

NOMBRE DEL TRABAJO

Tesisp.docx

AUTOR

Giancarlo Jhonatan Ruiz Antaurco

RECUENTO DE PALABRAS

17697 Words

RECUENTO DE CARACTERES

98597 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

139 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

23.7MB

FECHA DE ENTREGA

May 25, 2024 10:21 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

May 25, 2024 10:23 PM GMT-5

● 10% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 10% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 0% Base de datos de trabajos entregados
- 4% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 13 palabras)



UNIVERSIDAD NACIONAL
TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA
PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN
EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTELS
(Art. 45° de la ley N° 30220 – Ley)**

Autorización de la propiedad intelectual del autor para la publicación de tesis en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (<https://repositorio.unfels.edu.pe>), de conformidad con el Decreto Legislativo N° 822, sobre la Ley de los Derechos de Autor, Ley N° 30035 del Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, Art. 10° del Rgto. Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales en las universidades – RENATI Res. N° 084-2022-SUNEDU/CD, publicado en El Peruano el 16 de agosto de 2022; y la RCO N° 061-2023-UNTELS del 01 marzo 2023.

TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

- 1). TESIS (X) 2). TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL ()

DATOS PERSONALES

Apellidos y Nombres:	RUIZ ANTAURLO GIANCARLO JHONATAN
D.N.I.:	75247496
Otro Documento:	
Nacionalidad:	PERUANO
Teléfono:	924577907
e-mail:	ruizsac75@gmail.com

DATOS ACADÉMICOS

Pregrado

Facultad:	FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
Programa Académico:	TESIS
Título Profesional otorgado:	INGENIERO AMBIENTAL

Postgrado

Universidad de Procedencia:	
País:	
Grado Académico otorgado:	

Datos de trabajo de investigación

Título:	" APLICACIÓN DEL ÍNDICE AMBIENTAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES EN LA CAJADA DEL AGUA DEL RÍO LURÍN (2019-2023)"
Fecha de Sustentación:	01 DE DICIEMBRE DEL 2023
Calificación:	APROBADO POR DISTINCIÓN
Año de Publicación:	2024



AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN VERSIÓN ELECTRÓNICA

A través de la presente, autorizo la publicación del texto completo de la tesis, en el Repositorio Institucional de la UNTELS especificando los siguientes términos:

Marcar con una X su elección.

- 1) Usted otorga una licencia especial para publicación de obras en el REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR.

Si autorizo No autorizo

- 2) Usted autoriza para que la obra sea puesta a disposición del público conservando los derechos de autor y para ello se elige el siguiente tipo de acceso.

Derechos de autor		
TIPO DE ACCESO	ATRIBUCIONES DE ACCESO	ELECCIÓN
ACCESO ABIERTO 12.1(*)	info:eu-repo/semantics/openAccess (Para documentos en acceso abierto)	<input checked="" type="checkbox"/>

- 3) Si usted dispone de una **PATENTE** puede elegir el tipo de **ACCESO RESTRINGIDO** como derecho de autor y en el marco de confiabilidad dispuesto por los numerales 5.2 y 6.7 de la directiva N° 004-2016-CONCYTEC DEGC que regula el Repositorio Nacional Digital de CONCYTEC (Se colgará únicamente datos del autor y el resumen del trabajo de investigación).

Derechos de autor		
TIPO DE ACCESO	ATRIBUCIONES DE ACCESO	ELECCIÓN
ACCESO RESTRINGIDO	info:eu-repo/semantics/restrictedAccess (Para documentos restringidos)	<input type="checkbox"/>
	info:eu-repo/semantics/embargoedAccess (Para documentos con períodos de embargo. Se debe especificar las fechas de embargo)	<input type="checkbox"/>
	info:eu-repo/semantics/closedAccess (para documentos confidenciales)	<input type="checkbox"/>

(*) <http://renati.sunedu.gob.pe>



UNIVERSIDAD NACIONAL
TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

Rellene la siguiente información si su trabajo de investigación es de acceso restringido:

Atribuciones de acceso restringido:

Motivos de la elección del acceso restringido:

RUIZ ANTAURCO, GIANCARLO JHONATAN

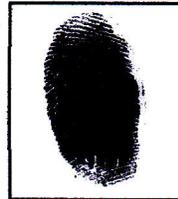
APELLIDOS Y NOMBRES

75247496

DNI



Firma y huella:



Lima, 12 de JUNIO del 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“APLICACIÓN DEL ÍNDICE AMBIENTAL DE LOS RECURSOS
HÍDRICOS SUPERFICIALES EN LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO
LURÍN (2019-2023)”**

TESIS

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

RUIZ ANTAURCO, GIANCARLO JHONATAN

ORCID: 0009-0002-8673-7689

ASESOR

RUIZ HUAMAN, CARMEN MILAGROS

ORCID: 0000-0003-4844-2281

Villa El Salvador

2023



DECANATO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AMBIENTAL**

En Villa El Salvador, siendo las 09:00 a.m. del día 01 de diciembre del 2023, en la Facultad de Ingeniería y Gestión, los miembros del Jurado Evaluador, integrado por:

PRESIDENTE: ROBERT RICHARD RAFAEL RUTTE DNI N° 20054374 C.I.P. N° 68273
SECRETARIO: JULIO CESAR BRACHO PEREZ DNI N° 43175931 C.Q.P. N°721
VOCAL : SOFIA VICTORIA MATA ESPINOZA DNI N° 45096186 C.I.P. N° 137333

ASESOR : CARMEN MILAGROS RUIZ HUAMAN DNI N° 10021641 C.B.P. N° 5179

Designados mediante Resolución de Decanato N° 359-2023-UNTELS-R-D de fecha 15 de agosto del 2023 quienes dan inicio a la Sesión Pública de Sustentación y Evaluación de Tesis.

Acto seguido, el (la) aspirante al: Grado de Bachiller Título Profesional

Don: GIANCARLO JHONATAN RUIZ ANTAURCO identificado(a) con D.N.I. N° 75247496, procedió a la Sustentación de:

Trabajo de investigación Tesis Trabajo de suficiencia Artículo científico

Titulado: "APLICACIÓN DEL ÍNDICE AMBIENTAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES EN LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO LURÍN (2019-2023)".

Aprobado mediante Resolución de Decanato N° 787-2023-UNTELS-R-D de fecha 23 de noviembre, de conformidad con las disposiciones del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales vigentes, sustentó y absolvió las interrogantes que le formularon los señores miembros del Jurado Evaluador.

Concluida la Sustentación se procedió a la evaluación y calificación correspondiente, resultando el aspirante APROBADO por Distinción con la nota de: Dieciseis (letras)..... 16 (números), de acuerdo al Art. 65° del Reglamento General para optar el Título Profesional.

CALIFICACIÓN		CONDICIÓN	EQUIVALENCIA
NÚMERO	LETRAS		
<u>16</u>	<u>Dieciseis</u>	<u>Aprobado por Distinción</u>	<u>Muy Bueno</u>

Siendo las 09:50 a.m. del día 01 de diciembre 2023, se dio por concluido el acto de sustentación, firmando el jurado evaluador el Acta de Sustentación, que obra en el Decanato de la Facultad de Ingeniería y Gestión.


Dr. JULIO CESAR BRACHO PEREZ
SECRETARIO


Ph.D. ROBERT RICHARD RAFAEL RUTTE
PRESIDENTE


Mg. SOFIA VICTORIA MATA ESPINOZA
VOCAL


GIANCARLO JHONATAN RUIZ ANTAURCO
BACHILLER

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis queridos padres Pedro Ruiz Huarache y Beatriz Antaurco Quispe, por su apoyo incondicional y creer en mí, igualmente para mi hermano Joel Ruiz Antaurco, quien me acompaña en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Dios por la vida y haberme permitido concluir esta investigación.

A mis queridos padres y hermano, quienes me brindaron su apoyo y consejos, por lo que son los pilares de mi vida.

A mis queridos amigos, quienes siempre están presentes en las buenas y malas, muchas gracias por su paciencia y estima.

A mí asesora por su orientación y soporte en el desarrollo de la investigación.

Por último, y no menos importante, a Gisela, quien con sus palabras de motivación impulsó el inicio de esta investigación, muchas gracias.

RESUMEN

La presente investigación detalla el estado de la calidad del agua en tres (03) puntos de monitoreos, empleando la metodología ICARHS, siendo el objetivo principal aplicar el Índice Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales para conocer la calificación de la calidad del agua en el río Lurín, durante el periodo 2019-2023. Para la aplicación de la metodología se consideró la clasificación del cuerpo hídrico, parámetros indicados, datos de la Autoridad Nacional del Agua, regulaciones de calidad ambiental, protocolo de monitoreo, la temporada para la toma de muestras y los puntos de monitoreos que mejor se ajusten a los criterios de la metodología. Respecto a los resultados, los tres (03) puntos de monitoreos ubicados en la cuenca media expresaron la calificación de excelente, igualmente los subíndices materia orgánica y fisicoquímico-metal indicaron el mismo resultado. Asimismo, se determinó que a mayor número de parámetros que superan el estándar de calidad ambiental menor será la calificación del índice. Sin embargo, también se concluyó que la concentración excesiva de un parámetro puede variar significativamente la calificación. Por otro lado, se evidencia que en el área de estudio existe especies iónicas por erosión de las rocas, lo cual reflejan las características hidrogeológicas de la cuenca.

Palabras clave: ICARHS, calidad del agua, monitoreo, parámetros

ABSTRACT

The present research details the state of water quality in three (03) monitoring points, using the ICARHS methodology, being the main objective to apply the Environmental Index of Surface Water Resources to know the qualification of water quality in the Lurin River, during the period 2019-2023. For the application of the methodology, the classification of the water body, indicated parameters, data from the National Water Authority, environmental quality regulations, monitoring protocol, the season for sampling and the monitoring points that best fit the criteria of the methodology were considered. Regarding the results, the three (03) monitoring points located in the middle basin were rated as excellent, and the Organic Matter and Physical-Chemical-Metal sub-indices showed the same result. Likewise, it was determined that the higher the number of parameters that exceed the environmental quality standard, the lower the index rating. However, it was also concluded that the excessive concentration of a parameter can significantly vary the rating. On the other hand, it is evident that in the study area there are ionic species due to erosion of the rocks, which reflects the hydrogeological characteristics of the basin.

Key words: ICARHS, water quality, monitoring, parameters.

ÍNDICE

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1 Motivación	2
1.2 Estado del arte.....	2
1.3 Descripción del problema	2
1.4 Formulación del problema	3
1.4.1 Problema general	3
1.4.2 Problemas específicos.....	4
1.5 Objetivos.....	4
1.5.1 Objetivo general	4
1.5.2 Objetivos específicos.....	4
1.6 Justificación	4
II. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Antecedentes	6
2.1.1 Internacionales.....	6
2.1.2 Nacionales	8
2.2 Bases teóricas.....	10
2.2.1 Calidad del agua	10
2.2.2 Composición química de las aguas naturales	10
2.2.3 Parámetros de calidad del agua	12
2.2.4 Índices de calidad del agua.....	30
III. VARIABLES E HIPÓTESIS	38
3.1 Operacionalización de variables	38
3.2 Hipótesis de la investigación	39
3.2.1 Hipótesis general	39
3.2.2 Hipótesis específicas.....	39

IV. METODOLOGÍA	40
4.1 Descripción de la metodología	40
4.1.1 Etapas del desarrollo de la tesis.....	40
4.2 Implementación	41
4.2.1 Descripción del área de estudio.....	41
4.2.2 Recopilación y sistematización de los datos.....	43
4.2.3 Definición del periodo.....	43
4.2.4 Desarrollo del monitoreo	43
4.2.5 Cálculo de los ICARHS.....	47
4.2.6 Elaboración de gráficos y mapas	47
4.2.7 Análisis estadístico de los datos	47
4.2.8 Interpretación y análisis de resultados.....	47
4.3 Población y muestra.....	47
4.4 Técnicas de recolección de datos.....	48
4.5 Instrumentos de recolección de datos	48
4.5.1 Validez	48
4.5.2 Confiabilidad	48
4.6 Resultados.....	49
4.6.1 Determinación del cumplimiento normativo.....	49
4.6.2 Determinación de los valores del subíndice 1: Materia Orgánica	58
4.6.3 Determinación de los valores del subíndice 2: Físico-químico Metal .	58
4.6.4 Análisis estadístico de los datos	59
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	64
VI. CONCLUSIONES	67
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68

Índice de tablas

Tabla 1 Constituyentes inorgánicos de las aguas naturales	11
Tabla 2 Especies iónicas responsables de la dureza	17
Tabla 3 Dureza relativa de las aguas.....	18
Tabla 4 Intervalos típicos de la conductividad para diferentes aguas.....	19
Tabla 5 Elementos traza importantes en las aguas naturales	27
Tabla 6 Ventajas y desventajas del ÍCA como herramienta de evaluación.....	31
Tabla 7 Operacionalización de variables	38
Tabla 8 Puntos de monitoreo de la calidad del recurso hídrico	43
Tabla 9 Parámetros evaluados.....	46
Tabla 10 Resultados de las concentraciones-RLuri2	49
Tabla 11 Resultados de metales totales-RLuri2.....	51
Tabla 12 Resultados de las concentraciones-RLuri3	52
Tabla 13 Resultados de metales totales-RLuri3.....	54
Tabla 14 Resultados de las concentraciones-RLuri4	55
Tabla 15 Resultados de metales totales-RLuri4.....	57
Tabla 16 Resultados de los valores del subíndice 1: Materia Orgánica.....	58
Tabla 17 Resultados de los valores del subíndice 2: Físico-químico Metal	58
Tabla 18 Resultados del ICARHS	59
Tabla 19 Resultados del SPSS	59

Índice de figuras

Figura 1 Meteorización química de la calcita.....	11
Figura 2 Escala de pH.....	15
Figura 3 Clases de acidez según el pH	15
Figura 4 Carbonatos y bicarbonatos a distintos niveles de pH.....	16
Figura 5 Ciclo del Nitrógeno	20
Figura 6 Cambios del nitrógeno en aguas contaminadas	21
Figura 7 Ciclo del Azufre	22
Figura 8 Curva del oxígeno	24
Figura 9 Primera y segunda etapa de la demanda bioquímica de oxígeno.....	26
Figura 10 Parámetros a evaluar en el ICARHS según la categoría	32
Figura 11 Determinación de subíndices del ICARHS.....	35
Figura 12 Determinación del ICARHS	36
Figura 13 Valoración del ICARHS.....	37
Figura 14 Flujograma del desarrollo de la investigación	40
Figura 15 Unidad Hidrográfica Lurín	42
Figura 16 Puntos de monitoreo.....	44
Figura 17 Correlación del pH-Subíndice 1.....	60
Figura 18 Correlación de coliformes termotolerantes-Subíndice 2.....	60
Figura 19 Correlación de la conductividad eléctrica-potasio	61
Figura 20 Correlación de la conductividad eléctrica-magnesio	62
Figura 21 Correlación de la conductividad eléctrica-calcio	62
Figura 22 Correlación de la conductividad eléctrica-sodio	63

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 pH	14
Ecuación 2 Alcance	33
Ecuación 3 Frecuencia.....	33
Ecuación 4 Excedente caso 1.....	33
Ecuación 5 Excedente caso 2.....	34
Ecuación 6 Suma normalizada de excedentes	34
Ecuación 7 Amplitud	34
Ecuación 8 Índice general.....	34
Ecuación 9 Subíndices.....	35

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural que se mantiene relativamente constante, a través del ciclo hidrológico; sin embargo, no en la misma disponibilidad y calidad a través del tiempo. En la actualidad, la demanda del agua es debido al crecimiento exponencial de la población y el desarrollo de las actividades industriales, los cuales buscan hacer crecer la productividad, ampliando las áreas de cultivo y requiriendo mayor cantidad de agua para irrigación. Por este motivo, la demanda del recurso hídrico para cubrir las necesidades del sector agricultura está creciendo en estos años para la producción de alimentos. (Catalán, 1990)

Por otro lado, son diversas las fuentes de polución de las aguas superficiales, entre los motivos más conocidos es el agua que percola por el suelo hasta llegar al río, esta acción genera una mineralización parcial del medio hídrico receptor, así como también las aguas provenientes de las lluvias, disuelven las sales solubles que están contenidos en las rocas, generando una liberación de iones o mineralización. Sin embargo, la descarga de efluentes residuales domésticos, industriales y agropecuarios son el origen principal de contaminación antropogénica. (Contreras & Molero, 2006)

En ese contexto, la calidad del agua se representa como el conjunto de parámetros fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológicos en su condición natural o posterior de ser alteradas por las actividades humanas, y que cumplen las directrices reguladoras para un uso determinado. (Baeza, 2016). Para calificar la calidad se emplea un índice que permite explicar la condición del medio hídrico, los sedimentos y los organismos acuáticos presentes. Además, indica la idoneidad del agua para la utilización requerida. (Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente[CCME], 2017)

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Motivación

La presente investigación está impulsada por la falta de protección de los recursos hídricos a nivel nacional, principalmente en los ríos de la selva peruana. Asimismo, la contaminación de los ríos por el vertimiento de aguas residuales y residuos sólidos, generan enfermedades a la población que, por desconocimiento y falta de apoyo del estado, utilizan el recurso en actividades cotidianas sin conocer el estado de la calidad del agua. Por consiguiente, es necesario aportar con la identificación de puntos críticos para tomar decisiones correctas respecto al uso.

1.2 Estado del arte

El estado del arte sobre aplicaciones de índices ambientales para evaluar la calidad del agua, es un área ampliamente investigada a nivel internacional. Existen variedad de índices reconocidos, entre los que destaca el índice del Consejo Canadiense de ministros del Medio Ambiente, el cual es aplicado a nivel mundial. En lo que se refiere a las aplicaciones internacionales, los estudios realizados en Europa no están limitados aplicar una metodología establecida, sino que cada investigador desarrolla un índice de acuerdo a las características de su territorio. Por otro lado, las investigaciones en general hacia América, aplican las metodologías realizadas por otros países. Sin embargo, las aplicaciones son considerando las condiciones de su geografía. En el Perú, la aplicación del índice no es tan conocida debido a que su aprobación es reciente. No obstante, se han hecho algunos trabajos de investigación cumpliendo parcialmente los criterios y lineamientos establecidos en la metodología. Por consiguiente, los estudios nacionales que buscan analizar la calidad del agua son escasos hasta el momento, debido a que se presentan limitantes con respecto a los datos, frecuencia de monitoreos y ubicación de las cuencas.

1.3 Descripción del problema

Actualmente, la cuenca baja del río Lurín, enfrenta diversos problemas ambientales, de acuerdo a las autoridades municipales indican que la aglomeración y quema de residuos sólidos, la ganadería sin control y los depósitos mineros alteran considerablemente la cuenca baja, junto a estas fuentes de polución, la descarga de aguas residuales es principalmente el mayor motivo de afectación a la cuenca. Por otro lado, en la parte media de la cuenca el 45.7% de los habitantes adquiere el

recurso hídrico del río, manantiales o acequias y solo el 28.32 % posee red pública en sus hogares; igualmente, en la cuenca baja el 62.18 % cuenta con red de agua y alcantarillado y el 19.19 % de hogares disponen de pozos artesanales o letrinas (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2020).

En consecuencia, esto ha generado, a lo largo de los años, la disminución de la calidad de vida de la población y alteración de los ecosistemas acuáticos. Por otro lado, la Autoridad Nacional del Agua, en cumplimiento de su función supervisora, realiza desde el año 2009 actividades de monitoreo. Por esta razón, desde el año 2013 se realizan monitoreos participativos de la calidad del agua superficial en la cuenca Lurín.

Sin embargo; la evaluación del recurso hídrico en el Perú, se ejecuta comparando las concentraciones de los parámetros analizados con la normativa ambiental vigente, según la categoría del cuerpo de agua; lo cual indica su cumplimiento o incumplimiento. No obstante, este análisis es indeterminado al momento de precisar o fijar el nivel de la calidad del agua del cuerpo hídrico; es decir, si tiene una calidad excelente, buena, regular, mala o pésima. Igualmente, la gran variedad de parámetros y resultados en los informes de ensayos, genera una dificultad en la interpretación de datos, por la población y autoridades no relacionadas con la calidad ambiental. Por lo tanto, se genera retrato en las acciones orientadas a la protección de los recursos hídricos.

Frente a esta situación, la presente investigación aplica el Índice de la Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales en tres (03) puntos de monitoreos ubicados en la cuenca media del río Lurín, con el propósito de analizar las condiciones de la calidad del agua, durante el periodo 2019-2023.

1.4 Formulación del problema

1.4.1 Problema general

- ¿Cuál es el Índice Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales para calificar la calidad del agua en el río Lurín (2019-2023)?

1.4.2 Problemas específicos

- ¿Cuáles son las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológicos de la calidad del agua en el río Lurín (2019-2023)?
- ¿Cuáles son los valores del Subíndice 1, para calificar la calidad del agua en el río Lurín (2019-2023)?
- ¿Cuáles son los valores del Subíndice 2, para calificar la calidad del agua en el río Lurín (2019-2023)?

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

- Aplicar el Índice Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales, para calificar la calidad del agua en el río Lurín (2019-2023).

1.5.2 Objetivos específicos

- Determinar el cumplimiento normativo de la concentración de los parámetros fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológicos de la calidad del agua en el río Lurín (2019-2023).
- Determinar los valores del Subíndice 1, para calificar la calidad del agua en el río Lurín (2019-2023).
- Determinar los valores del Subíndice 2, para calificar la calidad del agua en el río Lurín (2019-2023).

1.6 Justificación

La presente investigación se justifica teóricamente porque pretende generar información por primera vez del estado de la calidad del agua del río Lurín, aplicando una metodología novedosa y nueva. También, presenta justificación práctica porque los resultados obtenidos permitirán interpretar e informar de forma sencilla el estado de la calidad del agua a los pobladores y autoridades locales. Igualmente, ayudará a

identificar las áreas con mayor contaminación e impacto por fuentes antropogénicas. Por otra parte, la investigación posee justificación social porque permite tomar decisiones informadas en relación con su uso. Por ser una herramienta de apoyo para la población en la toma de decisiones respecto a la captación de agua con fines de consumo humano o actividades de carácter doméstico. Finalmente, presenta justificación ambiental debido a que, los resultados obtenidos por la investigación permitirán proponer medidas estratégicas para recuperar la calidad del agua. También, concientizar la protección de los recursos hídricos a través de la vigilancia de forma continua. Asimismo, apoyar el fortalecimiento de la gestión en la cuenca con información actual.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Internacionales

Uddin (2023) en su estudio tuvo como objetivo, desarrollar un nuevo índice de calidad del agua para calificar el estado de las aguas marinas del puerto de Cork. El índice mejorado se aplicó a (04) cuerpos costeros en Irlanda. Además, utilizó datos de monitoreo del año 2021. Con relación a sus resultados, se determinó que, el puerto de Cork durante el periodo de estudio presentó tres calificaciones, bueno, regular y marginal. Por otro lado, el nuevo modelo de índice determinó valores confiables, debido a que, produce menos del 2 % de incertidumbre en las puntuaciones. Finalmente, el estudio llega a la conclusión que, la mayor afectación de las fuentes antropogénicas como efluentes industriales, residuos domésticos y actividades agrícolas se genera en temporada de invierno. Asimismo, se concluye que, el nuevo modelo propuesto es confiable para evaluar la calidad del agua costera, debido a su alta exactitud.

Bich Van (2020) en su investigación tuvo como objetivo, mejorar el índice del consejo canadiense y proponer un nuevo índice para evaluar la calidad del agua subterránea del delta de Mekong, durante el periodo 2010-2017. La investigación se realizó en el país de Vietnam. En cuanto a los resultados, se determinó que, en los acuíferos evaluados, presentaron contaminación por arsénico, metales pesados y elevada salinidad. Además, el agua subterránea del delta de Mekong presenta calidad pobre y marginal durante el periodo 2010-2017. Finalmente, como conclusión indica que no existe diferencia significativa entre los resultados del índice del consejo canadiense y el índice mejorado. Sin embargo; el índice mejorado brinda una información más detallada del agua subterránea, debido a que analiza todos los parámetros de manera individual.

Noboa (2021) en su trabajo de maestría, estableció como objetivo, analizar y proponer acciones para mejorar la calidad del agua del río Chimbo. La investigación se realizó en la provincia de Bolívar del país de Ecuador. Respecto a los resultados, se determinó que, los parámetros aceites y grasas, compuestos fenólicos, coliformes totales y fecales, superan el estándar para uso recreativo mediante contacto primario

y solo el parámetro aceites y grasas mediante contacto secundario. Por otro lado, el índice analizado Dinius, arrojó la calificación de aceptable para uso recreativo, el índice canadiense determinó, calidad marginal por contacto primario y calidad buena por contacto secundario, por último; el índice NSF calculó un valor promedio que corresponde a una calidad media. Finalmente, como conclusión se menciona que, el río Chimbo se encuentra en un estado medio a regular, debido a los vertimientos de aguas residuales e inadecuado manejo de residuos sólidos; asimismo, se concluye que las calificaciones obtenidas por los diversos índices justifican una mejora en la calidad de las aguas descargadas en la ciudad de Guaranda.

Torres (2022) en su proyecto de investigación, tuvo como objetivo, hallar el índice de la calidad del agua en la comunidad de Yunguilla. La investigación se realizó en la provincia de Pichincha del país de Ecuador, empleando la metodología del Consejo Canadiense de ministros del Medio Ambiente (CCWE). En relación con los resultados, se determinó que existía deficiencia de cloro libre residual en el sistema de abastecimiento, por otro lado, los parámetros coliformes totales, termotolerantes y bacterias heterotróficas superaban las directrices permitidas. Finalmente, se indica que, el área de captación, almacenamiento y dotación, presentan una calificación de regular. Por lo tanto, el sistema de desinfección actual es deficiente y se requiere la implementación de un sistema moderno.

Herrera & Traslaviña (2021) en su trabajo de investigación, tuvieron como objetivo, analizar la variación espacio temporal de la calidad del agua del río Tanjuelo durante el periodo 2009-2019. La investigación comprendió diez (10) puntos de monitoreo y se realizó en el país de Colombia, aplicando la metodología del Consejo Canadiense de ministros del Medio Ambiente (CCME). En lo que se refiere a resultados, se calificó los índices altos y bajos por punto de monitoreo, es decir, cinco (05) puntos expresaron condición pobre durante el periodo de estudio, dos (02) puntos emitieron condición marginal durante los años 2017 y 2018, además, dos (02) puntos calificaron como aceptable y marginal en el año 2018, por último, un punto presentó condición buena en el 2017. Finalmente, se concluye que, el río Tanjuelo manifiesta la mayor clasificación de pobre, considerando el año 2009 de mayor contaminación, asimismo, se identificó que las actividades principales que influyen sobre el cuerpo receptor son la filtración de lixiviados por parte del relleno sanitario, las actividades mineras de extracción y los asentamientos humanos.

2.1.2 Nacionales

Carhuasuica y González (2022) en su investigación, tuvieron como objetivo, calificar el estado del agua en el tramo Paclamayo - Pucruto, durante el periodo de octubre a diciembre del año 2021. La investigación se desarrolló en el departamento de Cusco y aplicó la metodología ICARHS. En relación con sus resultados, se determinó que, durante la época de avenida, el río Vilcanota se califica como regular y en estiaje presenta una valorización de mala. Además, el parámetro oxígeno disuelto no cumple el estándar de calidad ambiental para agua en los tres puntos de monitoreo, durante ambos periodos de estudio, de igual manera el parámetro coliforme termotolerantes. Finalmente, se concluye que, el río Vilcanota presenta contaminación principalmente por aguas residuales y desechos en descomposición, lo cual afecta la diversidad de los organismos acuáticos, asimismo, el crecimiento poblacional dirigido hacia las tierras agrícolas, aumentan las descargas al río sin ninguna autorización.

Fuentes (2021) en su trabajo de grado, tuvo como objetivo determinar la incidencia del índice con los diferentes aspectos de la calidad del agua. La investigación estuvo determinada por nueve (07) puntos de muestreo, durante el periodo 2012-2021, ubicados en la sub cuenca Cotahuasi y aplicando los criterios metodológicos del ICARHS. En lo que se refiere a resultados, se identificó que los parámetros oxígeno disuelto, fósforo total, pH y plomo incumplieron la normativa ambiental en diversos años; por otro lado, el índice expresa una calificación de excelente, bueno y pésimo con una gestión eficiente, regular y deficiente respectivamente. En conclusión, la gestión de la calidad de los recursos hídricos superficiales mejora considerablemente la calidad del agua en la sub cuenca del río Cotahuasi.

Vargas (2021) en su proyecto de investigación, tuvo como objetivo principal, determinar el índice de la calidad ambiental en los puntos de monitoreo ubicados en los poblados de Macusani, Ollachea y San Gabán. La investigación contiene seis (06) puntos de control y se desarrolló durante el periodo 2016-2020, en el departamento de Puno. Además, se emplea la metodología ICARHS. Respecto a los resultados, se determinó que, la calidad del agua del río San Gabán se encuentra entre regular a bueno, en Macusani para ambas temporadas presenta la calificación de buena, por

último, en Ollachea para avenida y estiaje se expresa la valoración de regular. El proyecto de investigación llegó a las siguientes conclusiones, La planta de tratamiento ubicada en Macusani presenta baja eficiencia debido al hallazgo de concentraciones de coliformes termotolerantes, los cuales influyen en la calificación del estado de la calidad del agua, por otro lado, las correlaciones lineales entre localidades Macusani-Ollachea, Macusani-San Gabán, Ollachea-San Gabán, indican correlación débil, fuerte y moderada respectivamente.

Lino (2022) en su trabajo de grado, tuvo como objetivo, determinar la calidad del agua aplicando dos índices en las principales bahías del lago Titicaca. La investigación se desarrolló durante el periodo 2015-2020, en diez (10) bahías, aplicando el índice de los recursos hídricos en el Perú (ICA-PE) y de la Fundación Nacional de Saneamiento (ICA-NSF). Con relación a los resultados, se determinó que, la calidad del agua de las diez bahías presenta una categoría de excelente en un porcentaje de 90% y 10% una categoría de buena, aplicando el índice de calidad de agua ICA-PE; la calidad del agua utilizando el índice de la Fundación Nacional de Saneamiento registró como calidad buena el 81.7%, del cual el 16.7% presenta calidad mala y el 1.6% calidad buena. Finalmente, se concluye que, las calificaciones bajas son resultados de los vertimientos de aguas residuales, así como también, los efluentes mineros provenientes del río Ramis; igualmente, la crianza de animales y la agricultura son fuentes de contaminación difusa que influyen en los resultados.

Salas & Segura (2022) en su proyecto de investigación, tuvieron como objetivo, hallar el índice de la calidad del agua en el área de influencia de la minería legal e ilegal en las cuencas del Alto y Bajo Ocoña. La investigación estuvo determinada por catorce (14) puntos de muestreo, durante el periodo 2017-2021, utilizando la metodología ICARHS. Respecto a los resultados, se determinó que, los parámetros arsénico y boro no cumplen el estándar de calidad ambiental para agua, solo para minería legal, por otro lado, los valores para minería ilegal cumplen la normativa. Además, la minería legal e ilegal presenta una calificación de excelente para la categoría 3 y para la categoría 4 una calificación excelente a bueno. Finalmente, se concluye que, existe igualdad significativa entre los índices de la minería legal e ilegal para categoría 3. Sin embargo, no existe diferencia significativa entre el índice de la minería legal e ilegal para la categoría 4.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Calidad del agua

Existen diferentes conceptos de calidad del agua como:

También Romero (2005) afirma que: Para conocer la calidad de un ambiente acuático, se debe determinar las concentraciones de los elementos físicos, químicos y bacteriológicos del agua; igualmente, los lineamientos de la calidad obedecen a la actividad donde se requiere utilizar el agua.

Por otro lado, Baeza (2016) dice: La calidad del agua se representa como el conjunto de parámetros fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológicos en su condición natural o posterior de ser alteradas por las actividades humanas, y que cumplen las directrices reguladoras para un uso determinado.

2.2.2 Composición química de las aguas naturales

2.2.2.1 Sustancias Inorgánicas

En las aguas naturales existe una gran variedad de especies químicas disueltas, tanto inorgánicas como orgánicas. La mayoría de estas especies disueltas se encuentran en estado iónico y presentes generalmente en proporción pequeña.

Respecto a ello, Doménech (2000) nos dice: Los iones alcalinos más comunes en el agua son el sodio (Na^+) y el potasio (K^+), estos iones se encuentran presentes en el medio acuático a causa de procesos de meteorización química, el ion potasio es fundamental para las plantas y su concentración es generalmente menor al ion sodio. Entre los iones alcalinotérreos, los más importantes en las aguas naturales son el ion calcio (Ca^{+2}) y el ion magnesio (Mg^{+2}) los cuales se encuentran de forma libre y formando complejos con aniones.

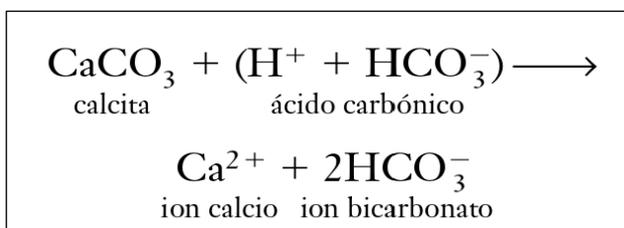
En las aguas naturales el origen de los iones es debido a la meteorización química a través del proceso de disolución, principalmente de la calcita (CaCO_3) y la dolomita. Asimismo, existen otros procesos involucrados en la erosión química como la oxidación y la hidrólisis.

Tarbutck & Lutgens (2005) afirman lo siguiente: En la naturaleza, el ácido carbónico (H_2CO_3) se genera cuando el dióxido de carbono atmosférico (CO_2) se disuelve en las gotas de lluvia. Entonces, el carbonato de calcio o calcita (CaCO_3) reacciona con el ácido carbónico liberando el ion calcio (Ca^{+2}) y el ion bicarbonato (HCO_3^-).

Según se observa en la Figura 1, el carbonato de calcio por el proceso de disolución en un medio ligeramente ácido libera el ion calcio y bicarbonato.

Figura 1

Meteorización química de la calcita



Nota. Tomado de Ciencias de la Tierra, por Tarbuck & Lutgens, 2005, p.180, Pearson Educación.

En las aguas naturales los iones más comunes que podemos encontrar son el aluminio, hierro y manganeso en bajas concentraciones. Con respecto al tema Doménech (2000) menciona lo siguiente:

El aluminio en forma disuelta se encuentra en pequeñas cantidades en el agua, debido a la baja solubilidad de los minerales que presentan este elemento. En excepción, en un medio ácido cuyo pH sea inferior a 4, el aluminio en forma iónica logra liberarse de los minerales. Sin embargo; en un medio neutro, el aluminio precipita formando pequeñas partículas coloidales como la gipsita.

Los constituyentes inorgánicos más comunes de las aguas naturales se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1

Constituyentes inorgánicos de las aguas naturales

Concentraciones	Elementos
Especies mayoritarias (1 a 1000) ppm ^a	Na ⁺ , Ca ⁺² , Mg ⁺² , HCO ₃ ⁻ , SO ₄ ⁻² , Cl ⁻
Especies secundarias (0,1 a 10) ppm	Fe ⁺² , Fe ⁺³ , Sr ⁺² , K ⁺ , CO ₃ ⁻² , NO ₃ ⁻ , F ⁻ , H ₃ BO ₃
Especies traza < 10 ⁻³ ppm	Be, Bi, Cs, Au, Pt, Ra, Ag, Sn

Nota. Las especies traza presentan concentraciones por debajo de 0.001 ppm en el agua.

^a Unidad de medición partes por millón (ppm) equivalente a miligramo por litro (mg/l).

De Química de la Hidrosfera, por Doménech, 2000, p.18, Miraguano Ediciones.

2.2.2.2 Sustancias Orgánicas

Las sustancias orgánicas más numerosas en el agua son los compuestos fenólicos y las sustancias húmicas. Las sustancias húmicas se encuentran en estado coloidal y representan el 50 a 75% de toda la materia orgánica disuelta, cuyo origen es principalmente por la filtración del agua a través del suelo. Por esta razón, las sustancias húmicas generan alteración de las propiedades organolépticas, alterando la coloración del agua. (Doménech, 2000)

2.2.3 Parámetros de calidad del agua

Para conocer el nivel de la contaminación del agua, es necesario medir las concentraciones de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

2.2.3.1 Parámetros físicos

Son todos aquellos que tienen relación directa con las características estéticas del agua.

a) Olor

Los olores son evidencia de la degradación de sustancias orgánicas presentes en el agua, generalmente producido por la acción de las bacterias y algas. Asimismo, las sustancias orgánicas y muchas inorgánicas son olorosos, incluyendo las algas y otros organismos. Igualmente, el sulfuro de hidrógeno presente en las aguas subterráneas y residuales, es fétido. (Kiely, 1999)

b) Sabor

El agua natural presenta generalmente un sabor refrescante debido a la presencia de sales o gases, como el dióxido de carbono, en cantidades adecuadas. Sin embargo, cuando un elemento se encuentra en concentraciones altas, el agua adquiere un sabor desagradable. Por lo tanto, la presencia en exceso de dióxido de carbono atribuye un sabor ácido, el hierro y manganeso a concentraciones elevadas aportan un sabor metálico y el sulfato magnésico otorga un sabor amargo. Además, este indicador está relacionado con el pH, el agua a pH bajo presenta un sabor ácido y a

pH alto un sabor jabonoso. En efecto, un sabor agradable se encuentra en el rango de (6-7) unidades de pH. (Doménech, 2000)

c) Color

La presencia de sustancias externas en el medio hídrico, como los minerales, materia orgánica, vegetación y organismos acuáticos, cambian el color del agua en la naturaleza. El color del agua se clasifica como color verdadero y color aparente, en cuanto a, el color verdadero se determina después de haber eliminado la materia orgánica en suspensión y, por otro lado, el color aparente es la tonalidad que aporta la materia suspendida en el agua. Además, el color se mide por la comparación de la muestra con soluciones estándar de color o discos de vidrio coloreados. Es decir, una unidad de color es equivalente al color producido por 1 mg/L de solución de platino. (Spellman & Drinan, 2004)

d) Turbiedad

La turbidez en las aguas naturales es generada por la existencia de partículas en suspensión, entre las de origen inorgánicas destacan de las arcillas y óxidos. Igualmente, de origen orgánica resaltan los ácidos húmicos y fúlvicos, taninos, etc. Por otra parte, el origen de estas partículas procede de la erosión, transporte de sedimentos, crecimiento excesivo de algas y vertidos de aguas residuales. La turbidez se determina a través de un ensayo por comparación visual con suspensiones estándar en frascos de 1 litro en unidades de mg/L de dióxido de silicio. (Doménech, 2000)

e) Temperatura

La temperatura varía continuamente en el medio hídrico, debido a los cambios estacionales. Asimismo, la alteración de la temperatura es causado por actividades antropogénicas. Sin embargo, existen factores naturales que generan fluctuaciones en la temperatura, como las afloraciones de aguas termales. En consecuencia, el ciclo de vida y reproducción de los peces y de otros organismos acuáticos requiere estar en un rango óptimo de temperatura. Por ejemplo, la temperatura óptima para la trucha es de 15 °C. El incremento de la temperatura en las aguas superficiales afecta la velocidad de la actividad bacteriana, la velocidad de transferencia de los gases en el agua y la solubilidad del oxígeno. Es decir, cuando incrementa la temperatura, la concentración de oxígeno disuelto decrece. (Spellman & Drinan, 2004)

f) Sólidos

Los sólidos totales son relevantes en la evaluación de la calidad del agua y están conformados por los sólidos suspendidos y disueltos. En relación a los sólidos totales, se describen como aquellos compuestos que persisten luego de evaporar la muestra a 105 °C. Por otro lado, los sólidos suspendidos se calculan por diferencia de los sólidos totales y disueltos. Respecto a los sólidos disueltos, se determinan filtrando la muestra para posteriormente calcular los sólidos totales de la muestra final. Por consiguiente, la muestra obtenida después del filtrado se manda a evaporación y pesado, con la finalidad de obtener los sólidos disueltos fijos. Por otro lado, los sólidos sedimentables son aquellos que por gravedad se estabilizan en la base cónica de un recipiente durante una hora. (Sierra, 2011)

2.2.3.2 Parámetros químicos

Los parámetros químicos del agua están separados por compuestos orgánicos e inorgánicos. Sin embargo, de acuerdo a Sierra (2011) clasifica por indicadores y sustancias químicas.

2.2.3.2.1 Indicadores

a) Potencial de hidrógeno (pH)

Romero (2005) afirma lo siguiente: El pH se utiliza para conocer el nivel de la acidez o alcalinidad de una solución; aunque, no significa que calcule la acidez total o alcalinidad total. Además, el pH es una forma de representar la concentración del ion hidrógeno y se define como el logaritmo del inverso de la concentración del ion hidrógeno.

El pH se expresa por la Ecuación 1.

Ecuación 1

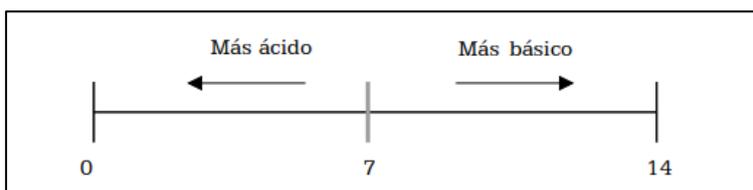
pH

$$pH = \log \left(\frac{1}{[H^+]} \right) = -\log[H^+] \quad (1)$$

Como podemos ver en la Figura 2, el pH por análisis químicos se encuentra en el intervalo de 0-14.

Figura 2

Escala de pH



Nota. Tomado de Calidad del agua, por Sierra, p.60, 2011, Ediciones de la U.

