

**UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ DE  
MENDOZA DE AMAZONAS**



**ESCUELA DE POSGRADO**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE  
MAESTRO EN GESTIÓN PARA EL DESARROLLO  
SUSTENTABLE**

**EVALUACIÓN ESPACIO TEMPORAL DE METALES Y  
METALOIDES EN EL AGUA DE LAS PRINCIPALES  
MICROCUENCAS GANADERAS DE LA PROVINCIA  
DE CHACHAPOYAS EN LOS AÑOS 2017-2018,  
AMAZONAS, PERÚ.**

**Autor: Bach. Damaris Leiva Tafur**

**Asesor: Dr. Rainer Marco López Lapa**

**Registro:**

**CHACHAPOYAS – PERÚ**

**2022**

## **DATOS DEL ASESOR**

**Dr. Rainer Marco López Lapa**

DNI N° 41229580

Registro ORCID: 0000-0002-2879-5138

<https://orcid.org/0000-0002-2879-5138>

**Campo de la Investigación y Desarrollo, según la Organización para la  
Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE).**

1.00.00 -- Ciencias naturales

1.05.00 -- Ciencias de la Tierra, Ciencias ambientales

1.05.11 -- Oceanografía, Hidrología, Recursos hídricos

## DEDICATORIA

*A Vinda, mi protectora, a Lidia mi mejor motivación y a Guillermo la mejor muestra de paciencia y perseverancia.*

## **AGRADECIMIENTO**

El agradecimiento al Programa Nacional de Innovación Agraria, que en el marco de la ejecución del proyecto “Determinación del impacto de la actividad ganadera sobre la calidad del agua y establecimiento de medidas de prevención y mitigación ante la contaminación en las principales microcuencas de la región Amazonas.”, Contrato N° 027-INIA-PNIA/UPMSI/IE, se desarrolló la implementación de los análisis y se generó la data de las microcuencas en estudio. A su vez el agradecimiento al Laboratorio de Investigación en Suelos y Aguas (LABISAG) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), por brindar las facilidades para acceder a la información.

**AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**Dr. Policarpio Chauca Valqui**

RECTOR

**Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón**

VICERRECTOR ACADÉMICO

**Dra. Flor Teresa García Huamán**

VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN

**Dr. Raúl Rabanal Oyarce**

DIRECTOR DE LA ESCUELA DE POSGRADO

## **VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS**

El que al final suscribe, deja constancia que ha asesorado el proyecto de investigación y la ejecución de la tesis titulada:

**“EVALUACIÓN ESPACIO TEMPORAL DE METALES Y  
METALOIDES EN EL AGUA DE LAS PRINCIPALES  
MICROCUENCAS GANADERAS DE LA PROVINCIA DE  
CHACHAPOYAS EN LOS AÑOS 2017-2018, AMAZONAS, PERÚ”**


**Presentado por el alumno de la Maestría en Gestión para el Desarrollo  
Sustentable:**

Bach. Damaris Leiva Tafur

Asimismo, da visto bueno para la presentación del informe final de la tesis en mención, para que sea sometida a revisión por el jurado evaluador, comprometiéndose a orientar y supervisar el levantamiento de observaciones para continuar con los trámites correspondientes.

Se le expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

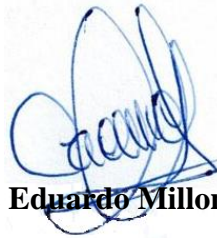
Chachapoyas, mayo del 2022.



---

Dr. Rainer Marco López Lapa  
Asesor

**JURADO CALIFICADOR**



**Dr. Carlos Eduardo Millones Chanamé**

PRESIDENTE



**Dr. Pedro Javier Mansilla Córdova**

SECRETARIO



**PhD. Ligia Magali García Rosero**

VOCAL



ANEXO 6-O

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL  
GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO (X) / DOCTOR ( )

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

"EVALUACIÓN ESPACIO TEMPORAL DE METALES Y METALOIDES EN EL AGUA DE LAS PRINCIPALES  
MICROCUENCAS GANADERAS DE LA PROVINCIA DE CHACHAPOYAS EN LOS AÑOS 2017-2018, AMAZONAS - PERÚ"

presentada por el estudiante ( )/egresado (X) DAMARIS LEIVA TAFUR  
de la Escuela de Posgrado, Maestría (X) / Doctorado ( ) en

GESTIÓN PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE

con correo electrónico institucional damaris.leiva@untrm.edu.pe

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- a) La citada Tesis tiene 16% de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (X) / igual ( ) al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- b) La citada Tesis tiene ..... % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.

Chachapoyas, 20 de mayo del 2022



*[Signature]*

SECRETARIO

*[Signature]*

PRESIDENTE

*[Signature]*

VOCAL

OBSERVACIONES:

.....  
.....





UNTRM

REGLAMENTO GENERAL

PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 6-Q

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO (X) / DOCTOR ( )

En la ciudad de Chachapoyas, el día 28 de Junio del año 2022, siendo las 16:00 horas, el aspirante Demaris Leiva Tafur, defiende en sesión pública presencial (X) / a distancia ( ) la Tesis titulada: Evaluación espacio temporal de metales y metaloides en el agua de las principales microcuencas ganaderas de la Provincia de Chachapoyas en los años 2017-2018, Umas, que tiene como asesor a Dr. Rainer Marco Lopez Kapa para obtener el Grado Académico de Maestro (X)/Doctor ( ) en Gestión para el Desarrollo Sustentable ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, conformado por:



Presidente: Dr. Carlos Eduardo Millones Echaname
Secretario: Dr. Pedro Javier Mansilla Córdova
Vocal: Ph.D. Ligia Magali Larcia Rosero

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y método, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis de Maestría (X)/Doctorado ( ), en términos de:

Aprobado ( X ) Desaprobado ( )

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 18:10 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Grado Académico de Maestro (X)/Doctor ( ).

SECRETARIO

PRESIDENTE

VOCAL

OBSERVACIONES: La maestrante sustentó el 28 de junio de 2022, sin embargo, por hallarse observaciones por parte del jurado, estas fueron levantadas el 22 de junio de 2022

## CONTENIDO

DATOS DEL ASESOR.....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS .....	v
VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS .....	vi
JURADO CALIFICADOR.....	vii
DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO .....	viii
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS .....	ix
CONTENIDO .....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
RESUMEN .....	xv
ABSTRACT.....	xvi
I. INTRODUCCIÓN.....	17
II.MATERIAL Y MÉTODOS .....	19
2.1. Materiales, equipos y software .....	19
2.2. Metodología.....	19
2.2.1. Área de estudio.. .....	19
2.2.2. Diseño metodológico.....	26
2.2.3. Recopilación de datos de parámetros fisicoquímicos, metales y metaloides de los monitoreos en el agua de las microcuencas ganaderas de la provincia de Chachapoyas de los años 2017 y 2018.....	27
2.2.4. Análisis de datos.....	27
2.2.5. Representación gráfica de metales y metaloides con más alta tasa de concentración de las principales microcuencas ganaderas de la provincia de Chachapoyas en los años 2017 y 2018.....	28
2.2.6. Proponer medidas de prevención y mitigación frente al riesgo de exposición a metales y metaloides con alta tasa de concentración en el agua de las microcuencas ganaderas de la provincia de Chachapoyas. ....	29

III.RESULTADOS .....	30
3.1.Recopilación de los datos de parámetros fisicoquímicos, metales y metaloides de los monitoreos en el agua de las microcuencas ganaderas de la provincia de Chachapoyas de los años 2017-2018.....	30
3.2. Concentración y distribución de parámetros fisicoquímicos, metales y metaloides del agua de las principales microcuencas ganaderas, durante las épocas estacionales y por nivel de microcuena .....	30
3.3. Relación entre parámetros fisicoquímicos, metales y metaloides determinados en el agua de las microcuencas ganaderas de la provincia de Chachapoyas .....	37
3.4. Contraste de la concentración de metal y metaloides con normas nacionales internacionales para calidad de agua. ....	38
3.5. Determinar la distribución potencial de metales y metaloides con más alta tasa de concentración de las principales microcuencas ganaderas de la provincia de Chachapoyas.....	40
3.6. Proponer medidas de prevención y mitigación frente al riesgo de exposición a metales y metaloides con alta tasa de concentración en el agua de las microcuencas ganaderas de la provincia de Chachapoyas. ....	41
IV.DISCUSIÓN.....	43
V.CONCLUSIONES .....	51
VI.RECOMENDACIONES .....	53
VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	54
ANEXOS .....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Parámetros fisicoquímicos, metales y metaloides recopilados de Informes de Ensayo LABISAG.....</i>	30
<b>Tabla 2.</b> <i>Concentraciones medias de arsénico (As), cadmio (Cd), plomo (Pb) antimonio (Sb) y hierro (Fe) por microcuenca que superan los valores de referencia de la Organización Mundial de la Salud (OMS).....</i>	38
<b>Tabla 3.</b> <i>Concentraciones medias metales como arsénico (As), cadmio (Cd), plomo (Pb) antimonio (Sb) y hierro (Fe) por microcuenca que superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA).....</i>	39
<b>Tabla 4.</b> <i>Concentraciones medias de arsénico (As), plomo (Pb), cadmio (Cd), aluminio (Al), hierro (Fe) y cobre (Cu) por microcuenca que superan los valores de las directrices de calidad de agua para ganado lechero.....</i>	40

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localización de los distritos de Leymebamba y Molinopampa, provincia de Chachapoyas, Región Amazonas.....	20
<b>Figura 2.</b> Microcuenca Timbambo, distrito de Leymebamba, provincia de Chachapoyas, Región Amazonas.....	21
<b>Figura 3.</b> Microcuenca Cabildo, distrito de Leymebamba, provincia de Chachapoyas, Región Amazonas.....	22
<b>Figura 4.</b> Microcuenca Atuén, distrito de Leymebamba, provincia de Chachapoyas, Región Amazonas.....	23
<b>Figura 5.</b> Microcuenca Pomacochas, distrito de Leymebamba, provincia de Chachapoyas, Región Amazonas.....	24
<b>Figura 6.</b> Microcuenca Ventilla, distrito de Molinopampa, provincia de Chachapoyas, Región Amazonas.....	25
<b>Figura 7.</b> Distribución de los parámetros fisicoquímicos, metales y metaloides en época seca (2017) y época de lluvia (2018) en las principales microcuencas de la provincia de Chachapoyas.....	31
<b>Figura 8.</b> Distribución de potencial de hidrógeno (pH), temperatura (T), turbidez (TRB), oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE) y sólidos disueltos (SD), en la época estacional (EE) lluviosa (H), seca (S) y por microcuenca.....	32
<b>Figura 9.</b> Distribución de las concentraciones de manganeso (Mn), cadmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr) cobre (Cu), níquel (Ni), en época estacional (EE) de lluvia (H), seca (S) y por microcuencas.....	33
<b>Figura 10.</b> Distribución de las concentraciones de plomo (Pb), Bario (Ba), estroncio (Sr), vanadio (V) y plomo (Pb), vanadio (V) y hierro (Fe) en época estacional (EE) de lluvia (H), seca (S) y por microcuencas.....	34
<b>Figura 11.</b> Distribución de las concentraciones de plata (Ag), zinc (Zn), aluminio (Al) y magnesio (Mg), en la época estacional (EE) de lluvia (H), seca (S) y por microcuencas.....	35
<b>Figura 12.</b> Distribución de las concentraciones de sodio (Na), potasio (K) por época estacional (EE) de lluvia (H), seca (S) y por microcuencas.....	36

**Figura 13.** *Distribución de las concentraciones de boro (B), arsénico (As), silicio (Si) y antimonio (Sb) en la época estacional (EE) de lluvia (H), seca (S) y por microcuencas* .....36

**Figura 14.** *Correlación de Spearman de parámetros fisicoquímicos, metales y metaloides* .....37

## RESUMEN

Este estudio muestra la evaluación espacio temporal de 6 parámetros fisicoquímicos, 17 metales y 4 metaloides en 5 microcuencas ganaderas, Timbambo, Cabildo, Atué, Pomacochas y Ventilla de la provincia de Chachapoyas, región Amazonas a partir de muestras colectadas en época seca (octubre del 2017) y época de lluvia (marzo del 2018), analizadas por espectrometría de emisión atómica. También se muestra el contraste de las concentraciones con los límites establecidos por normas internacionales, nacionales y de calidad en producción de vacas lecheras. Se reporta que parámetros como potencial de hidrógeno (pH), sólidos totales disueltos (SDT) y conductividad eléctrica (CE) presentaron mayores valores en época seca, mientras que turbidez (TRB) presentó mayores valores en época de lluvia. Ventilla muestra mayores valores de Cr, Cu, Ni, Mn, Pb, Ag, Al, en época de lluvia y de Cu, Ni, Pb, Al, Na, en época seca, siendo la microcuenca con mayor concentración de metales. Metaloides como B presentaron mayores concentraciones en época de lluvia en Cabildo y As para la época seca en Ventilla. Las correlaciones entre parámetros fisicoquímicos, metales y metaloides evaluados en ambas épocas mostró correlaciones positivas perfecta entre CE y SDT, correlación positiva fuerte entre Sb y Ag y una correlación positiva considerable entre Ag y Fe. Del contraste con las normas, As, Cd, Pb y Fe no cumplen con la Organización Mundial de la Salud; As y Pb superan el ECA y As, Pb, Cd y Al superan las directrices para la producción de vacas lecheras. Se hace imperante el establecimiento de actividades de ganadería sustentable como medidas de prevención y medidas de mitigación con el uso de métodos de biorremediación.

**Palabras Claves:** ganadería, microcuenca, metales, metaloides, parámetros fisicoquímicos, normas.

## ABSTRACT

This study shows the spatiotemporal evaluation of 6 physicochemical parameters, 17 metals and 4 metalloids in 5 livestock micro-watersheds, Timbambo, Cabildo, Atuén, Pomacochas and Ventilla in the province of Chachapoyas, Amazonas region from samples collected in dry season (October 2017) and rainy season (March 2018), analyzed by atomic emission spectrometry. It also shows the contrast of the concentrations with the limits established by international, national and quality standards in dairy cow production. It is reported that parameters such as hydrogen potential (pH), total dissolved solids (TDS) and electrical conductivity (EC) presented higher values in the dry season, while turbidity (TRB) presented higher values in the rainy season. Ventilla shows higher values of Cr, Cu, Ni, Mn, Pb, Ag, Al, in the rainy season and of Cu, Ni, Pb, Al, Na, in the dry season, being the microbasin with the highest concentration of metals. Metalloids such as B presented higher concentrations during the rainy season in Cabildo and As during the dry season in Ventilla. The correlations between physicochemical parameters, metals and metalloids evaluated in both seasons showed perfect positive correlations between EC and SDT, a strong positive correlation between Sb and Ag and a considerable positive correlation between Ag and Fe. From the contrast with the standards, As, Cd, Pb and Fe do not comply with the World Health Organization; As and Pb exceed the ECA and As, Pb, Cd and Al exceed the guidelines for dairy cow production. It is imperative to establish sustainable livestock farming activities as prevention measures and mitigation measures with the use of bioremediation methods.

**Key words:** livestock, microbasin, metals, metalloids, physicochemical parameters, standards.



## I. INTRODUCCIÓN

La disponibilidad del agua dulce de calidad a nivel mundial es uno de los temas medioambientales más críticos del siglo XXI (Hanipha & Hussain, 2013). Actividades antrópicas como la industria, agricultura, ganadería, minería y procesos de urbanización introducen en los cuerpos hídricos contaminantes como metales, agroquímicos y diversos elementos farmacéuticos (Mitra et al., 2018), la contaminación química del agua por estos elementos ha venido causando diversos problemas sanitarios a nivel mundial (Organización Mundial de la Salud, 2019), que se han intensificado desde 1940 (Merian, 1984). En las microcuencas ganaderas el agua es indispensable para los sistemas de crianza (Raisbeck, 2020), sin embargo la intensificación de aplicaciones agrícolas, médicas, domésticas, industriales y tecnológicas pone en riesgo su calidad (Ali et al., 2016). Hay que destacar que la contaminación por metales tóxicos como cadmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), plomo (Pb), hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), níquel (Ni), manganeso (Mn), son de preocupación por los riesgos asociados a la salud humana y los ecosistemas acuáticos (Marrugo-Negrete et al., 2017). La concentración de estos elementos por encima de los umbrales establecidos presentan un riesgo debido a que contaminan las cadenas alimenticias y causan diferentes problemas de salud (Ali et al., 2019), como problemas cancerígenos, teratogénicos y mutagénicos (Zhao et al., 2020). La exposición de los seres humanos a estos elementos a nivel de trazas puede ocurrir por la ingesta directa, inhalación y absorción dérmica, vías que están relacionadas con el uso del agua (Giri & Singh, 2014).

En el contexto actual de contaminación diversas investigaciones se han desarrollado en Latinoamérica, tal es el caso de la cuenca la Plata que abarca países como Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay, donde se determinó la concentración de 19 elementos, encontrando múltiples relaciones entre arsénico (As), litio (Li), cesio (Cs), con la montaña de los Andes (Avigliano et al., 2019). Por otro lado, en Colombia en el río Suratá se encontró concentraciones elevadas de As (Marrugo-Negrete et al., 2017). En Costa Rica, en Cartago zona caracterizada por la agricultura, ganadería y suelos de origen volcánico, se determinó la calidad del agua del río Birris, encontrándose al cobre (Cu) que supera los límites establecidos en el reglamento para la Evaluación y Clasificación de Cuerpos de Aguas Superficiales de Costa Rica, así como la presencia de arsénico (As), cromo (Cr) y níquel (Ni), en un 13,6 % de las muestras analizadas de agua (Izzaty et al., 2021); en Ecuador en la cuenca del río Carrizal caracterizado por su actividad

agropecuaria se encontró concentraciones de arsénico (As) de hasta 35,64 mg/L, concluyendo que este nivel de concentración se debe a aportes de origen antrópico (Aveiga et al., 2020).

El monitoreo de los cuerpos hídricos en Perú, en especial en cuencas con actividad ganadera, reportan investigaciones desarrolladas en la región Arequipa, en el río Tambo, donde se encontró que la concentración de arsénico (As) y boro (B) superaron el estándar de calidad ambiental para aguas (ECA) (Lopez Arisaca, 2018). En el río Llaucano, Región Cajamarca, en 5 puntos de muestreo, se encontró que el As y Cd en las aguas del río superaron los valores establecidos en el ECA categoría 3 (Ruiz Cruzado, 2019). Un estudio parecido se desarrolló en el río Coata, Puno, donde se describe la contaminación por metales pesados en dos épocas del año y cinco estaciones de muestro, encontrándose que las concentraciones de plomo (Pb) y cadmio (Cd) están por debajo de los límites establecidos en los estándares de calidad ambiental, mientras que cromo (Cr) supera la normativa nacional (Quispe et al., 2019). En Oxapampa, Pasco, se determinó la presencia y concentración de metales pesados en el agua de hatos lecheros, encontrándose las concentraciones de plomo (Pb) por encima de la normativa internacional y nacional (Bernal, 2019).

Sobre la base de lo mencionado, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la variación espacio temporal de metales y metaloides en el agua de las principales microcuencas ganaderas de la provincia de Chachapoyas, en los años 2017-2018, Amazonas, Perú. Para ello se tuvo en cuenta el cumplimiento de seis objetivos específicos: 1) Recopilar los datos de metales y metaloides de los monitoreos en el agua de las microcuencas ganaderas de la provincia de Chachapoyas de los años 2017-2018. 2) Analizar la concentración y distribución de metales y metaloides del agua de las principales microcuencas ganaderas, durante las épocas estacionales y por microcuenca. 3) Determinar la relación entre metales, metaloides y parámetros fisicoquímicos, determinados en el agua de las microcuencas ganaderas de la provincia de Chachapoyas. 4) Contrastar la concentración de metal y metaloides con normas internacionales y nacionales para calidad de agua. 5) Determinar la distribución potencial de metales y metaloides con más alta tasa de concentración de las principales microcuencas ganaderas de la provincia de Chachapoyas. 6) Proponer medidas de prevención y mitigación frente al riesgo de exposición a metales y metaloides con alta tasa de concentración en el agua de las microcuencas ganaderas de la provincia de Chachapoyas.

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Materiales, equipos y software

Se utilizó los informes de ensayos en formato virtual y físico del análisis de aguas de las microcuencas Ventilla, Pomacochas, Atué, Cabildo y Timbambo, almacenadas en los archivos del Laboratorio de Investigación en Suelos y Aguas (LABISAG) del Instituto de Investigación para el Desarrollo de Ceja de Selva (INDES-CES) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM-A). De los informes de ensayo se seleccionó aquellos datos relacionados con las concentraciones de parámetros fisicoquímicos *in situ*, metales y metaloides para aquellas microcuencas que presentan monitoreos y datos completos del 2017 y 2018. Para organizarlos, se usó el Software Microsoft Office 2016 a través del uso del programa Excel®, posteriormente se desarrolló los análisis estadísticos en el software estadístico R versión 4.1.0 (R Core Team, 2021). La elaboración gráfica de los elementos que sobrepasan los estándares de calidad de la Organización Mundial de la Salud y ganado lechero se desarrolló con el uso de la plataforma del software ArcGIS 10.8.

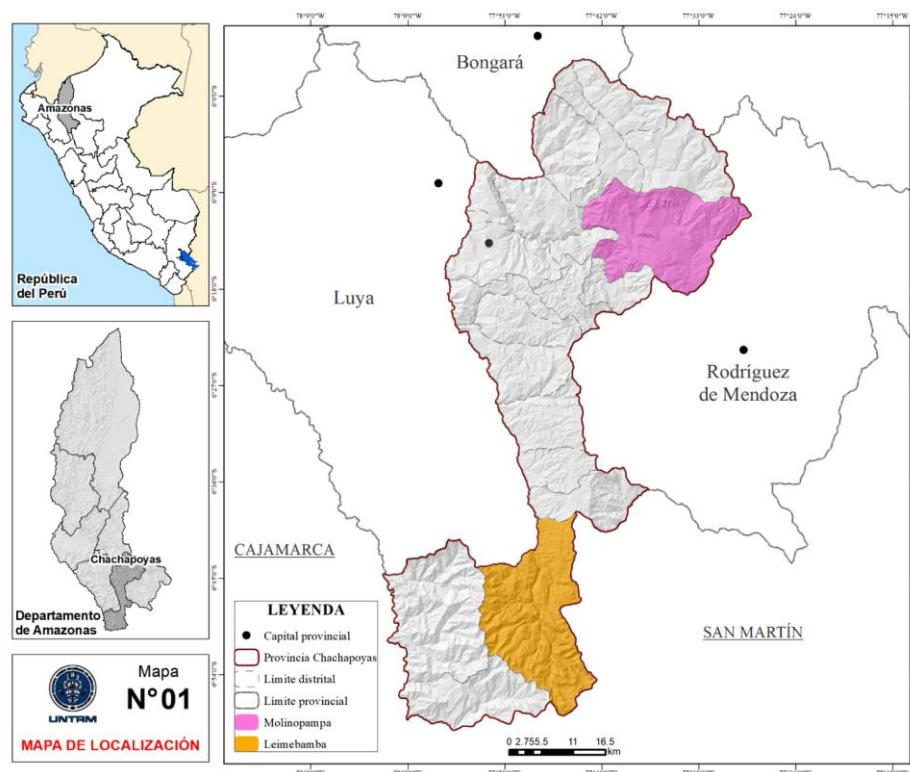
### 2.2. Metodología

#### 2.2.1. Área de estudio

La provincia de Chachapoyas es una de las siete provincias de la región de Amazonas. La región Amazonas cuenta con 157 166 cabezas de ganado vacuno, la provincia de Chachapoyas presenta 38 807 y dentro de los distritos con mayor producción se reportan al distrito de Leymebamba con 6 831 y el distrito de Molinopampa con 7 921 cabezas de ganado (INEI, 2012). La actividad ganadera, es una de las de mayor importancia económica dentro de la región y de la provincia de Chachapoyas. Para el presente estudio se realizó la delimitación en base a cuencas hidrográficas en referencia al distrito de Molinopampa y Leymebamba (Figura 1).

**Figura 1**

*Localización de los distritos de Leymebamba y Molinopampa, provincia de Chachapoyas, Región Amazonas*



### **Delimitación de Microcuencas y establecimiento de puntos de muestreo**

Los datos de delimitación de microcuencas y establecimiento de puntos de muestreo se realizaron en base a la metodología Freshwater Ecology and Management para la evaluación del estado ecológico en ríos (Prat et al., 2012) donde se tuvo en cuenta criterios como la selección de puntos de muestreo en el cauce principal del río, así como la separación de cada punto de muestreo por 1 km, teniendo en cuenta la accesibilidad y representatividad.

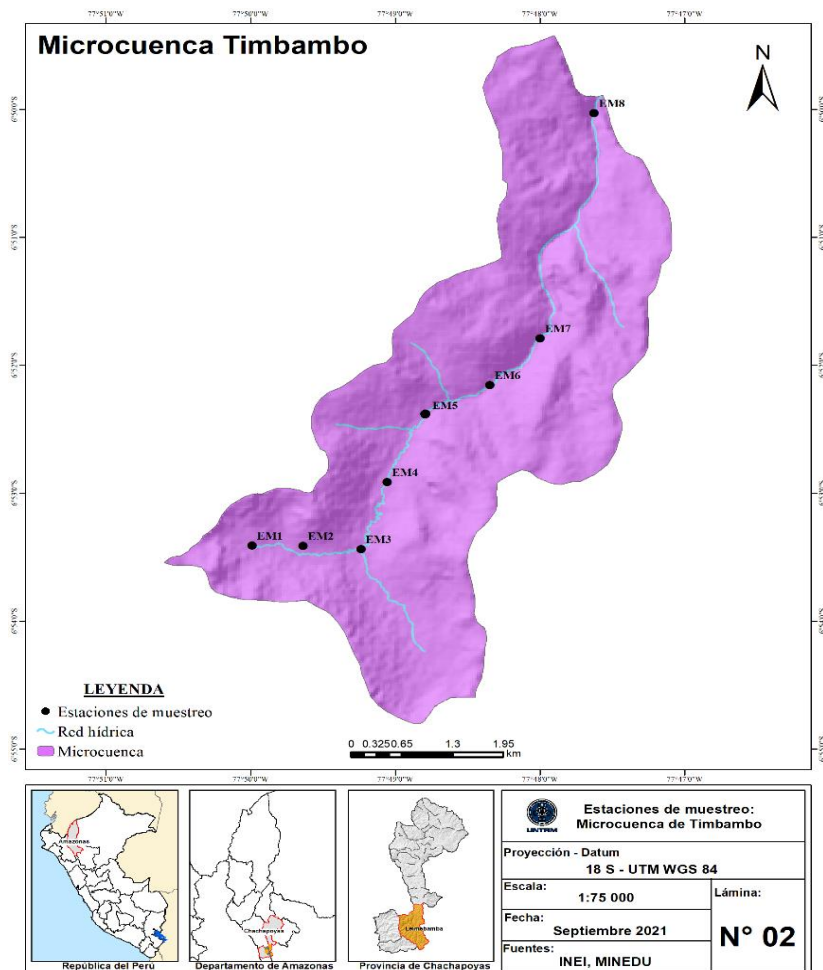
Todos los datos se obtuvieron de los informes técnicos del proyecto “Determinación del impacto de la actividad ganadera sobre la calidad del agua y establecimiento de medidas de prevención y mitigación ante la contaminación en las principales microcuencas de la región Amazonas”, CONTRATO N°:027-INIA-PNIA/UPMSI/IE (Corroto de la Fuente, 2017). Las microcuencas correspondientes al distrito de Leymebamba son: Timbambo, Atuén, Pomacochas y Cabildo, mientras que para Molinopampa se evaluó la microcuenca Ventilla.

## Timbambo

Los principales parámetros hidrológicos y morfométricos muestran un área de cuenca de 23,96 km, un perímetro de 28,30 km, un ancho máximo de 2,92 km, una longitud de 9,97 km, un coeficiente de compacidad (Kc) de 1,63. En relación con sus parámetros de drenaje tuvieron como pendiente media 8,46 %, la cota máxima de su cauce de 3 849 m.s.n.m., la cota mínima de 3 022 m.s.n.m. y una longitud de cauce principal de 9,78 km. Se establecieron 8 puntos de muestreos a lo largo del cauce principal de la microcuenca (Figura 2).

