



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA CONTAMINACIÓN
POR METALES PESADOS EN LA CUENCA AZÁNGARO EN EL
PERIODO 2016-2023**

TESIS

PRESENTADA POR

Bach. YOGUELY YHOVANA, ALVAREZ FLORES

Bach. KAREN ESTEFANI, VILCA PILCO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO – PERÚ

2024



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN LA CUENCA AZÁNGARO EN EL PERIODO 2016-2023

AUTOR

**YOGUELY YHOVANA ALVAREZ FLORES y
KAREN ESTEFANI VILCA PILCO**

RECuento DE PALABRAS

42241 Words

RECuento DE CARACTERES

196535 Characters

RECuento DE PÁGINAS

226 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

16.5MB

FECHA DE ENTREGA

Jan 25, 2024 8:47 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jan 25, 2024 8:50 AM GMT-5

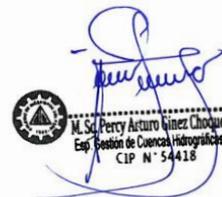
● **9% de similitud general**

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

- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% 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 15 palabras)



Resumen



DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico de manera especial a Dios, a mis padres Erasmo y Angelica Marcelina porque ellos han dado razón a mi vida, que en el transcurso del tiempo me supieron inculcar valores y confiaron en mi persona y en mis deseos de superación, Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi capacidad. Los amo con mi vida

A mis hermanas Edith Maribel y Lizherly Blanca que más que hermanas son mis verdaderos amigos.

Yoguely Yhovana Alvarez Flore



DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis con todo mi corazón a mi madre Patricia Pilco Mamani, pues sin ella no habría logrado tan importante paso, por todo su amor, apoyo y comprensión. A mi mamá Fulgencia Mamani Ccarita por su aliento, su cariño y paciencia durante todo mi periodo académico.

Quiero agradecerles por todo, no me alcanzan las palabras para expresar lo orgullosa que me siento de tenerlas a mi lado como mi mayor inspiración y motivo principal para salir adelante, las amo infinitamente.

Karen Estefani Vilca Pilco



AGRADECIMIENTOS

A nuestro asesor de tesis M. Sc. Percy Arturo Ginez Choque, por su orientación, consejos y guía a lo largo del desarrollo de la presente tesis de investigación, a mi familia y todos los que me apoyaron y alentaron a culminar con esta etapa en mi desarrollo profesional

A nuestros jurados: M. Sc. Wilber Fermín Laqui Vilca, M. Sc. Alex Espinoza y al M. Sc. Bernardo Pio Coloma Paxi, por sus valiosas instrucciones y orientaciones que fueron fundamentales para la culminación de la investigación.

A las personas que contribuyeron y aportaron con sus comentarios y aportaciones en el desarrollo de la investigación, así como por la confianza y el apoyo en el presente estudio

Yoguely Yhovana Alvarez Flores

Karen Estefani Vilca Pile



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	21
ABSTRACT.....	22
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	26
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	27
1.2.1. Problema general.....	27
1.2.2. Problemas específicos	28
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	28
1.3.1. Hipótesis general	28
1.3.2. Hipótesis específicas	28
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	29
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	30
1.5.1. Objetivo general	30
1.5.2. Objetivos específicos	30



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	32
2.1.1.	Antecedentes internacionales	32
2.1.2.	Antecedentes nacionales.	34
2.1.3.	Antecedentes locales	35
2.2.	BASES TEÓRICAS Y CONCEPTUALES	36
2.2.1.	Metales Pesados	36
2.2.2.	Orígenes de la contaminación de Metales pesados	41
2.2.2.1.	Origen natural:	41
2.2.2.2.	Origen antropogénico:.....	41
2.2.2.3.	Origen de la minería:.....	42
2.2.3.	Riesgos de los metales pesados en la salud humana.	42
2.2.4.	Índice de calidad de agua	44
2.2.4.1.	Índice de calidad del agua CCME-WQI	45
2.2.4.2.	Índice de contaminación de metales pesados.....	47
2.2.5.	Análisis estadístico.....	51
2.2.5.1.	Coefficiente de correlación de Pearson	51
2.2.5.2.	Coefficiente de correlación de Spearman.....	51
2.3.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	52
2.3.1.	Evaluación Espacio temporal	52
2.3.2.	Calidad de agua	52
2.4.	MARCO LEGAL	54
2.4.1.	Constitución Política del Perú.....	54



2.4.2.	Ley N°28611 – Ley General del Ambiente.....	54
2.4.3.	Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua.	54
2.4.4.	Ley N°29338, Ley de Recursos Hídricos.....	55
2.4.5.	Decreto Supremo N°001-2010-AG, Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos.	55
2.4.6.	Resolución Jefatural N°010-2016-ANA, Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales.	55

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	UBICACIÓN DE ÁMBITO DE ESTUDIO	57
3.1.1.	Descripción de la cuenca Azángaro	57
3.1.2.	Ubicación geográfica	57
3.1.3.	Ubicación Hidrográfica	57
3.1.4.	Ubicación política	58
3.1.5.	Aspectos climatológicos.....	60
3.1.6.	Vías de acceso	62
3.1.7.	Delimitación de la cuenca	62
3.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	62
3.3.	MATERIALES.....	63
3.4.	RECOPIACIÓN DE DATOS:	63
3.4.1.	Información Monitoreos ANA Perú.....	63
3.4.2.	Información de datos hidrometeorológicos SENAMHI Perú	64
3.5.	METODOLOGÍA POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	64



3.5.1. Evaluación del comportamiento espacio temporal de la contaminación por metales pesados en la cuenca Azángaro en el periodo de 2016- 2023....	66
3.5.2. Evaluación espacial del comportamiento de la contaminación por metales pesados en la Cuenca Azángaro aplicando los índices de calidad CCME WQI y HPI	66
3.5.2.1. Determinación del nivel de Contaminación con el índice de calidad de agua Canadiense (CCME WQI).	68
3.5.2.2. Determinación del nivel de contaminación con los valores del índice de calidad para metales pesados Heavy Metals Pollution Index (HPI).	69
3.5.3. Evaluación temporal del comportamiento de la contaminación por metales pesados en la Cuenca Azángaro aplicando el método estadístico de correlación de Pearson y Spearman.	71
3.5.3.1. Correlación entre las concentraciones de parámetros físico-químicos y metales totales.	71
3.5.4. Evaluación de causalidades que influyen en el comportamiento de la contaminación por metales pesados en la Cuenca Azángaro.....	73

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESPACIO-TEMPORAL DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN LA CUENCA AZÁNGARO EN EL PERIODO DE 2016-2023.....	74
---	-----------



4.2. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ESPACIAL DEL COMPORTAMIENTO DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS APLICANDO EL ÍNDICE CCME WQI Y HPI.....	121
4.2.1. Resultados del índice de calidad de aguas ICA- CCME.....	121
4.2.2. Análisis y calificación de resultados en la cuenca Azángaro por punto con la metodología ICA CCME WQI.....	122
4.2.3. Resultados del índice de metales pesados HPI	128
4.2.4. Análisis y calificación del índice de metales pesados HPI en los puntos de interés.	129
4.3. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN TEMPORAL DEL COMPORTAMIENTO DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS APLICANDO EL MÉTODO ESTADÍSTICO DE CORRELACIÓN DE PEARSON Y SPEARMAN	137
4.3.1. Correlación entre las concentraciones de parámetros físico-químicos y metales totales.	137
4.3.2. Método Spearman	138
4.3.3. Método Pearson.....	138
4.4. EVALUACIÓN DE LAS CAUSALIDADES QUE INFLUYEN EN EL COMPORTAMIENTO ESPACIO-TEMPORAL DE LA CONTAMINACIÓN DE METALES PESADOS EN LA CUENCA AZÁNGARO DURANTE EL PERIODO 2016-2023	146
4.4.1. Punto de monitoreo RGran2.....	146
4.4.2. Punto de monitoreo RCruc2.....	149
4.4.3. Punto de monitoreo RCruc3.....	150
4.4.4. Punto de monitoreo RCruc5.....	151



4.4.5. Punto de monitoreo RAnta3	152
V. CONCLUSIONES	153
VI. RECOMENDACIONES	155
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	157
ANEXOS.....	161



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Interpretación de la Calificación del CCME-WQI	47
Tabla 2 Red de Estaciones de Monitoreo de la Calidad de Agua Superficial.....	67
Tabla 3 Datos periodo avenida del punto RGran2 CCME WQI.....	177
Tabla 4 Datos periodo estiaje del punto RGran2 CCME WQI.....	177
Tabla 5 Análisis de datos con el CCME WQI en el periodo de avenida y estiaje, así como el periodo total en RGran2	178
Tabla 6 Datos periodo avenida del punto RCruc2 CCME WQI.....	180
Tabla 7 Datos periodo estiaje del punto RCruc2 CCME WQI.....	180
Tabla 8 Análisis de datos con el CCME WQI en el periodo de avenida y estiaje, así como el periodo total en RCruc2	181
Tabla 9 Datos periodo avenida del punto RAnta3 CCME WQI.....	183
Tabla 10 Datos periodo estiaje del punto RAnta3 CCME WQI.....	183
Tabla 11 Análisis de datos con el CCME WQI en el primer y segundo periodo, así como el periodo total en RAnta3	184
Tabla 12 Datos periodo avenida del punto RCruc3 CCME WQI.....	185
Tabla 13 Datos periodo estiaje del punto RCruc3 CCME WQI.....	185
Tabla 14 Análisis de datos con el CCME WQI en el primer y segundo periodo, así como el periodo total en RCruc3	186
Tabla 15 Datos periodo avenida del punto RCruc5 CCME WQI.....	188
Tabla 16 Datos periodo estiaje del punto RCruc5 CCME WQI.....	188
Tabla 17 Análisis de datos con el CCME WQI en el primer y segundo periodo, así como el periodo total en RCruc5	189
Tabla 18 Datos primer periodo del punto RGran2 HPI	190



Tabla 19	Datos segundo periodo del punto RGran2 HPI.....	190
Tabla 20	Análisis de datos con el HPI en el primer y segundo periodo, así como el periodo total en RGran2.....	191
Tabla 21	Datos primer periodo del punto RCruc2 HPI	192
Tabla 22	Datos segundo periodo del punto RCruc2 HPI.....	192
Tabla 23	Análisis de datos con el HPI en el primer y segundo periodo, así como el periodo total en RCruc2	193
Tabla 24	Datos primer periodo del punto RAnta3 HPI	194
Tabla 25	Datos segundo periodo del punto RAnta3 HPI.....	194
Tabla 26	Análisis de datos con el HPI en el primer y segundo periodo, así como el periodo total en RAnta3	195
Tabla 27	Datos primer periodo del punto RCruc3 HPI	196
Tabla 28	Datos segundo periodo del punto RCruc3 HPI.....	196
Tabla 29	Análisis de datos con el HPI en el primer y segundo periodo, así como el periodo total en RCruc3	197
Tabla 30	Datos primer periodo del punto RCruc5 HPI	198
Tabla 31	Datos segundo periodo del punto RCruc5 HPI.....	198
Tabla 32	Análisis de datos con el HPI en el primer y segundo periodo, así como el periodo total en RCruc5	199



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1	Ubicación del ámbito de estudio con los puntos de monitoreo 59
Figura 2	Clasificación climática de la Cuenca Azángaro 61
Figura 3	Diagrama del proceso metodológico 65
Figura 4	Cuenca Azángaro, Ríos tributarios, Puntos de muestreo..... 70
Figura 5	Análisis de tendencia de Aluminio en RGran2 en época de avenida. 74
Figura 6	Análisis de tendencia de Aluminio en RGran2 en época de estiaje..... 75
Figura 7	Análisis de tendencia de Arsénico en RGran2 en época de avenida. 75
Figura 8	Análisis de tendencia de Arsénico en RGran2 en época de estiaje. 76
Figura 9	Análisis de tendencia de Cadmio en RGran2 en época de avenida..... 76
Figura 10	Análisis de tendencia de Cadmio en RGran2 en época de estiaje. 77
Figura 11	Análisis de tendencia de Cobre en RGran2 en época de avenida..... 77
Figura 12	Análisis de tendencia de Cobre en RGran2 en época de estiaje..... 78
Figura 13	Análisis de tendencia de Hierro en RGran2 en época de avenida 78
Figura 14	Análisis de tendencia de Hierro en RGran2 en época de estiaje 79
Figura 15	Análisis de tendencia de Manganeso en RGran2 en época de avenida. .. 79
Figura 16	Análisis de tendencia de Manganeso en RGran2 en época de estiaje. 80
Figura 17	Análisis de tendencia de Mercurio en RGran2 en época de avenida..... 80
Figura 18	Análisis de tendencia de Mercurio en RGran2 en época de estiaje..... 81
Figura 19	Análisis de tendencia de Plomo en RGran2 en época de avenida. 81
Figura 20	Análisis de tendencia de Plomo en RGran2 en época de estiaje. 82
Figura 21	Análisis de tendencia de Zinc en RGran2 en época de avenida. 82
Figura 22	Análisis de tendencia de Zinc en RGran2 en época de estiaje. 83
Figura 23	Análisis de tendencia de Aluminio en RCruc2 en época de avenida..... 83
Figura 24	Análisis de tendencia de Aluminio en RCruc2 en época de estiaje..... 84
Figura 25	Análisis de tendencia de Arsénico en RCruc2 en época de avenida. 84
Figura 26	Análisis de tendencia de Arsénico en RCruc2 en época de estiaje..... 85
Figura 27	Análisis de tendencia de Cadmio en RCruc2 en época de avenida. 85
Figura 28	Análisis de tendencia de Cadmio en RCruc2 en época de estiaje. 86
Figura 29	Análisis de tendencia de Cobre en RCruc2 en época de avenida..... 86
Figura 30	Análisis de tendencia de Cobre en RCruc2 en época de estiaje. 87



Figura 31	Análisis de tendencia de Hierro en RCruc2 en época de avenida.	87
Figura 32	Análisis de tendencia de Hierro en RCruc2 en época de estiaje.....	88
Figura 33	Análisis de tendencia de Manganeso en RCruc2 en época de avenida ...	88
Figura 34	Análisis de tendencia de Manganeso en RCruc2 en época de estiaje.....	89
Figura 35	Análisis de tendencia de Mercurio en RCruc2 en época de avenida.....	89
Figura 36	Análisis de tendencia de Mercurio en RCruc2 en época de estiaje.	90
Figura 37	Análisis de tendencia de Plomo en RCruc2 en época de avenida.	90
Figura 38	Análisis de tendencia de Plomo en RCruc2 en época de estiaje.	91
Figura 39	Análisis de tendencia de Zinc en RCruc2 en época de avenida.	91
Figura 40	Análisis de tendencia de Zinc en RCruc2 en época de estiaje.....	92
Figura 41	Análisis de tendencia de Aluminio en RAnta3 en época de avenida.....	93
Figura 42	Análisis de tendencia de Aluminio en RAnta3 en época de estiaje.....	93
Figura 43	Análisis de tendencia de Arsénico en RAnta3 en época de avenida.	94
Figura 44	Análisis de tendencia de Arsénico en RAnta3 en época de estiaje.....	94
Figura 45	Análisis de tendencia de Cadmio en RAnta3 en época de avenida.	95
Figura 46	Análisis de tendencia de Cadmio en RAnta3 en época de estiaje.	95
Figura 47	Análisis de tendencia de Cobre en RAnta3 en época de avenida.....	96
Figura 48	Análisis de tendencia de Cobre en RAnta3 en época de estiaje.	96
Figura 49	Análisis de tendencia de Hierro en RAnta3 en época de avenida.	97
Figura 50	Análisis de tendencia de Hierro en RAnta3 en época de estiaje.....	97
Figura 51	Análisis de tendencia de Manganeso en RAnta3 en época de avenida. ..	98
Figura 52	Análisis de tendencia de Manganeso en RAnta3 en época de estiaje.....	98
Figura 53	Análisis de tendencia de Mercurio en RAnta3 en época de avenida.....	99
Figura 54	Análisis de tendencia de Mercurio en RAnta3 en época de estiaje.	99
Figura 55	Análisis de tendencia de Plomo en RAnta3 en época de avenida.	100
Figura 56	Análisis de tendencia de Plomo en RAnta3 en época de estiaje.	100
Figura 57	Análisis de tendencia de Zinc en RAnta3 en época de avenida.	101
Figura 58	Análisis de tendencia de Zinc en RAnta3 en época de estiaje.....	101
Figura 59	Análisis de tendencia de Aluminio en RCruc3 en época de avenida.....	102
Figura 60	Análisis de tendencia de Aluminio en RCruc3 en época de estiaje.....	103
Figura 61	Análisis de tendencia de Arsénico en RCruc3 en época de avenida	103
Figura 62	Análisis de tendencia de Arsénico en RCruc3 en época de estiaje.....	104
Figura 63	Análisis de tendencia de Cadmio en RCruc3 en época de avenida.	104
Figura 64	Análisis de tendencia de Cadmio en RCruc3 en época de estiaje.	105



Figura 65	Análisis de tendencia de Cobre en RCruc3 en época de avenida.	105
Figura 66	Análisis de tendencia de Cobre en RCruc3 en época de estiaje.	106
Figura 67	Análisis de tendencia de Hierro en RCruc3 en época de avenida.	106
Figura 68	Análisis de tendencia de Hierro en RCruc3 en época de estiaje.....	107
Figura 69	Análisis de tendencia de Manganeso en RCruc3 en época de avenida.	107
Figura 70	Análisis de tendencia de Manganeso en RCruc3 en época de estiaje....	108
Figura 71	Análisis de tendencia de Mercurio en RCruc3 en época de avenida.	108
Figura 72	Análisis de tendencia de Mercurio en RCruc3 en época de estiaje.	109
Figura 73	Análisis de tendencia de Plomo en RCruc3 en época de avenida.	109
Figura 74	Análisis de tendencia de Plomo en RCruc3 en época de estiaje.	110
Figura 75	Análisis de tendencia de Zinc en RCruc3 en época de avenida.	110
Figura 76	Análisis de tendencia de Zinc en RCruc3 en época de estiaje.....	111
Figura 77	Análisis de tendencia de Aluminio en RCruc5 en época de avenida.....	112
Figura 78	Análisis de tendencia de Aluminio en RCruc5 en época de estiaje.....	112
Figura 79	Análisis de tendencia de Arsénico en RCruc5 en época de avenida.	113
Figura 80	Análisis de tendencia de Arsénico en RCruc5 en época de estiaje.....	113
Figura 81	Análisis de tendencia de Cadmio en RCruc5 en época de avenida.	114
Figura 82	Análisis de tendencia de Cadmio en RCruc5 en época de estiaje.	114
Figura 83	Análisis de tendencia de Cobre en RCruc5 en época de avenida.....	115
Figura 84	Análisis de tendencia de Cobre en RCruc5 en época de estiaje.	115
Figura 85	Análisis de tendencia de Hierro en RCruc5 en la época de avenida.	116
Figura 86	Análisis de tendencia de Hierro en RCruc5 en la época de estiaje.....	116
Figura 87	Análisis de tendencia de Manganeso en RCruc5 en época de avenida.	117
Figura 88	Análisis de tendencia de Manganeso en RCruc5 en época de estiaje....	117
Figura 89	Análisis de tendencia de Mercurio en RCruc5 en época de avenida.	118
Figura 90	Análisis de tendencia de Mercurio en RCruc5 en época de estiaje.	118
Figura 91	Análisis de tendencia de Plomo en RCruc5 en época de avenida.	119
Figura 92	Análisis de tendencia de Plomo en RCruc5 en época de estiaje.	119
Figura 93	Análisis de tendencia de Zinc en RCruc5 en época de avenida.	120
Figura 94	Análisis de tendencia de Zinc en RCruc5 en época de estiaje.....	120
Figura 95	Índice de calidad de agua de la Cuenca Azangaro, periodo Avenida y 2016-2023	121
Figura 96	Índice de calidad de agua de la Cuenca Azangaro, periodo Estiaje y 2016- 2023.....	122



Figura 97	Punto de muestreo RGran2 con el ICA CCME WQI.....	123
Figura 98	Punto de muestreo RCruc2 con el ICA CCME WQI	124
Figura 99	Punto de muestreo RCruc3 con el ICA CCME WQI	125
Figura 100	Punto de muestreo RCruc3 con el ICA CCME WQI	126
Figura 101	Punto de muestreo RAnta3 con el ICA CCME WQI	127
Figura 102	Índice de metales de Metales pesados de la cuenca Azangaro, época de estiaje 2016-2023	128
Figura 103	Índice de metales de Metales pesados del rio Crucero, época de avenida 2016-2023	129
Figura 104	Punto de muestreo RGran2 con el HPI	130
Figura 105	Punto de muestreo RCruc2 con el HPI.....	131
Figura 106	Punto de muestreo RCruc3 con el HPI.....	132
Figura 107	Punto de muestreo RCruc5 con el HPI.....	133
Figura 108	Punto de muestreo RAnta3 con el HPI.....	134



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1 Pruebas de normalidad para todos los puntos en épocas de avenida y estiaje.....	162
ANEXO 2 Correlación de Spearman en el punto RGrand2 en época de Avenida ..	167
ANEXO 3 Correlación de Spearman en el punto RGrand2 en época de Estiaje.....	168
ANEXO 4 Correlación de Pearson en el punto RCruc2 en época de Avenida	169
ANEXO 5 Correlación de Spearman en el punto RCruc2 en época de Estiaje.....	170
ANEXO 6 Correlación de Spearman en el punto RAnta3 en época de Avenida.....	171
ANEXO 7 Correlación de Spearman en el punto RAnta3 en época de Estiaje.....	172
ANEXO 8 Correlación de Spearman en el punto RCruc3 en época de Avenida.....	173
ANEXO 9 Correlación de Spearman en el punto RCruc3 en época de Estiaje.....	174
ANEXO 10 Correlación de Spearman en el punto RCruc5 en época de Avenida.....	175
ANEXO 11 Correlación de Spearman en el punto RCruc5 en época de Estiaje.....	176
ANEXO 12 Resultados y cálculos del Índice de Calidad de Agua CCME en el punto RGran2	177
ANEXO 13 Resultados y cálculos del Índice de Calidad de Agua CCME en el punto RCruc2.	180
ANEXO 14 Resultados y cálculos del Índice de Calidad de Agua CCME en el punto RAnta3	183
ANEXO 15 Resultados y cálculos del Índice de Calidad de Agua CCME en el punto RCruc3	185
ANEXO 16 Resultados y cálculos del Índice de Calidad de Agua CCME en el punto RCruc5	188
ANEXO 17 Resultados y cálculos del HPI en el punto RGran2.....	190



ANEXO 18	Resultados y cálculos del HPI en el punto RCruc2	192
ANEXO 19	Resultados y cálculos del HPI en el punto RAnta3	194
ANEXO 20	Resultados y cálculos del HPI en el punto RCruc3	196
ANEXO 21	Resultados y cálculos del HPI en el punto RCruc5	198
ANEXO 22	Registro Fotográfico en el Punto RGran2.....	200
ANEXO 23	Registro fotográfico en el punto RCruc2.....	201
ANEXO 24	Registro fotográfico en el punto RCruc3.....	202
ANEXO 25	Registro fotográfico en el punto RCruc5.....	203
ANEXO 26	Registro fotográfico en el punto RAnta3.....	204



ACRÓNIMOS

CCME WQI:	Índice de Calidad del Agua del Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente
HPI:	Índice de Contaminación por Metales Pesados (Heavy Metals Pollution Index en inglés).
SPSS STATISTICS:	Software de estadísticas de IBM
ANA:	Autoridad Nacional del Agua
OD:	Oxígeno Disuelto
pH:	Potencial de Hidrógeno
DBO:	Demanda Bioquímica de Oxígeno
Al:	Aluminio
As:	Arsénico
Cd:	Cadmio
Cu:	Cobre
Fe:	Hierro
Hg:	Mercurio
Pb:	Plomo
Zn:	Zinc
E. Coli:	Escherichia Coli
C.T.:	Coliformes Termotolerantes



RESUMEN

El objetivo principal fue comprender cómo esta contaminación varía a lo largo del tiempo y el espacio en la mencionada cuenca en donde se utilizaron dos índices, el Índice de Calidad de Agua (CCME-WQI) y el Índice de Metales Pesados (HPI). Los parámetros analizados incluyeron pH, OD, cianuro, aluminio, cadmio, cobre, hierro, manganeso, plomo, zinc, coliformes totales, E. coli, arsénico y mercurio para el CCME-WQI, y aluminio, cadmio, cobre, hierro, manganeso, plomo, zinc y mercurio para el HPI. Los datos fueron recopilados de la Autoridad Nacional del Agua. Se llevaron a cabo correlaciones entre parámetros físico-químicos y metales totales utilizando IBM SPSS STATISTICS. Los resultados indicaron impactos moderados con calificaciones regulares en los puntos de monitoreo RAnta3, RCruc5 y RCruc3, la calificación de pobre en RGran2 y RCruc2 según el CCME-WQI. En el índice de metales pesados, solo el punto RGran2 obtuvo una calificación muy buena y pobre en los 4 puntos restantes, algunos parámetros de metales superaron los límites establecidos en el ECA-agua, destacando aluminio, hierro, manganeso y arsénico. La actividad minera y los vertidos de aguas residuales industriales y domésticas fueron identificados como las principales causas. Según el CCME-WQI, la sección alta se clasificó como pobre, apta para explotación mecánica, construcción, enfriamiento industrial y estética. La sección media recibió una calificación regular, recomendada para riego restringido, construcción manual y recreación limitada. La media-baja obtuvo calificaciones marginal y regular, sugiriendo usos como abastecimiento de agua,

Palabras clave: Metales pesados, Espacio temporal, HPI, CCME WQI, Calidad del agua, cuenca Azángaro.



ABSTRACT

The main objective was to understand how this contamination varies over time and space in the aforementioned watershed where two indices were used, the Water Quality Index (CCME-WQI) and the Heavy Metals Index (HPI). The parameters analyzed included pH, DO, cyanide, aluminum, cadmium, copper, iron, manganese, lead, zinc, total coliforms, E. coli, arsenic and mercury for the CCME-WQI, and aluminum, cadmium, copper, iron, manganese, lead, zinc and mercury for the HPI. Data were collected from the National Water Authority. Correlations between physicochemical parameters and total metals were carried out using IBM SPSS STATISTICS. The results indicated moderate impacts with fair ratings at monitoring points RAnta3, RCruc5 and RCruc3, poor rating at RGran2 and RCruc2 according to the CCME-WQI. In the heavy metals index, only point RGran2 obtained a very good rating and poor in the remaining 4 points, some metal parameters exceeded the limits established in the ECA-water, highlighting aluminum, iron, manganese and arsenic. Mining activity and industrial and domestic wastewater discharges were identified as the main causes. According to the CCME-WQI, the upper section was classified as poor, suitable for mechanical exploitation, construction, industrial cooling and aesthetics. The middle section received a fair rating, recommended for restricted irrigation, manual construction and limited recreation. The lower-middle section received marginal and fair ratings, suggesting uses such as water supply,

Keywords: Heavy metals, Temporal space, HPI, CCME WQI, Water quality, Azángaro watershed.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El agua, un compuesto extraordinariamente simple, es sin embargo una sustancia de características tan excepcionales y únicas que sin ella sería imposible la vida (Carbajal Azcona & Gonzáles Fernández, 2012). Se asevera que “el agua tiene un valor económico en todos los diversos usos a los que se la destina y debería reconocérsela como un bien económico” (Solanes & Gonzales Villareal, 2001). La gestión integrada del agua se orienta con el fin de garantizar el desarrollo social, económico y cultural de las comunidades humanas (REDLACH, 2007). En el Perú, la gestión integrada del agua enfrenta desafíos como la falta de coordinación entre las instituciones encargadas de la gestión del agua, la falta de participación ciudadana en la toma de decisiones y la falta de recursos financieros y técnicos para implementar proyectos de gestión integrada del agua (Guevara Gil & Nuñovero Cisneros, 2018).

Las aguas superficiales que el ser humano utiliza para llevar a cabo sus actividades esenciales, como el suministro de agua potable, la navegación, y la recreación, lamentablemente son las que sufren una mayor contaminación. Esto se debe a que estas fuentes reciben directamente los vertidos de aguas residuales sin pasar por ningún proceso de tratamiento (Sierra Ramirez, 2011). Los ríos, como flujos naturales, experimentan cambios en su agua debido a factores climáticos y las particularidades de su entorno. A pesar de variaciones naturales, la intervención humana modifica de forma a menudo permanente las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua, influyendo en su calidad a lo largo del tiempo y su trayecto. (Chapman, 1992)

La actividad minera en la cuenca Azangaro, es una preocupación constante de la población, debido a la contaminación de las aguas superficiales, que luego son utilizadas



en la agricultura, ganadería y con fines de consumo doméstico. Los sedimentos en el río Crucero / Grande presentan moderada contaminación mostrando valores altos en los analitos de Zn y As, la cual proviene de las actividades mineras de la zona de Ananea (Zavala Carrión & Guerrero Bohorquez, 2006).

La ANA desde el 2011 viene ejecutando programas de monitoreo de calidad de agua en la cuenca del Titicaca de manera permanente y con periodos anuales dentro de la subcuenca, la cual reporta evidencia de su contaminación a causa de las descargas provenientes de desechos municipales, mineros y efluentes difusas que son vertidos en el cuerpo de agua, No obstante, a pesar de contar con información proveniente de estos monitoreos en la cuenca Azangaro y sus afluentes principales, basados en los resultados de análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, resulta difícil determinar si hay una tendencia hacia la mejora o empeoramiento en la calidad de las aguas, puesto que los vertimientos no son controlados. Además, la poca información encontrada en base a las metodologías que integren y califiquen los resultados de los principales parámetros de calidad del agua analizados, impide conocer con certeza la evaluación del nivel de contaminación existente. Dichas metodologías se limitan solo a cotejar exclusivamente al cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA agua), no considerando los procesos y las operaciones unitarias vinculadas a la actividad industrial de la minería principalmente.

Según (Sierra Ramirez, 2011) La calidad del agua no se define de manera única, ya que esta depende del propósito para el cual se utiliza. Además, está condicionada por diversos parámetros que caracterizan su calidad. Por lo tanto, estos parámetros experimentan variaciones en función de los objetivos de calidad que se puedan establecer para el futuro. Se necesita desarrollar una metodología que pueda sintetizar la gran cantidad de datos generados en los monitoreos de calidad del agua dentro de la cuenca



Azángaro, abarcando los principales analitos de calidad que incluyen metales pesados como aquellos que exacerban las condiciones límites de concentración comparadas a los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, se opta por emplear dos índices de calidad del agua. En este estudio, se evaluó el grado de contaminación en la cuenca Azángaro mediante la aplicación del Índice de Calidad de Agua Canadiense (ICA CCME) y el Índice de Metales Pesados (HPI). Este último índice, se basa en el contenido de metales presentes en los ríos de la Cuenca Azángaro, y a través de la clasificación obtenida mediante los índices de calidad de agua, se busca determinar qué actividades y usos son factibles en las aguas de la cuenca Azángaro.

El objetivo general del estudio es evaluar el comportamiento espacio temporal de la contaminación de los metales pesados en la cuenca Azángaro en el periodo de 2016-2023., ubicado en el departamento de Puno. Los objetivos específicos son evaluar espacialmente el comportamiento de la contaminación por metales pesados en la cuenca Azángaro en el periodo de 2016-2023 aplicando el Índice de Calidad de Agua Canadiense (CCME WQI) y el Índice de Metales Pesados (HPI), evaluar temporalmente el comportamiento de la contaminación por metales pesados en la cuenca Azángaro en el periodo de 2016-2023 aplicando el método estadístico de correlación de Pearson y Spearman y evaluar las causalidades que influyen en el comportamiento espacio-temporal de la contaminación por metales pesados en la cuenca Azángaro durante el periodo de 2016-2023.

Esta investigación se lleva a cabo con el objetivo de analizar los parámetros relacionados de calidad del agua. Además, se busca describir y anticipar el comportamiento de datos con el fin de tomar decisiones de control en el futuro. Se emplearon herramientas estadísticas específicas con utilidad para este propósito. Se tomaron los valores obtenidos por las evaluaciones de monitoreo de la ANA en el periodo



2016-2023 realizadas en cinco de los puntos de muestreo de la cuenca Azángaro ubicados en diferentes partes de la cuenca para realizar el estudio de calidad de agua a través de distintos índices de calidad de agua establecidos en otros países y el uso de métodos estadísticos para determinar la correlación que existe entre los valores hallados y el tiempo. Estos puntos son RGran2, RCruc2, RAnta3, RCruc3, RCruc5.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La región de Puno, debido a sus características territoriales posee potencialidades, y concentra diversos recursos naturales, especialmente minerales como el oro y el estaño. En esta área de estudio, participan numerosos grupos dedicados a la actividad extractiva, tanto formales como informales, que llevan a cabo la operación de minerales sin la aplicación de tecnologías adecuadas que sean amigables con el entorno ambiental. Esta acción exacerbada ha generado contaminación en los recursos hídricos, afectando principalmente al río Ramis y su cuenca. Desde la década de 1980, y en particular, durante los últimos tres años, la actividad de la minería en nuestra región se ha convertido en una de las principales causas de los problemas ambientales y conflictos sociales y culturales (Flores, 2008).

La degradación ambiental en la cuenca del río Ramis resulta principalmente de la actividad minera no regulada en distintas áreas del distrito de Ananea. En particular, las zonas de La Rinconada y Cerro Lunar, donde operan inversionistas informales y formales con dominio de concesiones mineras, caso de la Corporación Minera Ananea, así como Pampa Blanca, Chaquiminas, Ancoccala y Huajchani, con presencia de invasores de las concesiones de CENTROMIN Perú, y la Central de Cooperativas Mineras de San Antonio de Poto (CESAMP), contribuyen significativamente a la contaminación de los suelos y agua del área de estudio. Al momento en todos estos lugares mencionados, la explotación



minera informal carece de cualquier tipo de instrumento correctivo o medida de mejora en la gestión ambiental.

La contaminación va progresiva de la cuenca del río Ramis, desde su origen en la Laguna de Sillacunca hasta llegar al lago Titicaca, ha afectado directamente a los distritos de la cuenca, generando perjuicios a agricultores y usuarios de sistemas de riego de la cuenca intermedia y baja. Estos problemas han desencadenado conflictos entre mineros, agricultores y residentes urbanos y rurales asentados en la cercanía u orillas del río. (Asociación SER, 2007)

La Autoridad Nacional del Agua (ANA) lleva a cabo la vigilancia de la calidad del agua en las superficies acuáticas en cumplimiento de la Ley de Recursos Hídricos (artículo 76°). Este proceso tiene como objetivo principal generar información valiosa para evaluar la evolución de la calidad del agua a lo largo del tiempo. Asimismo, busca identificar áreas contaminadas y en proceso de contaminación, así como cuerpos de agua que mantienen una calidad óptima. Este monitoreo oficial proporciona datos esenciales para realizar diagnósticos sobre la calidad del agua en la cuenca del lago Titicaca, sirviendo como base para impulsar acciones destinadas a la protección o recuperación de la calidad del agua. La Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos ha llevado a cabo actividades de monitoreo participativo entre 2011 al 2023, abordando diversos parámetros de calidad, incluyendo la evaluación de metales pesados en cada periodo de muestreo.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Cuál es el comportamiento espacio-temporal de la contaminación por metales pesados en la cuenca Azángaro en el periodo de 2016-2023?