El pH tiene importancia en el proceso de purificación de aguas residuales, donde se apliquen técnicas biológicas, debido a que el pH debe encontrarse en el rango adecuado para los organismos. Asimismo, en las plantas de tratamiento es un elemento relacionado con la coagulación, desinfección, ablandamiento y control de la corrosión. (Romero, 2005)

b) Acidez

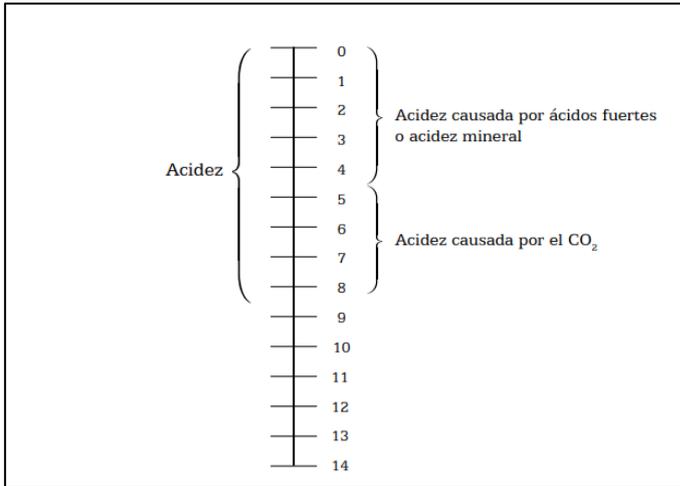
Sierra (2011) expresa lo siguiente: La acidez del agua se puede explicar como la facilidad que tiene para poder neutralizar bases. Además, en las aguas naturales la acidez es originada principalmente por la presencia de dióxido de carbono. Por lo tanto, la acidez se expresa en mg/L de CaCO_3 .

La acidez en el agua se fundamenta cuando el dióxido de carbono se disuelve en el agua, reacciona formando ácido carbónico, el cual se separa en iones hidrógeno y el ion bicarbonato. Por otra parte, la acidez mineral se dice que prevalece por debajo del intervalo aproximado de (4,2-4,4) unidades de pH. (Kemmer & McCallion, 1998)

Según la Figura 3, la acidez puede ser provocada por ácidos fuertes, mineral o dióxido de carbono en función de la medida del pH.

Figura 3

Clases de acidez según el pH



Nota. El esquema representa la acidez hasta un pH inferior de 8,5. Tomado de Calidad del agua, por Sierra, 2011, p.61, Ediciones de la U.

c) Alcalinidad

La alcalinidad en una muestra es interpretada como la facilidad que tiene para neutralizar los ácidos. Igualmente, la existencia de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos en el agua superficial es un indicador de aguas alcalinas. De igual manera que la acidez, la alcalinidad se expresa en mg/L de CaCO₃. (Sierra, 2011)

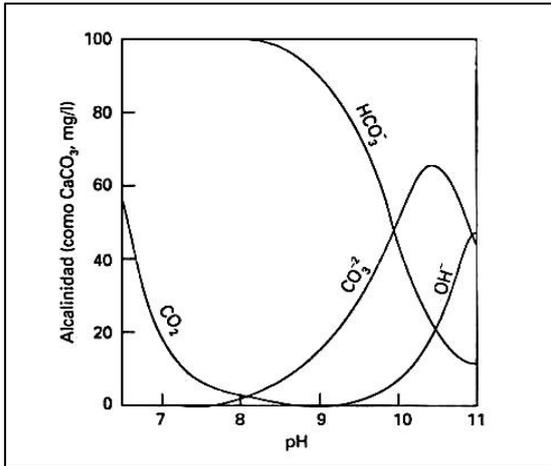
Por otro lado, Kemmer & McCallion (1998) del análisis de las curvas de titulación mencionan lo siguiente:

La alcalinidad en las aguas naturales es generada por el bicarbonato a un pH menor de 8,2-8,4 aproximadamente. Al mismo tiempo, en el intervalo de pH entre 4,4-8,2 coexiste el dióxido de carbono y los iones bicarbonato. No obstante, el dióxido de carbono, por encima de este pH, deja de existir en concentraciones cuantificables y el ion carbonato comienza a surgir. Por otra parte, la alcalinidad cáustica aparece cuando el pH se eleva por encima de 9,6-9,8, debido a que los iones hidroxilo se encuentran en concentraciones ponderables.

De acuerdo a la Figura 4, en el tratamiento de aguas con cal, el carbonato y bicarbonato coexisten en ausencia de dióxido de carbono y iones hidroxilo.

Figura 4

Carbonatos y bicarbonatos a distintos niveles de pH



Nota. El bicarbonato se evidencia a partir de 8,2 unidades de pH. Tomado de Ingeniería Ambiental, por Kiely, 1999, p.95, McGraw-Hill Interamericana de España.

d) Dureza

La dureza está relacionada con la geología del medio hídrico; debido a las precipitaciones ácidas, que discurren sobre las rocas calizas. Por lo tanto, el agua erosiona la roca y traslada los cationes disueltos al medio hídrico. Es decir, la dureza está conformado principalmente por los iones calcio y magnesio. Igualmente, que la alcalinidad y acidez, la dureza se expresa en mg/L de carbonato de calcio y se calcula empleando el método volumétrico. (Spellman & Drinan, 2004)

La Tabla 2 muestra los principales iones que originan la dureza en el agua.

Tabla 2

Especies iónicas responsables de la dureza

Cationes	Aniones
Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻
Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻
Si ²⁺	Cl ⁻
Fe ⁺²	NO ₃ ⁻
Mn ⁺²	SiO ₃ ²⁻

Nota. Tomado de Ingeniería Ambiental, por Kiely, 1999, p.98, McGraw-Hill Interamericana de España.

Como se muestra en la Tabla 3, la dureza está clasificada en función a la concentración presente en el agua.

Tabla 3

Dureza relativa de las aguas

Grado de dureza	mg/L^a cómo CaCO₃
Blanda	0-75
Moderadamente dura	75-100
Dura	150-300
Muy dura	>300

Nota. Los acuíferos presentan aguas habitualmente duras.

^aUnidad de medición miligramo por litro.

De Ingeniería Ambiental, por Kiely, 1999, p.98, McGraw-Hill Interamericana de España.

e) Conductividad

Kiely (1999) afirma lo siguiente: Es la capacidad de un medio líquido para conducir la corriente eléctrica. Dicho de otra manera, el movimiento de los cationes y aniones en el agua favorece el desplazamiento de la corriente eléctrica; es decir, una alta concentración de sales dispersas origina una elevada movilidad iónica. De manera que, se obtiene una medida alta de la conductividad. En el medio hídrico, la conductividad es producida por la separación de materia inorgánica; por lo tanto, un resultado alto de la conductividad señala la existencia de sales inorgánicas diluidas. Asimismo, para determinar la conductividad se debe conocer las concentraciones de los cationes y aniones.

En la tabla 4, se presentan el intervalo aproximado de la conductividad para cada tipo de agua.

Tabla 4*Intervalos típicos de la conductividad para diferentes aguas*

Agua	Intervalo de conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)^a
Químicamente pura	0,05
Destilada	0,1-4
Agua de lluvia	20-100
Agua blanda	40-150
Agua dura	200-500
Gama de ríos	100-1,000
Agua subterránea	200-1,500
Agua de estuario	200-2,000
Agua de mar	40,000

Nota. Tomado de Ingeniería Ambiental, por Kiely, 1999, p.100, McGraw-Hill Interamericana de España.

^aUnidad de medición micro Siemens por centímetro.

2.2.3.2.2 Sustancias químicas

a) Aceites y Grasas

Romero (2005) afirma lo siguiente: Los aceites y grasas son el conjunto de materiales poco solubles que logran separarse del agua y forman natas, películas y capas iridiscentes sobre la superficie. Asimismo, los principales lípidos en los efluentes residuales son los aceites y grasas; sin embargo, su presencia resulta ser poco estéticas en los ríos. El parámetro aceite y grasas comprende compuestos con cadena larga de hidrocarburos, que contienen grupo carboxílico en un extremo.

También, Sierra (2011) afirma de manera similar que: Las grasas llegan a los ríos por vertimiento de aguas residuales y su cantidad está relacionada con las prácticas humanas que se realizan en el contorno. En consecuencia, este parámetro genera problemas de operación en las plantas de tratamiento, principalmente obstruyendo las tuberías. Por otra parte, en las aguas naturales, la existencia de grasas disminuye la transferencia de oxígeno disuelto y que la luz llegue al fondo del río. En pocas palabras, las grasas son residuos sólidos y los aceites líquidos.

b) Detergentes

Por otro lado, Orozco et. al (2002) afirma lo siguiente: En la generación de los detergentes se diferencian dos principios activos, los surfactantes o tensoactivos y los coadyuvantes. Estos últimos son responsables de los problemas de polución de ríos, disminuyendo la transferencia de oxígeno del agua y ocasionando toxicidad por la generación de espumas. Además, los detergentes con alta concentración de fósforo son responsables del proceso de eutrofización de las aguas. Por lo cual, los detergentes son el origen de los fosfatos que existen en las aguas residuales.

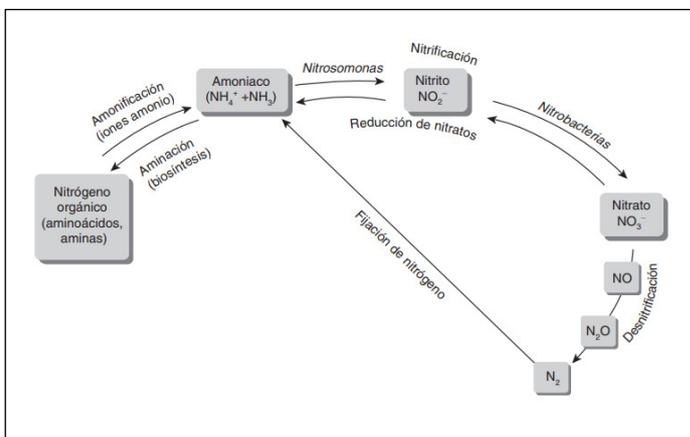
c) Nitrógeno Amoniacal

Romero (2005) sostiene lo siguiente: El nitrógeno amoniacal prevalece en el agua como ion amonio y amoniaco, la cantidad de estos elementos está relacionado con el pH del agua, a pH bajo existe el ion amonio, en cambio, el amoniaco predomina a pH alto. Por otro lado, en la orina se libera nitrógeno principalmente como urea, la cual es hidrolizada en carbonato de amonio por la enzima ureasa. Igualmente, la materia orgánica es transformada en amoniaco por las bacterias, y este producto es aprovechado por las plantas. Además, las bacterias nitrosomonas oxidan el amoniaco en nitritos y las nitrobacterias oxidan los nitritos en nitratos en presencia de oxígeno.

En la Figura 5, se muestra el ciclo del nitrógeno

Figura 5

Ciclo del Nitrógeno



Nota. Tomado de Ingeniería Ambiental: fundamentos, sustentabilidad, diseño, por Mihelcic & Beth, 2012, p.202, Alfaomega Grupo Editor.

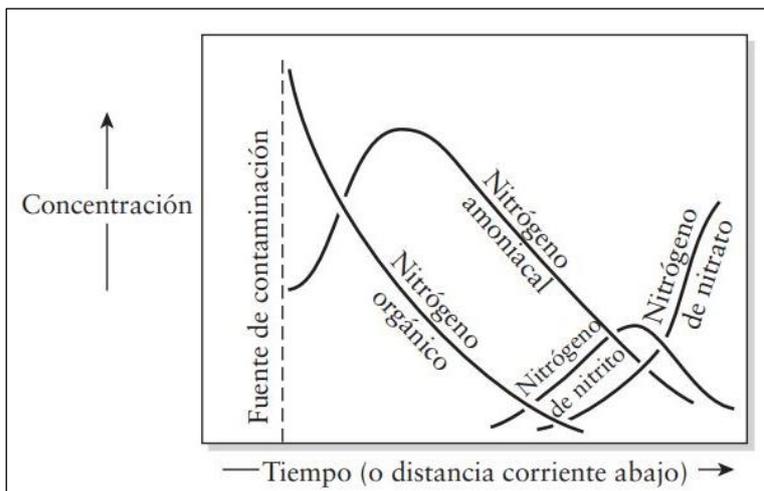
Kiely (1999) nos dice: El nitrógeno es fundamental para el desarrollo de algas; por otro lado, cuando es oxidado por las bacterias, genera una disminución de los niveles de oxígeno disuelto en el agua. La concentración de nitrógeno en aguas residuales varía entre 20-70 mg/l, mientras que en ríos sin contaminación se encuentra entre 0,18-3 mg/l. Por otra parte, los animales se alimentan de nitrógeno orgánico de las plantas, una porción se integra a huesos y tejidos y el resto se excreta como orina y heces.

Por otro lado, Masters & Ela (2008) afirman lo siguiente: En la curva del oxígeno, el nitrógeno genera un mínimo aguas abajo, es decir; cuando el amoniaco y el nitrógeno orgánico se oxidan a nitrito o nitrato. Sin embargo, cuando la concentración de oxígeno es baja, el proceso de nitrificación no será posible y el nitrógeno permanecerá como amoniaco en el agua. En consecuencia, las aguas se volverán tóxicas.

En la Figura 6, se observa el efecto de un contaminante orgánico que ingresa en un río.

Figura 6

Cambios del nitrógeno en aguas contaminadas



Nota. Tomado de Introducción a la Ingeniería Medioambiental, por Masters & Ela, 2008, p.218, Pearson Educación.

d) Sulfatos

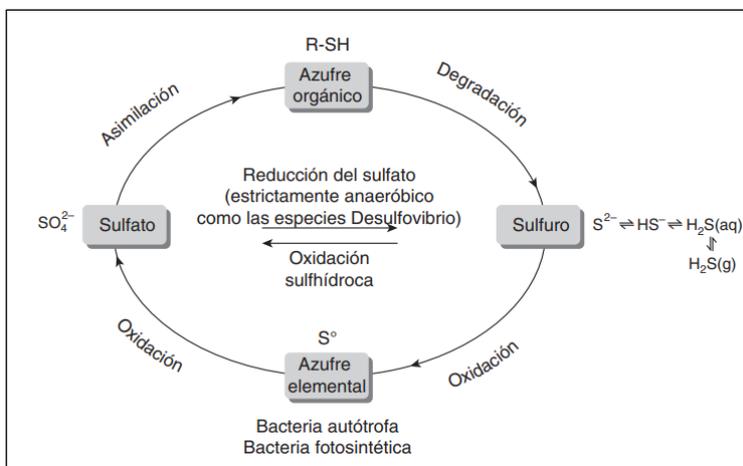
Orozco et. al (2002) afirma lo siguiente: En la atmósfera podemos encontrar al sulfuro de hidrógeno y el dióxido de azufre, cuyo origen natural son principalmente las erupciones volcánicas y la degradación de la materia orgánica. Además, en el ciclo del azufre el sulfuro de hidrógeno es convertido a sulfatos, por medio de los microorganismos. Al mismo tiempo, estos elementos llegan a los cuerpos hídricos por deposición seca y húmeda de partículas suspendidas de sulfato.

También, Romero (2005) explica de manera similar que: En condiciones aeróbicas el sulfuro de hidrógeno es transformado a sulfito, posteriormente estos reaccionan con el oxígeno para generar sulfatos. El sulfato es el compuesto aniónico más común y con presencia en las aguas naturales. Por otro lado, la concentración elevada de sulfatos en las aguas residuales genera problemas de olor y corrosión de los sistemas de alcantarillado. Igualmente, los sulfatos en los sistemas de calderas forman incrustaciones.

En la Figura 7, podemos observar las etapas del ciclo del azufre.

Figura 7

Ciclo del Azufre



Nota. Tomado de Ingeniería Ambiental: fundamentos, sustentabilidad, diseño, por Mihelcic & Beth, 2012, p.204, Alfaomega Grupo Editor.

e) Sulfuros

Romero (2005) menciona lo siguiente: Los sulfuros se encuentran presentes en los efluentes domésticos e industriales en forma suspendida o diluida. Asimismo, estos compuestos presentan el número de oxidación (-2) y entre los más representativos están el ácido sulfhídrico y el ion hidrosulfuro. En las aguas subterráneas y aguas superficiales podemos evidenciar sulfuros, debido a la descomposición de compuestos orgánicos en circunstancias anaeróbicas. Por otra parte, cuando el pH sea mayor a 8, los sulfuros están presentes en la solución como ion S^{2-} y el ácido sulfhídrico existirá en mínima concentración, por lo tanto; no se generan problemas de malos olores. Sin embargo, a un pH inferior a 7, existe gran cantidad de ácido sulfhídrico generando problemas de olores.

f) Cloruros

Kemmer & McCallion (1998) nos dicen: Los cloruros son sales muy solubles en solución, se encuentran generalmente en el agua de mar en concentraciones aproximadas de 30000 mg/l como cloruro de sodio y también en pozos subterráneos salinos. Aunque, en fuentes de agua dulce existen en concentraciones que varían entre 10-100 mg/l. Debido a las formaciones geológicas que estuvieron en el mar en algún momento; en consecuencia, la erosión constante de las rocas sedimentarias logra filtrar cloruros en las aguas superficiales. Por otro lado, la eliminación de cloruros en el agua se realiza por medio de procesos químicos y físicos, entre ellos el intercambio aniónico, la evaporación y osmosis inversa, logran disminuir la concentración de cloruro. Sin embargo, es recomendable alcanzar valores inferiores a 250 mg/l para agua potable.

g) Fósforo total

Kemmer & McCallion (1998) declaran lo siguiente: El fósforo se utiliza abundantemente en fertilizantes y detergentes, por ello es común hallar fosfatos en los lodos procedentes de residuos agrícolas. Asimismo, en las aguas residuales municipales podemos evidenciar concentraciones en el intervalo de 15-30 mg/l. Por otra parte, el fosfato es el factor principal de la proliferación de algas, originando problemas de eutrofización en ríos y lagos. Además, el fósforo existe en el agua como ácido fosfórico (HPO_4^{2-}) y como fosfato (PO_4^{3-}) al incrementar el pH del medio hídrico.

También, Romero (2005) sostiene lo siguiente: El fósforo está presente en el agua como ortofosfatos, polifosfatos y fosfatos orgánicos. Los ortofosfatos predominan en los efluentes domésticos. Ya que, los compuestos de polifosfatos tienden a transformarse en ortofosfatos por proceso de hidrólisis; igualmente, la descomposición de los fosfatos orgánicos genera ortofosfatos. Por consiguiente, para monitorear el fósforo es recomendable una evaluación de fósforo total. Por otro lado, el análisis de fósforo es trascendental para estudios de contaminación de ríos y lagos.

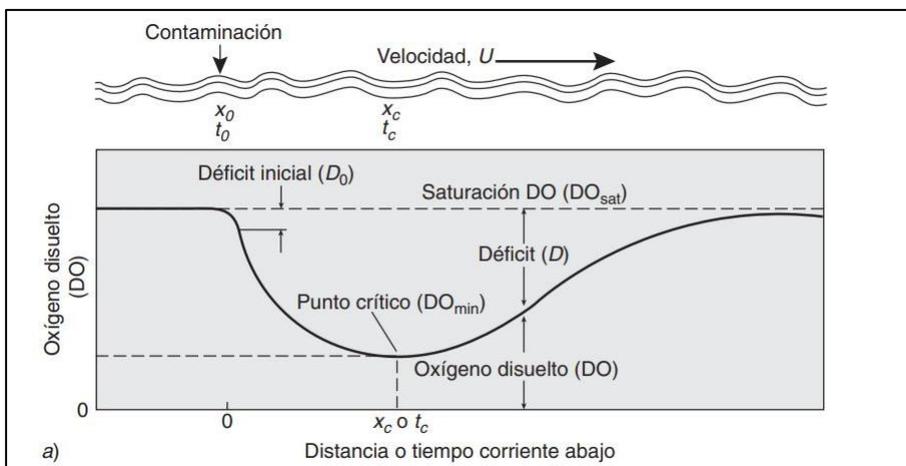
h) Oxígeno Disuelto

Mihelcic & Beth (2012) afirman lo siguiente: El vertimiento de aguas residuales en un cuerpo receptor, produce una mayor demanda de oxígeno por los microorganismos para oxidar la materia orgánica. Sin embargo, en caso de que la tasa de desoxigenación sea mayor a la tasa de reaeración, se genera un déficit de oxígeno. Dicho de otra manera, la velocidad a la cual es consumido el oxígeno es superior a la velocidad a la cual el oxígeno es abastecido desde la atmósfera. Por consiguiente, la concentración de oxígeno disminuye hasta valores inferiores al nivel de saturación. En definitiva, el oxígeno disuelto es fundamental para mantener el equilibrio de los organismos existentes en los ríos, lagos y el océano.

La Figura 8, ilustra la curva del oxígeno disuelto en el río, después de recibir la descarga de aguas residuales.

Figura 8

Curva del oxígeno



Nota. Tomado de Ingeniería Ambiental: fundamentos, sustentabilidad, diseño, por Mihelcic & Beth, 2012, p.312, Alfaomega Grupo Editor.

Las aguas residuales con alta concentración de residuos orgánicos pueden hacer caer los niveles de oxígeno disuelto hasta cero, en este caso extremo, se genera una zona anaerobia en el río sin presencia de vida acuática, donde la degradación se realiza a menor velocidad por las bacterias anaerobias, librando emanaciones tóxicas como el ácido sulfhídrico y amoníaco. Por otra parte, la curva del oxígeno presenta cambios en función a las estaciones, la hora del día y la concentración del contaminante. Igualmente, durante los meses de menor precipitación el caudal de los ríos disminuye, por lo tanto, se reduce la dilución de contaminantes. Aunque la temperatura es un factor también importante; debido a que, al incrementarse la temperatura, la velocidad de desoxigenación se eleva y la materia orgánica se degrada más rápido, sin embargo; el oxígeno disuelto disminuye. (Masters & Ela, 2008)

i) Demanda Bioquímica de Oxígeno

Cuando encontramos residuos orgánicos en una muestra de agua es más sencillo informar el agotamiento de oxígeno generado, que determinar los compuestos orgánicos individuales, esto se le denomina representación por efecto; el cual busca un elemento común que involucren todas las reacciones químicas del agua. Por lo tanto, la demanda bioquímica de oxígeno se define como: la concentración de oxígeno que consumen las bacterias para realizar la descomposición de compuestos orgánicos. En otras palabras, es el agotamiento de oxígeno en la degradación biológica. (Mihelcic & Beth, 2012)

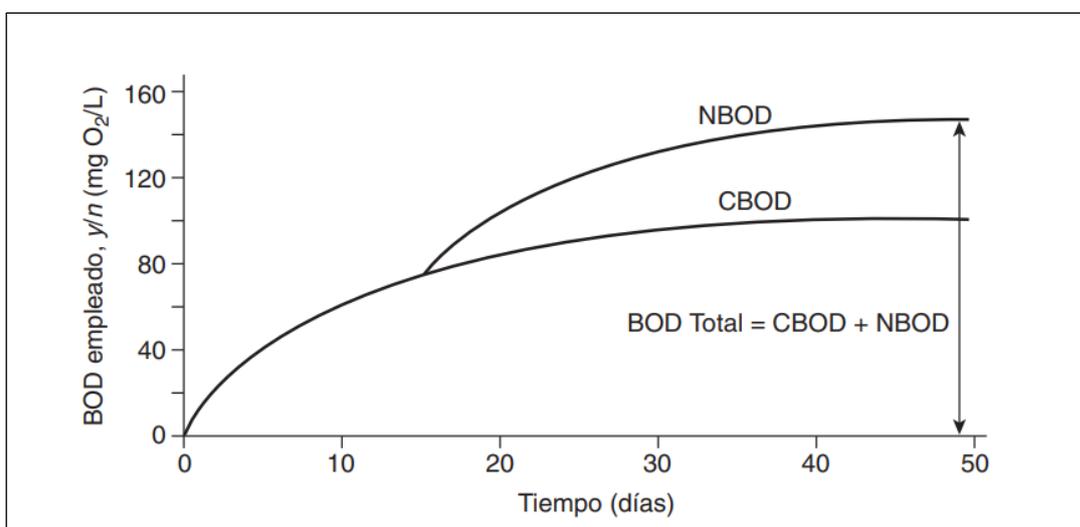
Igualmente, Mihelcic & Beth (2012) detallan lo siguiente: La demanda bioquímica de oxígeno existe en aguas no contaminadas, debido a la descomposición de algas, vegetación y residuos fecales de los organismos acuáticos. Sin embargo, se encuentra en mayor proporción en las aguas residuales de origen doméstico, donde el 90% está compuesta por proteínas y carbohidratos. No obstante, para evitar la polución de las aguas superficiales, se supervisa el contenido orgánico total descargado, debido a que, el vertimiento sin tratamiento disminuye los niveles de oxígeno y la vida acuática.

Por otro lado, Kiely (1999) indica lo siguiente: Los efluentes con desechos orgánicos, que son vertidos al cuerpo receptor, generan una demanda de oxígeno por parte de las bacterias. Sin embargo, cuando la materia orgánica es elevada, puede agotar el oxígeno y en consecuencia, volver anaerobio al medio hídrico. Además, la oxidación de productos con carbono ejerce una demanda de oxígeno, también llamada demanda carbonosa. Igualmente, la demanda de oxígeno para la oxidación de amoníaco a nitrato se denomina demanda nitrosa.

En la Figura 9, se presenta las etapas de la demanda bioquímica de oxígeno en la descomposición de los residuos.

Figura 9

Primera y segunda etapa de la demanda bioquímica de oxígeno



Nota. Tomado de Ingeniería Ambiental: fundamentos, sustentabilidad, diseño, por Mihelcic & Beth, 2012, p.196, Alfaomega Grupo Editor.

j) Demanda Química de Oxígeno

Según Vesilind et. al (2013) afirma lo siguiente: Es un ensayo de laboratorio, que se distingue por utilizar un agente oxidante denominado dicromato de potasio más un ácido fuerte. Es decir, el dicromato de potasio oxida todos los residuos orgánicos biodegradables y no biodegradables; por lo tanto, este parámetro generalmente es mayor a la DBO₅ en las muestras de agua. Sin embargo, si la muestra incluye solo materia biodegradable, será lo contrario. Igualmente, si la muestra incluyera solamente materia no biodegradable, como los compuestos refractarios;

presentaría una demanda química mayor y demanda biológica nula. Además, resulta ser un método más preciso debido a su principio químico y puede calcularse en tres (03) horas aproximadamente.

k) Metales Pesados

Doménech (2000) comenta lo siguiente: Los metales en los recursos hídricos se pueden hallar como elementos libres o formando complejos con materiales orgánicos e inorgánicos; sin embargo, también se puede encontrar adheridos en el sedimento, debido al proceso de adsorción, donde los compuestos de hidróxido, óxidos o carbonatos precipitan al sustrato. Igualmente, los metales se pueden adsorber sobre la superficie de minerales arcillosos, coloides orgánicos y óxidos. Por otro lado, los metales son sensibles al intercambio catiónico con ácidos fúlvicos, húmicos y minerales arcillosos; asimismo, pueden tener cambios químicos por los procesos redox, alquilación, etc.

La Tabla 5, resume los elementos traza más relevantes en las aguas naturales, junto con sus fuentes y efectos generados.

Tabla 5

Elementos traza importantes en las aguas naturales

Elemento	Fuentes	Efecto e importancia
Arsénico	Subproductos mineros, residuales, químicos	Elemento tóxico, posiblemente carcinogénico
Aluminio	Residuos industriales, fuentes naturales	El aluminio en el organismo genera enfermedades al riñón y los huesos.
Berilio	Carbón residuos industriales	Elemento tóxico
Boro	Carbón, detergentes, residuos líquidos	Elemento tóxico
Cobre	Revestimiento en metales, residuos mineros	Elemento tóxico para humanos y plantas a niveles altos.

Elemento	Fuentes	Efecto e importancia
Cromo	Recubrimientos metálicos	Esencial como Cr (III) altamente tóxico como Cr (IV)
Cadmio	Descargas industriales, desechos mineros, recubrimiento de metales	Elemento tóxico genera envenenamiento agudo en humanos,
Flúor	Fuentes geológicas naturales	Previene la caída de dientes, tóxico en niveles altos.
Hierro	Residuos industriales, corrosión, agua ácida de mina, acción microbiana	Nutriente esencial, daña las piezas sanitarias formando manchas.
Manganeso	Residuos industriales, drenajes o aguas ácidas de mina, acción microbiana	Elemento tóxico a las plantas, daña las piezas sanitarias formando manchas.
Mercurio	Residuos industriales, minería y carbón	Elemento tóxico, se moviliza como compuestos de mercurio.
Molibdeno	Residuos industriales, fuentes naturales	Esencial para las plantas, tóxico para los animales.
Plomo	Residuos industriales, minería, combustibles	Elemento tóxico, dañino a la fauna.
Yodo	Residuos industriales, salmueras, naturales, intrusiones salinas	Previene el bocio.
Zinc	Residuos naturales, recubrimiento de metales	Elemento esencial, tóxico para las plantas a altos niveles.

Nota. Adaptado de Introducción a la Química Ambiental, por Manahan, 2007, p.147, Editorial Reverté.

2.2.3.3 Parámetros microbiológicos

La calidad microbiológica del medio hídrico está relacionada con la cantidad de microorganismos o agentes patógenos que ingresan al medio hídrico por el vertimiento de aguas residuales. Los patógenos son aquellos microorganismos que se movilizan por el agua y pueden generar enfermedades en los humanos, entre los más comunes están las bacterias, virus, protozoos y helmintos.

Por otro lado, los organismos indicadores deben presentar las siguientes consideraciones; deben ser sencillos de identificar por técnicas simples y estar en mayor proporción en los desechos de humanos y animales. También, no deben multiplicarse en el agua en condiciones naturales, además, la permanencia en el agua y la forma de eliminación durante los procesos de tratamiento deben ser similar a los patógenos. (Organización Mundial de la Salud [OMS], 1995)

Se detallan los indicadores más importantes de polución encontrados en los residuos humanos.

a) Bacterias coliformes totales

Es un grupo heterogéneo y se encuentra compuesto por bacterias que fermentan la lactosa a 35-37 °C. Estas bacterias pueden encontrarse en los desechos humanos como en el medio ambiente, generalmente en aguas con alta concentración de compuestos orgánicos en descomposición. La existencia de bacterias coliformes evidencia un bajo rendimiento en el tratamiento; por lo tanto, la prueba de coliformes sirve como indicador de la eficiencia en las plantas de depuración. Asimismo, para supervisar la calidad de las aguas en las tuberías. (OMS, 1995)

b) Bacterias coliformes termotolerantes

Son aquellas bacterias pertenecientes al grupo de coliformes totales, con la capacidad de fermentar la lactosa a 44-45 °C. La existencia de coliformes termotolerantes es evidencia que, habido recientemente contaminación fecal. Por otra parte, el grupo de coliformes termotolerantes se componen principalmente por *Escherichia Coli*, por ello, este grupo es aceptable como indicador de polución fecal. Sin embargo, menos sensible que *E. Coli*. Los géneros *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter* pertenecer al grupo termotolerantes, no obstante, *Escherichia Coli*, son considerados las bacterias más abundantes del grupo. (OMS, 2011)

c) *Escherichia Coli*

Son aquellas bacterias que pertenecen a la familia de las enterobacterias, se desarrollan a 44-45 °C. Se encuentra abundantemente en las heces humanas y animales, así como también, en las aguas residuales. Las bacterias *Escherichia Coli* son consideradas como indicador más preciso de polución fecal. (OMS, 2011)

d) Enterococos intestinales

Son aquellas bacterias que pertenecen al género de los *Streptococos*. Estas bacterias no logran desarrollarse en medios acuáticos, por ello, son considerados como indicador de polución fecal; sin embargo, la cantidad en los desechos humanos es inferior a *Escherichia Coli*. No obstante, este género permanece mayor tiempo en el medio hídrico que *E. Coli*, y presentan resistencia a la cloración. Se pueden encontrar elevadas cantidades en las aguas residuales y medios acuáticos contaminados por heces humanas o animales. (OMS, 2011)

2.2.4 Índices de calidad del agua

2.2.4.1 Definiciones

Existen diferentes conceptos de índice de calidad del agua:

Orozco et. al (2002) afirma lo siguiente: Los índices se obtienen por cálculos numéricos, los cuales nos proporcionan un valor. Para la obtención del índice se requiere parámetros físicos y químicos generalmente, aunque en algunos casos en menor medida los microbiológicos. Además, nos permite conocer la evolución del recurso hídrico durante un periodo, con la finalidad de realizar la vigilancia del estado de la calidad del agua de un cuerpo hídrico a lo largo de los años.

También, Torres (2009) afirma de manera similar que: el índice es un dato numérico único adimensional que señala la condición del recurso hídrico, a través de la medición de un conjunto de parámetros críticos del agua. Asimismo, es una herramienta sencilla para calificar el estado del recurso hídrico e importante para la toma de decisiones por autoridades públicas.

2.2.4.2 Ventajas y Desventajas

Los índices como herramienta de evaluación de calidad del agua presentan ventajas y desventajas, presentados a continuación en la Tabla 6.

Tabla 6

Ventajas y desventajas del ÍCA como herramienta de evaluación

Ventajas	Desventajas
Presenta una metodología sencilla, precisa y válida para calcular los datos emitidos por el laboratorio.	La aplicación presenta cierto grado de sesgo que podría arrojar resultados subjetivos.
Brinda a los investigadores una sencilla interpretación de resultados y ayuda a las autoridades para gestionar el agua.	La información generada sobre el estado de la calidad del agua es inexacta, debido a los datos antiguos o emitidos.
Permite localizar áreas con mayor contaminación y determinar la tendencia del agua.	Se encuentra limitado para evaluar nuevos parámetros que involucren riesgos latentes en el agua.
Permite explicar los estudios de calidad del agua con mayor precisión, ya que se conoce la variación del lugar y tiempo.	No son metodologías de aplicación global, debido a las condiciones geográficas y ambientales de las cuencas.
Favorece en la comunicación con la población y mejora la interpretación de la situación de los recursos hídricos.	Se fundamenta en conceptos generales que brindan resultados reducidos.

Nota. Adaptado de Índices de calidad de agua en fuentes superficiales, por Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J., 2009, Revista Ingenierías, Universidad de Medellín, 8(15), p.82.

2.2.4.3 Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS)

En el Perú, los recursos hídricos varían principalmente en calidad y cantidad, debido a las diversas cualidades presentes en su ámbito geográfico. Por ello, la presente metodología adapta expresiones numéricas del índice canadiense, en función al contexto, necesidades particulares y regulación vigente en el país.

a) Parámetros

El índice nacional considera veinte (20) parámetros divididos en dos grupos o subíndices (Materia orgánica y físico-químico Metal). Además, para la aplicación del índice, se debe conocer la categoría otorgada al cuerpo de agua.

En la Figura 10, se mencionan los parámetros solicitados para la aplicación de la metodología.

Figura 10

Parámetros a evaluar en el ICARHS según la categoría

	Categoría 1	Categoría 3	Categoría 4
	Subcategoría A2 1/	2/	Subcategoría E2 3/
Materia orgánica	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	X	X
	Demanda química de oxígeno (DQO)	X	X
	Oxígeno disuelto (valor mínimo)	X	X
	Coliformes termotolerantes	X	X
	Fósforo total	X	
	Amoniaco - N	X	
	Nitratos (NO ₃ ⁻)		
	Hidrocarburos totales de petróleo 4/		
Físico-químico Metal	Potencial de hidrógeno (pH)	X	X
	Arsénico	X	X
	Aluminio	X	X
	Manganeso	X	X
	Hierro	X	X
	Cadmio	X	X
	Plomo	X	X
	Boro 5/	X	X
	Cobre		X
	Mercurio		
	Zinc		
	Sólidos suspendidos totales		

Nota. Tomado de metodología ICARHS, por Autoridad Nacional del Agua, p.7,2020.

b) Cálculo del ICARHS

Para realizar el cálculo del índice, primeramente, se debe identificar el área de estudio y los puntos de monitoreos. Por consiguiente, se debe recopilar datos históricos de los puntos de interés. Asimismo, las campañas de monitoreos deben ser cuatro (04) como requisito mínimo para aplicar la metodología.

Para la obtención del índice se requiere calcular los tres (03) factores:

F1-Alcance: Se interpreta como el número de parámetros que incumplen los límites señalados en la normativa ambiental para agua, en relación con el total de parámetros seleccionados.

Ecuación 2

Alcance

$$F_1 = \left(\frac{\text{N}^\circ \text{ de parámetros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{N}^\circ \text{ total de parámetros a evaluar}} \right) \quad (2)$$

F2-Frecuencia: Se interpreta como el número de datos que incumplen la regulación nacional para agua, en relación con el total de datos de los parámetros seleccionados.

Ecuación 3

Frecuencia

$$F_2 = \left(\frac{\text{N}^\circ \text{ de los datos que no cumplen los ECA Agua}}{\text{N}^\circ \text{ total de datos evaluados}} \right) \quad (3)$$

F3-Amplitud: Es el cálculo de la desviación de los datos y se representa como la sumatoria de excedentes, en otras palabras, los excesos de los datos en relación con la cantidad total de los mismos. Sin embargo, primero se debe obtener los excedentes.

Para hallar el excedente existe dos casos:

Caso 1: En el supuesto que el resultado de la concentración del parámetro se encuentra por encima de la directriz establecida en la normativa nacional para agua, y como resultado no cumpla la regulación.

La ecuación del excedente es de la siguiente forma:

Ecuación 4

Excedente caso 1

$$\text{Excedente} = \left(\frac{\text{Valor del parámetro que no cumple los ECA Agua}}{\text{Valor establecido del parámetro en los ECA Agua}} \right) - 1 \quad (4)$$

Caso 2: En el supuesto que el resultado de la concentración del parámetro se encuentra por debajo de la directriz establecida en la normativa nacional para agua,

y como resultado no cumpla la regulación. Por ejemplo: oxígeno disuelto y potencial de hidrógeno.

La ecuación del excedente se calcula de la siguiente forma:

Ecuación 5

Excedente caso 2

$$\text{Excedente} = \left(\frac{\text{Valor establecido del parámetro en los ECA Agua}}{\text{Valor del parámetro que no cumple los ECA Agua}} \right) - 1 \quad (5)$$

Calculados (4) y (5) se determina la sumatoria de los mismos en relación con el total de datos a través de la siguiente expresión:

Ecuación 6

Suma normalizada de excedentes

$$SNE = \left(\frac{\sum_{i=1}^n \text{excedente}_i}{\text{Total de datos}} \right) \quad (6)$$

Después de calcular (6) se obtiene el valor de F3 de acuerdo a la siguiente fórmula:

Ecuación 7

Amplitud

$$F_3 = \left(\frac{SNE}{SNE + 1} \right) \times 100 \quad (7)$$

Hallados los resultados de (2), (3) y (7) se determina finalmente el índice general, mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 8

Índice general

$$CCME\ WQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right) \quad (8)$$

c) Determinación de subíndices

La determinación del índice final depende de dos subíndices denominados S1 y S2, los cuales se obtienen de los parámetros señalados por la metodología. Por otro lado, la calificación está en función del menor resultado y la evaluación del analista. De acuerdo con lo mencionado se resume de la siguiente manera:

Ecuación 9

Subíndices

$$ICARHS = \min (S_1, S_2) \quad (9)$$

En la Figura 11, se detalla la obtención de los subíndices.

Figura 11

Determinación de subíndices del ICARHS



Nota. Tomado de metodología ICARHS, por Autoridad Nacional del Agua, p.10,2020.

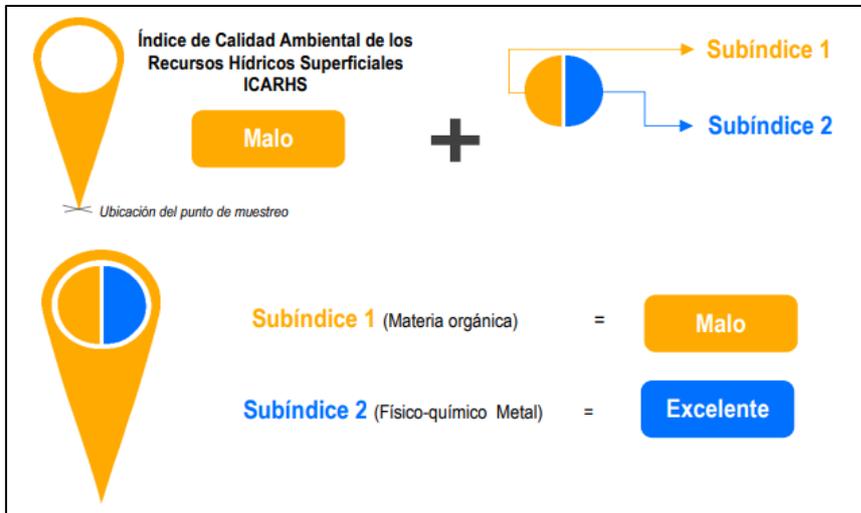
d) Representación gráfica

Los resultados serán presentados gráficamente en un mapa según la simbología establecida. Igualmente, para la representación se debe tener presente la ubicación geográfica, calificaciones de cada subíndice y resultados final del ICARHS.

En la Figura 12, se detalla los símbolos para cada punto de monitoreo.

Figura 12

Determinación del ICARHS



Nota. Tomado de metodología ICARHS, por Autoridad Nacional del Agua, p.10,2020.

e) Escala de valoración

El valor del ICARHS se representa como un número sin dimensiones en una jerarquía de valoración establecido entre (0-100), el cual se divide en cinco (05) rangos que estiman el estado de la calidad del agua.

En la Figura 13, se establece los rangos de valoración para determinar la calificación e interpretación del estado del agua.