### Figura 2

*Microcuenca Timbambo, distrito de Leymebamba, provincia de Chachapoyas, Región Amazonas*

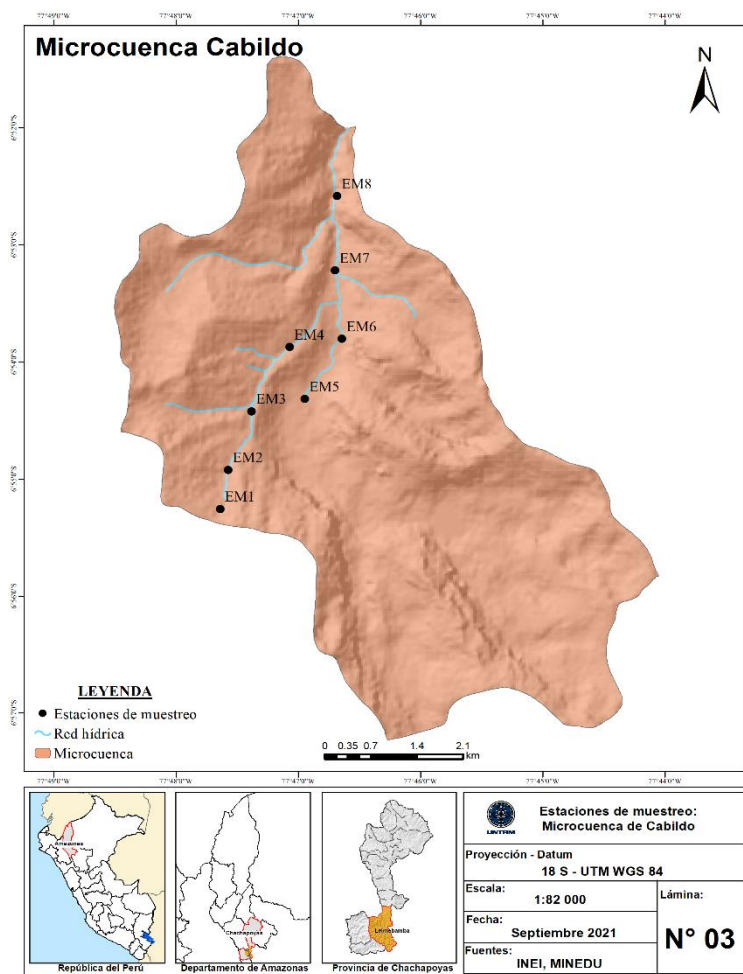


## Cabildo

Los principales parámetros hidrológicos y morfométricos muestran un área de cuenca de 42,97 km, un perímetro de 32,75 km, un ancho máximo de 7,05 km, una longitud de 10,09 km, un coeficiente de compacidad ( $K_c$ ) de 1,41. En relación con sus parámetros de drenaje tuvieron como pendiente media 5,87 %, la cota máxima de su cauce de 3 854 m.s.n.m., la cota mínima de 3 218 m.s.n.m. y una longitud de cauce principal de 10,84 km. Se establecieron 8 puntos de muestreo a lo largo del cauce principal de la microcuenca (Figura 3).

### Figura 3

*Microcuenca Cabildo, distrito de Leymebamba, provincia de Chachapoyas, Región Amazonas*

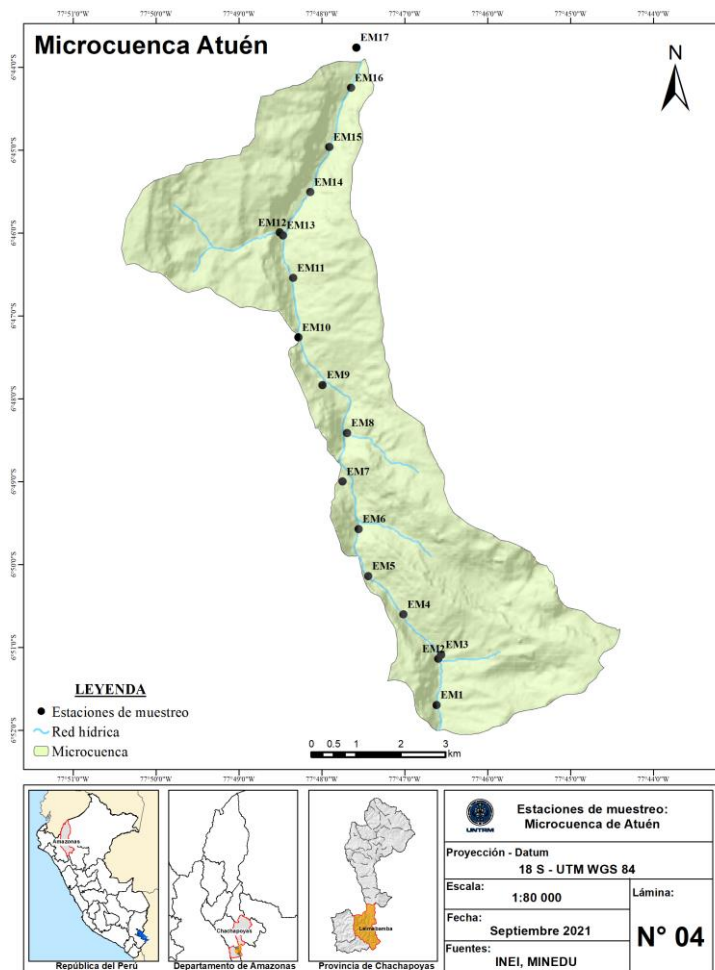


## Atuén

Los principales parámetros hidrológicos y morfométricos muestran un área de cuenca de 48,58 km, un perímetro de 44,57 km, un ancho máximo de 7,91 km, una longitud de 15,00 km, un coeficiente de compacidad ( $K_c$ ) de 1,80. En relación con sus parámetros de drenaje se tuvieron como pendiente media 4,73 %, la cota máxima de su cauce de 3 225 m.s.n.m., la cota mínima de 2 424 m.s.n.m. y una longitud de cauce principal de 16,94 km. Se establecieron 17 puntos de muestreo a lo largo del cauce principal de la microcuenca (Figura 4).

### Figura 4

*Microcuenca Atuén, distrito de Leymebamba, provincia de Chachapoyas, Región Amazonas*

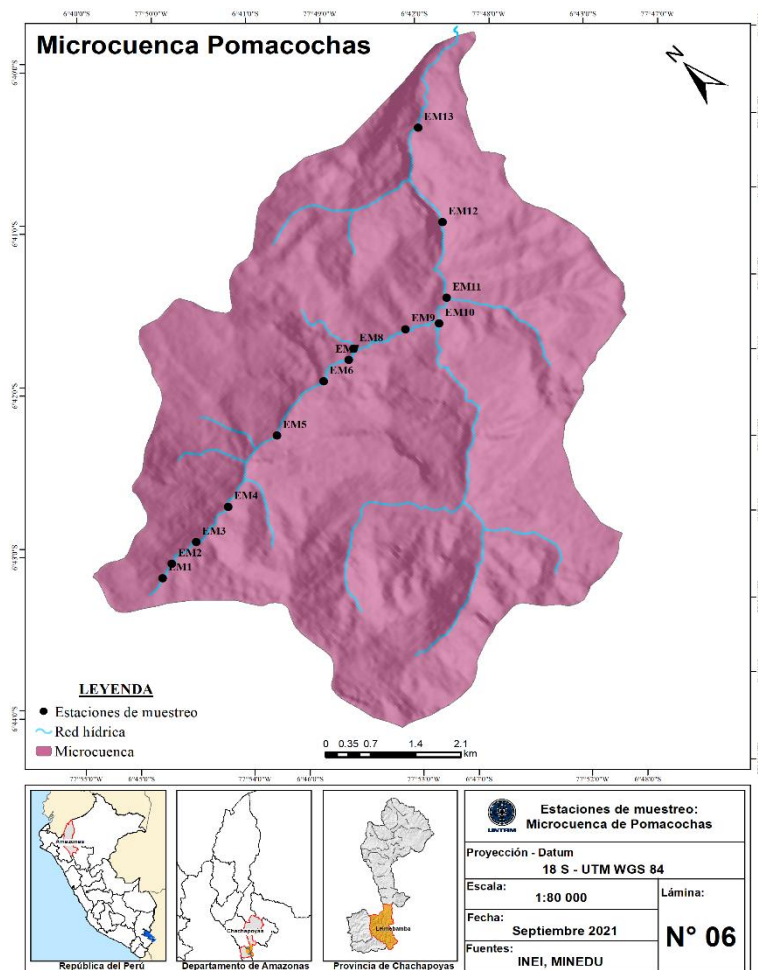


## Pomacochas

Los principales parámetros hidrológicos y morfométricos muestran un área de cuenca de 52,03 km, un perímetro de 34,16 km, un ancho máximo de 8,16 km, una longitud de 10,96 km, un coeficiente de compacidad ( $K_c$ ) de 1,34. En relación con sus parámetros de drenaje se tuvieron como pendiente media 11,37 %, la cota máxima de su cauce de 3 551 m.s.n.m., la cota mínima de 2204 m.s.n.m. y una longitud de cauce principal de 11,85 km. Se establecieron 13 punto de muestreo a lo largo del cauce principal de la microcuenca (Figura 5).

### Figura 5

*Microcuenca Pomacochas, distrito de Leymebamba, provincia de Chachapoyas, Región Amazonas*



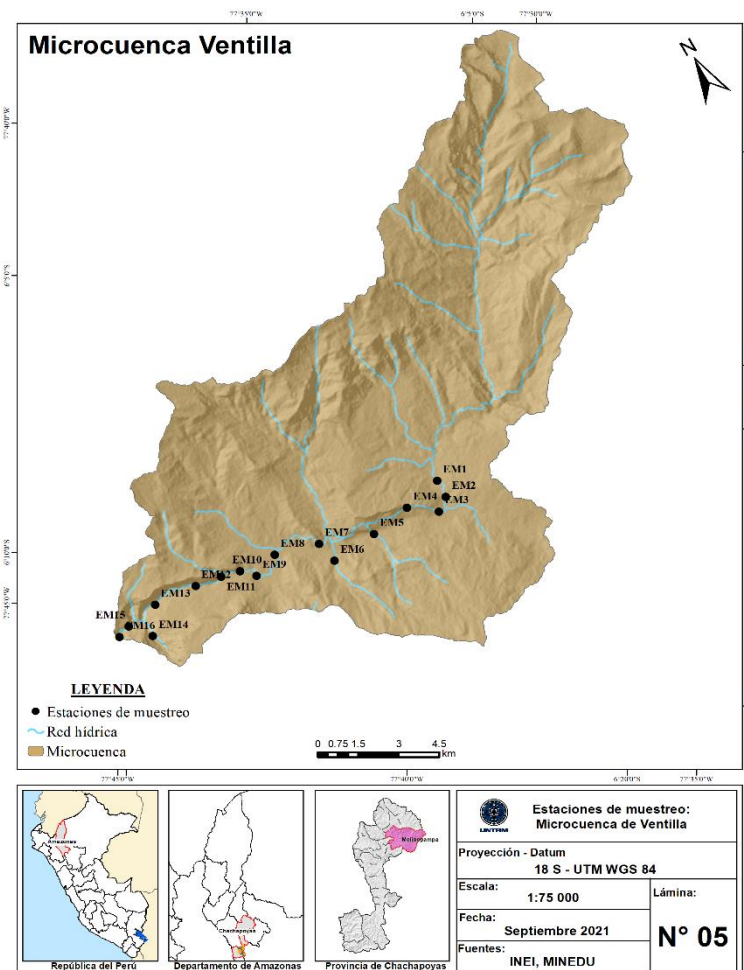


## Ventilla

Los principales parámetros hidrológicos y morfométricos muestran un área de cuenca de 221,85 km, un perímetro de 81,17 km, un ancho máximo de 27,50 km, una longitud de 15,50 km, un coeficiente de compacidad ( $K_c$ ) de 1,54. En relación con sus parámetros de drenaje se tuvieron como pendiente media 1,39 %, la cota máxima de su cauce de 3 596 m.s.n.m., la cota mínima de 2 018 m.s.n.m. y una longitud de cauce principal de 113,8 km. Se establecieron 16 puntos de muestreo en el cauce principal de la microcuenca, zona baja (Figura 6).

### Figura 6

*Microcuenca Ventilla, distrito de Molinopampa, provincia de Chachapoyas, Región Amazonas*



### **Determinación de parámetros fisicoquímicos y colecta de muestras**

La determinación de parámetros fisicoquímicos y la colecta de muestras se desarrolló de acuerdo al protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos (Autoridad Nacional del Agua, 2016), teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- La determinación de los parámetros fisicoquímicos *in-situ* como pH, Temperatura (T°), Turbidez (TRB), Oxígeno Disuelto (OD), Conductividad, Eléctrica (CE) y Sólidos Disueltos (SD), se desarrollaron con el uso de equipos multiparámetros, recogiendo los datos directamente del flujo de agua del río para cada estación de muestreo.
- La colecta de muestras para la determinación de metales y metaloides se realizó en recipientes de polietileno de 100 ml que fueron tratados con una solución de ácido nítrico al 10% 1M durante 30 minutos y enjuagando con agua destilada o desionizada.
- Para la colecta de la muestra se debe ubicar en el punto medio de la corriente principal, donde la corriente sea homogénea, evitando aguas estancadas y poco profundas.
- Antes de colectarse las muestras los frascos deben ser enjuagados como mínimo dos veces.
- Coger la botella por debajo del cuello y sumergirla en dirección opuesta al flujo de agua.
- Se considera un espacio alrededor de 1% aproximadamente de la capacidad del envase para aquellos parámetros que requieren preservación.
- Las muestras colectadas fueron acidificadas a pH=1-2 con HNO<sub>3</sub>.

#### **2.2.2. Diseño metodológico**

El estudio fue de carácter no experimental, siendo retrospectivo correlacional, debido a que se analizaron resultados obtenidos entre los años 2017 y 2018, en búsqueda de correlacionar las variables independientes (VI) denotadas por la época estacional (lluvia-seca), microcuencas y variables dependientes (VD) que están definidas por la concentración de parámetros fisicoquímicos metales y metaloides en el agua de las microcuencas.

### **2.2.3. Recopilación de datos de parámetros fisicoquímicos, metales y metaloides de los monitoreos en el agua de las microcuencas ganaderas de la provincia de Chachapoyas de los años 2017 y 2018.**

Los datos fueron recopilados de los informes oficiales de ensayo del 2017 y 2018 del LABISAG del INDES-CES de la UNTRM-A. Para tener acceso a la información generada se gestionó los permisos correspondientes para el uso de la información que constó de autorización y consentimiento firmada por el coordinador General del Proyecto y el Responsable del LABISAG. Para la selección de reportes se usó la técnica de muestreo no probabilístico de carácter intencional que permitió seleccionar aquellos reportes que presenten datos de la determinación de la concentración de metales, metaloides, parámetros fisicoquímicos y ubicación geográfica de las microcuencas ganaderas de la provincia de Chachapoyas. Se recopilaron organizaron datos de concentración de parámetros fisicoquímicos, metales y metaloides determinados mediante Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA & WEF, 2017).

### **2.2.4. Análisis de datos**

El tratamiento estadístico de los datos se desarrolló a un nivel de significancia de  $P < 0,05$ , con el uso del software R versión 4.1.0. (R Core Team, 2021). Para la aplicación de cada una de las pruebas estadísticas se tuvo en cuenta la determinación de los supuestos de normalidad con la aplicación del test de Shapiro-Wilks y homogeneidad de varianzas con la aplicación del test de Bartlett.

#### **Análisis de la concentración y distribución de metales y metaloides de las principales microcuencas ganaderas**

La evaluación de la concentración y distribución a nivel de época estacional se desarrolló en base a la aplicación del Análisis de Componentes Principales (ACP) que permitió la generación de gráficos, y así identificar la existencia de variaciones temporales de los parámetros evaluados. Posteriormente, se aplicó un análisis de Varianza (ANOVA), para determinar si existen diferencias a nivel

de medias de concentración de parámetros fisicoquímicos, metales y metaloides por microcuenca y época cuya representación gráfica se desarrolló en box plots.

#### **Relación entre los parámetros evaluados de las microcuencas ganaderas**

Se calculó el coeficiente de correlación de orden de rango de Spearman, para determinar la asociación entre los parámetros evaluados en todas las microcuencas. Para determinar el grado de correlación, se tuvo en cuenta la siguiente escala de significancia cuyos valores de  $\pm 0,51$  a  $\pm 0,75$  muestran una correlación moderada, de  $\pm 0,76$  a  $\pm 0,90$  una correlación muy fuerte y  $\pm 0,91$  a  $\pm 1,00$  una correlación perfecta (Martínez Ortega et al., 2009).

#### **Contraste de la concentración de metales y metaloides con normas nacionales internacionales para calidad de agua.**

Se consultaron normas internacionales como la Guía para la calidad del agua establecido por la Organización Mundial de la Salud (2011). A nivel nacional se consultaron los Estándares de Calidad Ambiental para Aguas (ECA-Agua) establecido por Ministerio del Ambiente mediante el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM (MINAM, 2017). A su vez se desarrolló un contraste con las directrices de calidad de agua para vacas lecheras, elaborada por Schroeder (2015). El contraste se desarrolló a partir de comparaciones lógicas con el uso el Software de hojas de cálculo Microsoft Excel®, con las funciones Y, O y NO, lo que permitió realizar una comparación lógica entre los valores de referencia de las normas y la concentración de parámetros fisicoquímicos, metales y metaloides evaluados en las microcuencas.

#### **2.2.5. Representación gráfica de metales y metaloides con más alta tasa de concentración de las principales microcuencas ganaderas de la provincia de Chachapoyas en los años 2017 y 2018**

Usando el contraste con las normativas mencionadas anteriormente, se elaboraron mapas, usando el software ArcGIS 10.8, en concreto la herramienta Spatial Análisis Tools, de las concentraciones más elevadas de los metales y metaloides evaluados en los años 2017 (época seca) y 2018 (época de lluvia),

para así expresar de manera gráfica, dinámica y resumida las concentraciones encontradas (Anexo 1-5).

**2.2.6. Proponer medidas de prevención y mitigación frente al riesgo de exposición a metales y metaloides con alta tasa de concentración en el agua de las microcuencas ganaderas de la provincia de Chachapoyas.**

Se desarrolló una revisión bibliográfica de base de datos como ScienceDirect, PubMed, Google Académico con el objetivo de recopilar las principales investigaciones desarrolladas para prevenir y mitigar la contaminación por metales y metaloides en las fuentes de agua.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Recopilación de los datos de parámetros fisicoquímicos, metales y metaloides de los monitoreos en el agua de las microcuencas ganaderas de la provincia de Chachapoyas de los años 2017-2018.

Se recopilaron los datos de concentración de 6 parámetros fisicoquímicos, 20 metales y 2 metaloides (Tabla 2) de los informes de ensayo del laboratorio de investigación de suelos y aguas (LABISAG) que fueron organizados según la clasificación nomenclatura de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC , 2005) en una tabla general de datos (Anexo 9).

**Tabla 1**

*Parámetros fisicoquímicos, metales y metaloides recopilados de Informes de Ensayo LABISAG*

Parámetros Fisicoquímicos	Metales	Metaloides	
pH	Cadmio (Cd)	Manganeso (Mn)	Arsénico (As)
Temperatura (T°)	Cobalto (Co)	Hierro (Fe)	Antimonio (Sb)
Turbidez (TRB)	Cromo (Cr)	Plata (Ag)	Boro (B)
Oxígeno Disuelto (OD)	Cobre (Cu)	Vanadio (V)	Silicio (Si)
Conductividad Eléctrica (CE)	Níquel (Ni)	Aluminio (Al)	
Sólidos Disueltos (SD)	Plomo (Pb)	Sodio (Na)	
	Zinc (Zn)	Potasio (K)	
	Magnesio (Mg)	Estroncio (Sr)	
		Bario (Ba)	

#### 3.2. Concentración y distribución de parámetros fisicoquímicos, metales y metaloides del agua de las principales microcuencas ganaderas, durante las épocas estacionales y por nivel de microcuenca

##### Concentración y distribución por época estacional

Tras aplicar el análisis de componentes principales (ACP), se comprobó que las dos primeras componentes principales explican el 33.01 % de varianza acumulada (Figura 7), mostrando que el agrupamiento de metales como níquel (Ni), plata (Ag), cromo



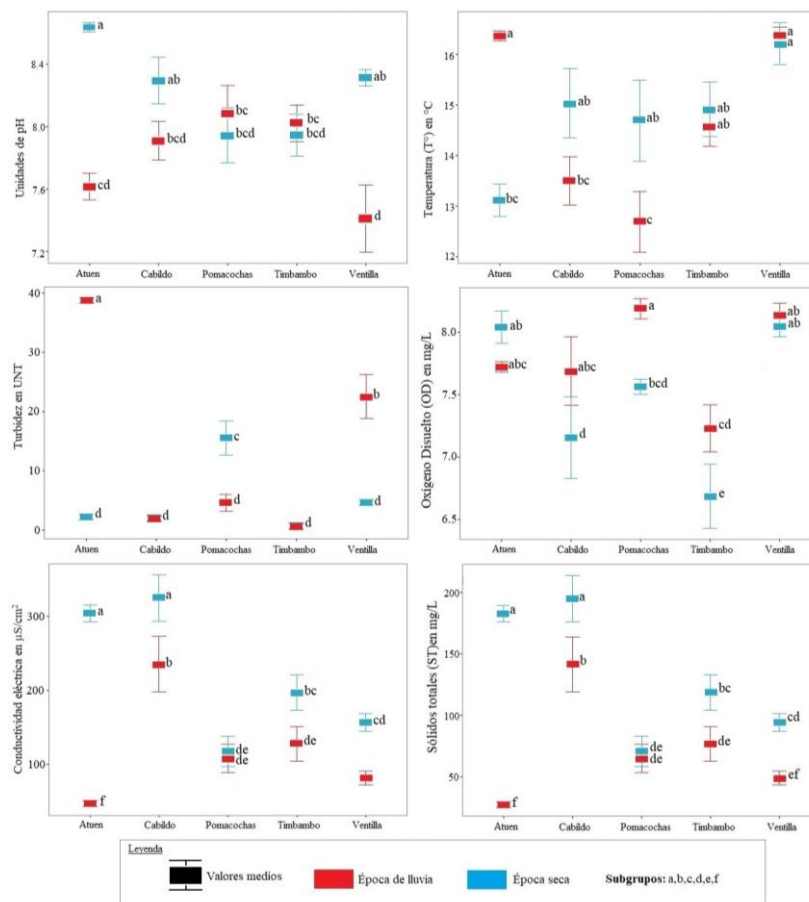
media de concentración a nivel de época estacional lluviosa (H) y seca (S), así como por microcuenca.

### Parámetros fisicoquímicos

Los gráficos muestran las concentraciones de parámetros fisicoquímicos por microcuenca, época seca (S) y época de lluvia (H), las medias representadas que no comparten una letra se denotan como significativamente diferentes.

**Figura 8**

*Distribución de potencial de hidrógeno (pH), temperatura (T), turbidez (TRB), oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE) y sólidos disueltos (SD), en la época estacional (EE) de lluvia (H), seca (S) y por microcuenca*



En época seca se muestra los mayores valores de potencial de hidrogeno (pH) en Atuén (a), de turbidez (TRB) en Pomacochas (c), oxígeno disuelto (OD) en Ventilla y Atuén (ab). Mientras que en época de lluvia el mayor valor para pH se encuentra en Pomacochas y Timbambo (bc), de temperatura (T) en Ventilla y Atuén (a), de TRB en Atuén (a), de OD en Pomacochas (a). Por otro lado, se muestra que, tanto en la



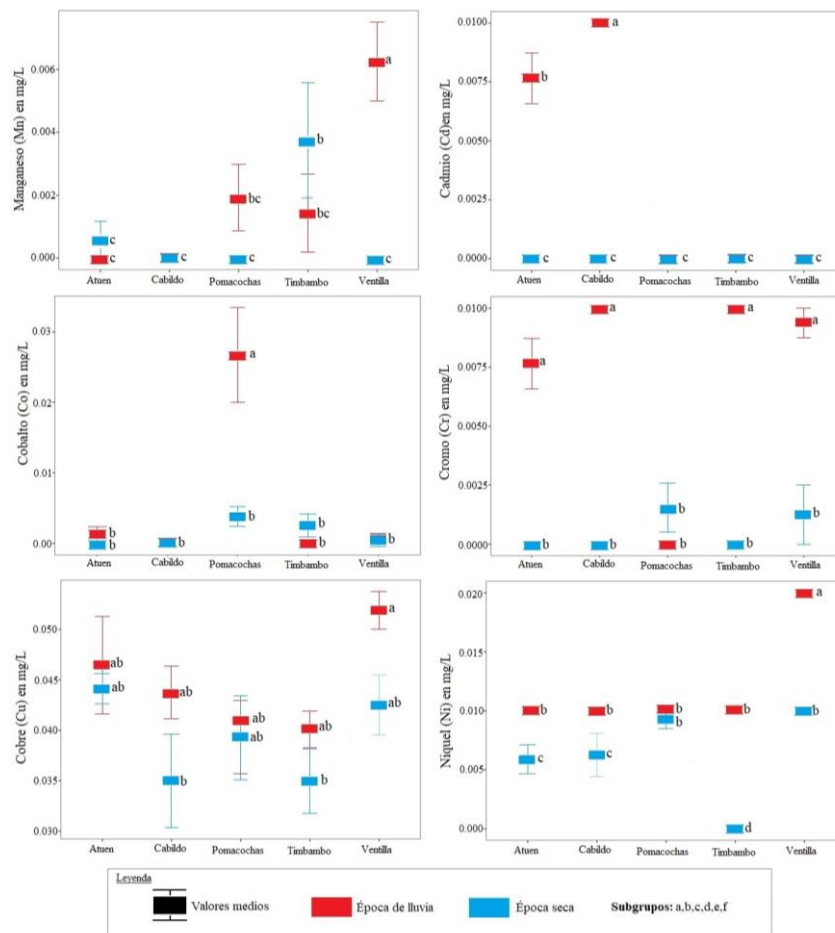
época de lluvia como seca SD y CE, los mayores valores se encuentran en Cabildo (b).

## Metales

Los gráficos muestran las concentraciones de metales por microcuencia, época seca (S) y época de lluvia (H), las medias representadas que no comparten una letra se denotan como significativamente diferentes.

**Figura 9**

*Distribución de las concentraciones de manganeso (Mn), cadmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr) cobre (Cu), níquel (Ni), en época estacional (EE) de lluvia (H), seca (S) y por microcuencas.*

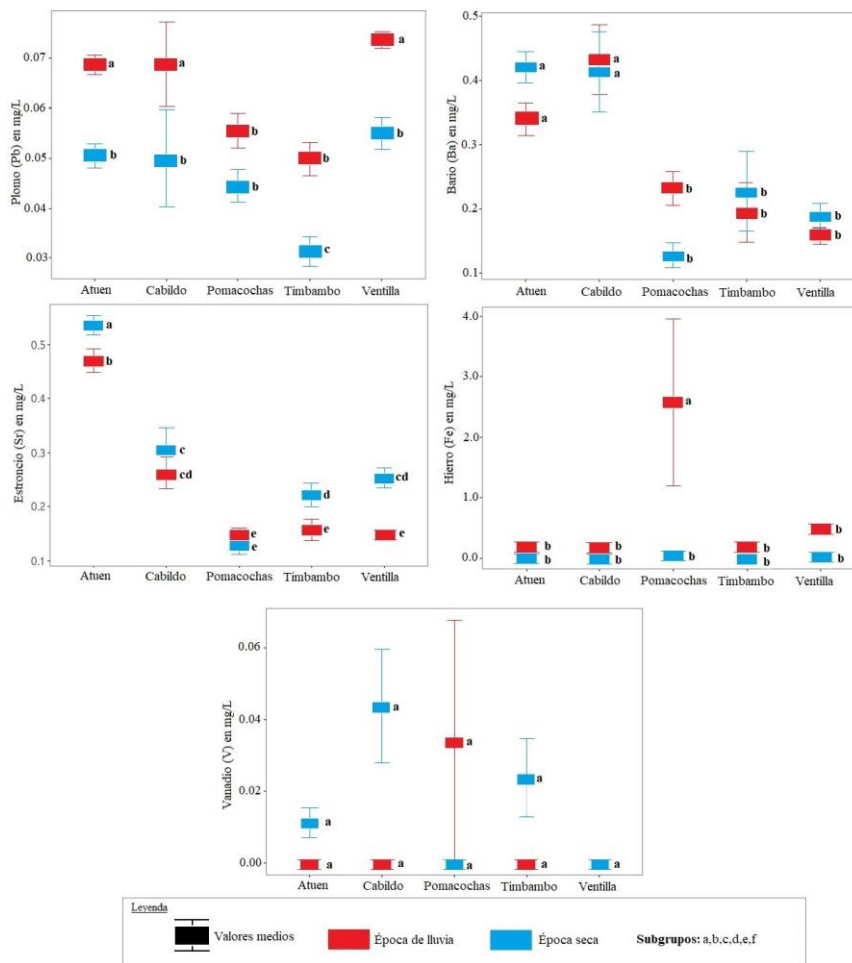


En época seca (S) se muestra los mayores valores de manganeso (Mn) en Timbambo (b), de cobre (Cu) en Atuén Pomacochas y Ventilla (ab), de níquel (Ni) en Pomacochas y Ventilla (b). No se reportan concentraciones de cadmio (Cd), cobalto (Co) y cromo (Cr) significativas. Por otro lado, en época de lluvia (H) lo mayores

valores de Mn se presentan en Ventilla (a), en Cabildo (a) para Cd, en Pomacochas (a) para Co, en Atuen, Ventilla, Cabildo y Timbambo (a) con los mayores picos para Cr, en Ventilla (a) para Cu y Ni.

