.ana.gob.pe/mantaro/plan-de-gestion-de-recursos-hidricos/elaboracion-del-plan/plan-de-actividades

Aylas-Quispe, A., Campos-Llantoy, A., Perez-Cordova, M., Alvarez-Montalván, C.E & Camargo-Hinostroza, S. (2021). Evaluation of the Quality of Drinking Water and Rivers in the Mantaro Valley, Central Perú. Earth and Environmental Science, 943 (012002), 1-9. https://doi.org/10.1088/1755-1315/943/1/012002

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2018). Técnicas y métodos de tratamiento para diferentes tipos de aguas residuales. https://www.bcn.cl/asesoriasparlamentarias/detalle_documento.html?id=72898

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Bisimwa, A. M., Amisi, F. M., Bamawa, C. M., Muhaya, B. B., & Kankonda, A. B. (2022). Water quality assessment and pollution source analysis in Bukavu urban rivers of the Lake Kivu basin (Eastern Democratic Republic of Congo). Environmental and Sustainability Indicators, 14, 1-14. https://doi.org/10.1016/j.indic.2022.100183

Canadian Council of Ministers of the Environment (2017). Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index, User's Manual 2017 update. https://ccme.ca/en/res/wqimanualen.pdf

Choque-Quispe, D., Ligarda-Samanez, C. A., Solano-Reynoso, A. M., Ramos-Pacheco, B. S., Quispe-Quispe, Y., Choque-Quispe, Y. & Kari-Ferro, A. (2021). Water quality index in the high-Andean micro-basin of the Chumbao River, Andahuaylas, Apurímac, Peru. Tecnologia y Ciencias Del Agua, 12(1), 37-73. https://doi.org/10.24850/j-tyca-2021-01-02

Damania, R., Desbureaux, S., Rodella, A., Russ, J. & Zaveri, E. (2019). Calidad Desconocida. Banco Mundial. http://hdl.handle.net/10986/32245

de Almeida, G.S. & de Oliveira, I.B. (2018). Application of the index WQI-CCME with data aggregation per monitoring campaign and per section of the river: case study-Joanes River, Brazil. Environ Monit Assess, 190 (195), 1-20. https://doi.org/10.1007/s10661-018-6542-5

Decreto Supremo N°004-2017-MINAM. Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias. 7 de junio de 2017. Diario oficial el peruano 1529835-2.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Dimri, D., Daverey, A., Kumar, A. & Sharma, A. (2019). Monitoring water quality of River Ganga using multivariate techniques and WQI (Water Quality Index) in Western Himalayan region of Uttarakhand, India. Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management, 15 (October 2020), 1-14. https://doi.org/10.1016/j.enmm.2020.100375

Gikas, G. D., Sylaios, G. K., Tsihrintzis, V. A., Konstantinou, I. K., Albanis, T., & Boskidis, I. (2020). Comparative evaluation of river chemical status based on WFD methodology and CCME water quality index. Science of the Total Environment, 745, 140849. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140849

Gil-Marín, J. A., Vizacíno, C., & Montaño-Mata, N. J. (2018). Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: Cuenca del río Guarapiche, Monagas, Venezuela. Anales Científicos, 79(1), 111–119. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6480001

González-Val, R., & Pueyo, F. (2019). Natural resources, economic growth and geography. Economic Modelling, 83(July 2018), 150–159. https://doi.org/10.1016/j.econmod.2019.02.007

Hernández, J. A. R. (2022). Índice Canadiense de Calidad del Agua CCME-WQI, en la zona de incidencia hidrográfica del río Dulce, Izabal, Guatemala. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, 5(3), 2789-2798. https://doi.org/10.34188/bjaerv5n3-014

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Instituto Geofísico del Perú (2010). Memoria del Subproyecto "Pronóstico estacional de lluvias y temperaturas en la cuenca del río Mantaro para su aplicación en la agricultura". http://hdl.handle.net/20.500.12816/708