1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el comportamiento espacial de la contaminación por metales pesados en la cuenca Azángaro en el periodo de 2016-2023?
- ¿Cuál es el comportamiento temporal de la contaminación por metales pesados en la cuenca Azángaro en el periodo de 2016-2023?
- ¿Cuáles son las causalidades que influyen en el comportamiento espacio-temporal de la contaminación por metales pesados en la cuenca Azángaro durante el periodo de 2016-2023?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

Existe una variación significativa en la concentración de metales pesados en la cuenca Azángaro, durante el periodo de 2016-2023.

1.3.2. Hipótesis específicas

- Al aplicar el Índice de Calidad de Agua CCME-WQI y el índice de metales pesados HPI para evaluar la contaminación por metales pesados en la cuenca Azángaro durante 2016-2023, se pretende obtener una evaluación cualitativa de la calidad del agua fundamentada en los criterios propuestos por dichos índices.
- Existe una variación significativa temporal en la contaminación por metales pesados en la cuenca Azángaro durante el periodo de 2016-2023, evidenciada por cambios significativos en las concentraciones de metales pesados a lo largo de las épocas de estiaje y avenida.



- Las causalidades que influyen en el comportamiento espacio-temporal de la contaminación por metales pesados en la cuenca Azángaro durante el periodo de 2016-2023 se debe a una interacción compleja de factores antropogénicos, como actividades mineras e industriales.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La contaminación por metales pesados en las aguas superficiales ha aumentado en los últimos años, lo que compromete severamente la salud, seguridad alimentaria y medio ambiente (C. Reyes et al., 2016). La evaluación de la calidad del agua en las cuencas fluviales es un área crítica de investigación, especialmente cuando se trata de metales pesados, cuyos impactos en los ecosistemas acuáticos y la salud humana son bien documentados (Smith et al. 2018).

La presencia de metales pesados en los ríos es una inquietud a nivel mundial, dado que estos elementos tienen la capacidad de depositarse en los sedimentos y liberarse en formas más tóxicas o fácilmente absorbibles por los organismos acuáticos. (Escobar, 2002) La investigación se centra en comprender la variabilidad temporal y espacial de la contaminación por metales pesados en la cuenca Azángaro. Utilizando dos índices, CCME-WQI e HPI, se evaluaron diversos parámetros físico-químicos y metales pesados en puntos de monitoreo clave. Los resultados revelaron impactos moderados y pobres en varios puntos, destacando la presencia de aluminio, hierro, manganeso y arsénico por encima de los límites establecidos. La actividad minera y los vertidos de aguas residuales se identificaron como las principales causas de la contaminación.



La correlación de datos mediante IBM SPSS STATISTICS fortaleció la comprensión de las relaciones entre los parámetros analizados. Los índices reflejaron de manera realista la situación, clasificando las secciones según su idoneidad para diferentes usos, como explotación mecánica, riego restringido o recreación limitada.

Estos hallazgos subrayan la complejidad del problema y la urgencia de abordar la contaminación por metales pesados en la cuenca Azángaro. La investigación proporciona una base sólida para la toma de decisiones y la implementación de medidas eficaces para preservar la calidad del agua y proteger tanto la salud humana como el ecosistema acuático.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Evaluar el comportamiento espacio temporal de la contaminación de los metales pesados en la cuenca Azángaro en el periodo de 2016- 2023.

1.5.2. Objetivos específicos

- Evaluar espacialmente el comportamiento de la contaminación por metales pesados en la cuenca Azángaro en el periodo de 2016-2023 aplicando el Índice de Calidad de Agua Canadiense (CCME WQI) y el Índice de Metales Pesados (HPI).
- Evaluar temporalmente el comportamiento de la contaminación por metales pesados en la cuenca Azángaro en el periodo de 2016-2023 aplicando el método estadístico de correlación de Pearson.



- Evaluar las causalidades que influyen en el comportamiento espacio-temporal de la contaminación por metales pesados en la cuenca Azángaro durante el periodo de 2016-2023.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes internacionales

En Colombia Ortiz et al. (2015) evaluaron los metales pesados e índices de calidad en aguas y sedimentos del río Magdalena - tramo Tolima, Colombia tanto en la estación seca como la estación lluviosa, en donde examinaron los niveles de concentración de metales pesados en las aguas de un río colombiano. Utilizaron la espectroscopia de absorción atómica y la cromatografía de gases como métodos de análisis. Los resultados indicaron que tanto los índices de contaminación como los índices de calidad del agua señalan que el agua del río Magdalena no es apta para el consumo humano. Se identificaron niveles significativos de plomo y otros metales pesados. Este estudio contribuyó de manera importante a comprender los efectos de sustancias químicas tóxicas y no tóxicas en los componentes bióticos y abióticos del ecosistema acuático. Además, ofrece información que puede ser fundamental para futuras investigaciones relacionadas con el monitoreo, la biorremediación y la implementación de medidas integrales para la protección ambiental.

Según Giri, S. & Kumar, A. (2014) en India evaluaron la calidad del agua superficial utilizando el índice de contaminación de metales pesados en el río Subarnarekha, India", con el propósito principal de evaluar la calidad del agua en dicho río. El estudio recolectó muestras de agua superficial de 21 sitios a lo largo del río durante las estaciones previas al monzón, el monzón y después del monzón. Utilizaron espectrometría de plasma de acoplamiento inductivo para analizar las



concentraciones estacionales de Al, As, Ba, Cr, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Se, V y Zn, así como para calcular el índice de contaminación de metales pesados (HPI, por sus siglas en inglés, Heavy metal Pollution Index) para evaluar la influencia combinada de todos estos metales en la calidad general del agua. Los resultados revelaron una variación estacional significativa en las concentraciones de metales, con niveles más altos observados durante la temporada previa al monzón. El análisis de componentes principales mostró que el 73.13% de la variabilidad estaba explicada por cuatro factores, señalando las actividades naturales y antropogénicas como contribuyentes a la presencia de metales en el río. En términos del HPI para las aguas superficiales del río en todas las estaciones y ubicaciones, este fue de 32.27. Al considerar las ubicaciones individuales, se observaron variaciones considerables en el HPI, oscilando entre 3.55 y 388.9. La mayoría de las ubicaciones presentaban valores bajos a medianos de HPI, excepto aquellas cercanas a áreas industriales, mineras o estuarios. Las altas concentraciones de ciertos metales en el río Subarnarekha cerca de estas zonas industriales y mineras sugieren una contribución antropogénica proveniente de estas actividades en el área.

En México Laino et al (2015) evaluaron la Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, frontera México-Guatemala en donde se centraron en analizar la presencia de metales pesados (como As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn) tanto en el agua superficial como en los sedimentos. Se llevaron a cabo mediciones durante las temporadas de lluvias (agosto de 2011 y junio de 2012) y época seca (enero a diciembre de 2012) en las cuencas de los ríos Xelajú y Bacantón, así como en las subcuencas de los ríos Allende, Buenos Aires, Molino y Carrizal. Los resultados obtenidos se compararon con las normativas



establecidas en México y Canadá. El autor resaltó que la actividad minera no solo afecta durante su funcionamiento, sino también después de que cesa la operación o cuando las minas son abandonadas. Esta situación impacta negativamente en la calidad del agua, los suelos y los ecosistemas circundantes.

2.1.2. Antecedentes nacionales.

Según Castillo & Medina (2014) la preocupación constante fue la calidad del agua en el río Rímac se debe a que sus aguas cumplen roles esenciales, como suministrar agua potable, generar energía y satisfacer las necesidades de riego en las áreas agrícolas de los valles en la parte media y alta de su cuenca. El análisis se enfocó en evaluar la calidad espacial y temporal del agua para riego mediante dos índices de calidad (NSF WQI-USA y CCME WQI-Canadá), Con el NSF WQI, se observó que la mejor calidad de agua (calificada como buena) se encontró en dos estaciones de la parte alta del área de estudio, mientras que en la parte baja se determinaron condiciones que variaban entre buenas y medias. Al aplicar el CCME WQI, las dos estaciones de la parte alta mostraron niveles de calidad entre aceptables y buenos, y en el punto más bajo, entre aceptable y excelente. A lo largo del año hidrológico (en períodos de creciente y estiaje) en las tres estaciones.

Según Chirinos (2022) se justificó ante la necesidad de comprender los impactos generados por actividades antropogénicas, como la minería y la presencia de población, en el río San Juan. Para evaluar la calidad del agua, se utilizaron el Índice de Calidad del Agua (ICA CCME) y el Índice de Metales Pesados (HPI), utilizando datos recopilados por la Autoridad Nacional del Agua entre 2012 y 2018 en diversos puntos de monitoreo. Los resultados evidenciaron impactos negativos en el río San Juan, concluyendo que la calidad del agua es buena en la parte alta, pobre en la media y regular en la baja. La evaluación en dos



periodos resultó más realista que la del periodo total, mostrando mejoras en la calidad de las aguas en la parte media final y baja del río San Juan. Según el ICA CCME, en la parte media final y baja se recomienda un uso restringido para riego, explotación manual de materiales de construcción y recreación con contacto restringido.

Según Camacho (2018) evaluó la variación espacio-temporal de metales pesados en la microcuenca del río Tinco, provincia de Yauyos, departamento de Lima en donde se georreferenciaron estaciones de muestreo y se recolectaron muestras de agua en épocas de estiaje y avenida según el protocolo nacional de monitoreo de la calidad del agua. Se midieron parámetros in situ y se cuantificaron los metales pesados mediante ICP-OES. Los resultados de los parámetros físico-químicos in situ cumplieron con los estándares de calidad ambiental de la categoría 3, excepto el pH durante la época de estiaje. Los metales pesados estuvieron dentro de los estándares de calidad de agua. No se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de metales pesados entre épocas, pero sí en parámetros como pH, temperatura, oxígeno disuelto, turbiedad y caudal. El análisis correlacional mostró relaciones entre algunos metales pesados y parámetros in situ, influenciados por fuentes de emisión y épocas de observación.

2.1.3. Antecedentes locales

Según Ramos (2017) realizó el estudio en el río Crucero con el objetivo de determinar la concentración de metales pesados (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb y Zn) en el agua superficial de la Subcuenca Crucero (Unidad Hidrográfica Azángaro), mediante una evaluación comparativa del comportamiento multiestacional (estiaje y avenida), multianual (2011-2015) y espacial (cabecera y receptor), con información oficial de la Autoridad Nacional del Agua (2011- 2015) e información



de contraste (monitoreo propio). Los resultados se evaluaron estadísticamente con análisis de varianza, prueba de rango múltiple de Duncan, análisis de correlación y de componentes principales (PCA).

Según Gutiérrez-Cabana (2018) se evaluó la calidad del agua en la desembocadura del río Torococha al río Coata, utilizando dos metodologías: el Índice de Calidad de Agua del Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME-WQI) y el Índice de Calidad de Agua de los Recursos Hídricos en el Perú (ICA-PE). Durante los meses de septiembre, octubre y noviembre de 2018, se realizaron mediciones en dos puntos de muestreo, monitoreando parámetros físicos, químicos, metales pesados y microbiológicos. Los resultados del CCME-WQI indicaron que en el punto M1, el agua presentaba una buena calidad con un valor de 80, mientras que en el punto M2 la calidad era marginal con un valor de 57. Por otro lado, según el ICA-PE, se otorgó una calificación excelente para M1 y M2, con valores de 99 y 90 respectivamente. El autor concluye que el río Torococha tiene un impacto negativo en la calidad del agua del río Coata.

2.2. BASES TEÓRICAS Y CONCEPTUALES

2.2.1. Metales Pesados

Los elementos químicos con un peso atómico entre 63.55 (Cu) y 200.59 (Hg) y un peso específico superior a 4 g/cm³ se denominan metales pesados. Aunque sus concentraciones son muy bajas, todos los metales pesados están presentes en los medios acuáticos. Los compuestos orgánicos pueden tener fases que pueden capturar cationes metálicos con gran capacidad, lo que en ocasiones da lugar a fases muy tóxicas como el metal mercurio. Los metales pesados más



importantes son Al, As, Cd, Cu, Hg, Pb, pH, Cr, Ni, Zn, TI, U (Castro Larragoitia & Monrroy Fernández, 2002).

2.2.1.1. Aluminio

Asociado a minerales como la bauxita, usado en abrasivos y debe mantenerse bajo ciertos límites en aguas de consumo. (Sierra, 2011)

El aluminio es un elemento abundante en la corteza terrestre, aunque se encuentra en cantidades más bajas en las aguas superficiales naturales. Debido a su presencia en una variedad de rocas, minerales y arcillas, está presente en todos los cuerpos de agua, pero en concentraciones cercanas al pH natural, rara vez supera unas pocas décimas a 1 mg/L. (ANA, 2018)

2.2.1.2. Arsénico

El arsénico es un elemento químico natural que se encuentra en el ambiente de diversas formas. Aunque en la actualidad se ha reducido su uso en herbicidas y pesticidas, previamente se empleaba en algunos compuestos químicos utilizados para controlar plagas y malezas en la agricultura (Sierra, 2011).

Es un metal pesado altamente tóxico cuya aparición puede derivar de descargas industriales o el uso de insecticidas. Según investigaciones del ANA, se detectó arsénico en algunos puntos de muestreo en cuencas hidrográficas, atribuido a la contribución litológica de esa zona (ANA, 2018)



2.2.1.3. Cadmio:

Peligroso al combinarse con otras sustancias tóxicas, provoca enfermedades cardiovasculares y afecta a los micro moluscos (Sierra, 2011).

El mineral se halla en la naturaleza como sulfuro y como un componente no deseado en minerales de zinc y plomo. La presencia de este elemento en el agua está vinculada a las actividades mineras y de fundición (ANA, 2018).

2.2.1.4. Cobre:

su toxicidad varía según las características del agua y puede afectar a los microorganismos acuáticos (Sierra, 2011).

El cobre está ampliamente presente en las cuencas hidrográficas, pero la mayoría de sus minerales tienen poca solubilidad, lo que limita su presencia en aguas naturales. Cuando se encuentra en concentraciones más altas en aguas superficiales, suele ser resultado de desechos industriales o actividades mineras (ANA, 2018).

2.2.1.5. Mercurio:

Provoca debilitamiento muscular y afecta las funciones cerebrales al contaminar el agua de consumo (Sierra, 2011).

La presencia de este mineral en el agua es principalmente consecuencia de las acciones humanas, como la minería, aunque en algunas áreas específicas puede encontrarse naturalmente. Por lo general,



este elemento es escaso en la naturaleza, siendo la actividad humana la principal fuente de su aparición en el agua (ANA, 2018).

2.2.1.6. Plomo

Altamente tóxico y acumulativo en el cuerpo humano, afecta a los tejidos vulnerables y a los peces si contamina el agua (Sierra, 2011).

El elemento se encuentra en cantidades limitadas en la corteza terrestre, siendo más común en rocas sedimentarias y suelos no contaminados en pequeñas cantidades. En entornos ligeramente ácidos, puede disolverse. A pesar de ser tóxico para los organismos acuáticos, el grado de daño depende de la concentración de plomo en el agua y de las especies evaluadas (ANA, 2018).

2.2.1.7. Potencial de Hidrógeno (pH):

Representa la concentración de iones de hidrógeno, con una escala de 1 a 14. Un valor de pH neutro es 7, mientras que valores menores indican acidez y valores mayores, alcalinidad (Miyashiro et al., 1996).

Este indicador es comúnmente usado para comprender la evolución química de varios metales, su solubilidad en el agua y su disponibilidad para los organismos. El pH, que mide la acidez o alcalinidad, normalmente oscila entre 6.5 y 8.5 en los cuerpos de agua. En áreas naturales sin influencia humana, su nivel está en gran parte determinado por la geología de la cuenca y se ve afectado por los equilibrios químicos. (ANA, 2018).



2.2.1.8. Oxígeno disuelto:

Es crucial para determinar la contaminación en cuerpos de agua, es esencial para el crecimiento y reproducción de la vida acuática (Sierra, 2011).

2.2.1.9. Hierro total:

Puede causar la precipitación de sólidos y coloración del agua, lo que limita su uso en actividades industriales (Sierra, 2011).

2.2.1.10. Manganeseo:

Produce manchas y precipitados que reducen la calidad estética del agua (Sierra, 2011).

Este metal se encuentra frecuentemente en rocas y suelos en forma de óxidos e hidróxidos. Es crucial evaluarlo para controlar las concentraciones de otros metales traza en cuerpos de agua. Se verifica su existencia para determinar si su presencia es natural o resultado de contaminación (ANA, 2018).

2.2.1.11. Zinc:

Esencial para la vida vegetal y animal, pero en altas concentraciones es tóxico para la vida acuática y puede indicar descargas industriales (Sierra, 2011).

Este elemento es común en minerales y rocas, aunque se encuentra en concentraciones mínimas en aguas naturales debido a su baja solubilidad. Aparece en pequeñas cantidades en casi todas las aguas



alcalinas superficiales, pero su presencia aumenta en aguas con un pH más ácido (ANA, 2018).

2.2.1.12. Coliformes termotolerantes:

Indican el riesgo potencial de contaminación con patógenos bacterianos o víricos y se originan en las heces humanas y animales (Sierra, 2011).

2.2.2. Orígenes de la contaminación de Metales pesados

Los procesos naturales y humanos introducen metales pesados en los sistemas acuáticos continentales (ríos, lagos, embalses, etc.). Por lo tanto, distinguiremos entre metales pesados de origen natural y de origen humano; aunque en la realidad, la diferencia entre una contaminación causada por humanos es difícil de hacer que a continuación se muestra (Forstner, 1981).

2.2.2.1. Origen natural:

Las acciones basales de metales pesados en los sistemas fluviales influyen principalmente en el contenido de elementos metálicos en un suelo libre de interferencias humanas (Forstner, 1981).

2.2.2.2. Origen antropogénico:

La contaminación causada por la intervención humana en el ciclo biogeoquímico de los metales pesados en donde uso de metales pesados ha aumentado junto con el desarrollo industrial y tecnológico. Actualmente es difícil encontrar una actividad industrial o un producto fabricado en el que no haya metal pesado involucrado. En la industria, se está produciendo



un cambio gradual en la sustitución de metales pesados potencialmente peligrosos por materiales más saludables (Forstner, 1981).

2.2.2.3. Origen de la minería:

En el área que estamos investigando, la extracción minera se enfoca en metales, específicamente en operaciones mineras que extraen oro natural. Estas operaciones están ubicadas en la Cordillera Oriental, donde se origina la cuenca del río Ramis. Los residuos líquidos generados por estas actividades, conocidos como salmueras, presentan concentraciones significativas de metales pesados (MEM, 1998).

2.2.3. Riesgos de los metales pesados en la salud humana.

El intenso y continuo aumento de las actividades industriales y humanas ha contribuido a la emisión de contaminantes hacia los ecosistemas, que están íntimamente relacionados con las especies animales, especialmente las domésticas, incluyendo al hombre. Esto facilita la entrada de dichas sustancias contaminantes en la cadena trófica. Un indicador significativo del nivel de contaminación es el contenido residual de ciertos componentes de la leche y la carne (González, 2009).

Es un indicador indirecto de las condiciones ambientales locales o periféricas, principalmente relacionadas con el suelo, el agua, el aire y la vegetación de la región donde se encuentra el ganado.

Algunas actividades contaminan el medio ambiente, especialmente los suelos agrícolas y de pastoreo, como la aplicación de sustancias biosólidas, fertilizantes, estiércol de ganado, agroquímicos y la irrigación con aguas



contaminadas. La vegetación sufre cambios debido a la presencia de elementos, lo que resulta en la introducción de elementos tóxicos en la dieta humana a través del consumo de cultivos o del ganado alimentado con pastos y forrajes extraídos de estos suelos. (González, 2009).

En líneas generales, la prolongada exposición a metales pesados se vincula con diversos tipos de cáncer, complicaciones en el desarrollo fetal y infantil, artritis, enfermedades cardíacas y problemas renales, entre otros. Los efectos principales atribuidos a los metales pesados incluyen

- Plomo: Impacta el sistema nervioso, vinculado con anemia, esclerosis, fatiga y desarrollo de cáncer renal.
- Mercurio: Relacionado con trastornos neurológicos, autismo, depresión y afecciones respiratorias.
- Arsénico: Asociado a enfermedades vasculares, bronquitis y diversos tipos de cáncer como el esofágico, pulmonar, de laringe y vejiga, causando daño hepático como toxinas perjudiciales a pesar de no ser un metal exactamente.
- Berilio: Vinculado al cáncer de pulmón y la irritación de la piel y las membranas mucosas.
- Cromo: Relacionado con el cáncer pulmonar, daño hepático y renal.
- Cadmio: Asociado con enfisema, cáncer de próstata, bronquitis, infertilidad, enfermedades vasculares, trastornos neurológicos y toxicidad renal.
- Níquel: Exposición prolongada puede causar enfermedades cardíacas, irritación de la piel y daños hepáticos.



- Cobre: Provoca daños hepáticos y renales, asociado con anemia y molestias en los intestinos.
- Manganeso: Lesiona el páncreas, hígado, sistema respiratorio, riñones y sistema nervioso central, relacionado con la enfermedad de Parkinson.
- Estaño: Vinculado con dolores de cabeza, irritación de la piel y membranas mucosas, daño inmunológico, depresión, trastornos del sueño y daños hepáticos.
- Zinc: Provoca malestar estomacal e infecciones en las mucosas.

2.2.4. Índice de calidad de agua

El índice de calidad de agua consiste básicamente en una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros que caracterizan la calidad de agua, el índice puede ser representado por un número, rango, descripción verbal, símbolo o color. Su ventaja radica en que pueden ser más fácil de interpretar que 35 una lista de valores numéricos, este índice es muy útil para propósitos comparativos, por ejemplo, que puntos de muestreo resulta de peor o excelente calidad del agua (Fernandez & Solano, 2005).

Un índice de calidad representa un valor cualitativo asignado a un conjunto de parámetros medidos, agrupados matemáticamente es un número singular que resume la calidad del agua al integrar mediciones específicas de sus parámetros. Su utilidad radica en proporcionar una rápida interpretación y análisis de las tendencias en la calidad del cuerpo de agua a lo largo de diferentes lugares y periodos de tiempo (García, 2012).

El ICA representa una simplificación de parámetros que indican el deterioro de la calidad del agua, permitiendo comunicar y evaluar la calidad de

los cuerpos de agua. No obstante, su objetivo es reducir la amplia gama de parámetros a una fórmula matemática sencilla (Flores Jacinto, 2013).

2.2.4.1. Índice de calidad del agua CCME-WQI

Uno de los indicadores más utilizados es el CCME-WQI (Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index), que ofrece una evaluación exhaustiva de la calidad del agua en un período específico. Considera una gama de parámetros que exceden ciertos estándares de referencia, contabilizando la cantidad de datos que no cumplen con dichos estándares y la magnitud de su exceso (CCME, 2001). Su objetivo es unificar toda la información recolectada para evaluar el estado general de la calidad del cuerpo de agua mediante un único valor (CCME-WQI, 1999).

Este índice se basa primordialmente en la determinación de tres factores que representan alcance, frecuencia y amplitud.

F1-Alcance: Define el porcentaje de variables que tienen valores fuera del rango de niveles deseables para el uso que se esté evaluando.

$$F_1 = \frac{\text{Numero de variables que fallaron}}{\text{Número total de variables}} \times 100 \quad (1)$$

F2-Frecuencia: Se halla por la relación entre la cantidad de valores fuera de los niveles deseables respecto al total de datos de las variables estudiadas.

$$F_2 = \frac{\text{Numero de pruebas deficientes}}{\text{Número total de pruebas}} \times 100 \quad (2)$$

F3-Amplitud: Es una medida de la desviación que existe en los datos, determinada por la magnitud de los excesos de cada dato fuera de rango al comparar.

$$F_3 = \left(\frac{nse}{0.01 \times nse + 0.01} \right) \quad (3)$$

Suma Normalizada| de Excedente

$$nse = \left(\frac{\sum excursions}{\text{número de pruebas}} \right) \quad (4)$$

Excedente: Se da para cada parámetro siendo el valor que representa la diferencia del valor ECA y el valor del dato respecto al valor del ECA para agua.

Caso 1: Cuando el valor de concentración del parámetro es mayor o menor que, cuando el objetivo es mínimo, cuando el valor del parámetro no debe exceder el objetivo, se expresa de la siguiente manera.

$$excursion = \left(\frac{\text{valor inaceptable}}{\text{objetivo}} \right) - 1 \quad (5)$$

Caso 2: Cuando el valor de concentración es menor al valor establecido en el ECA-Agua, incumpliendo la condición señalada en el mismo, el cálculo del excedente se realiza de la siguiente manera

$$excursion = \left(\frac{\text{objetivo}}{\text{valor inaceptable}} \right) - 1 \quad (6)$$

Y para determinar el valor del Índice de Calidad de agua superficial establecido por el Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente, con la siguiente ecuación:

$$CCMEWQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right) \quad (7)$$

Y por consiguiente con el resultado de la ecuación del CCME-WQI se determina el estado de la calidad del agua analizado, de acuerdo a la escala de rangos, presentado en la tabla 2 donde se muestra la interpretación de los valores.

Tabla 1

Interpretación de la Calificación del CCME-WQI

Valor CCME-WQI	Calificación	Interpretación
95-100	Excelente	La calidad de agua está protegida con una ausencia virtual de deterioro o amenaza, condiciones muy cercanas a los niveles naturales.
80-94	Bueno	La calidad de agua está con un grado menor de deterioro o amenaza, las condiciones rara vez se alejan de los niveles deseables
65-79	Regular	La calidad de agua presenta deterioro ocasional, algunas veces las condiciones se alejan de los niveles deseables.
45-64	Marginal	La calidad de agua es frecuentemente deteriorada o amenazada, las condiciones se alejan con frecuencia de los niveles deseables
0-44	Pobre	La calidad de agua casi siempre presenta deterioro, las condiciones se alejan generalmente de los niveles deseables

Nota: Extraído de Canadian Council of Ministers of the Environment, CCME, 2021

2.2.4.2. Índice de contaminación de metales pesados

Explican que algunos metales como Cu, Fe, Mn, Ni y Zn son esenciales para los procesos vitales de animales y plantas, mientras que otros, como Cd, Cr, Pb y Co, carecen de funciones fisiológicas conocidas. Estos metales no son degradables y pueden acumularse en el cuerpo humano, causando daños en el sistema nervioso y en los órganos internos.



Los ríos juegan un rol crucial en el transporte de aguas residuales municipales e industriales, así como en la escorrentía de tierras agrícolas y mineras (Reza & Singh, 2010).

Según Onkar & Sulochana (2015) destacan la relevancia de los metales pesados en ecotoxicología, subrayando su persistencia y potencial toxicidad para los organismos vivos. Estos elementos, tanto esenciales como no esenciales, son monitoreados en ecosistemas acuáticos principalmente a través de la medición de sus concentraciones en el agua. Las actividades humanas han desencadenado la acumulación de metales tóxicos en el entorno, y la explotación extensiva de los recursos naturales ha ejercido una mayor presión sobre los ecosistemas acuáticos. Esta sobrecarga de metales pesados en los ecosistemas ha generado alteraciones significativas, manifestándose en concentraciones elevadas de contaminantes, bioacumulación de metales tóxicos y representando una seria amenaza para los organismos acuáticos y la salud humana.

Destacan la relevancia de los metales pesados en ecotoxicología, subrayando su persistencia y potencial toxicidad para los organismos vivos. Estos elementos, tanto esenciales como no esenciales, son monitoreados en ecosistemas acuáticos principalmente a través de la medición de sus concentraciones en el agua. Las actividades humanas han desencadenado la acumulación de metales tóxicos en el entorno, y la explotación extensiva de los recursos naturales ha ejercido una mayor presión sobre los ecosistemas acuáticos. Esta sobrecarga de metales pesados en los ecosistemas ha generado alteraciones significativas, manifestándose en concentraciones elevadas de contaminantes,

bioacumulación de metales tóxicos y representando una seria amenaza para los organismos acuáticos y la salud humana (Onkar & Sulochana 2015).

En cuanto a la metodología empleada, los autores introducen el Índice de Contaminación por Metales Pesados (HPI), desarrollado a partir de la asignación de coeficientes de ponderación (W_i) a cada parámetro relevante. Estos coeficientes, que oscilan entre 0 y 1, se definen en función de la importancia individual de los aspectos de calidad o se establecen en proporción inversa a los valores permisibles estándar. Al calcular el HPI con los datos actuales de calidad del agua, los límites de concentración (S_i e I_i), es decir, los valores permisibles y deseables para cada parámetro, se basan en las normativas de la OMS.

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n W_i Q_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (8)$$

Donde " Q_i " representa el subíndice del parámetro i -ésimo. " W_i " es la unidad de coeficiente de ponderación para dicho parámetro i -ésimo y " n " denota el número total de parámetros que están siendo considerados en el análisis. La fórmula para calcular el subíndice (Q_i) se lleva a cabo de la siguiente manera:

$$Q_i = \sum_{i=1}^n \frac{(M_i(-)I_i)}{(S_i - I_i)} \times 100$$

En donde M_i representa el valor monitoreado de los metales pesados, mientras que I_i y S_i son, respectivamente, los valores ideales y

estándar del i -ésimo parámetro. La notación (-) señala la diferencia numérica entre estos dos valores, sin considerar el signo algebraico.

Según Abdullah (2013) expone que el Índice de Contaminación por Metales Pesados (HPI) es una metodología o técnica de clasificación que evalúa la influencia combinada de cada metal pesado en la calidad general del agua. Este índice, que varía de cero a uno, se calcula mediante la ponderación de cada parámetro, seguido del cálculo de la calidad para cada metal pesado y, finalmente, la suma de estos subíndices para obtener el índice general.

Tabla 2

Calificación para la evaluación de la contaminación de metales pesados.

HPI	CALIDAD DE AGUA
0-25	Muy buena
26-50	buena
51-75	pobre
76-100	Muy pobre

Nota: Extraído de International Journal of Science Engineering and Advance Technology, IJSEAT (2017).

Según Sierra (2011) resalta que la calidad del agua en un recurso hídrico se encuentra estrechamente ligada al propósito para el cual se emplea, y este a su vez está determinado por una serie de factores que definen su calidad. Los usos más frecuentes del agua se clasifican en función de la actividad que se realiza con ella, como el riego, el suministro de agua para ciudades, los procesos industriales, el hábitat para la vida acuática, la navegación, la generación de energía eléctrica, la recreación,



entre otros. Asimismo, destaca que tanto los usos del agua como las normativas y criterios se transforman con el tiempo. Los organismos interesados, ya sean corporativos, ministeriales u otros, llevan a cabo revisiones periódicas en este ámbito y establecen nuevas regulaciones cuando lo consideran pertinente.

2.2.5. Análisis estadístico.

2.2.5.1. Coeficiente de correlación de Pearson

El coeficiente de correlación de Pearson, según Restrepo y González (2007), evalúa la variación lineal entre dos variables distintas. Es importante destacar que este coeficiente se aplica solo cuando las variables están linealmente relacionadas, y no es apropiado para relaciones no lineales estrechas. El coeficiente de correlación de Pearson tiene un rango de -1 a +1, donde el signo indica la dirección de la relación, pero no la fuerza. Un valor de +1 representa una correlación positiva perfecta, lo que significa que ambas variables aumentan o disminuyen juntas. En contraste, un valor de -1 indica una correlación negativa perfecta, donde una variable aumenta mientras la otra disminuye, y viceversa. También es posible encontrar correlaciones nulas, lo que indica la ausencia de cualquier tipo de relación entre las variables.

2.2.5.2. Coeficiente de correlación de Spearman

Según Spearman, C. (1904) el coeficiente de correlación de Spearman es una medida estadística diseñada para evaluar la relación entre dos variables. A diferencia del coeficiente de correlación de Pearson, este método no asume una relación lineal entre las variables. En lugar de



utilizar los valores reales de las observaciones, el coeficiente de correlación de Spearman se basa en los rangos de estas observaciones. A continuación, se proporciona una definición en conjunto con algunos de los nombres de autores asociados:

La propuesta inicial del coeficiente de correlación de Spearman se atribuye a Charles Spearman. Este coeficiente, de naturaleza no paramétrica, evalúa la relación monotónica entre dos variables sin imponer la restricción de linealidad que caracteriza al coeficiente de correlación de Pearson. En su enfoque, se asigna un rango a cada valor en ambas variables y se calcula la correlación entre estos rangos.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

2.3.1. Evaluación Espacio temporal

La "evaluación espaciotemporal" es el análisis y la comprensión de los patrones, cambios y relaciones de fenómenos o variables a lo largo del espacio y el tiempo. Esta evaluación implica examinar cómo ciertos eventos, características o fenómenos evolucionan, se distribuyen o se relacionan en diferentes ubicaciones geográficas a lo largo de un período temporal determinado (Goodchild, 1992).

2.3.2. Calidad de agua

El agua, al entrar en contacto con la atmósfera o la tierra, actúa como el disolvente principal en la naturaleza, incorporando una diversidad de elementos (gases, sales, minerales y microorganismos) que determinan sus propiedades, el término "calidad del agua" abarca las características inherentes al recurso hídrico en su estado original o modificado por su uso, representando el estado o condición



de la sustancia. Usualmente, se describe mediante indicadores o parámetros. (Saravia, 2007)

La calidad del agua se refiere a las características químicas, físicas y biológicas del agua, y depende del uso que se le va a dar. Para determinarla, se miden y analizan estos elementos, como la temperatura, el contenido mineral disuelto en ella y la cantidad de bacterias que tiene. La calidad general del agua se refiere a la suma de la aptitud para los distintos usos, de manera que una determinada masa de agua tiene más o mejor calidad cuantos más usos permita, Para analizar la calidad del agua, se deben tener en cuenta todo el proceso, desde su origen en embalses, ríos y pozos, hasta su llegada al consumidor a través de las redes de distribución correspondientes. Su objetivo primordial, según las pautas de la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 1988), es salvaguardar la salud pública al crear conciencia sobre los efectos nocivos que pueden derivarse de metales pesados, contaminantes orgánicos e inorgánicos, así como examinar la presencia de bacterias y microorganismos en el agua destinada al consumo humano. (Rojas, 2009)

Según Rodríguez (2011) señala que la calidad de los cuerpos de agua está directamente ligada a la calidad de los suelos de la cuenca adyacente, influenciada por las actividades humanas desarrolladas en dicha área. Esto indica que las propiedades físicas como el color y el olor, junto con las concentraciones de sustancias en el agua, están estrechamente relacionadas con la calidad de los suelos y las acciones llevadas a cabo por las personas en las cercanías de las fuentes de agua.