**Figura 10**

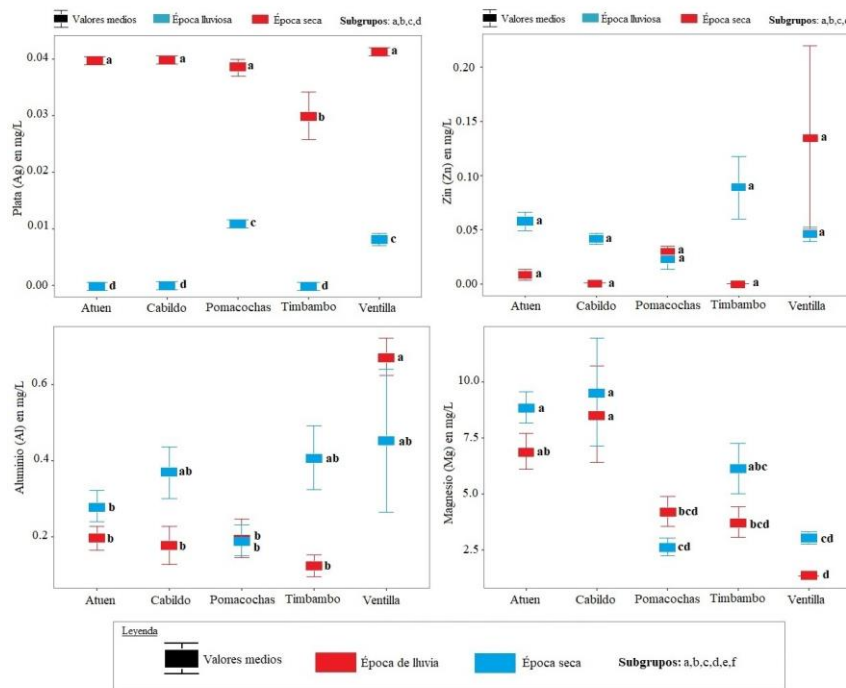
*Distribución de las concentraciones de plomo (Pb), Bario (Ba), estroncio (Sr), vanadio (V) y plomo (Pb), vanadio (V) y hierro (Fe) en época estacional (EE) de lluvia (H), seca (S) y por microcuencas*



En época seca (S) se muestra los mayores valores de plomo (Pb) en Ventilla, Atuén, Cabildo y Pomacochas (a), de bario (Ba) en Atuén y Cabildo (a), de estroncio (Sr) en Atuén (a). Por otro lado, en época de lluvia (H) lo mayores valores de Pb se presentan en Atuen, Cabildo y Ventilla (a), Ba en Cabildo y Atuén (a), Sr en Atuén (b), hierro (Fe) en Pomacochas (a), mientras que vanadio (V) no muestra variaciones significativas en ambas épocas y Se no presentan valores de concentración significativas en época de lluvia.

**Figura 11**

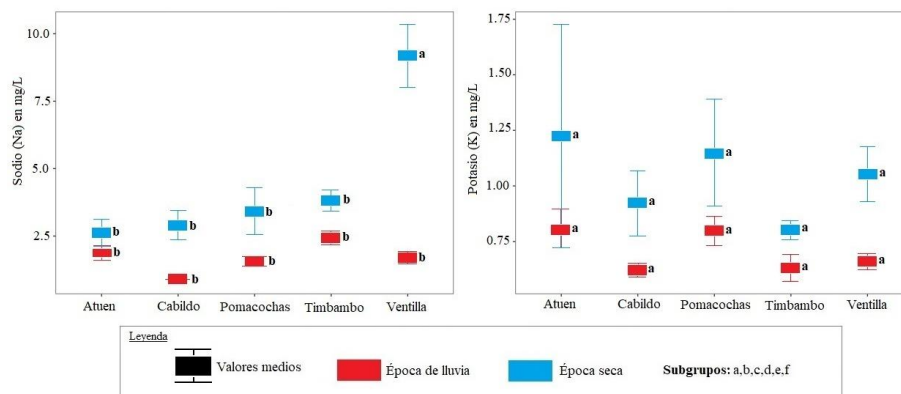
*Distribución de las concentraciones de plata (Ag), zinc (Zn), aluminio (Al) y magnesio (Mg), en la época estacional (EE) de lluvia (H), seca (S) y por microcuencas*



En época seca (S) se muestra los mayores valores de plata (Ag) en Pomacochas y Ventilla (c), de magnesio (Mg) en Atuén y Cabildo (a), de aluminio (Al) en Cabildo, Timbambo y Ventilla (ab). Por otro lado, en época de lluvia (H) lo mayores valores Al se reportan en Ventilla (a), de Ag en Atuén, Cabildo, Pomacochas, Ventilla (a) y de Mg en Cabildo (a), Zn no se muestran significativo.

**Figura 12**

*Distribución de las concentraciones de sodio (Na), potasio (K) por época estacional (EE) de lluvia (H), seca (S) y por microcuencas.*



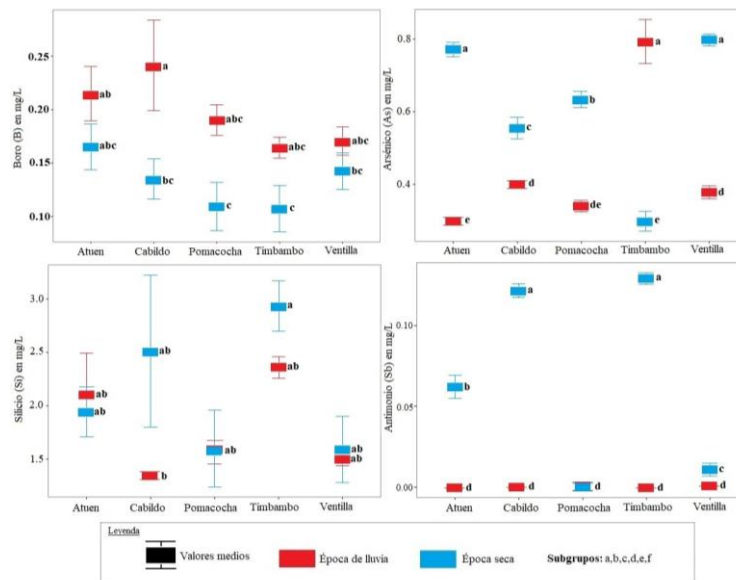
En época seca las concentraciones de sodio (Na) muestran el mayor valor en Ventilla (a) y K no presenta variaciones significativas. En época de lluvia tanto Na como potasio (K) no presentan variaciones significativas

### Metales

Los gráficos muestran las concentraciones de metales por microcuenca, época seca (S) y época de lluvia (H), las medias representadas que no comparten una letra se denotan como significativamente diferentes.

**Figura 13**

*Distribución de las concentraciones de boro (B), arsénico (As), silicio (Si) y antimonio (Sb) en la época estacional (EE) de lluvia (H), seca (S) y por microcuencas*



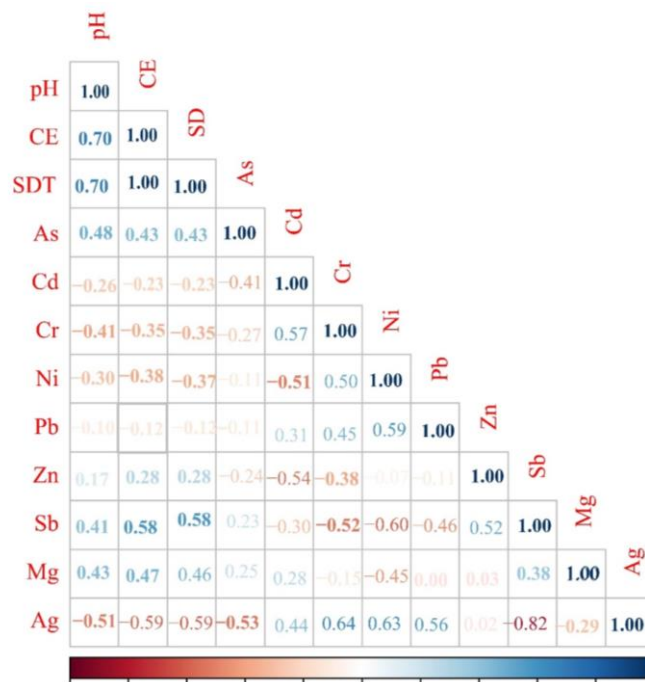
Se muestra una mayor concentración de boro (B) para la época de lluvia en Cabildo y en época seca en Atuen, arsénico (As) en Atuen y Ventilla (a). Por otro lado, las concentraciones de silicio (Si) muestran valores significativos en época de lluvia en Pomacochas, Atuen, Ventilla y Tinbambo, mientras que en época seca el mayor valor se reporta en Tinbambo, los mayores valores se reportan en Tinbambo (a) para As. Antimonio no presenta variaciones significativas en ningunas de las dos épocas estacionales.

### 3.3. Relación entre parámetros fisicoquímicos, metales y metaloides determinados en el agua de las microcuencas ganaderas de la provincia de Chachapoyas

Se correlacionó los parámetros fisicoquímicos, metales y metaloides (Figura 14) a través de la prueba de correlación de Spearman (Anexo 10) teniendo en consideración los valores extremos encontrados. Se ilustra las correlaciones más significativas.

**Figura 14**

*Correlación de Spearman de parámetros fisicoquímicos, metales y metaloides*



$\pm 0,51 - \pm 0,75$  Correlación considerable,  $\pm 0,76 - \pm 0,90$  Correlación muy fuerte,  $\pm 0,91 - \pm 1,00$  Correlación perfecta

Los parámetros fisicoquímicos que muestran una correlación considerable positiva (0,51 – 0,75) con los metales son potencial de hidrógeno (pH) y plata (Ag), sólidos totales disueltos (SDT) y antimonio (Sb); una correlación considerable negativa (-0,51 - -0,75) se muestra en potencial de hidrógeno (pH) y plata, conductividad eléctrica (CE) y plata (Ag), sólidos totales disueltos (SDT) y plata (Ag) mientras que una correlación positiva perfecta (0,91 – 1,00) se muestra entre conductividad eléctrica (CE) y sólidos totales disueltos (SDT). En relación a los metales se muestra una correlación positiva considerable (0,51 – 0,75) entre antimonio (Sb) y zinc (Zn), plata (Ag) y plomo (Pb), cromo (Cr) y cadmio (Cd), plomo (Pb) y zin (Zn), plata (Ag) y níquel (Ni), plata (Ag) y cromo (Cr). Una correlación muy fuerte positiva (0,76 – 0,90) se presenta entre plata (Ag) y antimonio (Sb).

### 3.4. Contraste de la concentración de metal y metaloides con normas nacionales internacionales para calidad de agua.

#### Directrices de la calidad de agua de consumo establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS)

Del contraste con los valores de referencia establecidos en la Guía para calidad del agua de consumo Humano, se reporta que metales como cadmio (Cd), plomo (Pb), y hierro (Fe) superan los valores establecidos (Tabla 2), mientras que metales como níquel (Ni), manganeso (Mn), bario (Ba), plata (Ag), sodio (Na) y metaloides como arsénico (As), antimonio (Sb), boro (B) cumplen con los valores referenciales.

**Tabla 2**

*Concentraciones medias de arsénico (As), cadmio (Cd), plomo (Pb) antimonio (Sb) y hierro (Fe) por microcuenca que superan los valores de referencia de la Organización Mundial de la Salud (OMS).*

Metal/Metaloide (mg/L)	Análisis.	Microcuencas										Valor de Ref. OMS (mg/L)
		Timbambo		Cabildo		Atuén		Pomacochas		Ventilla		
		S	H	S	H	S	H	S	H	S	H	
As	Med.	0,299	0,793	0,555	0,398	0,771	0,301	0,633	0,340	0,796	0,383	0,010
	Std.e rr	0,089	0,061	0,030	0,010	0,020	0,012	0,023	0,015	0,016	0,012	
Cd	Med.	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	0,008	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	0,003
	Std.e rr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	
Pb	Med.	0,031	0,050	0,050	0,069	0,051	0,069	0,045	0,063	0,055	0,074	0,010
	Std.e rr	0,003	0,003	0,008	0,008	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,002	
Sb	Med.	0,029	<b>0,000</b>	0,121	<b>0,000</b>	0,062	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,011</b>	<b>0,000</b>	0,020
	Std.e rr	0,003	0,000	0,004	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	
Fe	Med.	<b>0,028</b>	<b>0,074</b>	<b>0,024</b>	0,155	<b>0,035</b>	0,120	<b>0,059</b>	1,394	<b>0,044</b>	0,498	0,100
	Std.e rr	0,008	0,021	0,009	0,020	0,008	0,012	0,020	0,635	0,011	0,023	

Nota: Valores en **negrita** no superan los valores de referencia de la OMS

Los valores de concentración de As superan el valor de referencia en las cinco microcuencas, presentándose los mayores valores en Timbambo en la época de lluvia y Ventilla en la época seca. En relación a las concentraciones de Cd la microcuenca que supera el valor de referencia es Atuén en la época de lluvia. Las concentraciones de Pb en las microcuencas todas superan el valor de referencia, presentándose el mayor valor en Ventilla en la época de lluvia. Las concentraciones de Sb superan la norma en Timbambo, Cabildo y Atuén, por otro lado, las concentraciones de Fe superan los valores de referencia en Cabildo, Atuén, Pomacochas y Ventilla todas en

la época de lluvia. El contraste de las concentraciones de cada estación de muestreo con la normativa de la Organización Mundial de la Salud se reporta en el Anexo (1-5).

**Estándares de Calidad Ambiental para agua (ECA-agua), Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.**

Del contraste con los valores de referencia en la subcategoría D1: Riego de Vegetales y D2: bebida de animales (Tabla 3) muestra que la media de la concentración de As para las cinco microcuencas, muestra a la microcuenca Timbambo con los valores más elevados en la época de lluvia, mientras que Pomacochas presentan el mayor valor en la época seca. De los elementos evaluados y contrastados con los valores de referencia del ECA, se reporta que las concentraciones medias de arsénico (As), plomo (Pb) superan los valores de referencia.

**Tabla 3**

*Concentraciones medias metales como arsénico (As), cadmio (Cd), plomo (Pb) antimonio (Sb) y hierro (Fe) por microcuenca que superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA)*

Metal /Metaloide (mg/L)	Análisis	Microcuencas										Valor de Ref. ECA-Categ. 3 (mg/L)	
		Timbambo		Cabildo		Atuén		Pomacochas		Ventilla		D1	D2
		S	H	S	H	S	H	S	H	S	H		
As	Med.	0,299	0,793	0,555	0,398	0,771	0,301	0,796	0,383	0,633	0,340	0,1	0,2
	Std. err.	0,027	0,061	0,030	0,010	0,020	0,012	0,016	0,012	0,023	0,015		
Pb	Med.	<b>0,030</b>	<b>0,049</b>	0,050	0,069	0,051	0,069	0,055	0,074	<b>0,045</b>	0,056	0,050	0,050
	Std. err.	0,003	0,003	0,010	0,009	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003	0,003		

Nota: Valores en **negrita** no superan los valores de referencia de la ECA

Las concentraciones de As superan los valores de referencia en todas las microcuencas, mientras que Pb en dos de las microcuencas no superan los valores de referencia. El contraste de las concentraciones de cada estación de muestreo con la normativa ECA se reporta en el Anexo (6-7).

**Directrices de calidad de agua para vacas lecheras, elaborada por Schroeder en el 2015**

De los elementos contrastados en orden de relevancia se obtuvo que metales como plomo (Pb), aluminio (Al), cadmio (Cd), Hierro (Fe) y Cromo (Cr) y metaloides como arsénico (As) no cumplen con las directrices de calidad de agua para vacas lecheras (Tabla 4).

**Tabla 4**

*Concentraciones medias de arsénico (As), plomo (Pb), cadmio (Cd), aluminio (Al), hierro (Fe) y cobre (Cu) por microcuenca que superan los valores de las directrices de calidad de agua para ganado lechero*

Metal/Metaloide (mg/L)	Análisis.	Microcuencas										Valores de referencia (Schroeder, 2015) Agua-Ganado lechero (mg/L)
		Timbambo		Cabildo		Atuén		Pomacochas		Ventilla		
		S	H	S	H	S	H	S	H	S	H	
As	Med.	0,299	0,793	0,555	0,398	0,771	0,301	0,633	0,340	0,796	0,383	0,050
	Std.err.	0,027	0,061	0,030	0,010	0,020	0,012	0,023	0,015	0,016	0,012	
Pb	Med.	0,033	0,050	0,053	0,071	0,052	0,068	0,055	0,075	0,044	0,057	0,015
	Std.err.	0,004	0,004	0,009	0,009	0,003	0,002	0,003	0,002	0,003	0,003	
Cd	Med.	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,010</b>	<b>0,000</b>	0,008	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	0,005
	Std.err.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	
Al	Med.	<b>0,367</b>	<b>0,136</b>	<b>0,340</b>	<b>0,187</b>	<b>0,287</b>	<b>0,183</b>	<b>0,204</b>	<b>0,182</b>	<b>0,460</b>	0,679	0,500
	Std.err.	0,084	0,029	0,066	0,056	0,039	0,030	0,039	0,053	0,181	0,052	
Fe	Med.	<b>0,033</b>	<b>0,079</b>	<b>0,021</b>	<b>0,170</b>	<b>0,041</b>	<b>0,119</b>	<b>0,072</b>	2,765	<b>0,071</b>	<b>0,497</b>	2,000
	Std.err.	0,008	0,027	0,009	0,020	0,010	0,013	0,024	1,490	0,030	0,026	
Cr	Med.	<b>0,000</b>	<b>0,010</b>	<b>0,000</b>	<b>0,010</b>	0,052	0,068	0,044	0,057	0,055	0,075	0,010
	Std.err.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002	0,003	0,003	0,003	0,002	

Nota: Valores en **negrita** no superan los valores de referencia de la ECA

Del contraste As superan el valor de referencia en las cinco microcuencas al igual que las concentraciones de Pb. Por otro lado, Cd solo supera el valor de referencia en la microcuenca Atuén en la época de lluvia, Se solo supera el valor de referencia en Timbambo en la época seca, Al en Ventilla en la época de lluvia, Fe en Pomacochas en la época de lluvia, mientras que Cr en Timbambo y Cabildo superan el valor de referencia en ambas épocas. El contraste de las concentraciones de cada estación de muestreo con la Guía de Calidad de agua para ganado lechero se reporta en el Anexo (1-5).

### **3.5.Determinar la distribución potencial de metales y metaloides con más alta tasa de concentración de las principales microcuencas ganaderas de la provincia de Chachapoyas.**

Se reporta la representación gráfica de las concentraciones de los principales metales y metaloides como son encontrados en cada estación de muestreo por microcuenca y por época estacional para dos normas como son las directrices de la calidad de agua de consumo establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y Directrices



de calidad de agua para vacas lecheras, elaborada por Schroeder en el 2015, de acuerdo al grado de distribución espacial se puede observar a arsénico (As) metaloide cuya presencia es ubicua en todas las microcuencas, seguido de metal plomo (Pb) (Anexo 1-5).

### **3.6. Proponer medidas de prevención y mitigación frente al riesgo de exposición a metales y metaloides con alta tasa de concentración en el agua de las microcuencas ganaderas de la provincia de Chachapoyas.**

De los metales y metaloides evaluados, arsénico (As), plomo (Pb) y cadmio (Cd) son aquellos elementos que presentan mayores concentraciones y cuya presencia se encontraron en las cinco microcuencas ganaderas, representando un riesgo a la salud humana y a las actividades de ganadería y agricultura, al superar los valores de referencia de las normativas establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), Estándar de Calidad Ambiental para aguas (ECA-agua) y guía de calidad de agua para ganado lechero; situación que hace imperante el establecimiento de medidas de prevención y mitigación. La presencia de estos elementos en las microcuencas ganaderas, en especial en el agua es considerada de alto riesgo para la salud y una amenaza para la seguridad alimentaria, por ello es de suma importancia la implementación de actividades ganaderas sostenibles y ecológicas (Numa Pompilio et al., 2021) como medidas de prevención, dentro de ellas el manejo adecuado de las excretas a través del establecimiento de pequeñas zonas de codigestión anaeróbica (Nolan et al., 2020), el tratamiento de aguas residuales producidos en las actividades de extracción de leche ( Zhang et al., 2021), un manejo sanitario adecuado (Zhou et al., 2016), la precisión, selección y distribución del alimento (Lovarelli et al., 2020) el uso adecuado de fertilizantes y abonos en la producción de pastos (Bhattacharyya et al., 2021). Por otro lado habiendo determinado la presencia de estos elementos en el agua se hace imperante la implementación de medidas de mitigación a partir de la aplicación de diversos métodos como la adsorción por carbón activado para reducir concentraciones de Cd, Pb y As (Carneiro et al., 2021; Wang et al., 2021; Utete & Fregene, 2020), métodos de quimiosorción con el uso de óxido de hierro (Rathi & Kumar, 2021; Zhang et al., 2020; Chen et al., 2020), coagulantes químicos como el alumbre y el cloruro férrico (Inam et al., 2021), nanomateriales como hierro-nano cero valente (Nithya et al., 2021), polímeros biodegradables como el quitosano (Sharma et al., 2022; Haripriyan et al., 2022), estos métodos resultan eficientes sin embargo su

aplicación en zonas rurales resultan económicamente poco viable, siendo remplazados por métodos basados en biorremediación que se considera una tecnología sostenible y rentable (Sreedevi et al., 2022) tal es el caso del uso de *Phragmites australis* que presentó 93% de eliminación de cadmio, 95% de eliminación de plomo y 84% de eliminación níquel durante un período de 6 semanas (Bello et al., 2018), otro caso exitoso es el de *Mucor circinelloides*, quien produjo una inmovilización significativa de plomo, cadmio, arsénico y una disminución de la transferencia, biodisponibilidad de los metales en el sistema acuoso (Li et al., 2021). Investigaciones recientes reportan la viabilidad del uso de algas como *Caulerpa scalpelliformis* en la eliminación de Cd (Jayakumar et al., 2021), el uso de mucílago de nopal de *Opuntia ficus* para la eliminación de As (Vecino et al., 2016), la fibra de celulosa del tallo de una planta leñosa *Tamarix aphylla* como biosorbente para la eliminación de iones de cadmio (Islem et al., 2022), así como la aplicación de energía solar para el abastecimiento de agua y el saneamiento en las zonas rurales afectadas por el arsénico (Jasrotia et al., 2012).

#### IV. DISCUSIÓN

La presencia y variación en la concentración de parámetros fisicoquímicos, metales y metaloides en las microcuencas está relacionado con diversos factores dentro de ellos con la alteración de las condiciones geomorfológicas (Ibisate et al., 2016). Se reporta la alteración de la microcuenca Ventilla por infraestructura vial que favorecen el asentamiento de poblaciones y la expansión de la ganadería a lo largo del margen del río; caso similar se presenta en Leymebamba en las microcuencas Cabildo, Atuén y Pomacochas cuya conectividad vial con Chuquibamba ocasiona impactos significativos (Rojas Briceño et al., 2019). Mientras que Timbambo es una de las microcuencas menos influenciadas por la actividad antrópica presentando remanentes para restauración (Silva Flores, 2018). La ganadería en estas microcuencas es la principal actividad económica, seguida en menor escala de la agricultura (Oliva et al., 2015), donde la producción de ganado vacuno e implementación de sistemas de pastoreo se efectúa en condiciones similares (Maicelo & Bardales, 2017).

Del análisis de la variación de los parámetros fisicoquímicos por época estacional, potencial de hidrógeno (pH), sólidos totales disueltos (SD) y conductividad eléctrica (CE) son aquellos parámetros que se agrupan en la época seca, esto probablemente debido a una fuerte respiración microbiana fluvial, una elevada temperatura del aire, menor influencia de la lluvia e intensa evaporación que supera significativamente la precipitación, mientras que los valores pequeños en época de lluvia se deben al efecto de dilución (Yuan et al., 2021). Por otro lado los valores elevados de turbidez (TRB) en época de lluvia se debieron a que este parámetro es de naturaleza dinámica y su estado estable cambia de manera muy significativa en aquellos periodos de fuertes lluvias, debido al arrastre de partículas, deslizamiento de tierra y erosión (Lee et al., 2016).

La presencia y variación de metales en relación a Cadmio (Cd), los mayores valores de concentración se presentan en época de lluvia en Cabildo, mientras que en la época seca son insignificantes, las variaciones en la concentración de este elemento pueden verse alterado por la dureza que presente el agua, es decir que cuando la dureza se incrementa la toxicidad del cadmio en el medio disminuye esto debido a la competencia del elemento con los iones de  $\text{Ca}^{2+}$  y iones de  $\text{Mg}^{2+}$  (Ding et al., 2020). De igual manera Cobalto (Co) presenta un comportamiento similar, los valores en la época seca permanecen muy bajos, mientras que en la época de lluvia la microcuenca Pomacochas es la que presenta los

mayores. Una de las peculiaridades de este elemento es que suelen formar complejos orgánicos en unión  $\text{Co}^{2+}$  y  $\text{Ni}^{2+}$ , con frecuencia los complejantes naturales son heterogéneos y su origen natural en el agua dulce se debe a las sustancias húmicas (Mandal et al., 1999). Por otro lado, los valores más elevados de cromo (Cr) se presentan en Atué, Ventilla, Cabildo y Timbambo, se sabe que las aguas de los ríos son con frecuencias ricos en Cr, esto debido a una meteorización del lecho rocoso, siendo los silicatos aquel mineral predominante que contienen Cr (D'Arcy et al., 2016). Las concentraciones de níquel (Ni) y cobre (Cu) más elevadas se presentan en la época de lluvia en la microcuenca Ventilla, se considera a los sedimentos como los principales depósitos de Ni y Cu, cuya removilización en época de lluvia representa un riesgo para los organismos acuáticos por su introducción en la cadena alimenticia (Haiyang Chen et al., 2016).

Las concentraciones de manganeso (Mn) muestran el mayor valor en Ventilla en la época de lluvia, esto debido a que el manganeso se encuentra en aguas intersticiales de sedimentos (Huang et al., 2021), presenta una cinética de precipitación lenta y una solubilidad en condiciones reductoras (Lasier et al., 2000) lo que provoca una mayor concentración en la columna de agua. La exposición directa de los mamíferos a fuentes de Mn como es el agua provoca problemas neurotóxicos (Rahman et al., 2021). Por otro lado, las concentraciones de bario (Ba) muestran los mayores valores en Atué y Cabildo en ambas épocas estacionales, la disponibilidad de este elemento se debe a que Ba se encuentra presente de forma natural en todos los suelos, rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias (Shrivastava et al., 2017) lo que predispone su presencia en las fuentes de agua.

Los mayores valores de concentración de estroncio (Sr) en agua se presentan en Atué tanto para época seca y lluviosa, esto debido a que este elemento está altamente distribuido en el aire, el suelo y el agua (H. Zhang et al., 2018), se presenta un riesgo elevado por el consumo de concentraciones elevadas en humanos (Langley et al., 2009), también se reporta la presencia de Sr en leche y orina de vacas criadas en zonas de regadío con aguas residuales en México encontrado que la transferencia de Sr fue mayor en orina que en la leche (Numa Pompilio et al., 2021). Las concentraciones de vanadio (V) no muestra variaciones significantes, pero se sugiere que su presencia proviene de fuentes naturales como son lixiviación de rocas y erosión del suelo (Vasseghian et al., 2021), un estudio desarrollado por la Universidad de Pretoria, Sudáfrica, reporta vanadio en los tejidos y leche de vacunos, considerando que una ingesta  $>0,44$  mg/kg/día de vanadio

presente en la leche no presenta ningún riesgo para la salud del consumidor de acuerdo a estudios de toxicidad y modelamiento (Gummow et al., 2005). Las concentraciones de hierro (Fe) presenta la mayor concentración en Pomacochas en la época de lluvia, esto debido a que el oxígeno disuelto (OD) mantiene una relación directa con el Fe provocando que durante la estratificación térmica este se reduzca pasando de formas insolubles en el sedimento a formas solubles en la columna de agua (Cuss et al., 2021).

Las concentraciones de plomo (Pb) en las microcuencas son visiblemente altas, presentándose concentraciones mayores en época de lluvia en Ventilla, Atuén y Cabildo debido a que el plomo en los ríos es transportado como material particulado en unión a Fe, Al (Nakaya et al., 2018); también se ha demostrado una fuerte afinidad del Pb con P relacionado con su transporte y la presencia en la interfaz sedimento y agua (Shen et al., 2020). Por otro lado, las variaciones de zinc (Zn) no muestran variaciones significativas, sin embargo, su presencia es ubicua en el medio presentándose como micronutriente (Zimmermann et al., 2020), a su vez el Zn es ampliamente utilizado en procesos de galvanoplastia (Haiyang Chen et al., 2019), esto explica el porqué de su presencia en una de las microcuencas más influenciadas por la actividad antrópica.

En relación a las concentraciones de plata (Ag) se muestran valores elevados para todas las microcuencas en la época de lluvia, esto debido a su acumulación en biosólidos lo que provoca que en época de avenidas se liberen hacia la columna de agua (Kaegi et al., 2013). Concentraciones elevadas de Ag en el agua inhiben el crecimiento de microorganismos, y provocan apoptosis, necrosis e irritación a la piel por contacto directo (Ribeiro et al., 2017), en sistemas de producción ganadera provocan su traslado hacia la leche (Diver & Oswald, 2005).