Mesa Sánchez, O. J. (2018). Cuatro modelos de redes de drenaje. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 42(165), 379-391. https://doi.org/10.18257/raccefyn.641

Nhantumbo, C., Cangi Vaz, N., Rodríguez, M., Manuel, C., Rapulúa, S., Langa, J., Nhantumbo, H., Joaquín, D., Dosse, M., Sumbana, J., Santos, R., Montero, S. & Juizo, D. (2023). Assessment of Microbial Contamination in the Infulene River Basin, Mozambique, 15(2), 1-15. https://doi.org/10.3390/w15020219

Noyola, A., Morgan-Sagastume, J., & Guereca, L. (2013). Selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales municipales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas. Universidad Nacional Autónoma de México. http://proyectos2.iingen.unam.mx/LACClimateChange/docs/Guia.pdf

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2021). Atlas de temperaturas del aire y precipitación en el Perú. https://hdl.handle.net/20.500.12542/1339

Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., Schertenleib, R. & Zurbrügg, C. (2018). Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/schwerpunkte/sesp/CLUES/Compendium_Spanish_pdfs/compendio_sp.pdf

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Valcarcel, L. R., Alberro, N. M., & Frías, D. (2008). El Índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos. Medio Ambiente y Desarrolo, 10(18), 1–5. https://cmad.ama.cu/index.php/cmad/article/view/141

Van Winckel, T., Cools, J., Vlaeminck, S. E., Joos, P., Van Meenen, E., Borregán-Ochando, E., Van Den Steen, K., Geerts, R., Vandermoere, F. & Blust, R. (2021). Towards harmonization of water quality management: A comparison of chemical drinking water and surface water quality standards around the globe. Journal of Environmental Management, 298(August). 1-12. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113447

Wan, L. & Wang, H. (2021). Control of urban river water pollution is studied based on SMS. Environmental Technology and Innovation, 22, 1-18. https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101468

Yotova, G., Varbanov, M., Tcherkezova, E., & Tsakovski, S. (2021). Water quality assessment of a river catchment by the composite water quality index and self-organizing maps. Ecological Indicators, 120(August 2020), 1-10. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106872

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Tabla 11. Resultados de los monitoreos de la calidad del agua – Categoría 3-D1 de la subcuenca Achamayo.