2.4. MARCO LEGAL

2.4.1. Constitución Política del Perú.

Artículo 2° Toda persona tiene derecho: Inc. 22. A la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.

Artículo 67° El Estado determina la política nacional del ambiente. Promueve el uso sostenible de sus recursos naturales.

2.4.2. Ley N°28611 – Ley General del Ambiente.

Artículo 1°. Del objetivo del presente Ley es la norma ordenadora del marco normativo legal para la gestión ambiental en el Perú. Establece los principios y normas básicas para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, así como el cumplimiento del deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país.

2.4.3. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua.

El Estándar de Calidad Ambiental – ECA para agua es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se



refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos.

2.4.4. Ley N°29338, Ley de Recursos Hídricos.

La Ley N°29338, también conocida como la Ley de Recursos Hídricos, es una legislación en Perú que regula la gestión, conservación y aprovechamiento de los recursos de agua en el país. Esta ley establece el marco legal para la administración sostenible de los recursos hídricos, definiendo los derechos y obligaciones de los usuarios, así como los principios, mecanismos y procedimientos para la planificación, protección y uso eficiente del agua. Además, busca asegurar la participación ciudadana en la gestión y administración de los recursos hídricos, promoviendo la equidad en su distribución y protegiendo la calidad del agua para diversos usos.

2.4.5. Decreto Supremo N°001-2010-AG, Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos.

El Decreto Supremo N°001-2010-AG complementa la Ley de Recursos Hídricos en Perú. Detalla las normas y procedimientos para la gestión sostenible del agua, abordando aspectos como la planificación de cuencas, el uso del recurso, derechos de aprovechamiento, control y protección de la calidad del agua, y la participación ciudadana en la gestión de estos recursos.

2.4.6. Resolución Jefatural N°010-2016-ANA, Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales.

La Resolución Jefatural N°010-2016-ANA establece un marco normativo que define un conjunto de pautas, procedimientos y estándares metodológicos



para realizar el monitoreo sistemático y uniforme de la calidad de los recursos hídricos superficiales en el territorio peruano. Este protocolo tiene como objetivo principal proporcionar directrices específicas para la evaluación de la calidad del agua en cuerpos superficiales, permitiendo una medición precisa y consistente de diversos parámetros que determinan la salud de estos recursos hídricos.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DE ÁMBITO DE ESTUDIO

3.1.1. Descripción de la cuenca Azángaro

La cuenca del río Azángaro, con 8800.86 km² de extensión y ubicada en la vertiente del Titicaca en la Cordillera Oriental del sur del Perú, es endorreica y forma parte de la región Puno. Sus afluentes principales, los ríos Crucero y Grande, nacen a altitudes significativas: 5825 m s.n.m. en los nevados de la Bella Durmiente (Rinconada) y a 5500 m s.n.m. en la parte alta de Nuñoa, en el límite político con Cusco en el nevado Olló Quenamari, respectivamente. La morfología de la cuenca es sinuosa y alargada, con valles profundos, pendientes pronunciadas y planicies extensas.

3.1.2. Ubicación geográfica

Se encuentra ubicada entre las coordenadas latitud sur 15°18'33.56" y 14°0'32.51", longitud oeste: 70°59'40.07" y 69°24'26.06" del meridiano de Greenwich; y en coordenadas UTM norte 8450367 y 8307420, este 284586 y 456282, ver Figura 1.

3.1.3. Ubicación Hidrográfica

La cuenca del río Azángaro se origina en la Cordillera Oriental de los Andes y está compuesta principalmente por los ríos Grande y Crucero. Con una longitud aproximada de 142 km y una pendiente de alrededor del 0.2 %, la cuenca exhibe un desarrollo longitudinal, siendo la parte alta y las quebradas que



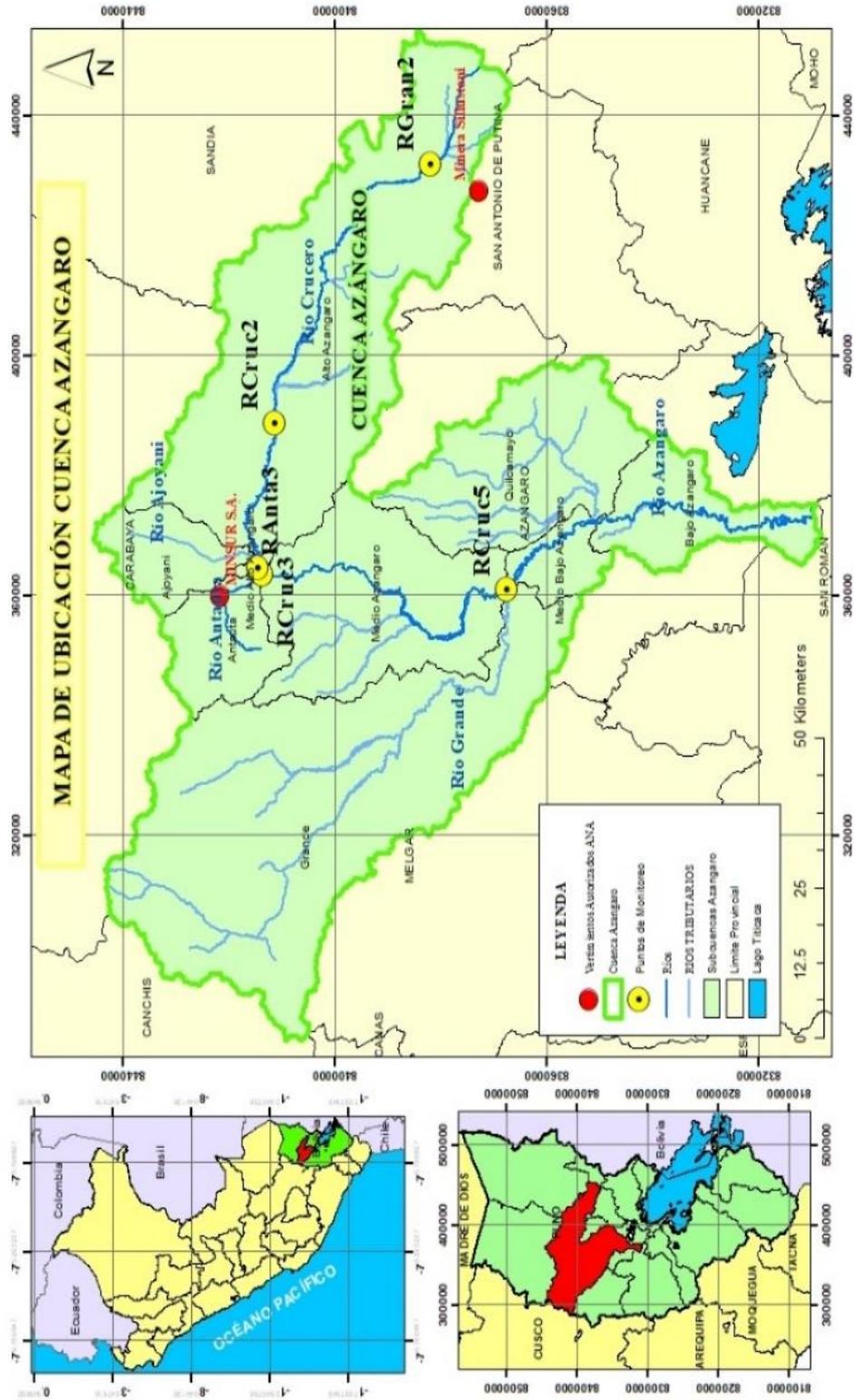
alimentan el cauce principal las zonas con mayor profundidad. El comportamiento del río Azángaro está estrechamente vinculado al entorno por el que fluye, siendo las pendientes determinantes en la formación de valles jóvenes donde el río está activamente erosionando. No obstante, las características del río Azángaro y sus afluentes principales también están influidas por las particularidades topográficas del terreno. Ver Figura 1.

3.1.4. Ubicación política

Políticamente se encuentra ubicada en el departamento de Puno, incluyendo a las provincias de Azángaro, Melgar, Carabaya, San Antonio de Putina, Sandía y Lampa. Ver Figura 1.

Figura 1

Ubicación del ámbito de estudio con los puntos de monitoreo





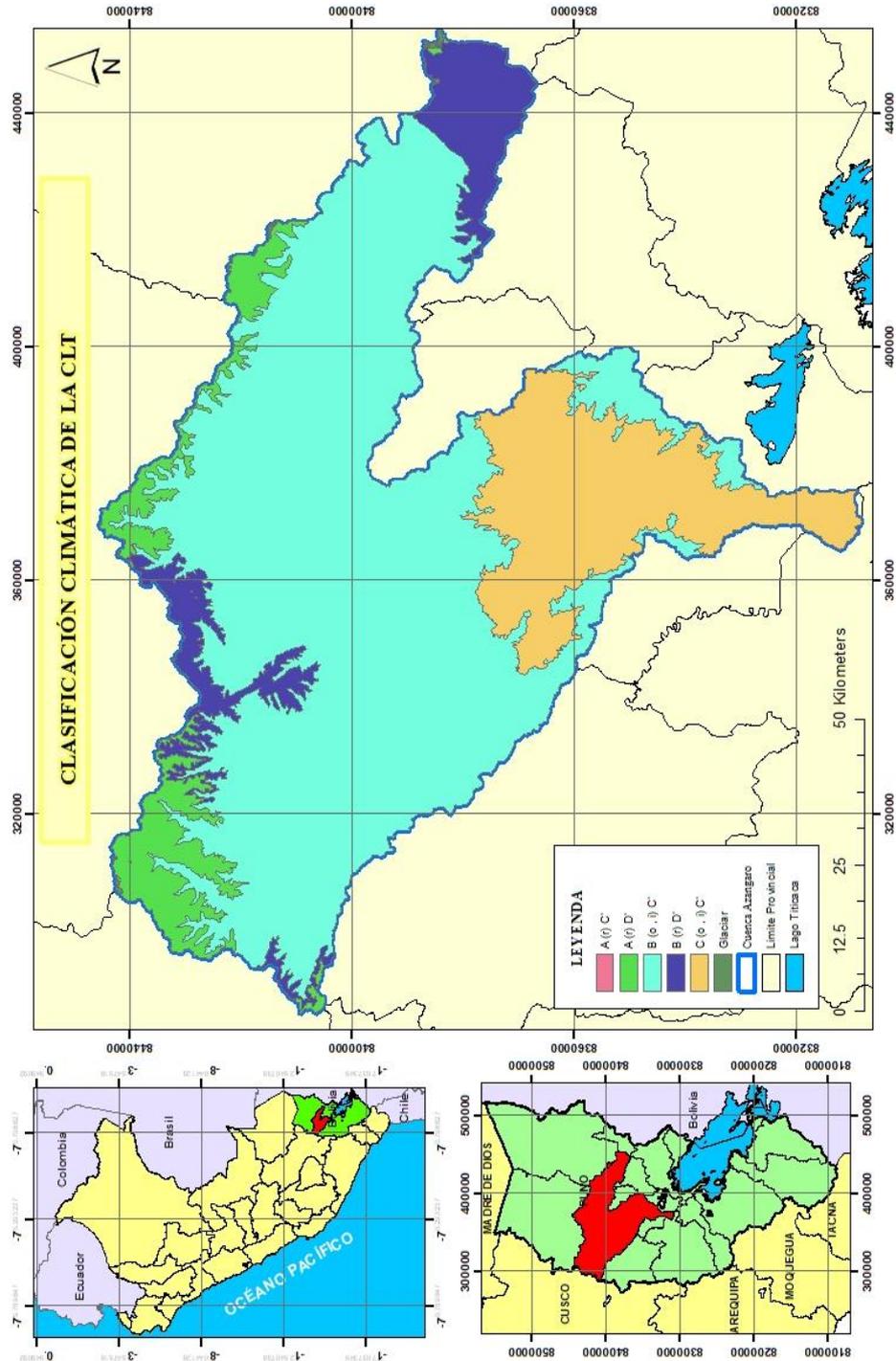
3.1.5. Aspectos climatológicos

La precipitación media anual varía entre 634.4 a 854.9 mm/año en la parte alta de la cuenca, mientras que en la parte baja se registra una precipitación media anual que oscila entre los 621.9 a 577 mm/año (Carpio et al.,2021). En la región de la cuenca del río Azángaro, se observan principalmente dos tipos de climas: el andino cálido-templado, caracterizado por su naturaleza desértica con moderada amplitud térmica, y el frío-húmedo en las áreas elevadas o la sierra.

En la Figura 2 se presenta la clasificaciones climáticas de la cuenca Azángaro A (r) C': Con abundante humedad en todas las estaciones (frío), A (r) D' Con abundante humedad en todas las estaciones (semifrío), B (o , i) C' Con otoño e invierno seco (frío), B (r) D' Con abundante humedad en todas las estaciones (semifrío) , C (o , i) C' Con otoño e invierno seco (frío) y Glaciar.

Figura 2

Clasificación climática de la Cuenca Azángaro





3.1.6. Vías de acceso

Para llegar a la cuenca La accesibilidad a esta área es de un recorrido por vía terrestre de aproximadamente 1355 km; el recorrido que se plantea es Lima - Arequipa, Arequipa – Juliaca y Juliaca – Azángaro.

3.1.7. Delimitación de la cuenca

La delimitación de la cuenca se realizó mediante el software ArcGIS 10.5 en función al punto de salida de cuenca. Gregory & Walling (1973) menciona que, las cuencas hidrográficas son sistemas que reciben materia y energía de los procesos endogenicos y la atmosfera. La delimitación de cuencas y subcuencas permitirá el cuidado óptimo de los recursos hídricos (Geraldí et al. (2010).

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de diseño no experimental, según Hernández (2016) en la investigación no experimental estamos más cerca de las variables formuladas hipotéticamente como reales y en consecuencia tenemos mayor validez externa posibilidad de generalizar los resultados a otros individuos y situaciones comunes. El tipo de investigación es de carácter descriptivo - explicativo porque mide o recolecta datos y alcanza información sobre diversos conceptos, variables, aspectos, dimensiones o componentes del problema a investigar (Hernández, 2016). El enfoque es cuantitativo ya que se evalúa las concentraciones de parámetros físicos, químico, metales pesados y microbiológicos presentes en las muestras de agua, mediante una comparación con la normativa ambiental vigente.



3.3. MATERIALES

Los materiales utilizados para el desarrollo de la investigación fueron los siguientes:

- Puntos de la red de monitoreo el cual divide a los ríos de la cuenca Azángaro en tramos.
- Puntos de la identificación de fuentes contaminantes de los ríos de la cuenca Azángaro y principales tributarios.
- Estándares de Calidad Ambiental del Agua del Decreto Supremo N°004-2017-MINAM.
- Resultados de los Monitoreos de Calidad de Aguas Superficiales realizados por la Autoridad Nacional del Agua, para el periodo del 2016 al 2023, en la cuenca Azángaro, en el departamento de Puno.
- Índice de Calidad de Agua de la Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: CCME WATER QUALITY INDEX 1.0.
- Índice de Metales Pesados (HPI), por sus siglas en inglés, Heavy Metals Pollution Index).
- Método estadístico de correlación de Spearman y Pearson entre los parámetros de campo,

3.4. RECOPIACIÓN DE DATOS:

3.4.1. Información Monitoreos ANA Perú

Se trabajó con los resultados de los monitoreos de la calidad del agua en la cuenca Azangaro de los años 2016 al 2023, realizados por la Autoridad Nacional del Agua y con los Estándares de Calidad Ambiental del Agua del Decreto Supremo N°004-2017-MINAM, el cual comprende cuatro categorías y catorce



subcategorías, así tenemos la Categoría 3 para riego de vegetales y bebidas de animales.

3.4.2. Información de datos hidrometeorológicos SENAMHI Perú

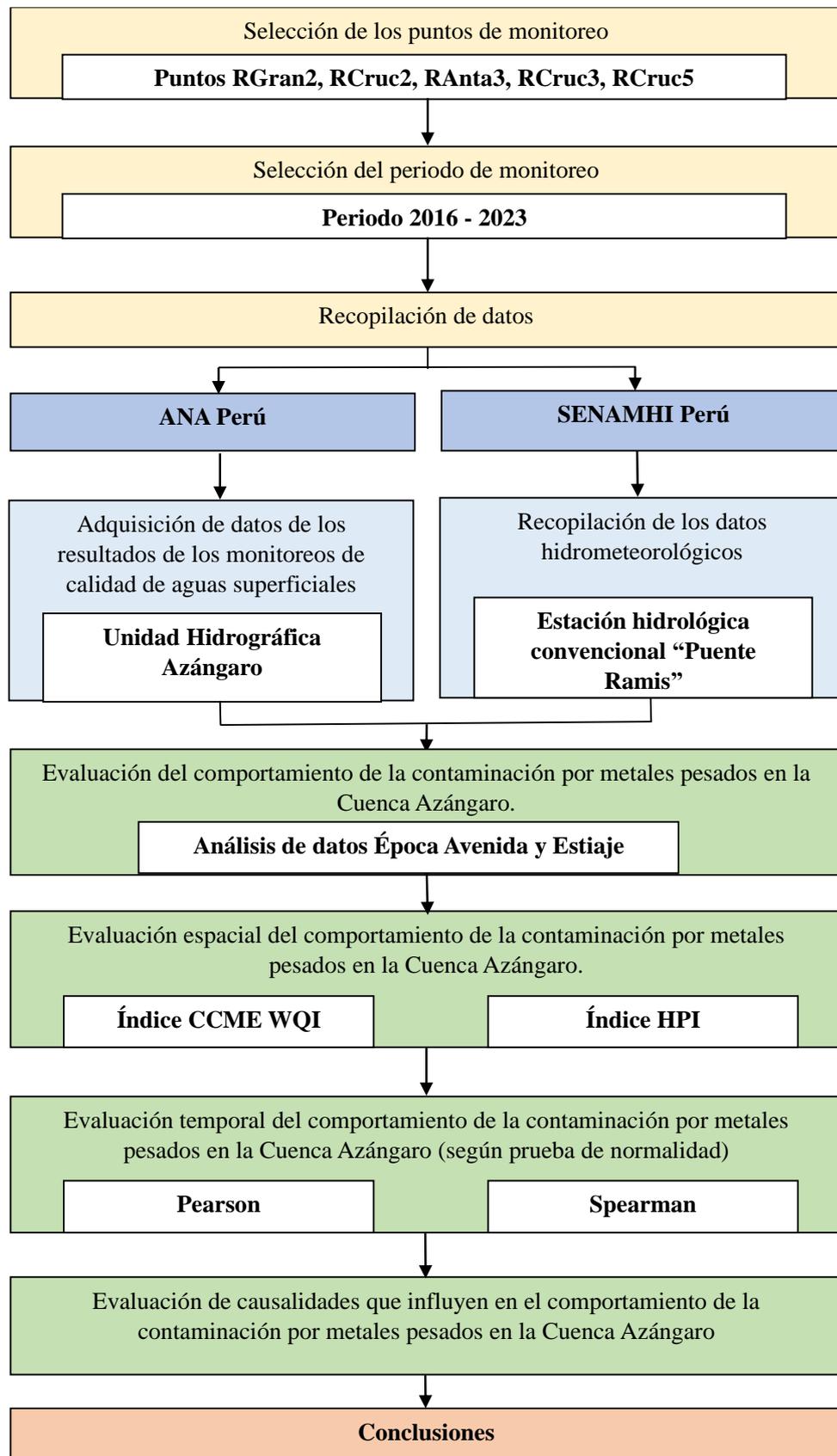
Se trabajó con los datos de caudales recopilados por la estación hidrológica convencional “Puente Ramis” durante el periodo 2016 al 2023.

3.5. METODOLOGÍA POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

La Figura 3 presenta el diagrama de procesos que se llevaron a cabo para alcanzar los objetivos establecidos en la investigación de tesis.

Figura 3

Diagrama del proceso metodológico





3.5.1. Evaluación del comportamiento espacio temporal de la contaminación por metales pesados en la cuenca Azángaro en el periodo de 2016-2023.

Para la evaluación del comportamiento de metales pesados se realizó la observación de la variación de cada parámetro tanto en época de avenida como de estiaje, correspondiente al punto de muestreo y año correspondiente respecto a los rangos estipulados en el ECA Agua Categoría 3 (Riego de vegetales y bebida de animales).

3.5.2. Evaluación espacial del comportamiento de la contaminación por metales pesados en la Cuenca Azángaro aplicando los índices de calidad CCME WQI y HPI

Para los cálculos del Índice de Calidad de Agua, se usó el ICA Canadiense (CCME WQI) y el Índice de Metales Pesados (HPI), se utilizó la red de monitoreo de la cuenca Azangaro el cual comprende 07 puntos o tomas de muestra, denominados RGran2, RCruc2, RAnta3, RCruc3, RCruc5 de acuerdo al siguiente orden:

- En el río Grande el punto RGran2, corresponde a la parte más alta de la cuenca Azangaro.
- En el río Antauta el punto RAnta3, en la parte final de la subcuenca Antauta.
- En el río Crucero los puntos RCruc2, RCruc3 y RCruc5, en la parte media y baja del río Crucero.

Se consideró la influencia del río tributario de la subcuenca Antauta como el Río Antauta en el punto RAnta3, en la Tabla 2 se observa la descripción de cada punto de monitoreo en la cuenca Azángaro.

Para la determinación del índice de calidad de agua e índice de contaminación de metales pesados se priorizaron los parámetros recomendados en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos superficiales de la Autoridad Nacional del Agua, el cual fue aprobado con la Resolución Jefatural N°010-2016-ANA.

Tabla 2

Red de Estaciones de Monitoreo de la Calidad de Agua Superficial

Ítem	Código Asignado	Descripción	Este	Norte	Altitud (m.s.n.m.)
1	RGran2	Río Grande, a 50 m aguas arriba del puente Chuquine.	432023	8382014	4481 m.s.n.m.
2	RCruc2	Río Crucero, a 100 m aguas arriba del puente colgante Crucero.	388910	8411341	4134 m.s.n.m.
3	RAnta3	Río Antauta, a 100m aguas arriba antes de la confluencia con el río Crucero	364624	8414698	4083 m.s.n.m.
4	RCruc3	Río Crucero, aproximadamente 100 m aguas arriba antes de la Bocatoma El Carmen	363671	8413795	4083 m.s.n.m.
5	RCruc5	Río Crucero, a 200m aguas arriba antes de la confluencia con el río Grande	361101	8367654	3879 m.s.n.m.

Nota: Adaptado de Resultados del Monitoreo de la calidad del agua Superficial en la unidad hidrográfica Azángaro, por ANA, 2016.



3.5.2.1. Determinación del nivel de Contaminación con el índice de calidad de agua Canadiense (CCME WQI).

Se empleó el índice de calidad del agua de Canadian Council Ministry of Environment – CCME (2001), un estándar reconocido a nivel mundial para la evaluación de la calidad del agua, especialmente aplicado a las fuentes de abastecimiento. La aplicación de este índice requiere el establecimiento de una red de monitoreo que incluya, como mínimo, la recopilación de datos de cuatro parámetros de calidad del agua en al menos cuatro momentos de monitoreo.

En el caso específico de la cuenca Azangaro, la evaluación del índice de calidad del agua se basó en la normativa establecida por la Resolución Jefatural N°202-2010-ANA de la Autoridad Nacional del Agua. Esta resolución clasifica los cuerpos de agua en distintas categorías, y para el presente estudio, nos enfocamos en la Categoría 3. En dicha Categoría, los parámetros considerados incluyen pH, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, aluminio, arsénico, cadmio, cobre, hierro, manganeso, plomo, zinc, coliformes termotolerantes y escherichia coli. Es importante destacar que, en el caso de que algún parámetro no haya sido registrado durante el monitoreo, este no fue considerado en la evaluación del índice.

En el cálculo del ICA CCME, para cada punto se analizaron 13 parámetros de calidad de agua, desde los años 2016 al 2023, lo que hace un total de 1104 parámetros revisados (incluyendo aquellos que no se tuvo resultados).



3.5.2.2. Determinación del nivel de contaminación con los valores del índice de calidad para metales pesados Heavy Metals Pollution Index (HPI).

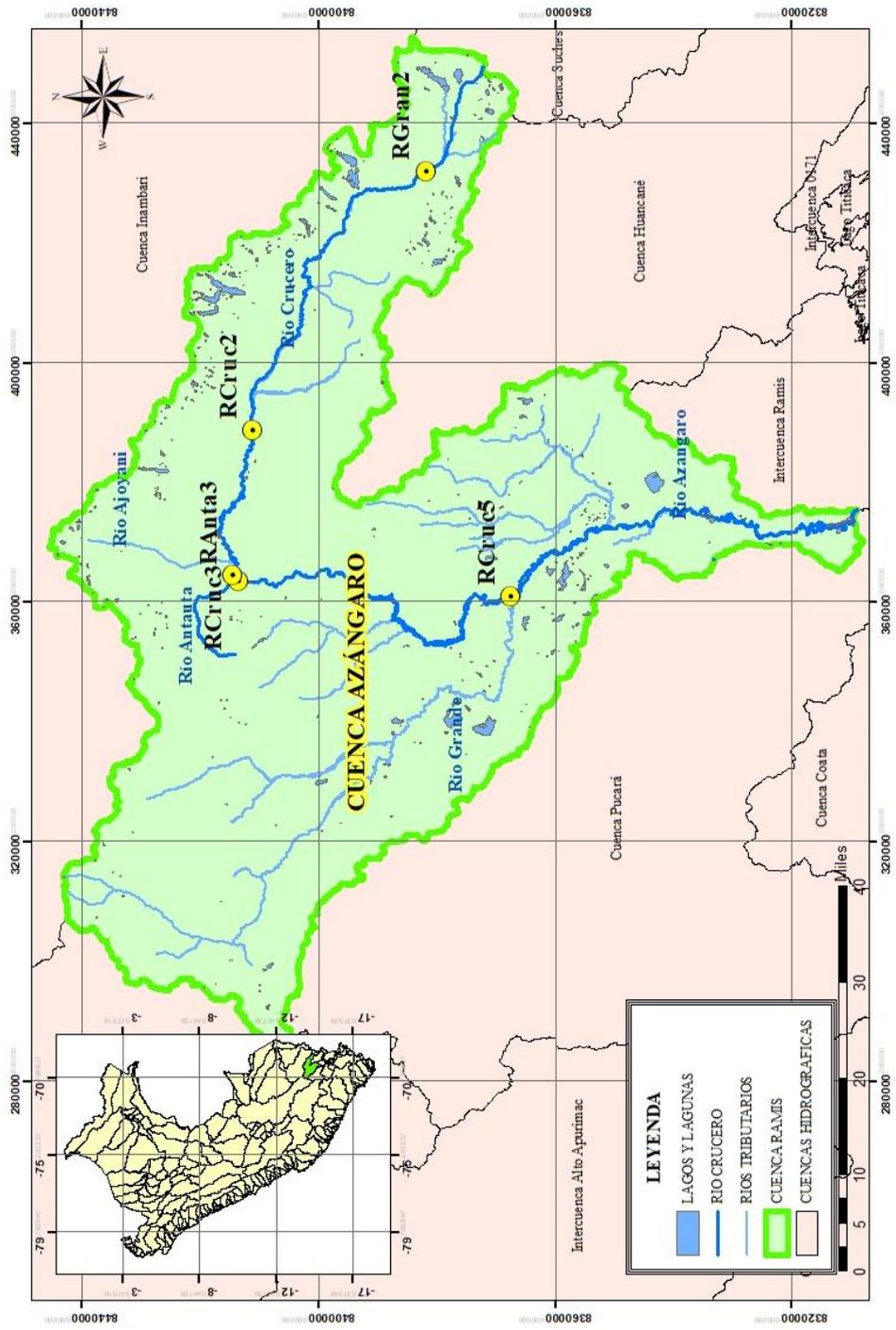
Se determinó el nivel de presencia de metales en la cuenca Azangaro mediante el uso del Índice de Metales Pesados HEAVY METALS POLLUTION INDEX (HPI), Se evaluaron aquellos metales que excedían los estándares ambientales del agua para su categoría específica. Se consideraron para la Categoría 3 los siguientes elementos: aluminio, arsénico, cadmio, cobre, hierro, manganeso, mercurio, plomo y zinc.

Para el cálculo del Índice de metales pesados HPI, se consideró 7 parámetros, detectados en los reportes de los monitoreos de la ANA.

Los puntos de la red de monitoreo se muestran en la Figura 5. la ubicación y descripción de cada punto de monitoreo, se precisó mediante coordenadas UTM (WGS 84).

Figura 4

Cuenca Azángaro, Ríos tributarios, Puntos de muestreo





3.5.3. Evaluación temporal del comportamiento de la contaminación por metales pesados en la Cuenca Azángaro aplicando el método estadístico de correlación de Pearson y Spearman.

Se llevó a cabo un análisis detallado y una interpretación exhaustiva de los parámetros, considerando tanto su evolución temporal como su distribución espacial. Este análisis se basó en los resultados previamente expuestos en los apartados anteriores.

3.5.3.1. Correlación entre las concentraciones de parámetros físico-químicos y metales totales.

Prueba de Normalidad

Primero, se llevó a cabo un análisis de normalidad mediante la formulación de hipótesis nula y alternativa para determinar la naturaleza de la distribución de los datos. Este procedimiento se estructuró de la siguiente manera:

Planteamiento de hipótesis de normalidad:

- H_0 : Los datos exhiben una distribución normal.
- H_a : Los datos no presentan una distribución normal.

Establecimiento del nivel de significancia:

- Nivel de Confianza: 95%
- Significancia (alfa): 5%

Criterio de decisión:



Si el valor de P es menor a 0.05, se rechaza H_0 y se acepta H_a , indicando que los datos no siguen una distribución normal. En consecuencia, se emplean pruebas NO PARAMÉTRICAS.

Si el valor de P es mayor a 0.05, se acepta H_0 y se rechaza H_a , concluyendo que los datos siguen una distribución normal. En este caso, se emplean pruebas PARAMÉTRICAS.

Seleccionamos el método Shapiro-Wilk porque el rango de datos es menor a 50 en donde para la correlación utilizaremos la de Spearman para los puntos RGran2, RAnta3, RCruc3, RCruc5 en épocas de avenida y estiaje y RCruc2-estiaje, porque no siguen una distribución normal los datos.

Después, se evaluaron mediante un análisis de correlación utilizando el método de Pearson para el punto RCruc2-avenida, con un nivel de significancia del 0.01. Se calcularon las matrices de correlación de Pearson para los datos de metales pesados y los parámetros in situ en cada punto de monitoreo ya que distribución es normal.

En los Anexos 1 al 11 se presentan las pruebas de normalidad y además las matrices de correlación de Spearman y Pearson correspondientes a los 176 conjuntos de datos de muestreo, entre 16 variables ordenadas de acuerdo a la clasificación propuesta: temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, pH, aluminio, arsénico, hierro, manganeso, mercurio y zinc (metales totales).



3.5.4. Evaluación de causalidades que influyen en el comportamiento de la contaminación por metales pesados en la Cuenca Azángaro.

La metodología para la evaluación de las causalidades que inciden en el comportamiento de la contaminación por metales pesados en la Cuenca Azángaro se inició con la visita a cada punto de monitoreo designado para este proyecto de investigación (Anexo 22 al 26). Posteriormente, se llevó a cabo una revisión bibliográfica y referencial exhaustiva, donde se analizaron las contribuciones de diferentes fuentes bibliográficas. El objetivo fue explorar y comprender las posibles causas subyacentes que podrían explicar la presencia de distintos parámetros asociados con los metales pesados en cada ubicación específica del cuerpo de agua dentro de la zona de intervención. Este enfoque metodológico proporcionó respuestas potenciales fundamentadas sobre el origen de estos fenómenos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESPACIO-TEMPORAL DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN LA CUENCA AZÁNGARO EN EL PERIODO DE 2016-2023.

Evaluación de la Tendencia

Punto RGran2

Se observa una superación consistente en estos parámetros, lo que sugiere una preocupación en términos de la calidad ambiental en esa región específica. Esta situación puede tener diversas implicaciones, desde impactos en la salud hasta posibles efectos en los ecosistemas acuáticos locales. Es crucial considerar acciones y estrategias para abordar y mitigar estos excesos, ya que podrían tener consecuencias significativas para el entorno y la salud pública.

Figura 5

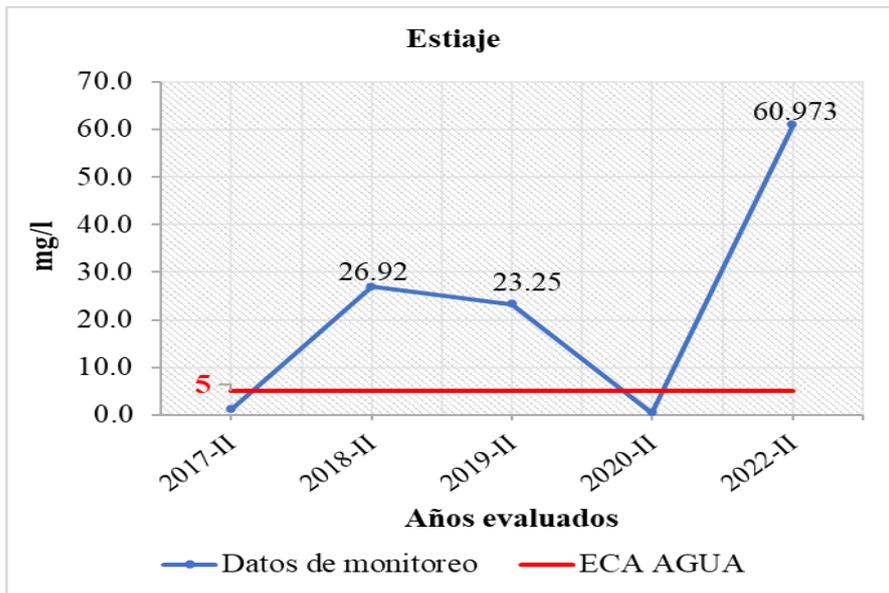
Análisis de tendencia de Aluminio en RGran2 en época de avenida.



Nota: En aluminio en la mayoría de los años pasa el límite de estándares de calidad ambiental ECA agua el punto más alto se registró en el 2021. Los puntos en los que cumple los ECA agua son los años 2017-I.