Las concentraciones de aluminio (Al), presenta el mayor valor en la microcuenca Ventilla para la época de lluvia, esto debido a que en aguas superficiales la principal fuente de aluminio se debe a la lixiviación de los suelos (Kubiak et al., 2013). El aluminio constituye el 7.91% de la masa de litosfera, estando presente en todas las rocas (Igbokwe et al., 2020), concentraciones elevadas de Al están relacionadas con valores extremos de pH, esto debido a que el aluminio presente en los sedimentos se activa a medida que se incrementa el acidez del agua (Krupinska, 2020) esto se corresponde con la concentraciones de Al encontradas en la microcuenca Ventilla considerando que en la época de lluvia esta microcuenca presenta el menor valor de pH. El riesgo por exposición

en humanos al aluminio (Al) está asociado con varios síndromes y enfermedades del sistema respiratorio y oral (Walton, 2019), en la producción de ganado se reporta la acumulación de Al en leche (Boudebouz et al., 2021). De las concentraciones de magnesio (Mg), sodio (Na) y potasio (K), Mg muestra mayores valores en Cabildo y Atuén en época seca, Na en época seca en Ventilla, mientras que K no muestra variaciones significativas. La presencia de estos electrolitos es esencial para el funcionamiento básico de la vida (Velescu et al., 2021), sin embargo, su presencia en las fuentes de agua y su relación con la producción agropecuaria sugiere llevar un control de las dosis suministradas ya que un exceso provoca intoxicación (Diver & Oswald, 2005).

La presencia de metaloides muestra a arsénico (As) con una mayor concentración en la microcuenca Timbambo para la época de lluvia, en Ventilla y Atuén para la época seca. La presencia de este metal en aguas superficiales de Sur América se reporta en países como Argentina (Nicolli et al., 2012), Chile y en una menor medida en Bolivia (Tapia et al., 2018) y en Perú, cuyo primer reporte muestra el incremento de concentraciones de As en el agua potable en Puno (George et al., 2014). A nivel de la región Amazonas se reporta un caso de contaminación por arsénico en niños de las comunidades nativas de Condorcanqui debido a la fuga de petróleo de Oleoducto Norperuano y contaminación de río Chiriaco (Arancibia, 2020). La presencia de As en las microcuencas pueden deberse a fuentes naturales relacionados con la geología, depósitos minerales y las fuentes antropogénicas como procesos industriales y con frecuencia por el uso de plaguicidas y fertilizantes (Palma-Lara et al., 2020), se cree que el As en las microcuencas se debe al aporte de ambas fuentes teniendo en cuenta que la microcuenca Ventilla presenta un tipo de actividad ganadera tradicional con una que otra implementación tecnológica en el manejo de ganado e implementación de pasturas, mientras que Timbambo es netamente expansiva y con el uso de pastos naturales (Torres-armas et al., 2019), el aporte de As por fuentes naturales en las microcuencas está determinada por la gran diversidad litológica generada en los diversos periodos que va desde ígneos, intrusivos y volcánicos que terminan manifestándose en diversos ambientes de sedimentación, intrusiones básica, ácidas y volcánicas en el interior de las microcuencas (Medina Castro, 2010). La variación marcada de As en época estacional se debe a que este metaloide aparece mayoritariamente en su forma oxidada (As V) y su movilidad en los cuerpos hídricos está influenciada por estaciones secas y lluviosas, lo que permite su precipitación en minerales secundarios (Tapia et al., 2019). La presencia de antimonio (Sb) en las microcuencas en época seca

muestra valores elevados en Cabildo y Timbambo, el Sb antropogénico y geogénico (Rudnick & Gao, 2013) se encuentra distribuido en ambientes, cuyos procesos como precipitación, complejación acuosa, sorción en las partículas y coloides en la columna de agua o sedimentos determinan su concentración en los ríos, una de las particularidades de Sb es la poca afinidad con las superficies minerales lo que sugiere una mayor presencia en el medio acuoso (Sharifi et al., 2016) lo que explicaría las mayores concentraciones en época seca considerando que hay menos material coloidal distribuido en la columna de agua. Por otro lado Boro (B) en el agua de las microcuencas se hace visible para ambas épocas sin embargo en la época de lluvia se presentan las concentraciones mayores en Cabildo, esto se debe a que el B es elemento propio de la corteza terrestre y se encuentra extendido en múltiples ambientes desde los volcánicos, plutónicos, sedimentarios y metamórficos (Grew, 2015), además de características como volatilidad y solubilidad hace que se extienda enormemente. La presencia de B en los ríos se distribuye ampliamente, concentraciones inferiores a  $2,3 \mu\text{mol}$  ( $0,26 \text{ mg/L}$ ) (Petelet-Giraud et al., 2015) no presentan riesgo alguno, lo que se ajusta a las concentraciones encontradas en Cabildo con  $0,25 \text{ mg/L}$ ; su presencia en el agua se debe a las interacciones agua roca y las diluciones, absorción y precipitación en los minerales arcillosos (Voinot et al., 2013). Las fuentes de ingreso antrópico está relacionada con los combustibles fósiles quienes en su proceso de quema, fraccionan y liberan B (Mao et al., 2019). Por otro lado, la presencia del metaloide Silicio (Si) en las microcuencas es variable, presentándose las mayores concentraciones en época seca y lluviosa en la microcuenca Timbambo. Se conoce que el Si en el agua de río está involucrado en diversos procesos biótico y abióticos, incorporado por sólidos como arcillas, sólidos neoformados y sílice biogénica (Ding et al., 2008), la presencia de Si en los ríos sirve como trazador de los procesos geoquímicos y biogeoquímicos como el grado de meteorización de silicatos y la retención de Si por diatomeas y plantas superiores. Los valores elevados de Si en época seca en las microcuencas, sugiere la influencia de la formación mejorada de arcilla, la productividad de diatomeas en los cuerpos de agua dulce y la integración de afluentes en la corriente principal (A. Zhang et al., 2020).

La correlación de parámetros fisicoquímicos muestra una correlación perfecta de sólidos totales disueltos (SD) y conductividad eléctrica (CE), esto debido a que los SD a consecuencia del arrastre del suelo llevan consigo iones que directamente influyen en las concentraciones de CE ( Sepúlveda & Cárdenas, 2012). Correlación considerables se

presentan entre CE y pH, esto debido a que el agua transporta materiales iónicos, cuyos movimientos producen corriente eléctrica, se dice que la conductividad aumenta según la concentración de iones, lo que es percibido e influyen en los valores de pH (Rodríguez, 2009). Una Correlación negativa fuerte se presentó entre Ag y Sb esto debido a que el Sb se encuentra principalmente en la naturaleza como  $Sb_2S_3$  (estibnita, antimonita); el  $Sb_2O_3$  (valentinita) se halla como producto de descomposición de la estibnita. Forma parte por lo general de los minerales de cobre, plata y plomo (Bacelo et al., 2022). Por otro lado, se observa una correlación positiva considerables entre plomo (Pb) y plata (Ag) esto debido a que la presencia de estos dos metales en el agua se debe al arrastre de suelo. Con frecuencia estos elemento se presentan juntos, en la zona central y norte del Perú, existen complejos de Pb-Ag que tienen altos contenidos de As y Sb en forma de concentrados de flotación (Ortiz et al., 2004). Plata (Ag) y cromo (Cr) presenta una correlación positiva fuerte, esto de debido al transporte y fraccionamiento de los metales presentes en los sólidos en suspensión, proceso que se desarrolla en las zonas llanas en el agua intersticial, donde se lleva a cabo resuspección sedimentaria ( Zhang et al., 2022) y amalgamación.

En cuanto al contraste con los lineamientos de la organización mundial de la salud (OMS) se reporta el riesgo por As, Cd, Pb y Fe, esto debido a la toxicidad, persistencia y bioacumulación que presentan (Sin et al., 2001), estos metales se consideran importantes en su monitoreo debido a que su sola presencia en concentraciones elevadas afectan a todos los órganos del cuerpo (Park & Choi, 2021). Investigaciones desarrolladas en la cuenca de la Plata, muestra una relación en As con la Cordillera de los Andes, como fuentes naturales de contaminación (Avigliano et al., 2019), mientras que las desarrolladas en el río Carrizal, Ecuador, muestran que las concentraciones de As supera los límites permisibles ( $10 \mu\text{g/L}$ ) establecidos por la Organización mundial de la Salud (Aveiga Ortiz A.M., Noles Aguilara P. J. & E., 2020), también se reporta los daños serios a la salud humana como lesiones cutáneas, hasta enfermedades cerebrovasculares por exposición al As (Rasheed et al., 2017). La exposición al Cd puede llegar a producir cáncer al pulmón (Shil & Singh, 2019) y el Pb afectar directamente al sistema endocrino e inmune (Wang et al., 2017). El riesgo de la concentración elevada de hierro (Fe) en el agua, se debe a que provoca graves problemas de salud con afecciones al hígado, diabetes hasta infertilidad (Kumar et al., 2017). En cuanto al contraste con la normativa nacional, Estándar de calidad ambiental para aguas (ECA-agua) en la categoría D1: Riego de



vegetales y D2: Bebida de animales. Se reporta el riesgo por As, Pb, Se, con resultados parecidos en el río Tambo, Arequipa, donde As supera la normativa nacional en dos estaciones de monitoreo evaluadas (Lopez Arisaca, 2018), en río Llaucano en Cajamarca también se reporta que las concentraciones As supera la normativa nacional en 3 de sus 5 estaciones de monitoreo (Ruiz Cruzado H. G., 2019), mientras que en el río Ichu, Huancavelica, las concentraciones de As y Pb superan la normativa nacional, en la categoría uso poblacional y recreacional (Utete & Fregene, 2020). El riesgo de estos metales por contaminación en riego de vegetales se debe a que el agua contaminada usada en la producción de hortalizas provoca su acumulación en las hojas (Qin et al., 2021). Por otro lado el riesgo de ingesta de vegetales y alimentos contaminados con Pb provoca que este ingrese directamente al torrente sanguíneo, causando trastornos en el sistema nervioso, cardiovascular, renal y también reproductivo (Haefliger et al., 2009).

En relación a las directrices de calidad para vacas lecheras se reporta el riesgo de contaminación por As, Pb, Cd, Al, en las cinco microcuencas, esto debido a la vía de exposición como son las fuentes de agua y los cultivos alimentarios regados por estos metales ( Uddh-Söderberg et al., 2015), la literatura reporta que la ingesta de agua contaminada por metales pesados (As, Pb, Cd) contribuye a una tasa de transferencia más baja en los animales por ejemplo nivel por debajo de 0.003 mg/L, muestra una bajo riesgo toxicológico y xenobiótico sobre la calidad de la producción láctea (Sigrist et al., 2010). Concentraciones elevadas de estos elementos ocasionan graves problemas sistémicos y se trasladan indiscutiblemente hacia la leche (Zhou et al., 2019), investigaciones desarrolladas en hatos lecheros del Valle de Oxapampa – Pasco, reportan la contaminación por Pb en el agua y su transferencia a la leche (Bernal, 2019). Se considera que las contribuciones de metales como Pb y As están relacionados con el agua mientras que la presencia de Cr y Cd están relacionados con la contaminación de los suelos (Uddh-Söderberg et al., 2015). El monitoreo frecuente de metales pesados en zonas de producción ganadera es indispensable considerando que las concentraciones elevadas causan anemia, trastornos reproductivos, cáncer y teratogénesis en los animales, disminuyendo la producción a largo plazo (González-Montaña et al., 2019), por otro lado el consumo de alimentos en estado de contaminación son un riesgo para la seguridad alimentaria, debido a que interrumpen las funciones del sistema nervioso, órganos, causando mutagénesis y carcinogénesis (De la Cueva et al., 2021).

De la revisión de medidas de prevención y mitigación de la contaminación frente al riesgo de exposición a metales y metaloides con alta tasa de concentración en el agua, se consideró a la biorremediación como el método más ecológico y rentable a comparación de los métodos químicos y físicos (Petelet-Giraud et al., 2015). El desarrollo sustentable exige que los métodos de descontaminación sean eficientes y amigables con el medio ambiente, siendo la biorremediación aquel método que cumple con estas exigencias debido a que utiliza organismos como bacterias, algas, hongos y plantas, que por diversas estrategias como biosorción, bioacumulación, biotransformación, bioextracción, rizofiltración, y volatilización eliminan los metales del medio sin generar metabolitos secundarios en el ecosistema (Rebello et al., 2021). Para concentraciones elevadas se considera la posibilidad de fusión de métodos con el objetivo de acelerar los procesos de remoción, un enfoque multidisciplinario con el uso de métodos físico, químicos, biológicos resulta efectivo, sin embargo, se resalta la utilización de los recursos biológicos (fitorremediación) como una solución ecológica y duradera para combatir la contaminación por metales y metaloides (Ojuederie & Babalola, 2017).

## V. CONCLUSIONES

Se recopilaron los datos de concentración de 6 parámetros fisicoquímicos, 17 metales y 4 metaloides, correspondiente a cinco microcuencas ganaderas de la provincia de Chachapoyas como son Timbambo, Cabildo, Pomacochas, Atuén y Ventilla, en los años 2017 (época seca) y 2018 (época de lluvia).

De la evaluación de parámetros fisicoquímicos se reporta que potencial de hidrógeno (pH), sólidos totales disueltos (SD) y conductividad eléctrica (CE) presentaron los mayores valores para la época seca (octubre del 2017) mientras que turbidez (TRB) presentó los mayores valores para la época de lluvia (marzo del 2018). La concentración y distribución de metales mostró a la microcuenca Ventilla con los mayores valores de concentración en época de lluvia para Cr, Cu, Ni, Mn, Pb, Ag, Al y de Cu, Ni, Pb, Al, Na en época seca. En relación con la concentración de metaloides, B presentó las mayores concentraciones en la época de lluvia en la microcuenca Cabildo y de As en la microcuenca Ventilla.

De la relación de los parámetros fisicoquímicos, metales y metaloides se encontró una correlación positiva perfecta entre conductividad eléctrica (CE) y sólidos totales disueltos (SD) y correlaciones considerables entre CE y pH. Las relaciones entre metales muestran una correlación positiva fuerte entre antimonio (Sb) y plata (Ag) y correlaciones positivas considerables entre plata (Ag) y hierro (Fe).

Del contraste de la concentración de metales y metaloides con los límites por la Organización Mundial de la Salud (OMS) presenta el riesgo a la salud humana por consumo directo de agua de las microcuencas para As y Pb, en una menor medida por Sb, Fe, Cd. Del contraste con la normativa nacional Estándar de Calidad Ambiental para aguas (ECA-agua) en relación a la categoría riego de vegetales y bebida de animales, reporta el riesgo por As y Pb y del contraste de la concentración de metales con las directrices de calidad de agua para producción de vacas lecheras muestra el riesgo por As y Pb en todas las microcuencas tanto para época de lluvia como seca, también se reporta el riesgo de Cr en Timbambo y Cabildo, Cd en Atuen, Al en Ventilla y Fe en Pomacochas.

Se reporta la distribución del metaloide As en todos los puntos de muestreo en ambas épocas estacionales para todas las estaciones al igual que de Pb, superando ambos elementos las directrices establecidas por la OMS y directrices de calidad para vacas lecheras.

En relación a las medidas de prevención y mitigación frente al riesgo de exposición por metales y metaloides se resalta como principal medida de prevención, la implementación de actividades de ganadería sustentable tales como el manejo de excretas, tratamiento de agua residuales, manejo sanitario, selección de alimento adecuado, así como la identificación temprana de las fuentes de contaminación. En relación a las medidas de mitigación, se resaltan la aplicación de métodos químicos, físicos y biológicos, siendo la fitorremediación la opción más viable en zonas rurales de producción ganadera.

## **VI. RE COMENDACIONES**

Se recomienda la ejecución de estudios detallados en las microcuencas que permitan la determinación de las fuentes puntuales de contaminación, así como el análisis de la concentración de estos elementos en ganado vacuno y derivados lácteos para verificar el riesgo por contaminación en la red trófica. También se recomienda el análisis de sedimentos en estas microcuencas, considerando que son bancos de reserva de metales pesados y determina en muchos casos la disponibilidad en la matriz agua.

Las acciones de monitoreo de cuerpos hídricos por los organismos correspondientes se hace imperante ya que estas actividades permitirán a tiempo establecer medidas de contención para evitar la diseminación de la contaminación que a largo plazo perjudique la principal actividad económica que se desarrolla en esta microcuenca como es la ganadería.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2016). Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N°010-2016-ANA). Ministerio de Agricultura. [https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j.\\_010-2016-ana\\_0.pdf](https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j._010-2016-ana_0.pdf)
- Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. (2019). Environmental Chemistry and Ecotoxicology of Hazardous Heavy Metals: Environmental Persistence, Toxicity, and Bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, 1, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>
- Ali, M. M., Ali, M. L., Islam, M. S., & Rahman, M. Z. (2016). Preliminary assessment of heavy metals in water and sediment of Karnaphuli River, Bangladesh. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 5, 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2016.01.002>
- APHA, AWWA and WEF. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23 Ed.). American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Denver.
- Arancibia, F. (2020). Resistencias a la bioeconomía en Argentina: las luchas contra los agrotóxicos (2001-2013). *Ciencia Digna*, 1(1), 42–64. <https://www.researchgate.net/publication/346399265>
- ATSDR. (2007). *Resumen de Salud Pública: Bario (Barium)*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs24.html#:~:text=Los compuestos de bario tales, tanto%2C puede producir efectos adversos.](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs24.html#:~:text=Los compuestos de bario tales, tanto%2C puede producir efectos adversos.)
- Aveiga Ortiz A.M., Noles Aguilara Peñarieta. M. F. & Murgueitio. H. E. (2020). Distribución de arsénico en agua superficial y sedimento en la cuenca del río carrizal, Manabí – Ecuador. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 86(3), 260–275. <http://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v86i3.299>
- Avigliano, E., Clavijo, C., Scarabotti, P., Sánchez, S., Llamazares Vegh, S., del Rosso, F. R., Caffetti, J. D., Facetti, J. F., Domanico, A., & Volpedo, A. V. (2019). Exposure to 19 elements via water ingestion and dermal contact in several South American environments (La Plata Basin): From Andes and Atlantic Forest to sea front.

- Bacelo, H., Santos, S. C. R., Ribeiro, A., Boaventura, R. A. R., & Botelho, C. M. S. (2022). Antimony removal from water by pine bark tannin resin: Batch and fixed-bed adsorption. *Journal of Environmental Management*, 302(November 2021). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114100>
- Bello, A. O., Tawabini, B. S., Khalil, A. B., Boland, C. R., & Saleh, T. A. (2018). Phytoremediation of cadmium-, lead- and nickel-contaminated water by *Phragmites australis* in hydroponic systems. *Ecological Engineering*, 120, 126–133. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.05.035>
- Bernal Marcelo A.R. (2019). *Niveles De Metales Pesados En Los Hatos Lecheros Del Valle De Oxapampa - Pasco*. [Tesis de Doctoral, Universidad Nacional del Centro]. Repositorio UNCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/6135>
- Bhattacharyya, S. S., Adeyemi, M. A., Onyeneke, R. U., Bhattacharyya, S., Faborode, H. F. B., Melchor-Martínez, E. M., Iqbal, H. M. N., & Parra-Saldívar, R. (2021). Nutrient Budgeting — A Robust Indicator of Soil–Water–Air Contamination Monitoring and Prevention. *Environmental Technology and Innovation*, 24, 101-144. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101944>
- Boudebouz, A., Boudalia, S., Bousbia, A., Habila, S., Boussadia, M. I., & Gueroui, Y. (2021). Heavy metals levels in raw cow milk and health risk assessment across the globe: A systematic review. *Science of the Total Environment*, 751, Article 141830. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141830>
- Carneiro, M. A., Pintor, A. M. A., Boaventura, R. A. R., & Botelho, C. M. S. (2021). Current trends of arsenic adsorption in continuous mode: Literature review and future perspectives. *Sustainability (Switzerland)*, 13(3), 1–25. <https://doi.org/10.3390/su13031186>
- Chen, Haiyang, Chen, R., Teng, Y., & Wu, J. (2016). Contamination characteristics, ecological risk and source identification of trace metals in sediments of the Le'an River (China). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 125, 85–92. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.11.042>
- Chen, Haiyang, Jing, L., Yao, Z., Meng, F., & Teng, Y. (2019). Prevalence, source and risk of antibiotic resistance genes in the sediments of Lake Tai (China) deciphered

- by metagenomic assembly: A comparison with other global lakes. *Environment International*, 127, 267–275. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.048>
- Chen, H., Xu, F., Chen, Z., Jiang, O., Gustave, W., & Tang, X. (2020). Arsenic and cadmium removal from water by a calcium-modified and starch-stabilized ferromanganese binary oxide. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 96, 186–193. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.03.060>
- Corroto de la Fuente, F. (2017). *Informe Técnico N°1: Caracterización de almenos de 7 microcuencas con potencial Ganadero de la Región Amazonas, proyecto: Determinación del impacto de la actividad ganadera sobre la calidad del agua y establecimiento de medidas de prevención y mitigación ante la contaminación en las principales microcuencas de la región Amazonas*. Programa Nacional de Innovación Agraria, Instituto Nacional de Innovación Agraria.
- Cuss, C. W., Ghotbizadeh, M., Grant-Weaver, I., Javed, M. B., Noernberg, T., & Shotyk, W. (2021). Delayed mixing of iron-laden tributaries in large boreal rivers: Implications for iron transport, water quality and monitoring. *Journal of Hydrology*, 597, Article 125747. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125747>
- D’Arcy, J., Babechuk, M. G., Døssing, L. N., Gaucher, C., & Frei, R. (2016). Processes controlling the chromium isotopic composition of river water: Constrains from basaltic river catchments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 186, 296–315. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2016.04.027>
- De la Cueva, F., Naranjo, A., Puga Torres, B. H., & Aragón, E. (2021). Presencia de metales pesados en leche cruda bovina de Machachi, Ecuador. *La Granja*, 33(1), 21–30. <https://doi.org/10.17163/lgr.n33.2021.02>
- Ding, T., Du, S., Zhang, Y., Wang, H., Zhang, Y., Cao, Y., Zhang, J., & He, L. (2020). Hardness-dependent water quality criteria for cadmium and an ecological risk assessment of the Shaying River Basin, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 198, Article 110666. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110666>
- Ding, T. P., Tian, S. H., Sun, L., Wu, L. H., Zhou, J. X., & Chen, Z. Y. (2008). Silicon isotope fractionation between rice plants and nutrient solution and its significance to the study of the silicon cycle. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72(23), 5600–5615. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2008.09.006>



- Diver, A., & Oswaldo, B. M. (2005). Composición nutricional de la leche de ganado vacuno. *Revista Lasallista de Investigación*, 2(1), 38–42. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69520107>
- George, C. M., Sima, L., Arias, M. H. J., Mihalic, J., Cabrera, L. Z., Danz, D., Checkley, W., & Gilman, R. H. (2014). Arsenic exposure in drinking water: an unrecognized health threat in Peru. *Bulletin of the World Health Organization*, 92(8), 565–572. <https://doi.org/10.2471/blt.13.128496>
- Giri, S., & Singh, A. K. (2014). Risk assessment, statistical source identification and seasonal fluctuation of dissolved metals in the subarnarekha river, india. *Journal of Hazardous Materials*, 265, 305–314. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.09.067>
- González-Montaña, J. R., Senís, E., Alonso, A. J., Alonso, M. E., Alonso, M. P., & Domínguez, J. C. (2019). Some toxic metals (Al, As, Mo, Hg) from cow's milk raised in a possibly contaminated area by different sources. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(28), 28909–28918. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06036-7>
- Grew, E. S. (2015). Boron - The crustal element. *Elements*, 11(3), 162–163.
- Gummow, B., Botha, C. J., Noordhuizen, J. P. T. M., & Heesterbeek, J. A. P. (2005). The public health implications of farming cattle in areas with high background concentrations of vanadium. *Preventive Veterinary Medicine*, 72(3–4), 281–290. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2005.07.012>
- Haefliger, P., Mathieu-Nolf, M., Locicero, S., Ndiaye, C., Coly, M., Diouf, A., Faye, A. L., Sow, A., Tempowski, J., Pronczuk, J., Filipe, A. P., Bertollini, R., & Neira, M. (2009). Mass lead intoxication from informal used lead-acid battery recycling in Dakar, Senegal. *Environmental Health Perspectives*, 117(10), 1535–1540. <https://doi.org/10.1289/ehp.0900696>
- Hanipha, M., & Hussain, Z. (2013). Study of Groundwater Quality at Dindigul Town, Tamilnadu, India. *International Research Journal of Environment Sciences* 2(1), 68–73. <https://www.researchgate.net/publication/283057377>
- Haripriyan, U., Gopinath, K. P., & Arun, J. (2022). Chitosan based nano adsorbents and its types for heavy metal removal: A mini review. *Materials Letters*, 312, Article 131670. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2022.131670>

- Huang, C. W., Yen, P. L., How, C. M., Chai, Z. Y., & Liao, V. H. C. (2021). Levels of bioavailable manganese in river sediment may elevate reproductive risk in model organism *Caenorhabditis elegans*. *Aquatic Toxicology*, 239, Article 105958. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2021.105958>
- Ibisate González de Matauco, A., Ollero Ojeda, A., Sáenz de Olazagoitia, A., Naverac Acín, V., Granado García, D., Ballarín Ferrer, D., Herrero Otero, X., Horacio García, J., & Mora Mur, D. (2016). Condiciones de referencia para la restauración de la geomorfología fluvial de los ríos de las cuencas de Oiartzun y Oria (Gipuzkoa). *Cuaternario y Geomorfología*, 30(1–2), Artículo 2016-95114. <https://doi.org/10.17735/cyg.v30i1-2.43995>
- Igbokwe, I. O., Igwenagu, E., & Igbokwe, N. A. (2020). Aluminium toxicosis: A review of toxic actions and effects. *Interdisciplinary Toxicology*, 12(2), 45–70. <https://doi.org/10.2478/intox-2019-0007>
- Inam, M. A., Khan, R., Yeom, I. T., Buller, A. S., Akram, M., & Inam, M. W. (2021). Optimization of antimony removal by coagulation-flocculation-sedimentation process using response surface methodology. *Processes*, 9(1), 1–16. <https://doi.org/10.3390/pr9010117>
- International Union of Pure and Applied Chemistry[IUPAC]. (2005). Nomenclature of Inorganic Chemistry IUPAC Recommendations 2005 IUPAC Periodic Table of the Elements Fm No.In Red Book (Vol. 1). <https://www.qmul.ac.uk/sbcs/iupac/bibliog/RBcorrect.html>
- INEI. (2012). IV Censo Nacional Agropecuario. *Resultados Definitivos: IV Censo Nacional Agropecuario*. Instituto Nacional de Estadística e Informática. <http://proyectos.inei.gob.pe/web/DocumentosPublicos/ResultadosFinalesIVCENAGRO.pdf>
- Islem M., Hela S., Abdulmohsen K. D. A., Fathi A., Ramzi H. L., Lassaad M., Ridha S., Younes M. (2022). Cellulose from *Tamarix aphylla*'s stem via acetocell for cadmium adsorption. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(3), 103-679. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103679>
- Krupinska I. (2020). Aluminium Drinking Water Treatment Residuals and Their Toxic Impact on Human Health. *Molecules*, 25(3), 641. <https://doi.org/10.3390/molecules25030641>

- Izzaty, R. E., Astuti, B., & Cholimah, N. (2021). *Evaluación de la calidad del agua y sedimento de la subcuenca del río Birrís, en cuanto a su contenido de metales pesados* [Proyecto Final Licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. Repositorio TEC. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/13238>
- Jasrotia, S., Kansal, A., & Kishore, V. V. N. (2012). Application of solar energy for water supply and sanitation in Arsenic affected rural areas: A study for Kaudikasa village, India. *Journal of Cleaner Production*, 37, 389–393. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.07.030>
- Jayakumar, V., Govindaradjane, S., Senthil Kumar, P., Rajamohan, N., & Rajasimman, M. (2021). Sustainable removal of cadmium from contaminated water using green alga – Optimization, characterization and modeling studies. *Environmental Research*, 199, Article 111364. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111364>
- Kaegi, R., Voegelin, A., Ort, C., Sinnet, B., Thalmann, B., Krismer, J., Hagendorfer, H., Elumelu, M., & Mueller, E. (2013). Fate and transformation of silver nanoparticles in urban wastewater systems. *Water Research*, 47(12), 3866–3877. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.11.060>
- Kubiak, J., Machula, S., Stepanowska, K., & Biernaczyk, M. (2013). Wpływ zawartości glinu na biocenozę wód jezior o zlewniach słabo zurbanizowanych. *Inżynieria Ekologiczna*, 35, 95–105. <https://bibliotekanauki.pl/articles/400337>
- Kumar, V., Bharti, P. K., Talwar, M., Tyagi, A. K., & Kumar, P. (2017). Studies on high iron content in water resources of Moradabad district (UP), India. *Water Science*, 31(1), 44–51. <https://doi.org/10.1016/j.wsj.2017.02.003>
- Langley, S., Gault, A. G., Ibrahim, A., Takahashi, Y., Renaud, R., Fortin, D., Clark, I. D., & Ferris, F. G. (2009). Sorption of strontium onto bacteriogenic iron oxides. *Environmental Science and Technology*, 43(4), 1008–1014. <https://doi.org/10.1021/es802027f>
- Lasier, P. J., Winger, P. V., & Bogenrieder, K. J. (2000). Toxicity of manganese to *Ceriodaphnia dubia* and *Hyalella azteca*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 38(3), 298–304. <https://doi.org/10.1007/s002449910039>
- Lee, C. S., Lee, Y. C., & Chiang, H. M. (2016). Abrupt state change of river water quality (turbidity): Effect of extreme rainfalls and typhoons. *Science of the Total Environment*, 557, 91–101. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.213>