Figura 13

Valoración del ICARHS

Valor ICARHS	Calificación ICARHS	Color (RGB)	Interpretación
95 – 100	Excelente	0 112 255	La calidad del agua está protegida, ausencia de amenaza o daño, su condición está muy cercana a los niveles naturales o deseables.
80 – 94	Bueno	0 197 255	La calidad del agua se aleja un poco de la calidad natural agua. Sin embargo, las condiciones deseables pueden estar con algunas amenazas o daños de poca magnitud.
65 - 79	Regular	85 255 0	La calidad de agua natural ocasionalmente es amenazada o dañada. La calidad del agua a menudo se aleja de los valores deseables. Muchos de los usos necesitan tratamiento
45 - 64	Malo	255 170 0	La calidad de agua no cumple con los objetivos de calidad, frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas o dañadas. Muchos de los usos necesitan tratamiento
0 - 44	Pésimo	255 0 0	La calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, casi siempre está amenazada o dañada. Todos los usos necesitan tratamiento

Nota. Tomado de metodología ICARHS, por Autoridad Nacional del Agua, p.9,2020.

III. VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1 Operacionalización de variables

Tabla 7

Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<p>Variable 1</p> <p>Independiente: Índice Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales</p>	<p>El ICARHS se describe como un método matemático que integra una cantidad de parámetros, cuya evaluación permite convertir la información en valores para clasificar la condición de la calidad del agua en un área y tiempo determinado.</p>	<p>Escala de calificación cromática, según metodología ICARHS. (R.J N.º 084-2020-ANA)</p>	<p>Subíndice 1 Materia Orgánica</p> <p>Subíndice 2 Físico-químico Metal</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Alcance (F1) • Frecuencia (F2) • Amplitud (F3)
<p>Variable 2</p> <p>Dependiente: Calidad del agua</p>	<p>La calidad del agua se representa como el conjunto de parámetros fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológicos en su condición natural o posterior de ser alteradas por las actividades humanas, y que cumplen las directrices reguladoras para un uso determinado.</p>	<p>Número de incumplimientos normativos según la categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales (D.S N.º 004-2017-MINAM)</p>	<p>Parámetros Fisicoquímicos</p> <p>Parámetros Inorgánicos</p> <p>Parámetros Microbiológicos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Potencial de hidrógeno • Oxígeno disuelto • Demanda bioquímica de oxígeno • Demanda química de oxígeno • Arsénico, Aluminio, Boro • Cobre, Cadmio, Manganeseo • Hierro, Plomo • Coliformes termotolerantes

3.2 Hipótesis de la investigación

3.2.1 Hipótesis general

- El Índice Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales permite calificar la calidad del agua del río Lurín (2019-2023).

3.2.2 Hipótesis específicas

- La concentración de los parámetros fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológicos de la calidad del agua en el río Lurín, cumplen la normativa (2019-2023).
- Los valores del Subíndice 1, permite calificar la calidad del agua del río Lurín (2019-2023).
- Los valores del Subíndice 2, permite calificar la calidad del agua del río Lurín (2019-2023).

IV. METODOLOGÍA

4.1 Descripción de la metodología

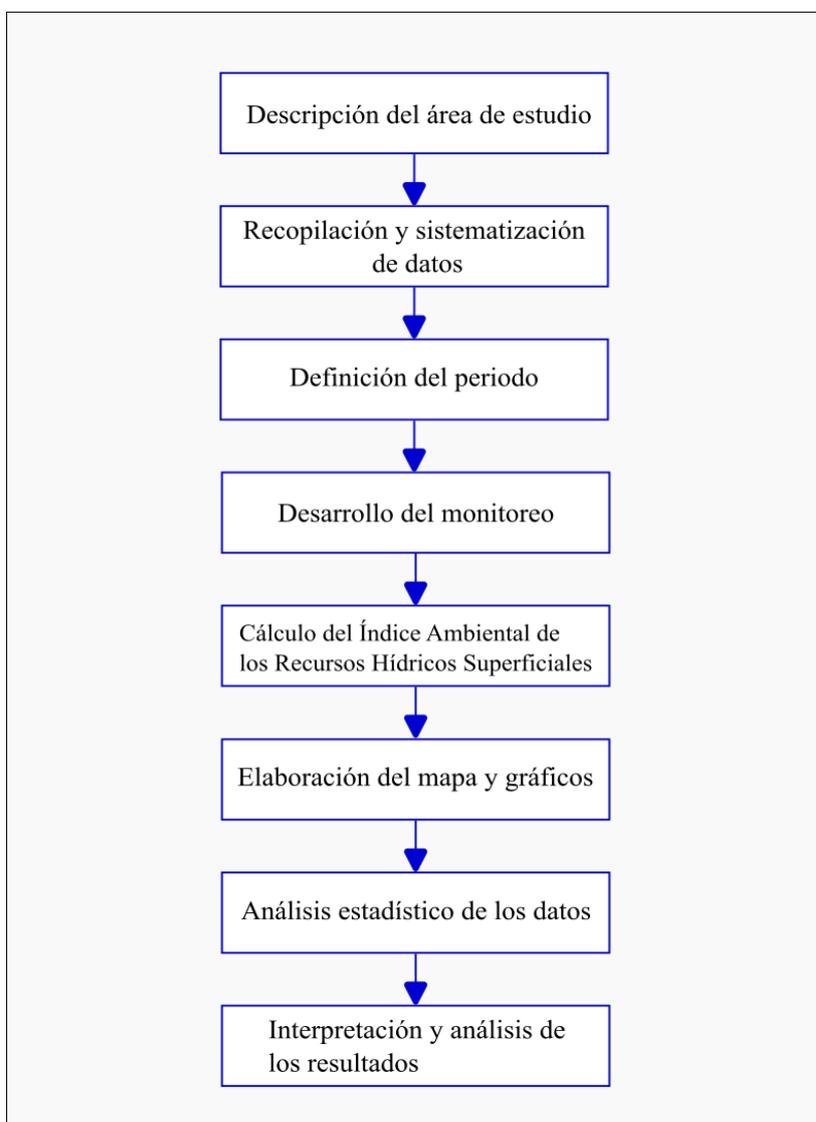
La investigación es de tipo aplicada y de nivel descriptivo, desarrolla el método cuantitativo, porque realiza la medición y toma de muestras. Además, recolecta información numérica para procesarla por métodos estadísticos. Igualmente, tiene un diseño no experimental de tipo longitudinal.

4.1.1 Etapas del desarrollo de la tesis

La presente investigación será desarrollada sobre la base del siguiente flujograma de actividades divididas en ocho (08) etapas.

Figura 14

Flujograma del desarrollo de la investigación



4.2 Implementación

4.2.1 Descripción del área de estudio

El área superior de la cuenca está entre 2500 y 5000 metros sobre el nivel del mar y contiene los distritos de Santiago de Tuna, Langa, Tupicocha, San Damián y Luhuaytambo. El punto RLuri2 (N: 8 662 164, E: 342 074) se encuentra en el distrito de Luhuaytambo. En cuanto a la zona central de la cuenca, se ubica entre los 500 y 2500 metros sobre el nivel del mar, donde se localiza principalmente el distrito de Antioquia y los puntos de monitoreo RLuri3 (N:8 663 053, E:336 846) y RLuri4 (N:8 669 450, E:323 174).

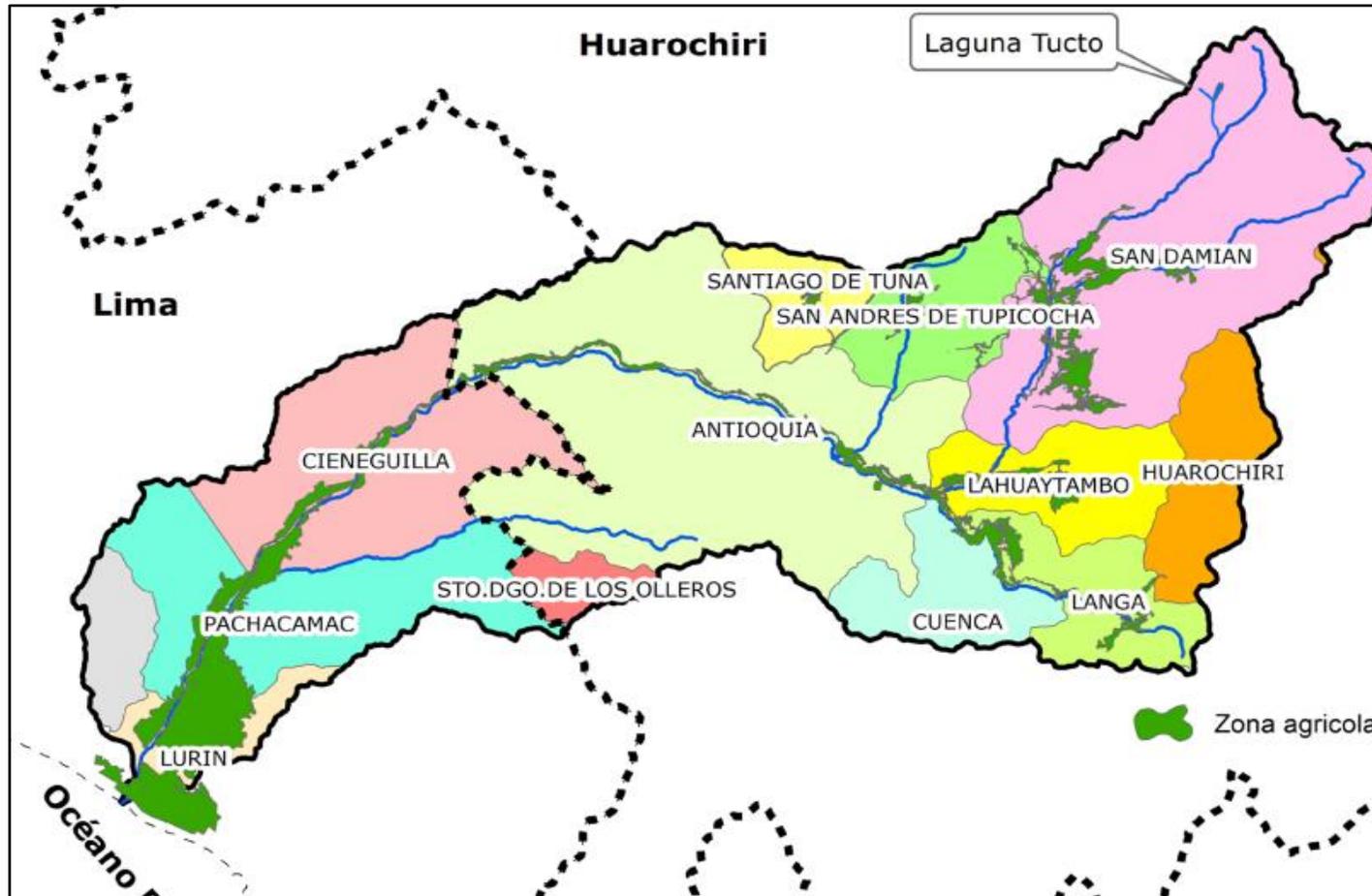
La laguna Tucto es la fuente principal del recurso hídrico en la cuenca Lurín, durante la temporada de estiaje. Se ubica en la parte alta y se abastece de las lluvias y deshielos. Asimismo, proporciona la cantidad necesaria de agua para las actividades agrícolas. Por otro lado, la gestión del agua en la cuenca media alta, es efectuada por la Junta Administradora de Servicios de Saneamiento.

En la cuenca media alta, el 28,32% de los habitantes tiene acceso a un sistema público de abastecimiento de agua, mientras que el 45,70% adquiere el agua de fuentes naturales como ríos, puquiales o manantiales. En cuanto a los sistemas de alcantarillado, una gran proporción de los habitantes de la cuenca media alta no tiene acceso a ellos, ya que alrededor del 65,45% depende de fosas sépticas, pozos negros o letrinas.

El área de análisis está comprendida por tres (03) puntos de monitoreo de la calidad del agua superficial, ubicados en los distritos de Antioquia y Luhuaytambo, pertenecientes a las unidades hidrográficas, medio bajo Lurín, medio Lurín y medio alto Lurín.

Figura 15

Unidad Hidrográfica Lurín



4.2.2 Recopilación y sistematización de los datos

La recolección de datos se inició realizando una solicitud a la Autoridad Local del Agua (ALA) Chillón-Rímac-Lurín. Posteriormente, se analizó los datos brindados, con la finalidad de seleccionar los puntos de monitoreo que cumplan los criterios de la metodología. Por otro lado, la sistematización de los datos se realizó de acuerdo con la clasificación del cuerpo hídrico y según los parámetros establecidos en la metodología para la categoría correspondiente.

4.2.3 Definición del periodo

Para definir el periodo de estudio, primeramente, se analizaron los datos brindados por la Autoridad, considerando que la metodología requiere al menos cuatro datos para un punto de monitoreo. En consecuencia, se requirió ejecutar un monitoreo para obtener datos actuales. Los cuales, en su conjunto, con los datos posteriores, se hallarían los índices. Finalmente, se definió el periodo comprendido entre 2019-2023.

4.2.4 Desarrollo del monitoreo

4.2.4.1 Fecha de intervención

Las actividades de toma de muestras en la unidad hidrográfica Lurín, se desarrolló el 24 de agosto de 2023, durante estiaje.

4.2.4.2 Puntos de Monitoreo

El área de análisis está comprendida por tres (03) puntos de monitoreos de la calidad del agua superficial, ubicados en los distritos de Antioquia y Luhuaytambo.

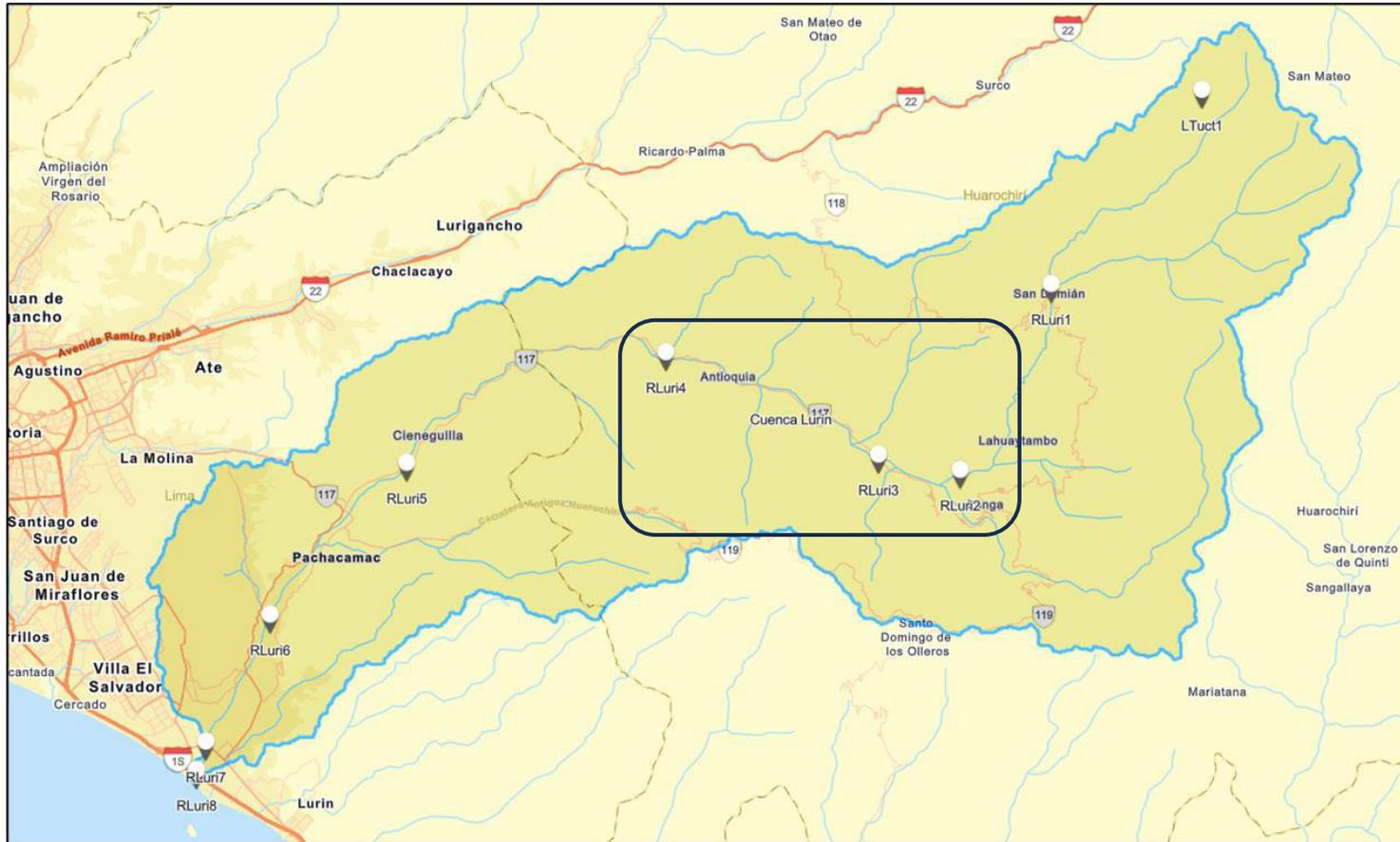
Tabla 8

Puntos de monitoreo de la calidad del recurso hídrico

Código	Descripción	Coordenadas UTM, WGS84 Zona 18		Altitud (m s. n. m.)
		Este	Norte	
RLuri2	Río Lurín, Puente Huaticaya	342 074	8 662 164	2651
RLuri3	Río Lurín, Puente Bentin	336 846	8 663 053	2218
RLuri4	Río Lurín, Puente SENAMHI	323 174	8 669 450	1419

Figura 16

Puntos de monitoreo



4.2.4.3 Clasificación del cuerpo hídrico

El río Lurín se identifica con la categoría 3: “Riego de vegetales y bebida de animales”. Según la clasificación de la R.J N.º 056-2018-ANA.

4.2.4.4 Procedimiento para la toma de muestras en ríos de bajo caudal

Para el desarrollo del monitoreo se utilizaron los criterios establecidos en el protocolo nacional vigente (R.J N.º 010-2016-ANA).

- a) Colocarse los guantes descartables y botas de jebes, así como también disponer del equipo de protección personal respectivo.
- b) Ubicarse en la parte central del río, donde exista una corriente constante y homogénea, evitando áreas de agua estancada o poco profundas.
- c) Determinar los parámetros de campo en un recipiente adecuado o directamente sobre el río, prevenir en todo momento causar perturbaciones en el sedimento.
- d) Evitar tocar la superficie interna de los frascos al momento de extraer las tapas y contratapas.
- e) Lavar los frascos mínimos dos veces con el agua del río, excepto aquellos frascos destinados para análisis microbiológicos u orgánicos.
- f) Sujetar los frascos por debajo del cuello y sumergir en el río en dirección contraria a la corriente de agua. Las muestras para los parámetros orgánicos se deben obtener de la superficie del río.
- g) Reservar un volumen aproximado de 1% del frasco, para agregar preservantes en aquellos parámetros que lo requieran.
- h) Reservar un volumen aproximado de 10 % del frasco, para los parámetros microbiológicos, con la finalidad de garantizar el oxígeno necesario para las bacterias.
- i) Prevenir la formación de burbujas durante el llenado del parámetro demanda bioquímica de oxígeno, por lo tanto, se debe agregar lentamente la muestra.

4.2.4.5 Parámetros evaluados

Los resultados de los parámetros de campo y de los análisis del laboratorio, se evalúan de manera comparativa con los Estándares de Calidad Ambiental para agua (ECA-Agua), según la categoría asignada al cuerpo de agua.

a) Parámetros medidos en campo

Para la medición en campo se utilizó el equipo multiparámetro marca HACH modelo HQ40D correctamente calibrado. Los parámetros medidos fueron la conductividad, temperatura, pH y oxígeno disuelto.

b) Parámetros analizados en el laboratorio

Las muestras fueron analizadas por el laboratorio Envirotest S.A.C., el cual utiliza procedimientos acreditados por la NTP - ISO/IEC 17025:2017, emitido por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL), se adjunta el informe del ensayo (Ver Anexo N° 5).

En la Tabla 9, se detallan los parámetros evaluados para la aplicación del ICARHS.

Tabla 9

Parámetros evaluados

Parámetros	
Fisicoquímicos	Potencial de hidrógeno
	Oxígeno disuelto
	Demanda bioquímica de oxígeno
	Demanda química de oxígeno
	Arsénico
	Aluminio
	Boro
	Cobre
Inorgánicos	Cadmio
	Manganeso
	Hierro
Microbiológicos	Plomo
	Coliformes termotolerantes

4.2.5 Cálculo de los ICARHS

Para la determinación de los índices se utilizó el programa Microsoft Excel, donde se insertó las fórmulas y las escalas de valoración, calculando los siguientes factores: Alcance (F1), Frecuencia (F2) y Amplitud (F3). Posteriormente, se obtuvo el valor numérico y la calificación para los sub índices 1 y 2. Finalmente, el programa Excel nos indica el ICARHS para cada punto de monitoreo.

4.2.6 Elaboración de gráficos y mapas

En cuanto a la generación de gráficos, se realizó con el programa Microsoft Excel, mostrando el resultado de la concentración en función a cada fecha de intervención, con el interés de conocer la evolución de cada parámetro. Por otro lado, la elaboración del mapa se llevó a cabo con el programa ArcGIS, el cual representa la ubicación de los puntos de monitoreo con su simbología, calificación e interpretación respectiva.

4.2.7 Análisis estadístico de los datos

Los siguientes métodos de correlación fueron utilizados para el análisis estadístico: Spearman y Pearson. En relación con el coeficiente de correlación de Spearman se aplicó para conocer la asociación entre las variables, el análisis de datos se realizó en el programa estadístico SPSS. Por otro lado, Pearson se utilizó para conocer la correlación entre parámetros y su concentración.

4.2.8 Interpretación y análisis de resultados

Por último, después de obtener los resultados de los gráficos, índices, análisis estadístico y mapa, se hace la discusión e interpretación, aplicando las bases teóricas.

4.3 Población y muestra

La población se encuentra conformado por nueve (09) puntos de monitoreo ubicados en la cuenca hidrográfica Lurín, los cuales están distribuidos a lo largo del río principal.

Por otro lado, Conforme a las características del presente trabajo la muestra es no probabilística. La muestra está conformada por tres (03) puntos de monitoreo, los cuales se encuentran en la cuenca media del río Lurín. La selección de la muestra está en función a la temporada de estiaje.

4.4 Técnicas de recolección de datos

Las técnicas utilizadas serán el análisis documental y la observación de campo. En cuanto al análisis documental se realizó a través de la recopilación y revisión de la información brindada por la Autoridad Nacional del Agua, con la finalidad de seleccionar los datos apropiados para aplicar la metodología ICARHS.

Por otra parte, la observación de campo se realizó a través del levantamiento de información actual, a través de la toma de muestras. Para finalmente, en conjunto con la información histórica se aplicará la metodología ICARHS.

4.5 Instrumentos de recolección de datos

De acuerdo al enfoque cuantitativo de la investigación, para la variable calidad de agua se aplicará como instrumento de recolección de datos, el registro de datos.

Por otro lado, la variable Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales, se aplicará la Matriz de cálculo ICARHS, elaborada en base a la metodología aprobada por la Autoridad Nacional del Agua.

4.5.1 Validez

El índice aplicado en la presente investigación ha sido desarrollado en Canadá y validado por la Autoridad Nacional del Agua para su aplicación en el ámbito nacional, por tal motivo, existe validez en el instrumento aplicado. Asimismo, indicar que el instrumento mide con exactitud la variable que se desea medir.

Por otro lado, en campo la metodología se aplicó conforme al protocolo nacional y el equipo utilizado presentó el certificado de calibración vigente.

4.5.2 Confiabilidad

El instrumento de medición presenta fiabilidad, debido a que, aplicando el instrumento a los puntos de monitoreo en circunstancias similares determina resultados iguales. Además, existe confiabilidad porque proyecta resultados acordes a la realidad observada.

Por otra parte, los datos aplicados en el cálculo del índice son emitidos por laboratorios acreditados por el Instituto Nacional de Calidad.

4.6 Resultados

4.6.1 Determinación del cumplimiento normativo

La tabla 10, presenta los resultados de las concentraciones obtenidas para el punto RLuri2 entre el periodo 2019-2023.

Tabla 10

Resultados de las concentraciones-RLuri2

Parámetros	Unidad	ECA-Agua: Categoría 3		RLuri2			
		D1: Riego de Vegetales	D2: Bebida de animales	22/05/2019	7/05/2020	22/10/2020	24/08/2023
Materia Orgánica							
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	15	15	<2	<2	2	<2
Demanda química de oxígeno	mg/L	40	40	<2	4	10	<5
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 4	≥ 5	5,8	7,71	7,42	7,3
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1000	1000	49	240	79	130
Físico-químico Metal							
Potencial de hidrógeno	Unid, pH	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4	8	8,61	-	8,25
Arsénico	mg/L	0,1	0,2	0,0049	0,0148	0,0083	<0,004
Aluminio	mg/L	5	5	0,06	0,081	0,012	<0,0084

Parámetros	Unidad	ECA-Agua: Categoría 3		RLuri2			
		D1: Riego de Vegetales	D2: Bebida de animales	22/05/2019	7/05/2020	22/10/2020	24/08/2023
Manganeso	mg/L	0,2	0,2	0,00479	0,0044	0,0025	<0,0005
Hierro	mg/L	5	**	0,042	0,038	<0,016	0,0293
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	<0,00001	<0,00010	<0,00010	<0,00020
Plomo	mg/L	0,05	0,05	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0010
Boro	mg/L	1	5	0,22	0,26	0,248	0,1784
Cobre	mg/L	0,2	0,5	0,00106	0,0007	0,0006	0,0076

Nota. Los datos de los años 2019 y 2020 son tomados de la Autoridad Nacional del Agua.

El signo (**) en la tabla, indica que este parámetro no tiene estándar para la subcategoría señalada, (-) Sin dato, (<) Menor que el límite de cuantificación o detección del método.

Tabla 11*Resultados de metales totales-RLuri2*

Parámetros	Unidad	ECA-Agua: Categoría 3		RLuri2			
		D1: Riego de Vegetales	D2: Bebida de animales	22/05/2019	7/05/2020	22/10/2020	24/08/2023
Cobalto	mg/L	0,05	1	<0,00001	<0,00002	<0,0002	<0,0018
Cromo	mg/L	0,1	1	<0,0001	<0,0007	<0,0007	<0,0040
Litio	mg/L	2,5	2,5	0,0526	0,0185	0,0509	0,1445
Magnesio	mg/L	**	250	2,958	7,399	5,474	3,073
Níquel	mg/L	0,2	1	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0027
Selenio	mg/L	0,02	0,05	<0,0004	<0,0006	<0,0006	<0,004
Zinc	mg/L	2	24	<0,0100	0,012	<0,008	<0,0012
Calcio	mg/L	**	**	22,02	41,58	43,4	7,199
Potasio	mg/L	**	**	1,12	0,73	1,16	1,449
Silicio	mg/L	**	**	7,6	12	8	7,262
Sodio	mg/L	**	**	14,24	35,27	28,15	18,44

El signo (**) en la tabla, indica que este parámetro no tiene estándar para la subcategoría señalada, (<) Menor que el límite de cuantificación o detección del método.

En la tabla 12, se evidencia los resultados de las concentraciones obtenidas para el punto RLuri3 entre el periodo 2019-2023.

Tabla 12

Resultados de las concentraciones-RLuri3

Parámetros	Unidad	ECA-Agua: Categoría 3		RLuri3			
		D1: Riego de Vegetales	D2: Bebida de animales	22/05/2019	7/05/2020	22/10/2020	24/08/2023
Materia Orgánica							
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	15	15	<2	<2	3	<2
Demanda química de oxígeno	mg/L	40	40	<2	7	4	<5
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 4	≥ 5	5,8	7,96	8,32	8,13
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1000	1000	130	170	170	240
Físico-químico Metal							
Potencial de hidrógeno	Unid, pH	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4	8,3	7,72	-	7,89
Arsénico	mg/L	0,1	0,2	0,00661	0,0055	0,0096	<0,004
Aluminio	mg/L	5	5	0,062	0,134	0,039	<0,0084
Manganeso	mg/L	0,2	0,2	0,00553	0,0074	0,0032	<0,0005
Hierro	mg/L	5	**	0,0392	0,094	0,041	0,0614

Parámetros	Unidad	ECA-Agua: Categoría 3		RLuri3			
		D1: Riego de Vegetales	D2: Bebida de animales	22/05/2019	7/05/2020	22/10/2020	24/08/2023
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	<0,00001	<0,0001	<0,00010	<0,00020
Plomo	mg/L	0,05	0,05	<0,0002	0,0004	<0,0002	<0,0010
Boro	mg/L	1	5	0,252	0,207	0,293	0,28
Cobre	mg/L	0,2	0,5	0,00079	0,0012	0,0012	0,0106

Nota. Los datos de los años 2019 y 2020 son tomados de la Autoridad Nacional del Agua.

El signo (**) en la tabla, indica que este parámetro no tiene estándar para la subcategoría señalada, (-) Sin dato, (<) Menor que el límite de cuantificación o detección del método.

Tabla 13*Resultados de metales totales-RLuri3*

Parámetros	Unidad	ECA-Agua: Categoría 3		RLuri3			
		D1: Riego de Vegetales	D2: Bebida de animales	22/05/2019	7/05/2020	22/10/2020	24/08/2023
Cobalto	mg/L	0,05	1	<0,00001	<0,0002	<0,0002	<0,0018
Cromo	mg/L	0,1	1	<0,0001	<0,0007	0,0013	<0,0040
Litio	mg/L	2,5	2,5	0,0531	0,0487	0,0657	0,1803
Magnesio	mg/L	**	250	3,904	2,925	7,858	5,167
Níquel	mg/L	0,2	1	<0,0002	<0,0002	0,0003	<0,0027
Selenio	mg/L	0,02	0,05	<0,0004	<0,0006	<0,0006	<0,004
Zinc	mg/L	2	24	0,0104	<0,008	0,047	<0,0012
Calcio	mg/L	**	**	29,29	19,59	56,16	11,64
Potasio	mg/L	**	**	1,06	0,99	1,41	1,825
Silicio	mg/L	**	**	8,5	6,7	9,5	10,06
Sodio	mg/L	**	**	18,97	13,5	33,92	29,53

El signo (**) en la tabla, indica que este parámetro no tiene estándar para la subcategoría señalada, (<) Menor que el límite de cuantificación o detección del método.

La tabla 14, detalla los resultados de las concentraciones obtenidas para el punto RLuri4 entre el periodo 2019-2023.

Tabla 14

Resultados de las concentraciones-RLuri4

Parámetros	Unidad	ECA-Agua: Categoría 3		RLuri4			
		D1: Riego de Vegetales	D2: Bebida de animales	22/05/2019	7/05/2020	22/10/2020	24/08/2023
Materia Orgánica							
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	15	15	<2	<2	3	<2
Demanda química de oxígeno	mg/L	40	40	<2	7	4	<5
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 4	≥ 5	6,28	8,31	8,4	7,64
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1000	1000	110	79	1700	33
Físico-químico Metal							
Potencial de hidrógeno	Unid, pH	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4	8,9	8,67	-	8,73
Arsénico	mg/L	0,1	0,2	0,00509	0,0054	0,038	<0,004
Aluminio	mg/L	5	5	0,013	0,115	0,07	<0,0084
Manganeso	mg/L	0,2	0,2	0,00739	0,0117	0,02	<0,0005
Hierro	mg/L	5	**	<0,0004	0,078	0,119	0,5455

Parámetros	Unidad	ECA-Agua: Categoría 3		RLuri4			
		D1: Riego de Vegetales	D2: Bebida de animales	22/05/2019	7/05/2020	22/10/2020	24/08/2023
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	<0,00001	<0,00010	<0,00010	<0,00020
Plomo	mg/L	0,05	0,05	<0,0002	0,0003	0,0017	<0,0010
Boro	mg/L	1	5	0,195	0,224	0,28	0,2506
Cobre	mg/L	0,2	0,5	0,00067	0,0009	0,0015	0,0117

Nota. Los datos de los años 2019 y 2020 son tomados de la Autoridad Nacional del Agua.

El signo (**) en la tabla, indica que este parámetro no tiene estándar para la subcategoría señalada, (-) Sin dato, (<) Menor que el límite de cuantificación o detección del método.

Tabla 15*Resultados de metales totales-RLuri4*

Parámetros	Unidad	ECA-Agua: Categoría 3		RLuri4			
		D1: Riego de Vegetales	D2: Bebida de animales	22/05/2019	7/05/2020	22/10/2020	24/08/2023
Cobalto	mg/L	0,05	1	<0,00001	<0,0002	<0,0002	<0,0018
Cromo	mg/L	0,1	1	<0,0001	<0,0007	0,0009	<0,0040
Litio	mg/L	2,5	2,5	0,0486	0,0466	0,0496	0,1589
Magnesio	mg/L	**	250	6,084	4,127	13,34	6,904
Níquel	mg/L	0,2	1	<0,0002	<0,0002	0,0005	<0,0027
Selenio	mg/L	0,02	0,05	<0,0004	<0,0006	<0,0006	<0,004
Zinc	mg/L	2	24	<0,0100	<0,008	0,017	<0,0012
Calcio	mg/L	**	**	49,9	31,27	103,4	14,74
Potasio	mg/L	**	**	1,22	1,14	2,81	2,808
Silicio	mg/L	**	**	7,4	7	10,7	10,33
Sodio	mg/L	**	**	23,23	17,27	37,72	28,15

El signo (**) en la tabla, indica que este parámetro no tiene estándar para la subcategoría señalada, (<) Menor que el límite de cuantificación o detección del método.

Para la evaluación del cumplimiento normativo, se debe comparar los resultados con el ECA para Agua, categoría 3. Considerando en el análisis las dos sub categorías, D1: riego de vegetales y D2: bebida de animales.

4.6.2 Determinación de los valores del subíndice 1: Materia Orgánica

En la Tabla 16, se muestran los resultados del subíndice 1: Materia Orgánica.

Tabla 16

Resultados de los valores del subíndice 1: Materia Orgánica

Código	Coordenadas UTM, WGS84 Zona 18		Valor	Calificación	Interpretación
	Este	Norte			
RLuri4	323 174	8 669 450	97,57	Excelente	La calidad del agua está protegida, ausencia de amenaza o daño, su condición está muy cercana a los niveles naturales o deseables.
RLuri3	336 846	8 663 053	100	Excelente	
RLuri2	342 074	8 662 164	100	Excelente	

4.6.3 Determinación de los valores del subíndice 2: Físico-químico Metal

En la Tabla 17, se muestran los resultados del subíndice 2: Físico-químico Metal.

Tabla 17

Resultados de los valores del subíndice 2: Físico-químico Metal

Código	Coordenadas UTM, WGS84 Zona 18		Valor	Calificación	Interpretación
	Este	Norte			
RLuri4	323 174	8 669 450	99,82	Excelente	La calidad del agua está protegida, ausencia de amenaza o daño, su condición está muy cercana a los niveles naturales o deseables.
RLuri3	336 846	8 663 053	100	Excelente	
RLuri2	342 074	8 662 164	99,93	Excelente	

De acuerdo con la metodología del Índice Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales, el valor inferior de los subíndices calculados y la calificación crítica determinan el valor total del ICARHS. La tabla 18, muestra los resultados del ICARHS.

Tabla 18

Resultados del ICARHS

Código	Coordenadas UTM, WGS84 Zona 18		Valor ICARHS	Calificación	Interpretación
	Este	Norte			
RLuri4	323 174	8 669 450	97,57	Excelente	La calidad del agua está protegida, ausencia de amenaza o daño, su condición está muy cercana a los niveles naturales o deseables.
RLuri3	336 846	8 663 053	100	Excelente	
RLuri2	342 074	8 662 164	99,93	Excelente	

4.6.4 Análisis estadístico de los datos

La tabla 19, muestra los resultados de la correlación de Spearman para las variables de estudio.

Tabla 19

Resultados del SPSS

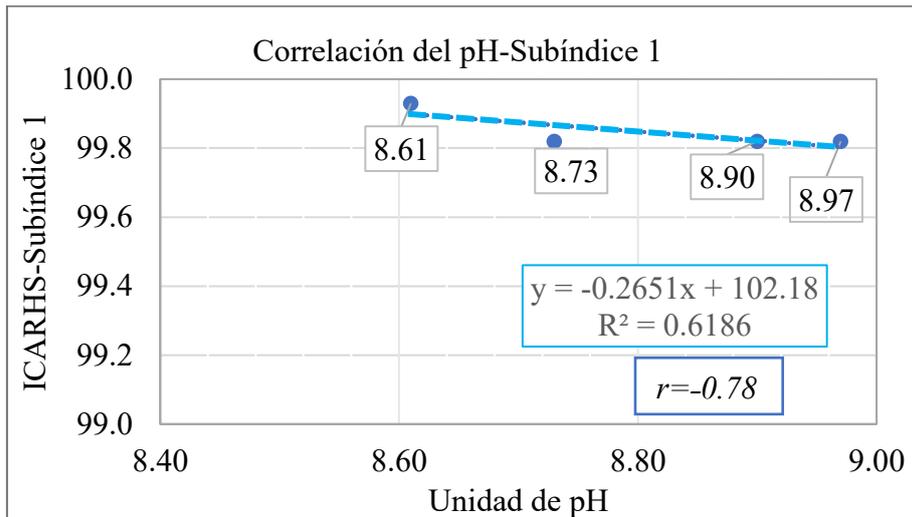
			Parámetros de la Calidad del Agua	Índice Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales
Rho de Spearman	Parámetros de la Calidad del Agua	Coefficiente de correlación	1,000	-,885*
	Incumplimientos	Sig. (bilateral)	.	,019
		N	6	6
	Índice Ambiental de los Recursos Hídricos	Coefficiente de correlación	-,885*	1,000
	Superficiales	Sig. (bilateral)	,019	.
		N	6	6

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Para determinar si el subíndice 1, permite calificar la calidad del agua, se analizó la concentración de parámetro que supera el estándar, con el coeficiente de correlación de Pearson. En la figura 17, se muestra la correlación del pH con el subíndice 1.

Figura 17

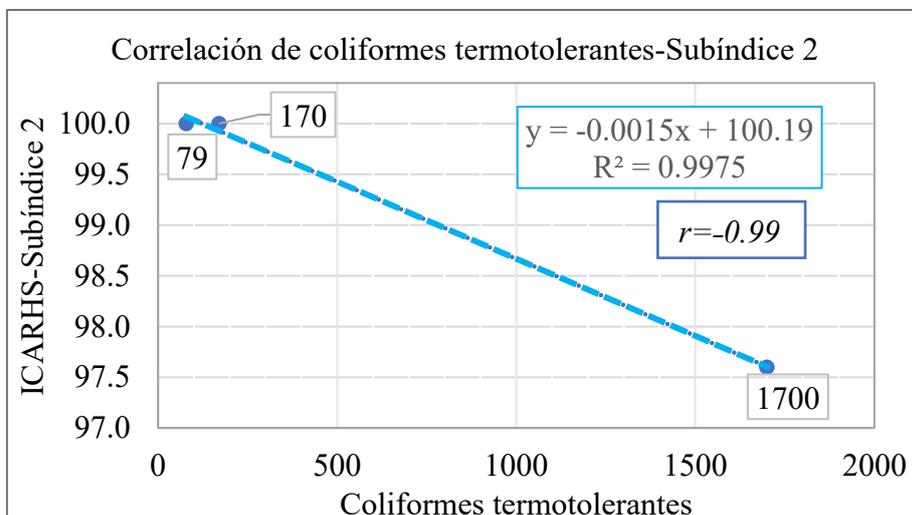
Correlación del pH-Subíndice 1



Para determinar si el subíndice 2, permite calificar la calidad del agua, se analizó la concentración de parámetro que supera el estándar, con el coeficiente de correlación de Pearson. En la figura 18, se visualiza la correlación de los coliformes termotolerantes con el subíndice 2.

Figura 18

Correlación de coliformes termotolerantes-Subíndice 2

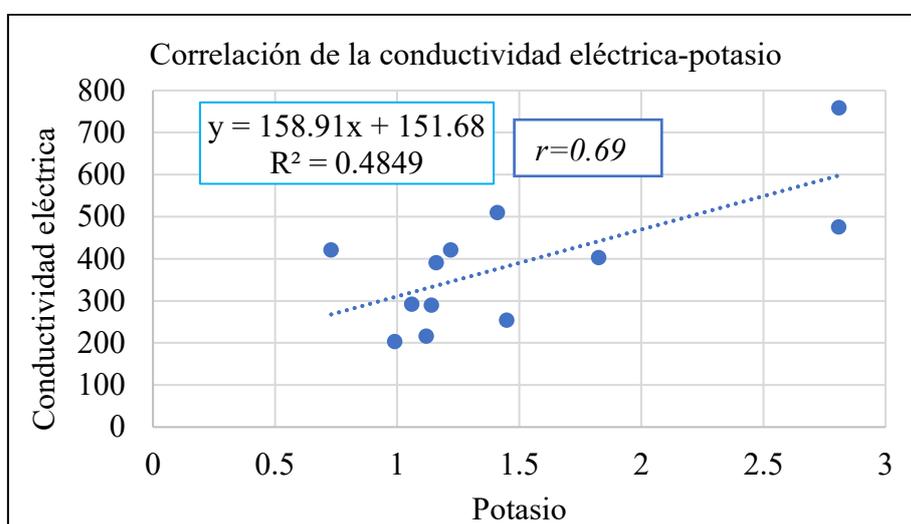


Según Kiely (1999) comenta que: En las aguas naturales los elementos iónicos principales son el calcio, magnesio, sodio y potasio. Sin embargo, generalmente es el magnesio y el calcio los que predominan en las aguas superficiales. Asimismo, cuando la cantidad de estos iones es elevada, existe mayor movilidad iónica, generando mayor valor de la conductividad.

En base a ello, para conocer la correlación entre la conductividad y los siguientes elementos iónicos disueltos, se analizó con el coeficiente de Pearson. En la figura 19, se muestra la correlación entre la conductividad y el potasio.