Figura 6

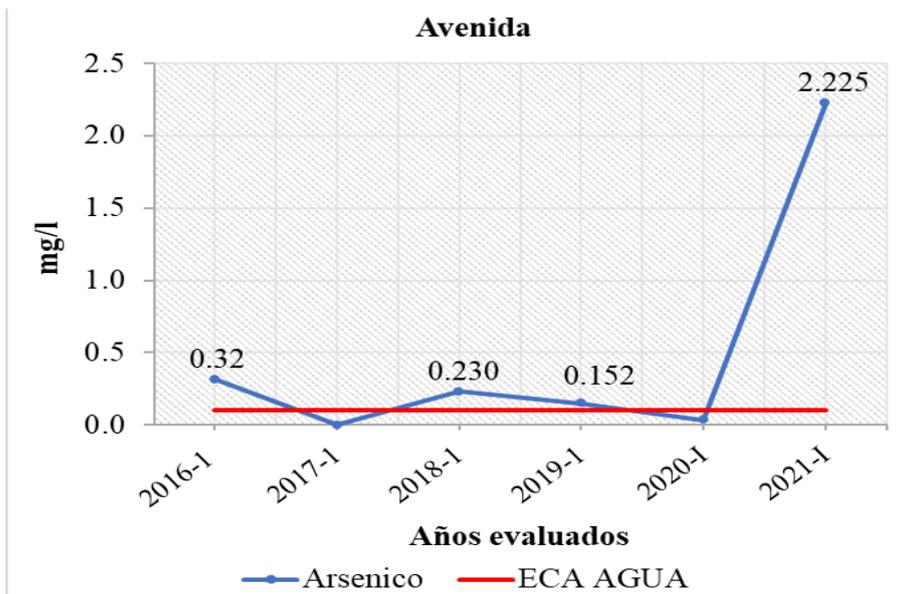
Análisis de tendencia de Aluminio en RGran2 en época de estiaje.



Nota: El aluminio en la época de estiaje pasa el límite de estándares de calidad ambiental ECA agua el punto más alto se registró en el 2022-II. Los puntos en los que cumple los ECA agua son los años 2017-II y 2020-II.

Figura 7

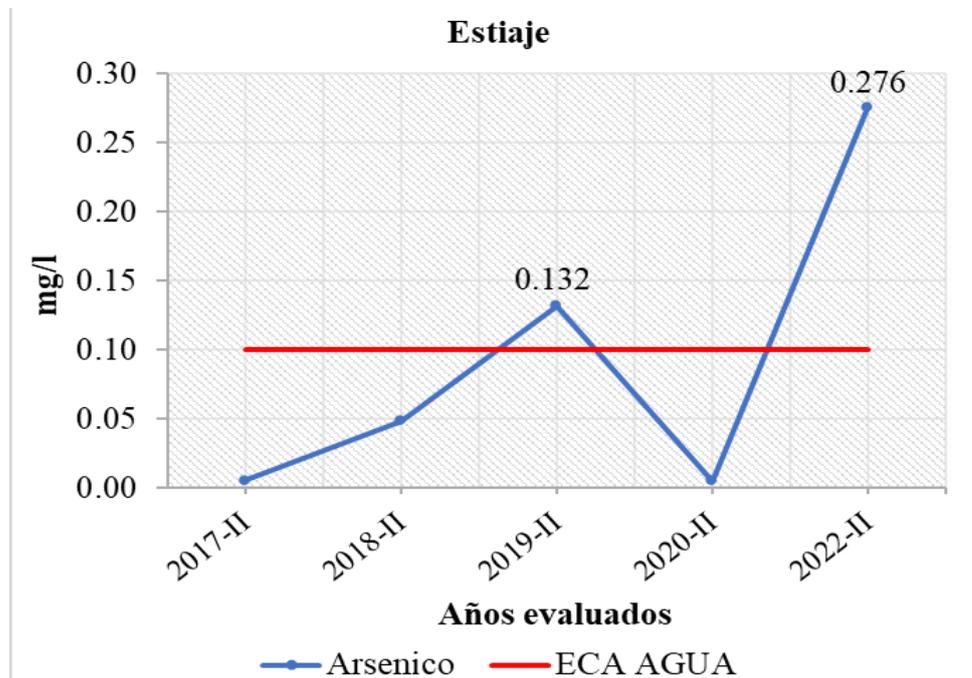
Análisis de tendencia de Arsénico en RGran2 en época de avenida.



Nota: El Arsénico es un metal que a nivel de este punto en la mayoría de los años en época de avenida pasa los valores permitidos tales como en los años 2016-I, 2018-I, 2019-I y 2021-I.

Figura 8

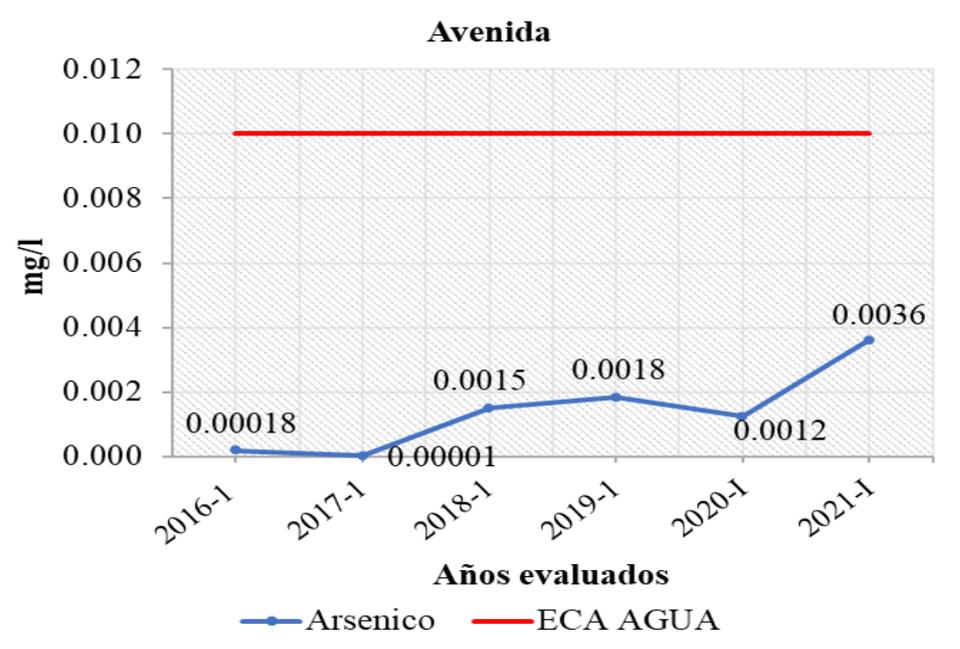
Análisis de tendencia de Arsénico en RGran2 en época de estiaje.



Nota: El arsénico en la mayoría de los años cumple los estándares de calidad ambiental del agua solo en los años 2019-II y 2022-II está en los valores no permitidos en épocas de estiaje.

Figura 9

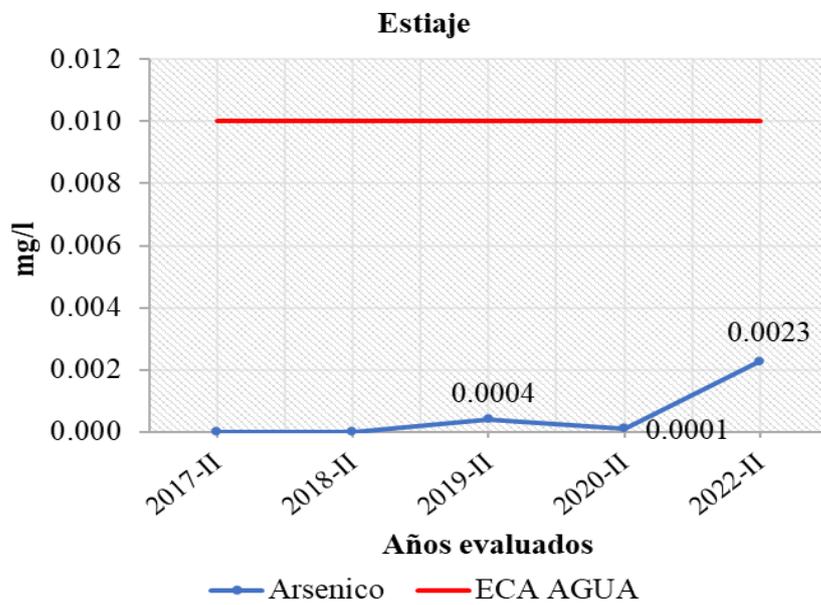
Análisis de tendencia de Cadmio en RGran2 en época de avenida.



Nota: El cadmio en todos los años cumple los estándares de calidad ambiental del agua solo y está en los valores permitidos en épocas de avenida.

Figura 10

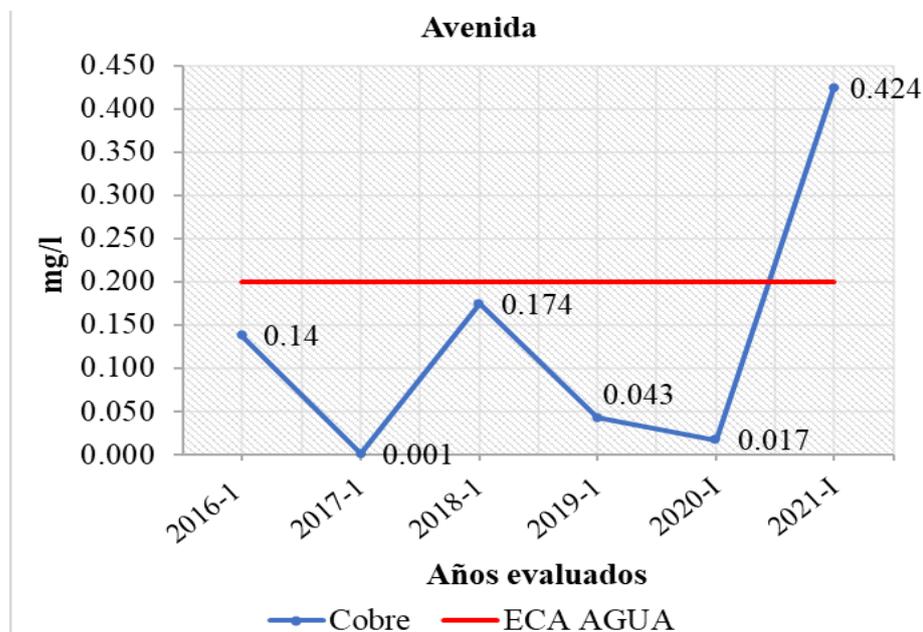
Análisis de tendencia de Cadmio en RGran2 en época de estiaje.



Nota: El cadmio en la mayoría de los años cumple los estándares de calidad ambiental del agua está en los valores permitidos en épocas de estiaje.

Figura 11

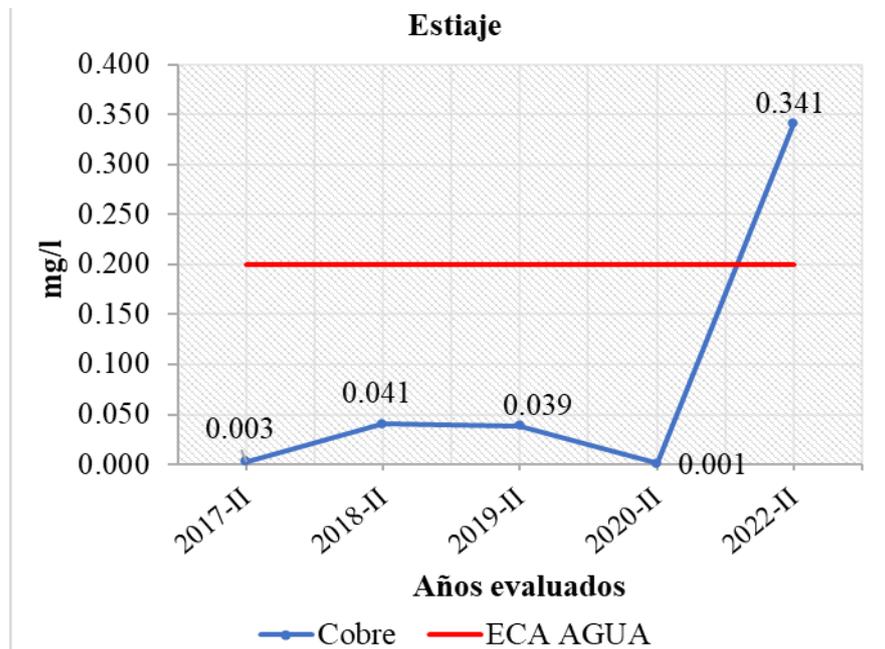
Análisis de tendencia de Cobre en RGran2 en época de avenida.



Nota: El cobre en la mayoría de los años cumple los estándares de calidad ambiental del agua solo en el año 2021-I está en los valores no permitidos en épocas de avenida.

Figura 12

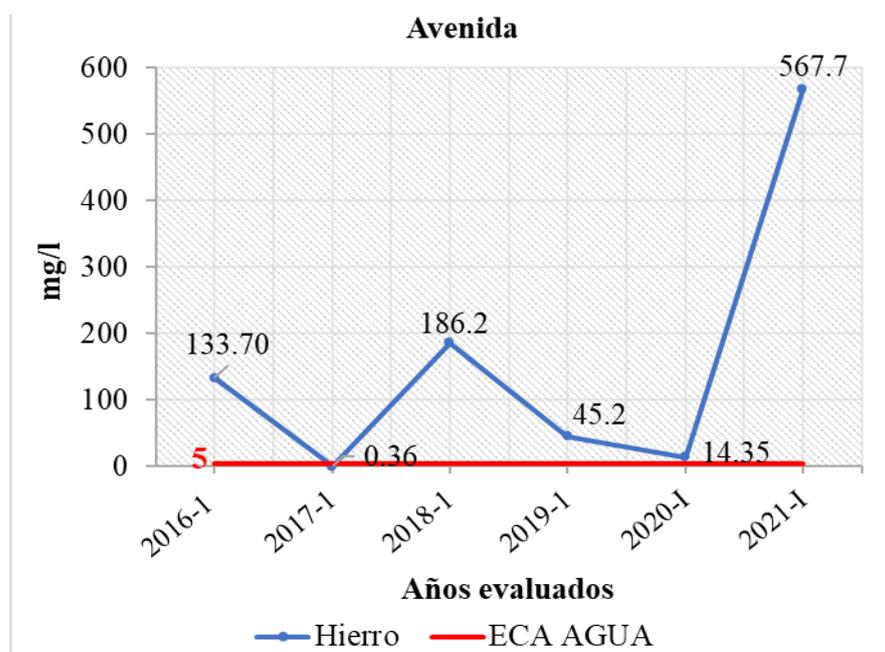
Análisis de tendencia de Cobre en RGran2 en época de estiaje.



Nota: El cobre en la mayoría de los años cumple los estándares de calidad ambiental del agua solo en el año 2022-II está en los valores no permitidos en épocas de estiaje.

Figura 13

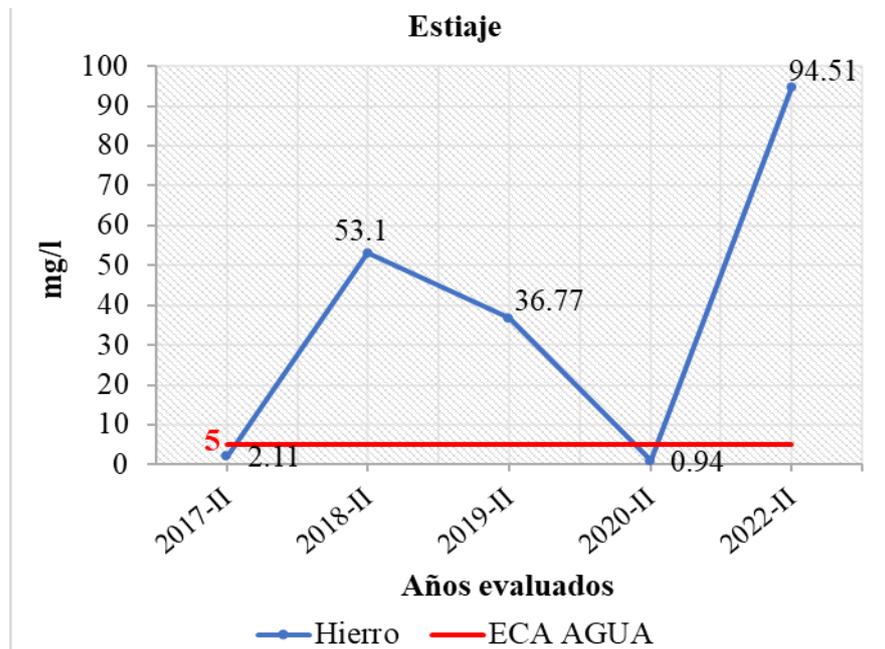
Análisis de tendencia de Hierro en RGran2 en época de avenida



Nota: El hierro en este punto pasan los valores permitidos según el ECA-Agua en los años 2016-I, 2018-I, 2019-I, 2020-I y 2021-I en los demás están en los valores permitidos en época de avenida.

Figura 14

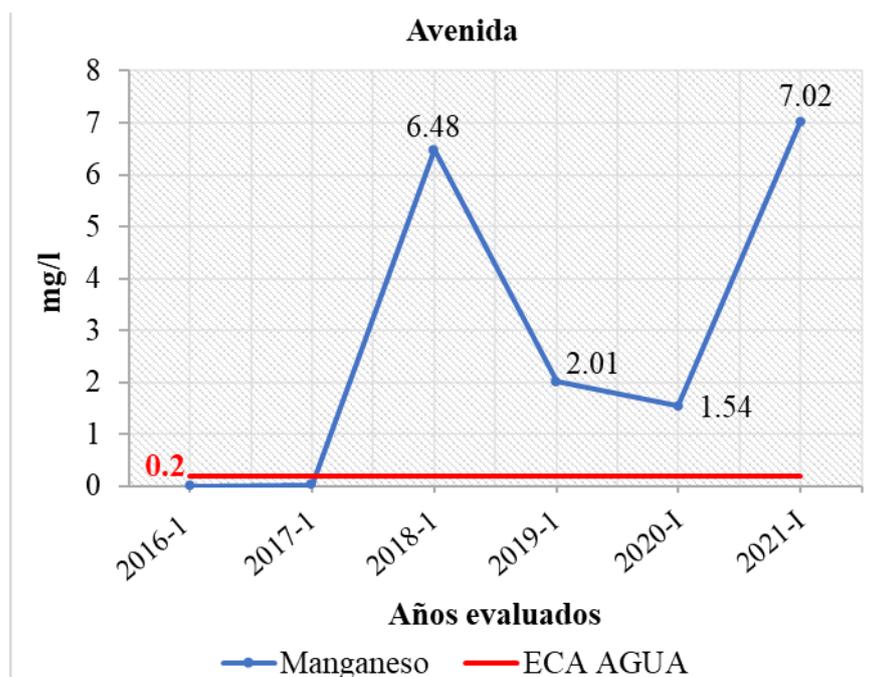
Análisis de tendencia de Hierro en RGran2 en época de estiaje



Nota: El hierro como al igual que otros parámetros pasa los valores permitidos del ECA-agua en los años 2018-II, 2019-II, y 2022-II en época de estiaje.

Figura 15

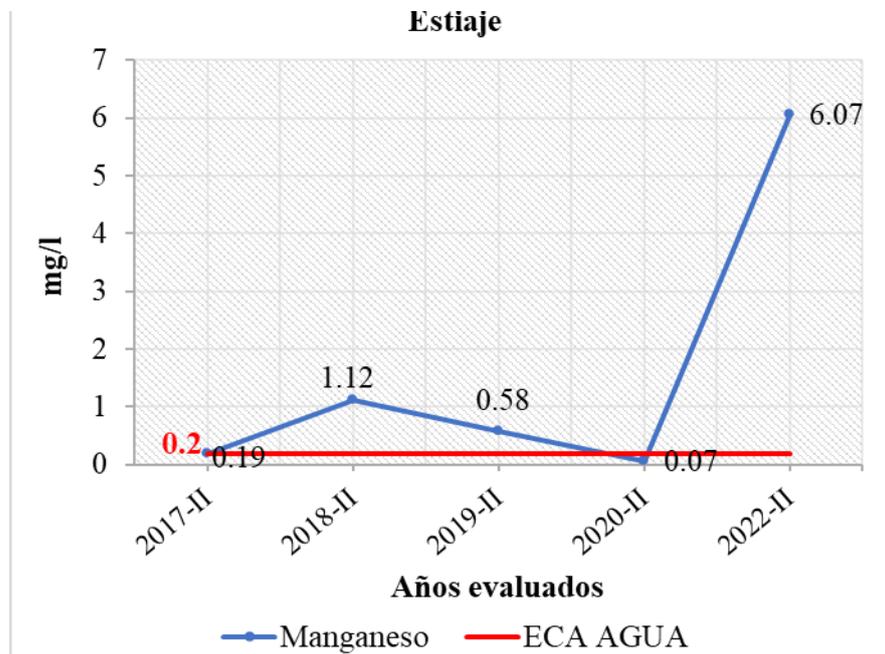
Análisis de tendencia de Manganeso en RGran2 en época de avenida.



Nota: En cuanto al manganeso al igual que otros parámetros pasa los valores permitidos del ECA-agua en los años 2018-I, 2019-I, 2020-I y 2021-I en época de avenida.

Figura 16

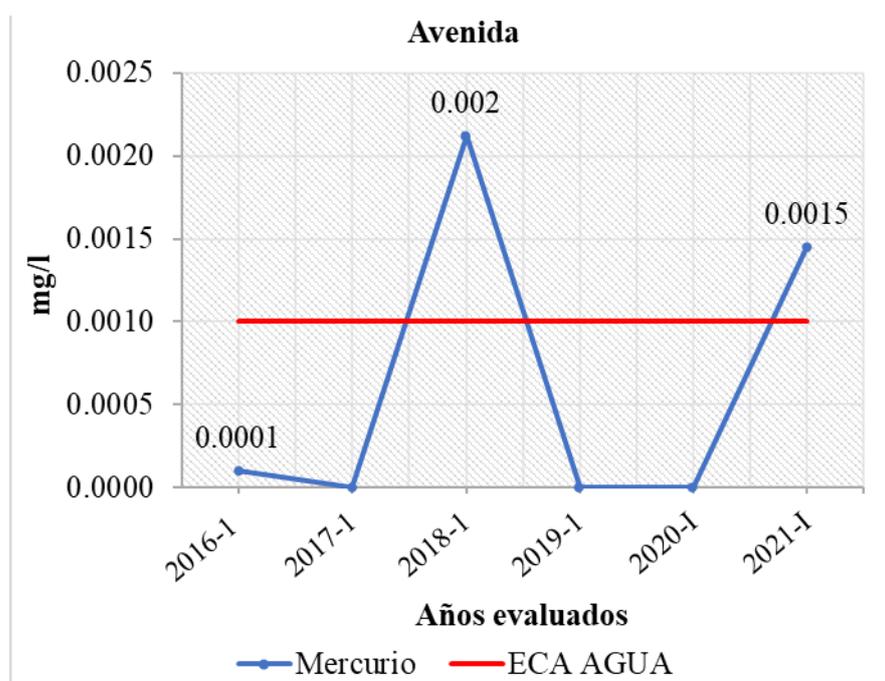
Análisis de tendencia de Manganeso en RGran2 en época de estiaje.



Nota: En cuanto al manganeso al igual que otros parámetros pasa los valores permitidos del ECA-agua en los años 2018-II, 2019-II y 2022-II en época de estiaje.

Figura 17

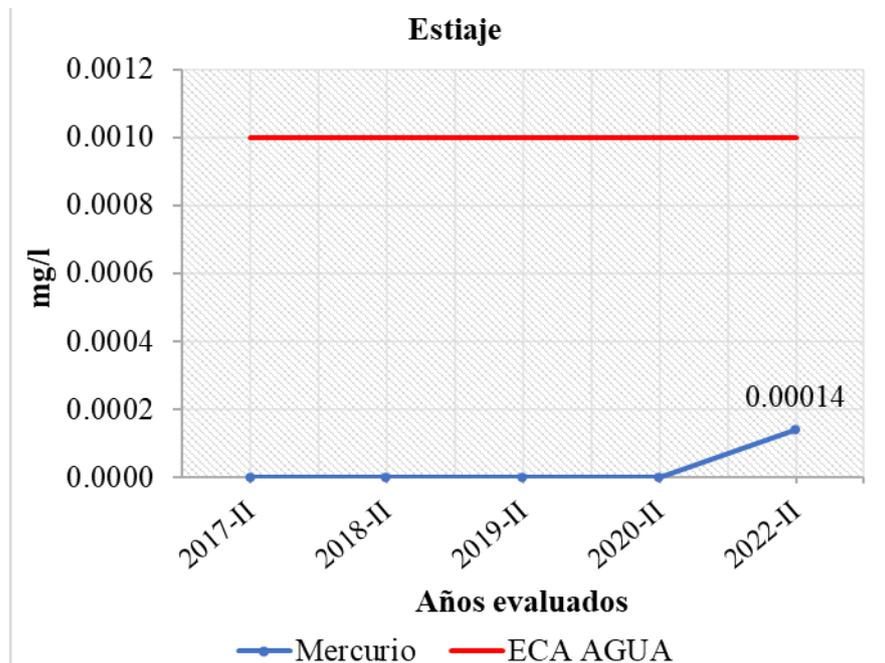
Análisis de tendencia de Mercurio en RGran2 en época de avenida.



Nota: En cuanto al mercurio se observa en el gráfico en la mayoría de los años cumple los valores establecidos en el ECA- agua excepto en los años 2018-I y 2021-I en época de avenida.

Figura 18

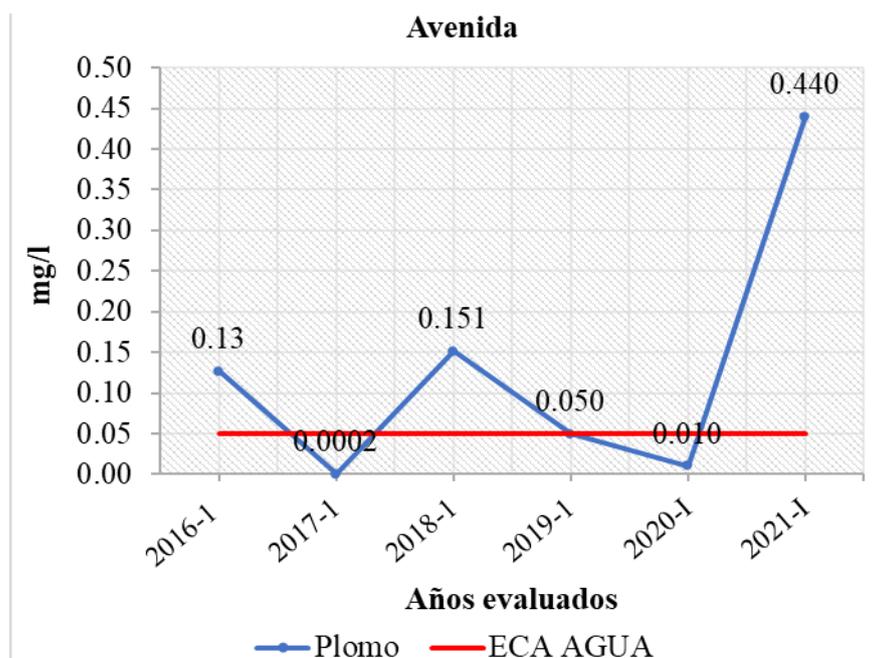
Análisis de tendencia de Mercurio en RGran2 en época de estiaje.



Nota: En cuanto al mercurio se observa en el grafico en todos los años cumple los valores establecidos en el ECA- agua excepto en época de estiaje.

Figura 19

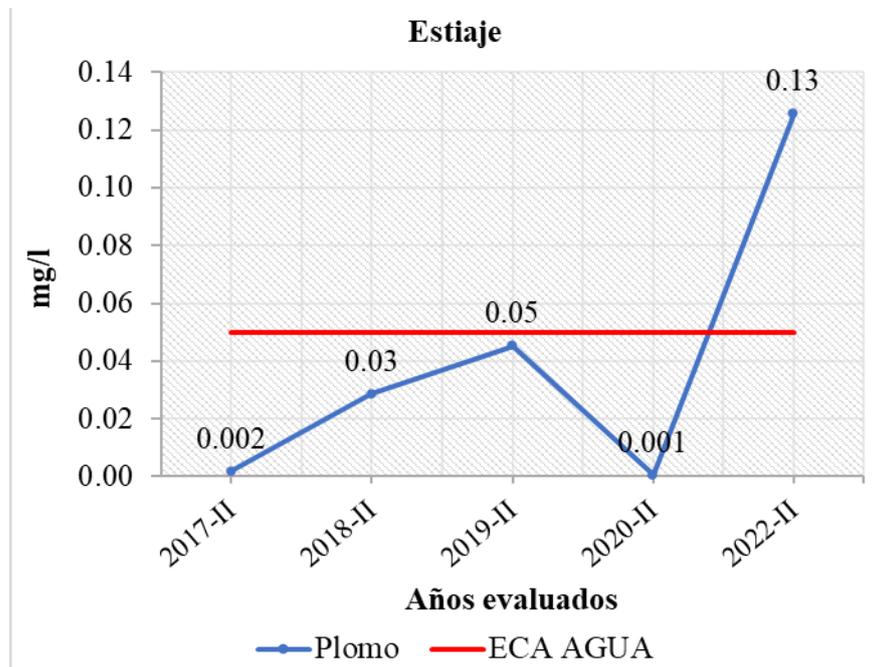
Análisis de tendencia de Plomo en RGran2 en época de avenida.



Nota: El plomo como al igual que los demás en algunos años pasa los límites permitidos tales en los años 2016-I, 2018-I y 2021-I en época de avenida

Figura 20

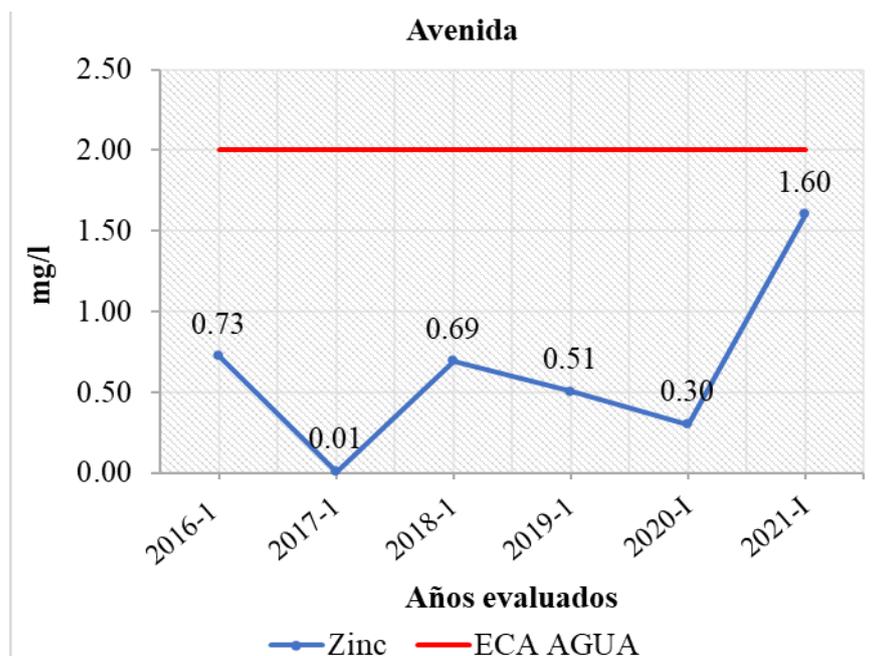
Análisis de tendencia de Plomo en RGran2 en época de estiaje.



Nota: El plomo como al igual que los demás en solo un año pasa los límites permitidos (2022-II) en la época de estiaje.

Figura 21

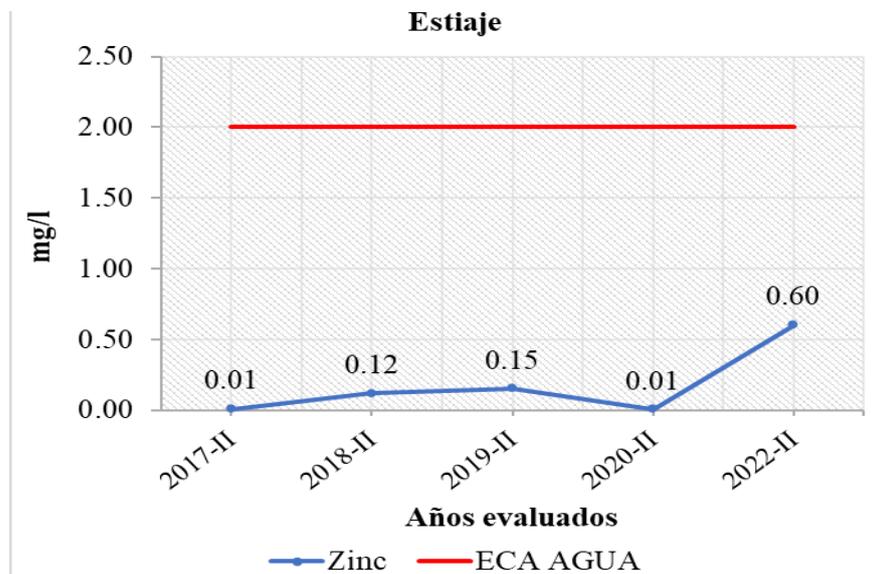
Análisis de tendencia de Zinc en RGran2 en época de avenida.



Nota: El zinc en época de avenida cómo se observa en el gráfico en todos los años cumple los valores establecidos en el ECA- agua.

Figura 22

Análisis de tendencia de Zinc en RGran2 en época de estiaje.



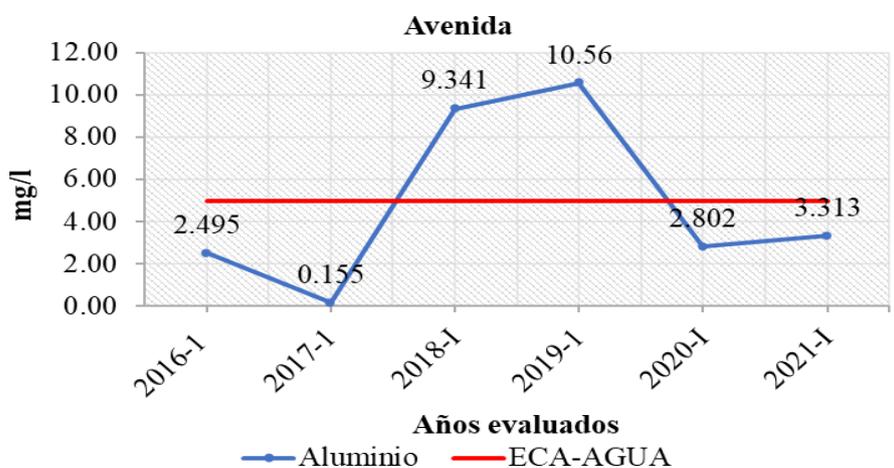
Nota: El zinc en época de estiaje cómo se observa en el gráfico en todos los años cumple los valores establecidos en el ECA- agua.

Punto RCruc2

En el punto de monitoreo RCruc2 los parámetros inorgánicos estudiados en la mayoría de los años pasan el límite de los estándares de calidad ambiental- agua como vemos a continuación en los gráficos presentados.