Parámetros		A&G	Conducti-vidad	DBO_5	DQO	Detergentes (SAAM)	Nitritos-N	O.D.	pH	E. Coli	C. Termotolerantes
Punto	Unid.	mg/L	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	Unid.	NMP/100 mL	NMP/100 mL
	Año	**5**	**2500**	**15**	**40**	**0.2**	**10**	**>=4**	**6,5-8,5**	**1000**	**1000**
RAcha1	2015	1	634.7	3	6	0.06	0.105	7.06	7.91	230000	230000
	2016	1	688.55	3	8	0.06	0.35505	7.17	8.155	189500	189500
	2017	5.1	650.1	3	7	0.15	0.014	4.1	8.2	46000	110000
	2018	1	373.23	3.500	13.667	0.295	0.004	6.257	8.893	10010	7263.333
	2019	1	506.75	6.33	13.5	0.05	0.004	6.48	7.77	4950	26700
	2020	0.1	713.7	8	15	0.002	0.0406	5.22	8.01	170000	460000
RChia1	2015	1	317	3	6	0.06	0.005	5.12	7.69	1.8	1.8
	2016	1	322.3	3	6	0.06	0.005	7.255	8.48	31	33
	2017	1	326.2	2	2	0.01	0.004	----	8.61	4.5	11
	2018	1	322.067	2	2	0.01	0.004	6.603	8.387	5.533	12.267
	2019	0.775	323.75	2	2	0.006	0.004	6.6125	7.98	1.85	3.6
	2020	0.1	336.9	3	5	0.002	0.002	6.52	8.5	1.8	1.8
RChia2	2015	1	318.6	3	36	0.06	0.031	8.27	8.31	33	1100
	2016	1	378.55	4.5	9	0.06	0.07475	6.82	8.52	1765	1815
	2017	1	373	2	2	0.01	0.017	----	8.61	240	1300
	2018	1	362.3	2	5.333	0.01	0.004	6.447	8.637	210	436.667
	2019	0.775	339.5	2	4	0.006	0.004	6.7775	7.98	458.25	837.25
	2020	0.1	361.3	4	7	0.002	0.0025	7.1	8.38	240	330
RMant11	2015	1	562.6	3	32	0.06	0.02	6.75	8.21	230	330
	2016	1	735	3	6	0.06	0.021	7.04	8.46	410	595
	2017	1	650.9	2	2	0.01	0.004	----	8.5	33	490
	2018	1	700.3	2	7.333	0.01	0.004	6.2	8.637	93	223.333
	2019	0.775	470.5	2.5	5.25	0.006	0.004	6.86	8.045	365	875
	2020	0.1	595.6	3	2	0.002	0.0052	6.4	8.43	79	170
RMant12	2015	1	592.4	3	16	0.06	0.018	6.88	7.96	460	700
	2016	1	701.5	3	7	0.06	0.03	6.945	8.18	889.5	2339.5
	2017	1	595.1	2	2	0.01	0.016	----	8.2	130	330
	2018	1	718.567	2	10	0.01	0.004	6.407	8.17	923	4113.333
	2019	0.775	578.5	4	9	0.006	0.004	7.0875	7.9	459.75	1260
	2020	0.1	679.4	4	7	0.002	0.0111	7.27	8.23	1300	2400
RMant13	2015	1	588.8	3	8	0.06	0.025	7.41	8.18	23	490
	2016	1	745.8	3	8	0.06	0.02485	7.06	8.27	59.5	269.5
	2017	1	594	2	5	0.01	0.013	----	8.41	110	490
	2018	1	778.933	2	3	0.01	0.004	6.213	8.753	231	450
	2019	0.775	601	2.25	9.75	0.006	0.004	6.44	7.9325	18625	57525
	2020	0.1	671.9	2	8	0.002	0.004	6.73	8.42	490	790
RMant14	2015	1	635	3	28	0.06	0.026	8.34	8.34	79	4600
	2016	1	798.55	3	8	0.06	0.0465	6.425	8.055	38500	38500
	2017	1.5	625	2	4	0.01	0.004	----	8.48	240	700
	2018	1	690.533	2	7	0.017	0.004	5.947	8.477	24010	24433.333
	2019	0.775	538.25	2.75	12.75	0.016	0.004	6.695	7.7725	12575	36475
	2020	0.1	677.4	2	2	0.002	0.004	6.76	8.4	1300	2400
RMant15	2015	1	655	3	24	0.06	0.055	6.11	8.44	700	23000
	2016	1	780.25	3	7.1	0.06	0.1061	7.15	8.225	2520	4345

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Parámetros		A&G	Conducti-vidad	DBO_5	DQO	Detergentes (SAAM)	Nitritos-N	O.D.	pH	E. Coli	C. Termotolerantes
Punto	Unid.	mg/L	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	Unid.	NMP/100 mL	NMP/100 mL
	Año	**5**	**2500**	**15**	**40**	**0.2**	**10**	**>=4**	**6,5-8,5**	**1000**	**1000**
RMant16	2017	1	625.1	2	9	0.01	0.004	----	8.4	4600	11000
	2018	1	706.467	2.667	5	0.013	0.004	5.913	8.33	6800	53266.667
	2019	0.775	583.5	2.5	13.25	0.006	0.004	6.9125	7.86	6800	17225
	2020	0.1	672.9	2	29	0.002	0.004	6.93	8.41	17000	46000
	2015	1	641	3	12	0.06	0.082	5.66	8.33	330	7900
	2016	1	774.55	3.5	6	0.06	0.050	6.685	8.135	2045	2800
	2017	1	627	2	6	0.01	0.011	----	8.42	46000	46000
	2018	1	646.133	2	7.667	0.017	0.004	5.81	8.417	2566.667	7800
	2019	0.775	588.5	3	11	0.006	0.004	6.87	7.8675	18150	35750
	2020	0.1	667.6	2	8	0.002	0.004	6.58	8.32	7000	11000

Tabla 12. Resultados de los monitoreos de la calidad del agua – Categoría 3-D1 de la subcuenca Shullcas.