Figura 19

Correlación de la conductividad eléctrica-potasio

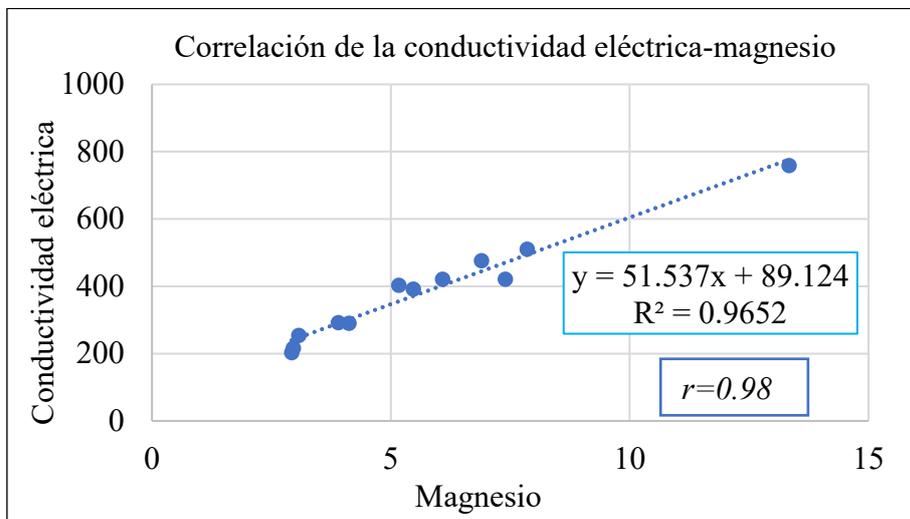


En el caso del potasio el estudio realizado por Solano (2005) indica que: El ion potasio presenta un valor de 0,417 respecto de la conductividad, obtenido de muestras de agua de escorrentía, lo cual indica una correlación positiva débil. La presente investigación evidencia un valor de 0,69 correspondiendo una correlación media.

En la figura 20, se visualiza la correlación entre la conductividad y el magnesio.

Figura 20

Correlación de la conductividad eléctrica-magnesio

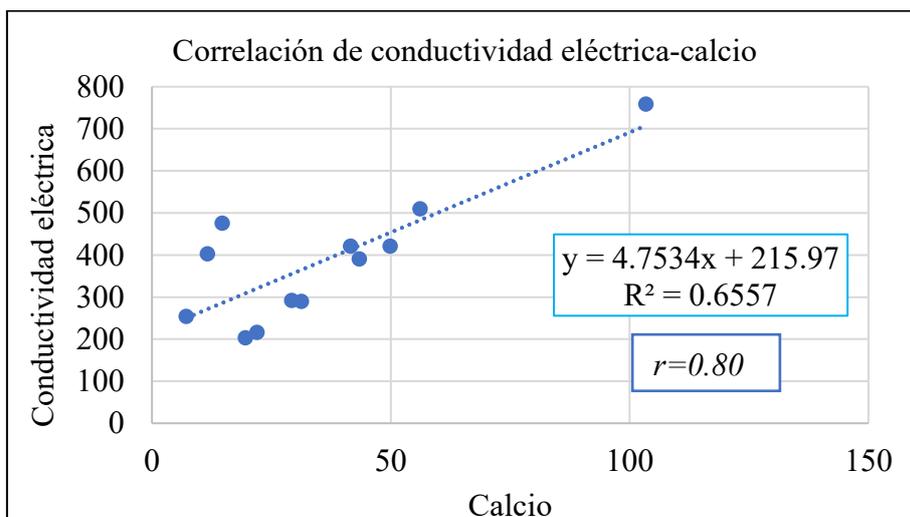


Respecto al ion magnesio, el estudio de movilización de metales realizado por Solano (2005) comenta lo siguiente: Entre el ion magnesio y la conductividad el valor de Pearson fue de 0,687 lo cual indica una correlación positiva media, las muestras analizadas corresponden a aguas de escorrentía. Según los datos, la presente investigación demuestra una correlación positiva muy fuerte, cuyo valor es 0,98.

En la figura 21, se visualiza la correlación entre la conductividad y el calcio.

Figura 21

Correlación de la conductividad eléctrica-calcio

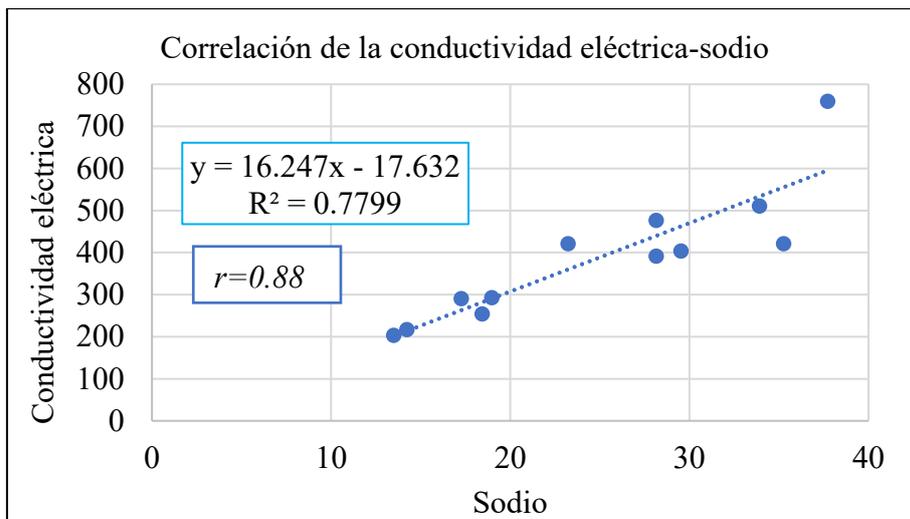


Con respecto al ion calcio, Solano (2005) indica que: La relación existente entre el calcio y la conductividad fue de 0,523 lo cual representa una correlación positiva media. De acuerdo a los datos, la presente investigación manifiesta una correlación positiva considerable, cuyo valor es 0,80.

En la figura 22, se muestra la correlación entre la conductividad y el sodio.

Figura 22

Correlación de la conductividad eléctrica-sodio



En relación con el sodio, Solano (2005) detalla que: Los resultados del ion sodio y la conductividad presentan una correlación cuyo valor es 0,792 lo cual representa una correlación positiva considerable. Igualmente, la presente investigación indica una correlación positiva considerable, cuyo valor es 0,88.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La investigación realizada, calculo el Índice Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales-ICARHS para trece (13) parámetros en tres (03) puntos de monitoreos ubicados en el río Lurín.

De acuerdo con el objetivo que fue determinar el cumplimiento normativo, se comparó las concentraciones de cada parámetro con el Estándar de Calidad Ambiental para agua (Categoría 3: Riego de vegetales y Bebida de animales). En los resultados hallados en la presente investigación se observó que el valor del pH para el punto RLuri2 y RLuri4, incumplieron la normativa, igualmente, la concentración de coliformes termotolerantes para el punto RLuri4. Los resultados obtenidos en la presente investigación coinciden con lo hallado por Vargas (2021), quien encontró que la concentración de los coliformes termotolerantes superan el ECA-Agua para época de estiaje, este resultado, junto al oxígeno disuelto, zinc y plomo, incumplen la normativa e influyen en la calidad del agua del río San Gabán. De igual manera, Carhuasuica y González (2022), encontraron durante su segundo monitoreo que el pH no cumple el ECA-Agua, debido a que, superó con una concentración de 8,61 durante el periodo de avenida. Los estudios nacionales evidencian que la calidad del agua se ve afectada principalmente por las aguas residuales domésticas; igualmente, la temporada de monitoreo influye, debido a que, durante el periodo de estiaje el caudal de los ríos disminuye, reduciendo la dilución de los contaminantes; por otro lado, durante los meses de verano la temperatura incrementa, elevando la velocidad de desoxigenación del agua, logrando que la degradación de la materia orgánica sea más rápida, sin embargo, disminuye los valores de oxígeno disuelto.

En la determinación de los valores del subíndice 1, se realizó el análisis con los parámetros de influencia orgánica según la metodología. Los resultados de la investigación calcularon que para el punto RLuri4 el valor es de 97,57. RLuri3 y RLuri2 obtuvieron el valor de 100, presentando la calificación de excelente para los tres (03) puntos de análisis. Los resultados hallados coinciden con lo determinado por Salas & Segura (2022), quienes encontraron valores similares para el subíndice 1, durante la comparación del impacto de la minería legal e ilegal en el río Cotahuasi, determinando los valores de 95,22 para minería legal y 94 para ilegal; por lo tanto, obteniendo la calificación de excelente. Frente a los resultados, se evidencia baja concentración de contaminantes orgánicos durante las fechas de monitoreo,

observándose que la concentración del oxígeno disuelto es mayor a la demanda bioquímica de oxígeno. Además, cabe detallar que la cantidad de parámetros que superan el ECA-agua no precisa la calificación del subíndice, sino la concentración excesiva de un parámetro puede variar significativamente la calificación.

Para determinar los valores del subíndice 2, se evaluó con los parámetros físico-químicos y metales. La investigación determinó que el punto RLuri3 alcanzó el valor de 100, RLuri4 y RLuri2 obtuvieron el valor de 99,82 y 99,93 respectivamente, presentando los tres (03) puntos la calificación de excelente. Los resultados encontrados coinciden con lo hallado por Salas & Segura (2022), los cuales hallaron valores de 98 para minería legal y 100 para minería ilegal, calificando ambas zonas mineras como excelente. En este contexto, se evidencia que los valores de pH superan ligeramente el ECA-agua; sin embargo, no influyen en la calificación del subíndice, debido a que la variación respecto al estándar es baja. Por otro lado, se evidencia que la concentración de metales tóxicos es ínfima, pero los elementos como el calcio, potasio, silicio y sodio reflejan la erosión de las rocas en la parte alta de la cuenca.

Posteriormente, de haber obtenido los subíndices 1 y 2, se consiguió definir el ICARHS para cada punto de monitoreo. Los resultados de la investigación determinaron que, el punto RLuri4 presentó una valoración de 97,57 y RLuri3 un valor de 100, por último, RLuri2 una valoración de 99,93 finalmente los tres (03) puntos calificaron como excelente calidad del recurso hídrico para el uso de riego de vegetales y bebida de animales, en época de estiaje. Los resultados encontrados coinciden con la investigación de Vargas (2021), quien determinó el ICARHS en temporada seca para los puntos RSgab1 y RSgab2, cuyos puntos alcanzaron valores de 87 y 91 respectivamente, calificando como bueno. En ese contexto, se puede analizar que la calidad del agua es mayor en el punto RLuri2 y RLuri3. Sin embargo, en el punto RLuri4 es ligeramente menor, debido a que presentó cuatro (04) incumplimientos al ECA-agua, durante el periodo de estudio.

El análisis estadístico entre la cantidad de parámetros de la calidad del agua que incumplen la normativa en el río Lurín y el ICARHS arrojó un p valor de 0,019 que es menor al 0,05. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa: El ICARHS sí permite calificar el estado de la calidad del recurso hídrico.

Además, se evidencia una correlación inversa muy alta, con un valor de Rho de Spearman: -0,885 que se interpreta como a mayor número de parámetros que superan el ECA-Agua menor será la calificación del índice. Los resultados encontrados coinciden con la investigación de Fuentes (2021), quien determinó la correlación entre la gestión de la calidad del agua y el ICARHS, donde encontró una correlación positiva alta, presentando un valor de Rho de Spearman: 0,929. Obteniendo la interpretación que a mayor gestión del agua mejor será la calificación del índice.

En el análisis con el coeficiente de correlación de Pearson, los parámetros que superan el ECA-agua y los valores de los subíndices, se determinó que el subíndice materia orgánica presentó una correlación negativa considerable, cuyo valor fue 0,78. De manera similar, el subíndice fisicoquímico-metal presentó una correlación negativa muy fuerte alcanzando el valor de 0,99. Ambos resultados indican que cuando aumenta la concentración de un parámetro llegando a sobrepasar excesivamente el ECA-agua, disminuye considerablemente la calificación de los subíndices.

De igual manera, se realizó el análisis correlacional de la conductividad y los elementos iónicos disueltos con el coeficiente de Pearson, donde se evidenció que los resultados del magnesio presentaron un valor de 0,98 siendo la correlación positiva más fuerte; por otro lado, el calcio y el sodio mostraron unos valores de 0,80 y 0,88 respectivamente, calificando como correlación positiva considerable. Por último, el potasio presentó el valor de 0,69 lo cual indica una correlación positiva media. Es decir, cada vez que aumenta la concentración de los iones analizados, incrementa también la conductividad de manera proporcional.

VI. CONCLUSIONES

- La aplicación del Índice Ambiental de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales-ICARHS en el río Lurín durante el periodo 2019-2023, calificó los puntos de monitoreo RLuri4, RLuri3 y RLuri2 como excelente para uso de riego de vegetales y bebida de animales; es decir, la calidad del agua está ausente de amenaza o daño y las concentraciones se encuentran cercanos a los niveles naturales durante la temporada de estiaje.
- El pH y el parámetro coliformes termotolerantes incumplieron los Estándares de Calidad Ambiental para agua (ECA-agua) durante el periodo de la investigación. En cuanto al pH, en el año 2020 alcanzo un valor de 8,61 en el punto RLuri2. Por otro lado, en el punto RLuri4 las mediciones hallaron valores de 8,9 y 8,67 en el año 2019 y 2020, respectivamente; también, en el año 2023 supera ligeramente el estándar permitido (6,5-8,5) con un valor de 8,73. La concentración de coliformes termotolerantes alcanzaron valores de 1700 NMP/100 mL por única vez el año 2020 para el punto RLuri4, superando el estándar ambiental cuyo valor es 1000 NMP/100 mL.
- Los valores obtenidos para el subíndice Materia Orgánica, en los puntos RLuri3 y RLuri2 es 100 y para RLuri4 la puntuación es de 97,57. Por lo tanto, los puntos de monitoreo presentan una calificación de excelente para el grupo materia orgánica, debido a que las concentraciones de los parámetros son bajas o no significativas para variar la calificación.
- Los valores obtenidos para el subíndice Físicoquímico – Metal, en los puntos RLuri4 y RLuri2 son 99,82 y 99,93 respectivamente y para RLuri3 la puntuación es 100. Por ello, los puntos analizados presentan una calificación de excelente, cabe mencionar que el área de estudio presenta mayores concentraciones de especies iónicas, los cuales reflejan las características hidrogeológicas de la parte media de la cuenca.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Autoridad Nacional del Agua, Dirección de Calidad y Evaluación de Recursos Hídricos. (2020). *Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS)*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12543/4479>
- Autoridad Nacional del Agua, Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos. (2016). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12543/209>
- Baena, G. (2014). *Metodología de la Investigación* (3a ed.). Grupo Editorial Patria.
- Baeza, E. C. (2016). *Calidad del Agua. (Informe N° SSP4252)*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Obtenido de http://www.bcn.cl/asesoriatecnicaparlamentaria/detalle_documento.html?id=70193
- Carhuasuica, Y., & Gonzales, S. (2022). *Índice de calidad de agua, aplicando el Icarhs en el río Vilcanota en el tramo Paclamayo – Pucrufo, distrito de Urubamba – Cusco - 2021*. [Tesis de pregrado, Universidad Andina del Cusco]. Obtenido de Repositorio Digital de la Universidad Andina del Cusco <https://hdl.handle.net/20.500.12557/4999>
- Catalán, J. (1990). *Química del Agua*. Bellisco.
- Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente. (2017). *Directrices canadienses sobre la calidad del agua para la protección de la vida acuática*. Obtenido de <https://ccme.ca/en/res/wqimanualen.pdf>
- Contreras, A., & Molero, M. (2006). *Ciencia y Tecnología del Medioambiente* (1a ed.). UNED.
- Dao, B. V. (2020). *Modificación del índice de calidad del agua de Canadá: Evaluación del estudio de caso de la calidad del agua subterránea en el delta de Mekong, Vietnam*. [Tesis doctoral, Universidad Técnica de Darmstadt]. Obtenido de Repositorio institucional TUprints <https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/id/eprint/14394>
- Doménech, X. (2000). *Química de la hidrosfera: Origen y destino de los contaminantes* (3a ed.). Miraguano Ediciones.

- Fuentes, A. G. (2021). *Índice de Calidad Ambiental de Recursos Hídricos Superficiales para la Gestión de Calidad del Agua, Subcuenca del río Cotahuasi, Arequipa, 2021*. [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo]. Obtenido de Repositorio institucional de la Universidad César Vallejo <https://hdl.handle.net/20.500.12692/88817>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2010). *Metodología de la Investigación* (5a ed.). McGraw Hill Interamericana Editores.
- Herrera, M. C., & Traslaviña, V. V. (2021). *Variación espacio-temporal de la calidad del agua del río Tunjuelo (periodo 2009-2019): impacto de actividades antrópicas y estrategias de mitigación*. [Tesis de pregrado, Universidad El Bosque]. Obtenido de Repositorio institucional de la Universidad El Bosque <http://hdl.handle.net/20.500.12495/7105>
- Kemmer, F., & McCallion, J. (1998). *Manual del Agua: Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones* (1a ed.). McGraw Hill Interamericana de México.
- Kiely, G. (1999). *Ingeniería Ambiental: Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión* (1a ed.). McGraw-Hill Interamericana de España.
- Ley N° 29338, Ley de los Recursos Hídricos. (31 de marzo de 2009). Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12543/228>
- Lino, T. F. (2022). *Determinación del índice de calidad de agua de las principales bahías del Lago Titicaca lado peruano-Puno en el periodo 2015-2020*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santa María]. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad Católica de Santa María <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/11535>
- Manahan, S. (2007). *Introducción a la Química Ambiental* (1a ed.). Editorial Reverté.
- Masters, G., & Ela, W. (2008). *Introducción a la Ingeniería Mediambiental* (3a ed.). Pearson Educación.
- Mihelcic, J., & Beth, Z. (2012). *Ingeniería Ambiental: fundamentos, sustentabilidad, diseño* (1a ed.). Alfaomega Grupo Editor.
- Ministerio del Ambiente. (2020). *Estudio: Diagnóstico de servicios ecosistémicos en la cuenca del río Lurín para la implementación de Mecanismos de Retribución por*

- Servicios Ecosistémicos*. Obtenido de <http://repositoriodigital.minam.gob.pe/xmlui/handle/123456789/659>
- Noboa, C. S. (2021). *Análisis y propuesta de mejoras de la calidad del agua del río Chimbo en la ciudad de Guaranda, provincia de Bolívar, Ecuador*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de la Plata]. Obtenido de Repositorio institucional SEDICI <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/128012>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2015). *Instrumentos básicos para la fiscalización ambiental*. Obtenido de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=13978.8
- Organización Internacional de Normalización. (2015). *Sistemas de Gestión Ambiental- Requisitos con orientación para su uso (Norma ISO N° 14001:2015)*. Obtenido de <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14001:ed-3:v1:es>
- Organización Mundial de la Salud. (1995). *Guías para la calidad del agua potable* (Segunda ed., Vol. 1). Organización Mundial de la Salud. Obtenido de <https://apps.who.int/iris/handle/10665/37736>
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda, 4a ed + 1a adenda*. Organización Mundial de la Salud. Obtenido de <https://apps.who.int/iris/handle/10665/272403>
- Orozco, C., Pérez, A., González, N., Rodríguez, F., & Alfayate, J. M. (2002). *Contaminación Ambiental. Una visión desde la química* (1a ed.). Paraninfo.
- Romero, J. A. (2005). *Calidad del Agua* (2a ed.). Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Salas, N. A., & Segura, W. A. (2022). *Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales en la Minería Legal e Ilegal, Ayacucho-Arequipa, 2017-2021*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Obtenido de Repositorio institucional de la Universidad César Vallejo <https://hdl.handle.net/20.500.12692/91620>
- Sierra, C. A. (2011). *Calidad del Agua: Evaluación y diagnóstico* (1a ed.). Ediciones de la U.
- Solano, A. M. (2005). *Movilización de metales pesados en residuos y suelos industriales afectados por la hidrometalurgia del cinc*. [Tesis doctoral, Universidad de Murcia]. Obtenido de Repositorio Institucional Digitum <http://hdl.handle.net/10201/190>

- Spellman, F., & Drinan, J. (2004). *Manual del agua potable* (1a ed.). Editorial Acribia.
- Tarbuck, E. J., & Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la Tierra: Una introducción a geología física* (8a ed.). Pearson Educación.
- Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. 8(15), 79-94. Obtenido de <https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/59>
- Torres, R. S. (2022). *Estudio de la calidad del agua y propuesta de potabilización para el sistema hídrico de la*. [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador]. Obtenido de Repositorio institucional de la Universidad Central del Ecuador <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/26553>
- Uddin, M. G. (2023). *Desarrollo de un nuevo modelo de índice de calidad del agua utilizando enfoques de ciencia de datos*. [Tesis doctoral, Universidad de Galway]. Obtenido de Repositorio institucional de la Universidad de Galway <http://hdl.handle.net/10379/17786>
- Vargas, B. E. (2021). *Análisis espacio-temporal del Índice de la calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS) en puntos de control del río San Gabán-Carabaya-Puno-2021*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Obtenido de Repositorio institucional de la Universidad César Vallejo <https://hdl.handle.net/20.500.12692/71364>
- Vesilind, A., Morgan, S., & Heine, L. (2013). *Introducción a la Ingeniería Ambiental* (3a ed.). Cengage Learning Editores.

Anexo 1. Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>Problema General ¿Cuál es el Índice Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales, para calificar la calidad del agua en el río Lurín (2019-2023)?</p> <p>Problema Específico 1 ¿Cuáles son las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológicos de la calidad del agua en el río Lurín (2019-2023)?</p>	<p>Objetivo General Aplicar el Índice Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales, para calificar la calidad del agua en el río Lurín (2019-2023).</p> <p>Objetivo Específico 1 Determinar el cumplimiento normativo de la concentración de los parámetros fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológicos de la calidad del agua en el río Lurín (2019-2023).</p>	<p>Hipótesis General El Índice Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales permite calificar la calidad del agua del río Lurín, (2019-2023).</p> <p>Hipótesis Específica 1 La concentración de los parámetros fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológicos de la calidad del agua del río Lurín, cumplen la normativa (2019-2023).</p>	<p>Variable 1 Independiente: Índice Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales</p>	<p>Subíndice 1 Materia Orgánica</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Alcance (F1) • Frecuencia (F2) • Amplitud (F3) 	<p>Tipo de investigación Aplicada Nivel de investigación Descriptiva Diseño de investigación No experimental longitudinal Enfoque de investigación Cuantitativa Técnica -Análisis documental -Observación de campo Instrumentos -Registro de datos -Matriz del Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales-ICARHS Población</p>
			<p>Variable 2 Dependiente: Calidad del agua</p>	<p>Subíndice 2 Físico-químico Metal</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Alcance (F1) • Frecuencia (F2) • Amplitud (F3) 	
				<p>Parámetros Físicoquímicos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Potencial de hidrógeno • Oxígeno disuelto • Demanda bioquímica de oxígeno • Demanda química de oxígeno 	
				<p>Parámetros Inorgánicos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Arsénico • Aluminio • Boro • Cadmio • Cobre • Manganeseo • Hierro • Plomo 	

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>Problema Específico 2</p> <p>¿Cuáles son los valores del Subíndice 1, para calificar la calidad del agua en el río Lurín (2019-2023)?</p> <p>Problema Específico 3</p> <p>¿Cuáles son los valores del Subíndice 2, para calificar la calidad del agua en el río Lurín (2019-2023)?</p>	<p>Objetivo Específico 2</p> <p>Determinar los valores del Subíndice 1, para calificar la calidad del agua en el río Lurín (2019-2023).</p> <p>Objetivo Específico 3</p> <p>Determinar los valores del Subíndice 2, para calificar la calidad del agua en el río Lurín (2019-2023).</p>	<p>Hipótesis Específica 2</p> <p>Los valores del Subíndice 1, permite calificar la calidad del agua del río Lurín (2019-2023).</p> <p>Hipótesis Específica 3</p> <p>Los valores del Subíndice 2, permite calificar la calidad del agua del río Lurín (2019-2023).</p>		Parámetros Microbiológicos	• Coliformes termotolerantes	<p>Nueve (09) puntos de monitoreo, ubicados en el río Lurín.</p> <p>Muestra</p> <p>Tres (03) puntos de monitoreo ubicados en la cuenca media del río Lurín.</p> <p>Métodos de Análisis de Datos</p> <p>- Correlación por Rho de Spearman y Coeficiente de Pearson</p>

Anexo 2. Instrumentos de recolección de datos

 UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR		MATRIZ DE CÁLCULO DEL ÍNDICE DE LA CALIDAD AMBIENTAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES-ICARHS						
Punto de Monitoreo				RLuri2				
Parámetros		Unid.	ECA Cat. 3 D1	22/05/2019	7/05/2020	22/10/2020	24/08/2023	
FÍSICO-QUÍMICOS	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	15	2.00	2.00	2.00	2.00	
	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	40	2.00	4.00	10.00	5.00	
	Oxígeno disuelto (valor mínimo)	mg/l	4	5.80	7.71	7.42	7.30	
MICROBIOLÓGICO	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1000	49.00	240.00	79.00	130.00	
DATOS	Número de parámetros que no cumplen ECA para agua			0				
	Numero total de parámetros a evaluar			4				
	Número de datos que no cumplen el ECA para agua			0				
	Número total de datos			16				
CÁLCULO DE FACTORES F1, F2,F3	F1			0				
	F2			0				
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	Excedentes	0	0	0	0	
	Demanda Química de Oxígeno	mg/l		0	0	0	0	
	Oxígeno disuelto (valor mínimo)	mg/l		0	0	0	0	
	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL		0	0	0	0	
	Suma de excedentes			0				
	F3			0				
Valor subíndice 1				100				
Calificación subíndice 1				EXCELENTE				
FÍSICO-QUÍMICOS	Potencial de Hidrógeno (pH)	Unid. pH	6.5	8.5	8.00	8.61	-	8.25
INORGÁNICOS	Arsénico	mg/l	0.1		0.005	0.015	0.00830	0.0040
	Aluminio	mg/l	5		0.06	0.0810	0.012	0.008
	Manganeso	mg/l	0.2		0.0048	0.0044	0.00250	0.0005
	Hierro	mg/l	5		0.042	0.0380	0.0160	0.029
	Cadmio	mg/l	0.01		0.00001	0.0001	0.00010	0.00020
	Plomo	mg/l	0.05		0.0002	0.0002	0.0002	0.0010
	Boro	mg/l	1		0.220	0.2600	0.248	0.178
	Cobre	mg/l	0.2		0.0011	0.0007	0.00060	0.0076
DATOS	Número de parámetros que no cumplen ECA para agua			1				
	Numero total de parámetros a evaluar			9				
	Número de datos que no cumplen el ECA para agua			1				
	Número total de datos			35				
CÁLCULO DE FACTORES F1, F2,F3	F1			0.111111111				
	F2			0.028571429				
	Potencial de Hidrógeno (pH)	Unid. pH	Excedentes	0	0.01294118		0	
	Arsénico	mg/l		0	0	0	0	
	Aluminio	mg/l		0	0	0	0	
	Manganeso	mg/l		0	0	0	0	
	Hierro	mg/l		0	0	0	0	
	Cadmio	mg/l		0	0	0	0	
	Plomo	mg/l		0	0	0	0	
	Boro	mg/l		0	0	0	0	
	Cobre	mg/l		0	0	0	0	
Suma de excedentes				0.000369748				
F3			0.036961124					
Valor subíndice 2				99.93040838				
Calificación subíndice 2				EXCELENTE				
Valor ICARHS				99.93040838				
Calificación ICARHS				EXCELENTE				

 UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR				MATRIZ DE SISTEMATIZACIÓN Y CÁLCULO DEL ÍNDICE DE LA CALIDAD AMBIENTAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES-ICARHS				
Punto de Monitoreo				RLuri3				
Parámetros		Unid.	ECA Cat. 3 D1	22/05/2019	7/05/2020	22/10/2020	24/08/2023	
FÍSICO-QUÍMICOS	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	15	2.00	2.00	3.00	2.00	
	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	40	2.00	7.00	4.00	5.00	
	Oxígeno disuelto (valor mínimo)	mg/l	4	5.80	7.96	8.32	8.13	
MICROBIOLÓGICO	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1000	130.00	170.00	170.00	240.00	
DATOS	Número de parámetros que no cumplen ECA para agua			0				
	Numero total de parámetros a evaluar			4				
	Número de datos que no cumplen el ECA para agua			0				
	Número total de datos			16				
CÁLCULO DE FACTORES F1, F2,F3	F1			0				
	F2			0				
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	Excedentes	0	0	0	0	
	Demanda Química de Oxígeno	mg/l		0	0	0	0	
	Oxígeno disuelto (valor mínimo)	mg/l		0	0	0	0	
	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL		0	0	0	0	
	Suma de excedentes			0				
	F3			0				
Valor subíndice 1				100				
Calificación subíndice 1				EXCELENTE				
FÍSICO-QUÍMICOS	Potencial de Hidrógeno (pH)	Unid. pH	6.5	8.5	8.30	7.72	-	7.89
INORGÁNICOS	Arsénico	mg/l	0.1		0.007	0.006	0.00960	0.0040
	Aluminio	mg/l	5		0.06	0.1340	0.039	0.008
	Manganeso	mg/l	0.2		0.0055	0.0074	0.00320	0.0005
	Hierro	mg/l	5		0.039	0.0940	0.0410	0.061
	Cadmio	mg/l	0.01		0.00001	0.0001	0.00010	0.00020
	Plomo	mg/l	0.05		0.0002	0.0004	0.0002	0.0010
	Boro	mg/l	1		0.252	0.2070	0.293	0.280
Cobre	mg/l	0.2		0.0008	0.0012	0.00120	0.0106	
DATOS	Número de parámetros que no cumplen ECA para agua			0				
	Numero total de parámetros a evaluar			9				
	Número de datos que no cumplen el ECA para agua			0				
	Número total de datos			35				
CÁLCULO DE FACTORES F1, F2,F3	F1			0				
	F2			0				
	Potencial de Hidrógeno (pH)	Unid. pH	Excedentes	0	0	0	0	
	Arsénico	mg/l		0	0	0	0	
	Aluminio	mg/l		0	0	0	0	
	Manganeso	mg/l		0	0	0	0	
	Hierro	mg/l		0	0	0	0	
	Cadmio	mg/l		0	0	0	0	
	Plomo	mg/l		0	0	0	0	
	Boro	mg/l		0	0	0	0	
Cobre	mg/l	0		0	0	0		
Suma de excedentes			0					
F3			0					
Valor subíndice 2				100				
Calificación subíndice 2				EXCELENTE				
Valor ICARHS				100				
Calificación ICARHS				EXCELENTE				

 UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR			MATRIZ DE SISTEMATIZACIÓN Y CÁLCULO DEL ÍNDICE DE LA CALIDAD AMBIENTAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES-ICARHS					
Punto de Monitoreo				RLuri4				
Parámetros		Unid.	ECA Cat. 3 D1	22/05/2019	7/05/2020	22/10/2020	24/08/2023	
FÍSICO-QUÍMICOS	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	15	2.00	2.00	3.00	2.00	
	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	40	2.00	7.00	4.00	5.00	
	Oxígeno disuelto (valor mínimo)	mg/l	4	6.28	8.31	8.40	7.64	
MICROBIOLÓGICO	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1000	110.00	79.00	1700.00	33.00	
DATOS	Número de parámetros que no cumplen ECA para agua			1				
	Numero total de parámetros a evaluar			4				
	Número de datos que no cumplen el ECA para agua			1				
	Número total de datos			16				
CÁLCULO DE FACTORES F1, F2,F3	F1			0.25				
	F2			0.0625				
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	Excedentes	0	0	0	0	
	Demanda Química de Oxígeno	mg/l		0	0	0	0	
	Oxígeno disuelto (valor mínimo)	mg/l		0	0	0	0	
	Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL		0	0	0.7	0	
	Suma de excedentes			0.04375				
F3			4.191616766					
Valor subíndice 1				97.57532875				
Calificación subíndice 1				EXCELENTE				
FÍSICO-QUÍMICOS	Potencial de Hidrógeno (pH)	Unid. pH	6.5 8.5	8.90	8.67	-	8.73	
INORGÁNICOS	Arsénico	mg/l	0.1	0.005	0.005	0.03800	0.0040	
	Aluminio	mg/l	5	0.01	0.1150	0.070	0.008	
	Manganeso	mg/l	0.2	0.0074	0.0117	0.02000	0.0005	
	Hierro	mg/l	5	0.0004	0.0780	0.1190	0.546	
	Cadmio	mg/l	0.01	0.00001	0.0001	0.00010	0.00020	
	Plomo	mg/l	0.05	0.0002	0.0003	0.0017	0.0010	
	Boro	mg/l	1	0.195	0.2240	0.280	0.251	
	Cobre	mg/l	0.2	0.0007	0.0009	0.00150	0.0117	
DATOS	Número de parámetros que no cumplen ECA para agua			1				
	Numero total de parámetros a evaluar			9				
	Número de datos que no cumplen el ECA para agua			3				
	Número total de datos			35				
CÁLCULO DE FACTORES F1, F2,F3	F1			0.111111111				
	F2			0.085714286				
	Potencial de Hidrógeno (pH)	Unid. pH	Excedentes	0.047058824	0.02		0.027058824	
	Arsénico	mg/l		0	0	0	0	
	Aluminio	mg/l		0	0	0	0	
	Manganeso	mg/l		0	0	0	0	
	Hierro	mg/l		0	0	0	0	
	Cadmio	mg/l		0	0	0	0	
	Plomo	mg/l		0	0	0	0	
	Boro	mg/l		0	0	0	0	
	Cobre	mg/l		0	0	0	0	
Suma de excedentes				0.002689076				
F3			0.26818639					
Valor subíndice 2				99.82524118				
Calificación subíndice 2				EXCELENTE				
Valor ICARHS				97.57532875				
Calificación ICARHS				EXCELENTE				

Parámetros	Unidad	ECA-Agua: Categoría 3		RLuri2			
		D1: Riego de Vegetales	D2: Bebida de animales	22/05/2019	7/05/2020	22/10/2020	24/08/2023
Materia Orgánica							
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	15	15	<2	<2	2	<2
Demanda química de oxígeno	mg/L	40	40	<2	4	10	<5
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 4	≥ 5	5,8	7,71	7,42	7,3
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1000	1000	49	240	79	130
Físico-químico Metal							
Potencial de hidrógeno	Unid. pH	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4	8	8,61	-	8,25
Arsénico	mg/L	0,1	0,2	0,0049	0,0148	0,0083	<0,004
Aluminio	mg/L	5	5	0,06	0,081	0,012	<0,0084
Manganeso	mg/L	0,2	0,2	0,00479	0,0044	0,0025	<0,0005
Hierro	mg/L	5	**	0,042	0,038	<0,016	0,0293
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	<0,00001	<0,00010	<0,00010	<0,00020
Plomo	mg/L	0,05	0,05	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0010
Boro	mg/L	1	5	0,22	0,26	0,248	0,1784
Cobre	mg/L	0,2	0,5	0,00106	0,0007	0,0006	0,0076

Parámetros	Unidad	ECA-Agua: Categoría 3		RLuri3			
		D1: Riego de Vegetales	D2: Bebida de animales	22/05/2019	7/05/2020	22/10/2020	24/08/2023
Materia Orgánica							
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	15	15	<2	<2	3	<2
Demanda química de oxígeno	mg/L	40	40	<2	7	4	<5
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 4	≥ 5	5,8	7,96	8,32	8,13
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1000	1000	130	170	170	240
Físico-químico Metal							
Potencial de hidrógeno	Unid. pH	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4	8,3	7,72	-	7,89
Arsénico	mg/L	0,1	0,2	0,00661	0,0055	0,0096	<0,004
Aluminio	mg/L	5	5	0,062	0,134	0,039	<0,0084
Manganeso	mg/L	0,2	0,2	0,00553	0,0074	0,0032	<0,0005
Hierro	mg/L	5	**	0,0392	0,094	0,041	0,0614
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	<0,00001	<0,0001	<0,00010	<0,00020
Plomo	mg/L	0,05	0,05	<0,0002	0,0004	<0,0002	<0,0010
Boro	mg/L	1	5	0,252	0,207	0,293	0,28
Cobre	mg/L	0,2	0,5	0,00079	0,0012	0,0012	0,0106

Parámetros	Unidad	ECA-Agua: Categoría 3		RLuri4			
		D1: Riego de Vegetales	D2: Bebida de animales	22/05/2019	7/05/2020	22/10/2020	24/08/2023
Materia Orgánica							
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	15	15	<2	<2	3	<2
Demanda química de oxígeno	mg/L	40	40	<2	7	4	<5
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 4	≥ 5	6,28	8,31	8,4	7,64
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1000	1000	110	79	1700	33
Físico-químico Metal							
Potencial de hidrógeno	Unid, pH	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4	8,9	8,67	-	8,73
Arsénico	mg/L	0,1	0,2	0,00509	0,0054	0,038	<0,004
Aluminio	mg/L	5	5	0,013	0,115	0,07	<0,0084
Manganeso	mg/L	0,2	0,2	0,00739	0,0117	0,02	<0,0005
Hierro	mg/L	5	**	<0,0004	0,078	0,119	0,5455
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	<0,00001	<0,00010	<0,00010	<0,00020
Plomo	mg/L	0,05	0,05	<0,0002	0,0003	0,0017	<0,0010
Boro	mg/L	1	5	0,195	0,224	0,28	0,2506
Cobre	mg/L	0,2	0,5	0,00067	0,0009	0,0015	0,0117

Anexo 3. Ficha de identificación

Registro de identificación del Punto de Monitoreo

Nombre del cuerpo de agua:	Río Lurín
Clasificación del cuerpo de agua:	Categoría 3
Código o nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero: (Código Pfaffstatter)	1375534

IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO

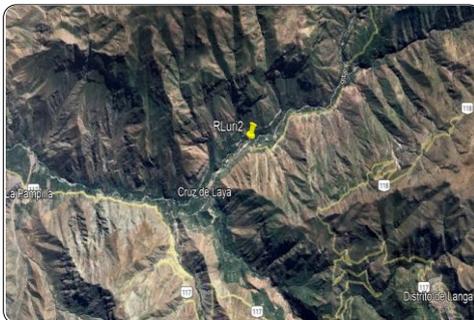
Código del punto de monitoreo:	RLuri2
Descripción:	Río Lurín, Puente Huatiacaya
Accesibilidad:	Acceso con pendiente rocosa por el extremo del puente Huatiacaya.
Representatividad:	Tramo del río con corriente homogénea y sin presencia de aguas estancadas.
Finalidad del monitoreo:	Aplicación del Índice Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales
Reconocimiento del entorno:	Puente Huatiacaya

UBICACIÓN

Distrito:	Provincia:	Departamento:
Lahuaytambo	Huarochirí	Lima
Localidad:	Centro Poblado Huatiacaya	
Coordenadas (WGS84):	Sistema de coordenadas:	Proyección UTM <input checked="" type="checkbox"/>
Norte/Latitud: 8 662 164	Zona: 18	Geográficas <input type="checkbox"/>
Este/longitud: 342 074	Altitud: 2651	(17, 18 o 19; para UTM solamente) (m.s.n.m)

Croquis de Ubicación del Punto de Monitoreo:

Fotografía:



Elaborado por: Giancarlo Jhonatan Ruiz Antaurco Fecha: 24/08/2023

Registro de identificación del Punto de Monitoreo

Nombre del cuerpo de agua:	Río Lurín
Clasificación del cuerpo de agua:	Categoría 3
Código o nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero: (Código Pfaffstatter)	1375534

IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO

Código del punto de monitoreo:	RLuri3
Descripción:	Río Lurín, Puente Bentin
Accesibilidad:	Acceso sin pendiente y con presencia de rocas en los bordes del río.
Representatividad:	Tramo del río con corriente homogénea.
Finalidad del monitoreo:	Aplicación del Índice Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales
Reconocimiento del entorno:	Puente Bentin

UBICACIÓN

Distrito:	Provincia:	Departamento:
Antioquía	Huarochirí	Lima
Localidad:	Antioquía	
Coordenadas (WGS84):	Sistema de coordenadas:	Proyección UTM <input checked="" type="checkbox"/>
Norte/Latitud: 8 663 053	Zona: 18	Geográficas <input type="checkbox"/>
Este/longitud: 336 846	Altitud: 2218	(17, 18 o 19; para UTM solamente) (m.s.n.m)

Croquis de Ubicación del Punto de Monitoreo:



Fotografía:



Elaborado por: Giancarlo Jhonatan Ruiz Antaurco Fecha: 24/08/2023

Registro de identificación del Punto de Monitoreo

Nombre del cuerpo de agua:	Río Lurín
Clasificación del cuerpo de agua:	Categoría 3
Código o nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero: (Código Pfaffstatter)	1375534

IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO

Código del punto de monitoreo:	RLuri4
Descripción:	Río Lurín, Puente SENAMHI
Accesibilidad:	Acceso por la carretera de subida a 15 metros del puente. Ingreso con vegetación.
Representatividad:	Tramo del río con corriente homogénea sin presencia de aguas estancadas. Se observa abundancia de algas.
Finalidad del monitoreo:	Aplicación del Índice Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales
Reconocimiento del entorno:	Puente SENAMHI

UBICACIÓN

Distrito:	Provincia:	Departamento:
Antioquía	Huarochirí	Lima
Localidad:	Sisicaya	
Coordenadas (WGS84):	Sistema de coordenadas:	Proyección UTM <input checked="" type="checkbox"/> Geográficas <input type="checkbox"/> (17, 18 o 19; para UTM solamente) (m.s.n.m)
Norte/Latitud:	Zona:	
8 669 450	18	
Este/longitud:	Altitud:	
323 174	1419	

Croquis de Ubicación del Punto de Monitoreo:

Fotografía:



Elaborado por: Giancarlo Jhonatan Ruiz Antaurco Fecha: 24/08/2023

Anexo 5. Informes de ensayo



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-056



Registro N° LE-056

INFORME DE ENSAYO N° 234875 CON VALOR OFICIAL

Razón Social : GIANCARLO JHONATAN RUIZ ANTAURCO
Domicilio Legal : Mz. I Lt 18 Gr. 2 Sector 10 V.E.S
Solicitado por : GIANCARLO JHONATAN RUIZ ANTAURCO
Referencia : Colización N° 2945-23
Proyecto : MONITOREO DE LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES
EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA LURÍN - 2023
Procedencia : DISTRITO DE ANTIOQUÍA Y LAHUAYTAMBO - PROVINCIA DE HUAROCHIRÍ - LIMA
Muestreo Realizado por : EL CLIENTE
Cantidad de Muestras : 3
Producto : Agua Natural
Fecha de Recepción : 25/08/2023
Fecha de Ensayo : 25/08/2023 al 04/09/2023
Fecha de Emisión : 05/09/2023

I. Resultados

Código de Laboratorio	234875-01	234875-02	234875-03
Código del Cliente	RLUR12	RLUR13	RLUR14
Fecha de Muestreo	24/08/2023	24/08/2023	24/08/2023
Hora de Muestreo (h)	11:30	16:20	17:00
Ubicación Geográfica (WGS 84)	E:0342074 N:8662164	E:0336846 N:8663053	E:0323174 N:8669450
Tipo de Producto	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial

Tipo de Ensayo	Unidad	L.D.M.	L.C.M.	Resultados
Laboratorio Físico Químico				
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg BOD5/L	0,5	2,0	<2,0
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/L	1,6	5,0	<5,0
Laboratorio Instrumental				
Metales Totales				
Aluminio	mg/L	0,0077	0,0084	<0,0084
Antimonio	mg/L	0,0015	0,0050	<0,0050
Arsénico	mg/L	0,001	0,004	<0,004
Bario	mg/L	0,0004	0,0008	0,0311
Berilio	mg/L	0,0002	0,0003	<0,0003
Boro	mg/L	0,0012	0,0022	0,1784
Cadmio	mg/L	0,00005	0,00020	<0,00020
Calcio	mg/L	0,0035	0,0050	7,199

Legenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.C.M. o L.D.M. indicado, "-": No analizado

Calle B. Mz C lote 40 Urb. Panamericana - Lima 31 - Perú, Central Telefónica (511) 522-3758 / 523-1828 980-525856

info@envirotest.com.pe / www.envirotest.com.pe

Página 1 de 3

Código: F01-PQ.EM.01, Rev:11, Fecha: 21/02/2020

**INFORME DE ENSAYO N° 234875
CON VALOR OFICIAL**

Tipo de Ensayo		Unidad	L.D.M.	L.C.M.	Resultados		
Cerio	mg/L	0,0096	0,0224	<0,0224	<0,0224	<0,0224	
Cobalto	mg/L	0,0007	0,0018	<0,0018	<0,0018	<0,0018	
Cobre	mg/L	0,0005	0,0012	0,0076	0,0106	0,0117	
Cromo	mg/L	0,0023	0,0040	<0,0040	<0,0040	<0,0040	
Estaño	mg/L	0,0026	0,0075	<0,0075	<0,0075	<0,0075	
Estroncio	mg/L	0,0002	0,0004	0,2054	0,3595	0,4028	
Fosforo	mg/L	0,0237	0,0420	<0,0420	<0,0420	<0,0420	
Hierro	mg/L	0,0052	0,0064	0,0293	0,0614	0,5455	
Litio	mg/L	0,0006	0,0010	0,1445	0,1803	0,1589	
Magnesio	mg/L	0,0107	0,0141	3,073	5,167	6,904	
Manganeso	mg/L	0,0004	0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	
Molibdeno	mg/L	0,0016	0,0023	<0,0023	<0,0023	<0,0023	
Niquel	mg/L	0,0015	0,0027	<0,0027	<0,0027	<0,0027	
Plata	mg/L	0,0014	0,0027	<0,0027	<0,0027	<0,0027	
Plomo	mg/L	0,0004	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	
Potasio	mg/L	0,0463	0,0977	1,449	1,825	2,808	
Selenio	mg/L	0,001	0,004	<0,004	<0,004	<0,004	
Silicio	mg/L	0,0051	0,0120	7,262	10,06	10,33	
Sodio	mg/L	0,0074	0,0127	18,44	29,53	28,15	
Talio	mg/L	0,0002	0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	
Titanio	mg/L	0,0021	0,0026	<0,0026	<0,0026	<0,0026	
Vanadio	mg/L	0,0005	0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	
Zinc	mg/L	0,0009	0,0012	<0,0012	<0,0012	<0,0012	

Legenda: L.C.M. = Limite de cuantificación del método, L.D.M. = Limite de detección del método, "<"= Menor que el L.C.M. o L.D.M. indicado"

INFORME DE ENSAYO N° 234875 CON VALOR OFICIAL

II. Métodos y Referencias

Tipo de Ensayo	Norma Referencia	Título
Laboratorio Físico Químico		
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Colorimetric Method
Laboratorio Instrumental		
Metales Totales	EPA Method 200.7 Rev.4.4 1994	Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry

EPA: U. S. Environmental Protection Agency, Methods for Chemicals Analysis

SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

II. Observaciones

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.