Figura 23

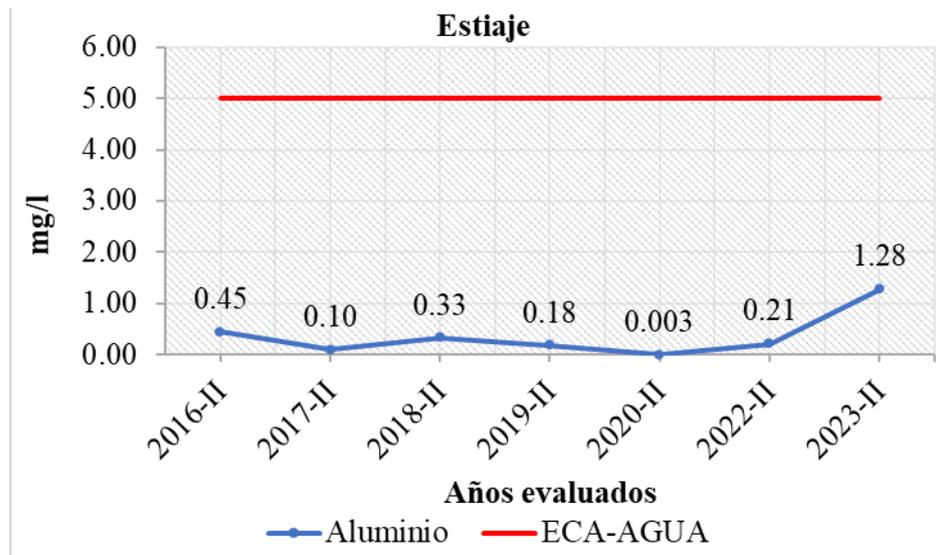
Análisis de tendencia de Aluminio en RCruc2 en época de avenida.



Nota: El nivel de aluminio excede los estándares de calidad ambiental ECA-agua, alcanzando su punto más alto en los años 2018-I y 2019-I en época de avenida.

Figura 24

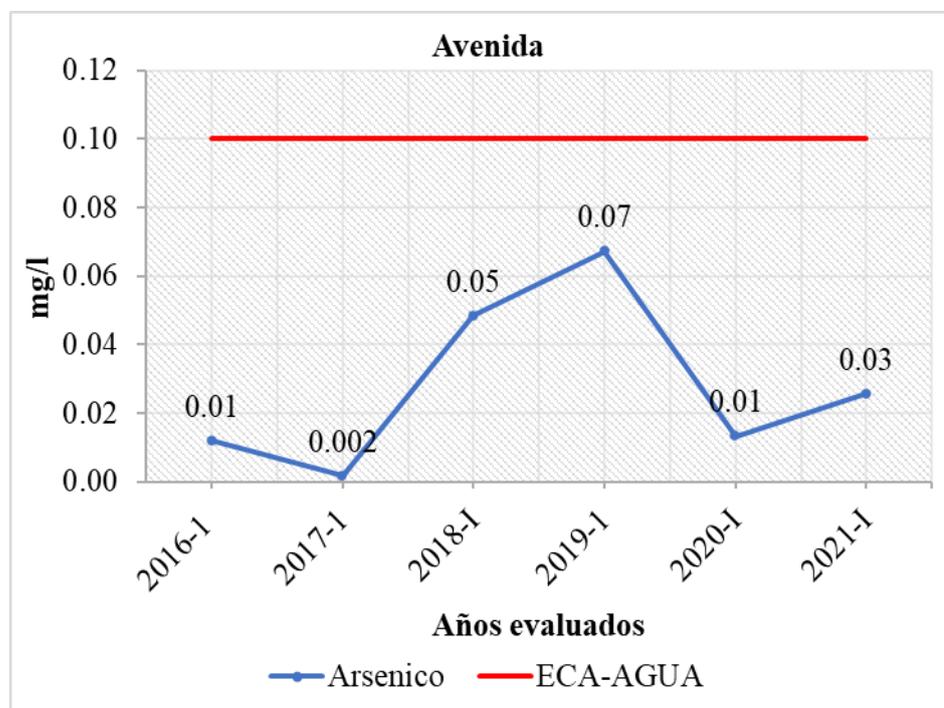
Análisis de tendencia de Aluminio en RCruc2 en época de estiaje.



Nota: El nivel de aluminio no excede los estándares de calidad ambiental ECA-agua en la época de estiaje.

Figura 25

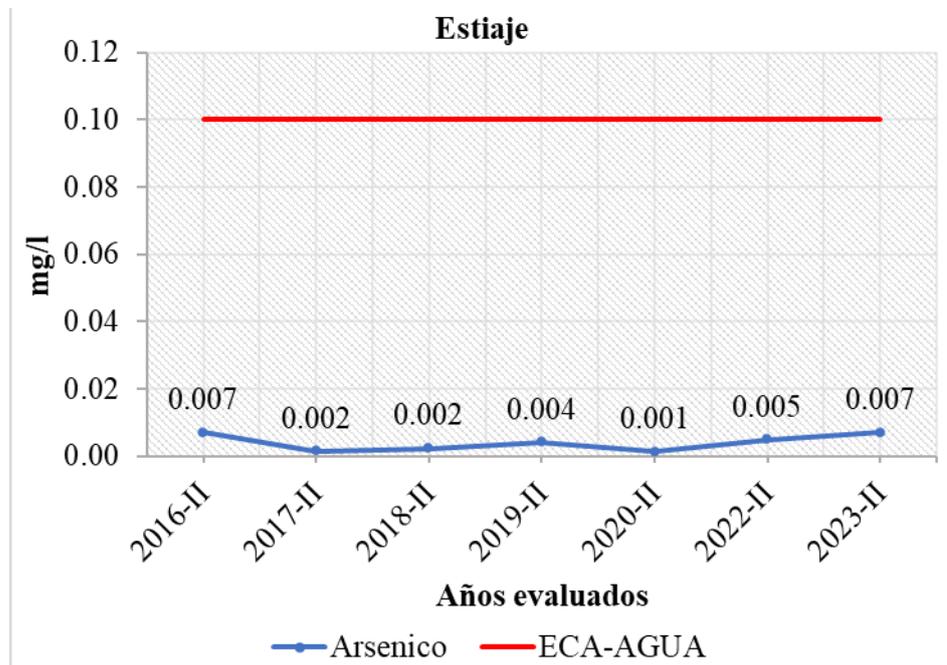
Análisis de tendencia de Arsénico en RCruc2 en época de avenida.



Nota: El arsénico, en este punto, no supera los valores permitidos en el ECA-agua, como se evidencia en la figura en época de avenida.

Figura 26

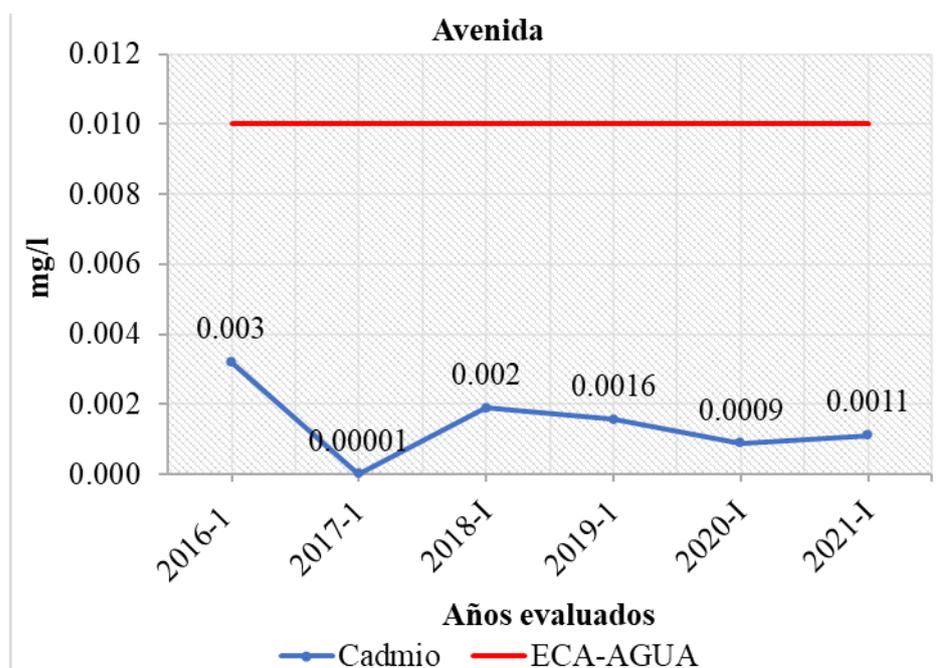
Análisis de tendencia de Arsénico en RCruc2 en época de estiaje.



Nota: El arsénico, en este punto, no supera los valores permitidos en el ECA-agua, como se evidencia en la figura en época de estiaje.

Figura 27

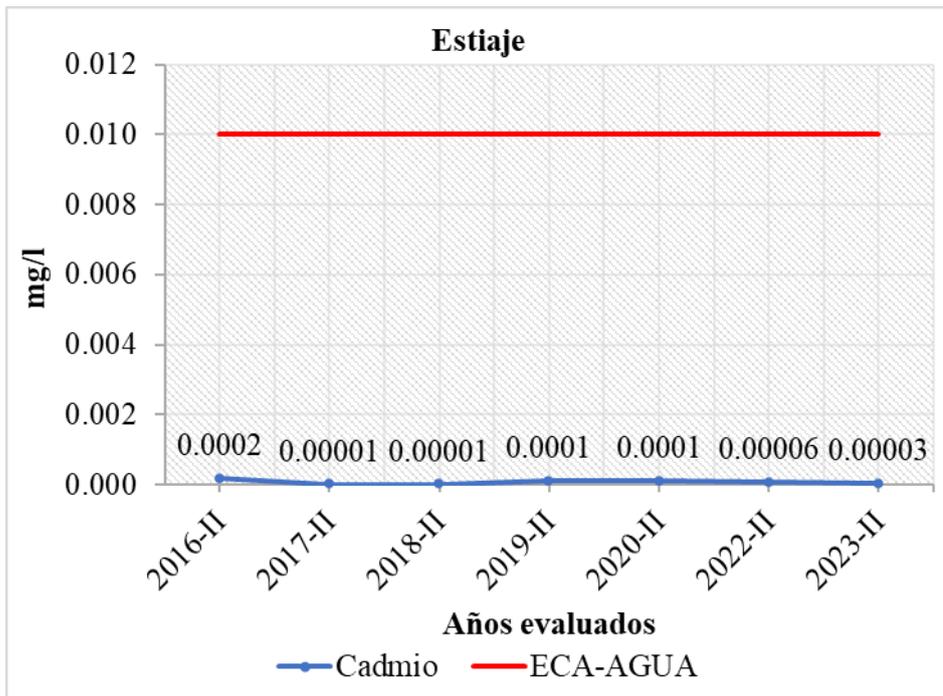
Análisis de tendencia de Cadmio en RCruc2 en época de avenida.



Nota: El cadmio en todos los años cumple con los estándares de calidad ambiental del agua en época de avenida.

Figura 28

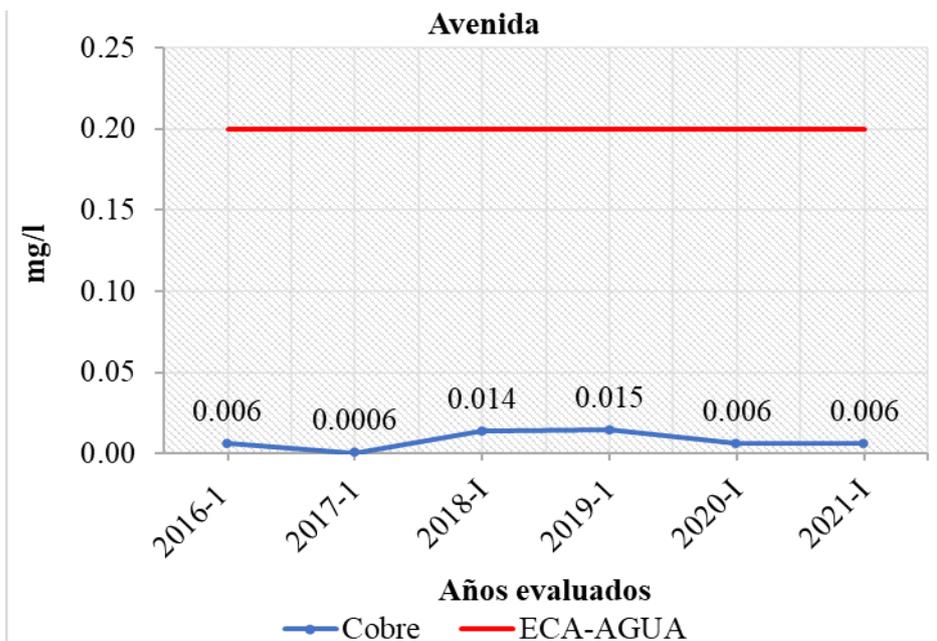
Análisis de tendencia de Cadmio en RCruc2 en época de estiaje.



Nota: El cadmio en todos los años cumple con los estándares de calidad ambiental del agua en época de estiaje.

Figura 29

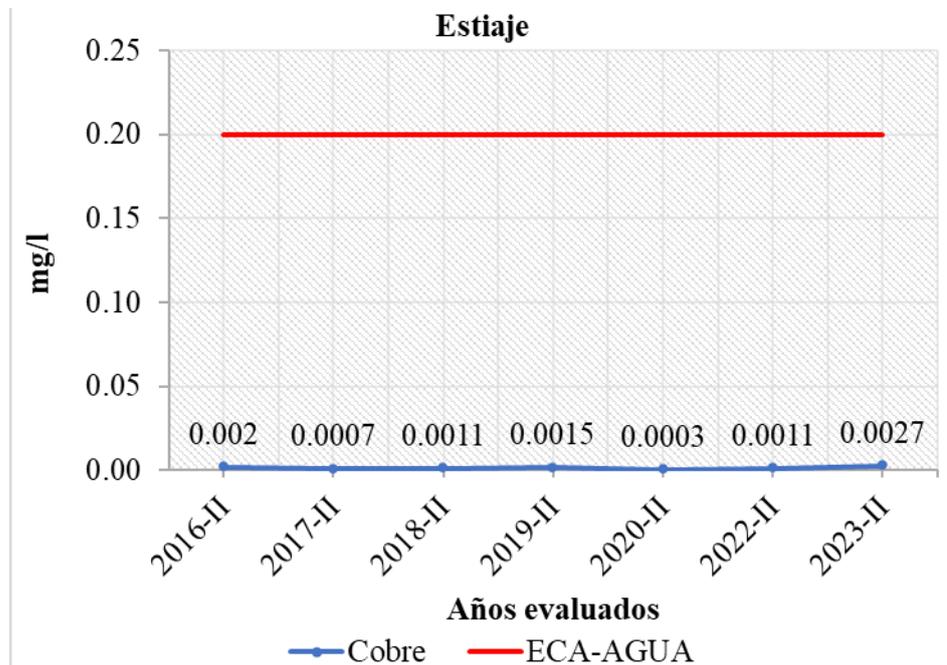
Análisis de tendencia de Cobre en RCruc2 en época de avenida.



Nota: El cobre en todos los años cumple con los estándares de calidad ambiental del agua en época de avenida.

Figura 30

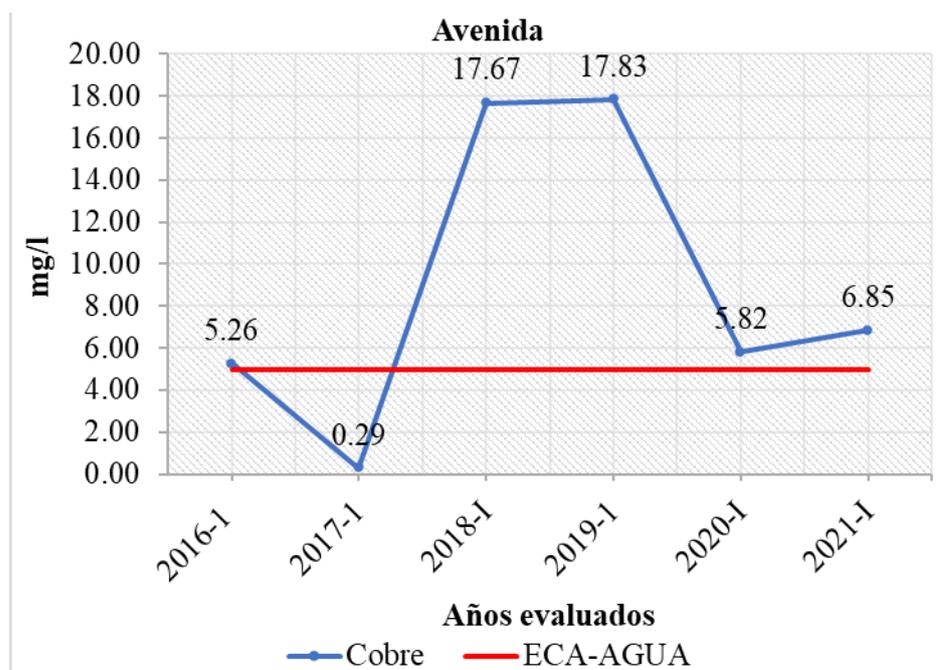
Análisis de tendencia de Cobre en RCruc2 en época de estiaje.



Nota: El cobre en todos los años cumple con los estándares de calidad ambiental del agua en época de estiaje.

Figura 31

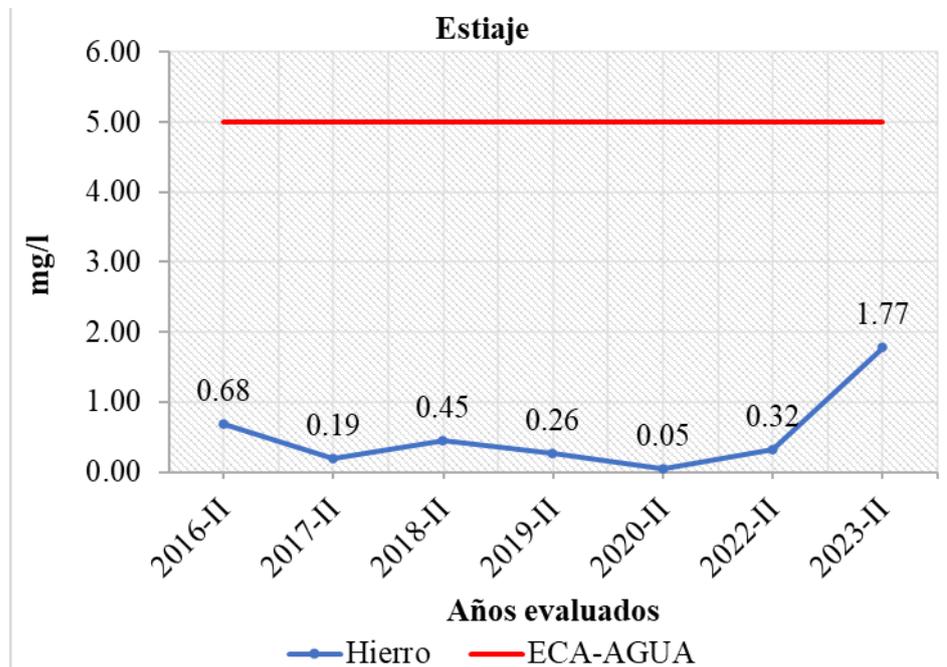
Análisis de tendencia de Hierro en RCruc2 en época de avenida.



Nota: El hierro, al igual que otros parámetros sobrepasa los valores permitidos del ECA-agua en los años 2018-I, 2019-I, 2020-I y 2021-I en época de avenida.

Figura 32

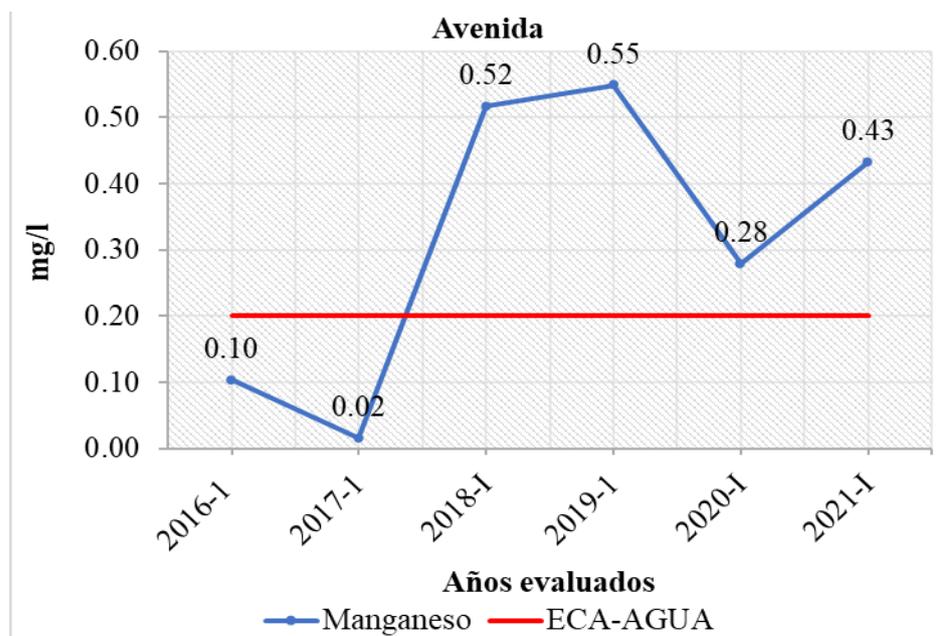
Análisis de tendencia de Hierro en RCruc2 en época de estiaje.



Nota: El hierro, al igual que otros parámetros no sobrepasa los valores permitidos del ECA-agua en época de avenida.

Figura 33

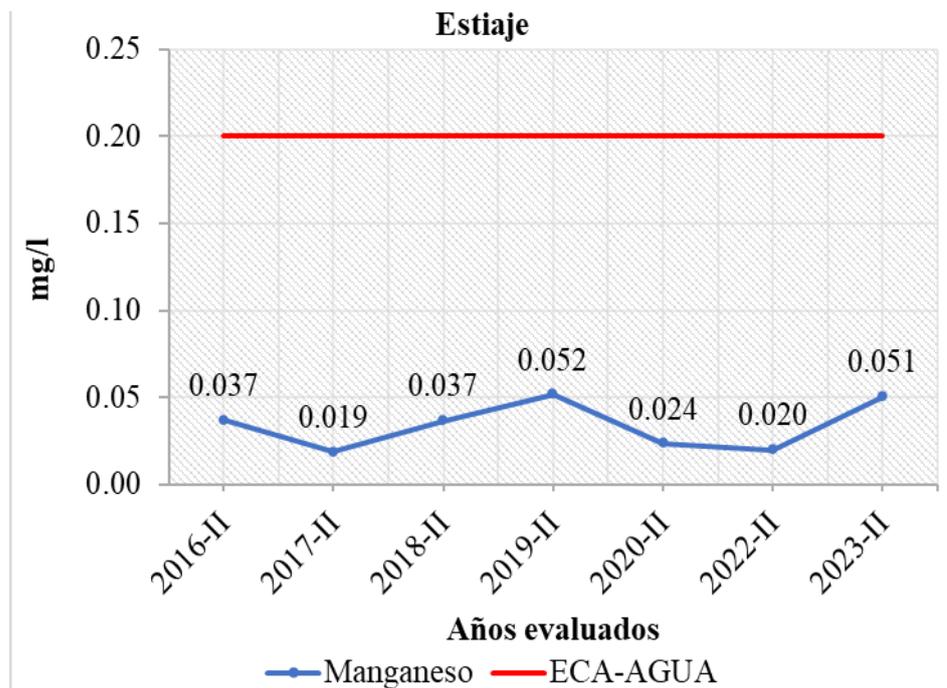
Análisis de tendencia de Manganeso en RCruc2 en época de avenida



Nota: El manganeso, similar a otros parámetros sobrepasa los valores permitidos del ECA-agua en los años 2018-I, 2019-I, 2020-I y 2021-I en los demás los años analizados cumple con los valores permitidos del ECA-agua en época de avenida.

Figura 34

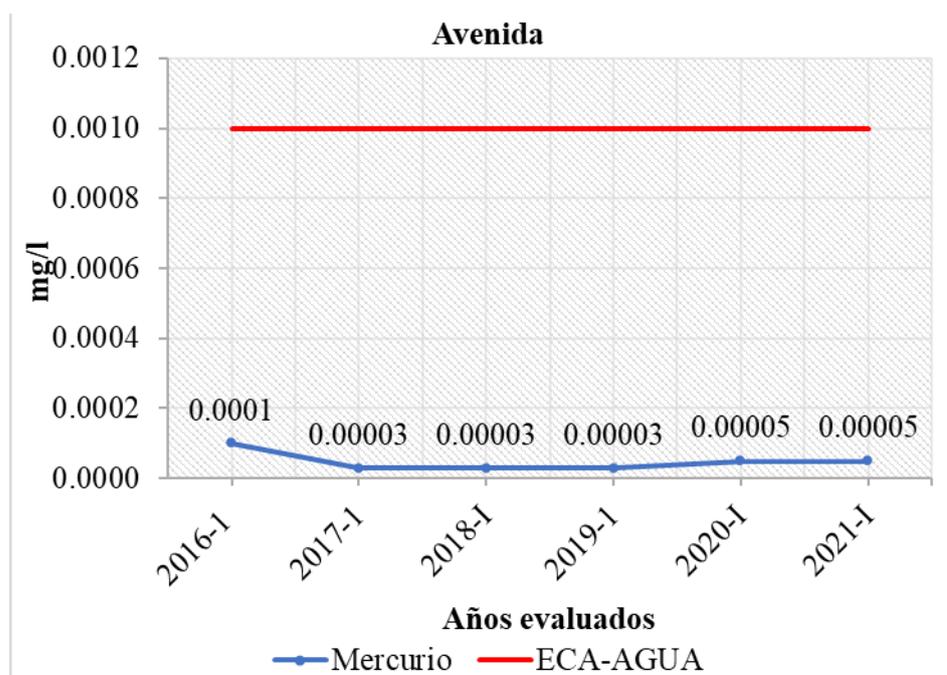
Análisis de tendencia de Manganeso en RCruc2 en época de estiaje



Nota: El manganeso, similar a otros parámetros no sobrepasa los valores permitidos del ECA-agua en época de estiaje.

Figura 35

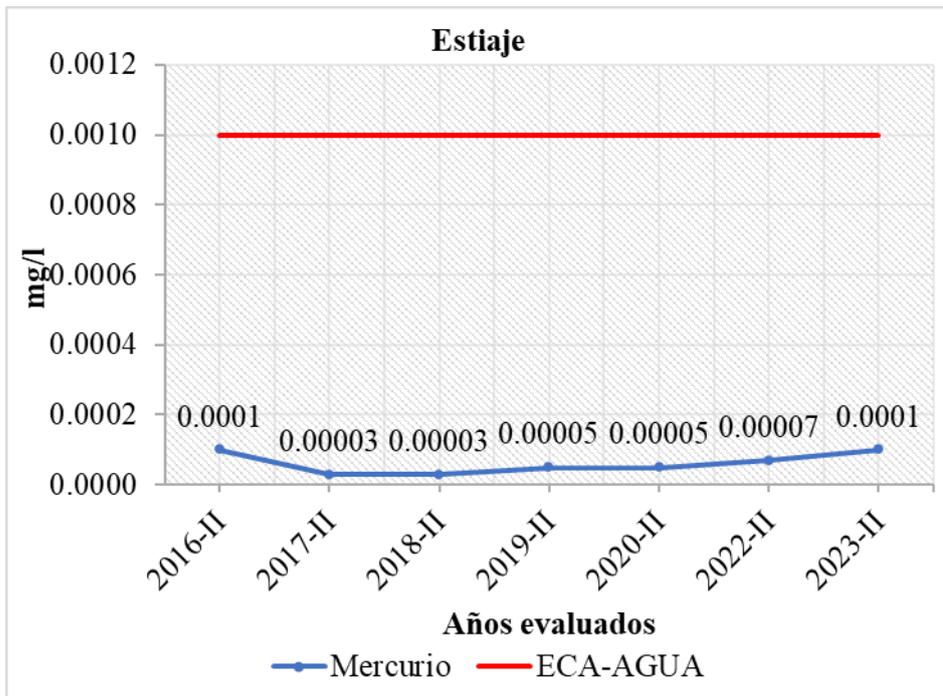
Análisis de tendencia de Mercurio en RCruc2 en época de avenida.



Nota: El mercurio, en la mayoría de los años cumple con los valores establecidos en el ECA-agua, como se visualiza en el gráfico en época de avenida.

Figura 36

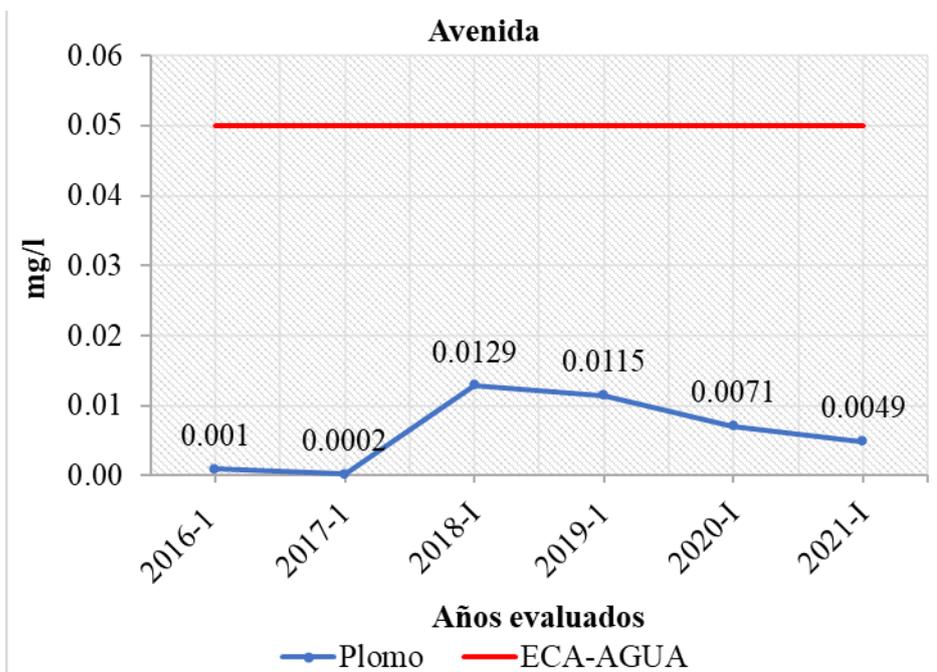
Análisis de tendencia de Mercurio en RCruc2 en época de estiaje.



Nota: El mercurio, en la mayoría de los años cumple con los valores establecidos en el ECA-agua, como se visualiza en el gráfico en época de estiaje.

Figura 37

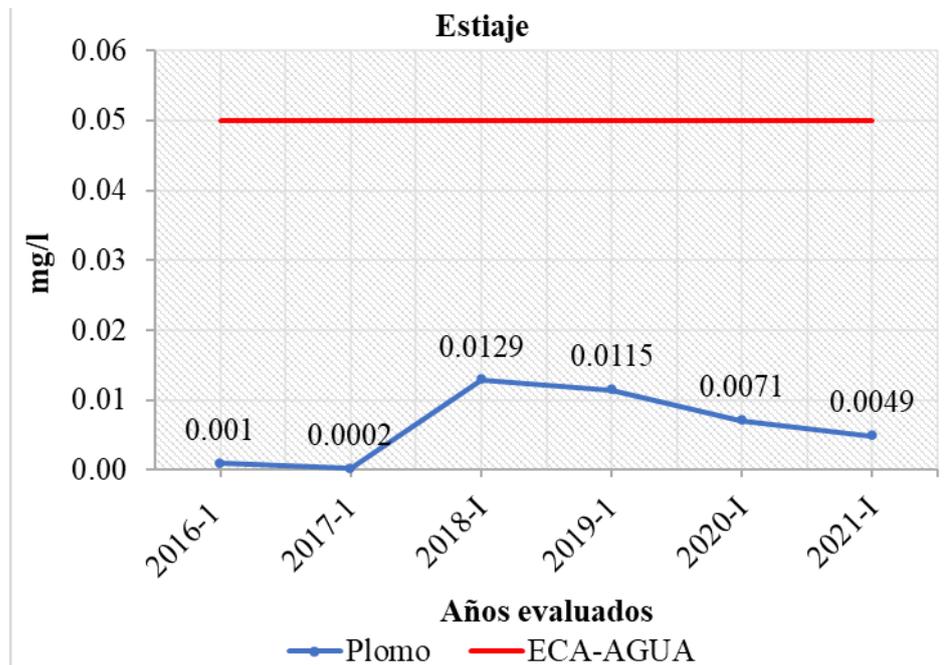
Análisis de tendencia de Plomo en RCruc2 en época de avenida.



Nota: El plomo, al igual que otros elementos, no supera los límites permitidos en todos años en la época de avenida.

Figura 38

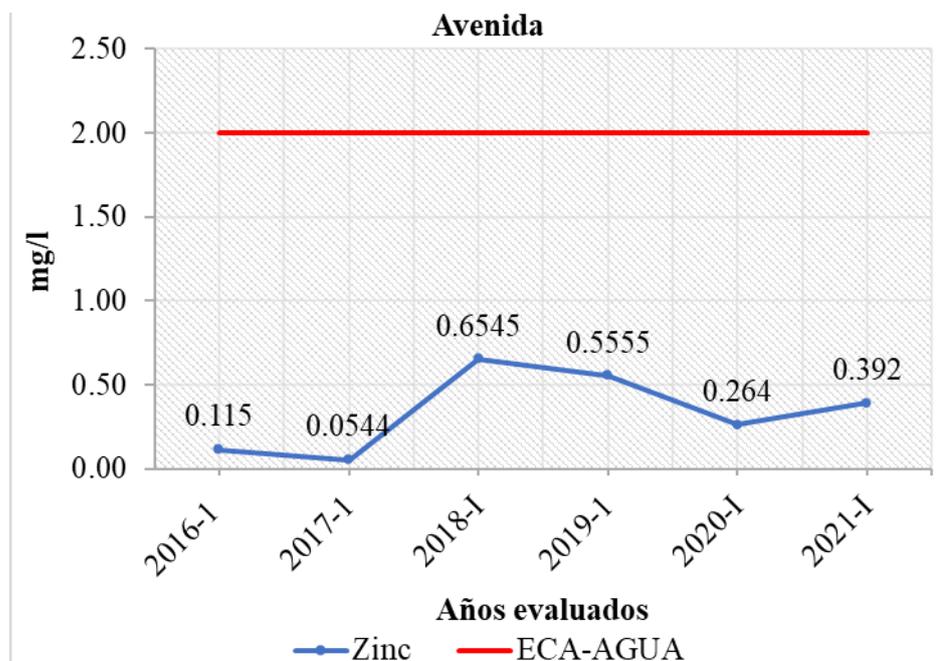
Análisis de tendencia de Plomo en RCruc2 en época de estiaje.



Nota: El plomo, al igual que otros elementos, no supera los límites permitidos en todos años en la época de estiaje.