- Li, X., Lan, X., Feng, X., Luan, X., Cao, X., & Cui, Z. (2021). Biosorption capacity of *Mucor circinelloides* bioaugmented with *Solanum nigrum* L. for the cleanup of lead, cadmium and arsenic. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 212, Article 112014. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112014>
- Lopez Arisaca, S. R. (2018). *Evaluación de la calidad de agua respecto a Metales Pesados presentes en el río Tambo provincia de Islay 2016 - 2018* [Tesis Licenciatura, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa]. Repositorio UNSA. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8894>
- Lovarelli, D., Bacenetti, J., & Guarino, M. (2020). A review on dairy cattle farming: Is precision livestock farming the compromise for an environmental, economic and social sustainable production. *Journal of Cleaner Production*, 262, Article 121409. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121409>
- Maicelo, J. L., & Bardales, J. (2017). Caracterización de los sistemas de producción y formulación de indicadores de adaptabilidad del ganado bovino Simmental-Fleckvieh, región Amazonas. *Revista de Investigación en Ciencia y Biotecnología Animal*, 1(1), 19–26. <https://doi.org/10.25127/ricba.201701.002>
- Mandal, R., Sekaly, A. L. R., Murimboh, J., Hassan, N. M., Chakrabarti, C. L., Back, M. H., Grégoire, D. C., & Schroeder, W. H. (1999). Effect of the competition of copper and cobalt on the lability of Ni(II)-organic ligand complexes. Part I. In model solutions containing Ni(II) and a well-characterized fulvic acid. *Analytica Chimica Acta*, 395(3), 309–322. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(99\)00350-5](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(99)00350-5)
- Mao, H. R., Liu, C. Q., & Zhao, Z. Q. (2019). Source and evolution of dissolved boron in rivers: Insights from boron isotope signatures of end-members and model of boron isotopes during weathering processes. *Earth-Science Reviews*, 190(January), 439–459. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.01.016>
- Marrugo-Negrete, J., Pinedo-Hernández, J., & Díez, S. (2017). Assessment of heavy metal pollution, spatial distribution and origin in agricultural soils along the Sinú River Basin, Colombia. *Environmental Research*, 154, 380–388. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.01.021>
- Medina Castro, W. F. (2010). *Zonificación ecológica y económica del departamento de Amazonas, Geología*. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP). [http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/Archivos/Mapa/Amazonas/Memoria\\_Descriptiva\\_Geologia.pdf](http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/Archivos/Mapa/Amazonas/Memoria_Descriptiva_Geologia.pdf)

- Merian, E. (1984). Introduction on Environmental Chemistry and Global Cycles of Chromium, Nickel, Cobalt, Beryllium, Arsenic, Cadmium and Selenium, and their Derivatives†. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 8(1), 9–38. <https://doi.org/10.1080/02772248409357038>
- Sepúlveda, S. M., & Cárdenas, S. S. (2012). Efecto de la conductividad eléctrica y nivel del agua sobre la reproducción de la cucha xenocara (*Ancistrus triradiatus*, Eigenmann 1918) bajo condiciones experimentales. *Revista Veterinaria y Zootecnia*,6(1),37-46. <https://revistasojs.ucaldas.edu.co/index.php/vetzootec/article/view/4417>
- Martínez Ortega, R. M., Tuya Pendás, L. C., Martínez Ortega, M., Pérez Abreu, A., & Cánovas, A. M. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman caracterización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8(2), 1-19. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1729519X2009000200017](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729519X2009000200017)
- MINAM. (2017). Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Ministerio del Ambiente. <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Mitra, S., Sarkar, S. K., Raja, P., Biswas, J. K., & Murugan, K. (2018). Dissolved trace elements in Hooghly (Ganges) River Estuary, India: Risk assessment and implications for management. *Marine Pollution Bulletin*, 133(May), 402–414. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.05.057>
- Naderi, M., Puar, P., Zonouzi-Marand, M., Chivers, D. P., Niyogi, S., & Kwong, R. W. M. (2021). A comprehensive review on the neuropathophysiology of selenium. *Science of the Total Environment*, 767, Article 144329. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144329>
- Nakaya, S., Chi, H., Muroda, K., & Masuda, H. (2018). Forms of trace arsenic, cesium, cadmium, and lead transported into river water for the irrigation of Japanese paddy rice fields. *Journal of Hydrology*, 561, 335–347. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.04.018>
- Nicolli, H. B., Bundschuh, J., Blanco, M. del C., Tujchneider, O. C., Panarello, H. O., Dapeña, C., & Rusansky, J. E. (2012). Arsenic and associated trace-elements in groundwater from the Chaco-Pampean plain, Argentina: Results from 100years of research. *Science of the Total Environment*, 429, 36–56. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.04.048>

- Nithya, K., Sathish, A., & Senthil Kumar, P. (2021). Magnetite encapsulated alginates tailored material for the sustainable treatment of electroplating industrial wastewater: column dynamics and mass transfer studies. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23(1), 89–102. <https://doi.org/10.1007/s10098-020-01961-5>
- Nolan, S., Thorn, C. E., Ashekuzzaman, S. M., Kavanagh, I., Nag, R., Bolton, D., Cummins, E., O’Flaherty, V., Abram, F., Richards, K., & Fenton, O. (2020). Landspreading with co-digested cattle slurry, with or without pasteurisation, as a mitigation strategy against pathogen, nutrient and metal contamination associated with untreated slurry. *Science of the Total Environment*, 744, Article 140841. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140841>
- Numa Pompilio, C. G., Francisco, C. S., Marco Tulio, F. de M. T., Sergio Samuel, S. M., & Fernanda Eliza, G. J. (2021). Heavy metals in blood, milk and cow’s urine reared in irrigated areas with wastewater. *Heliyon*, 7(4), Article e06693. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06693>
- Ojuederie, O. B., & Babalola, O. O. (2017). Microbial and plant-assisted bioremediation of heavy metal polluted environments: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(12), Article 1504. <https://doi.org/10.3390/ijerph14121504>
- Oliva, M., Oliva, C., Rojas, D., Oliva, M., & Morales, A. (2015). Botanical identification of native species most important of dairy basins Molinopampa, Pomacochas and Leymebamba, Amazonas, Peru. *Scientia Agropecuaria*, 6(2), 125–129. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.02.05>
- Organización Mundial de la Salud[OMS]. (2011). *Guías para la calidad del agua de consumo humano*. Organización Mundial de la Salud. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?sequence=1&isAllowed=yW2>
- Ortiz, Á. A., Jara, P. N., Loli, A. F., Salinas, S. F., Ríos, M. C., Chávez, X., & Valenzuela, A. (2004). Lixiviación de concentrados Pb/Ag con alto contenido de As/Sb. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 7(14), 9-14. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v7i14.509>
- Palma-Lara, I., Martínez-Castillo, M., Quintana-Pérez, J. C., Arellano-Mendoza, M. G., Tamay-Cach, F., Valenzuela-Limón, O. L., García-Montalvo, E. A., & Hernández-

- Zavala, A. (2020). Arsenic exposure: A public health problem leading to several cancers. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 110, Article 104539. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2019.104539>
- Park, M. K., & Choi, S. D. (2021). Monitoring and risk assessment of arsenic species and metals in the Taehwa River in Ulsan, the largest industrial city in South Korea. *Marine Pollution Bulletin*, 172, Article 112862. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112862>
- Petelet-Giraud, E., Négrel, P., & Guerrot, C. (2015). Boron Isotope Variation During Flood Events in a Mediterranean Basin: Tracer of the Water Compartments (Hérault, S. France). *Procedia Earth and Planetary Science*, 13(3), 203–206. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2015.07.048>
- Prat, N., Rieradevall, M., & Fortuño, P. (2012). *Metodología F.E.M. para la evaluación del estado ecológico de los ríos Mediterráneos*. Freshwater Ecology and Management Research Group, Universidad de Barcelona. [https://www.ub.edu/fem/docs/protocols/fem\\_%20prot\\_cast\\_2012.pdf](https://www.ub.edu/fem/docs/protocols/fem_%20prot_cast_2012.pdf)
- Qin, J., Niu, A., Liu, Y., & Lin, C. (2021). Arsenic in leafy vegetable plants grown on mine water-contaminated soils: Uptake, human health risk and remedial effects of biochar. *Journal of Hazardous Materials*, 402, Article 123488. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123488>
- Quispe Yana, R. F., Belizario Quispe, G., Chui Betancur, H. N., Huaquisto Cáceres, S., Calatayud Mendoza, A. P., & Yábar Miranda, P. S. (2019). Concentración de metales pesados: Cromo, Cadmio y Plomo en los sedimentos superficiales en el río Coata, Perú. *Revista Boliviana de Química*, 2(36.2), 83–90. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.36.2.3>
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rahman, M. A., Hashem, M. A., Rana, M. S., & Islam, M. R. (2021). Manganese in potable water of nine districts, Bangladesh: human health risk. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 45663–45675. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14016-z>

- Raisbeck, M. F. (2020). Water Quality for Grazing Livestock I. *Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice*, 36(3), 547–579. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2020.08.014>
- Rasheed, H., Kay, P., Slack, R., Gong, Y. Y., & Carter, A. (2017). Human exposure assessment of different arsenic species in household water sources in a high risk arsenic area. *Science of the Total Environment*, 584, 631–641. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.089>
- Rathi, B. S., & Kumar, P. S. (2021). A review on sources, identification and treatment strategies for the removal of toxic Arsenic from water system. *Journal of Hazardous Materials*, 418(June), Article 126299. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126299>
- Rebello, S., Sivaprasad, M. S., Anoopkumar, A. N., Jayakrishnan, L., Aneesh, E. M., Narisetty, V., Sindhu, R., Binod, P., Pugazhendhi, A., & Pandey, A. (2021). Cleaner technologies to combat heavy metal toxicity. *Journal of Environmental Management*, 296, Article 113231. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113231>
- Ribeiro, F., Van Gestel, C. A. M., Pavlaki, M. D., Azevedo, S., Soares, A. M. V. M., & Loureiro, S. (2017). Bioaccumulation of silver in *Daphnia magna*: Waterborne and dietary exposure to nanoparticles and dissolved silver. *Science of the Total Environment*, 574, 1633–1639. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.204>
- Rodríguez Zamora., J. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre. *Revista Pensamiento Actual (San José)*, 9(12), 125–134. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5897932>
- Rojas Briceño, N. B., Barboza Castillo, E., Maicelo Quintana, J. L., Oliva Cruz, S. M., & Salas López, R. (2019). Deforestación en la Amazonía peruana: índices de cambios de cobertura y uso del suelo basado en SIG. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 81, 1–34. <https://doi.org/10.21138/bage.2538a>
- Rudnick, R. L., & Gao, S. (2013). Composition of the Continental Crust. *Treatise on Geochemistry: Second Edition* (2nd ed.). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.00301-6>



- Ruiz Cruzado H. G. (2019). *Análisis correlacional entre los índices bióticos co macroinvertebrados y la concentración de metales tóxicos en las aguas del río Llaucano, Bambamarca-Perú 2019*. [Tesis Licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio UPN. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23090>
- Schroeder, J. W. (2015). *Water Needs and Quality Guidelines for Dairy Cattle*. North Dakota State University. <https://library.ndsu.edu/ir/bitstream/handle/10365/5371/as1369.pdf?sequence=1>
- Sharifi, R., Moore, F., & Keshavarzi, B. (2016). Mobility and chemical fate of arsenic and antimony in water and sediments of Sarouq River catchment, Takab geothermal field, northwest Iran. *Journal of Environmental Management*, 170, 136–144. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.01.018>
- Shen, T., Tang, Y., Li, Y. J., Liu, Y., & Hu, H. (2020). An experimental study about the effects of phosphorus loading in river sediment on the transport of lead and cadmium at sediment-water interface. *Science of the Total Environment*, 720, Article 137535. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137535>
- Shil, S., & Singh, U. K. (2019). Health risk assessment and spatial variations of dissolved heavy metals and metalloids in a tropical river basin system. *Ecological Indicators*, 106(February), Article 105455. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105455>
- Shrivastava, K., Maji, P., & Dewangan, K. (2017). Onsite-detection of barium and nickel from river, pond and tap water samples using gold nanoparticles as a chemical sensor. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 173, 630–636. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2016.10.020>
- Sigrist, M., Beldoménico, H., & Rosa Repetti, M. (2010). Evaluation of the influence of arsenical livestock drinking waters on total arsenic levels in cow's raw milk from Argentinean dairy farms. *Food Chemistry*, 121(2), 487–491. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.069>
- Silva Flores, D. Y. (2018). *Evaluación de las microcuencas de Timbambo, Atuén, Pomacochas, Cabildo, Ventilla y San Antonio, mediante la aplicación de índices ecológicos Amazonas(Perú),2017* [Tesis Licenciatura, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. Repositorio UNTRM. <http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/1482/SILVAFLORES DEYRI LLURITA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

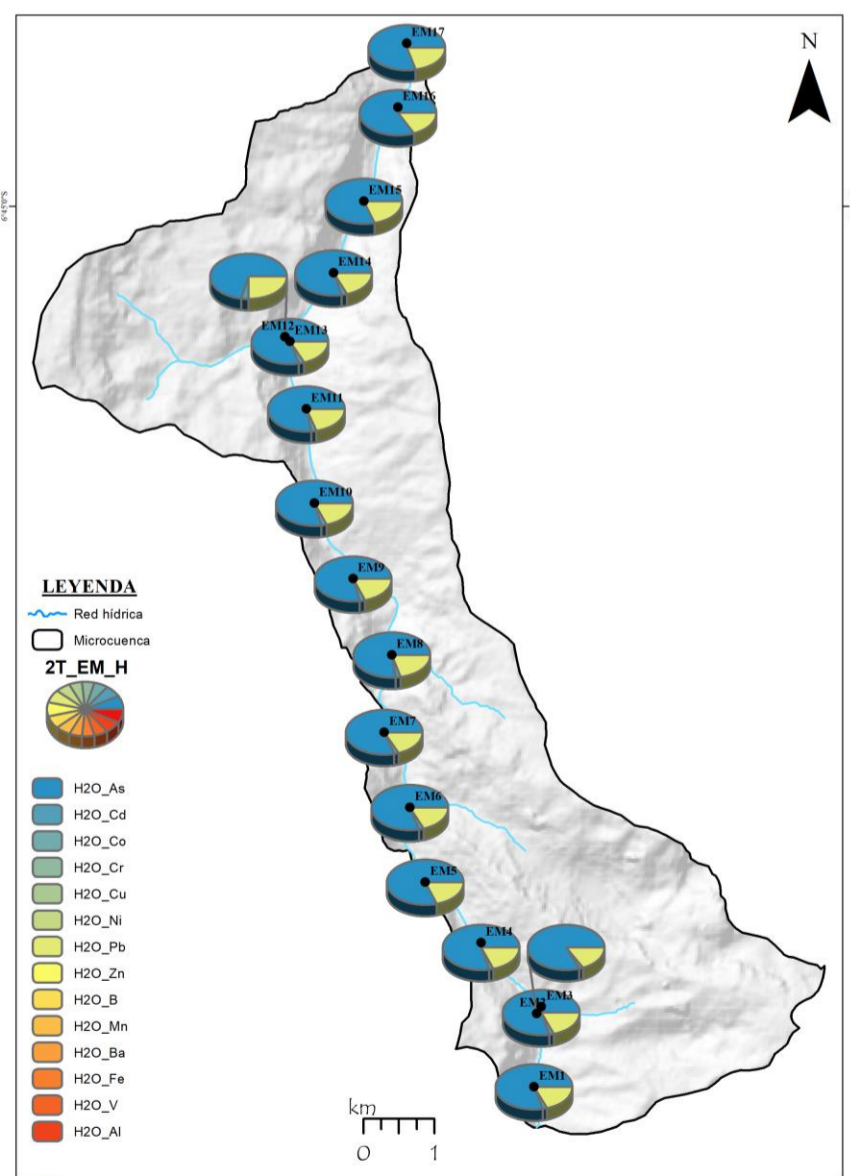
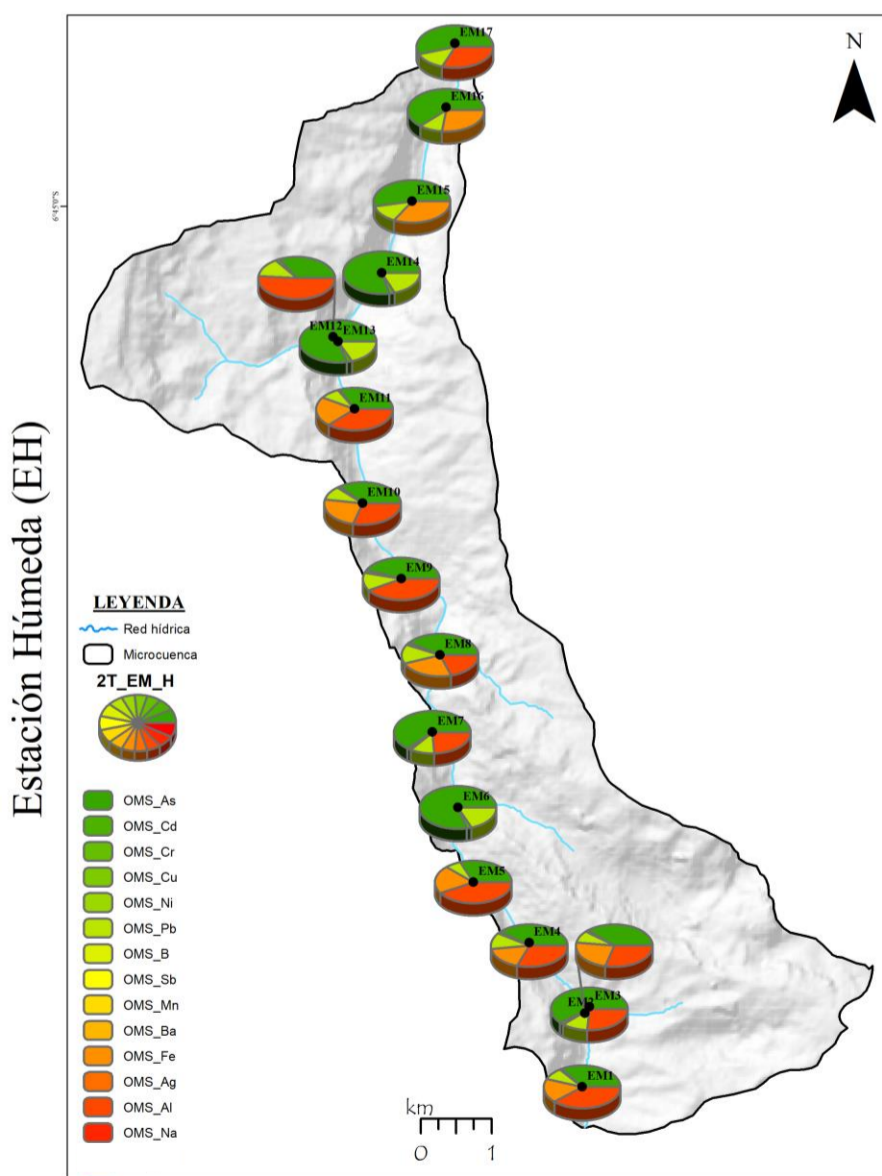
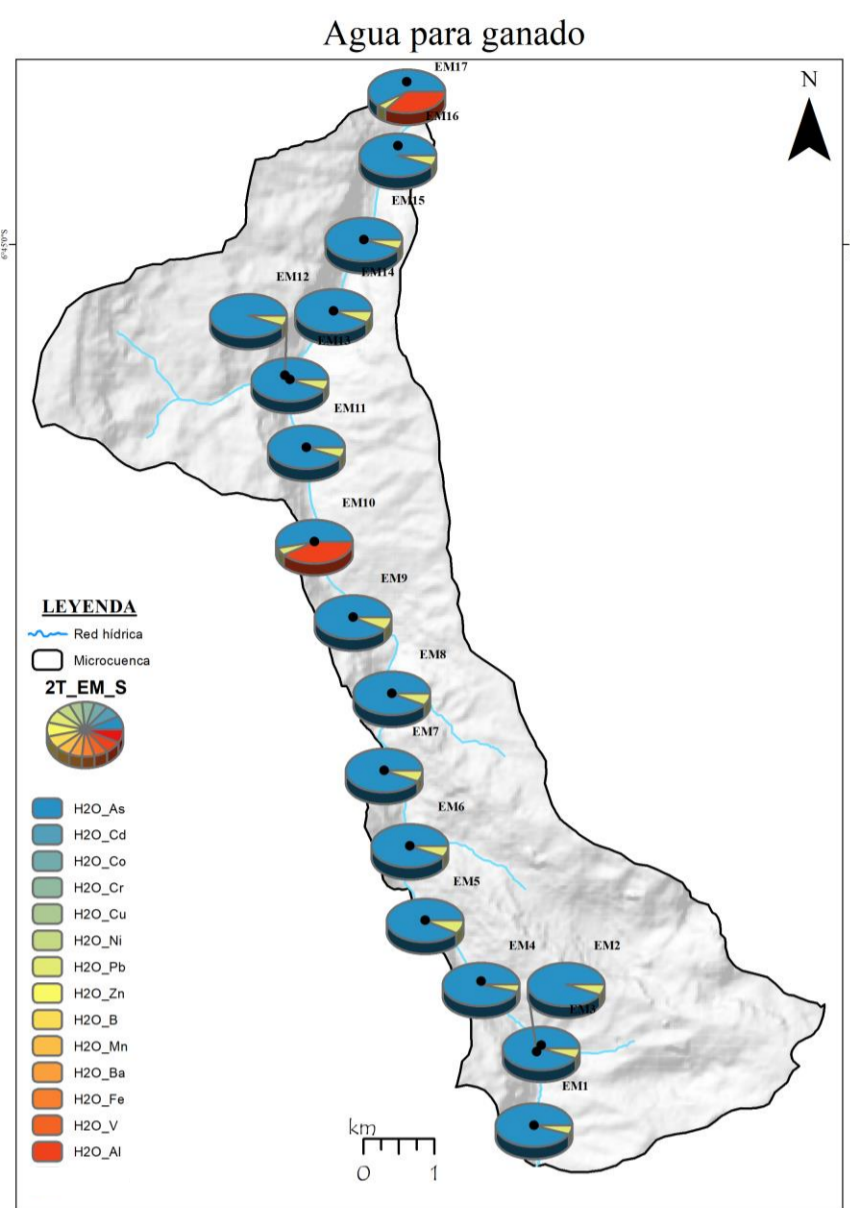
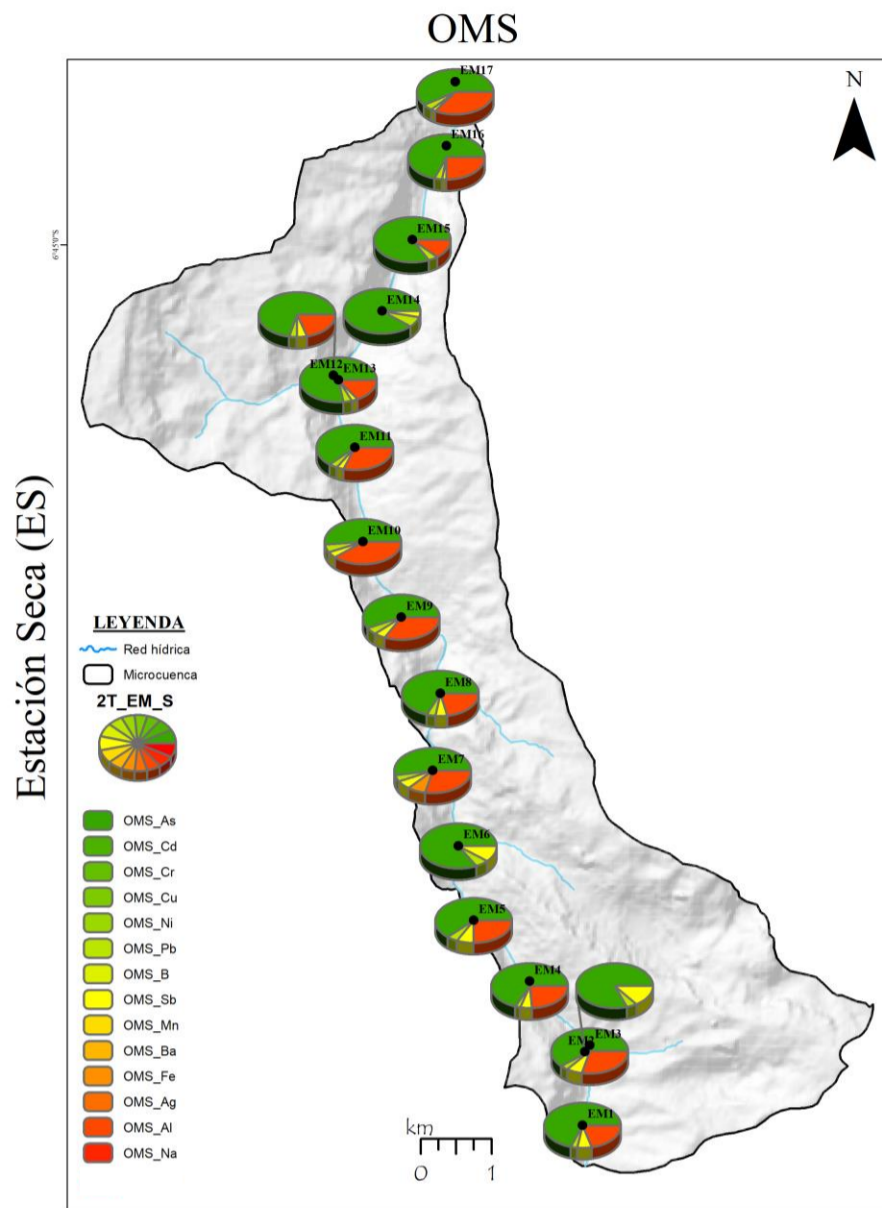
- Sin, S. N., Chua, H., Lo, W., & Ng, L. M. (2001). Assessment of heavy metal cations in sediments of Shing Mun River, Hong Kong. *Environment International*, 26(5–6), 297–301. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(01\)00003-4](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(01)00003-4)
- Sreedevi, P. R., Suresh, K., & Jiang, G. (2022). Bacterial bioremediation of heavy metals in wastewater: A review of processes and applications. *Journal of Water Process Engineering*, 48(February), 102884. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102884>
- Tapia, J., González, R., Townley, B., Oliveros, V., Álvarez, F., Aguilar, G., Menzies, A., & Calderón, M. (2018). Geology and geochemistry of the Atacama Desert. *Antonie van Leeuwenhoek, International Journal of General and Molecular Microbiology*, 111(8), 1273–1291. <https://doi.org/10.1007/s10482-018-1024-x>
- Tapia, J., Murray, J., Ormachea, M., Tirado, N., & Nordstrom, D. K. (2019). Origin, distribution, and geochemistry of arsenic in the Altiplano-Puna plateau of Argentina, Bolivia, Chile, and Perú. *Science of the Total Environment*, 678, 309–325. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.084>
- Torres-armas, E. A., Andrés, O., & Michael, G. P. (2019). Análisis factorial de las características socioeconómicas del ganadero de las cuencas lecheras de la región Amazonas, 2009. *Revista ECIPeru*, 92–98. <https://doi.org/10.33017/reveciperu2011.0029/>
- Uddh-Söderberg, T. E., Gunnarsson, S. J., Hogmalm, K. J., Lindegård, M. I. B. G., & Augustsson, A. L. M. (2015). An assessment of health risks associated with arsenic exposure via consumption of homegrown vegetables near contaminated glassworks sites. *Science of the Total Environment*, 536, 189–197. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.018>
- Utete, B. y Fregene, BT (2020). Assessment of spatial and temporal variability and related environmental risks of toxic metals in Lake Asejire, southwestern Nigeria. *Scientific African*, 7, Article e00259. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00259>
- Utete, B., & Fregene, B. T. (2020). Assessing the spatial and temporal variability and related environmental risks of toxic metals in Lake Asejire, south-western Nigeria. *Scientific African*, 7, Article e00259. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00259>
- Vasseghian, Y., Sadeghi Rad, S., Vilas-Boas, J. A., & Khataee, A. (2021). A global systematic review, meta-analysis, and risk assessment of the concentration of vanadium in drinking water resources. *Chemosphere*, 267, Article 128904. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128904>

- Vecino, X., Devesa-Rey, R., de Lima Stebbins, D. M., Moldes, A. B., Cruz, J. M., & Alcantar, N. A. (2016). Evaluation of a cactus mucilage biocomposite to remove total arsenic from water. *Environmental Technology and Innovation*, *6*, 69–79. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2016.07.001>
- Velescu, A., Homeier, J., Bendix, J., Valarezo, C., & Wilcke, W. (2021). Response of water-bound fluxes of potassium, calcium, magnesium and sodium to nutrient additions in an Ecuadorian tropical montane forest. *Forest Ecology and Management*, *501*, Article 119661. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119661>
- Voinot, A., Lemarchand, D., Collignon, C., Granet, M., Chabaux, F., & Turpault, M. P. (2013). Experimental dissolution vs. transformation of micas under acidic soil conditions: Clues from boron isotopes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, *117*, 144–160. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2013.04.012>
- Walton, J. R. (2019). Bioavailable aluminum: Its effects on human health. *Encyclopedia of Environmental Health*, 315–327. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11197-2>
- Wang, C., Li, X., Wu, W., Chen, G., & Tao, J. (2021). Removal of cadmium in water by potassium hydroxide activated biochar produced from *Enteromorpha prolifera*. *Journal of Water Process Engineering*, *42*, Article 102201. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102201>
- Wang, Y., Yan, W., Guo, H., Mahmood, Q., Guo, J., Liu, C., Zhong, B., & Liu, D. (2017). Trace element analysis and associated risk assessment in mining area soils from Zhexi river plain, Zhejiang, China. *Environmental Forensics*, *18*(4), 318–330. <https://doi.org/10.1080/15275922.2017.1368046>
- Organización Mundial de la Salud. (2019). Agua, Saneamiento, Higiene y Salud: Manual Básico para Profesionales de la Salud. Organización Mundial de la Salud. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/330100/WHO-CED-PHE-WSH-19.149-eng.pdf?ua=1>
- Yuan, Q. sheng, Wang, P. fang, Chen, J., Wang, C., Liu, S., & Wang, X. (2021). Influence of cascade reservoirs on spatiotemporal variations of hydrogeochemistry in Jinsha River. *Water Science and Engineering*, *14*(2), 97–108. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2021.06.008>

- Zhang, A., Zhang, J., & Liu, S. (2020). Spatial and temporal variations of dissolved silicon isotope compositions in a large dammed river system. *Chemical Geology*, 545, Article 119645. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2020.119645>
- Zhang, H., Zhou, X., Wang, L., Wang, W., & Xu, J. (2018). Concentrations and potential health risks of strontium in drinking water from Xi'an, Northwest China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 164(January), 181–188. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.08.017>
- Zhang, Jin, Wang, K., Yi, Q., Zhang, T., Shi, W., & Zhou, X. (2022). Transport and partitioning of metals in river networks of a plain area with sedimentary resuspension and implications for downstream lakes. *Environmental Pollution*, 294, Article 118668. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118668>
- Zhang, J., Zhang, L., Wang, M., Brostaux, Y., Yin, C., & Dogot, T. (2021). Identifying key pathways in manure and sewage management of dairy farming based on a quantitative typology: A case study in China. *Science of the Total Environment*, 760, Article 143326. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143326>
- Zhao, L., Gong, D., Zhao, W., Lin, L., Yang, W., Guo, W., Tang, X., & Li, Q. (2020). Spatial-temporal distribution characteristics and health risk assessment of heavy metals in surface water of the Three Gorges Reservoir, China. *Science of the Total Environment*, 704, Article 134883. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134883>
- Zhou, B., Wang, C., Zhao, Q., Wang, Y., Huo, M., Wang, J., & Wang, S. (2016). Prevalence and dissemination of antibiotic resistance genes and coselection of heavy metals in Chinese dairy farms. *Journal of Hazardous Materials*, 320, 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.08.007>
- Zhou, X., Zheng, N., Su, C., Wang, J., & Soyeurt, H. (2019). Relationships between Pb, As, Cr, and Cd in individual cows' milk and milk composition and heavy metal contents in water, silage, and soil. *Environmental Pollution*, 255, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113322>
- Zimmermann, T., Mohamed, A. F., Reese, A., Wieser, M. E., Kleeberg, U., Pröfrock, D., & Irrgeher, J. (2020). Zinc isotopic variation of water and surface sediments from the German Elbe River. *Science of the Total Environment*, 707, Article 135219. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135219>

## **ANEXOS**

**Anexo 1.** Mapa de la concentración de metales y metaloides que sobrepasan los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud y directrices de calidad de agua para vacas lecheras, microcuenca Atué.