Quim. Aristides D. Villar Arteaga
Jefe de Emisión de Informes
C.Q.P. N° 1187

Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada, según la cadena de custodia correspondiente. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto. El tiempo de custodia de la muestra es de un mes calendario desde el ingreso de la muestra al Laboratorio. El tiempo de custodia del informe de ensayo, tanto en digital como en físico es de 4 años. El tiempo de perechibilidad de la muestra está en función a lo declarado en los métodos normalizados de ensayo y rige desde la toma de muestra. Está prohibido la reproducción parcial del presente documento, salvo autorización de Envirotest S.A.C. Los resultados se relacionan solamente con los ítems de ensayo, bajo las condiciones de las muestras como se recibieron. Para verificar la autorización del presente informe de ensayo solicitar información al correo: info@envirotest.com.pe

"FIN DEL INFORME"

**INFORME DE ENSAYO N° 234875-M
CON VALOR OFICIAL**

Razón Social : GIANCARLO JHONATAN RUIZ ANTAURCO
Domicilio Legal : Mz. 1 Lt 18 Gr. 2 Sector 10 V.E.S
Solicitado por : GIANCARLO JHONATAN RUIZ ANTAURCO
Referencia : Cotización N° 2945-23
Proyecto : MONITOREO DE LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES
EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA LURÍN - 2023
Procedencia : DISTRITO DE ANTOQUIÁ Y LAHUAYTAMBO - PROVINCIA DE HUARACHIRÍ - LIMA
Muestreo Realizado por : EL CLIENTE
Cantidad de Muestras : 3
Condición de Conservación : 5,2 °C
Producto : Agua Natural
Fecha de Recepción : 25/08/2023
Fecha de Ensayo : 25/08/2023 al 04/09/2023
Fecha de Emisión : 05/09/2023

I. Resultados

Código de Laboratorio	234875-01	234875-02	234875-03
Código del Cliente	RLUR12	RLUR13	RLUR14
Fecha de Muestreo	24/08/2023	24/08/2023	24/08/2023
Hora de Muestreo (h)	11:30	15:20	17:00
Ubicación Geográfica (WGS 84)	E:0342074 N:8662164	E:0336846 N:8663053	E:0323174 N:8669450
Tipo de Producto	Agua Superficial	Agua Superficial	Agua Superficial

Tipo de Ensayo	Unidad	L.C.M.	Resultados		
Laboratorio Biológico					
Fecal Coliform (44.5±0.2°C)	NMP/100mL	1,8	1,30E+02	2,40E+02	3,30E+01

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método. L.D.M. = Límite de detección del método. "c" = Menor que el L.C.M. o L.D.M. indicado. "n" = No analizado.

II. Métodos y Referencias

Tipo de Ensayo	Norma Referencia	Título
Laboratorio Biológico		
Fecal Coliform (44.5±0.2°C)	SMEWW 9221E/9221C 23rd Ed. 2017	Thermotolerant (Fecal) Coliform Procedure

SMEWW : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

III. Observaciones

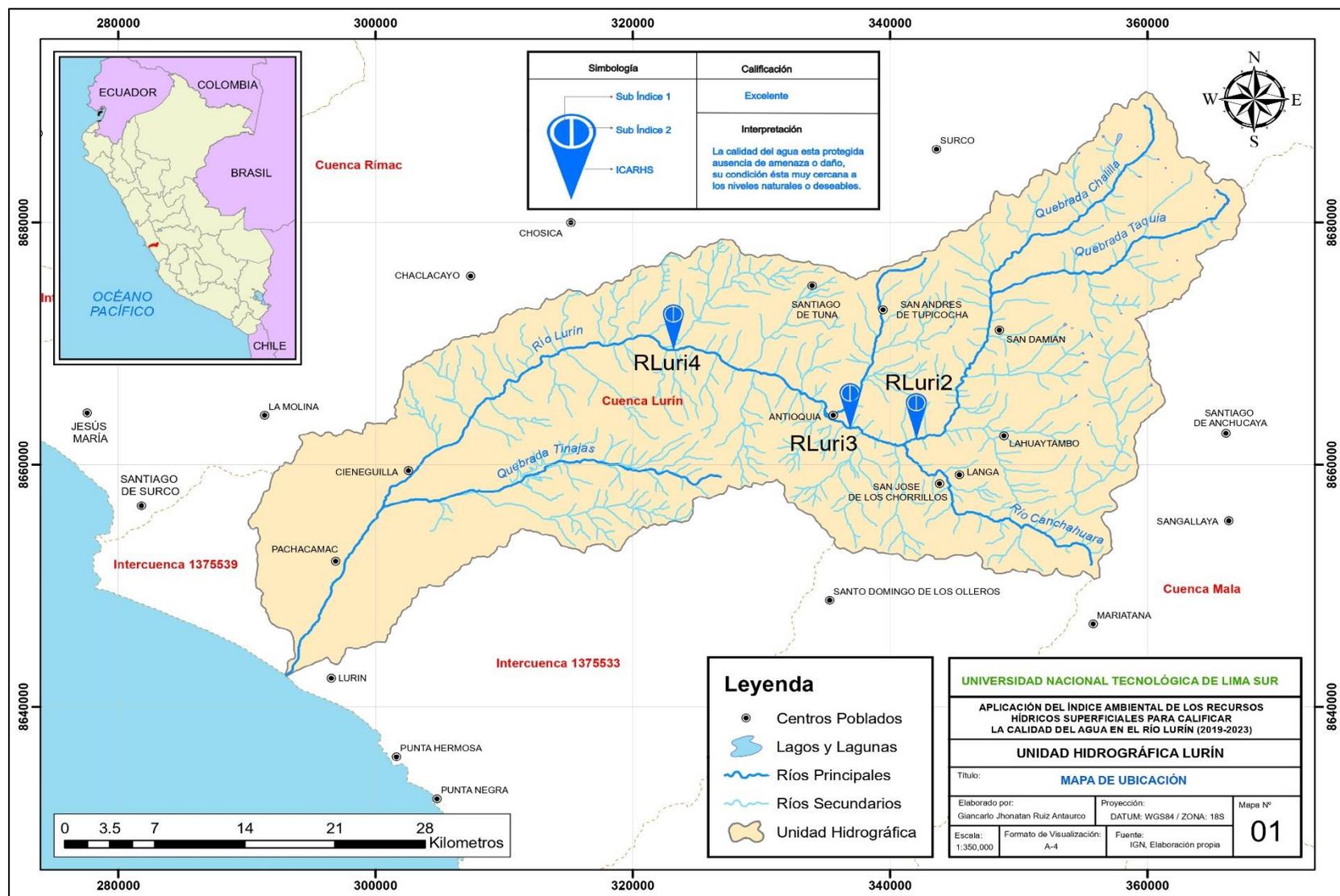
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.


Quim. Aristides D. Villar Arteaga
Jefe de Emisión de Informes
C.Q.P. N° 1187

Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada, según la cartena de custodia correspondiente. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto. El tiempo de custodia de la muestra es de un mes calendario desde el ingreso de la muestra al Laboratorio. El tiempo de custodia del informe de ensayo, tanto en digital como en físico es de 4 años. El tiempo de preservación de la muestra está en función a la declaración de los métodos normalizados de ensayo y sigue de la fecha de muestreo. Está prohibido la reproducción parcial del presente documento, salvo autorización de Envirotest S.A.C. Los resultados se relacionan solamente con los ítems de ensayo, bajo las condiciones de las muestras como se recibieron. Para verificar la autenticidad del presente informe de ensayo solicitar información al correo info@envirotest.com.pe

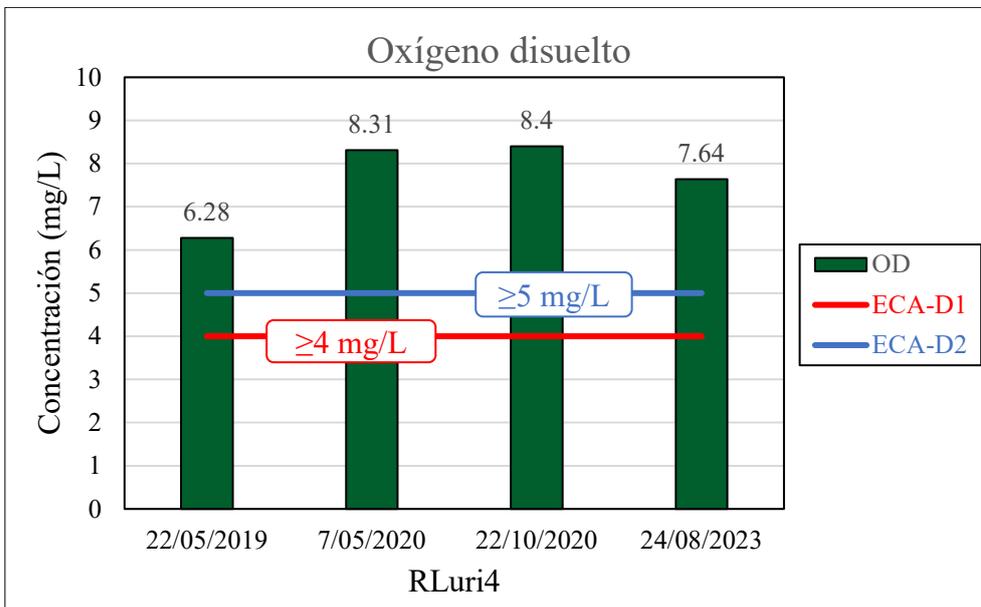
****FIN DEL INFORME****

Anexo 6. Mapa de ubicación

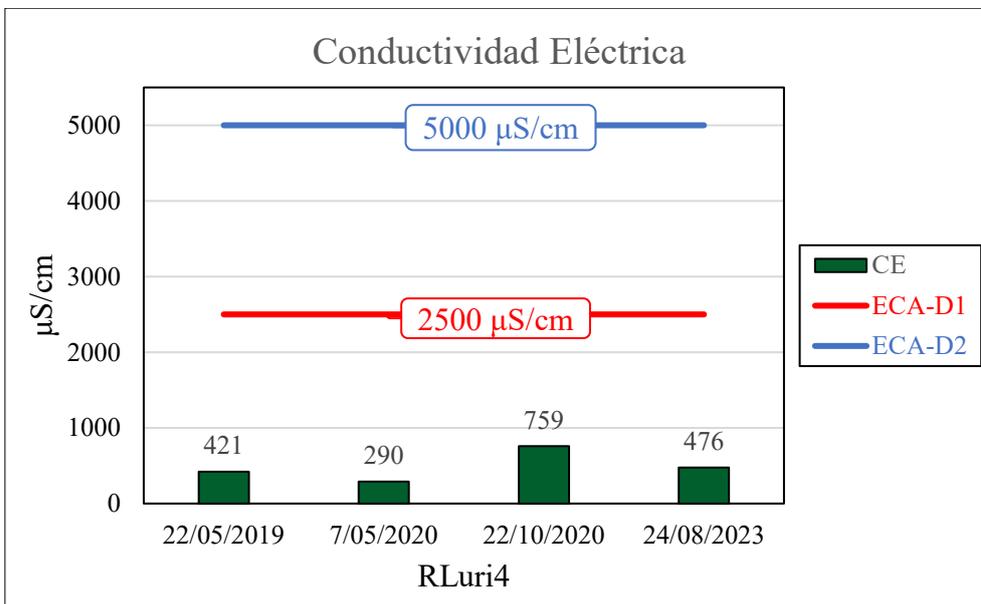


Anexo 7. Gráficas de resultados

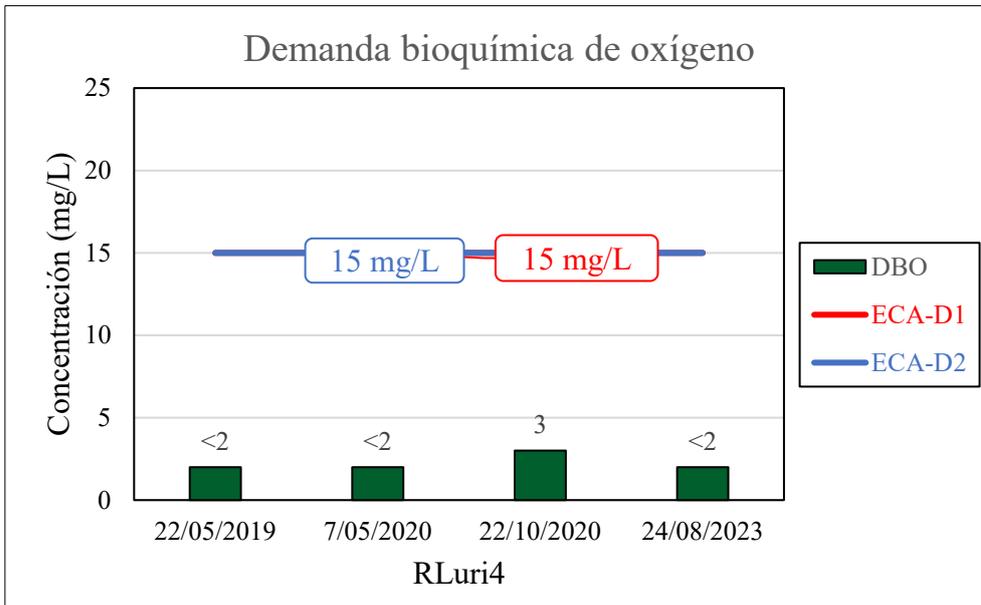
Resultados del oxígeno disuelto-RLuri4



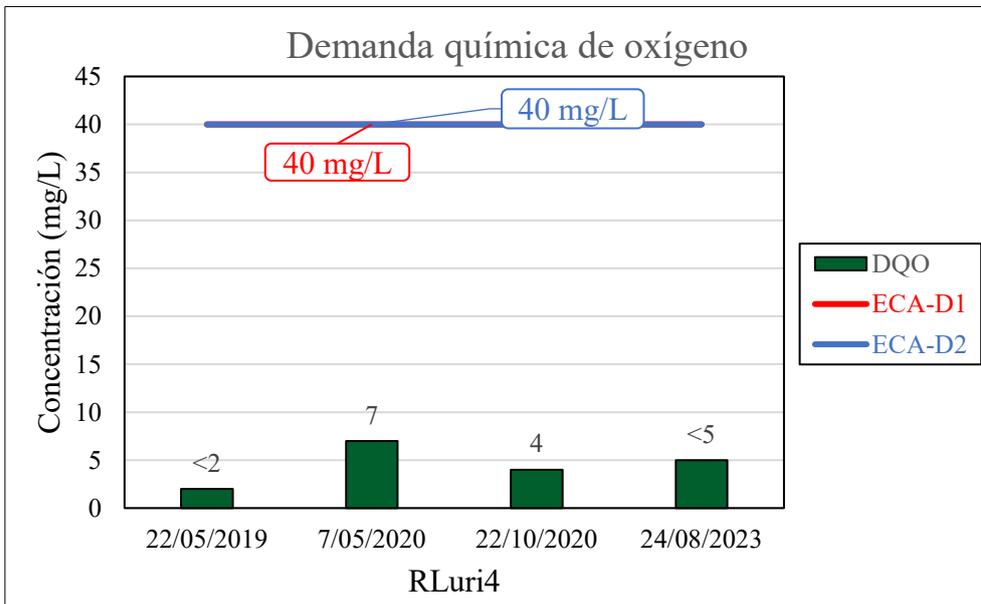
Resultados de la conductividad eléctrica-RLuri4



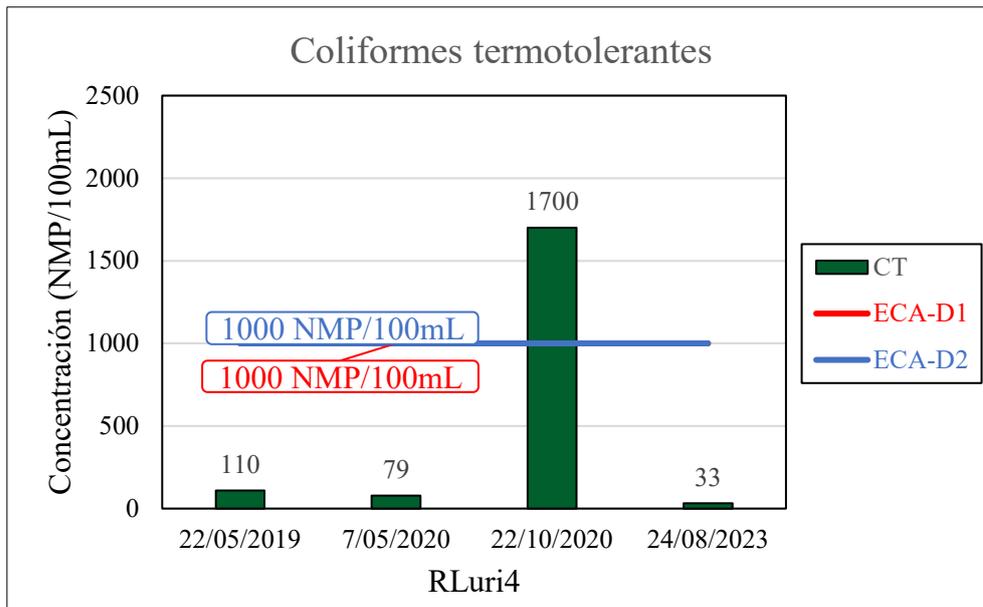
Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno-RLuri4



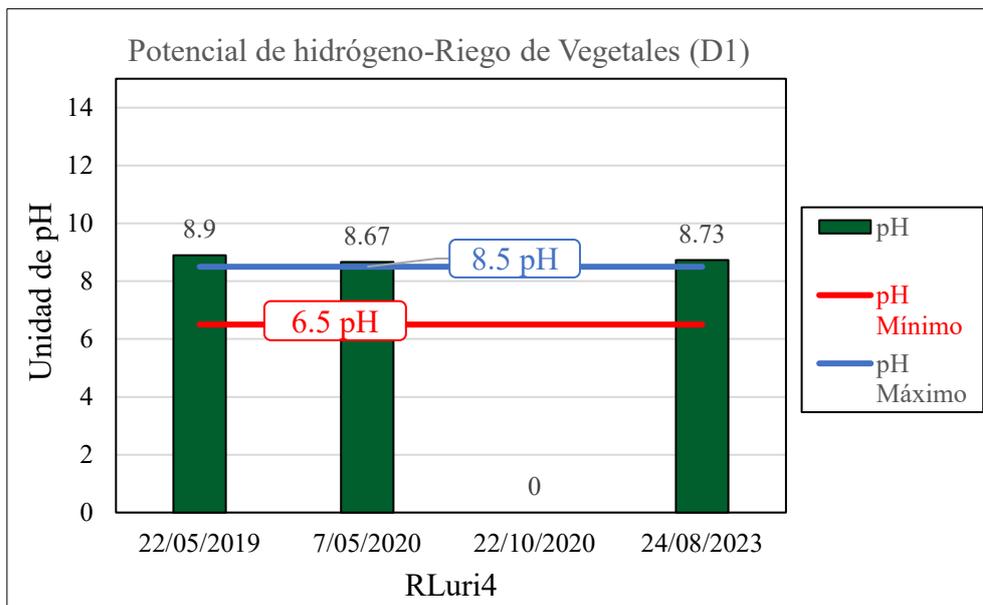
Resultados de la demanda química de oxígeno-RLuri4



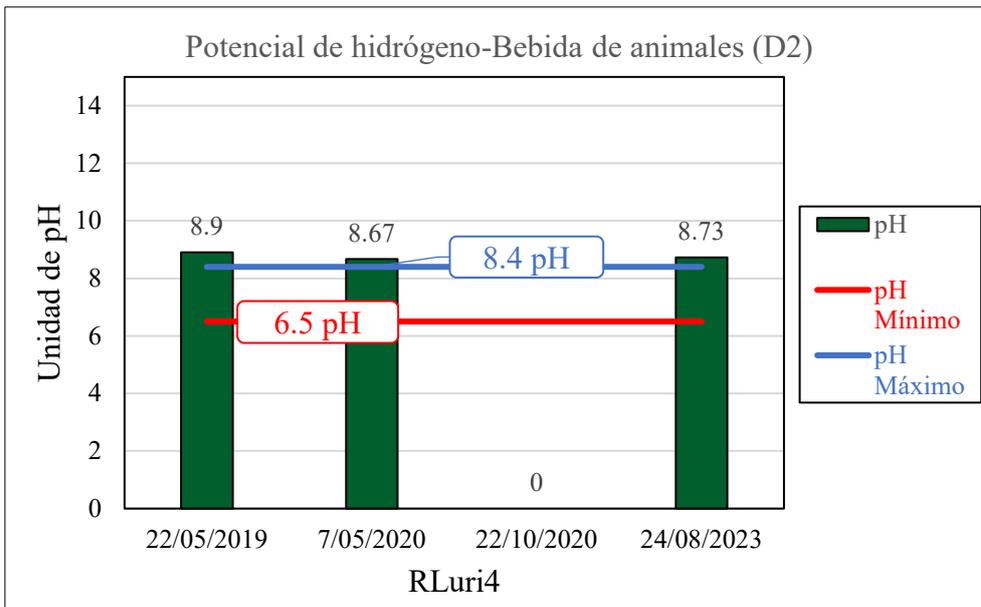
Resultados de los coliformes termotolerantes-RLuri4



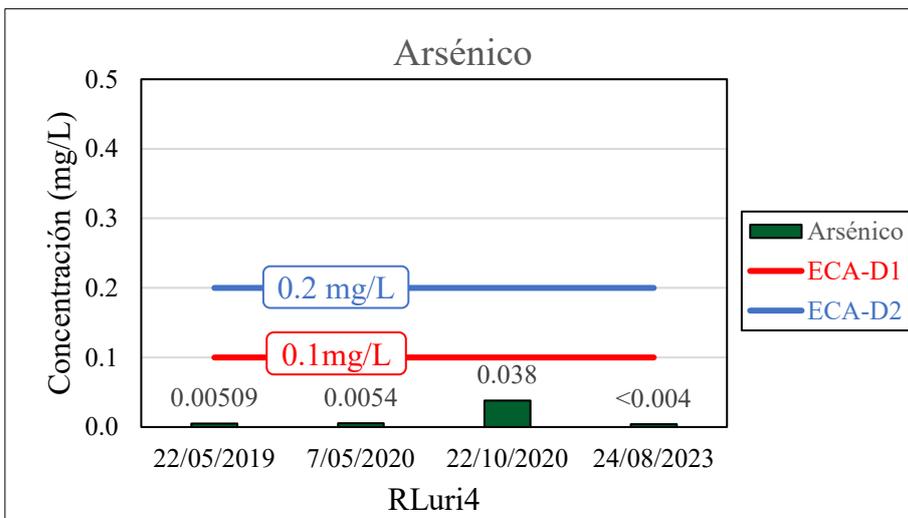
Resultados del pH para la sub categoría: Riego de vegetales-RLuri4



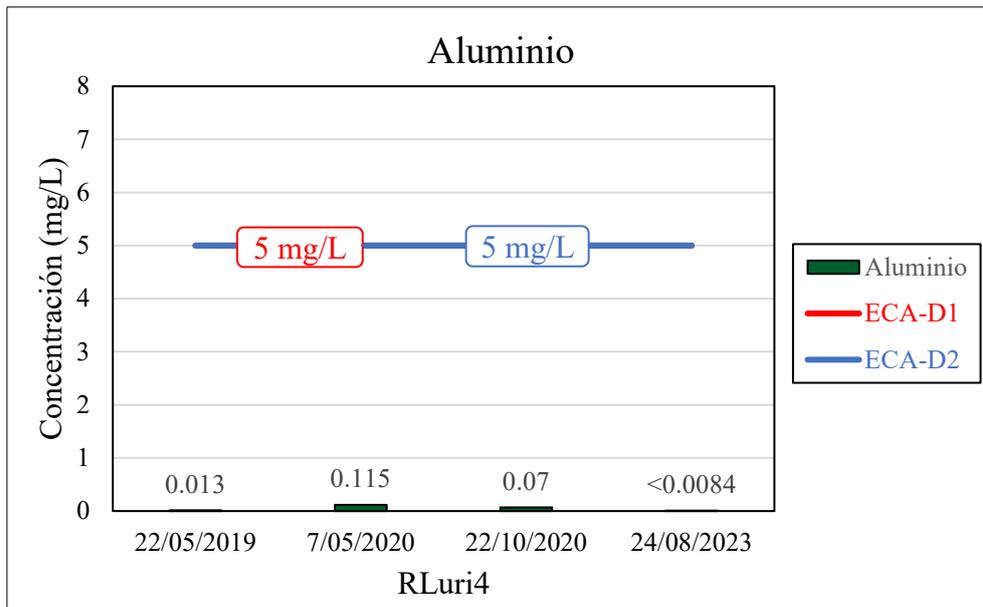
Resultados del pH para la sub categoría: Bebida de animales-RLuri4



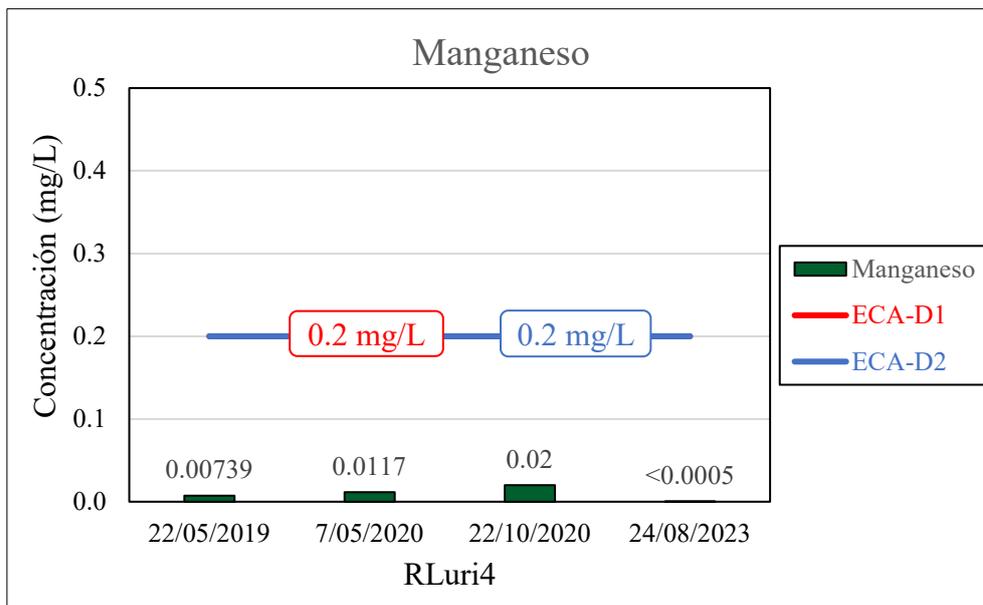
Resultados de la concentración de arsénico-RLuri4



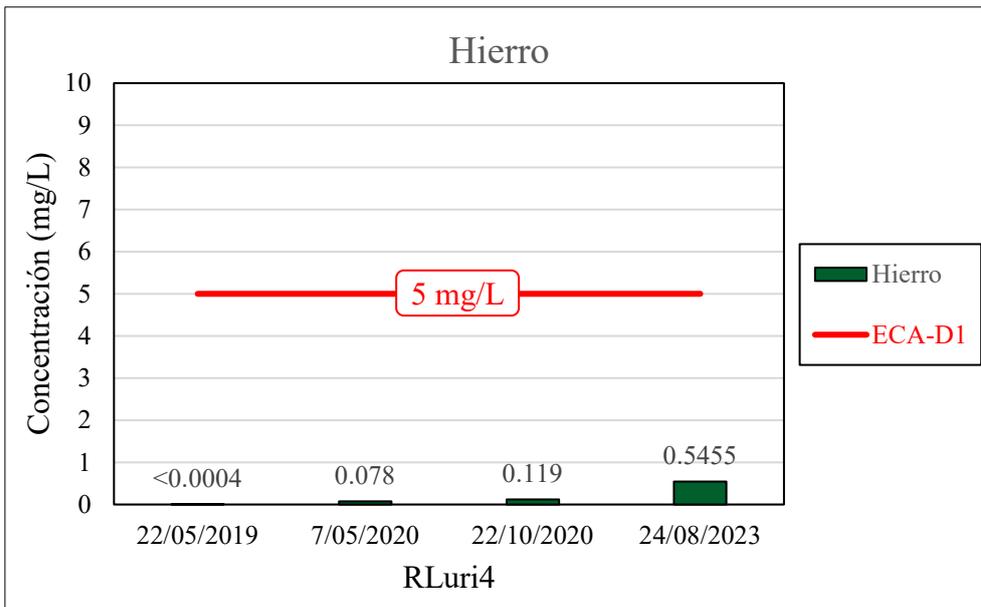
Resultados de la concentración de aluminio-RLuri4



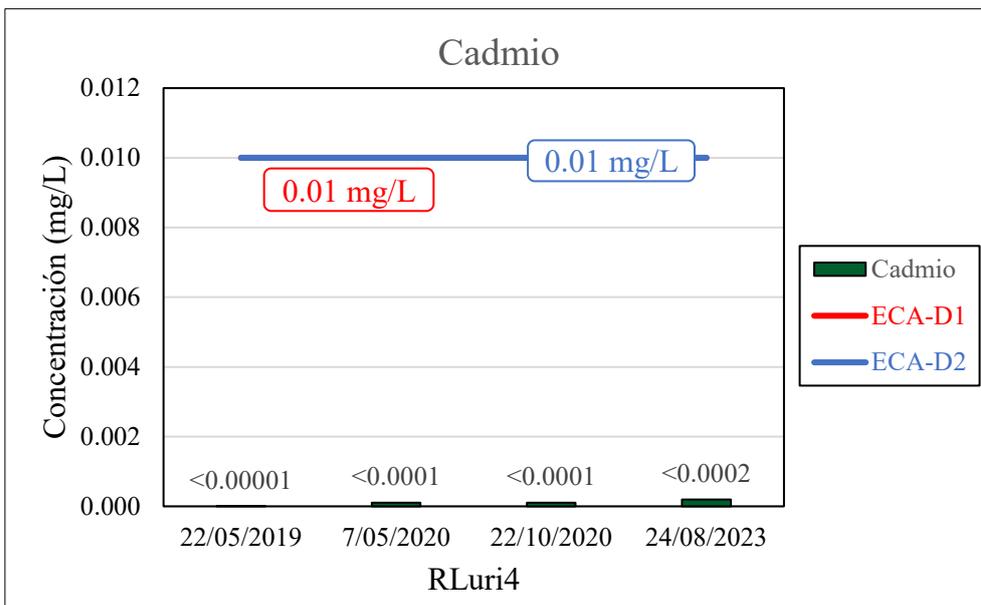
Resultados de la concentración de manganeso-RLuri4



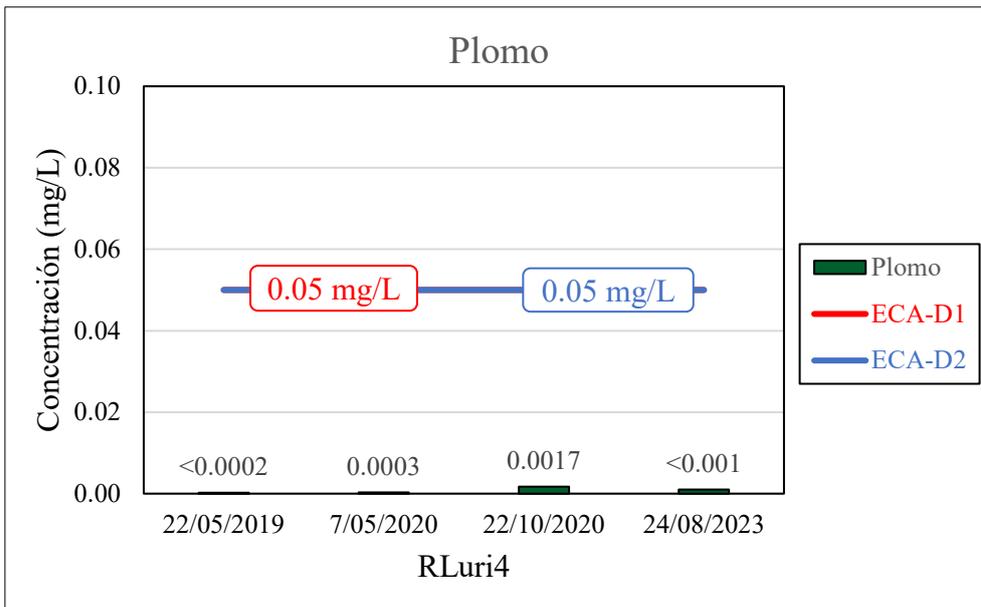
Resultados de la concentración de hierro-RLuri4



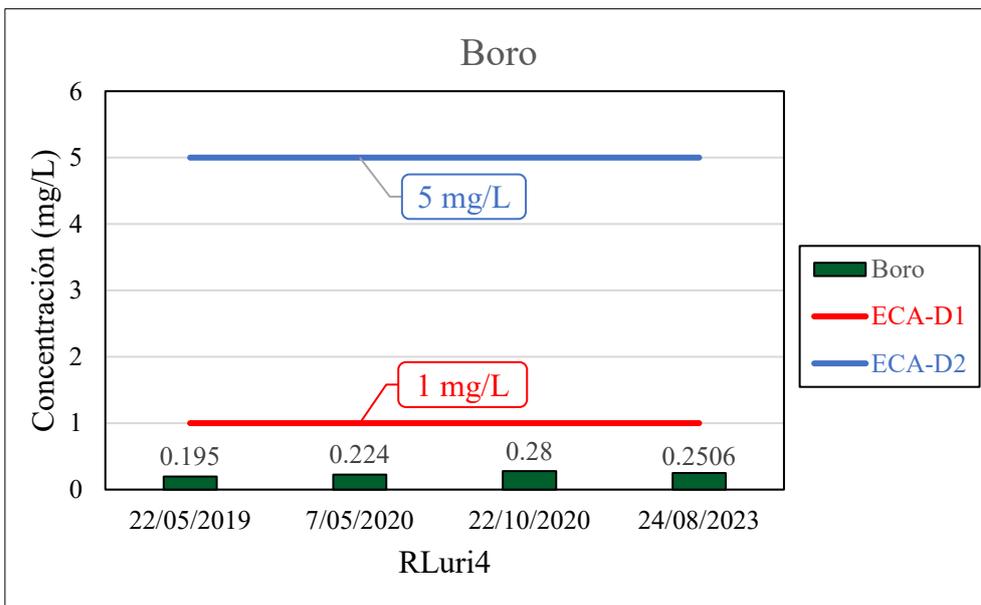
Resultados de la concentración de cadmio-RLuri4



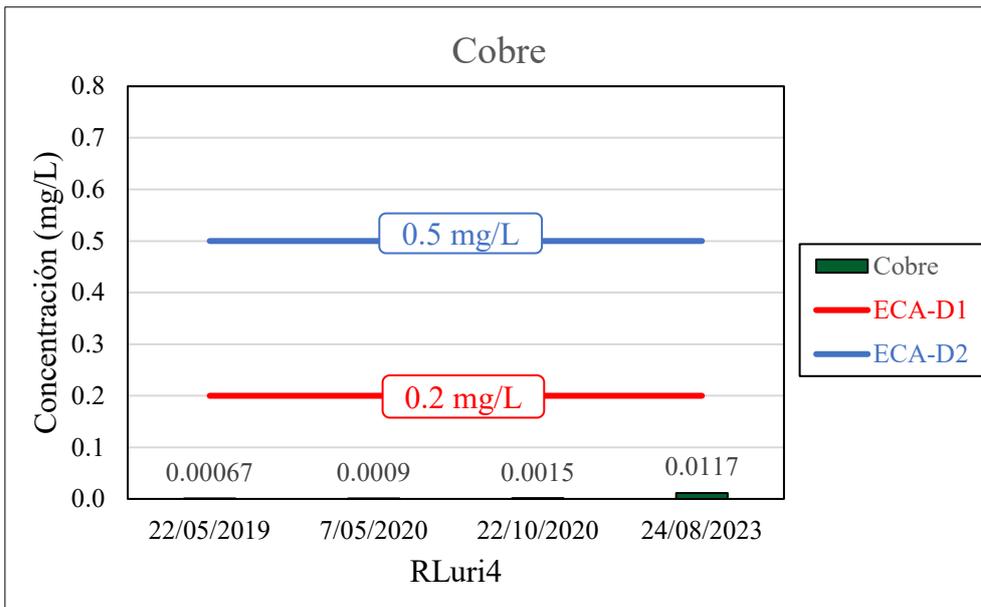
Resultados de la concentración de plomo-RLuri4