Figura 39

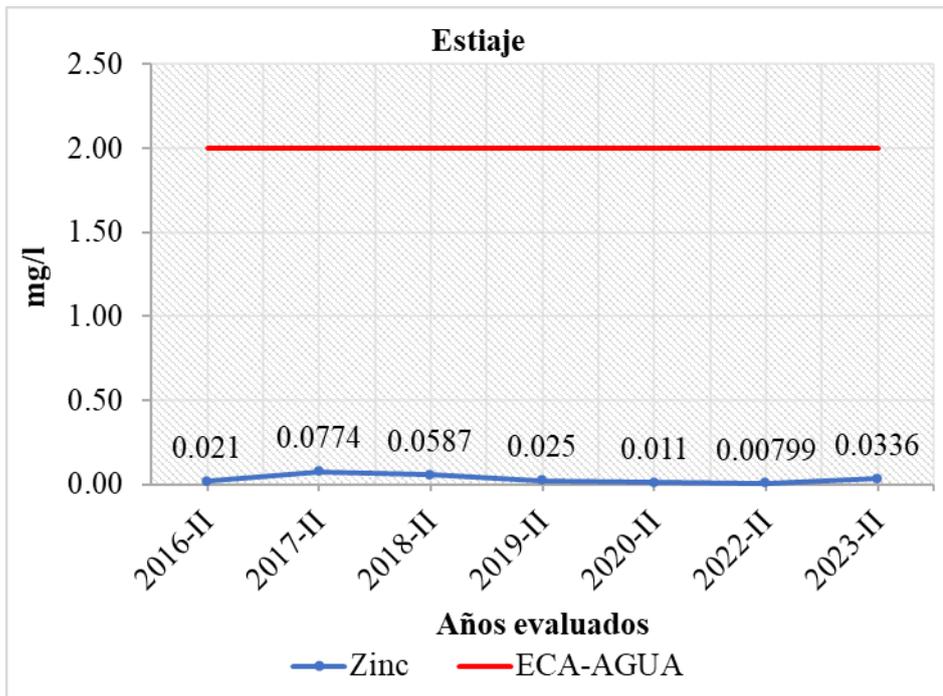
Análisis de tendencia de Zinc en RCruc2 en época de avenida.



Nota: El zinc, en la mayoría de los años, cumple con los valores establecidos en el ECA-agua, según se aprecia en el gráfico presentado en época de avenida.

Figura 40

Análisis de tendencia de Zinc en RCruc2 en época de estiaje.



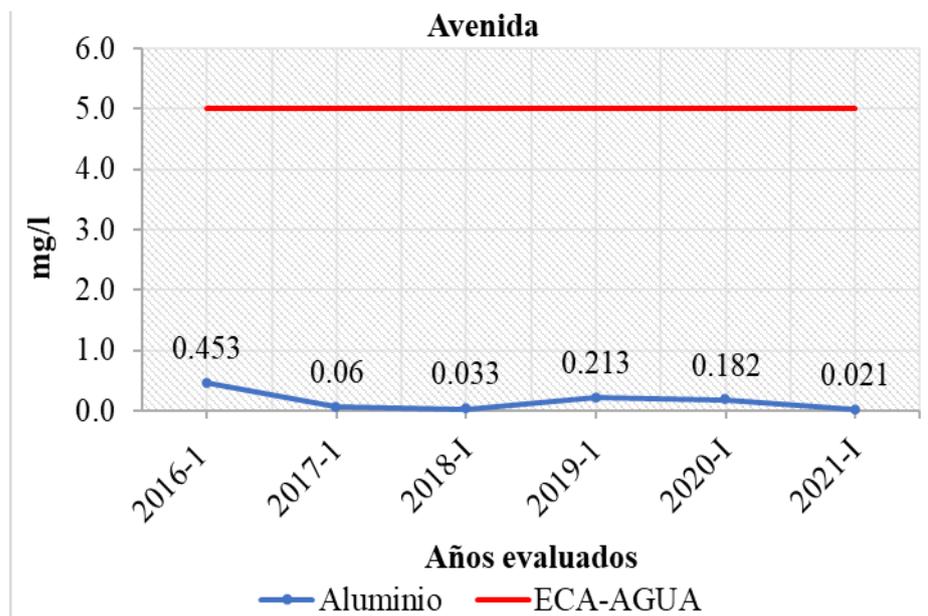
Nota: El zinc, en la mayoría de los años, cumple con los valores establecidos en el ECA-agua, según se aprecia en el gráfico presentado en época de estiaje.

RAnta3

En el sitio de monitoreo RCruc5, se evidencia que la mayoría de los parámetros inorgánicos examinados exceden los estándares establecidos para garantizar la calidad del agua, tal como se ilustra en los gráficos asociados. Estos resultados resaltan la importancia de una supervisión constante y la aplicación de medidas correctivas para asegurar la preservación de la calidad del agua en este sitio específico de análisis.

Figura 41

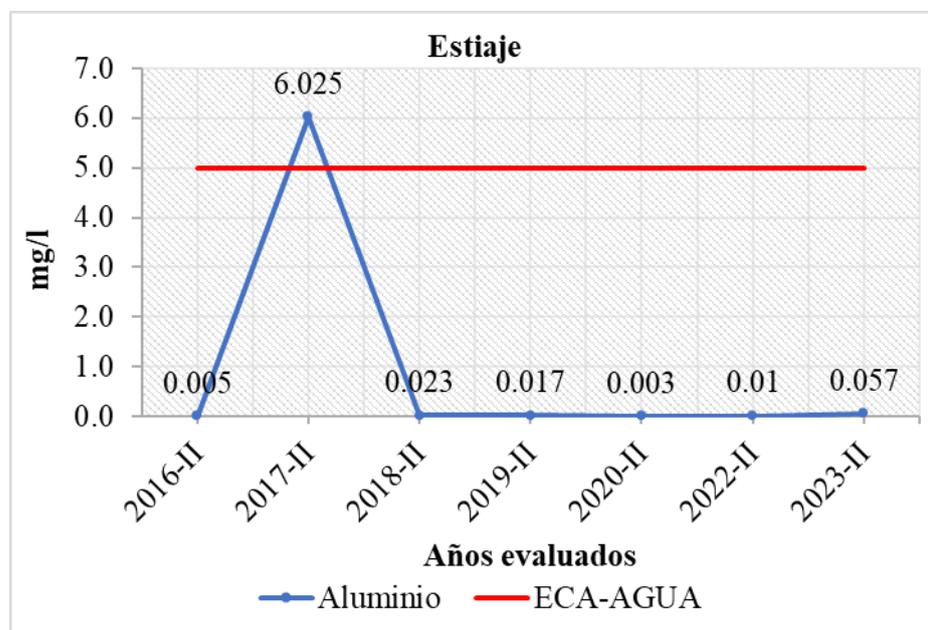
Análisis de tendencia de Aluminio en RAnta3 en época de avenida.



Nota: Un análisis detallado revela que el aluminio no rebasa los límites ambientales establecidos (ECA-agua), ajustándose a estos estándares en época de avenidas.

Figura 42

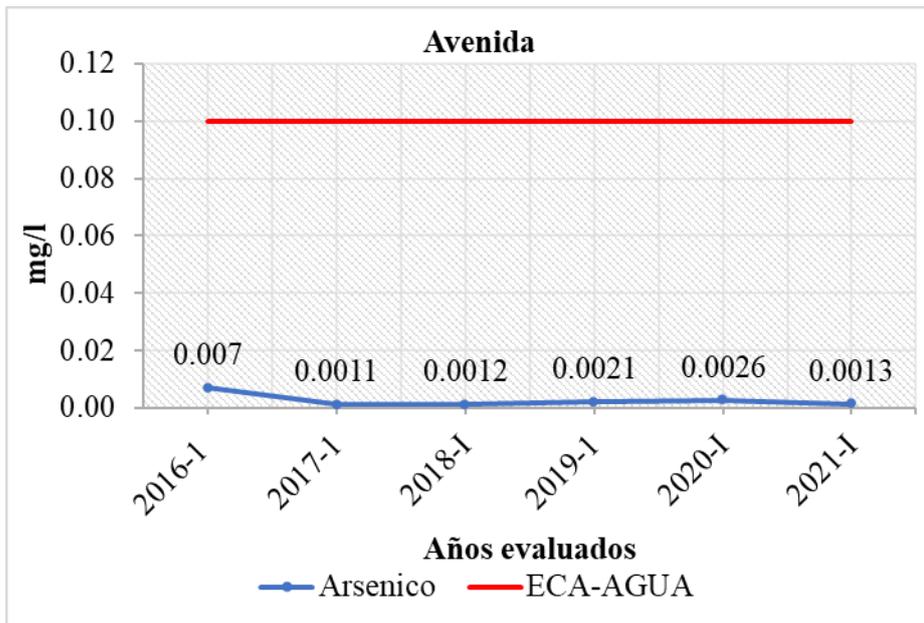
Análisis de tendencia de Aluminio en RAnta3 en época de estiaje.



Nota: Un análisis detallado revela que el aluminio rebasa los límites ambientales establecidos (ECA-agua) en el año 2017-II, ajustándose a estos estándares en época de estiaje.

Figura 43

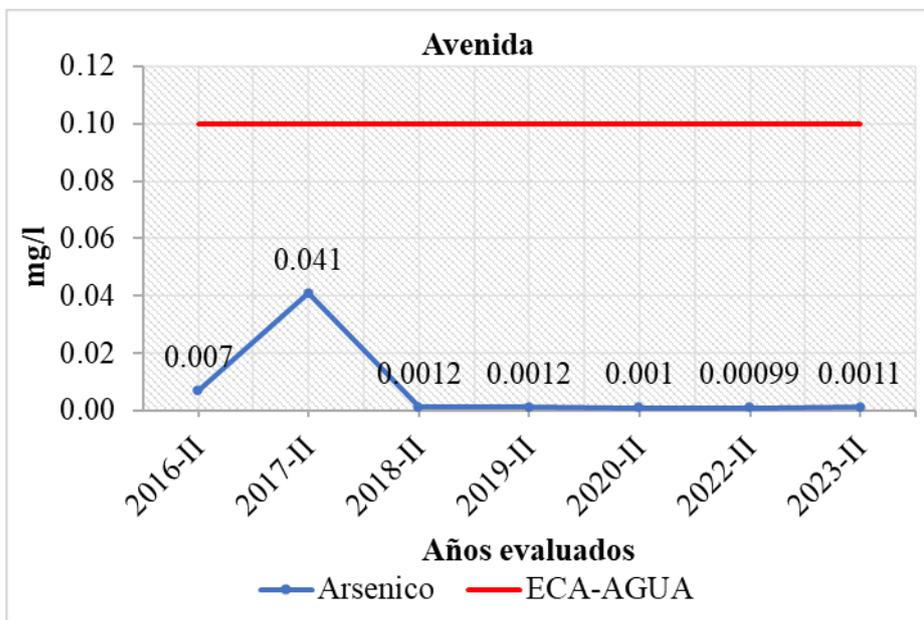
Análisis de tendencia de Arsénico en Ranta3 en época de avenida.



Nota: En contraposición, el arsénico se mantiene dentro de los límites establecidos en el ECA-agua en todos los años sometidos a estudio en época de avenida

Figura 44

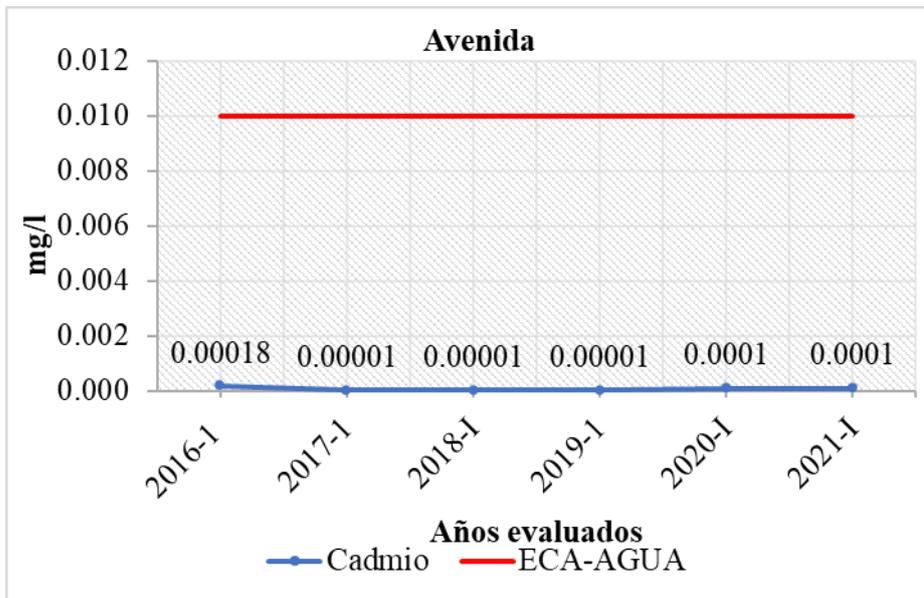
Análisis de tendencia de Arsénico en Ranta3 en época de estiaje.



Nota: En contraposición, el arsénico se mantiene dentro de los límites establecidos en el ECA-agua en todos los años sometidos a estudio en época de estiaje.

Figura 45

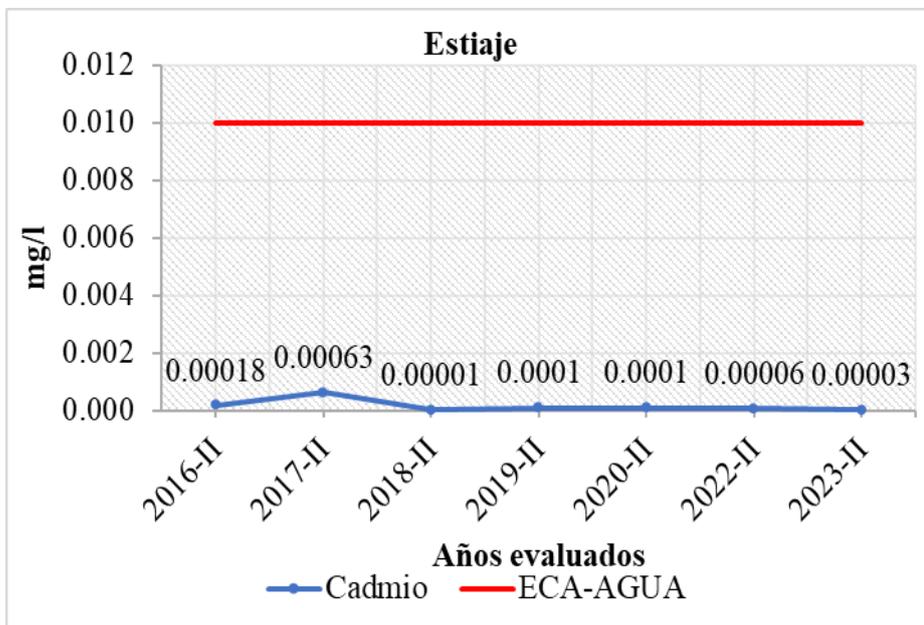
Análisis de tendencia de Cadmio en RAnta3 en época de avenida.



Nota: Por otro lado, el cadmio cumple de manera consistente con los estándares de calidad ambiental del agua en todos los años analizados en época de avenida.

Figura 46

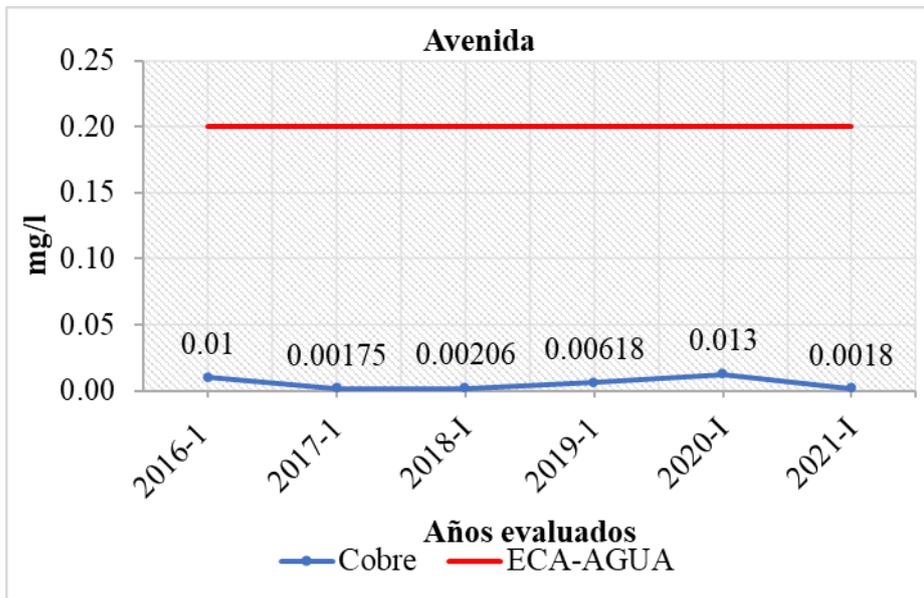
Análisis de tendencia de Cadmio en RAnta3 en época de estiaje.



Nota: Por otro lado, el cadmio cumple de manera consistente con los estándares de calidad ambiental del agua en todos los años analizados en época de estiaje.

Figura 47

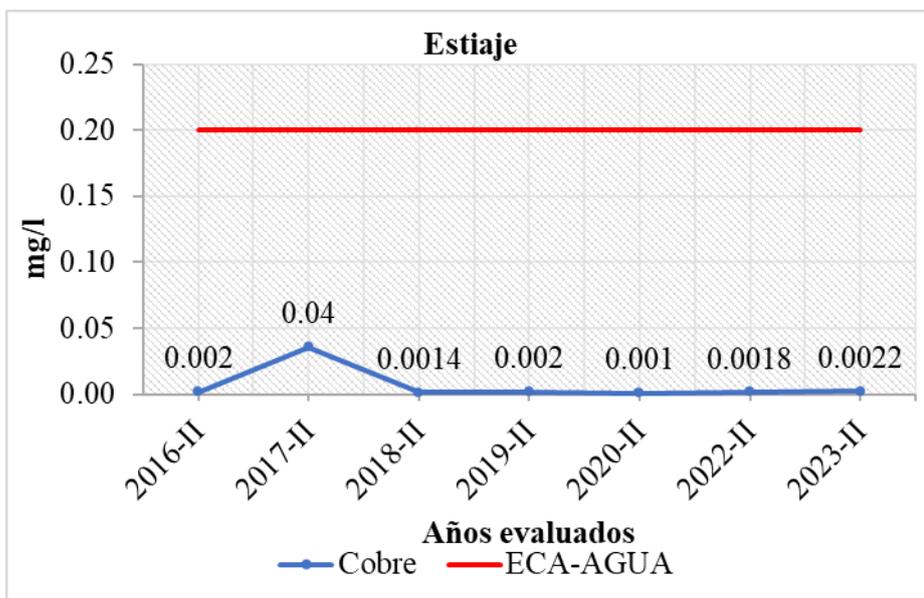
Análisis de tendencia de Cobre en RAnta3 en época de avenida.



Nota: El cobre, a diferencia de otros elementos en este punto, se mantiene dentro de los límites establecidos en todos los años bajo investigación en la época de avenida

Figura 48

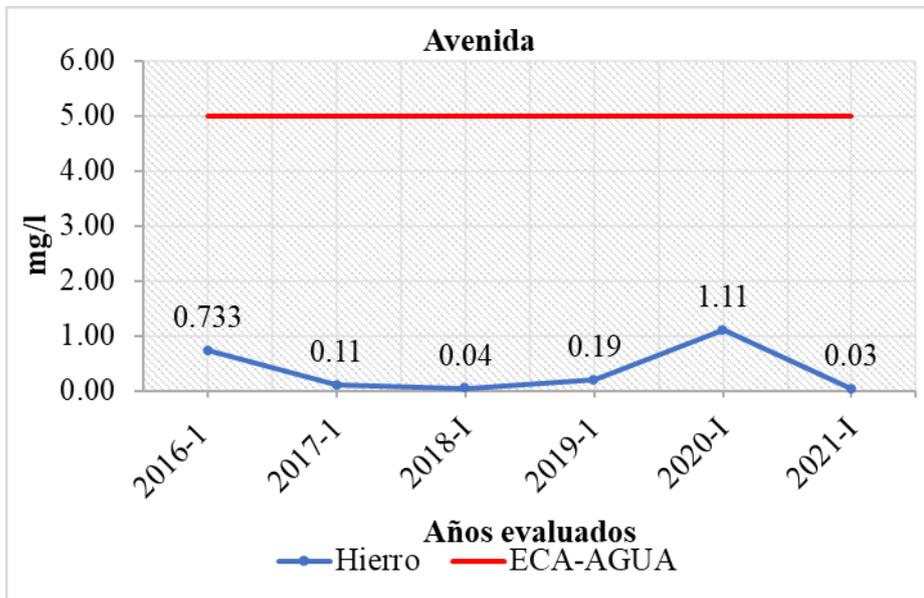
Análisis de tendencia de Cobre en RAnta3 en época de estiaje.



Nota: El cobre, a diferencia de otros elementos en este punto, se mantiene dentro de los límites establecidos en todos los años bajo investigación en la época de estiaje

Figura 49

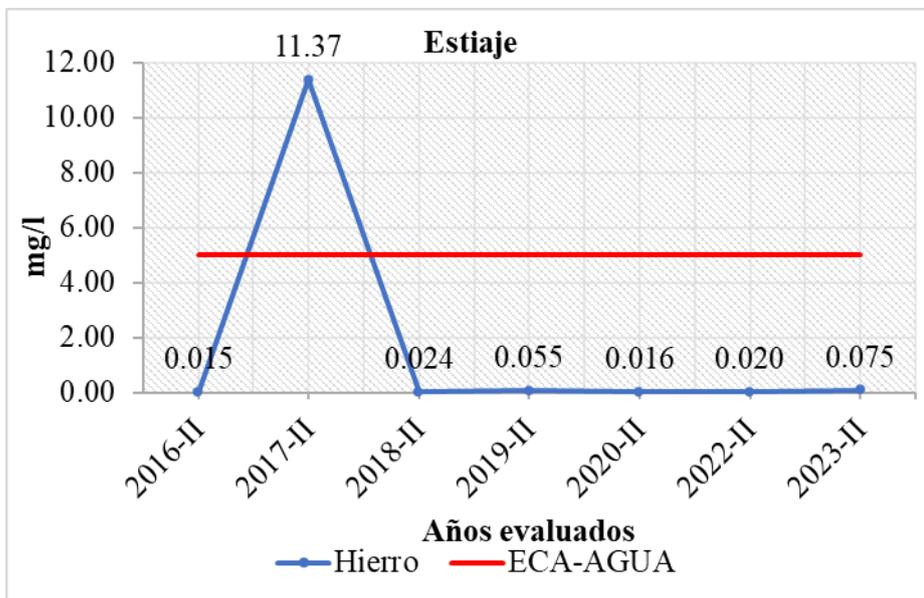
Análisis de tendencia de Hierro en Ranta3 en época de avenida.



Nota: El hierro no excede los valores permitidos del ECA-agua en los años específicos expresados en la figura en la época de avenida.

Figura 50

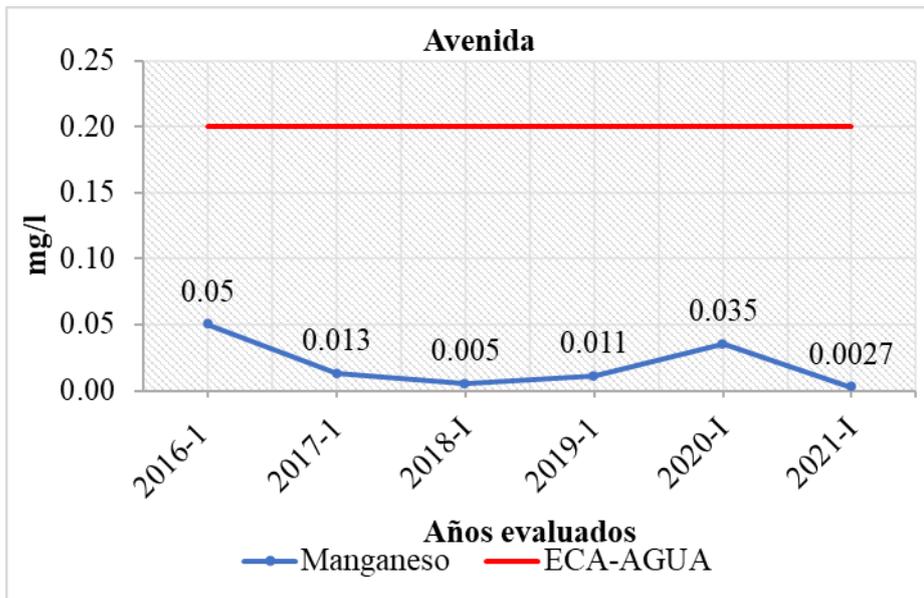
Análisis de tendencia de Hierro en Ranta3 en época de estiaje.



Nota: El hierro excede los valores permitidos del ECA-agua en el año específico de 2017-II expresado en la figura en la época de estiaje.

Figura 51

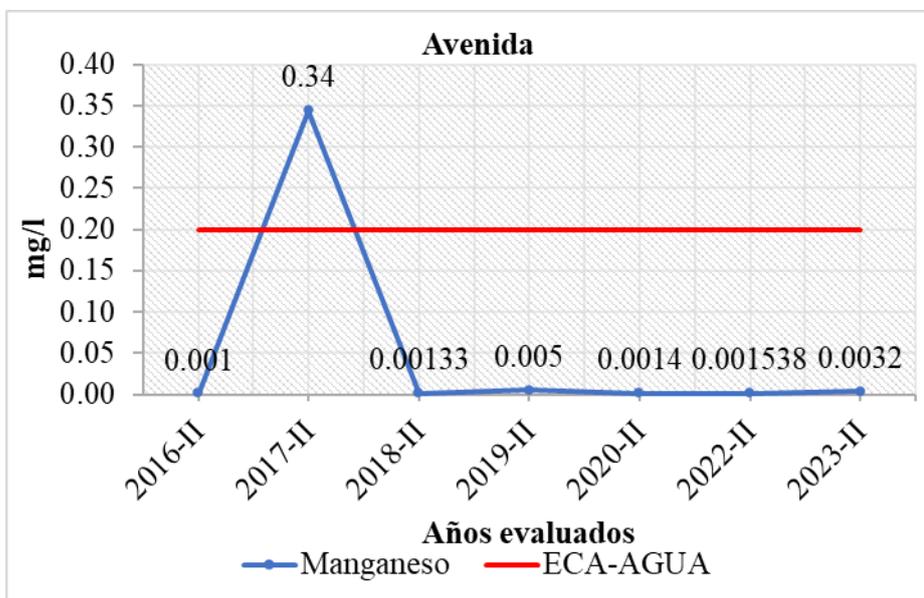
Análisis de tendencia de Manganeso en RAnta3 en época de avenida.



Nota: El manganeso no excede los valores permitidos del ECA-agua en años específicos expresados en la figura en época de avenida.

Figura 52

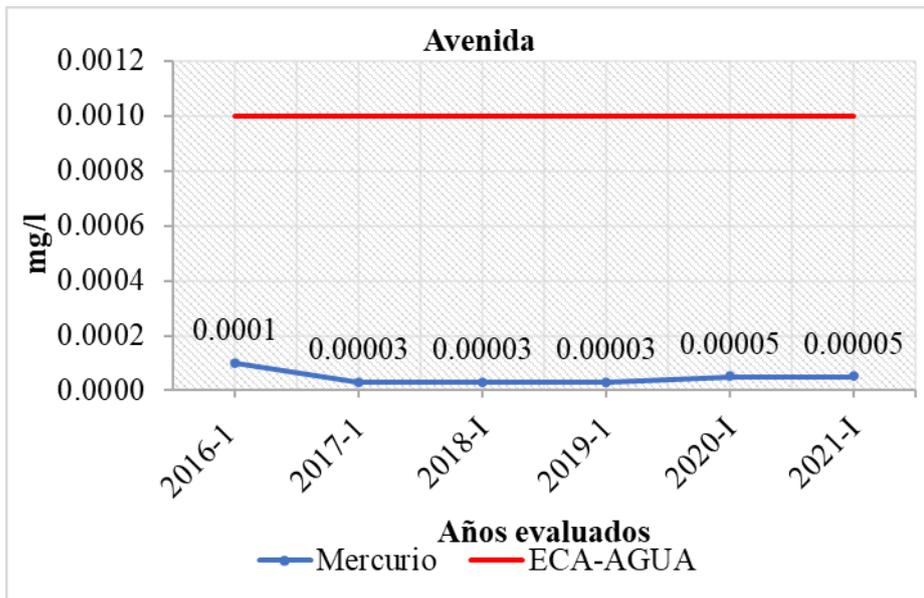
Análisis de tendencia de Manganeso en RAnta3 en época de estiaje.



Nota: El manganeso excede los valores permitidos del ECA-agua en el año específico de 2017-II expresado en la figura en época de estiaje.

Figura 53

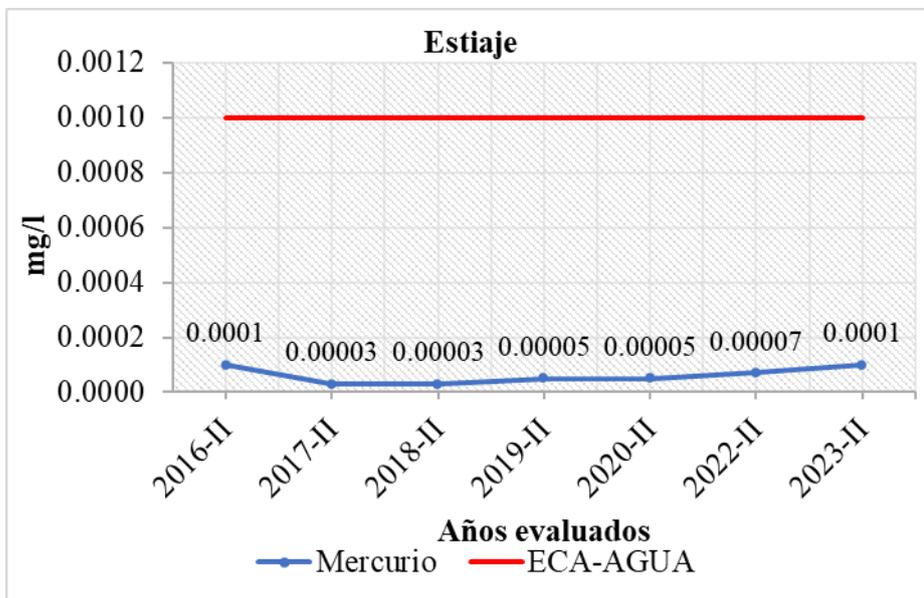
Análisis de tendencia de Mercurio en Ranta3 en época de avenida.



Nota: El mercurio muestra un cumplimiento general con los valores establecidos en el ECA-agua, apoyado por los datos y las representaciones gráficas disponibles en la época de avenida.

Figura 54

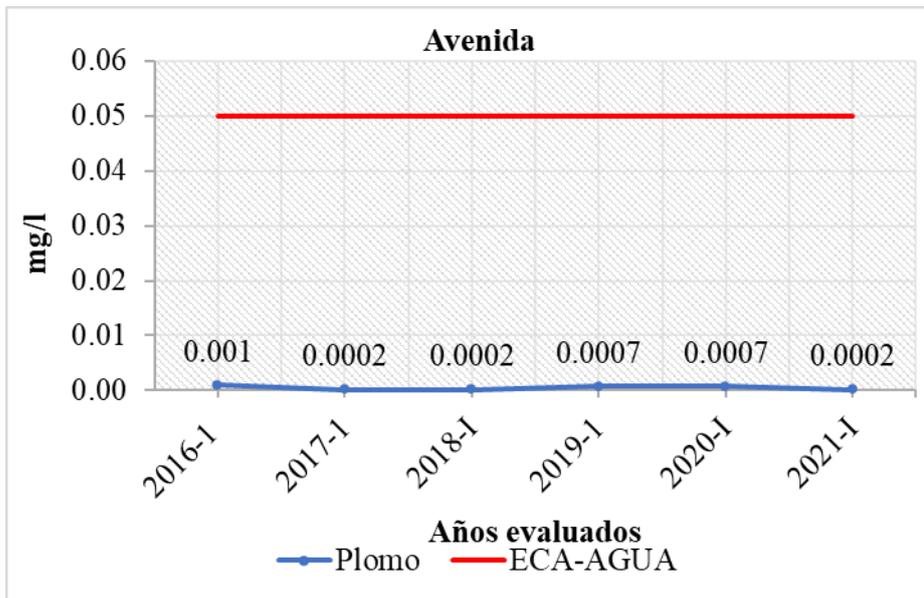
Análisis de tendencia de Mercurio en Ranta3 en época de estiaje.



Nota: El mercurio muestra un cumplimiento general con los valores establecidos en el ECA-agua, apoyado por los datos y las representaciones gráficas disponibles en la época de estiaje.

Figura 55

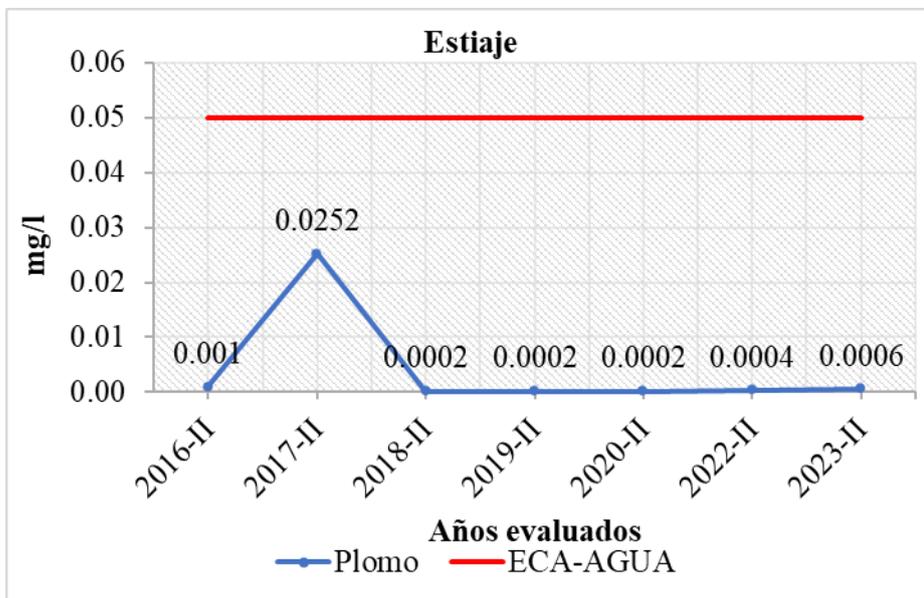
Análisis de tendencia de Plomo en RAnta3 en época de avenida.



Nota: En cuanto al plomo, similar a otros elementos en este punto, no supera los valores permitidos en ninguno de los años analizados en época de avenida.