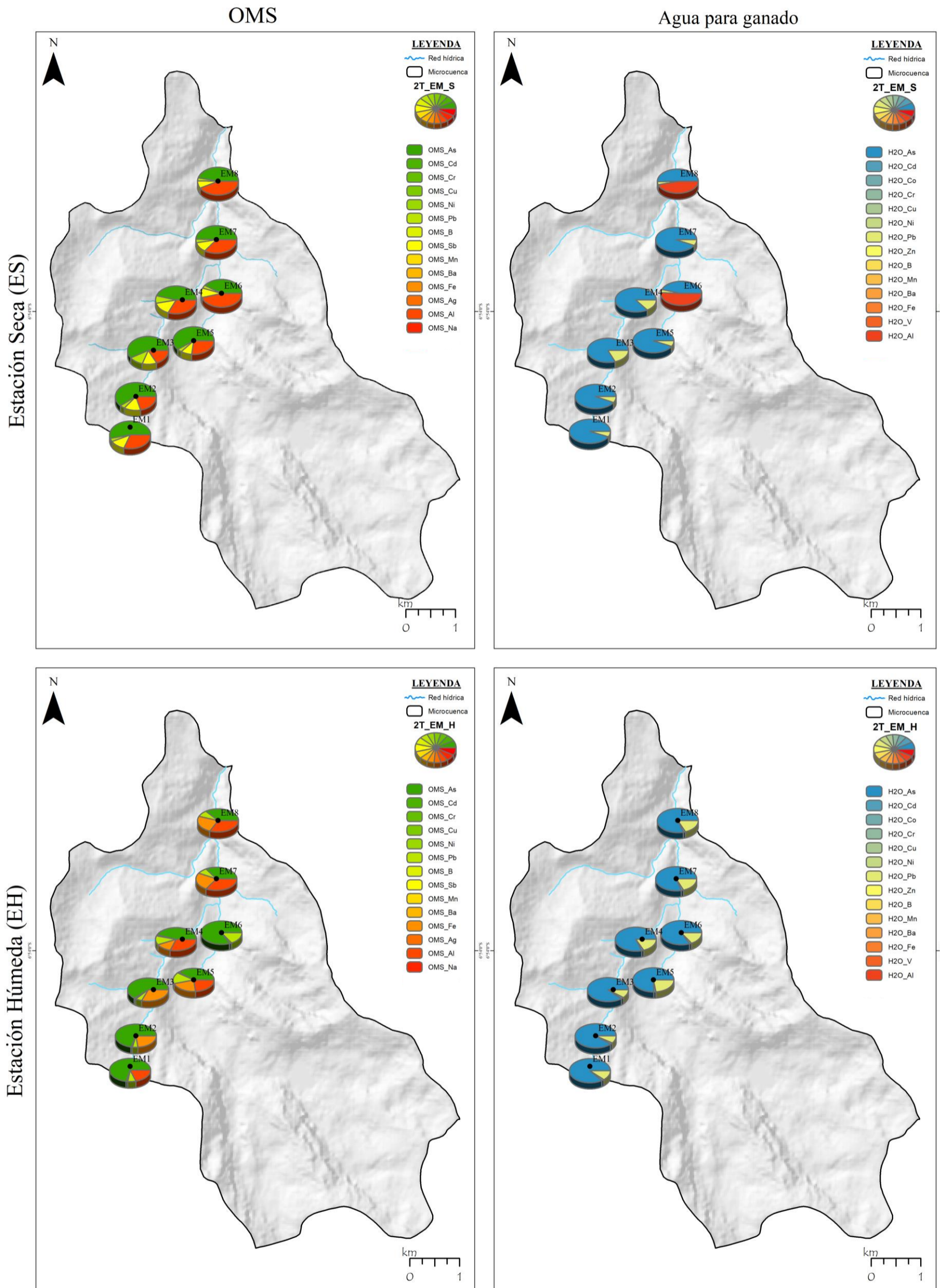
Valores referenciales establecidos para agua según la OMS

Elemento	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	B	Sb	Mn	Ba	Fe	Ag	Al	Na
Unidad (mg)	0.01	0.003	0.05	2.00	0.07	0.01	2.4	0.02	0.1	1.3	0.1	0.1	0.1	200

Valores referenciales establecidos para agua en ganadería

Elemento	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	B	Mn	Ba	Fe	V	Al
Unidad (mg)	0.05	0.005	1	0	1	0.25	0.02	5	5	0.1	10	2	0.1	0.5

**Anexo 2.** Mapa de la concentración de metales y metaloides que sobrepasan los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud y directrices de calidad de agua para vacas lecheras, microcuenca Cabildo.



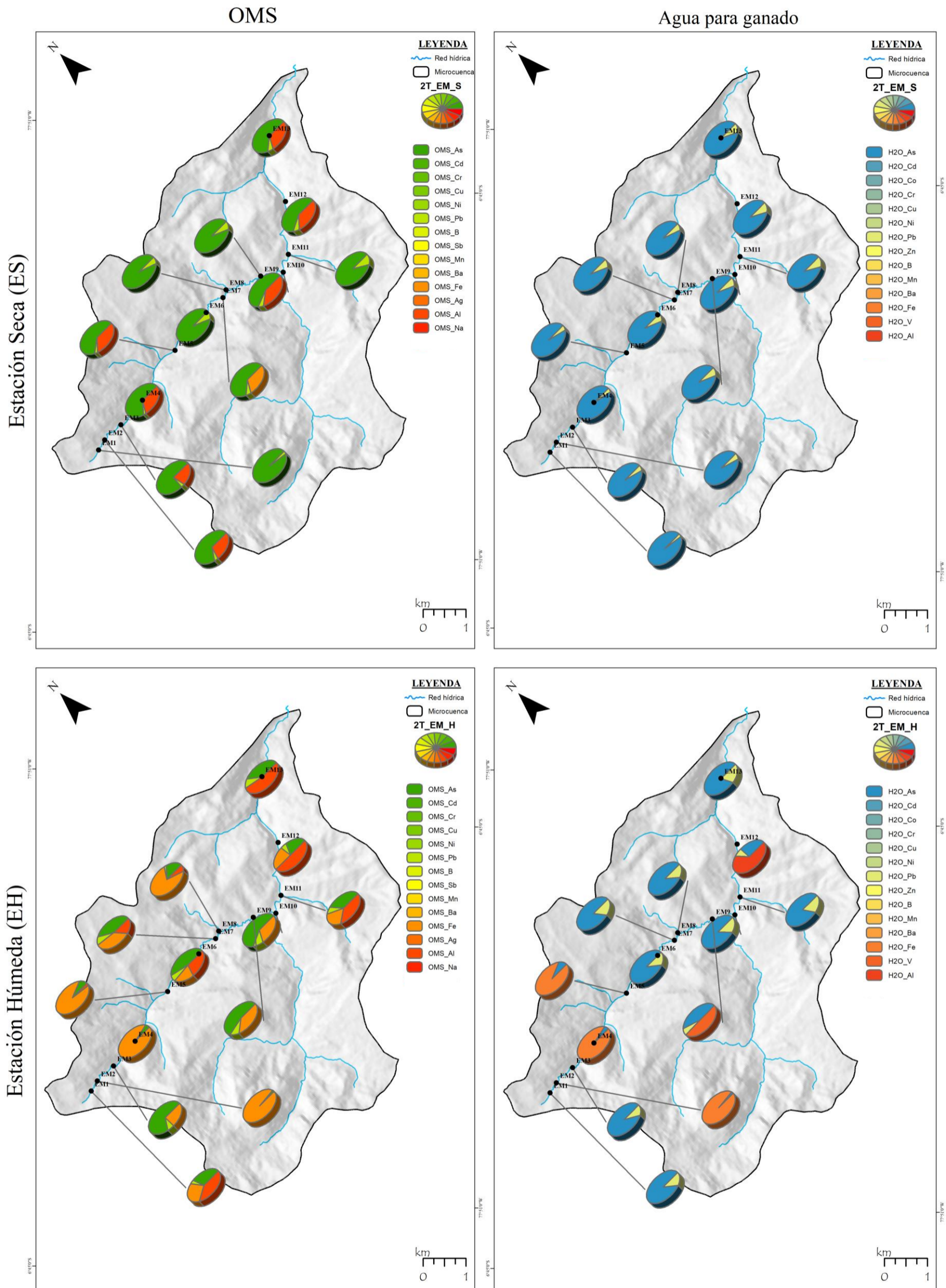
Valores referenciales establecidos para agua según la OMS

Elemento	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	B	Sb	Mn	Ba	Fe	Ag	Al	Na
Unidad (mg)	0.01	0.003	0.05	2.00	0.07	0.01	2.4	0.02	0.1	1.3	0.1	0.1	0.1	200

Valores referenciales establecidos para agua en ganadería

Elemento	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	B	Mn	Ba	Fe	V	Al
Unidad (mg)	0.05	0.005	1	0	1	0.25	0.02	5	5	0.1	10	2	0.1	0.5

**Anexo 3.** Mapa de la concentración de metales y metaloides que sobrepasan los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud y directrices de calidad de agua para vacas lecheras, microcuenca Pomacochas.



Valores referenciales establecidos para agua según la OMS

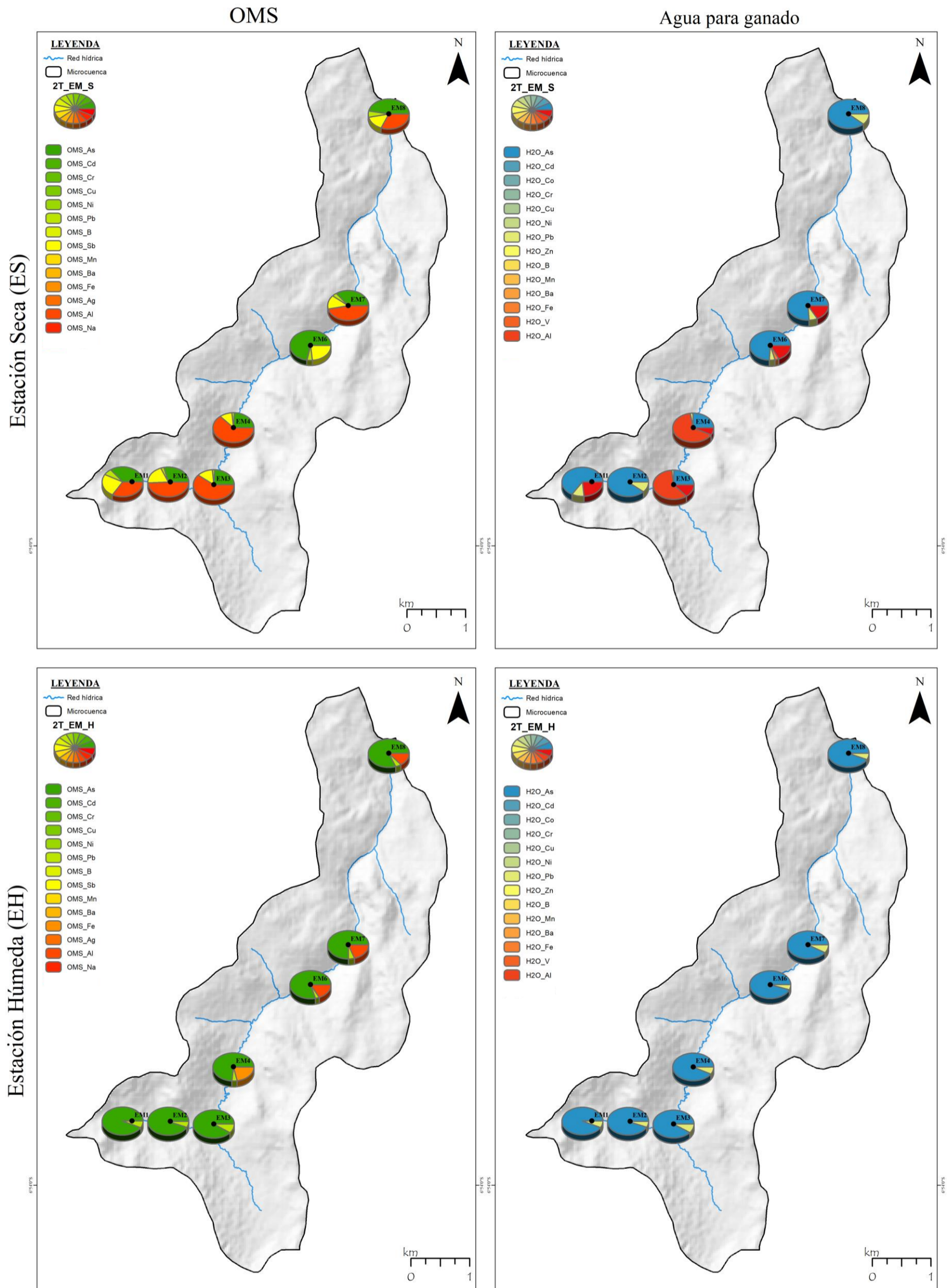
Elemento	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	B	Sb	Mn	Ba	Fe	Ag	Al	Na
Unidad (mg)	0.01	0.003	0.05	2.00	0.07	0.01	2.4	0.02	0.1	1.3	0.1	0.1	0.1	200

Valores referenciales establecidos para agua en ganadería

Elemento	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	B	Mn	Ba	Fe	V	Al
Unidad (mg)	0.05	0.005	1	0	1	0.25	0.02	5	5	0.1	10	2	0.1	0.5



**Anexo 4.** Mapa de la concentración de metales y metaloides que sobrepasan los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud y directrices de calidad de agua para vacas lecheras, microcuenca Timbanbo.



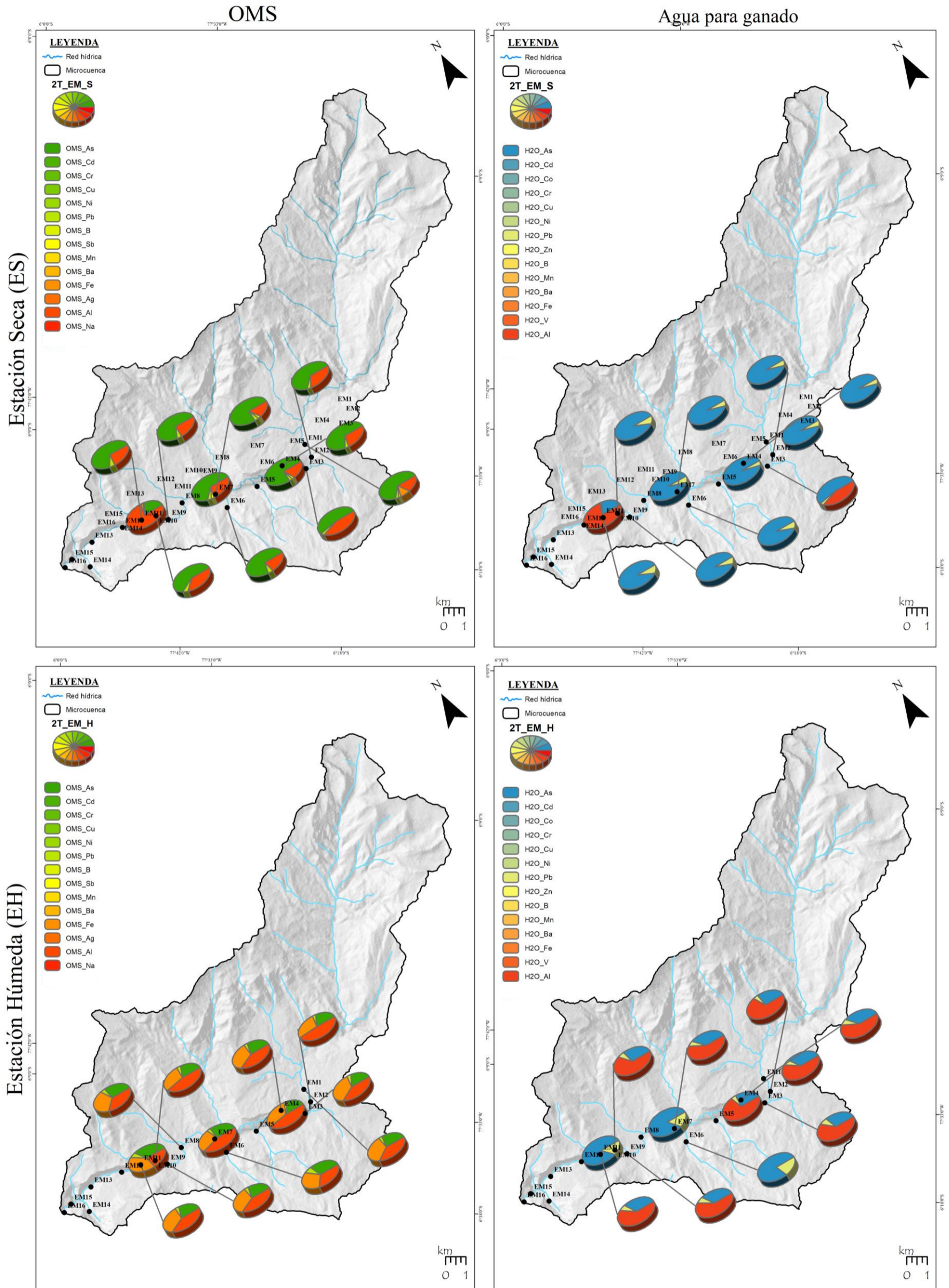
Valores referenciales establecidos para agua según la OMS

Elemento	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	B	Sb	Mn	Ba	Fe	Ag	Al	Na
Unidad (mg)	0.01	0.003	0.05	2.00	0.07	0.01	2.4	0.02	0.1	1.3	0.1	0.1	0.1	200

Valores referenciales establecidos para agua en ganadería

Elemento	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	B	Mn	Ba	Fe	V	Al
Unidad (mg)	0.05	0.005	1	0	1	0.25	0.02	5	5	0.1	10	2	0.1	0.5

**Anexo 5.** Mapa de la concentración de metales y metaloides sobrepasan los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud y directrices de calidad de agua para vacas lecheras, microcuenca Ventilla.



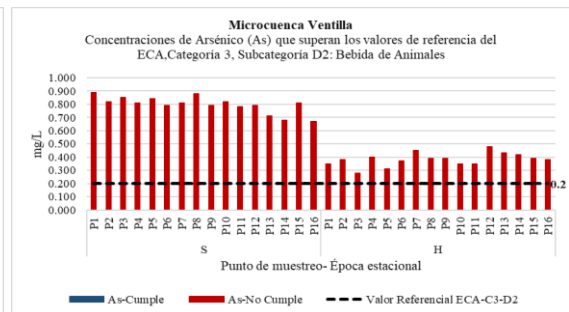
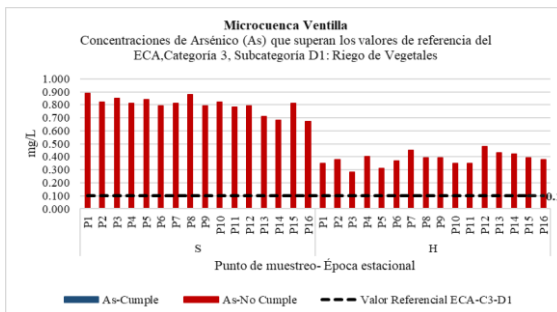
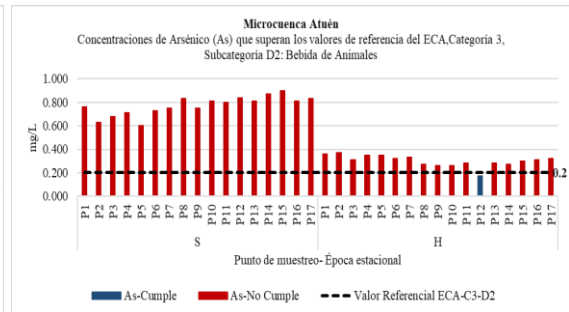
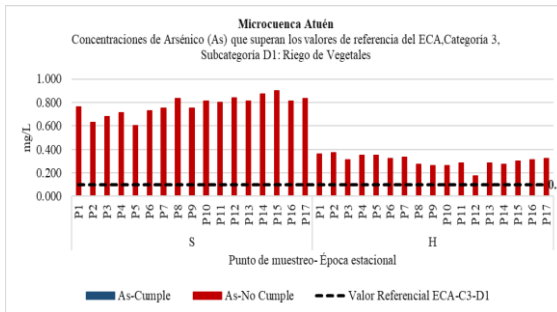
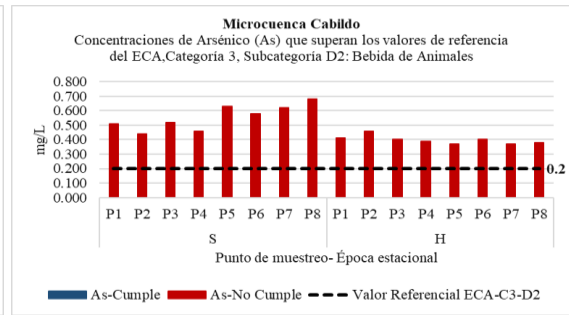
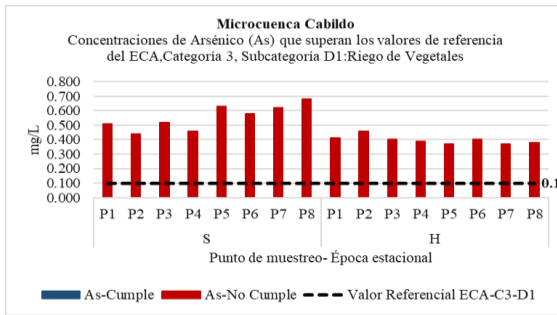
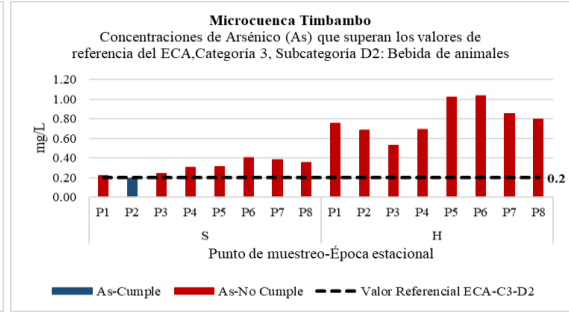
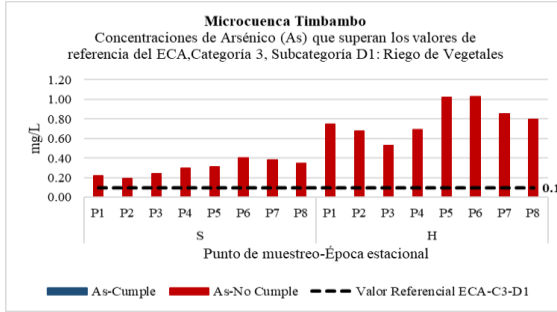
Valores referenciales establecidos para agua según la OMS

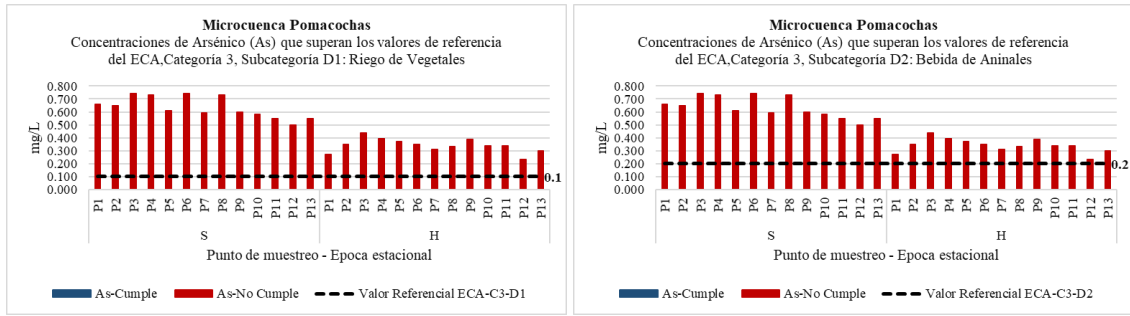
Elemento	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	B	Sb	Mn	Ba	Fe	Ag	Al	Na
Unidad (mg)	0.01	0.003	0.05	2.00	0.07	0.01	2.4	0.02	0.1	1.3	0.1	0.1	0.1	200

Valores referenciales establecidos para agua en ganadería

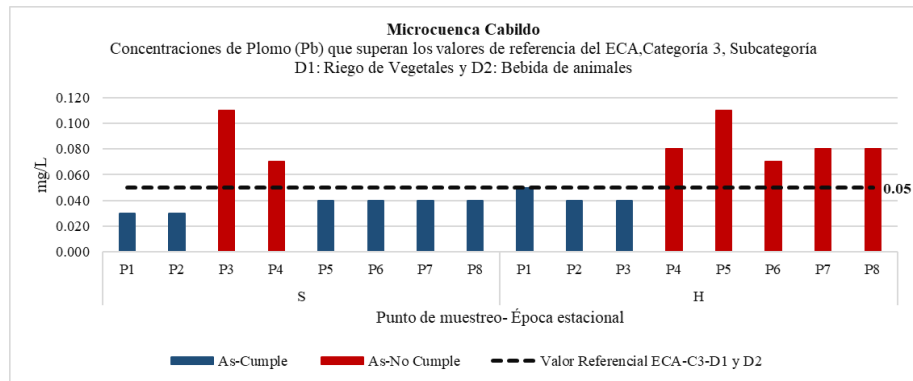
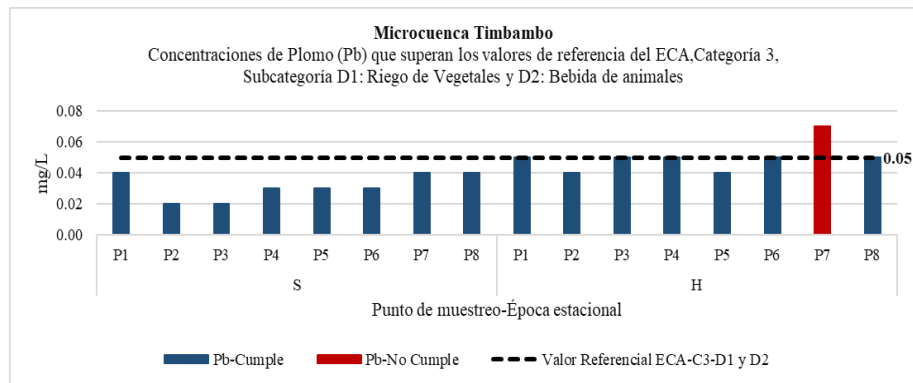
Elemento	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	B	Mn	Ba	Fe	V	Al
Unidad (mg)	0.05	0.005	1	0	1	0.25	0.02	5	5	0.1	10	2	0.1	0.5