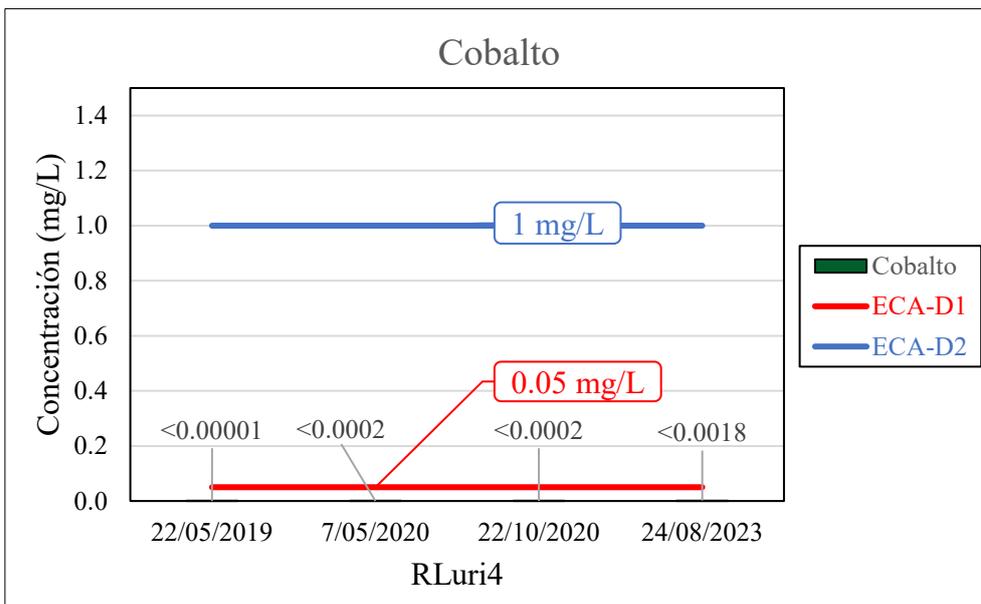
Resultados de la concentración de boro-RLuri4



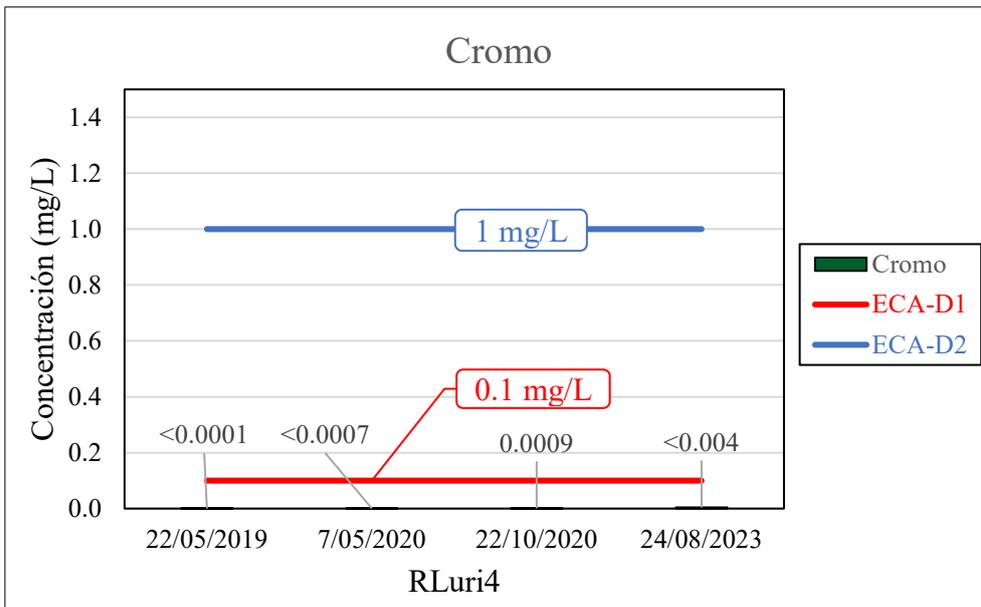
Resultados de la concentración de cobre-RLuri4



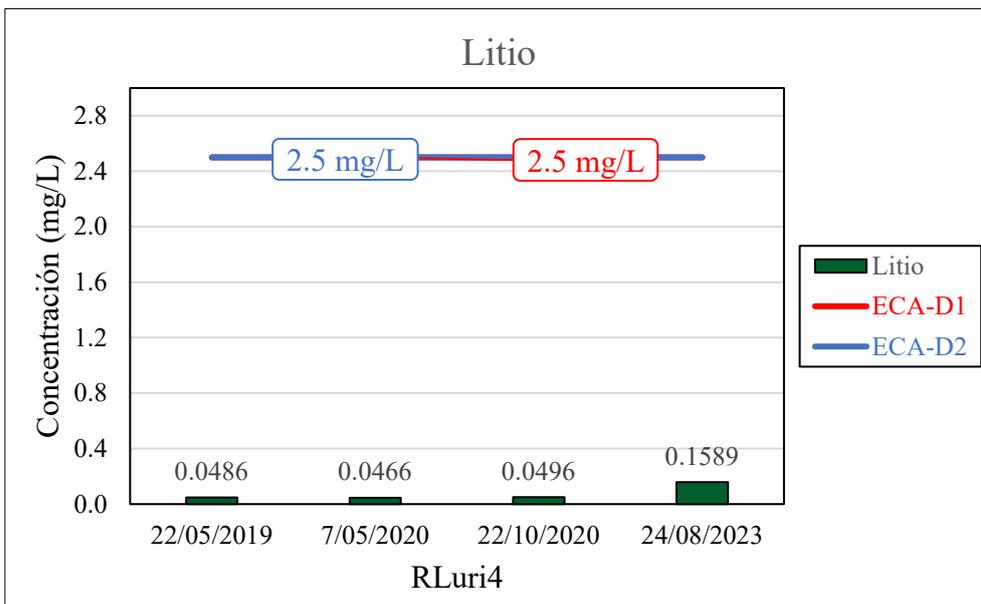
Resultados de la concentración de cobalto-RLuri4



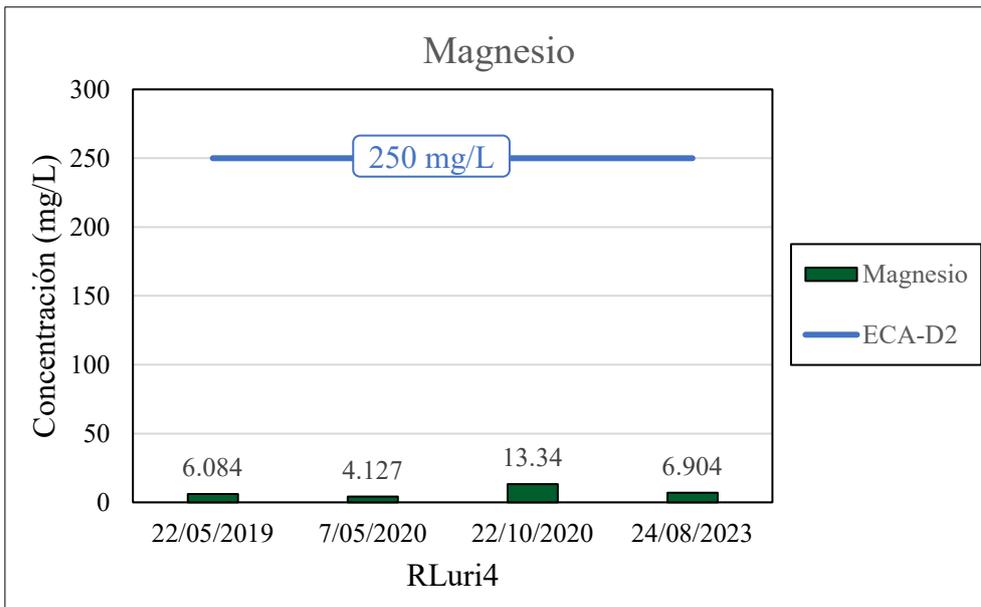
Resultados de la concentración de cromo-RLuri4



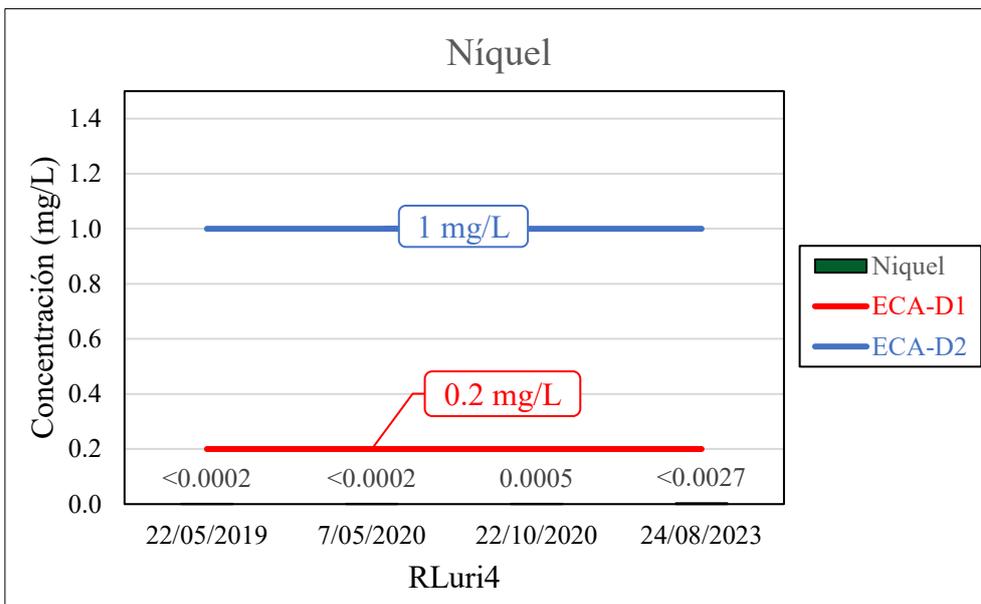
Resultados de la concentración de litio-RLuri4



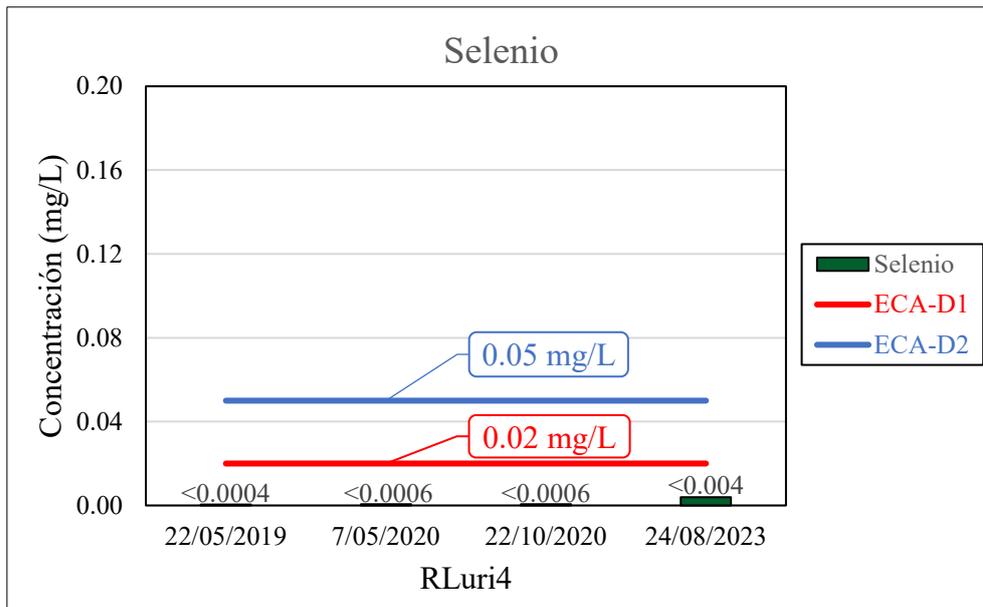
Resultados de la concentración de magnesio-RLuri4



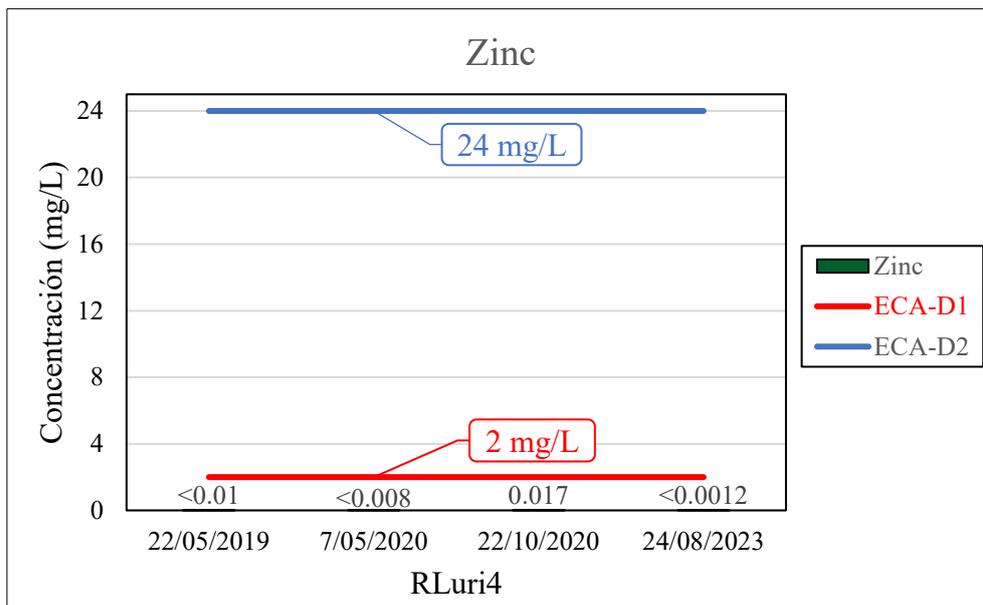
Resultados de la concentración de níquel-RLuri4



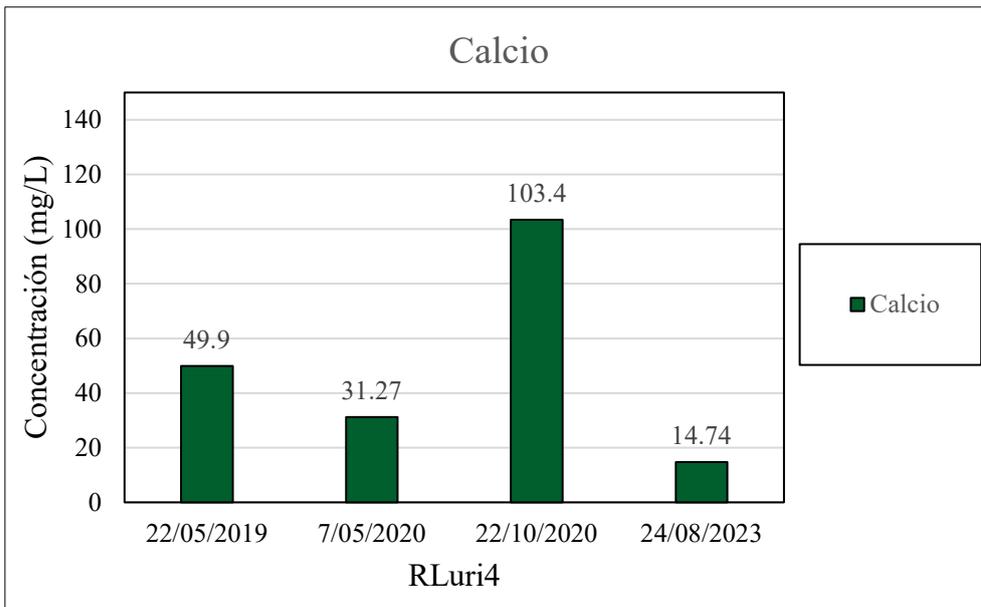
Resultados de la concentración de selenio-RLuri4



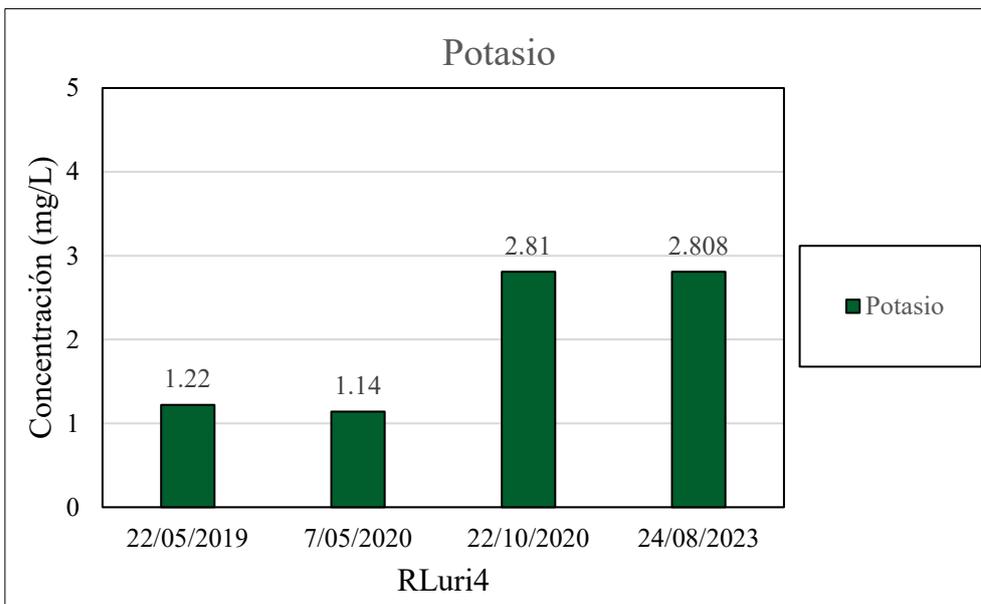
Resultados de la concentración de zinc-RLuri4



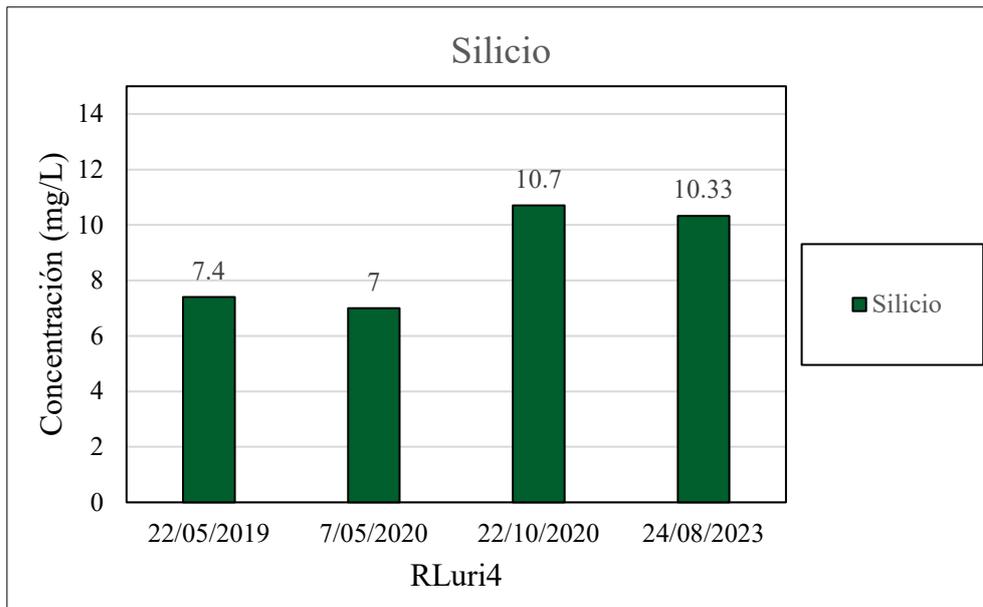
Resultados de la concentración de calcio-RLuri4



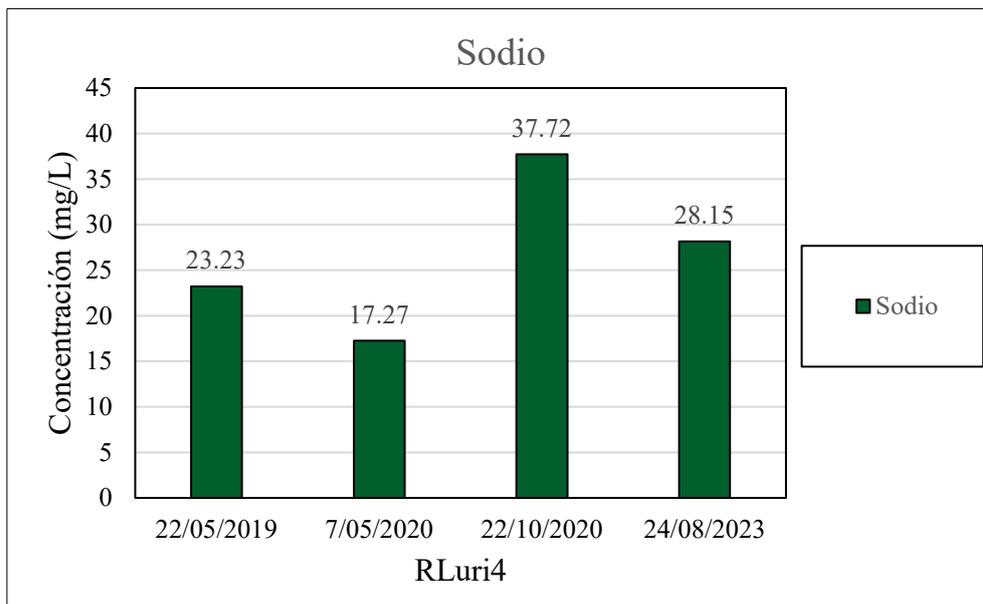
Resultados de la concentración de potasio-RLuri4



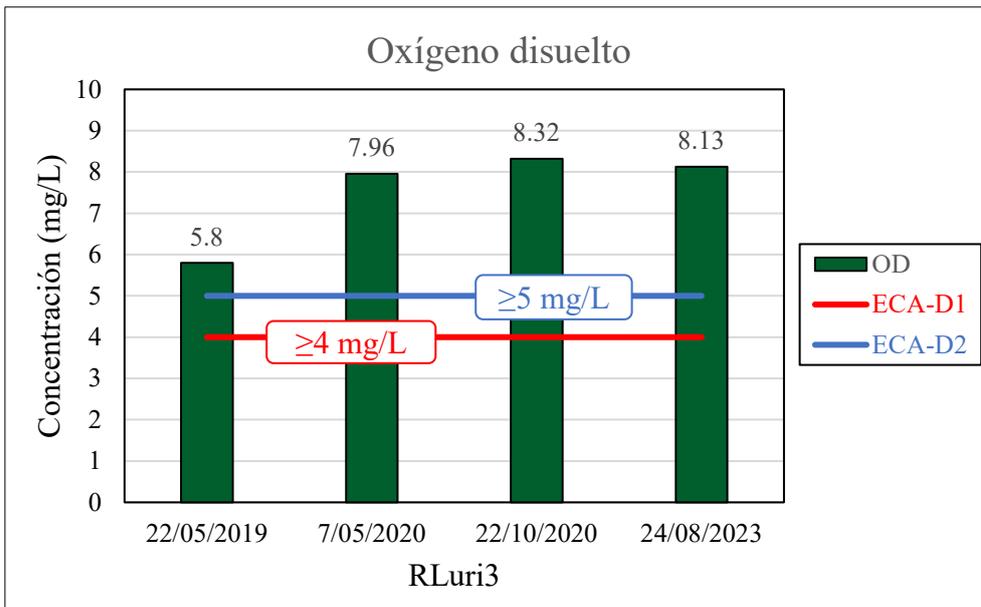
Resultados de la concentración de silicio-RLuri4



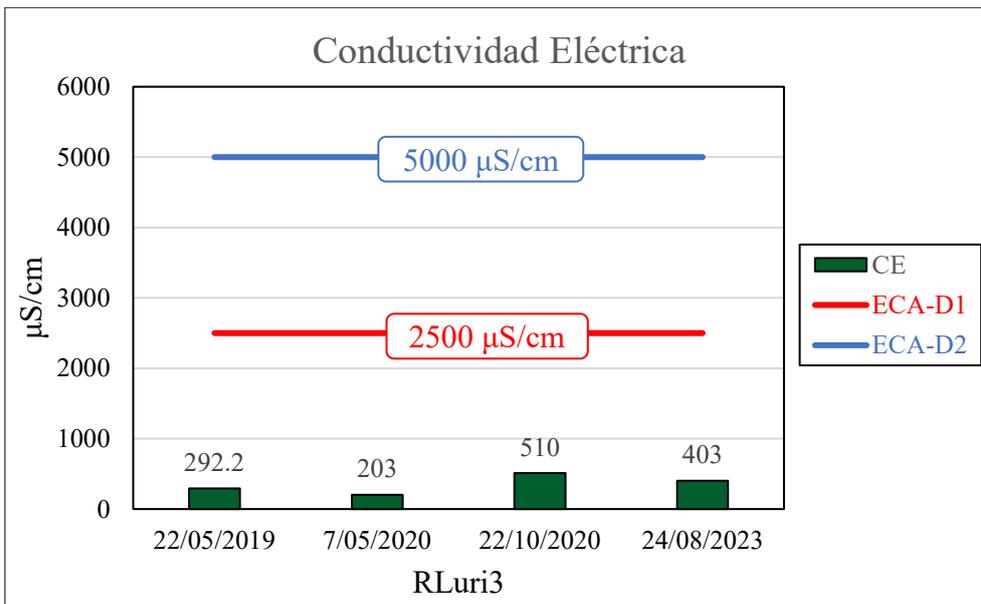
Resultados de la concentración de sodio-RLuri4



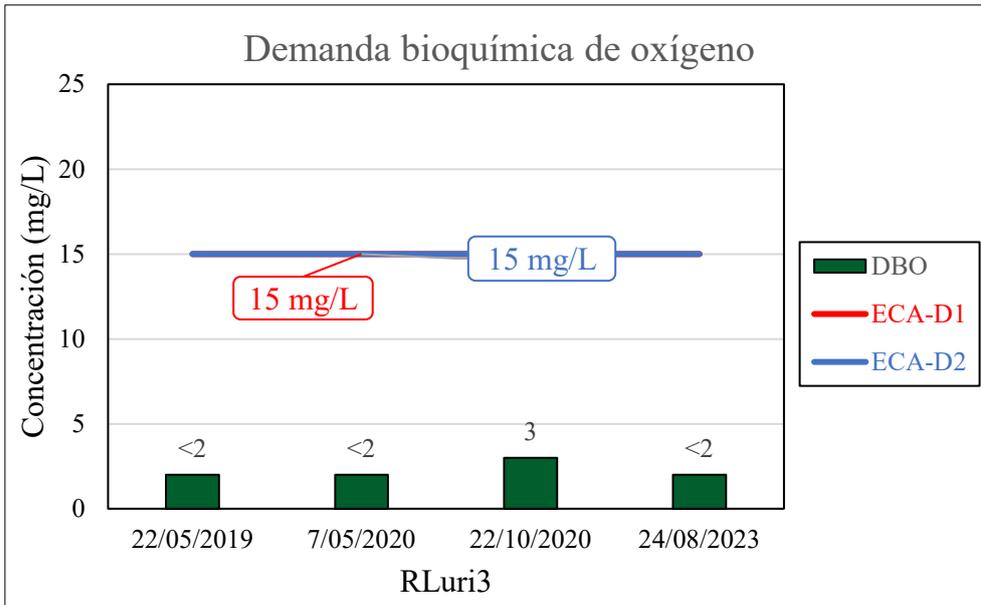
Resultados del oxígeno disuelto-RLuri3



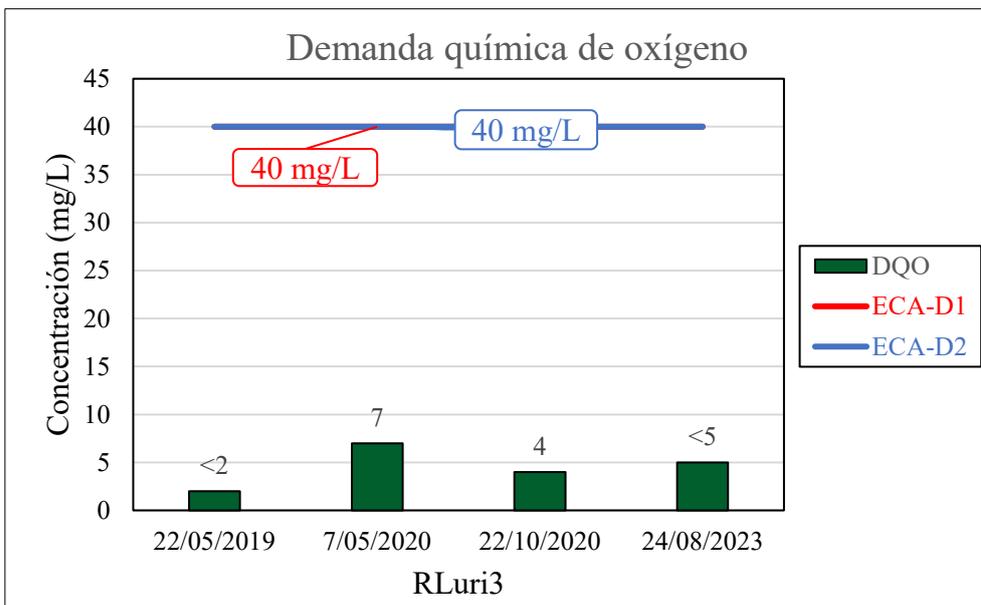
Resultados de la conductividad eléctrica-RLuri3



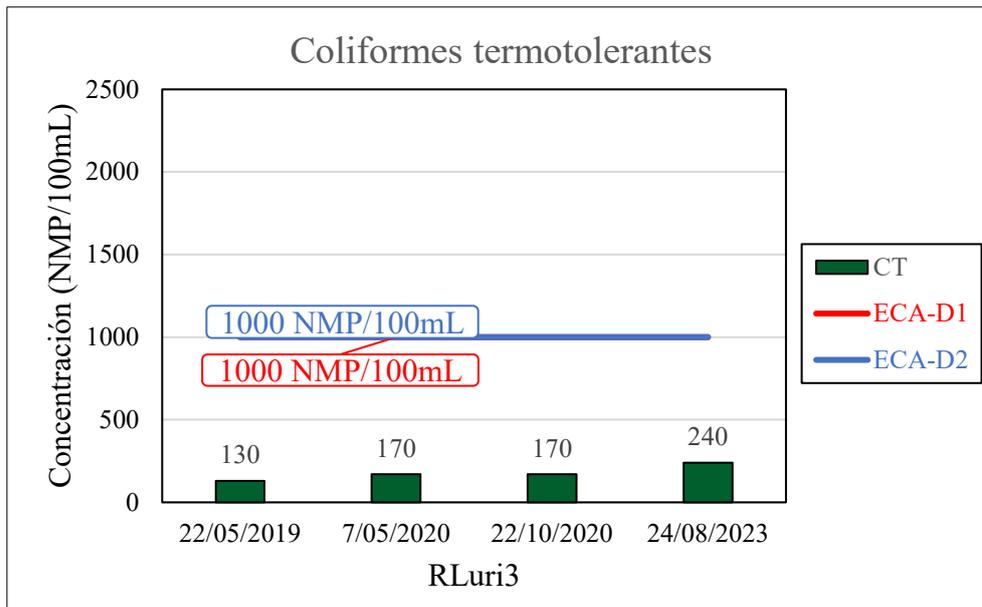
Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno-RLuri3



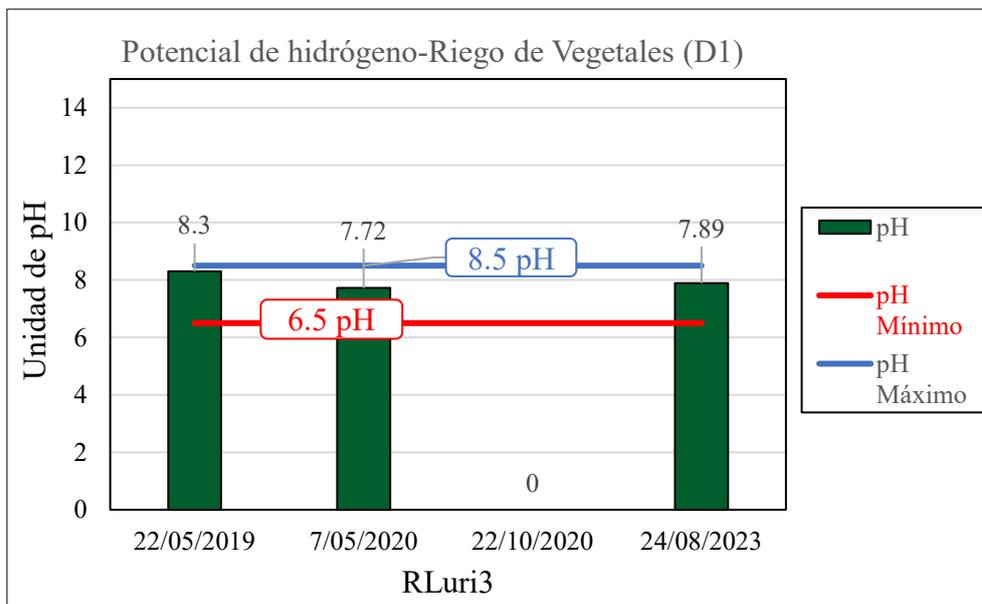
Resultados de la demanda química de oxígeno-RLuri3



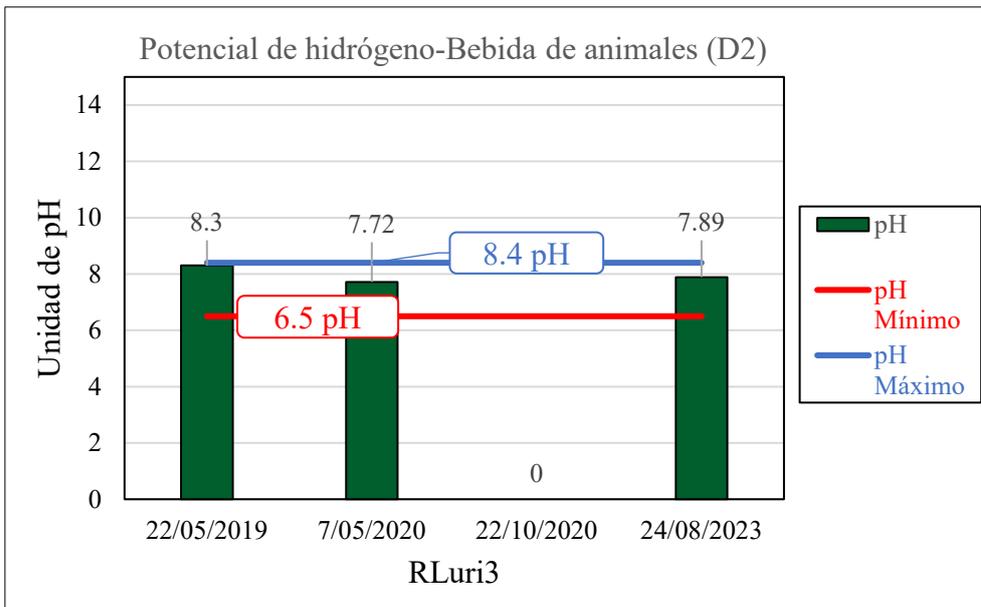
Resultados de los coliformes termotolerantes-RLuri3



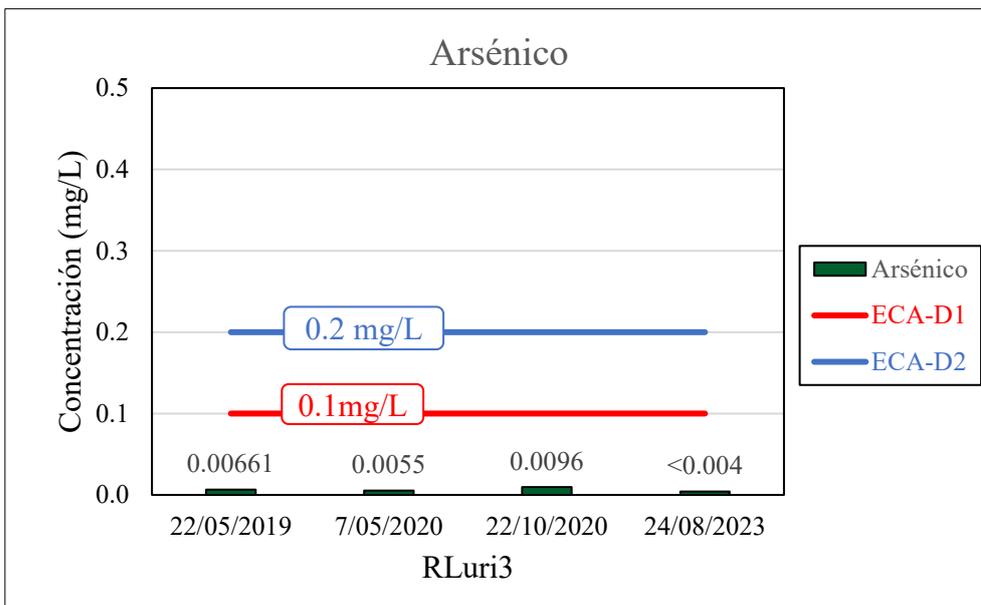
Resultados del pH para la sub categoría: Riego de vegetales-RLuri3



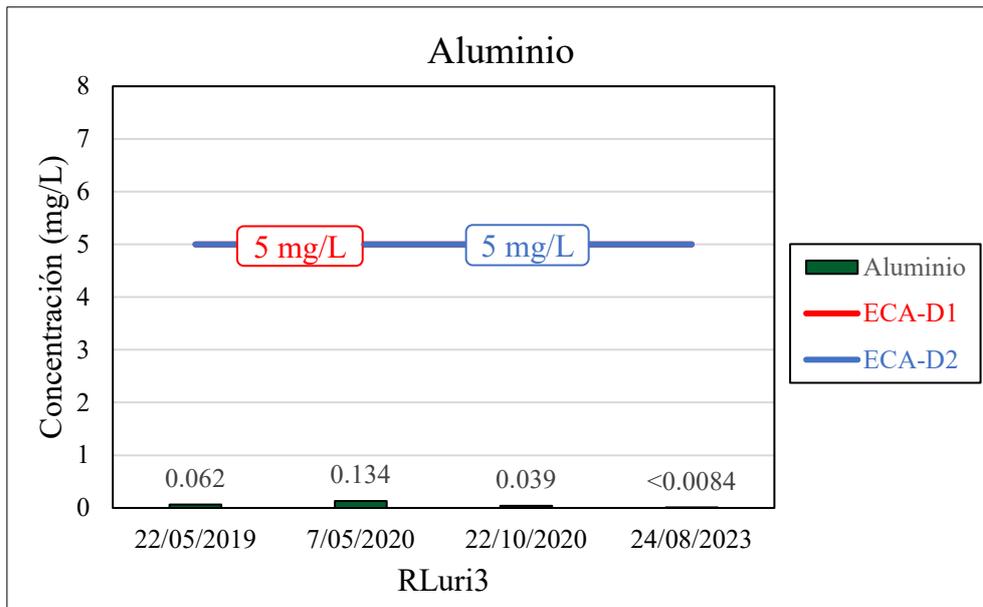
Resultados del pH para la sub categoría: Bebida de animales-RLuri3



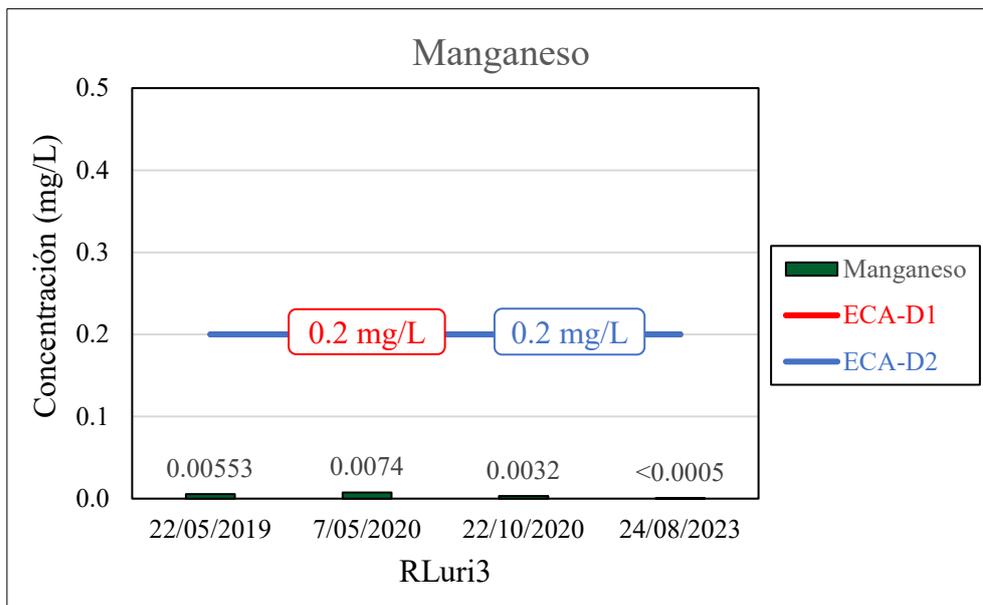
Resultados de la concentración de arsénico-RLuri3