Figura 56

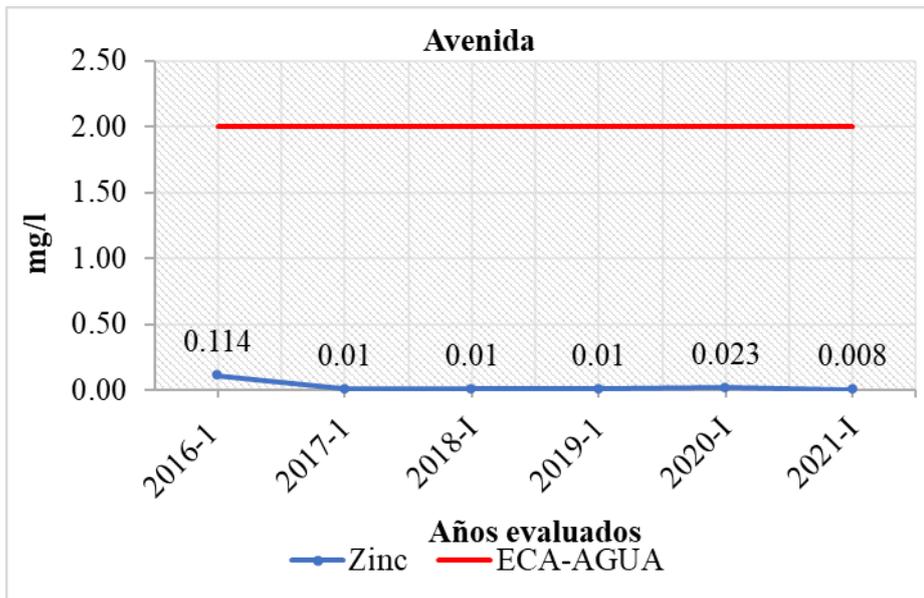
Análisis de tendencia de Plomo en RAnta3 en época de estiaje.



Nota: En cuanto al plomo, similar a otros elementos en este punto, no supera los valores permitidos en ninguno de los años analizados en época de estiaje.

Figura 57

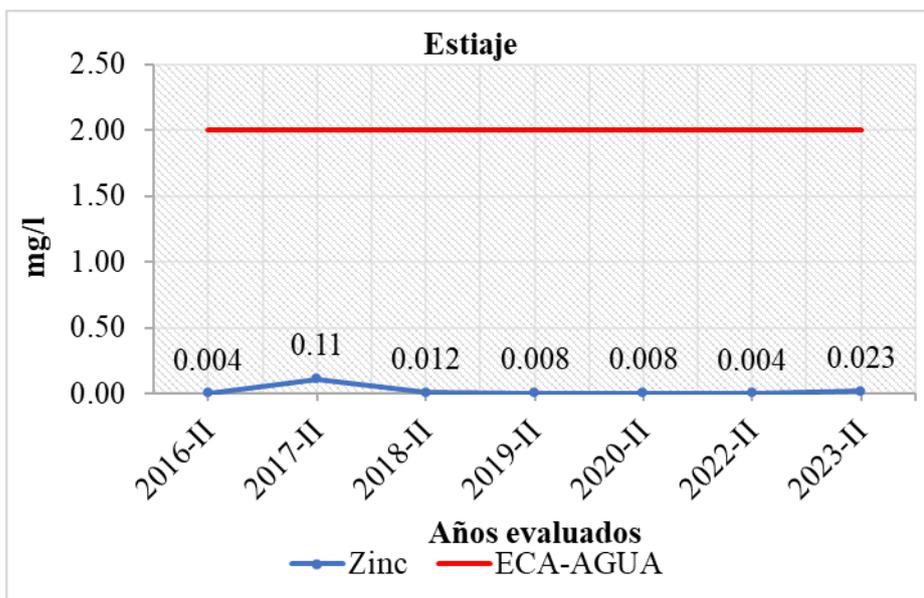
Análisis de tendencia de Zinc en RAnta3 en época de avenida.



Nota: Por el contrario, el zinc se adhiere en su mayoría a los valores establecidos en el ECA-agua, tal como se observa en el gráfico correspondiente en la época de avenida.

Figura 58

Análisis de tendencia de Zinc en RAnta3 en época de estiaje.



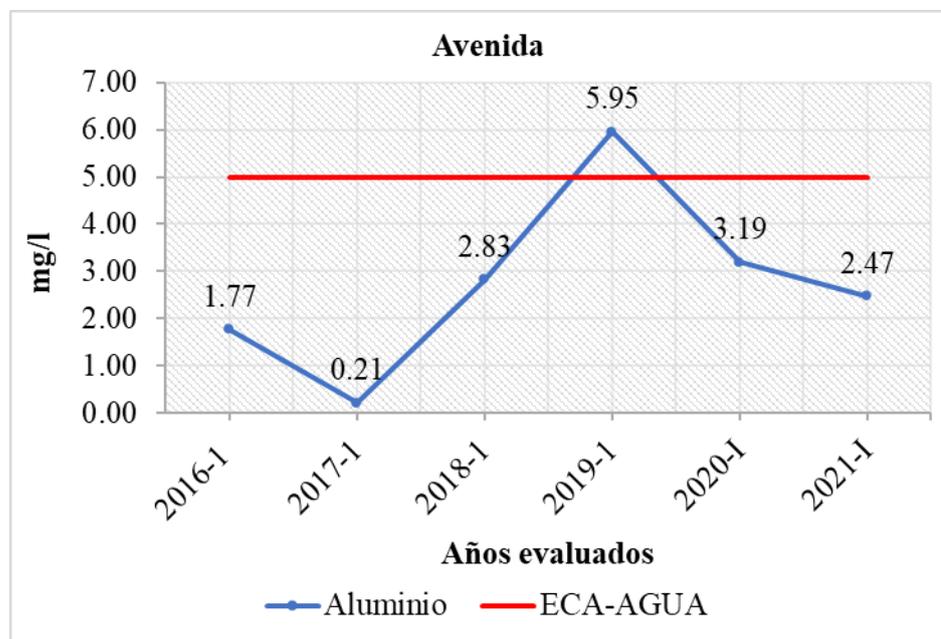
Nota: Por el contrario, el zinc se adhiere en su mayoría a los valores establecidos en el ECA-agua, tal como se observa en el gráfico correspondiente en la época de estiaje.

RCruc3

En el punto de monitoreo RCruc3, se detecta que la mayoría de los parámetros inorgánicos evaluados exceden los estándares establecidos para la calidad del agua, tal como se ilustra en los gráficos adjuntos. Estos hallazgos subrayan la importancia de una monitorización continua y medidas correctivas para garantizar la preservación de la calidad del agua en este punto de estudio.

Figura 59

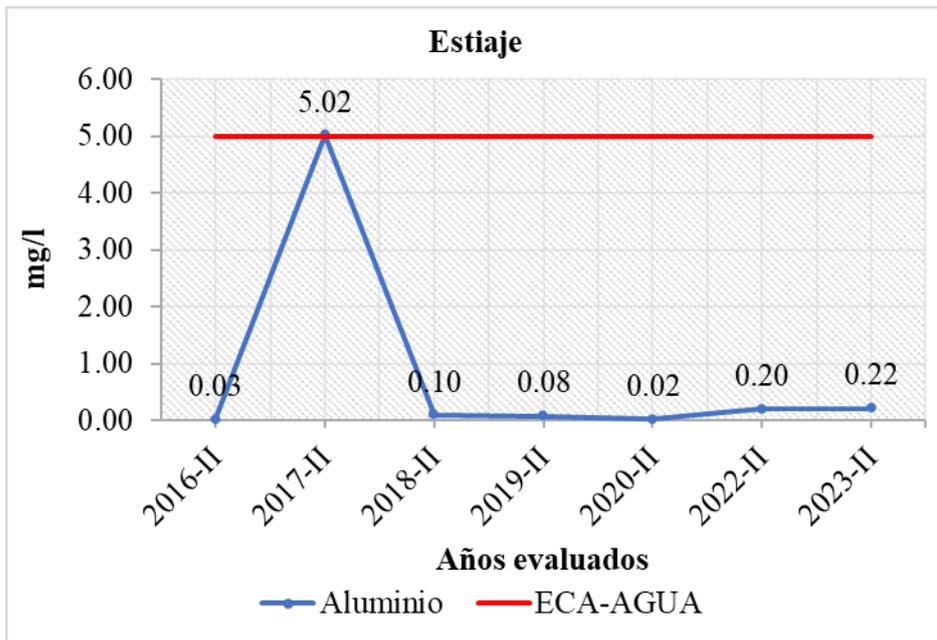
Análisis de tendencia de Aluminio en RCruc3 en época de avenida.



Nota: El análisis revela que en el año 2019-I el nivel de aluminio sobrepasa consistentemente los estándares ambientales ECA-agua en época de avenida, mientras que se ajusta a dichos estándares en otros años.

Figura 60

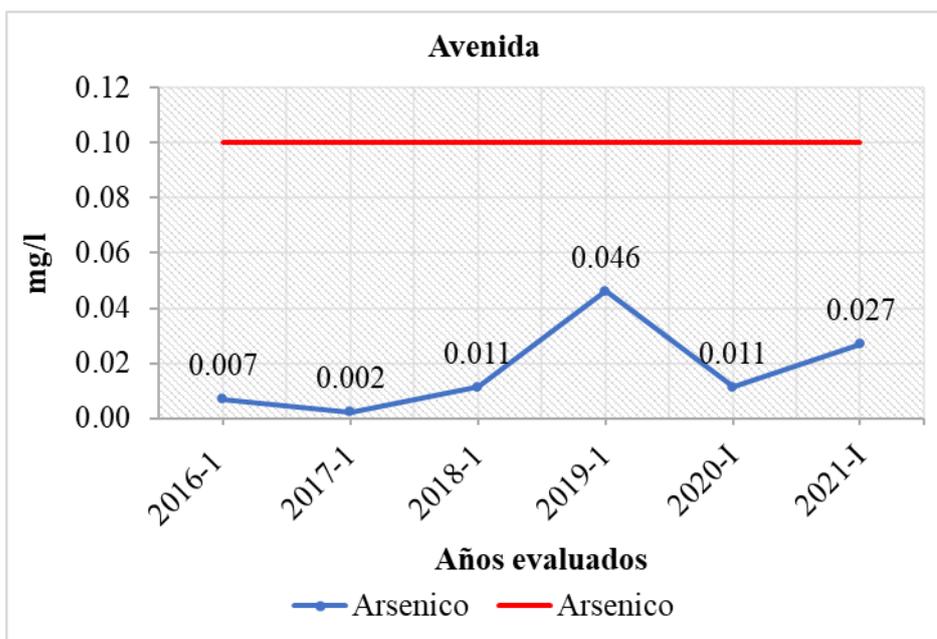
Análisis de tendencia de Aluminio en RCruc3 en época de estiaje.



Nota: El análisis revela que en el año 2017-II el nivel de aluminio sobrepasa consistentemente los estándares ambientales ECA-agua en época de estiaje, mientras que se ajusta a dichos estándares en otros años.

Figura 61

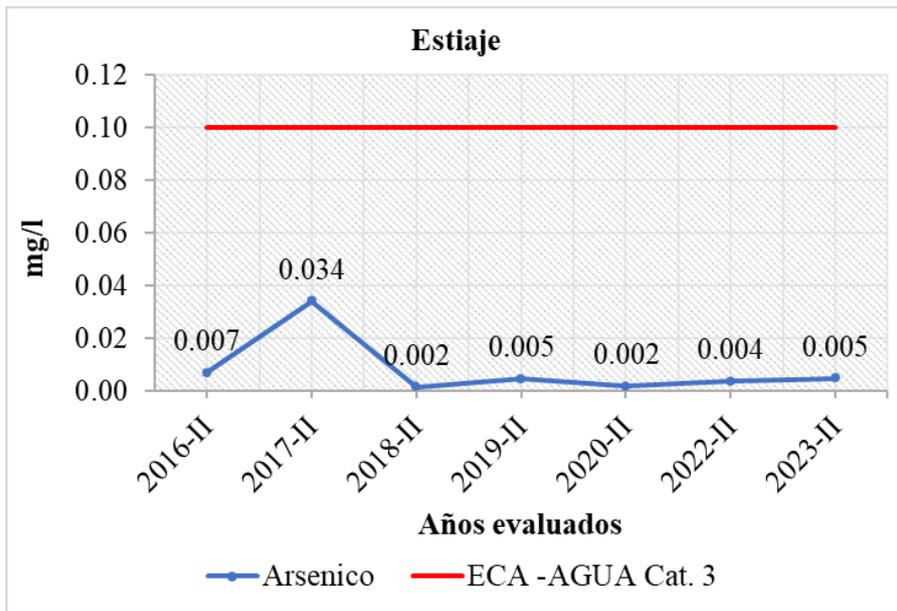
Análisis de tendencia de Arsénico en RCruc3 en época de avenida



Nota: Por otro lado, el arsénico muestra una tendencia a no superar los límites permitidos en época de avenida evidenciándose en la figura.

Figura 62

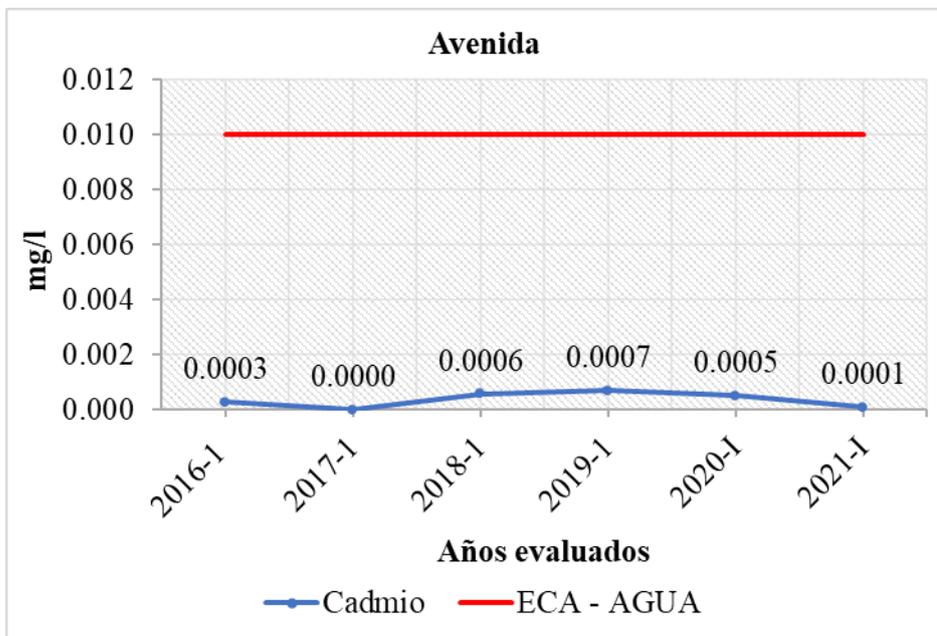
Análisis de tendencia de Arsénico en RCruc3 en época de estiaje.



Nota: Por otro lado, el arsénico muestra una tendencia a no superar los límites permitidos en época de estiaje evidenciándose en la figura.

Figura 63

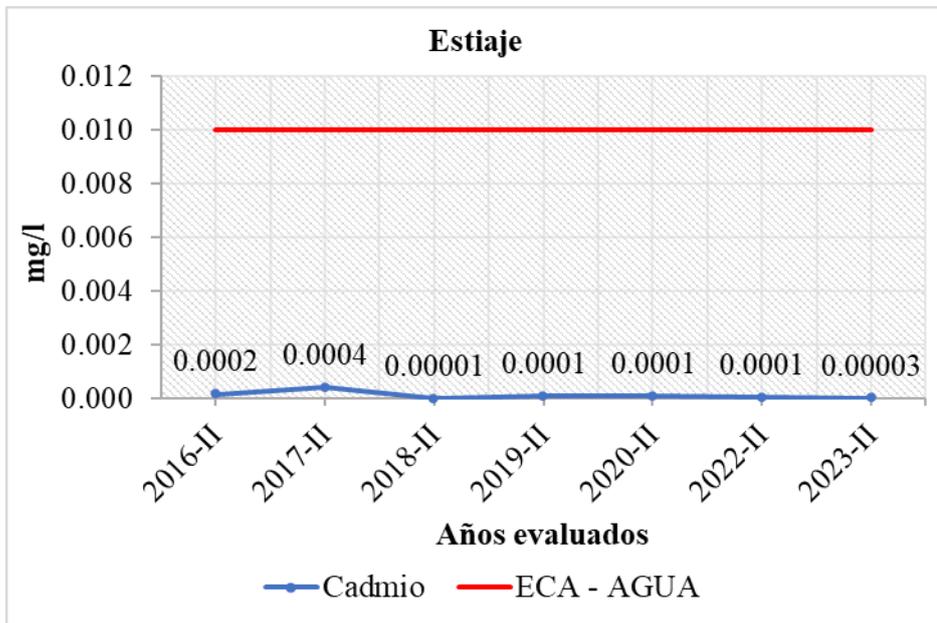
Análisis de tendencia de Cadmio en RCruc3 en época de avenida.



Nota: Por su parte, el cadmio cumple consistentemente con los estándares de calidad ambiental del agua en todos los años analizados en la época de avenida.

Figura 64

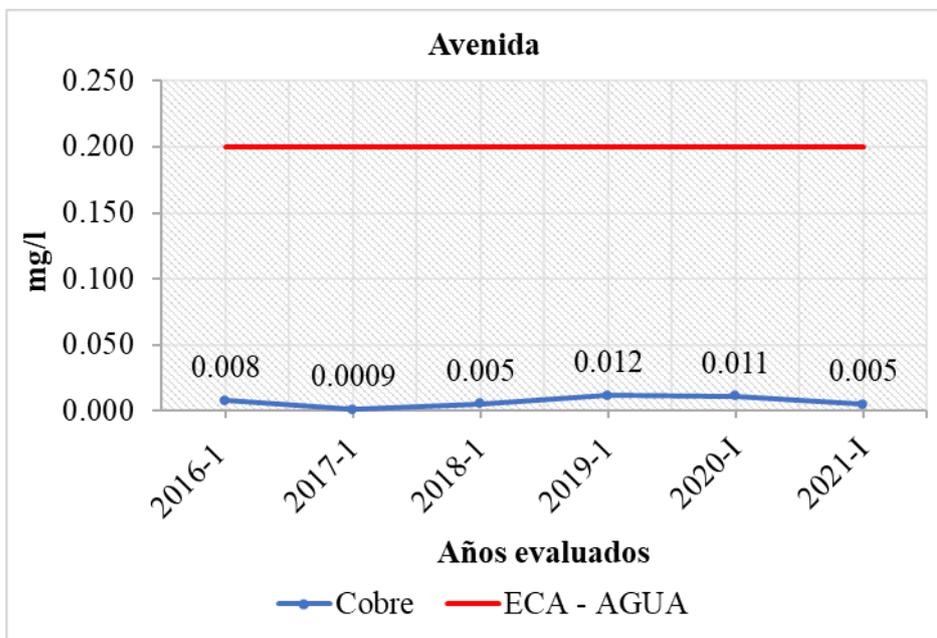
Análisis de tendencia de Cadmio en RCruc3 en época de estiaje.



Nota: Por su parte, el cadmio cumple consistentemente con los estándares de calidad ambiental del agua en todos los años analizados en la época de estiaje.

Figura 65

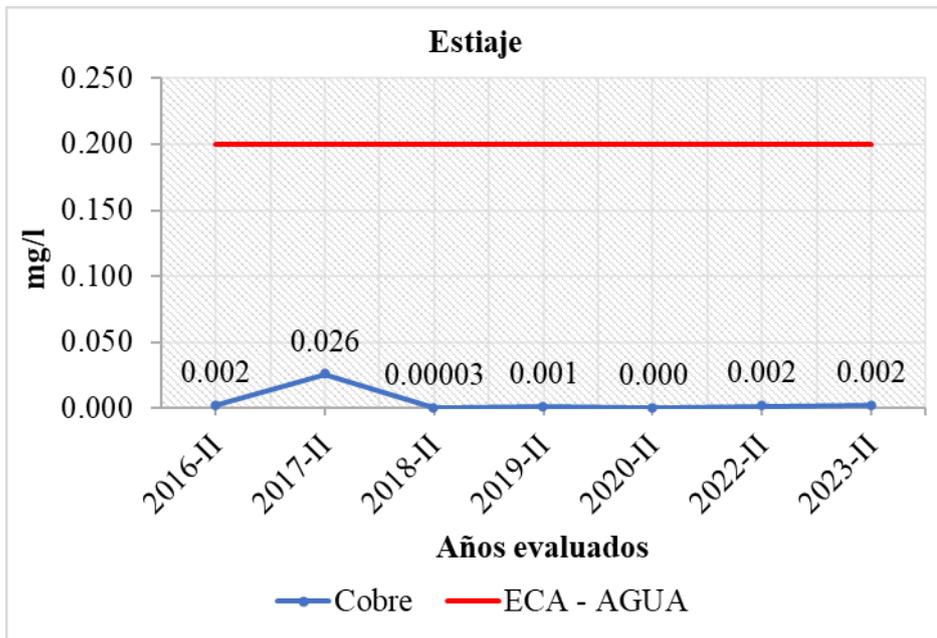
Análisis de tendencia de Cobre en RCruc3 en época de avenida.



Nota: El cobre, al igual que otros elementos en este punto permanece dentro de los límites en todos los años en estudio perteneciente a la época de avenida.

Figura 66

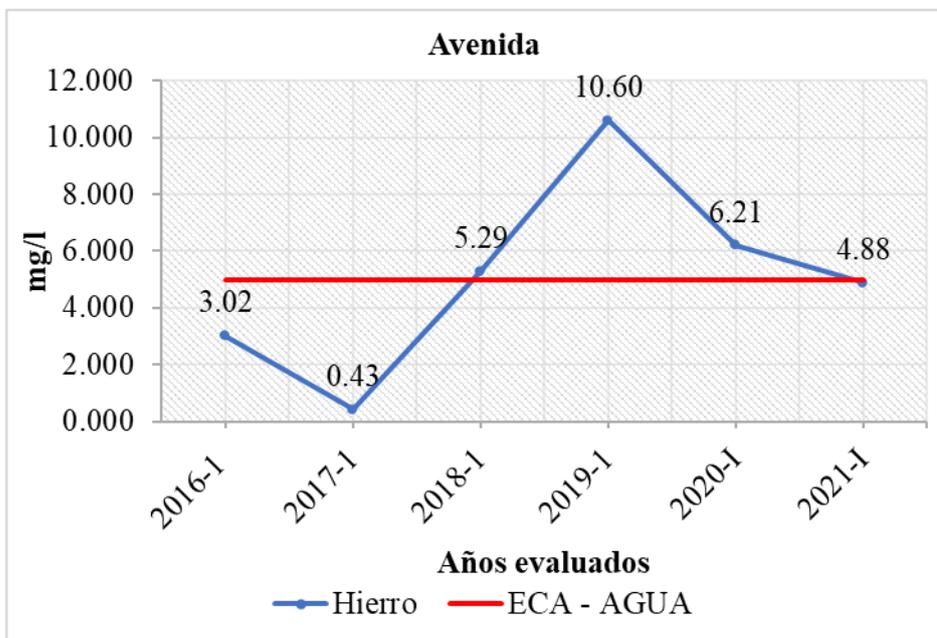
Análisis de tendencia de Cobre en RCruc3 en época de estiaje.



Nota: El cobre, al igual que otros elementos en este punto permanece dentro de los límites en todos los años en estudio perteneciente a la época de estiaje.

Figura 67

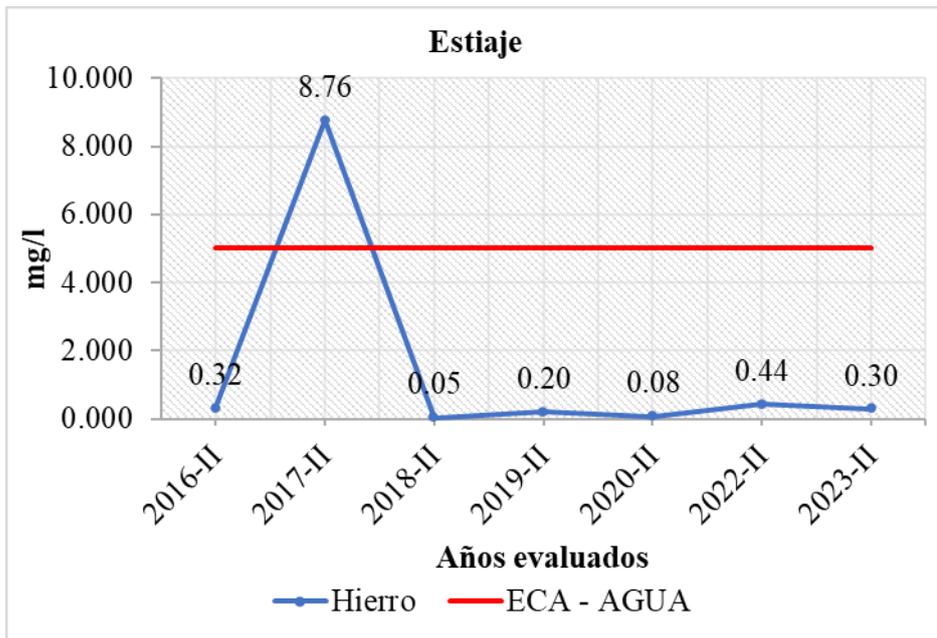
Análisis de tendencia de Hierro en RCruc3 en época de avenida.



Nota: El hierro supera los valores permitidos del ECA-agua en ciertos años, destacándose en 2018-I, 2019-I y 2020-I en la época de avenida.

Figura 68

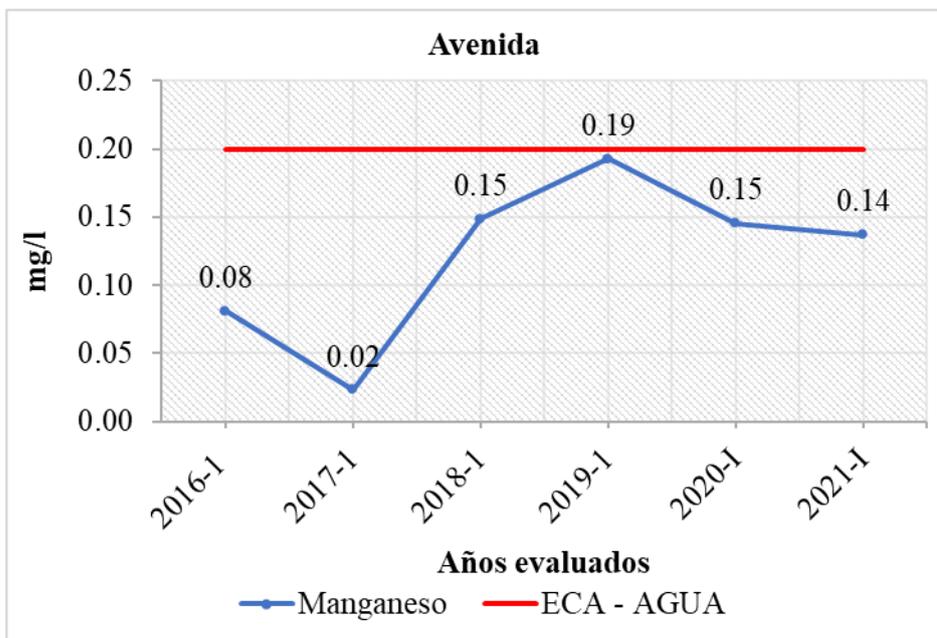
Análisis de tendencia de Hierro en RCruc3 en época de estiaje.



Nota: El hierro supera los valores permitidos del ECA-agua en ciertos años, destacándose en 2017-II, en la época de estiaje.

Figura 69

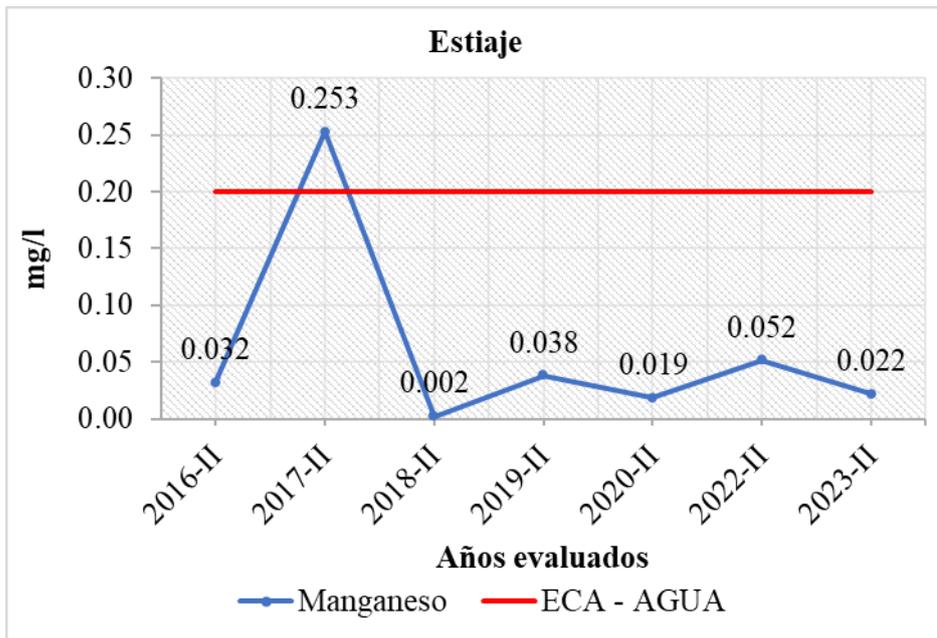
Análisis de tendencia de Manganeso en RCruc3 en época de avenida.



Nota: El manganeso, al igual que otros parámetros, no supera los valores permitidos del ECA-agua en la época de avenida.

Figura 70

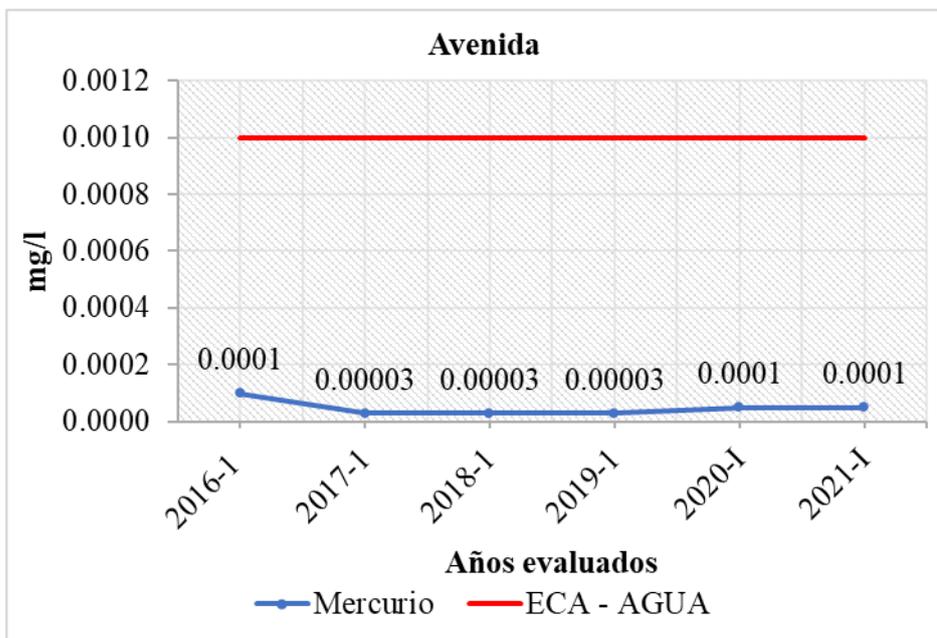
Análisis de tendencia de Manganeso en RCruc3 en época de estiaje.



Nota: El manganeso, al igual que otros parámetros, supera los valores permitidos del ECA-agua en el año 2017-II la época de estiaje.

Figura 71

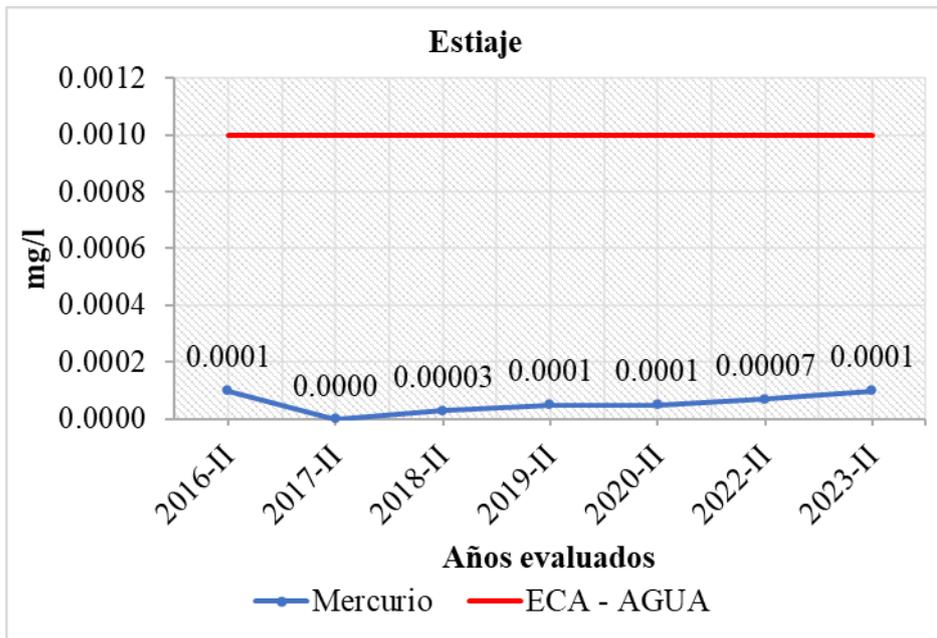
Análisis de tendencia de Mercurio en RCruc3 en época de avenida.



Nota: El mercurio muestra un cumplimiento general con los valores establecidos en el ECA-agua, según lo evidencian los datos y representaciones gráficas en la época de avenida.

Figura 72

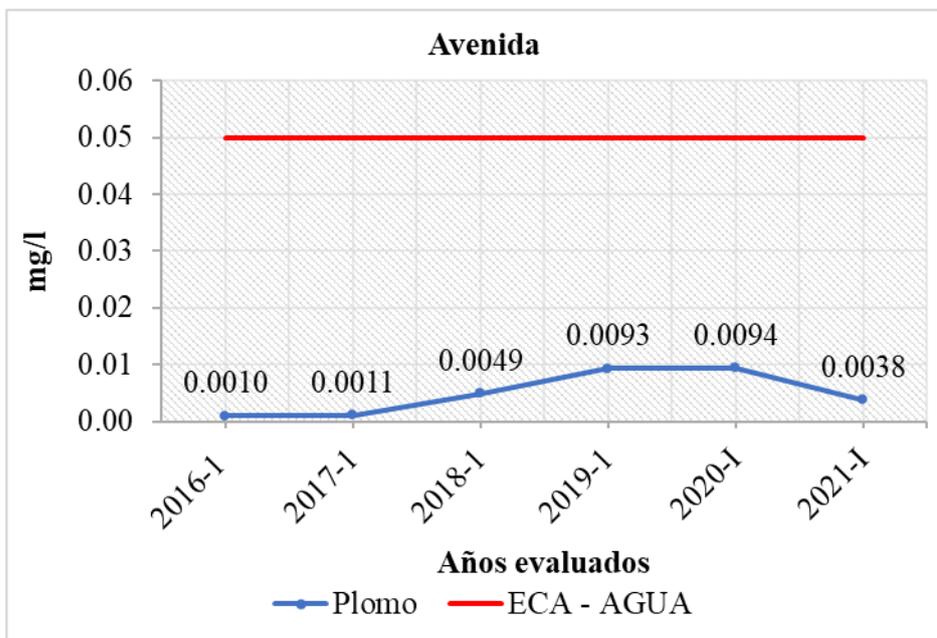
Análisis de tendencia de Mercurio en RCruc3 en época de estiaje.