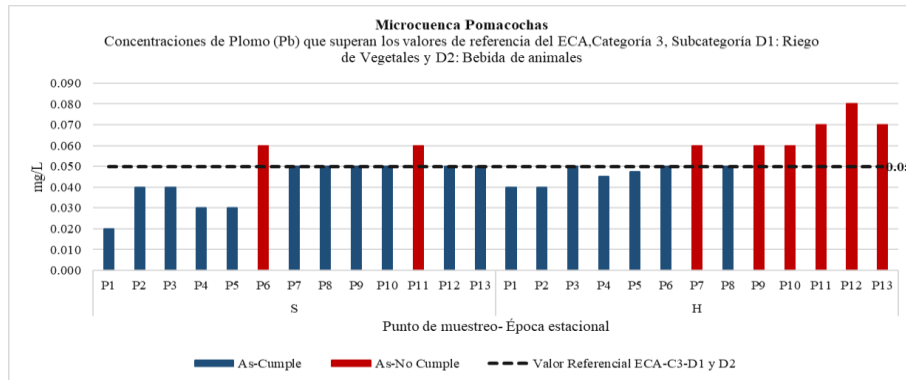
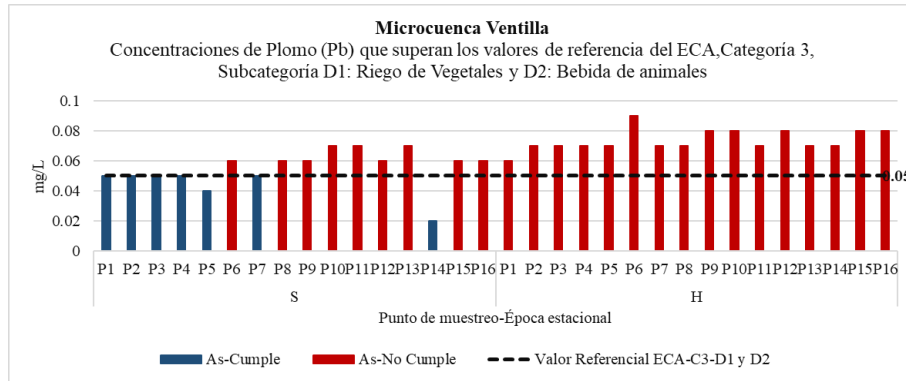
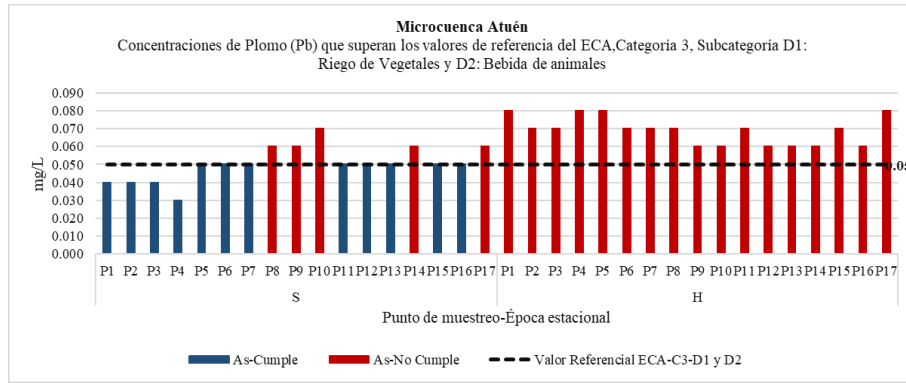
**Anexo 6.** Concentración de arsénico (As) que sobrepasan los valores de referencia de los ECA para Agua, Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, subcategorías D1: Riego de Vegetales y D2: Bebida de animales.





**Anexo 7.** Concentración de plomo (Pb) que sobrepasan los valores de referencia de los ECA para Agua, Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, subcategorías D1: Riego de Vegetales y D2: Bebida de animales.





Anexo 8. Tabla general de datos colectados de Informes de Ensayo- LABISAG.

MC	EM	EE	pH	T (C°)	TRB (UNF)	OD (mg/L)	CE (µS/cm)	SDT (mg/L)	As (mg/L)	Cd (mg/L)	Co (mg/L)	Cr (mg/L)	Cu (mg/L)	Ni (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	B (mg/L)	Sb (mg/L)	Si (mg/L)	Mg (mg/L)	Mn (mg/L)	Ba (mg/L)	Li (mg/L)	Fe (mg/L)	Ag (mg/L)	V (mg/L)	Al (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Sr (mg/L)
TIMBAMBO	1	H	7.960	15.200	0.000	6.490	108.800	65.280	0.750	0.000	0.000	0.010	0.040	0.010	0.050	0.000	0.150	0.000	2.250	3.680	0.000	0.160	0.000	0.040	0.020	0.000	0.040	3.300	0.900	0.130
TIMBAMBO	2	H	7.440	13.200	2.000	6.810	94.100	56.460	0.680	0.000	0.000	0.010	0.030	0.010	0.040	0.000	0.150	0.000	2.270	2.870	0.010	0.120	0.000	0.070	0.020	0.000	0.030	2.660	0.480	0.120
TIMBAMBO	3	H	7.860	16.100	1.000	6.990	81.600	48.960	0.530	0.000	0.000	0.010	0.040	0.010	0.050	0.000	0.150	0.000	2.100	2.210	0.000	0.180	0.000	0.000	0.010	0.000	0.100	2.210	0.470	0.120
TIMBAMBO	4	H	7.910	15.600	1.000	7.130	81.600	48.960	0.690	0.000	0.000	0.010	0.040	0.010	0.050	0.000	0.120	0.000	2.330	2.650	0.000	0.090	0.000	0.200	0.040	0.000	0.060	2.490	0.520	0.130
TIMBAMBO	5	H	8.060	14.800	1.000	7.310	81.900	49.140	1.020	0.000	0.000	0.010	0.040	0.010	0.040	0.000	0.180	0.000	2.860	2.830	0.000	0.140	0.000	0.140	0.040	0.000	0.220	2.690	0.500	0.120
TIMBAMBO	6	H	8.360	13.700	0.000	7.600	173.800	104.280	1.030	0.000	0.000	0.010	0.050	0.010	0.050	0.000	0.190	0.000	2.710	3.720	0.000	0.160	0.000	0.070	0.040	0.000	0.210	2.590	0.710	0.200
TIMBAMBO	7	H	8.560	13.300	0.000	8.280	273.000	163.800	0.850	0.000	0.000	0.010	0.040	0.010	0.070	0.000	0.210	0.000	1.990	8.250	0.000	0.510	0.000	0.000	0.040	0.000	0.210	1.660	0.840	0.280
TIMBAMBO	8	H	8.021	14.557	0.714	7.230	127.829	76.697	0.793	0.000	0.000	0.010	0.040	0.010	0.050	0.000	0.164	0.000	2.359	3.744	0.001	0.194	0.000	0.074	0.030	0.000	0.124	2.514	0.631	0.157
TIMBAMBO	1	S	7.700	14.100	1.160	6.620	162.200	97.320	0.220	0.000	0.010	0.000	0.050	0.000	0.040	0.280	0.140	0.130	3.060	6.420	0.010	0.140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.210	3.620	0.620	0.220
TIMBAMBO	2	S	7.760	17.900	1.440	7.070	158.500	95.100	0.190	0.000	0.000	0.000	0.030	0.000	0.020	0.040	0.080	0.120	3.170	5.440	0.000	0.120	0.000	0.050	0.000	0.040	0.320	4.610	0.670	0.190
TIMBAMBO	3	S	7.590	15.000	0.700	6.560	141.300	84.780	0.240	0.000	0.000	0.000	0.030	0.000	0.020	0.030	0.010	0.140	3.060	4.060	0.000	0.060	0.000	0.040	0.000	0.000	0.590	4.520	0.800	0.160
TIMBAMBO	4	S	7.720	15.900	0.500	6.950	121.800	73.080	0.300	0.000	0.010	0.000	0.050	0.000	0.030	0.110	0.170	0.140	3.430	4.550	0.000	0.220	0.000	0.000	0.000	0.000	0.770	4.960	0.970	0.140
TIMBAMBO	5	S	7.610	12.800	1.030	5.000	175.300	105.180	0.310	0.000	0.000	0.000	0.030	0.000	0.030	0.070	0.030	0.130	1.310	5.560	0.010	0.100	0.000	0.060	0.000	0.010	0.570	4.600	0.940	0.190
TIMBAMBO	6	S	8.390	14.100	0.440	6.950	247.000	148.200	0.400	0.000	0.000	0.000	0.030	0.000	0.030	0.080	0.120	0.130	3.220	4.680	0.010	0.250	0.000	0.020	0.000	0.030	0.070	3.320	0.810	0.290
TIMBAMBO	7	S	8.460	14.300	0.020	7.040	255.000	153.000	0.380	0.000	0.000	0.000	0.030	0.000	0.040	0.050	0.160	0.130	2.910	4.640	0.000	0.320	0.000	0.000	0.000	0.020	0.490	3.230	0.730	0.290
TIMBAMBO	8	S	8.350	15.200	0.670	7.300	316.000	189.600	0.350	0.000	0.000	0.000	0.030	0.000	0.040	0.050	0.150	0.110	3.320	13.690	0.000	0.610	0.000	0.050	0.000	0.090	0.240	1.660	0.860	0.290
CABILDO	1	H	7.390	11.200	1.000	7.140	164.700	98.820	0.410	0.010	0.000	0.010	0.040	0.010	0.050	0.000	0.160	0.000	1.320	2.190	0.000	0.710	0.000	0.050	0.040	0.000	0.110	0.860	0.540	0.210
CABILDO	2	H	7.730	12.700	3.000	7.150	75.800	45.480	0.460	0.010	0.000	0.010	0.040	0.010	0.040	0.000	0.410	0.000	1.290	2.120	0.000	0.420	0.000	0.150	0.040	0.000	0.030	0.850	0.590	0.150
CABILDO	3	H	8.050	14.500	0.000	7.310	122.800	73.680	0.400	0.010	0.000	0.010	0.030	0.010	0.040	0.000	0.280	0.000	1.340	3.000	0.000	0.420	0.000	0.210	0.040	0.000	0.000	0.750	0.620	0.160
CABILDO	4	H	7.730	13.400	5.000	7.350	211.900	127.140	0.390	0.010	0.000	0.010	0.050	0.010	0.080	0.000	0.430	0.000	1.380	4.450	0.000	0.560	0.000	0.110	0.040	0.000	0.270	0.940	0.710	0.270
CABILDO	5	H	7.640	12.700	4.000	8.930	320.000	192.000	0.370	0.010	0.000	0.010	0.050	0.010	0.110	0.000	0.140	0.000	1.340	14.710	0.000	0.240	0.000	0.210	0.040	0.000	0.210	1.200	0.750	0.280
CABILDO	6	H	8.460	13.700	0.000	8.950	320.000	192.000	0.400	0.010	0.000	0.010	0.050	0.010	0.070	0.000	0.210	0.000	1.440	15.620	0.000	0.300	0.000	0.090	0.040	0.000	0.090	0.770	0.540	0.320
CABILDO	7	H	8.150	15.700	2.000	7.150	315.000	189.000	0.370	0.010	0.000	0.010	0.050	0.010	0.080	0.000	0.140	0.000	1.370	13.570	0.000	0.490	0.000	0.210	0.040	0.000	0.370	0.790	0.560	0.320
CABILDO	8	H	8.130	14.100	1.000	7.530	354.000	212.400	0.380	0.010	0.000	0.010	0.040	0.010	0.080	0.000	0.160	0.000	1.320	12.780	0.000	0.320	0.000	0.210	0.040	0.000	0.340	0.860	0.620	0.390
CABILDO	1	S	8.060	12.400	3.950	7.120	326.000	195.600	0.510	0.000	0.000	0.000	0.050	0.000	0.030	0.050	0.130	0.120	3.910	2.560	0.000	0.820	0.000	0.070	0.000	0.010	0.300	3.230	1.710	0.240
CABILDO	2	S	8.100	14.200	0.320	7.060	329.000	197.400	0.440	0.000	0.000	0.000	0.030	0.000	0.030	0.030	0.140	0.120	5.480	2.460	0.000	0.390	0.000	0.000	0.000	0.000	0.150	5.060	1.330	0.150
CABILDO	3	S	8.290	14.200	1.080	6.750	155.200	93.120	0.520	0.000	0.000	0.000	0.030	0.010	0.110	0.050	0.120	0.130	3.940	4.450	0.000	0.440	0.000	0.000	0.000	0.000	0.150	4.390	0.940	0.230
CABILDO	4	S	7.750	16.800	0.370	6.270	486.000	291.600	0.460	0.000	0.000	0.000	0.050	0.010	0.070	0.040	0.170	0.140	3.940	3.210	0.000	0.450	0.000	0.000	0.000	0.000	0.330	4.390	0.940	0.570
CABILDO	5	S	7.890	12.700	1.190	8.280	338.000	202.800	0.630	0.000	0.000	0.000	0.040	0.000	0.040	0.050	0.200	0.110	0.330	16.390	0.000	0.350	0.000	0.060	0.000	0.100	0.290	1.290	0.520	0.260
CABILDO	6	S	8.850	15.900	3.520	8.830	332.000	199.200	0.580	0.000	0.000	0.000	0.030	0.010	0.040	0.030	0.160	0.120	0.810	16.120	0.000	0.280	0.000	0.030	0.000	0.090	0.640	1.710	0.600	0.280
CABILDO	7	S	8.830	17.600	2.400	6.350	310.000	186.000	0.620	0.000	0.000	0.000	0.040	0.010	0.040	0.040	0.140	0.130	0.460	16.020	0.000	0.300	0.000	0.030	0.000	0.080	0.460	1.540	0.720	0.320
CABILDO	8	S	8.590	16.500	3.610	6.590	321.000	192.600	0.680	0.000	0.000	0.000	0.010	0.010	0.040	0.030	0.020	0.100	1.230	15.040	0.000	0.280	0.000	0.000	0.000	0.070	0.630	1.640	0.610	0.360
ATUÉN	1	H	7.560	16.100	36.000	7.910	41.800	25.080	0.360	0.010	0.000	0.010	0.030	0.010	0.080	0.000	0.170	0.000	1.320	10.970	0.000	0.400	0.000	0.140	0.040	0.000	0.400	0.900	0.670	0.490
ATUÉN	2	H	7.230	16.300	37.800	7.680	41.800	26.300	0.370	0.010	0.000	0.010	0.040	0.010	0.070	0.000	0.170	0.000	6.370	11.090	0.000	0.340	0.000	0.200	0.040	0.000	0.280	4.320	1.680	0.510
ATUÉN	3	H	7.890	16.500	37.960	7.650	42.500	26.700	0.310	0.010	0.000	0.010	0.030	0.010	0.070	0.000	0.140	0.000	4.260	2.480	0.000	0.490	0.000	0.070	0.040	0.000	0.140	3.630	0.940	0.490
ATUÉN	4	H	7.560	16.500	37.800	7.380	42.500	26.600	0.350	0.010	0.000	0.010	0.040	0.010	0.080	0.000	0.090	0.000	4.030	10.970	0.000	0.310	0.000	0.140	0.040	0.000	0.270	3.320	0.890	0.520
ATUÉN	5	H	7.530	16.700	38.200	7.590	42.600	25.600	0.350	0.000	0.020	0.000	0.050	0.010	0.080	0.060	0.250	0.000	2.850	4.150	0.000	0.150	0.000	0.180	0.040	0.000	0.470	1.990	0.760	0.560
ATUÉN	6	H	7.560	16.700	38.200	7.680	42.700	26.300	0.320	0.010	0.000	0.010	0.050	0.010	0.070	0.000	0.270	0.000	2.750	11.950	0.000	0.480	0.000	0.080	0.040	0.000	0.030	2.890	1.010	0.580
ATUÉN	7	H	7.580	16.800	39.500	7.690	42.900	27.500	0.330	0.010	0.000	0.010	0.040	0.010	0.070	0.000	0.060	0.000	0.960	10.420	0.000	0.300	0.000	0.090						

MC	EM	EE	pH	T (C°)	TRB (UNF)	OD (mg/L)	CE (µS/cm)	SDT (mg/L)	As (mg/L)	Cd (mg/L)	Co (mg/L)	Cr (mg/L)	Cu (mg/L)	Ni (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	B (mg/L)	Sb (mg/L)	Si (mg/L)	Mg (mg/L)	Mn (mg/L)	Ba (mg/L)	Li (mg/L)	Fe (mg/L)	Ag (mg/L)	V (mg/L)	Al (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Sr (mg/L)
POMACOCHAS	8	H	7.800	13.000	18.000	8.230	51.300	30.780	0.330	0.000	0.020	0.000	0.050	0.010	0.050	0.030	0.170	0.000	1.380	3.580	0.010	0.240	0.000	1.640	0.040	0.000	0.140	1.280	0.600	0.110
POMACOCHAS	9	H	8.780	14.500	13.000	8.450	137.200	82.320	0.390	0.000	0.010	0.000	0.050	0.010	0.060	0.030	0.220	0.000	2.030	4.680	0.000	0.250	0.000	0.270	0.020	0.440	0.050	1.790	0.550	0.160
POMACOCHAS	10	H	8.540	14.400	5.000	8.300	201.800	121.080	0.340	0.000	0.000	0.000	0.050	0.010	0.060	0.020	0.170	0.000	1.990	3.920	0.000	0.290	0.000	0.180	0.040	0.000	0.030	1.790	0.750	0.220
POMACOCHAS	11	H	8.710	15.100	3.000	8.530	176.800	106.080	0.340	0.000	0.000	0.000	0.030	0.010	0.070	0.010	0.310	0.000	2.020	4.150	0.000	0.300	0.000	0.200	0.040	0.000	0.380	1.910	0.630	0.170
POMACOCHAS	12	H	8.690	15.300	4.000	8.180	175.200	105.120	0.230	0.000	0.000	0.000	0.040	0.010	0.080	0.020	0.250	0.000	2.060	4.440	0.000	0.220	0.000	0.270	0.040	0.000	0.580	2.120	0.860	0.200
POMACOCHAS	13	H	8.400	15.100	4.000	8.400	179.600	107.760	0.300	0.000	0.000	0.000	0.050	0.010	0.070	0.030	0.130	0.000	2.080	4.330	0.000	0.190	0.000	0.080	0.040	0.000	0.430	1.820	0.550	0.190
POMACOCHAS	1	S	6.800	11.800	2.710	7.310	11.140	6.684	0.660	0.000	0.010	0.000	0.010	0.000	0.020	0.000	0.000	0.000	0.740	0.400	0.000	0.010	0.000	0.000	0.010	0.000	0.070	1.420	0.580	0.030
POMACOCHAS	2	S	7.050	10.600	1.790	7.840	14.750	8.850	0.650	0.000	0.010	0.000	0.060	0.010	0.040	0.090	0.230	0.000	0.790	1.020	0.000	0.150	0.000	0.000	0.010	0.000	0.280	1.700	0.650	0.090
POMACOCHAS	3	S	7.350	10.300	9.000	7.650	27.300	16.380	0.740	0.000	0.010	0.000	0.030	0.010	0.040	0.090	0.180	0.000	2.110	1.270	0.000	0.090	0.000	0.080	0.010	0.000	0.220	2.040	0.500	0.060
POMACOCHAS	4	S	7.260	11.100	4.000	7.690	23.500	14.100	0.730	0.000	0.010	0.000	0.040	0.010	0.030	0.030	0.120	0.000	1.630	1.170	0.000	0.080	0.000	0.000	0.010	0.000	0.360	2.130	0.530	0.070
POMACOCHAS	5	S	7.620	13.700	35.000	7.670	71.000	42.600	0.610	0.000	0.010	0.000	0.010	0.010	0.030	0.000	0.000	0.000	0.430	0.820	0.000	0.020	0.000	0.000	0.010	0.000	0.350	1.390	1.250	0.060
POMACOCHAS	6	S	8.280	14.800	19.000	7.620	179.100	107.460	0.740	0.000	0.000	0.000	0.040	0.010	0.060	0.040	0.120	0.000	5.300	4.290	0.000	0.140	0.000	0.080	0.010	0.000	0.070	12.280	1.390	0.180
POMACOCHAS	7	S	8.190	16.000	15.000	7.480	169.200	101.520	0.590	0.000	0.000	0.000	0.050	0.010	0.050	0.000	0.090	0.000	2.170	3.940	0.000	0.140	0.000	0.300	0.010	0.000	0.030	2.070	1.020	0.170
POMACOCHAS	8	S	8.450	17.100	16.000	7.350	163.400	98.040	0.730	0.000	0.000	0.000	0.050	0.010	0.050	0.000	0.080	0.000	2.020	3.770	0.000	0.130	0.000	0.010	0.010	0.000	0.050	2.050	1.120	0.160
POMACOCHAS	9	S	8.500	16.400	7.000	7.630	177.900	106.740	0.600	0.000	0.000	0.000	0.040	0.010	0.050	0.050	0.080	0.000	2.210	3.670	0.000	0.180	0.000	0.050	0.010	0.000	0.050	2.110	0.810	0.180
POMACOCHAS	10	S	8.520	17.900	18.000	7.460	167.500	100.500	0.580	0.000	0.000	0.000	0.050	0.010	0.050	0.000	0.110	0.000	0.760	3.650	0.000	0.160	0.000	0.040	0.010	0.000	0.390	6.930	1.100	0.170
POMACOCHAS	11	S	8.640	18.500	25.000	7.150	187.000	112.200	0.550	0.000	0.000	0.010	0.040	0.010	0.060	0.000	0.240	0.000	0.880	3.420	0.000	0.240	0.000	0.070	0.010	0.000	0.030	2.630	1.050	0.160
POMACOCHAS	12	S	8.330	17.000	21.000	7.480	170.900	102.540	0.500	0.000	0.000	0.000	0.040	0.010	0.050	0.000	0.000	0.000	1.070	3.600	0.000	0.100	0.000	0.070	0.010	0.000	0.300	2.720	1.080	0.170
POMACOCHAS	13	S	8.290	15.700	28.000	7.980	163.500	98.100	0.550	0.000	0.000	0.000	0.050	0.010	0.050	0.000	0.170	0.000	0.680	3.360	0.000	0.220	0.000	0.070	0.020	0.000	0.280	5.030	3.880	0.160
VENTILLA	1	H	7.370	16.500	0.000	8.000	49.100	29.460	0.350	0.000	0.000	0.010	0.050	0.020	0.060	0.050	0.200	0.000	2.210	1.320	0.010	0.170	0.000	0.510	0.040	0.000	0.580	1.880	0.780	0.120
VENTILLA	2	H	7.280	16.850	0.500	7.970	51.700	31.020	0.380	0.000	0.000	0.000	0.050	0.020	0.070	0.030	0.230	0.000	2.180	1.200	0.010	0.220	0.000	0.530	0.040	0.000	0.940	2.160	0.650	0.130
VENTILLA	3	H	7.420	16.725	16.750	7.830	53.150	31.890	0.280	0.000	0.000	0.010	0.050	0.020	0.070	0.030	0.150	0.000	1.280	1.240	0.010	0.120	0.000	0.530	0.040	0.000	0.590	0.950	0.550	0.130
VENTILLA	4	H	7.190	17.200	1.000	7.940	54.300	32.580	0.400	0.000	0.000	0.010	0.060	0.020	0.070	0.030	0.110	0.000	1.260	1.290	0.010	0.110	0.000	0.570	0.040	0.000	0.730	0.770	0.450	0.140
VENTILLA	5	H	7.560	16.600	33.000	7.690	54.600	32.760	0.310	0.000	0.000	0.010	0.050	0.020	0.070	0.060	0.160	0.000	1.440	1.280	0.010	0.150	0.000	0.640	0.040	0.000	0.890	1.440	0.530	0.130
VENTILLA	6	H	8.290	16.200	19.000	8.110	52.200	31.320	0.370	0.000	0.000	0.010	0.050	0.020	0.090	0.030	0.120	0.000	1.460	3.050	0.010	0.140	0.000	0.360	0.040	0.000	0.400	1.260	0.560	0.270
VENTILLA	7	H	7.680	16.500	42.000	7.610	73.900	44.340	0.450	0.000	0.000	0.010	0.040	0.020	0.070	0.020	0.160	0.000	1.400	1.550	0.000	0.140	0.000	0.420	0.040	0.000	0.750	2.000	0.780	0.150
VENTILLA	8	H	7.710	16.300	5.000	7.860	72.500	43.500	0.390	0.000	0.000	0.010	0.050	0.020	0.070	0.030	0.200	0.000	1.460	1.480	0.000	0.200	0.000	0.460	0.040	0.000	0.500	1.710	0.690	0.150
VENTILLA	9	H	7.770	16.800	34.000	7.910	82.500	49.500	0.390	0.000	0.000	0.010	0.050	0.020	0.080	0.030	0.210	0.000	1.470	1.550	0.010	0.190	0.000	0.540	0.040	0.000	0.710	1.550	0.580	0.160
VENTILLA	10	H	7.800	17.300	38.000	7.860	81.200	48.720	0.350	0.000	0.000	0.010	0.060	0.020	0.080	0.080	0.230	0.000	1.400	1.730	0.010	0.190	0.000	0.490	0.040	0.000	0.790	1.850	0.710	0.170
VENTILLA	11	H	7.780	16.800	33.000	8.160	83.800	50.280	0.350	0.000	0.000	0.010	0.040	0.020	0.070	0.090	0.130	0.000	1.410	1.430	0.010	0.130	0.000	0.540	0.040	0.000	0.660	2.060	0.820	0.140
VENTILLA	12	H	7.930	16.800	13.000	8.250	96.900	58.140	0.480	0.000	0.000	0.010	0.060	0.020	0.080	0.050	0.120	0.000	1.390	1.640	0.010	0.120	0.000	0.540	0.040	0.000	0.320	2.160	0.690	0.170
VENTILLA	13	H	6.380	15.900	24.000	8.530	151.700	91.020	0.430	0.000	0.000	0.010	0.050	0.020	0.070	0.140	0.120	0.000	1.380	0.690	0.000	0.110	0.000	0.350	0.040	0.000	1.000	1.870	0.710	0.080
VENTILLA	14	H	4.620	15.200	33.000	8.530	184.800	110.880	0.420	0.000	0.000	0.010	0.050	0.020	0.070	1.400	0.150	0.000	1.420	0.690	0.000	0.100	0.000	0.290	0.050	0.000	0.740	2.780	0.740	0.090
VENTILLA	15	H	7.900	15.000	38.000	8.950	82.100	49.260	0.390	0.000	0.000	0.010	0.070	0.020	0.080	0.070	0.140	0.000	1.450	1.610	0.000	0.150	0.000	0.640	0.040	0.000	0.420	2.030	0.760	0.170
VENTILLA	16	H	7.910	15.000	30.000	8.910	79.000	47.400	0.380	0.000	0.000	0.010	0.050	0.020	0.080	0.020	0.300	0.000	1.460	1.510	0.000	0.290	0.000	0.550	0.050	0.000	0.750	2.250	0.710	0.150
VENTILLA	1	S	8.390	14.200	5.590	8.670	125.300	75.180	0.890	0.000	0.000	0.000	0.040	0.010	0.050	0.040	0.160	0.030	2.200	2.380	0.000	0.210	0.000	0.150	0.000	0.000	0.230	10.160	1.140	0.200
VENTILLA	2	S	8.270	14.100	7.720	8.270	127.400	76.440	0.820	0.000	0.000	0.000	0.040	0.010	0.050	0.030	0.200	0.004	0.320	2.590	0.000	0.260	0.000	0.060	0.000	0.000	0.390	10.980	0.950	0.210
VENTILLA	3	S	8.030	14.150	7.440	7.970	144.900	86.940	0.850	0.000	0.000	0.000	0.040	0.010	0.050	0.040	0.180	0.010	1.740	2.690	0.000	0.260	0.000	0.060	0.000	0.000	0.690	3.180	1.020	0.250
VENTILLA	4	S	8.220	15.300	4.710	8.130	134.000	80.400	0.810	0.000	0.000	0.000	0.040	0.010	0.050	0.090	0.160	0.020	2.890	2.730	0.000	0.200	0.000	0.100	0.010	0.000	0.320	10.520</		