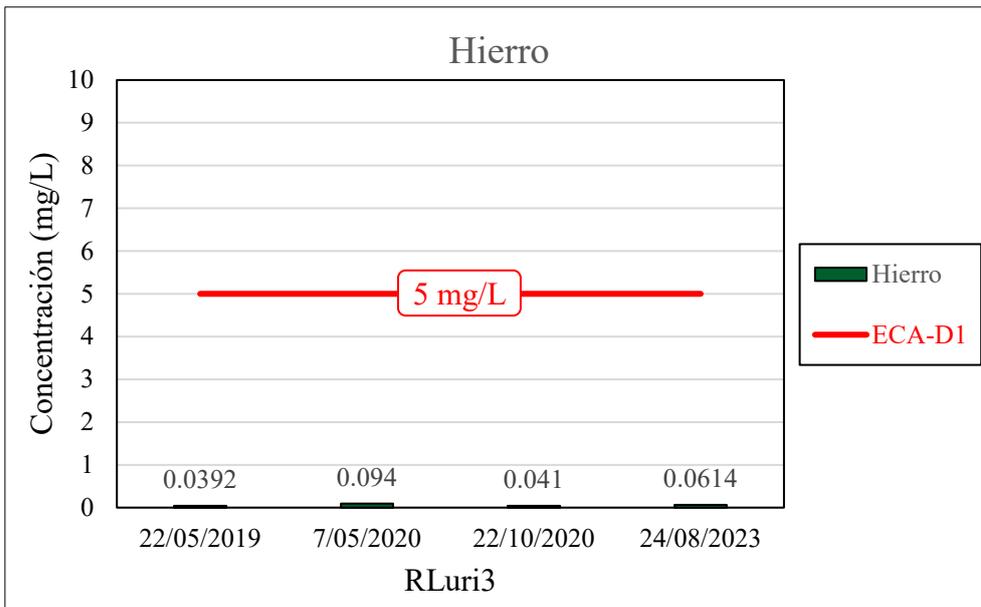
Resultados de la concentración de arsénico-RLuri3



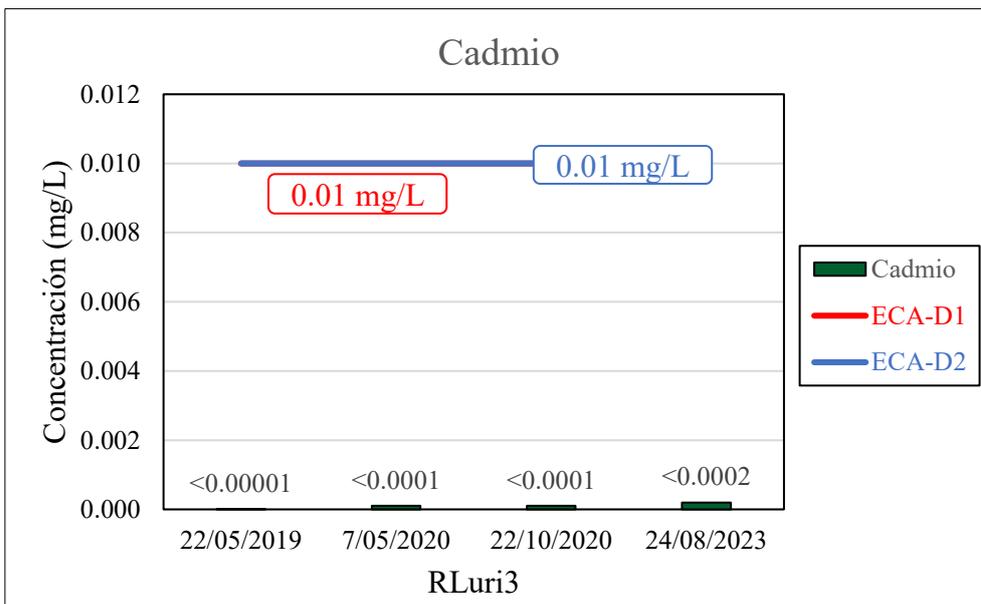
Resultados de la concentración de manganeso-RLuri3



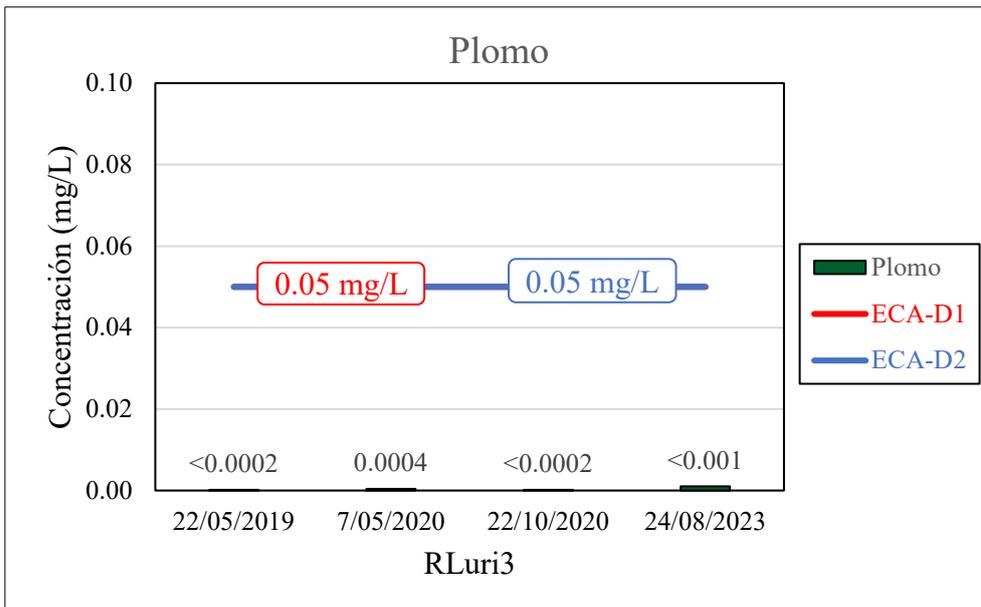
Resultados de la concentración de hierro-RLuri3



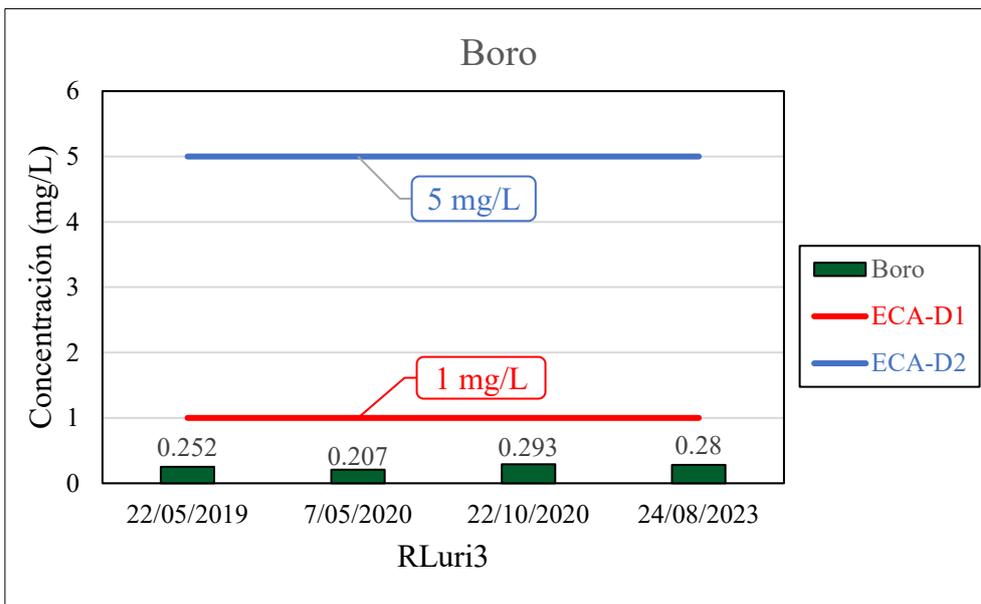
Resultados de la concentración de cadmio-RLuri3



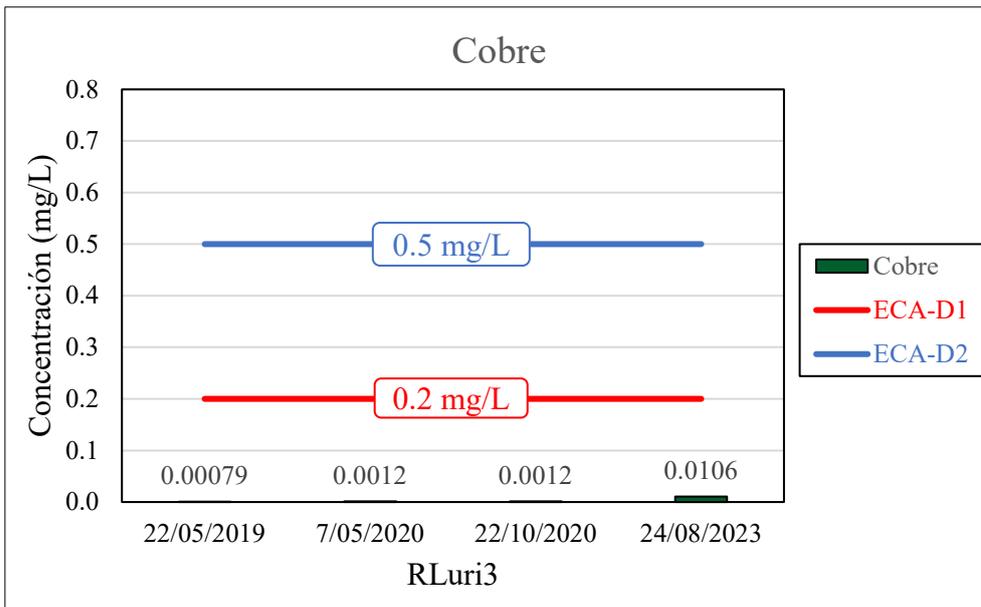
Resultados de la concentración de plomo-RLuri3



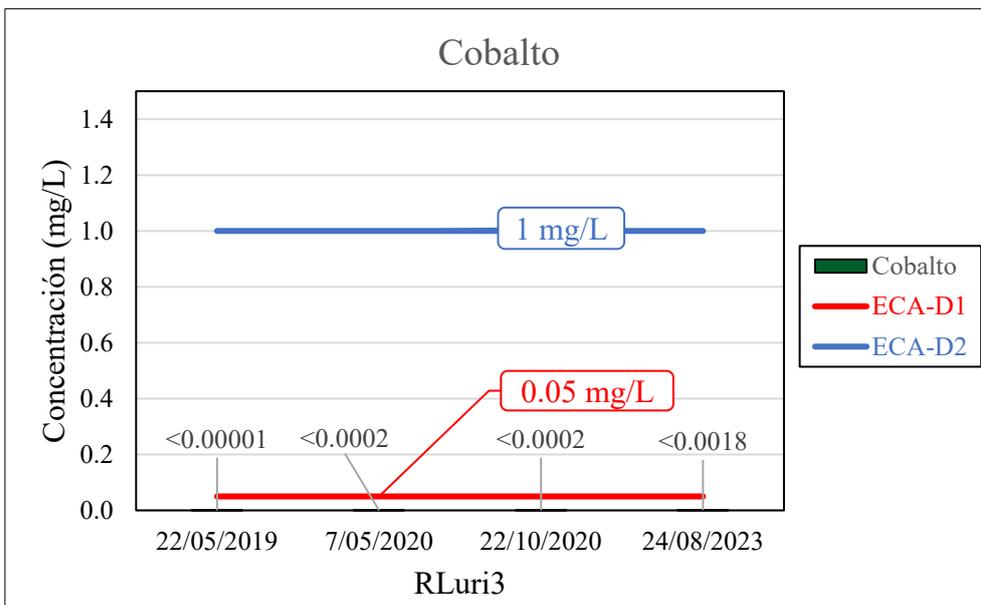
Resultados de la concentración de boro-RLuri3



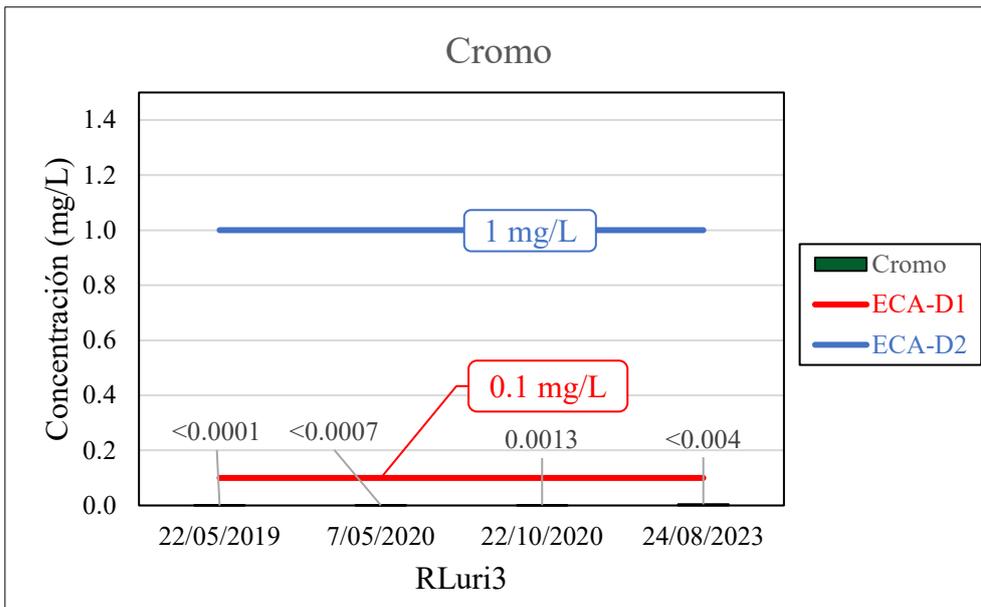
Resultados de la concentración de cobre-RLuri3



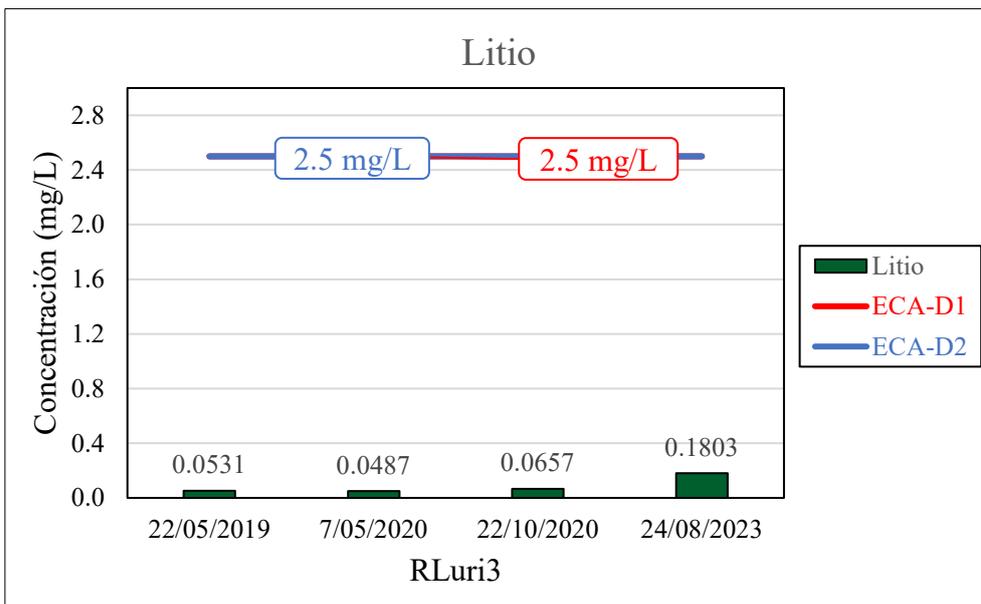
Resultados de la concentración de cobalto-RLuri3



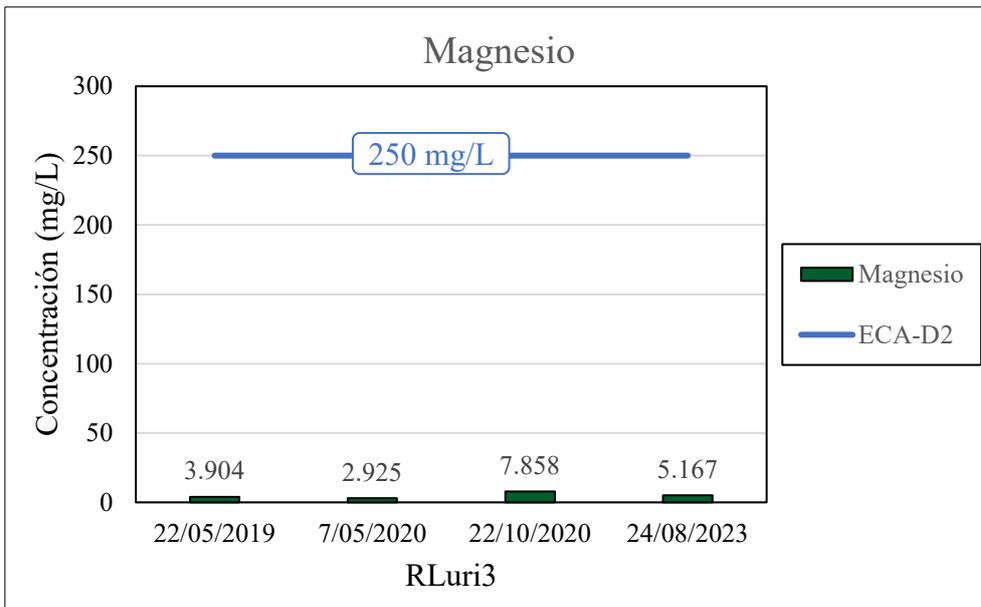
Resultados de la concentración de cobalto-RLuri3



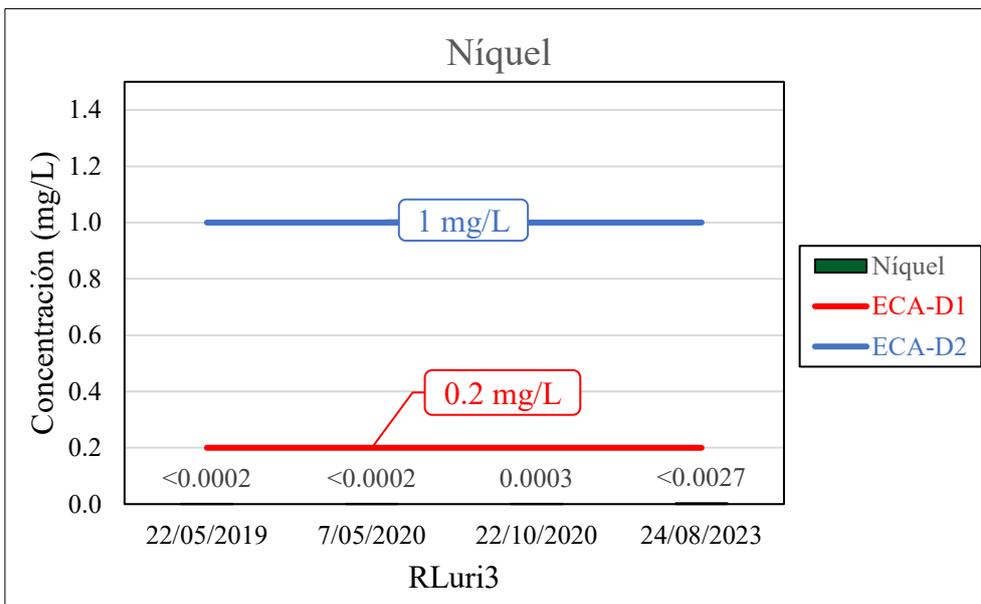
Resultados de la concentración de litio-RLuri3



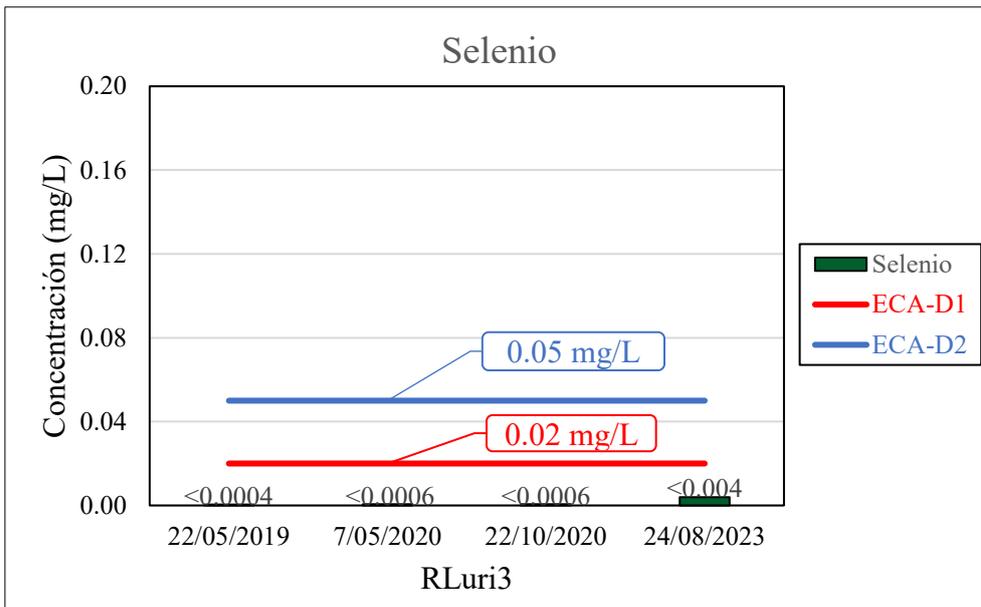
Resultados de la concentración de magnesio-RLuri3



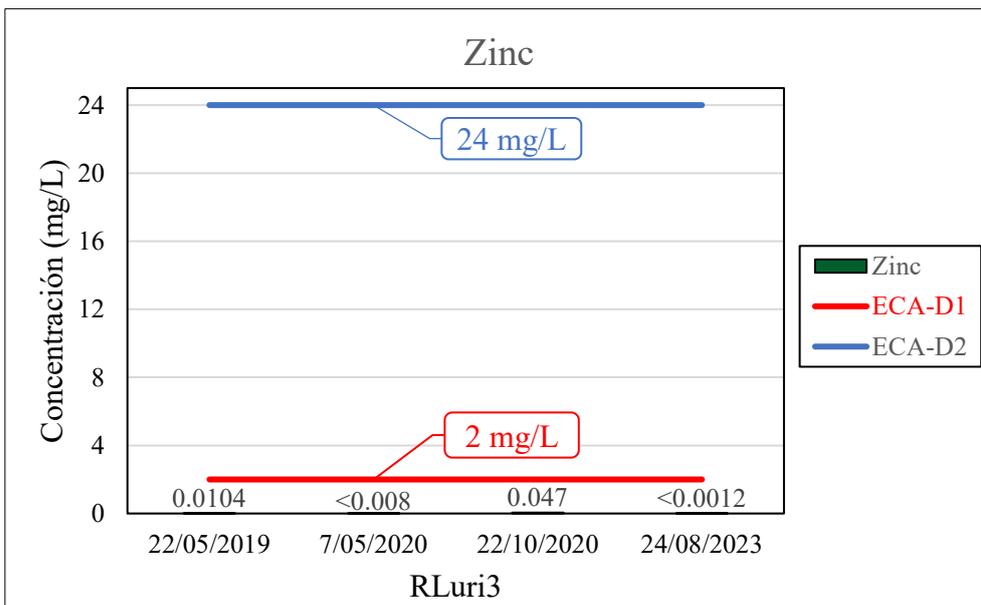
Resultados de la concentración de níquel-RLuri3



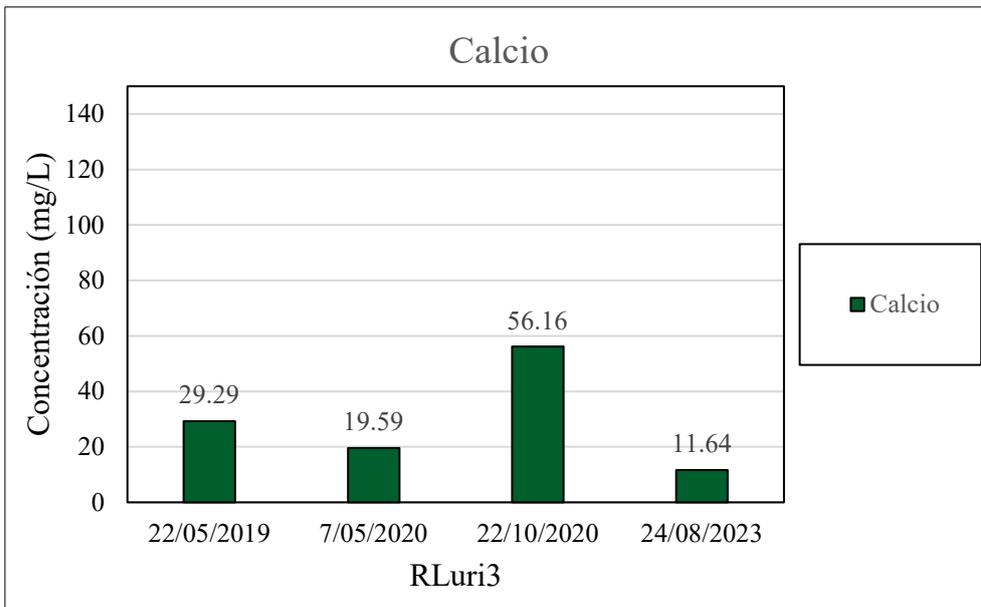
Resultados de la concentración de selenio-RLuri3



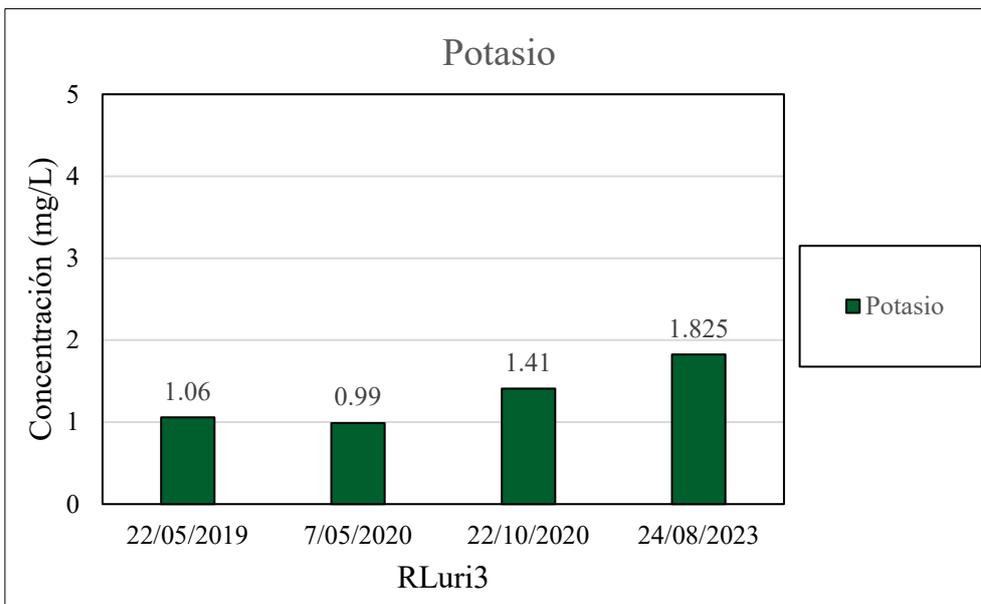
Resultados de la concentración de zinc-RLuri3



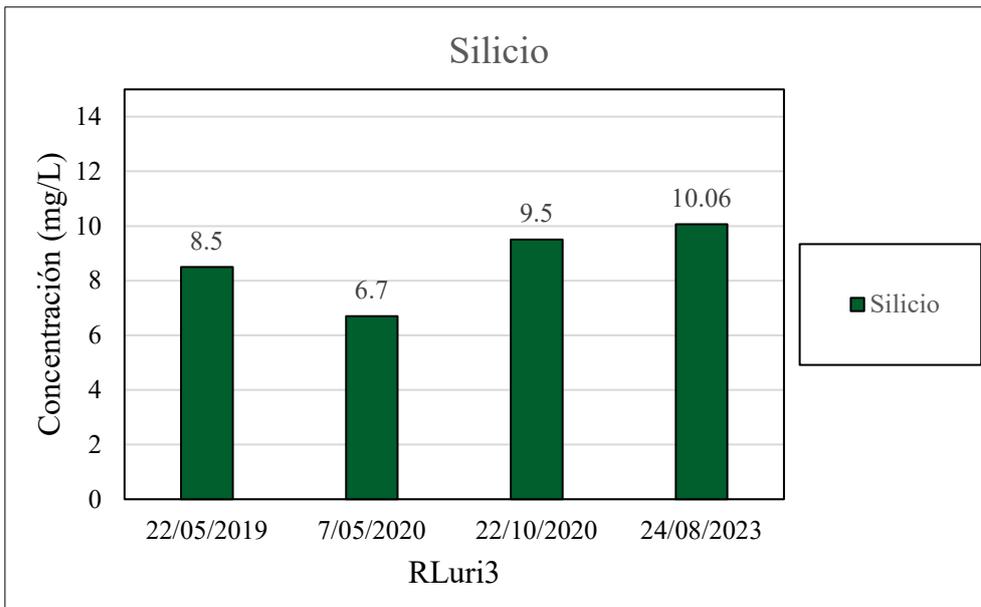
Resultados de la concentración de calcio-RLuri3



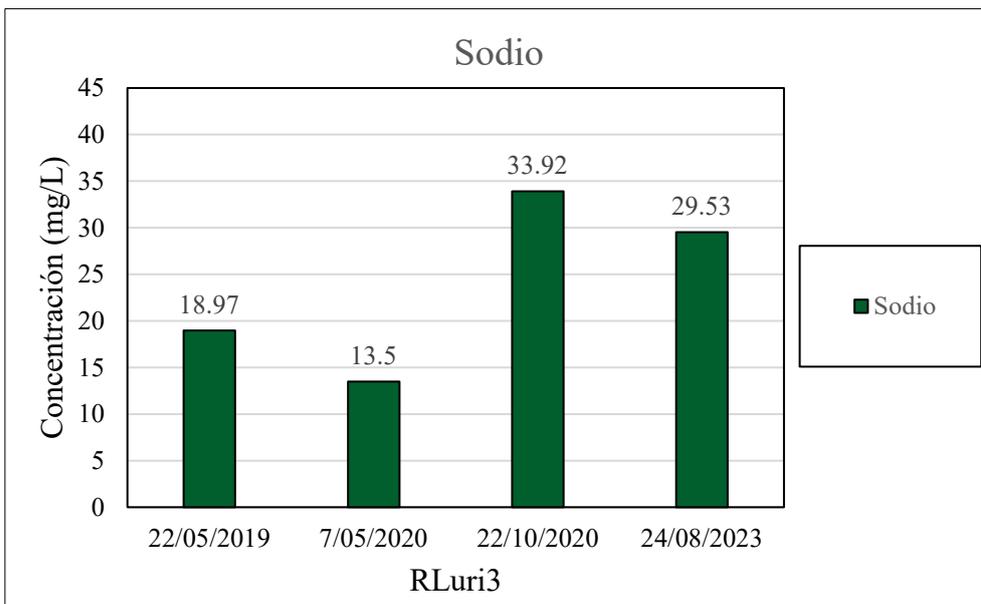
Resultados de la concentración de potasio-RLuri3



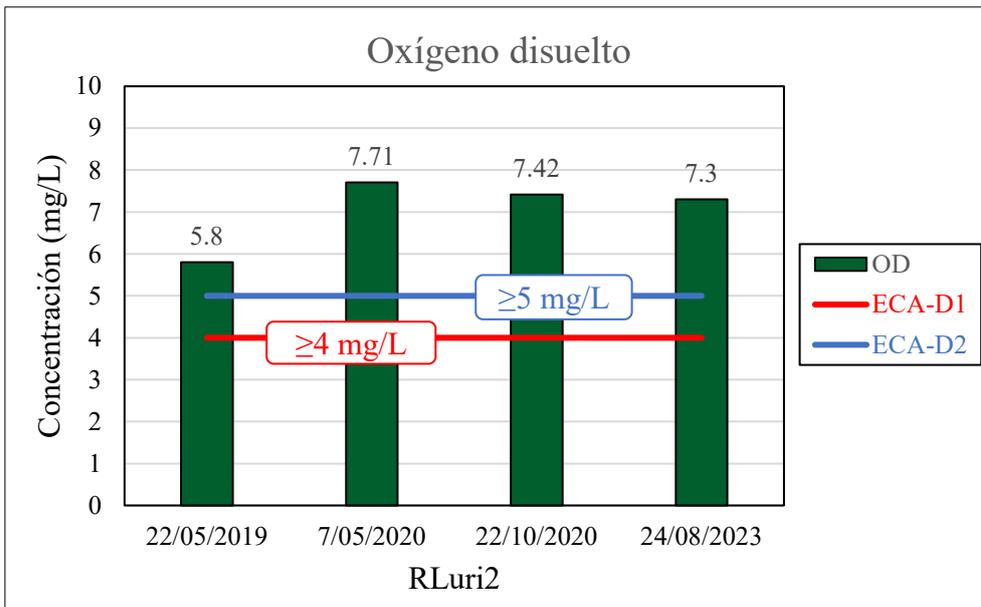
Resultados de la concentración de silicio-RLuri3



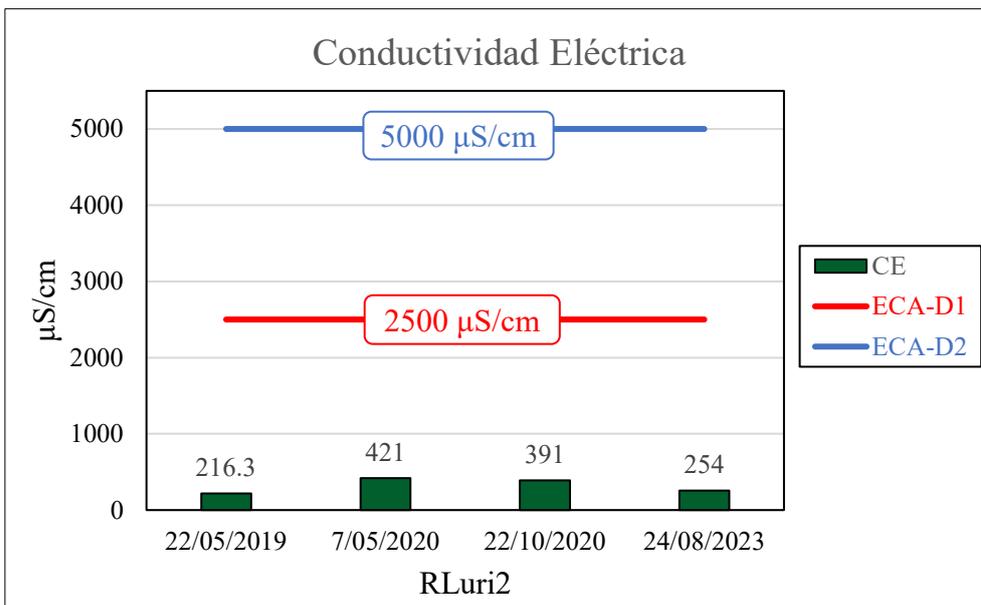
Resultados de la concentración de sodio-RLuri3



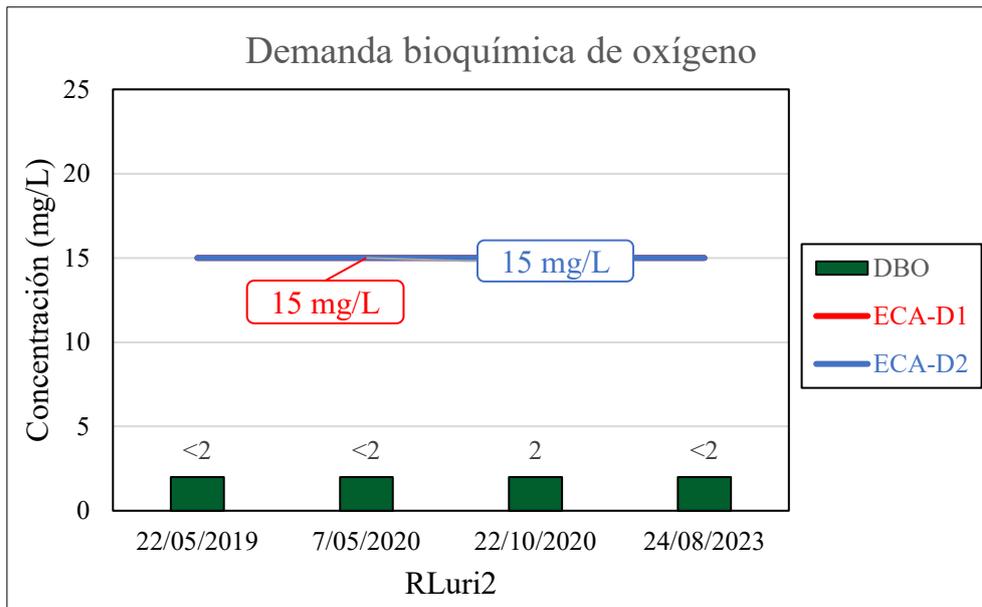
Resultados del oxígeno disuelto-RLuri2



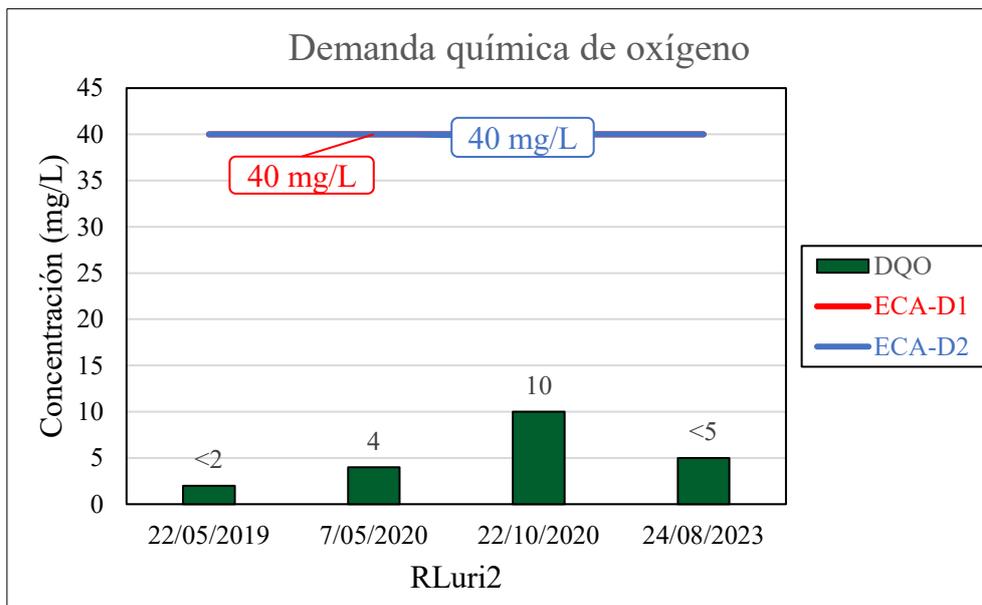
Resultados de la conductividad eléctrica-RLuri2



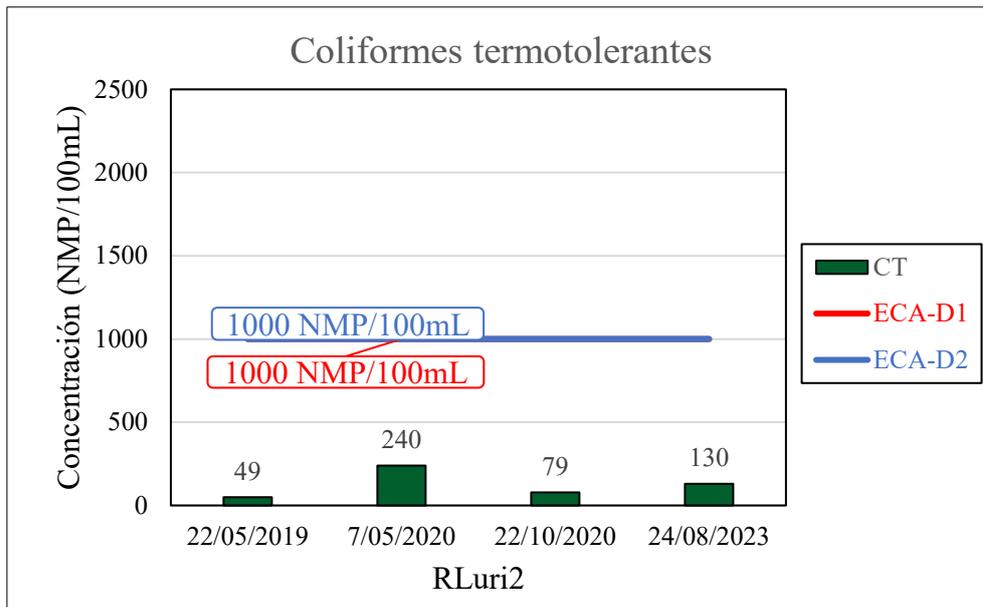
Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno-RLuri2



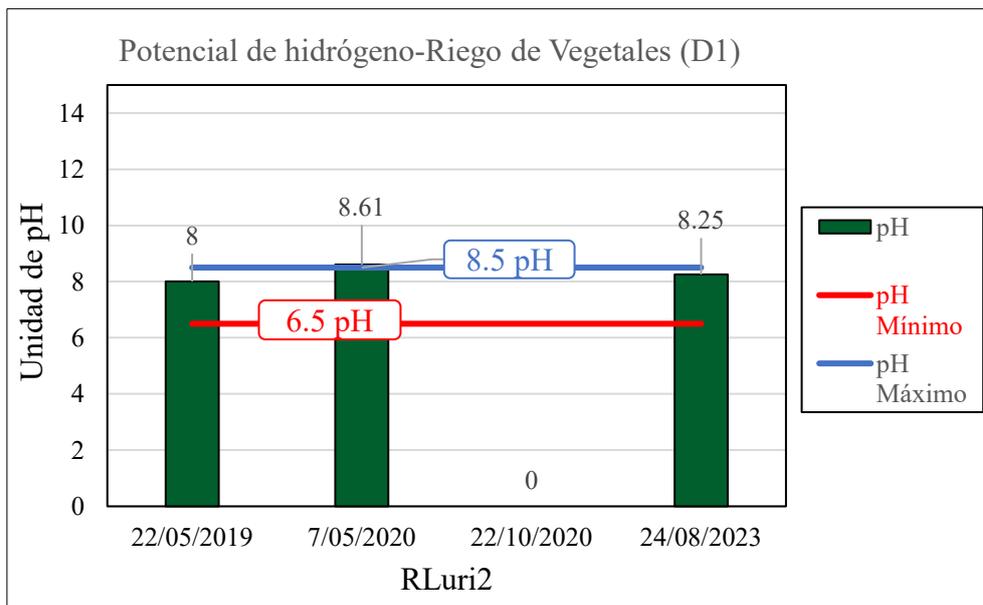
Resultados de la demanda química de oxígeno-RLuri2