Parámetros		A&G	Conductividad	DBO5	DQO	Detergentes (SAAM)	Nitritos-N	O.D.	pH	E.Coli	C.Termotolerantes
Punto	Unid.	mg/L	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	Unid.	NMP/100 mL	NMP/100 mL
	Año	**5**	**2500**	**15**	**40**	**0.2**	**10**	**>=4**	**6,5-8,5**	**1000**	**1000**
RMant17	2015	1.00	592.00	4.00	8.00	0.06	0.171	6.3	8.52	330	3300
	2016	1.00	811.55	3.50	10.00	0.06	0.1717	6.685	8.23	70500	70500
	2017	1.00	592.00	2.00	19.00	0.03	0.014	6.35	8.4	1300	1700
	2018	1.00	672.47	2.00	18.00	0.05	0.004	6.097	8.427	7597	22167
	2019	0.78	591.75	3.00	15.50	0.01	0.004	6.5825	7.9625	32775	73725
	2020	0.10	682.60	2.00	6.00	0.00	0.004	6.448	8.52	46000	70000
RShul2	2015	1.00	232.00	90.00	174.00	0.06	0.005	6.07	7.88	2300000	2300000
	2016	29.50	578.45	98.00	188.50	0.06	0.005	4.7	8.025	256500000	256500000
	2017	20.80	857.00	241.00	466.00	0.67	0.004	3.55	8.07	2200000	7000000
	2018	31.17	356.47	113.33	236.00	0.20	0.004	4.343	8.27	1333333	6566667
	2019	19.95	713.25	161.50	322.50	3.16	0.004	4.115	7.8025	31423500	49570000
	2020	37.40	734.80	138.00	315.00	0.95	0.004	4	8	7000000	17000000
RMant18	2015	1.00	559.20	6.00	20.00	0.06	0.499	6.35	8.04	330000	330000
	2016	1.00	808.40	4.00	8.00	0.06	0.2462	6.33	8.2	480000	480000
	2017	1.00	592.70	3.00	12.00	0.10	0.014	6.01	8.4	46000	220000
	2018	1.00	636.37	8.00	28.67	0.25	0.004	6.01	8.377	36333	120000
	2019	2.50	607.75	5.50	21.00	0.21	0.03575	6.75	7.9775	185000	527500
	2020	0.10	656.40	15.00	70.00	0.00	0.004	5.44	8.16	1100000	1400000
RChan1	2015	1.00	195.00	3.00	12.00	0.06	0.005	5.5	7.5	23000	23000
	2016	1.00	431.05	3.00	7.00	0.06	0.06345	5.85	8.425	51000	51000
	2017	1.00	464.00	5.00	18.00	0.13	0.031	5.17	8.4	2800	2800
	2018	1.00	296.50	4.00	13.00	0.16	0.004	5.53	8.33	41597	68900
	2019	0.78	349.25	4.00	18.25	0.01	0.026	5.61	7.875	6575	29650
	2020	0.10	507.10	5.00	25.00	0.00	0.023	6.228	8.28	7000	11000

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Parámetros		A&G	Conductividad	DBO5	DQO	Detergentes (SAAM)	Nitritos-N	O.D.	pH	E.Coli	C.Termotolerantes
Punto	Unid.	mg/L	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	Unid.	NMP/100 mL	NMP/100 mL
	Año	**5**	**2500**	**15**	**40**	**0.2**	**10**	**>=4**	**6,5-8,5**	**1000**	**1000**
RMant19	2015	1.00	523.00	5.00	16.00	0.06	0.005	5.7	7.9	230000	230000
	2016	1.00	732.30	3.00	6.00	0.06	0.24915	6.46	8.275	26150	26950
	2017	1.00	652.00	2.00	3.00	0.02	0.048	5.69	8.3	7000	11000
	2018	1.00	661.60	3.00	7.67	0.04	0.004	5.753	8.29	9600	21000
	2019	0.78	522.67	3.25	15.75	0.01	0.00575	6.15	7.953	10778	39305
	2020	0.10	686.00	3.00	6.00	0.00	0.004	5.777	8.24	46000	70000