**Anexo 09.** Tabla general de correlación de Spearman

	<b>pH</b>	<b>T</b>	<b>TRB</b>	<b>OD</b>	<b>CE</b>	<b>SDT</b>	<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Co</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>B</b>	<b>Sb</b>	<b>Si</b>	<b>Mg</b>	<b>Mn</b>	<b>Ba</b>	<b>Li</b>	<b>Fe</b>	<b>Ag</b>	<b>V</b>	<b>Al</b>
<b>pH</b>	1	-0.087	-0.235	0.281	0.698	0.7	0.483	-0.258	-0.288	-0.408	-0.055	-0.297	-0.099	0.167	0.015	0.414	0.061	0.431	-0.201	0.33	0.152	-0.359	-0.513	0.32	-0.038
<b>T</b>	-0.087	1	0.409	-0.196	-0.169	-0.17	-0.218	0.059	-0.375	0.215	0.216	0.397	0.39	-0.165	-0.135	-0.215	-0.08	-0.124	0.07	-0.224	0.104	0.086	0.201	-0.091	0.158
<b>TRB</b>	-0.235	0.409	1	0.156	-0.417	-0.427	-0.306	0.271	-0.084	0.21	0.208	0.393	0.392	-0.182	0.07	-0.393	-0.251	-0.146	-0.075	-0.109	0.041	0.314	0.38	-0.204	0.061
<b>OD</b>	0.281	-0.196	0.156	1	0.078	0.083	0.17	-0.102	-0.01	-0.061	0.253	0.259	0.358	0.242	0.27	-0.158	-0.159	0.01	-0.025	0.07	0.147	0.26	0.162	-0.171	0.189
<b>CE</b>	0.698	-0.169	-0.417	0.078	1	0.999	0.431	-0.232	-0.43	-0.354	0.027	-0.376	-0.115	0.282	-0.135	0.582	0.131	0.469	-0.157	0.375	0.018	-0.397	-0.592	0.46	0.058
<b>SDT</b>	0.7	-0.17	-0.427	0.083	0.999	1	0.433	-0.23	-0.431	-0.347	0.026	-0.369	-0.117	0.283	-0.142	0.582	0.137	0.465	-0.146	0.374	0.018	-0.393	-0.592	0.46	0.066
<b>As</b>	0.483	-0.218	-0.306	0.17	0.431	0.433	1	-0.409	-0.187	-0.27	-0.023	-0.115	-0.244	0.226	-0.129	0.245	0.032	-0.004	-0.235	0.047	0.183	-0.466	-0.531	0.028	-0.072
<b>Cd</b>	-0.258	0.059	0.271	-0.102	-0.232	-0.23	-0.409	1	-0.185	0.569	-0.026	0.024	0.312	-0.544	0.204	-0.304	-0.099	0.285	-0.192	0.419	-0.058	0.18	0.437	-0.179	-0.204
<b>Co</b>	-0.288	-0.375	-0.084	-0.01	-0.43	-0.431	-0.187	-0.185	1	-0.277	-0.146	-0.099	-0.327	0.078	0.043	-0.165	-0.149	-0.221	0.078	-0.316	-0.053	0.093	0.11	-0.094	-0.119
<b>Cr</b>	-0.408	0.215	0.21	-0.061	-0.354	-0.347	-0.27	0.569	-0.277	1	0.233	0.499	0.454	-0.382	0.178	-0.525	-0.016	-0.149	0.171	0.012	-0.1	0.433	0.641	-0.31	0.065
<b>Cu</b>	-0.055	0.216	0.208	0.253	0.027	0.026	-0.023	-0.026	-0.146	0.233	1	0.424	0.448	0.193	0.23	-0.239	0.02	-0.079	0.131	0.052	-0.119	0.258	0.228	-0.277	0.184
<b>Ni</b>	-0.297	0.397	0.393	0.259	-0.376	-0.369	-0.115	0.024	-0.099	0.499	0.424	1	0.588	-0.069	0.124	-0.595	-0.218	-0.446	0.271	-0.274	0.007	0.556	0.627	-0.412	0.262
<b>Pb</b>	-0.099	0.39	0.392	0.358	-0.115	-0.117	-0.244	0.312	-0.327	0.454	0.448	0.588	1	-0.107	0.236	-0.459	0.031	0	0.054	0.136	-0.009	0.449	0.563	-0.417	0.22
<b>Zn</b>	0.167	-0.165	-0.182	0.242	0.282	0.283	0.226	-0.544	0.078	-0.382	0.193	-0.069	-0.107	1	-0.018	0.517	0.245	-0.031	0.196	-0.025	0.071	-0.134	-0.458	0.231	0.403
<b>B</b>	0.015	-0.135	0.07	0.27	-0.135	-0.142	-0.129	0.204	0.043	0.178	0.23	0.124	0.236	-0.018	1	-0.166	0.045	0.056	-0.078	0.379	-0.039	0.248	0.3	-0.162	-0.021
<b>Sb</b>	0.414	-0.215	-0.393	-0.158	0.582	0.582	0.245	-0.304	-0.165	-0.525	-0.239	-0.595	-0.459	0.517	-0.166	1	0.281	0.377	-0.068	0.304	0.136	-0.536	-0.822	0.583	0.187
<b>Si</b>	0.061	-0.08	-0.251	-0.159	0.131	0.137	0.032	-0.099	-0.149	-0.016	0.02	-0.218	0.031	0.245	0.045	0.281	1	0.092	-0.013	0.188	-0.161	-0.053	-0.171	0.015	0.042
<b>Mg</b>	0.431	-0.124	-0.146	0.01	0.469	0.465	-0.004	0.285	-0.221	-0.149	-0.079	-0.446	0	-0.031	0.056	0.377	0.092	1	-0.217	0.576	-0.051	-0.226	-0.289	0.438	-0.164
<b>Mn</b>	-0.201	0.07	-0.075	-0.025	-0.157	-0.146	-0.235	-0.192	0.078	0.171	0.131	0.271	0.054	0.196	-0.078	-0.068	-0.013	-0.217	1	-0.294	-0.054	0.348	0.168	0.017	0.2
<b>Ba</b>	0.33	-0.224	-0.109	0.07	0.375	0.374	0.047	0.419	-0.316	0.012	0.052	-0.274	0.136	-0.025	0.379	0.304	0.188	0.576	-0.294	1	-0.149	-0.18	-0.17	0.193	-0.144
<b>Li</b>	0.152	0.104	0.041	0.147	0.018	0.018	0.183	-0.058	-0.053	-0.1	-0.119	0.007	-0.009	0.071	-0.039	0.136	-0.161	-0.051	-0.054	-0.149	1	-0.178	-0.05	-0.051	0.005
<b>Fe</b>	-0.359	0.086	0.314	0.26	-0.397	-0.393	-0.466	0.18	0.093	0.433	0.258	0.556	0.449	-0.134	0.248	-0.536	-0.053	-0.226	0.348	-0.18	-0.178	1	0.73	-0.232	0.186
<b>Ag</b>	-0.513	0.201	0.38	0.162	-0.592	-0.592	-0.531	0.437	0.11	0.641	0.228	0.627	0.563	-0.458	0.3	-0.822	-0.171	-0.289	0.168	-0.17	-0.05	0.73	1	-0.485	-0.032
<b>V</b>	0.32	-0.091	-0.204	-0.171	0.46	0.46	0.028	-0.179	-0.094	-0.31	-0.277	-0.412	-0.417	0.231	-0.162	0.583	0.015	0.438	0.017	0.193	-0.051	-0.232	-0.485	1	0.049
<b>Al</b>	-0.038	0.158	0.061	0.189	0.058	0.066	-0.072	-0.204	-0.119	0.065	0.184	0.262	0.22	0.403	-0.021	0.187	0.042	-0.164	0.2	-0.144	0.005	0.186	-0.032	0.049	1



## Anexo 10. Carta de autorización para uso de información


### CARTA DE AUTORIZACIÓN

Chachapoyas, setiembre del 2020.

Yo Jesús Rascón Barrios con Carnet de Extranjería(CE) 001483863, de profesión biólogo actualmente designado Responsable del Laboratorio de investigación en Aguas y Suelos de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas con Resolución Rectoral N° 097-2020-UNTRM/R y Yo Rainer Marco López Lapa, con DNI N° 41229580, de profesión Doctor en Ciencias Biológicas, actualmente designado coordinador general del proyecto “Determinación del impacto de la actividad ganadera sobre la calidad del agua y establecimiento de medidas de prevención y mitigación ante la contaminación en las principales microcuencas de la región Amazonas.”, CONTRATO N°:027-INIA-PNIA/UPMSI/IE, con Resolución Rectoral N°391-2019-UNTRM/R, **AUTORIZAMOS** a la estudiante de Maestría en Gestión para el Desarrollo Sustentable, Damaris Leiva Tafur con DNI 47671646, acceder a los **Informes de ensayo del laboratorio** en miras a ejecutar la tesis titulada “EVALUACIÓN ESPACIO TEMPORAL DE METALES Y METALOIDES EN EL AGUA DE LAS PRINCIPALES MICROCUENCAS GANADERAS DE LA PROVINCIA DE CHACHAPOYAS EN LOS AÑOS 2017-2018, AMAZONAS, PERÚ” aprobada con resolución N°0154-2020-UNTRM/EPG.

Se expide el presente documento para los fines que estime conveniente.

UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS DE LA TIERRA  
LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS  
JESÚS RASCÓN BARRIOS

  
Dr. Rainer Marco López Lapa  
Coordinador General  
CONTRATO N°:027-INIA-PNIA/UPMSI/IE

## Anexo 11. Scripts R utilizados en el análisis estadístico de los datos

```
R version 4.1.0 (2021-05-18) -- "Camp Pontanezen"
Copyright (C) 2021 The R Foundation for Statistical Computing
Platform: i386-w64-mingw32/i386 (32-bit)
R is free software and comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY.
You are welcome to redistribute it under certain conditions.
Type 'license()' or 'licence()' for distribution details.
R is a collaborative project with many contributors.
Type 'contributors()' for more information and
'citation()' on how to cite R or R packages in publications.
Type 'demo()' for some demos, 'help()' for on-line help, or
'help.start()' for an HTML browser interface to help.
Type 'q()' to quit R.
```

### 1. Librerías utilizadas

```
> install.packages("factoextra")
> install.packages("psych")
> install.packages("GPArotation")
> install.packages("modeest")
> install.packages("raster")
> install.packages("moments")
> install.packages("ggplot2")
> install.packages("ggbiplot")
> install.packages("ggthemes")
> install.packages("corrplot")
> install.packages("mvShapiroTest")
> install.packages("RODBC")
> install.packages("BiodiversityR")
> install.packages("pairwiseAdonis")
> install.packages("RVAideMemoire")
> install.packages("dplyr")
> install.packages("dplyr")
> install.packages("agricolae")
```

### 2. Apertura de Librerías

```
>library(openxlsx)
>library(MVN)
>library(corrplot)
>library(vegan)
>library(cluster)
>library(factoextra)
>library(ggplot2)
>library(dplyr)
>library(psych)
>library(GPArotation)
>library(modeest)
>library(raster)
>library(moments)
>library(ggplot2)
>library(ggbiplot)
>library(ggthemes)
>library(corrplot)
>library(cowplot)
>library(vegan)
>library(psych)
>library(normtest)
>library(MVN)
>library(mvShapiroTest)
>library(RODBC)
>library(BiodiversityR)
>library(pairwiseAdonis)
>library(RVAideMemoire)
>library(devtools)
>library(devtools)
```

### 3. Lectura de los datos

```
>METALES=read.xlsx("C:/Users/UNTRM/Desktop/RTESIS/tesismetales.xlsx")
> METALES
> PARAMETROS = METALES[,4:28]
> PARAMETROS
```

### 4. Determinación de la normalidad

```
> shapiro.test(METALES$pH)
> shapiro.test(METALES$T)
> shapiro.test(METALES$TRB)
> shapiro.test(METALES$OD)
> shapiro.test(METALES$CE)
> shapiro.test(METALES$SDT)
> shapiro.test(METALES$As)
> shapiro.test(METALES$Cd)
> shapiro.test(METALES$Co)
> shapiro.test(METALES$Cr)
```

```

> shapiro.test(METALES$Cu)
> shapiro.test(METALES$Ni)
> shapiro.test(METALES$Pb)
> shapiro.test(METALES$Zn)
> shapiro.test(METALES$B)
> shapiro.test(METALES$Sb)
> shapiro.test(METALES$Si)
> shapiro.test(METALES$Mg)
> shapiro.test(METALES$Mn)
> shapiro.test(METALES$Ba)
> shapiro.test(METALES$Li)
> shapiro.test(METALES$Fe)
> shapiro.test(METALES$Ag)
> shapiro.test(METALES$V)
> shapiro.test(METALES$Al)
> shapiro.test(METALES$Na)
> shapiro.test(METALES$K)
> shapiro.test(METALES$Sr)

```

### 5. Determinación de la homogeneidad

```

> METALES = read.xlsx("C:/Users/UNTRM/Desktop/R TESIS/tesismetales.xlsx")
> METALES

```

#### pH

```

> bartlett.test(METALES$pH ~ METALES$MC)
> bartlett.test(METALES$pH ~ METALES$EM)
> bartlett.test(METALES$pH ~ METALES$EE)

```

#### T

```

> bartlett.test(METALES$T ~ METALES$MC)
> bartlett.test(METALES$T ~ METALES$EM)
> bartlett.test(METALES$T ~ METALES$EE)

```

#### TRB

```

> bartlett.test(METALES$TRB ~ METALES$MC)
> bartlett.test(METALES$TRB ~ METALES$EM)
> bartlett.test(METALES$TRB ~ METALES$EE)

```

#### OD

```

> bartlett.test(METALES$OD ~ METALES$MC)
> bartlett.test(METALES$OD ~ METALES$EM)
> bartlett.test(METALES$OD ~ METALES$EE)

```

#### CE

```

> bartlett.test(METALES$CE ~ METALES$MC)
> bartlett.test(METALES$CE ~ METALES$EM)
> bartlett.test(METALES$CE ~ METALES$EE)

```

#### SDT

```

> bartlett.test(METALES$SDT ~ METALES$MC)
> bartlett.test(METALES$SDT ~ METALES$EM)
> bartlett.test(METALES$SDT ~ METALES$EE)

```

#### As

```

> bartlett.test(METALES$As ~ METALES$MC)
> bartlett.test(METALES$As ~ METALES$EM)
> bartlett.test(METALES$As ~ METALES$EE)

```

#### Cd

```

> bartlett.test(METALES$Cd ~ METALES$MC)
> bartlett.test(METALES$Cd ~ METALES$EM)
> bartlett.test(METALES$Cd ~ METALES$EE)

```

#### Co

```

> bartlett.test(METALES$Co ~ METALES$MC)
> bartlett.test(METALES$Co ~ METALES$EM)
> bartlett.test(METALES$Co ~ METALES$EE)

```

#### Cr

```

> bartlett.test(METALES$Cr ~ METALES$MC)
> bartlett.test(METALES$Cr ~ METALES$EM)
> bartlett.test(METALES$Cr ~ METALES$EE)

```

**Cu**

```
> bartlett.test(METALES$Cu ~ METALES$MC)
> bartlett.test(METALES$Cu ~ METALES$EM)
> bartlett.test(METALES$Cu ~ METALES$EE)
```

**Ni**

```
> bartlett.test(METALES$Ni ~ METALES$MC)
> bartlett.test(METALES$Ni ~ METALES$EM)
> bartlett.test(METALES$Ni ~ METALES$EE)
```

**Pb**

```
> bartlett.test(METALES$Pb ~ METALES$MC)
> bartlett.test(METALES$Pb ~ METALES$EM)
> bartlett.test(METALES$Pb ~ METALES$EE)
```

**Zn**

```
> bartlett.test(METALES$Zn ~ METALES$MC)
> bartlett.test(METALES$Zn ~ METALES$EM)
> bartlett.test(METALES$Zn ~ METALES$EE)
```

**B**

```
> bartlett.test(METALES$B ~ METALES$MC)
> bartlett.test(METALES$B ~ METALES$EM)
> bartlett.test(METALES$B ~ METALES$EE)
```

**Sb**

```
> bartlett.test(METALES$Sb ~ METALES$MC)
> bartlett.test(METALES$Sb ~ METALES$EM)
> bartlett.test(METALES$Sb ~ METALES$EE)
```

**Si**

```
> bartlett.test(METALES$Si ~ METALES$MC)
> bartlett.test(METALES$Si ~ METALES$EM)
> bartlett.test(METALES$Si ~ METALES$EE)
```

**Mg**

```
> bartlett.test(METALES$Mg ~ METALES$MC)
> bartlett.test(METALES$Mg ~ METALES$EM)
> bartlett.test(METALES$Mg ~ METALES$EE)
```

**Mn**

```
> bartlett.test(METALES$Mn ~ METALES$MC)
> bartlett.test(METALES$Mn ~ METALES$EM)
> bartlett.test(METALES$Mn ~ METALES$EE)
```

**Ba**

```
> bartlett.test(METALES$Ba ~ METALES$MC)
> bartlett.test(METALES$Ba ~ METALES$EM)
> bartlett.test(METALES$Ba ~ METALES$EE)
```

**Li**

```
> bartlett.test(METALES$Li ~ METALES$MC)
> bartlett.test(METALES$Li ~ METALES$EM)
> bartlett.test(METALES$Li ~ METALES$EE)
```

**Fe**

```
> bartlett.test(METALES$Fe ~ METALES$MC)
> bartlett.test(METALES$Fe ~ METALES$EM)
> bartlett.test(METALES$Fe ~ METALES$EE)
```

**Ag**

```
> bartlett.test(METALES$Ag ~ METALES$MC)
> bartlett.test(METALES$Ag ~ METALES$EM)
> bartlett.test(METALES$Ag ~ METALES$EE)
```

## V

```
> bartlett.test(METALES$V ~ METALES$MC)
> bartlett.test(METALES$V ~ METALES$EM)
> bartlett.test(METALES$V ~ METALES$EE)
```

## Al

```
> bartlett.test(METALES$Al ~ METALES$MC)
> bartlett.test(METALES$Al ~ METALES$EM)
> bartlett.test(METALES$Al ~ METALES$EE)
```

## Na

```
> bartlett.test(METALES$Na ~ METALES$MC)
> bartlett.test(METALES$Na ~ METALES$EM)
> bartlett.test(METALES$Na ~ METALES$EE)
```

## K

```
> bartlett.test(METALES$K ~ METALES$MC)
> bartlett.test(METALES$K ~ METALES$EM)
> bartlett.test(METALES$K ~ METALES$EE)
```

## Sr

```
> bartlett.test(METALES$Sr ~ METALES$MC)
> bartlett.test(METALES$Sr ~ METALES$EM)
> bartlett.test(METALES$Sr ~ METALES$EE)
```

## 6. Análisis de Componentes Principales

```
> PARAMETROS = METALES [,4:28]
> ACPARAMETROS<- prcomp(PARAMETROS, scale. = T)
> ACPARAMETROS$sdev #desviación típica
> ACPARAMETROS$rotation #rotacion
> biplot(ACPARAMETROS) #GRAFICO AGRUPACIÓN DE VARIABLES
> plot(ACPARAMETROS)
```

## 7. Selección de número de componentes

```
>fa.parallel(PARAMETROS, fm = "ml") #Maxima verosimilitud
```

## 8. Correlación entre las variables y componentes

```
>corvar <- ACPARAMETROS$rotation %*% diag(ACPARAMETROS$sdev)
>round(corvar, 2)
```

## 9. Gráficos de análisis de componentes por época

```
>EPOCA.METALES = METALES$EE
>BILOTACPPOMAPTOS = ggbiplot(ACPARAMETROS,obs.scale = 1, var.scale = 1, groups
= EPOCA.METALES , ellipse = TRUE)
>BILOTACPPOMAPTOS = BILOTACPPOMAPTOS + scale_color_discrete(name = '')
>BILOTACPPOMAPTOS = BILOTACPPOMAPTOS + theme_classic()
>BILOTACPPOMAPTOS
```

## 10. Correlación de las variables

```
>cor(PARAMETROS , method = "spearman")
>CorrelacionDATOS = round(cor(PARAMETROS, method = "spearman"),3)
>CorrelacionDATOS
>DATA = as.data.frame(CorrelacionDATOS)
>DATA
>write.xlsx (DATA, file = "Tabla de correlaciones.xlsx", row.names = T)
>corrplot(corr = cor(x = DATOS, method = "spearman"), method = "number", type
= c("lower"))
corr = cor(x = DATOS, method = "spearman")
corr
```

## 11. Análisis de varianza por época estacional y microcuencia

### 1er Bloque

```
>hist(pH)
>boxplot(pH ~ EE*NM, las=2, xlab="", border=c("blue","red"))
>mod <- aov(pH ~ NM + EE + NM*EE)
>shapiro.test(residuals(mod))
>bartlett.test(pH ~ interaction(NM,EE))
>summary(mod)
>cv.model(mod)
>hist(T)
>boxplot(T ~ EE*NM, las=2, xlab="", border=c("blue","red"))
>mod <- aov( T ~ NM + EE + NM*EE)
>shapiro.test(residuals(mod))
>bartlett.test(T ~ interaction(NM,EE))
>summary(mod)
>cv.model(mod)
>hist(TRB)
>boxplot(TRB ~ EE*NM, las=2, xlab="", border=c("blue","red"))
>mod <- aov( TRB ~ NM + EE + NM*EE)
>shapiro.test(residuals(mod))
>bartlett.test(TRB ~ interaction(NM,EE))
>summary(mod)
>cv.model(mod)
>hist(OD)
>boxplot(OD ~ EE*NM, las=2, xlab="", border=c("blue","red"))
>mod <- aov( OD ~ NM + EE + NM*EE)
>shapiro.test(residuals(mod))
>bartlett.test(OD ~ interaction(NM,EE))
>summary(mod)
>cv.model(mod)
>hist(CE)
>boxplot(CE ~ EE*NM, las=2, xlab="", border=c("blue","red"))
>mod <- aov( CE ~ NM + EE + NM*EE)
>shapiro.test(residuals(mod))
>bartlett.test(CE ~ interaction(NM,EE))
>summary(mod)
>cv.model(mod)
>hist(SD)
>boxplot(SD ~ EE*NM, las=2, xlab="", border=c("blue","red"))
>mod <- aov( SD ~ NM + EE + NM*EE)
>shapiro.test(residuals(mod))
>bartlett.test(SD ~ interaction(NM,EE))
>summary(mod)
>cv.model(mod)
2do Bloque
>hist(As)
>boxplot(As ~ EE*NM, las=2, xlab="", border=c("blue","red"))
>mod <- aov( As ~ NM + EE + NM*EE)
>shapiro.test(residuals(mod))
>bartlett.test(As ~ interaction(NM,EE))
>summary(mod)
>cv.model(mod)
```

```

>hist(Cd)
>boxplot(Cd ~ EE*NM, las=2, xlab="", border=c("blue","red"))
>mod <- aov( Cd ~ NM + EE + NM*EE)
>shapiro.test(residuals(mod))
>bartlett.test(Cd ~ interaction(NM,EE))
>summary(mod)
>cv.model(mod)
>hist(Co)
>boxplot(Co ~ EE*NM, las=2, xlab="", border=c("blue","red"))
>mod <- aov( Co ~ NM + EE + NM*EE)
>shapiro.test(residuals(mod))
>bartlett.test(Co ~ interaction(NM,EE))
>summary(mod)
>cv.model(mod)
>hist(Cr)
>boxplot(Cr ~ EE*NM, las=2, xlab="", border=c("blue","red"))
>mod <- aov( Cr ~ NM + EE + NM*EE)
>shapiro.test(residuals(mod))
>bartlett.test(Cr ~ interaction(NM,EE))
>summary(mod)
>cv.model(mod)
>hist(Cu)
>boxplot(Cu ~ EE*NM, las=2, xlab="", border=c("blue","red"))
>mod <- aov( Cu ~ NM + EE + NM*EE)
>shapiro.test(residuals(mod))
>bartlett.test(Cu ~ interaction(NM,EE))
>summary(mod)
>cv.model(mod)
>hist(Ni)
>boxplot(Ni ~ EE*NM, las=2, xlab="", border=c("blue","red"))
>mod <- aov( Ni ~ NM + EE + NM*EE)
>shapiro.test(residuals(mod))
>bartlett.test(Ni ~ interaction(NM,EE))
>summary(mod)
>cv.model(mod)
3er Bloque
>hist(Pb)
>boxplot(Pb ~ EE*NM, las=2, xlab="", border=c("blue","red"))
>mod <- aov( Pb ~ NM + EE + NM*EE)
>shapiro.test(residuals(mod))
>bartlett.test(Pb ~ interaction(NM,EE))
>summary(mod)
>cv.model(mod)
>hist(Zn)
>boxplot(Zn ~ EE*NM, las=2, xlab="", border=c("blue","red"))
>mod <- aov( Zn ~ NM + EE + NM*EE)
>shapiro.test(residuals(mod))
>bartlett.test(Zn ~ interaction(NM,EE))
>summary(mod)
>cv.model(mod)
>hist(B)
>boxplot(B ~ EE*NM, las=2, xlab="", border=c("blue","red"))

```

```

>mod <- aov( B ~ NM + EE + NM*EE)
>shapiro.test(residuals(mod))
>bartlett.test(B ~ interaction(NM,EE))
>summary(mod)
>cv.model(mod)
>hist(Sb)
>boxplot(Sb ~ EE*NM, las=2, xlab="", border=c("blue","red"))
>mod <- aov( Sb ~ NM + EE + NM*EE)
>shapiro.test(residuals(mod))
>bartlett.test(Sb ~ interaction(NM,EE))
>summary(mod)
>cv.model(mod)
>hist(Si)
>boxplot(Si ~ EE*NM, las=2, xlab="", border=c("blue","red"))
>mod <- aov( Si ~ NM + EE + NM*EE)
>shapiro.test(residuals(mod))
>bartlett.test(Si ~ interaction(NM,EE))
>summary(mod)
>cv.model(mod)
>hist(Mg)
>boxplot(Mg ~ EE*NM, las=2, xlab="", border=c("blue","red"))
>mod <- aov( Mg ~ NM + EE + NM*EE)
>shapiro.test(residuals(mod))
>bartlett.test(Mg ~ interaction(NM,EE))
>summary(mod)
>cv.model(mod)
4to blogue
>hist(Mn)
>boxplot(Mn ~ EE*NM, las=2, xlab="", border=c("blue","red"))
>mod <- aov( Mn ~ NM + EE + NM*EE)
>shapiro.test(residuals(mod))
>bartlett.test(Mn ~ interaction(NM,EE))
>summary(mod)
>cv.model(mod)
>hist(Ba)
>boxplot(Ba ~ EE*NM, las=2, xlab="", border=c("blue","red"))
>mod <- aov( Ba ~ NM + EE + NM*EE)
>shapiro.test(residuals(mod))
>bartlett.test(Ba ~ interaction(NM,EE))
>summary(mod)
>cv.model(mod)
>hist(Fe)
>boxplot(Fe ~ EE*NM, las=2, xlab="", border=c("blue","red"))
>mod <- aov( Fe ~ NM + EE + NM*EE)
>shapiro.test(residuals(mod))
>bartlett.test(Fe ~ interaction(NM,EE))
>summary(mod)
>cv.model(mod)
>hist(Ag)
>boxplot(Ag ~ EE*NM, las=2, xlab="", border=c("blue","red"))
>mod <- aov( Ag ~ NM + EE + NM*EE)
>shapiro.test(residuals(mod))

```



```

>bartlett.test(Ag ~ interaction(NM,EE))
>summary(mod)
>cv.model(mod)
>hist(V)
>boxplot(V ~ EE*NM, las=2, xlab="", border=c("blue","red"))
>mod <- aov( V ~ NM + EE + NM*EE)
>shapiro.test(residuals(mod))
>bartlett.test(V ~ interaction(NM,EE))
>summary(mod)
>cv.model(mod)
>hist(AI)
>boxplot(AI ~ EE*NM, las=2, xlab="", border=c("blue","red"))
>mod <- aov( AI ~ NM + EE + NM*EE)
>shapiro.test(residuals(mod))
>bartlett.test(AI ~ interaction(NM,EE))
>summary(mod)
>cv.model(mod)
5to bloque
>hist(Na)
>boxplot(Na ~ EE*NM, las=2, xlab="", border=c("blue","red"))
>mod <- aov( Na ~ NM + EE + NM*EE)
>shapiro.test(residuals(mod))
>bartlett.test(Na ~ interaction(NM,EE))
>summary(mod)
>cv.model(mod)
>hist(K)
>boxplot(K ~ EE*NM, las=2, xlab="", border=c("blue","red"))
>mod <- aov( K ~ NM + EE + NM*EE)
>shapiro.test(residuals(mod))
>bartlett.test(K ~ interaction(NM,EE))
>summary(mod)
>cv.model(mod)
>hist(Sr)
>boxplot(Sr ~ EE*NM, las=2, xlab="", border=c("blue","red"))
>mod <- aov( Sr ~ NM + EE + NM*EE)
>shapiro.test(residuals(mod))
>bartlett.test(Sr ~ interaction(NM,EE))
>summary(mod)
>cv.model(mod)
>hist(Se)
>boxplot(Se ~ EE*NM, las=2, xlab="", border=c("blue","red"))
>mod <- aov( Se ~ NM + EE + NM*EE)
>shapiro.test(residuals(mod))
>bartlett.test(Se ~ interaction(NM,EE))
>summary(mod)
>cv.model(mod)

```