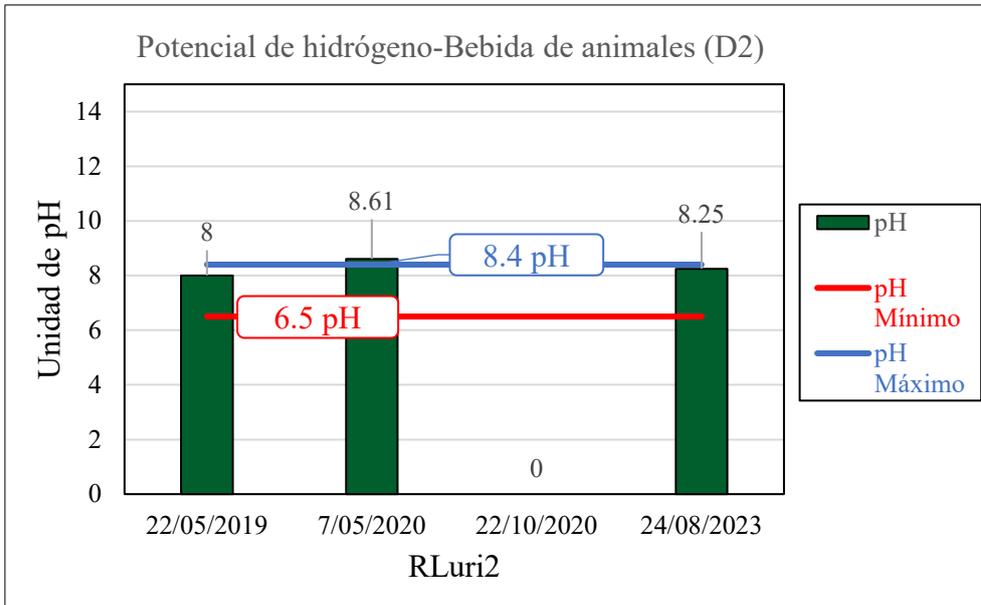
Resultados de los coliformes termotolerantes-RLuri2



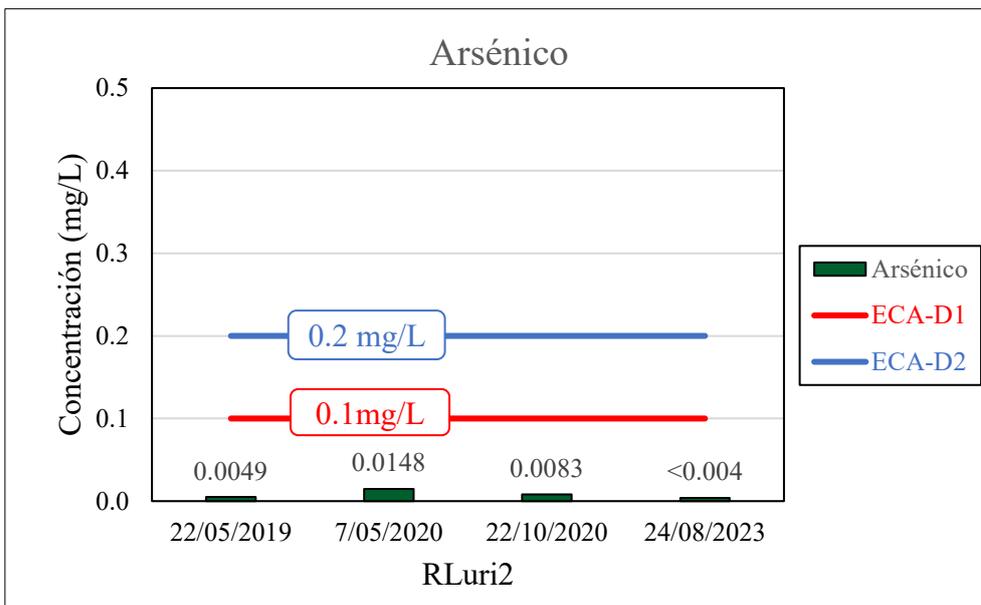
Resultados del pH para la sub categoría: Riego de vegetales-RLuri2



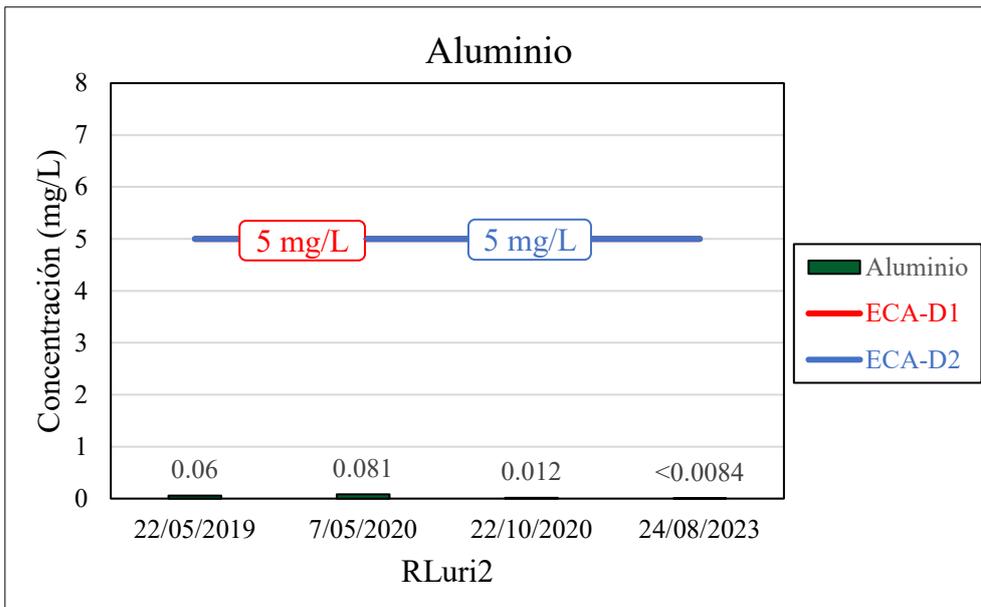
Resultados del pH para la sub categoría: Bebida de animales-RLuri2



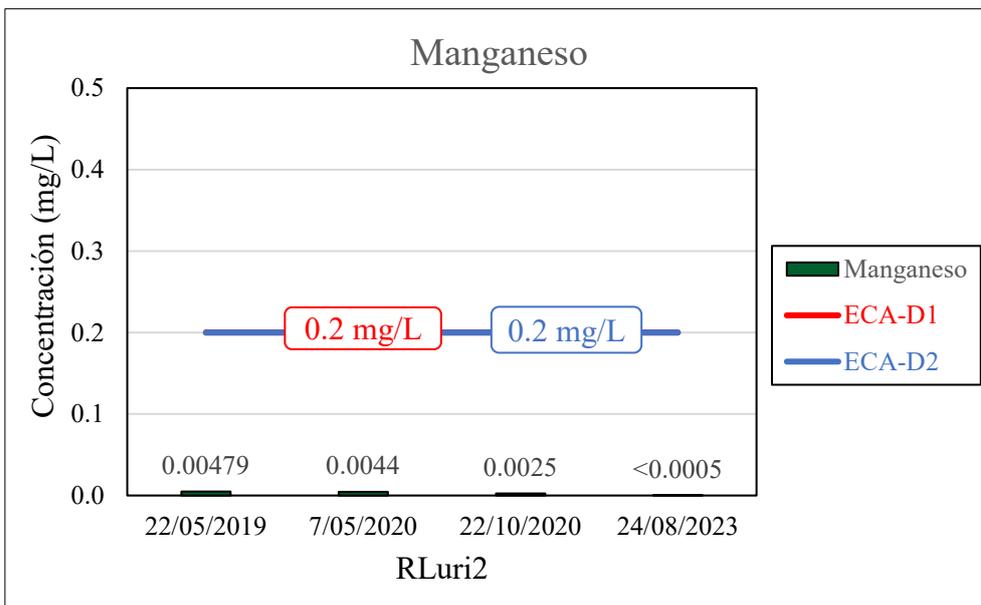
Resultados de la concentración de arsénico-RLuri2



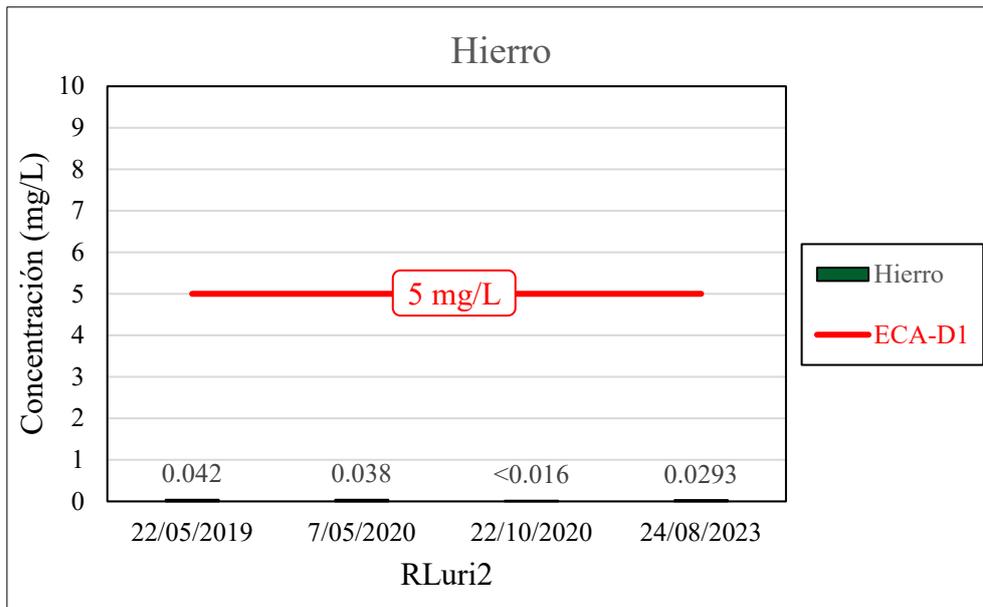
Resultados de la concentración de aluminio-RLuri2



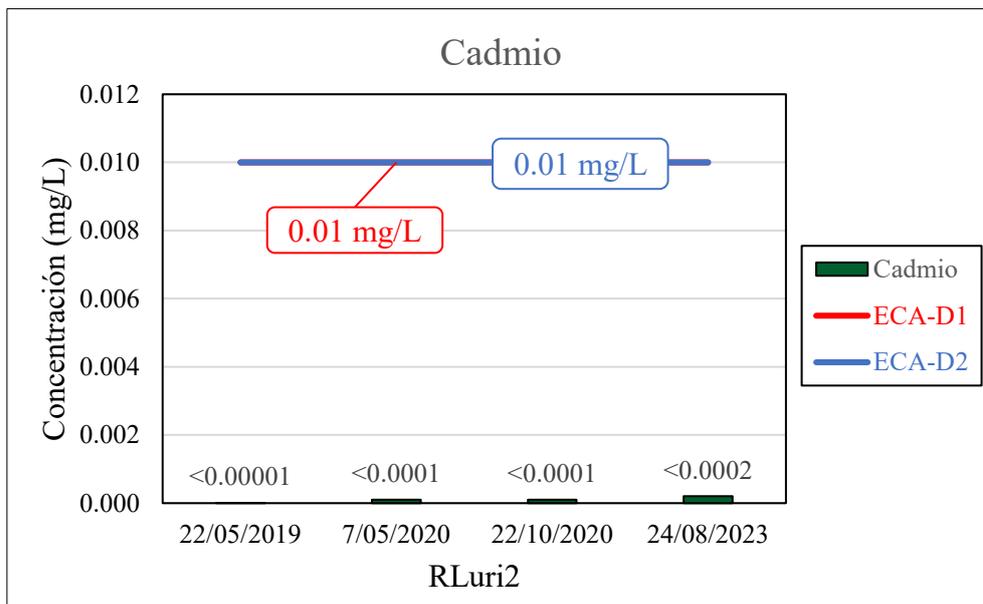
Resultados de la concentración de manganeso-RLuri2



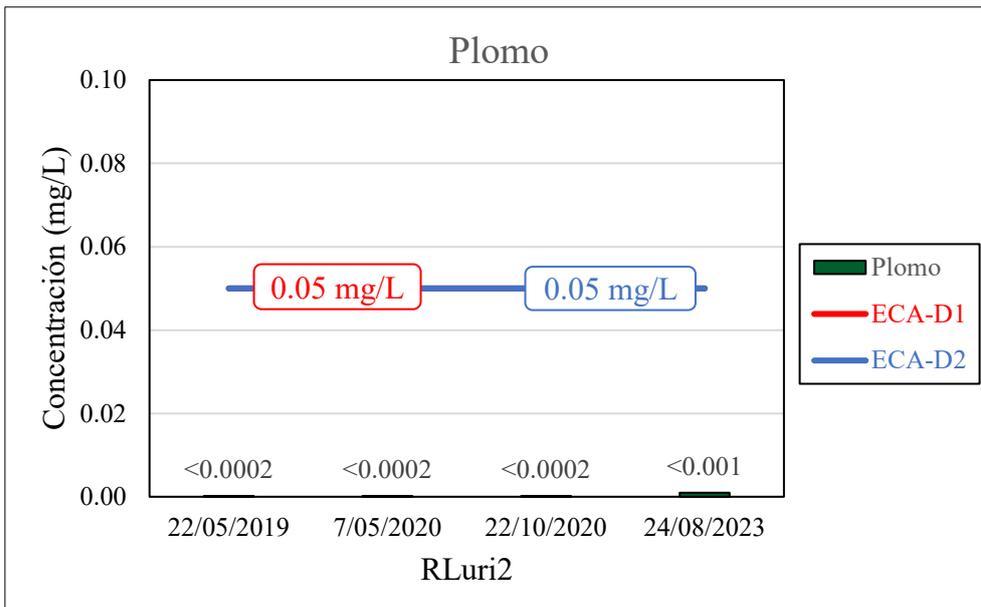
Resultados de la concentración de hierro-RLuri2



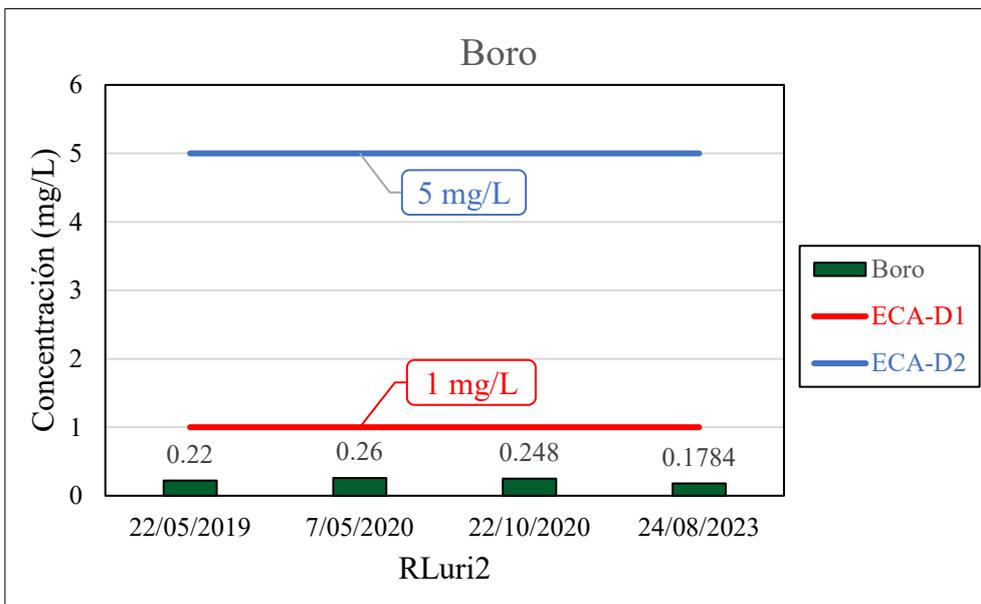
Resultados de la concentración de cadmio-RLuri2



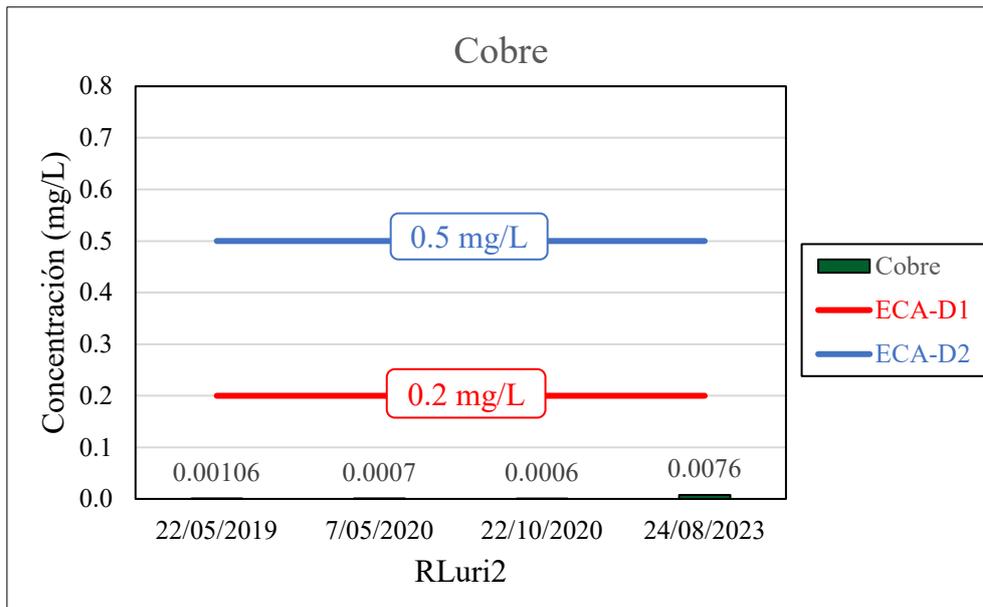
Resultados de la concentración de plomo-RLuri2



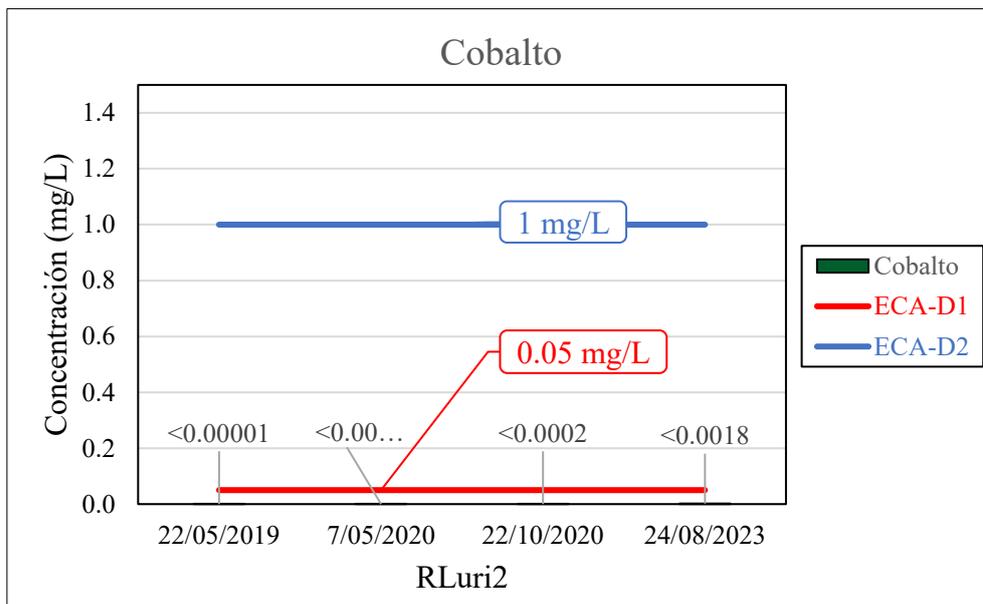
Resultados de la concentración de boro-RLuri2



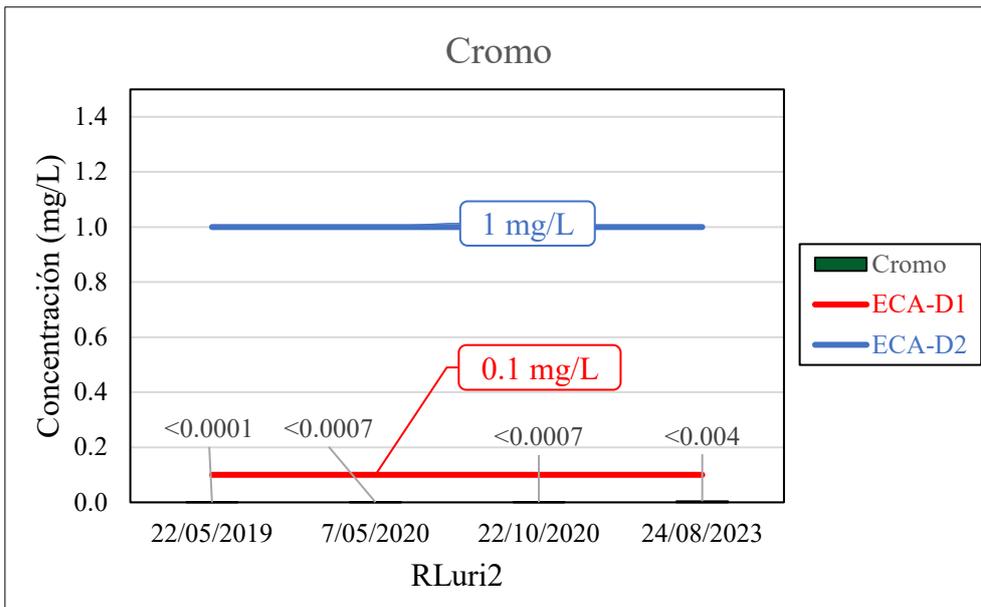
Resultados de la concentración de cobre-RLuri2



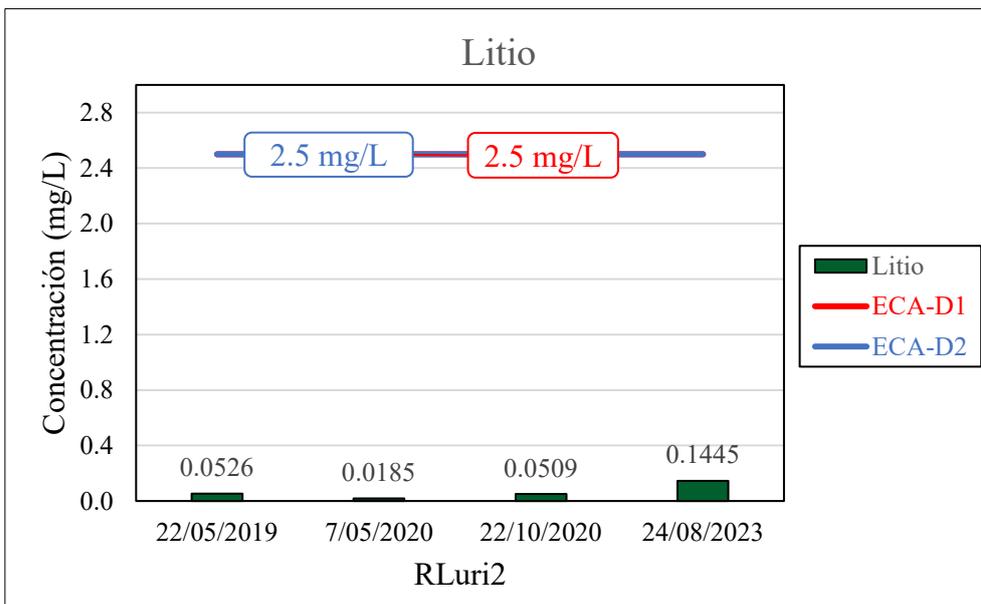
Resultados de la concentración de cobalto-RLuri2



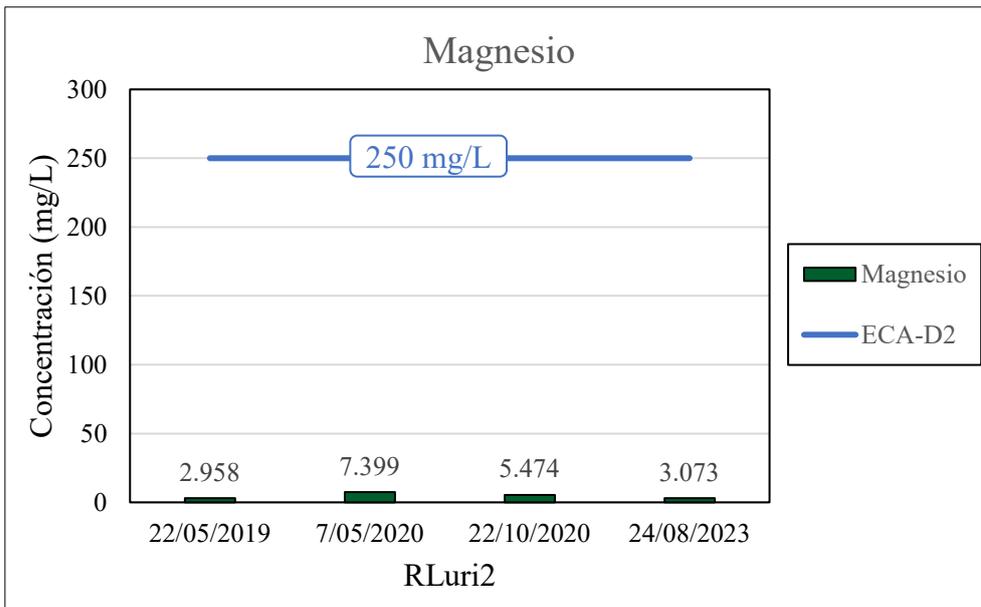
Resultados de la concentración de cromo-RLuri2



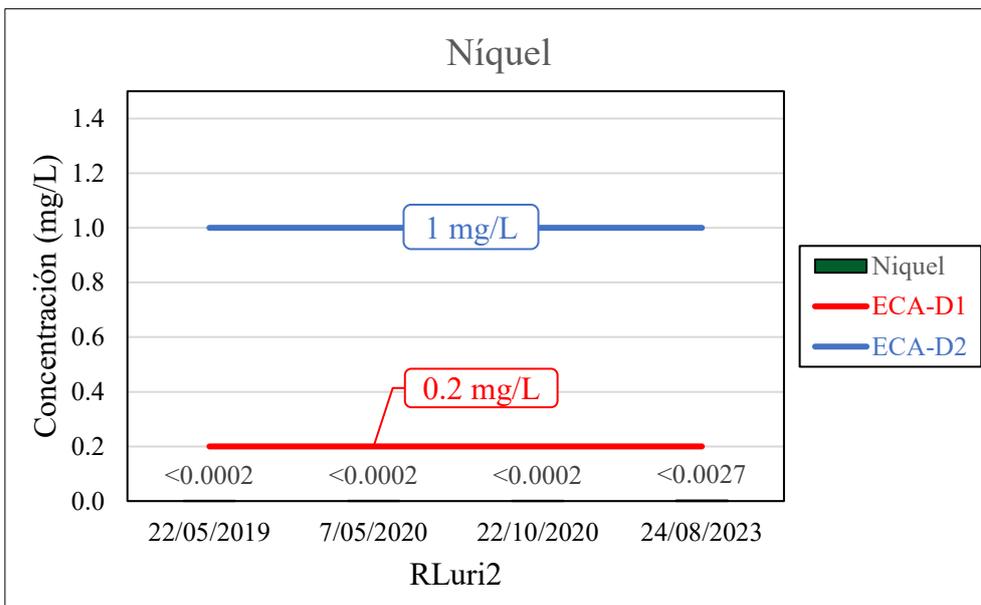
Resultados de la concentración de litio-RLuri2



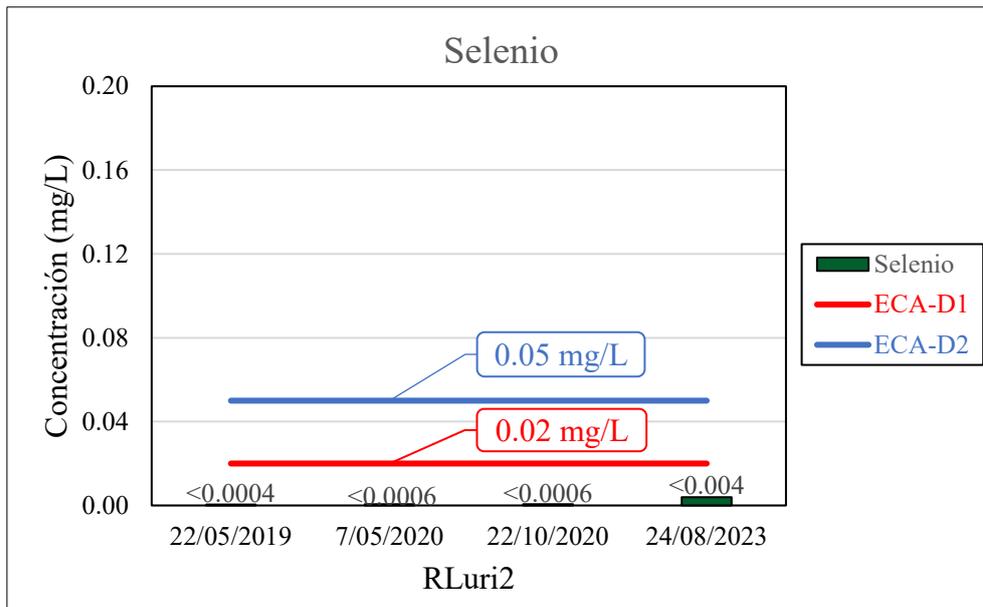
Resultados de la concentración de magnesio-RLuri2



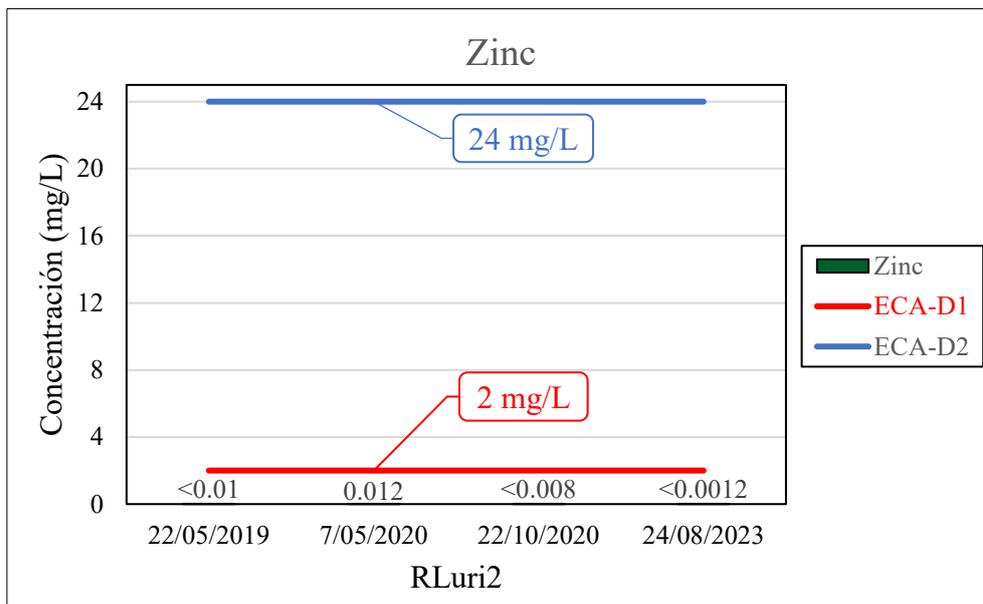
Resultados de la concentración de níquel-RLuri2



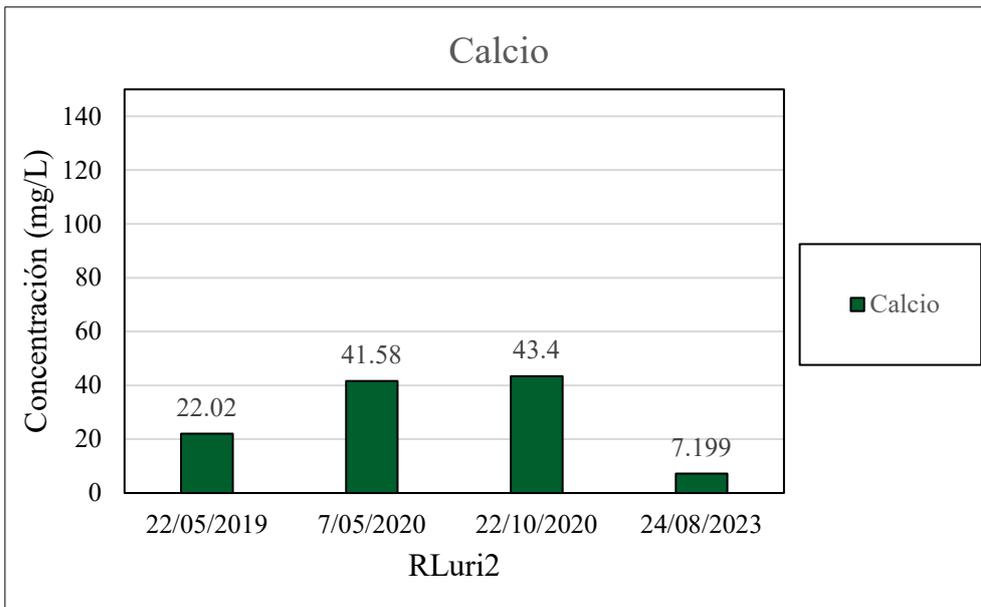
Resultados de la concentración de selenio-RLuri2



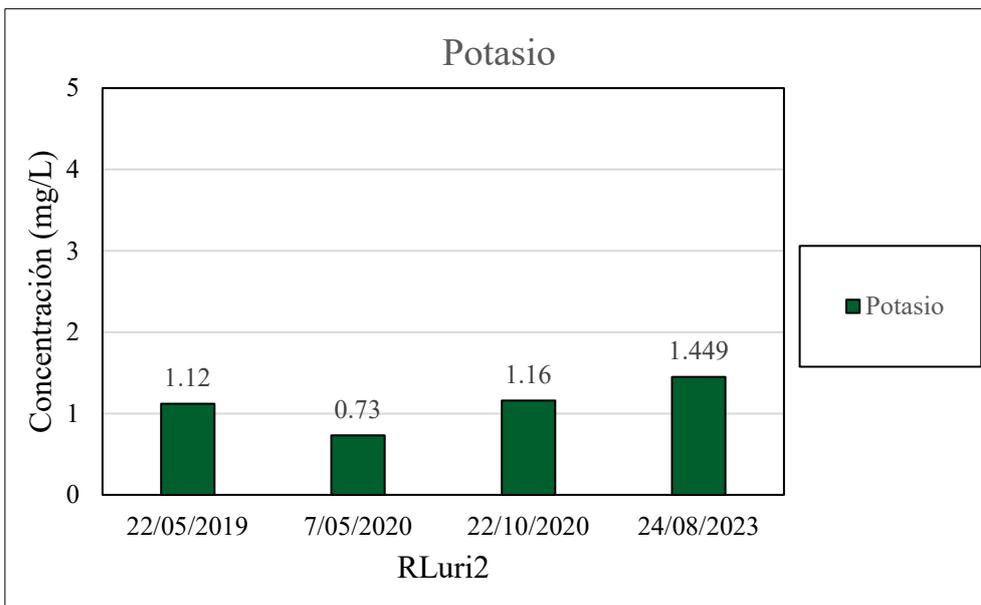
Resultados de la concentración de zinc-RLuri2



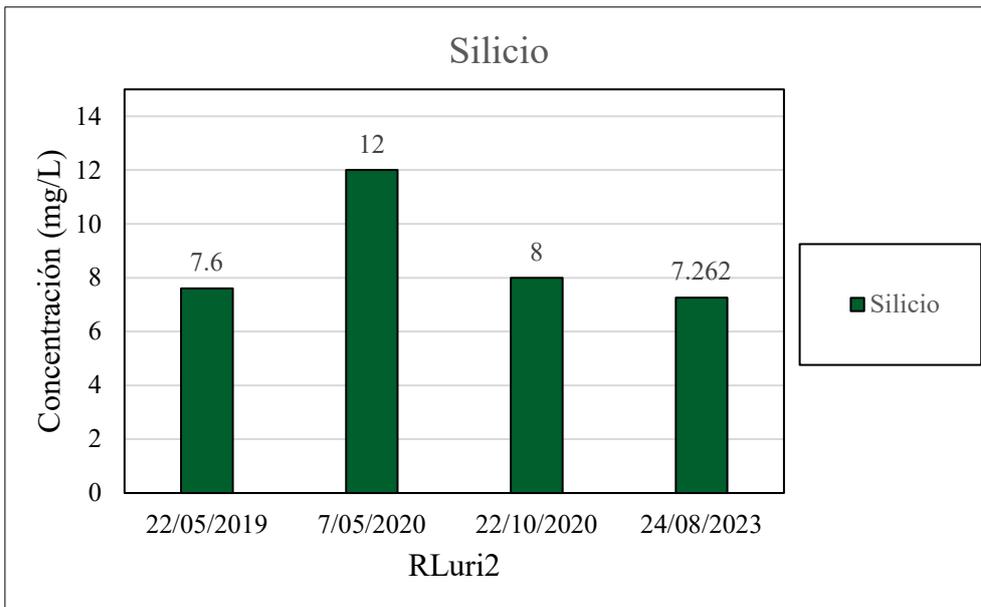
Resultados de la concentración de calcio-RLuri2



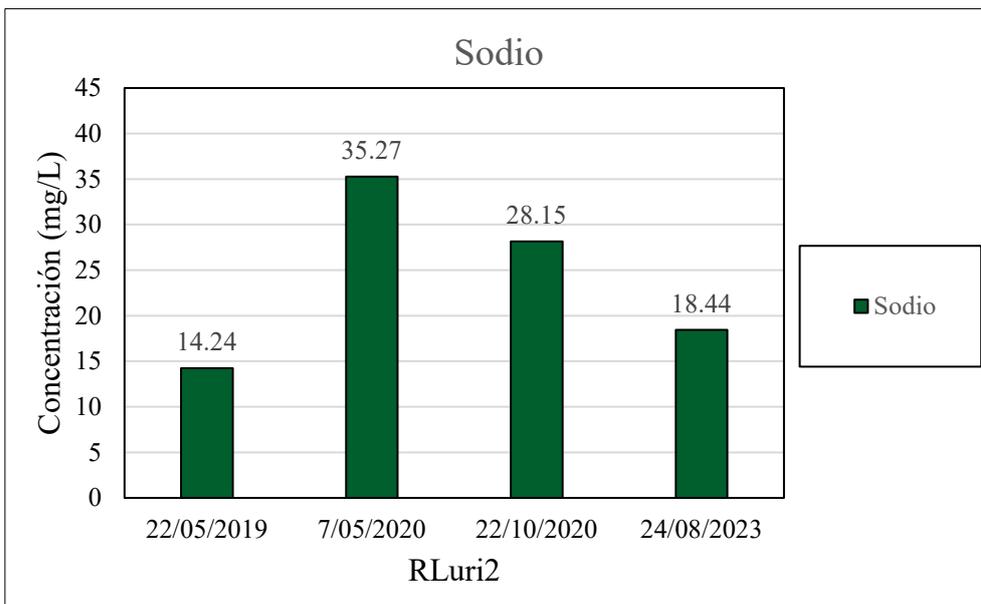
Resultados de la concentración de potasio-RLuri2



Resultados de la concentración de silicio-RLuri2



Resultados de la concentración de sodio-RLuri2



Anexo 8. Glosario de términos

a) Ambiente

Es el entorno que incluye los componentes agua, aire, suelo. Asimismo, la vegetación, la vida silvestre, las personas junto con los recursos naturales y sus interrelaciones. (Organización Internacional de Normalización[ISO], 2015, p.2)

b) Aguas Superficiales

Las aguas superficiales están conformadas por el agua proveniente de la escorrentía, la que se ubica en reservorios naturales o artificiales y por último la de estuarios. Por otro lado, son resultados de las precipitaciones atmosféricas, aguas subterráneas que logran salir a la superficie y de cambio de estado del hielo. (Doménech Antúnez, 2000, p.28)

c) Calidad del agua

La calidad del agua se representa como el conjunto de parámetros fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológicos en su condición natural o posterior de ser alteradas por las actividades humanas, y que cumplen las directrices reguladoras para un uso determinado. (Baeza, 2016, p.2)

d) Concentración

La concentración es la forma de representar la cantidad de un compuesto o sustancia comprendida en el agua. Además, la concentración se expresa en unidad de peso por volumen. (Chang & College, 2002, p.128)

e) Índice

Es una herramienta práctica para explicar la situación de una columna de agua, los sedimentos y los organismos acuáticos presentes. Igualmente, para calificar la idoneidad del agua para el uso de las actividades humanas, animales y vida fluvial. (Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente[CCME], 2017, p.2)

f) Parámetros

Variables que se analizan para determinar la calidad del agua. Por otro lado, los parámetros pueden ser metales pesados como el plomo, arsénico, cadmio, etc. (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], 2015, p.39)

g) Recursos hídricos

Incluye el agua superficial, subterránea, continental y los beneficios relacionados con estas. Además, engloba el agua de mar y la contenida en la atmósfera. (Ley de Recursos Hídricos, 2009, art. 1)

h) Río

Es el cuerpo hídrico donde las aguas se desplazan constantemente hacia una dirección. Por lo tanto, existe una corriente determinada que avanza hacia el mar. Los ríos también se denominan ecosistemas lóticos. (Autoridad Nacional del Agua[ANA], 2016, p.51)