Tabla 13. Resultados de los monitoreos de la calidad del agua – Categoría 1-A2 de la subcuenca Shullcas.

Parámetros		O.D.	DBO5	Fósforo Total	DQO	A&G	Cloruros	Conductividad	Nitratos (NO3-)	Nitritos (NO2-)	pH	C. Termotolerantes
Punto	Unid.	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µS/cm	mg/L	mg/L	Unid.	NMP/100 mL
	Año	**>=5**	**5**	**0.15**	**20**	**1.7**	**250**	**1600**	**50**	**3**	**5,5-9**	**2000**
RShul1	2015	6.9	3	0.05	20	1	1.7	142.8	0.7531	0.9348	7.86	23
	2016	7.15	3	0.045	7	1	4.795	240.8	0.7088	0.08528	8.44	18
	2017	6.85	2	0.02	3	1.2	4.366	242.4	0.065	0.015	9	11
	2018	6.733	2.667	0.016	4.333	1	3.831	316.4	0.171	0.015	8.537	8.433
	2019	6.793	2	0.623	3.75	0.775	3.376	206.7	0.191	0.015	7.963	23.5
	2020	6.83	2	0.01	2	0.1	4.945	249.7	0.143	0.015	8.6	23

Tabla 14. Resultados de la calidad del agua de los puntos de muestreo de las subcuencas limitantes – Categoría 3-D1.

Parámetros		A&G	Conductividad	DBO5	DQO	Detergentes (SAAM)	Nitritos-N	O.D.	pH	E.Coli	C. Termotolerantes
Punto	Unid.	mg/L	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	Unid.	mg/L	NMP/100 mL
	Año	**5**	**2500**	**15**	**40**	**0.2**	**10**	**>=4**	**6,5-8,5**	**1000**	**1000**
RCuna2	2015	1	454	3	24	0.06	0.665	6.9	8.96	790	7900
	2016	1	652.5	4.5	8	0.06	0.744	7.2	8.575	2350	2350
	2017	1	463	7	19	0.06	0.118	7.71	8.81	460	700
	2018	1	460.133	2	11	0.023	0.021	5.767	8.023	1004	3883
	2019	0.775	511.95	4.25	16.25	0.031	0.011	8.30	8.228	914.75	1465
	2020	0.1	480.4	4	33	0.002	0.081	8.92	8.83	490	1300
RMant10	2015	1	529.2	3	20	0.06	0.026	7.78	8.1	79	79
	2016	1	740	2.5	10	0.035	0.041	7.19	7.875	512	1267
	2017	1	559.3	2	2	0.01	0.019	6.82	8.4	330	1100
	2018	1	667.733	2	7.333	0.010	0.004	6.177	8.447	573	2407
	2019	0.775	593.000	3.250	11.500	0.006	0.009	6.930	7.910	1073	2275
	2020	0.100	686.800	2.000	2.000	0.002	0.0002	6.760	8.320	3500	9200

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Tabla 15. Resultados de la calidad del agua del punto de muestreo de la subcuenca Pachacayo (limitante a la subcuenca Achamayo) – Categoría 4-E2.

Parámetros		O.D.	DBO5	Nitratos (NO3-)	Fósforo Total	A&G	Conductividad	pH	C.Termotolerantes
Punto	Unid.	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µS/cm	Unid.	NMP/100 mL
	Año	**>= 5**	**10**	**13**	**0.05**	**5**	**1000**	**6,5-9**	**2000**
RPach1	2015	7.3	3	0.2215	0.02	1	681.6	8.31	490
	2016	6.935	3	0.467	0.01	1	813	8.25	155
	2017	6.77	2	0.113	0.01	1	675.9	8.41	330
	2018	6.32	2	0.096	0.011	1	695.2	8.677	147
	2019	6.67	3.75	0.097	0.028	0.775	426.25	8.013	205
	2020	6.5	2	0.022	0.01	0.1	529.6	8.41	490

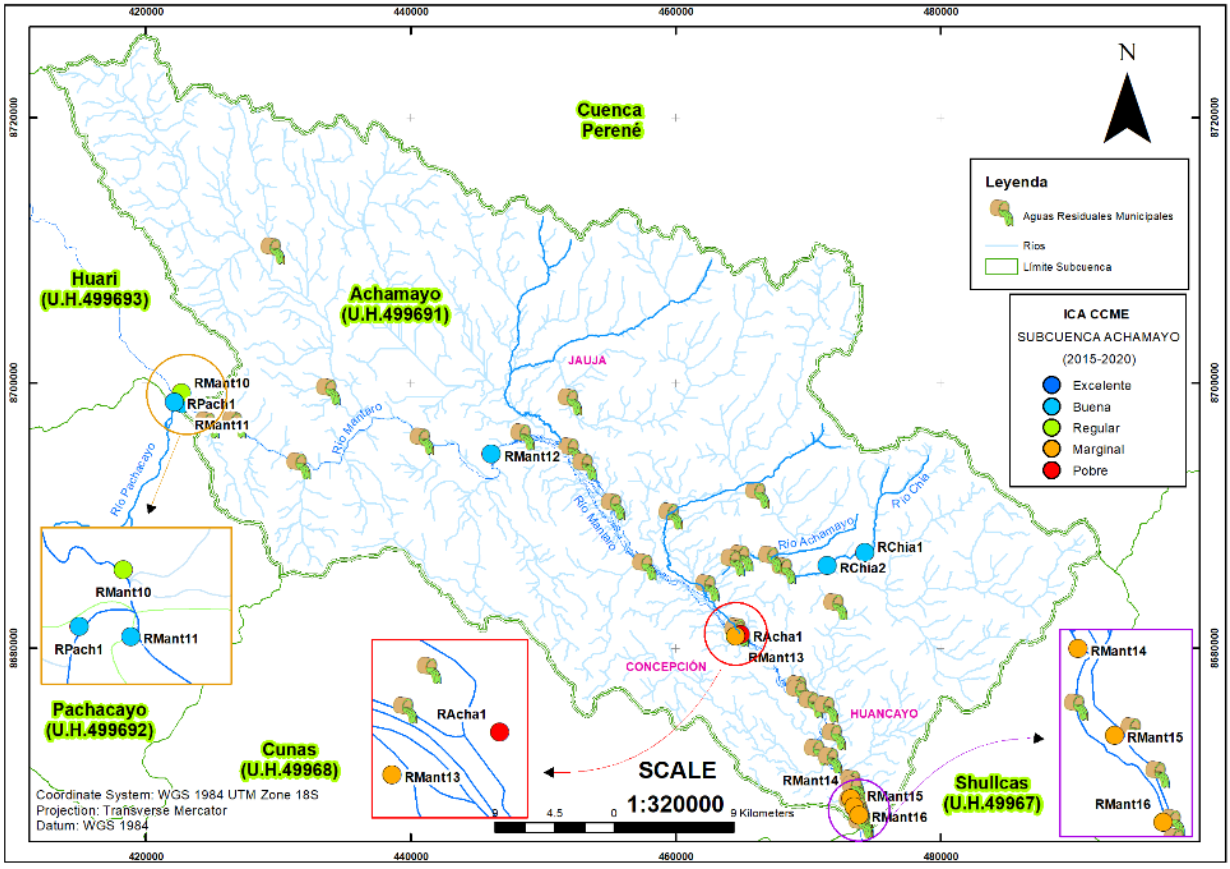


Figura 5. Distribución espacial de los resultados de los índices de calidad del agua en la subcuenca Achamayo.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

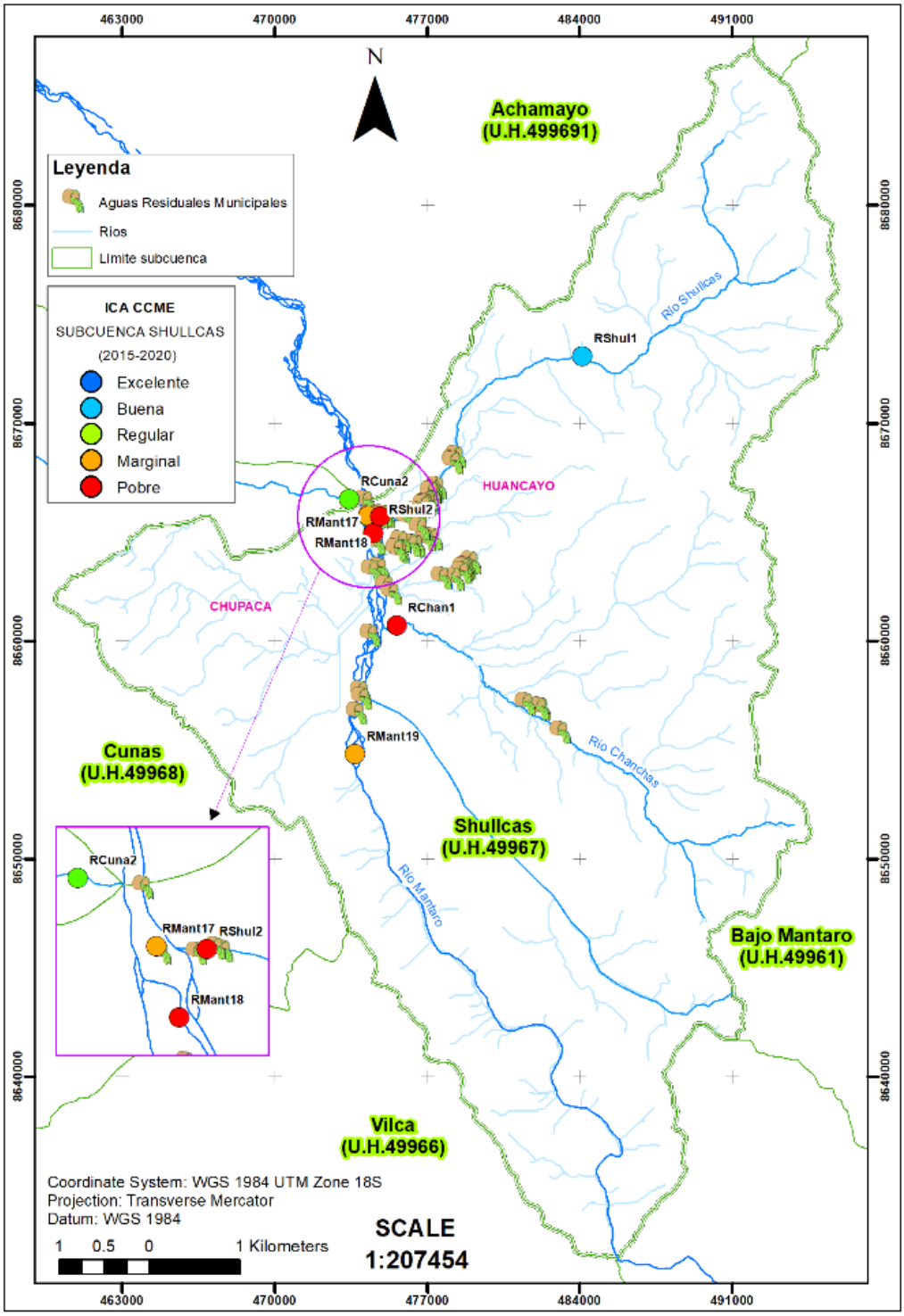


Figura 6. Distribución espacial de los resultados de los índices de calidad del agua en la subcuenca Shullcas

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ANEXO 1. Evidencia del envío a revista científica

Fw[2]: Envío de manuscrito para la publicación en la revista Ecología Aplicada

Reynaldo A. Grillo <reynaldo@lamolina.edu.pe>
Mié 16/08/2023 18:20
Para:Milagros Gutierrez Vilela <4201010562@cientifica.edu.pe>
CC:wbq@lamolina.edu.pe <wbq@lamolina.edu.pe>;German Antonio Arellano Cruz <acg@lamolina.edu.pe>;Revista Ecologia Aplicada <ecolapl@lamolina.edu.pe>

6 archivos adjuntos (6 MB)
1_Carta de presentación firmada.pdf; 2_Ficha de datos de los autores.pdf; 3_Versión Final del artículo_Manuscrito.docx; 4_Figuras_Artículo.rar; 5_Comprobante de donación.pdf; Correo sobre consulta de temática de artículo.pdf;

Estimada Milagros Gutiérrez
Autora de correspondencia del manuscrito:

Id_Manuscrito_Artículo	523
AUTORES_apell_nom_nom_apell	Milagros Melissa Gutiérrez Vilela y Wilfredo Celestino Baldeón Quispe
TÍTULO_CASTELLANO	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LAS SUBCUENCAS ACHAMAYO Y SHULLCAS UTILIZANDO EL ÍNDICE DE CALIDAD CCME
TITULO_INGLÉS	WATER QUALITY EVALUATION OF THE ACHAMAYO AND SHULLCAS SUB-BASINS USING THE CCME QUALITY INDEX
Idioma	Castellano
Clase_manuscrito	Original
Fecha_presentación_recibido	16/08/2023
Fecha_aceptación_rechazo_retiro	
Estado	Recibido Presentado
Fecha_Estado_último	16/08/2023
Recepción_tipo	Correo electrónico
e_mail_autor_correspondencia_y_seguimiento	4201010562@cientifica.edu.pe

Damos en acuse de recibido.

Atentamente,

Reynaldo A. Grillo
Editor Asistente
ECOLOGÍA APLICADA
Revista del Departamento Académico de Biología / Facultad de Ciencias
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA (UNALM)
==========
Av. La Universidad s/n, La Molina / Lima / Perú.
---
http://www.lamolina.edu.pe/ecolapl/index.htm
http://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/eau

Horario de atención:
Lunes, miércoles y viernes de 8 a 12 h y de 13 a 15:30 h.
==========

_____
Enviado desde eM Client | www.emclient.com

------ Mensaje reenviado ------
De "Revista Ecologia Aplicada" <ecolapl@lamolina.edu.pe>
Para "Reynaldo A. Grillo" <reynaldo@lamolina.edu.pe>
Fecha 16/08/2023 17:45:58

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N° 261 -2021-DACIA-DAFCA-U. CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Lima, 17 de diciembre del 2021

VISTO:
El informe de revisión independiente académica y la aprobación de un Comité de Ética del proyecto de tesis titulado: ***EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LAS SUBCUENCAS ACHAMAYO Y SHULLCAS UTILIZANDO EL ÍNDICE DE CALIDAD CCME***, presentado por:

- **Milagros Melissa Gutiérrez Vilela**

CONSIDERANDO:
Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el título profesional de **Ingeniero(a) Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:
Aprobar e inscribir el proyecto de tesis titulado: ***EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LAS SUBCUENCAS ACHAMAYO Y SHULLCAS UTILIZANDO EL ÍNDICE DE CALIDAD CCME*** y establecer el inicio del periodo de ejecución del mencionado proyecto.

Nombrar al docente/colaborador **Wilfredo Celestino Baldeón Quispe** como asesor(a) para el desarrollo de la tesis en cuestión.

Regístrese, comuníquese y archívese,

Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico
Carrera de Ingeniería Ambiental