Nota: El mercurio muestra un cumplimiento general con los valores establecidos en el ECA-agua, según lo evidencian los datos y representaciones gráficas en la época de estiaje.

Figura 73

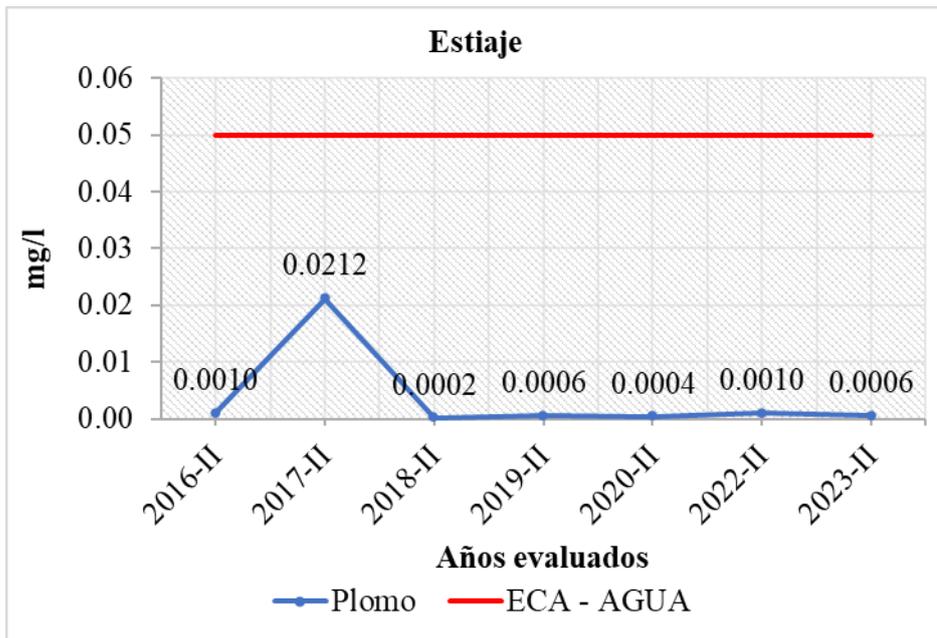
Análisis de tendencia de Plomo en RCruc3 en época de avenida.



Nota: En cuanto al plomo, al igual que otros elementos en este punto no sobrepasa los valores permitidos en la época de avenida.

Figura 74

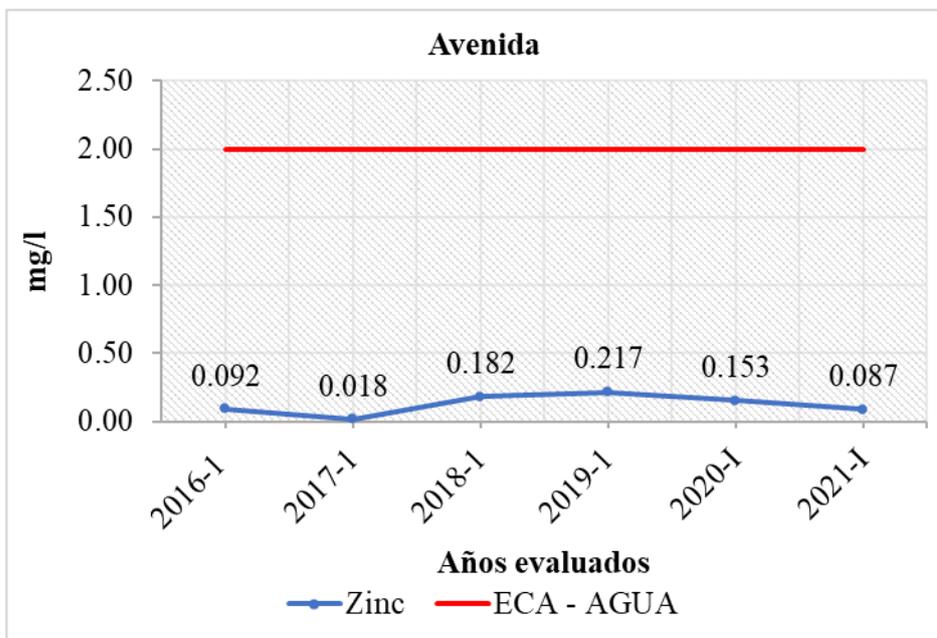
Análisis de tendencia de Plomo en RCruc3 en época de estiaje.



Nota: En cuanto al plomo, al igual que otros elementos en este punto no sobrepasa los valores permitidos en la época de estiaje.

Figura 75

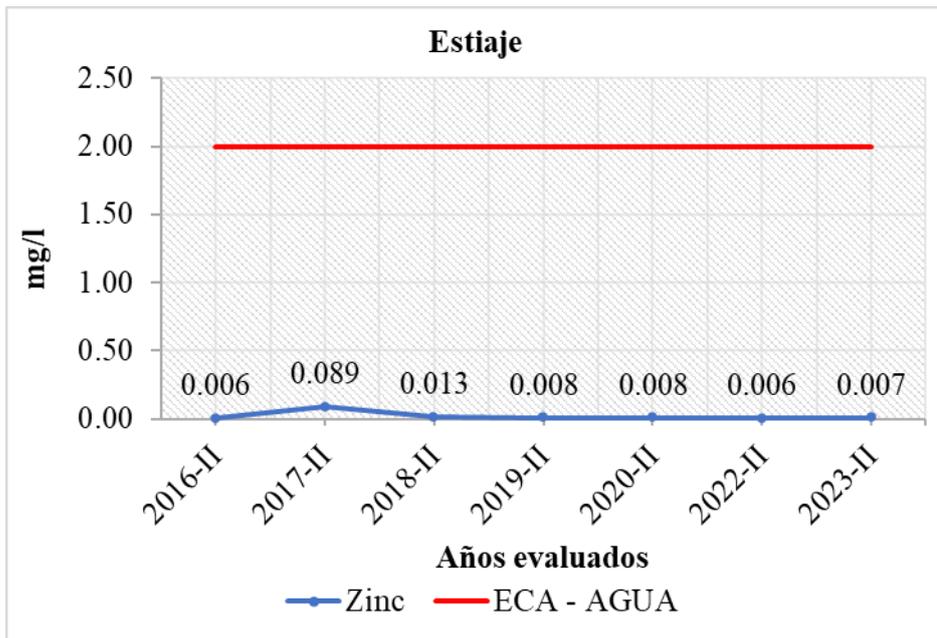
Análisis de tendencia de Zinc en RCruc3 en época de avenida.



Nota: En contraste, el zinc cumple mayormente con los valores establecidos en el ECA-agua en la época de avenida, tal como se aprecia en la representación gráfica adjunta.

Figura 76

Análisis de tendencia de Zinc en RCruc3 en época de estiaje.



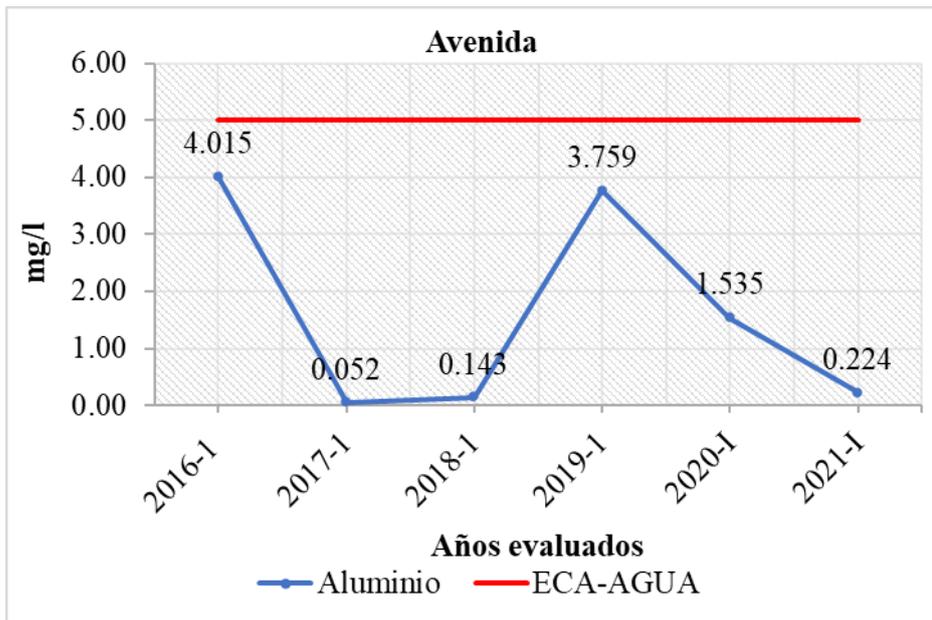
Nota: En contraste, el zinc cumple mayormente con los valores establecidos en el ECA-agua en la época de estiaje, tal como se aprecia en la representación gráfica adjunta.

RCruc5

En el punto de control RCruc5, se identifica que la gran parte de los parámetros inorgánicos evaluados exceden los estándares fijados para asegurar la calidad del agua, como se evidencia en los gráficos adjuntos.

Figura 77

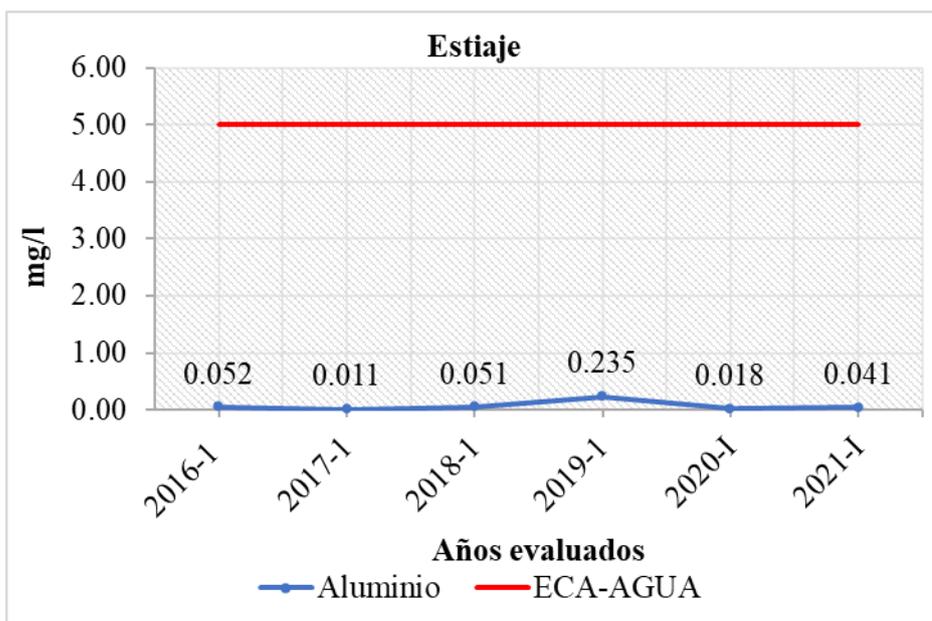
Análisis de tendencia de Aluminio en RCruc5 en época de avenida.



Nota: El análisis detallado señala que el nivel de aluminio no rebasa los estándares ambientales ECA-agua, ajustándose a dichos estándares en la época de avenida.

Figura 78

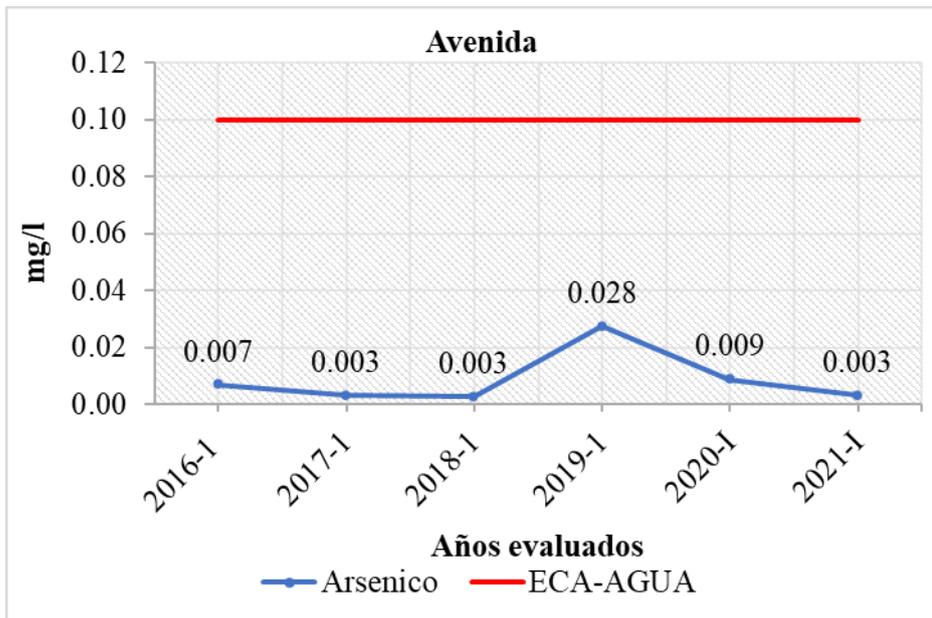
Análisis de tendencia de Aluminio en RCruc5 en época de estiaje.



Nota: El análisis detallado señala que el nivel de aluminio no rebasa los estándares ambientales ECA-agua, ajustándose a dichos estándares en la época de estiaje.

Figura 79

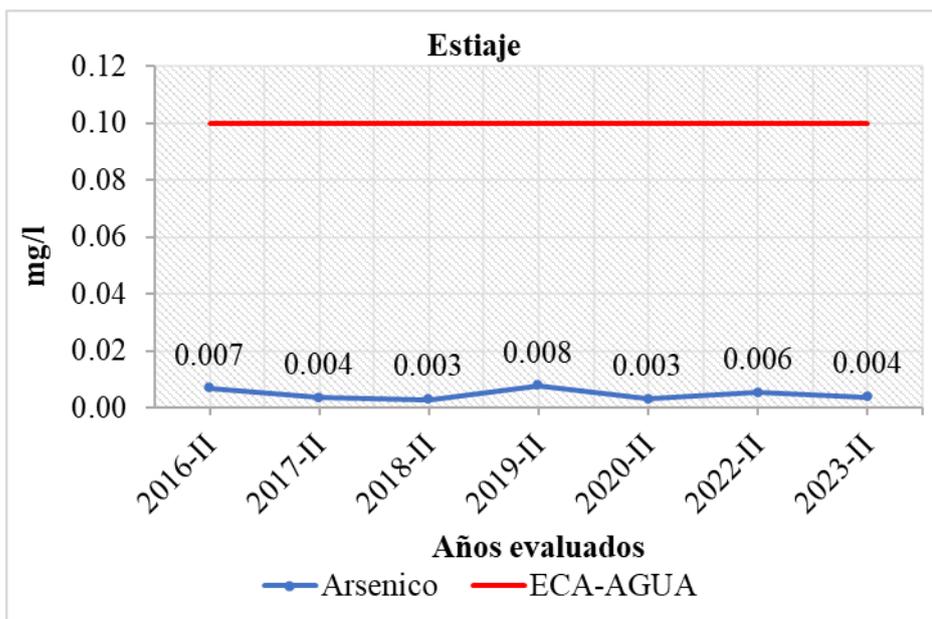
Análisis de tendencia de Arsénico en RCruc5 en época de avenida.



Nota: En contraposición, el arsénico se mantiene dentro de los límites establecidos en todos los años bajo estudio en la época de avenida.

Figura 80

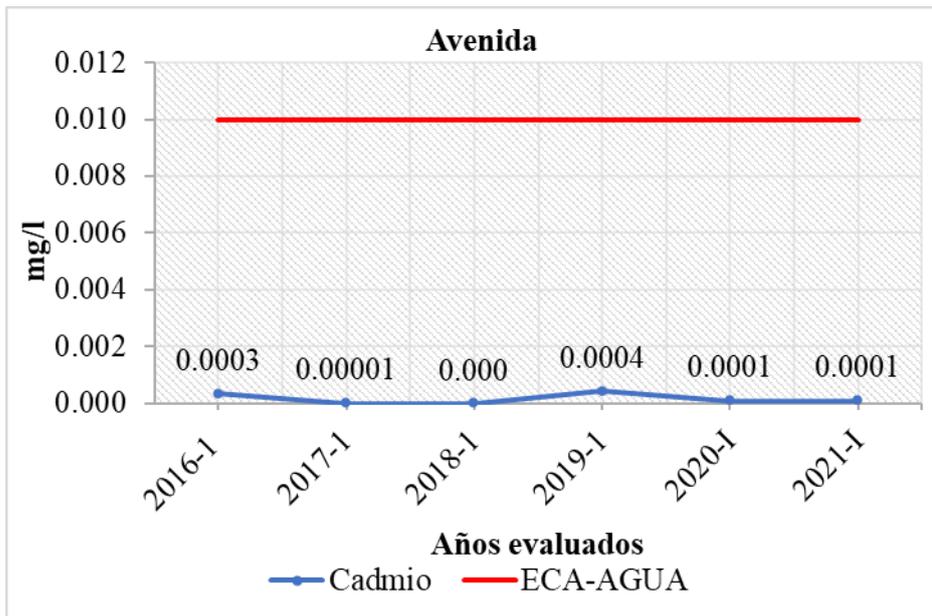
Análisis de tendencia de Arsénico en RCruc5 en época de estiaje.



Nota: En contraposición, el arsénico se mantiene dentro de los límites establecidos en todos los años bajo estudio en la época de estiaje.

Figura 81

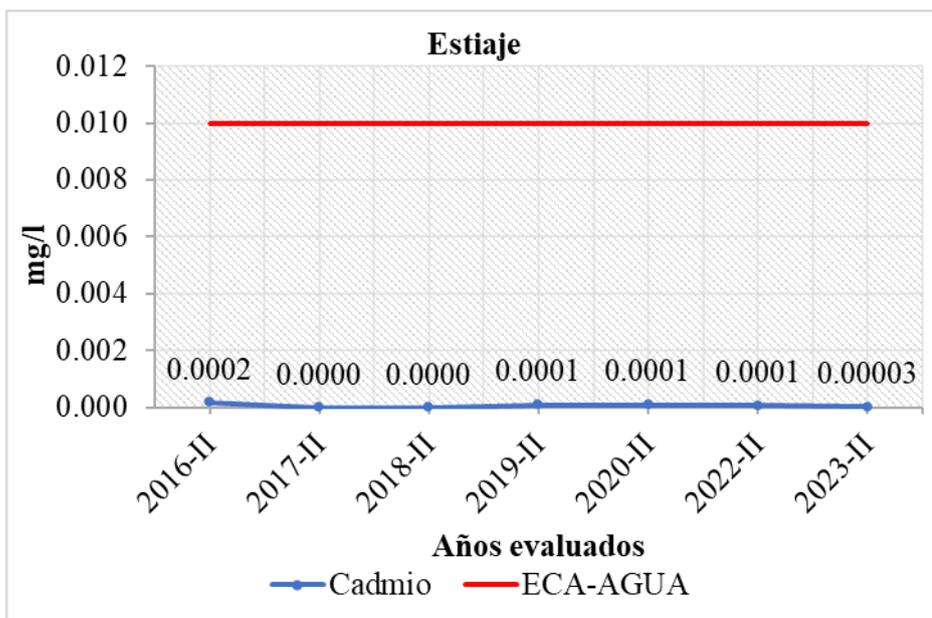
Análisis de tendencia de Cadmio en RCruc5 en época de avenida.



Nota: Por su parte, el cadmio cumple consistentemente con los estándares de calidad ambiental del agua en todos los años analizados en la época de avenida.

Figura 82

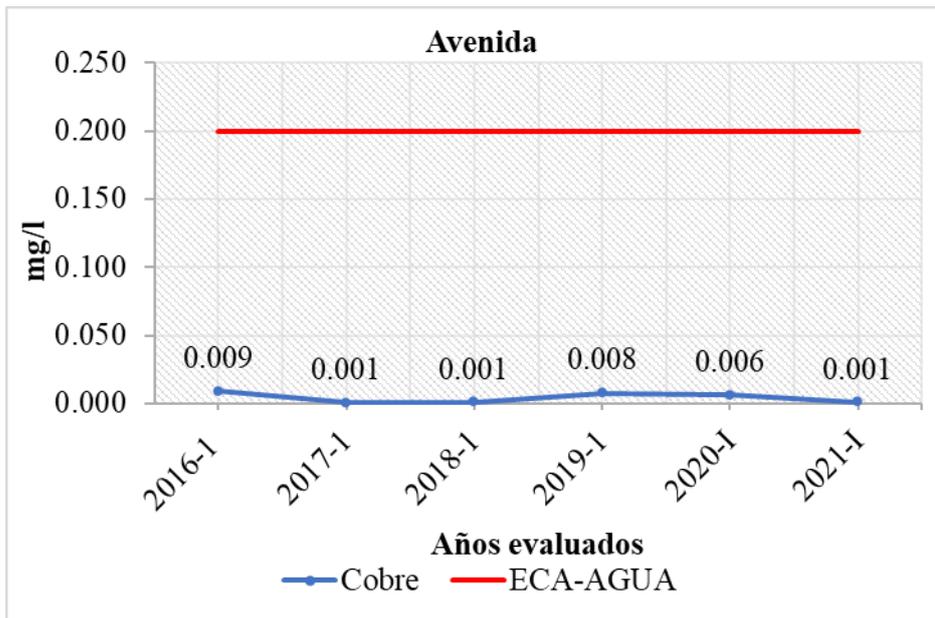
Análisis de tendencia de Cadmio en RCruc5 en época de estiaje.



Nota: Por su parte, el cadmio cumple consistentemente con los estándares de calidad ambiental del agua en todos los años analizados en la época de estiaje.

Figura 83

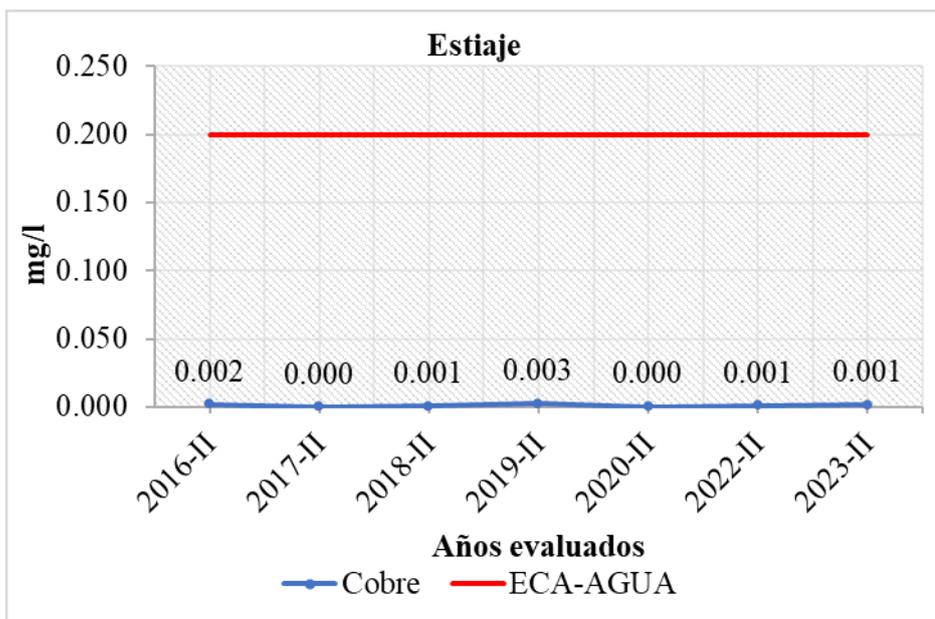
Análisis de tendencia de Cobre en RCruc5 en época de avenida.



Nota: El cobre, a diferencia de otros elementos en este punto, se mantiene dentro de los límites establecidos en todos los años bajo estudio en la época de avenida.

Figura 84

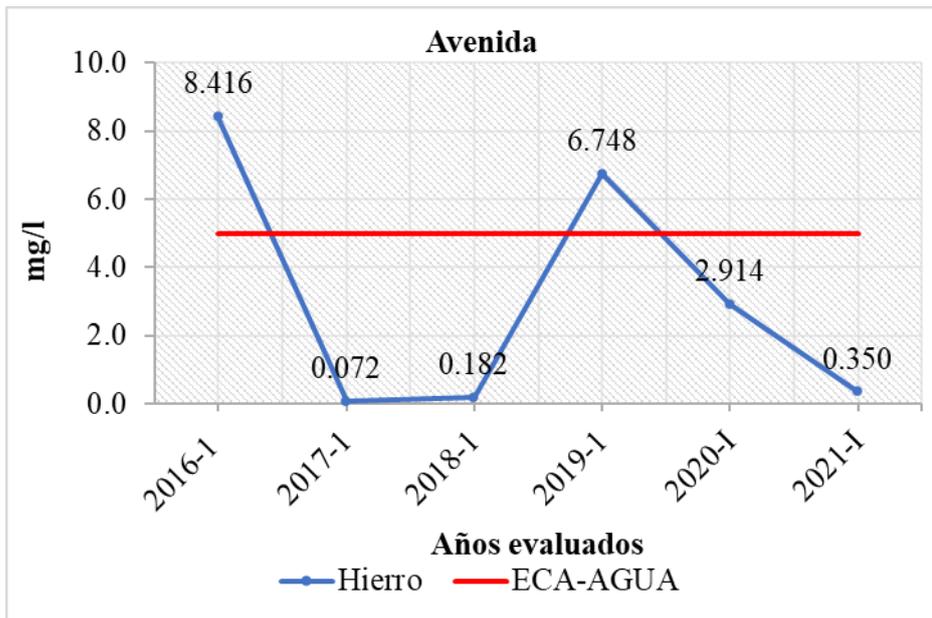
Análisis de tendencia de Cobre en RCruc5 en época de estiaje.



Nota: El cobre, a diferencia de otros elementos en este punto, se mantiene dentro de los límites establecidos en todos los años bajo estudio en la época de estiaje.

Figura 85

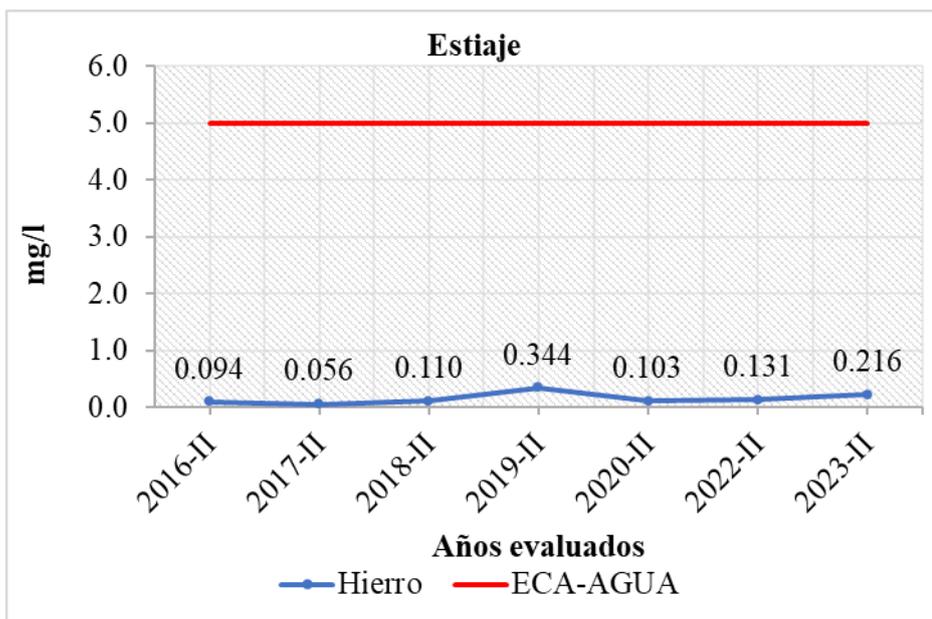
Análisis de tendencia de Hierro en RCruc5 en la época de avenida.



Nota: el hierro supera los valores permitidos del ECA-agua en años específicos: el hierro destaca en 2016-I y 2019-I correspondientes a la época de avenida.

Figura 86

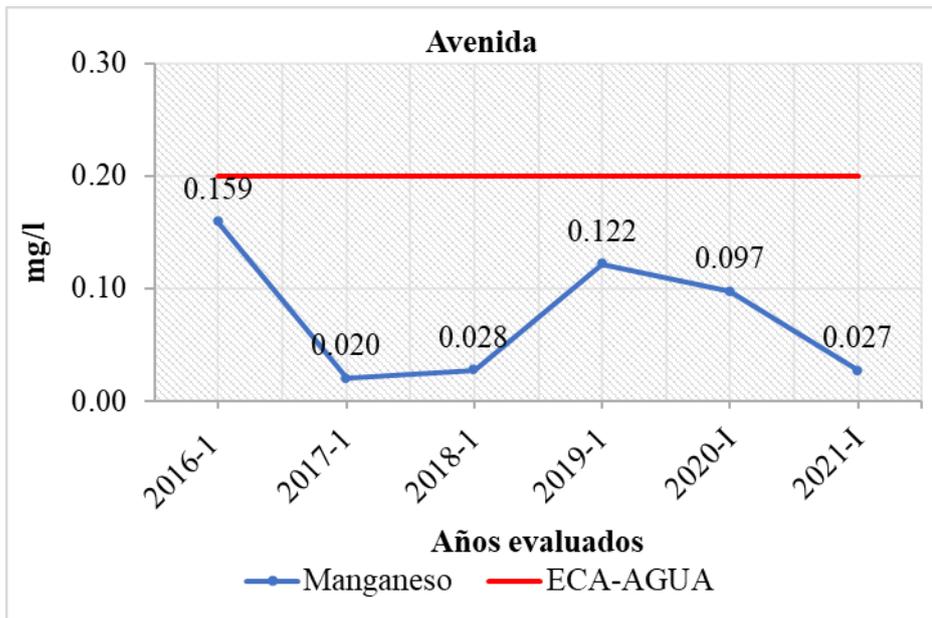
Análisis de tendencia de Hierro en RCruc5 en la época de estiaje.



Nota: el hierro no supera los valores permitidos del ECA-agua en los años específicos descritos en la figura correspondiendo a la época de estiaje.

Figura 87

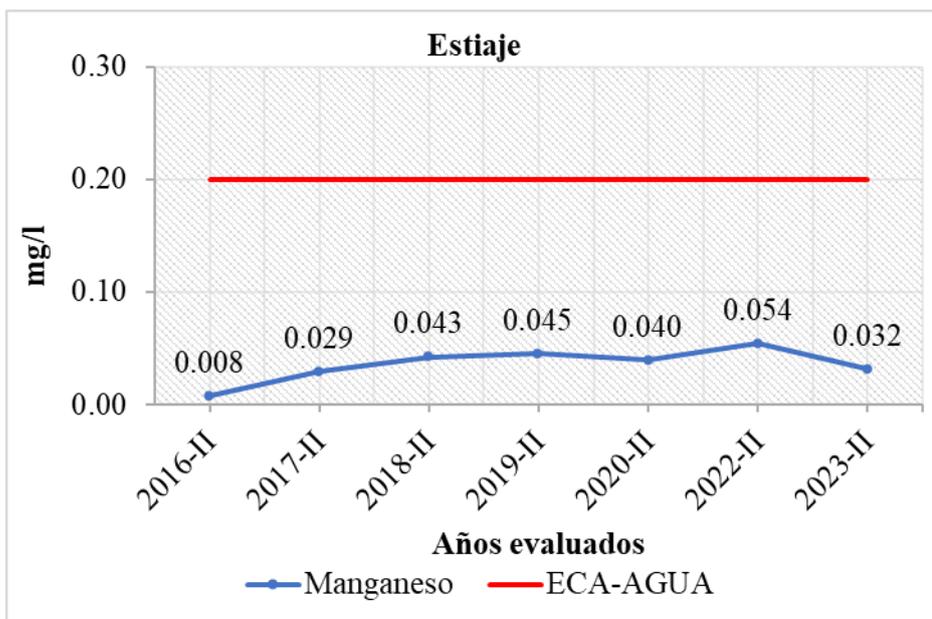
Análisis de tendencia de Manganeso en RCruc5 en época de avenida.



Nota: El análisis detallado señala que el nivel de manganeso no rebasa los estándares ambientales ECA-agua en la época de avenida.

Figura 88

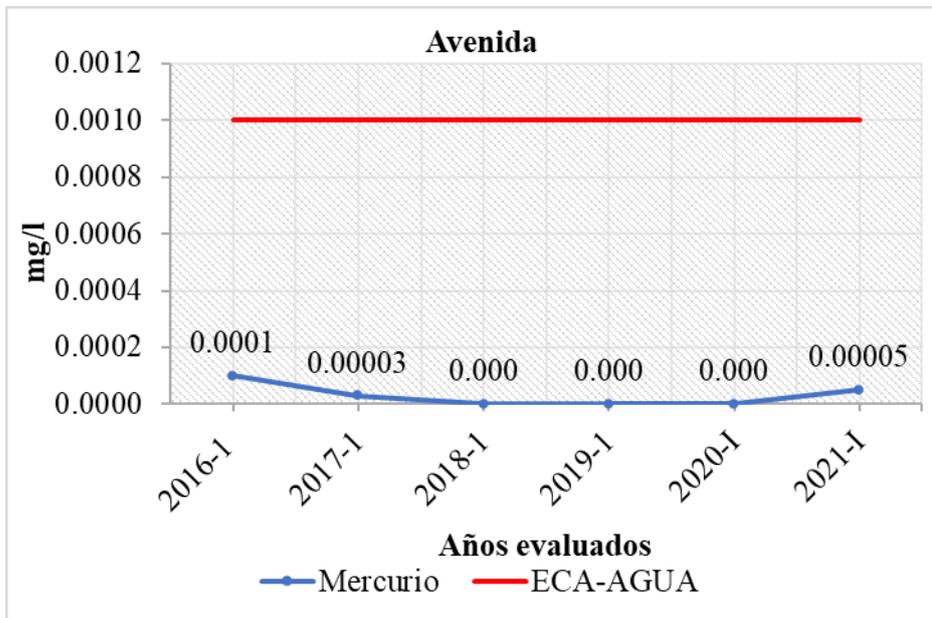
Análisis de tendencia de Manganeso en RCruc5 en época de estiaje.



Nota: El análisis detallado señala que el nivel de manganeso no rebasa los estándares ambientales ECA-agua en la época de estiaje.

Figura 89

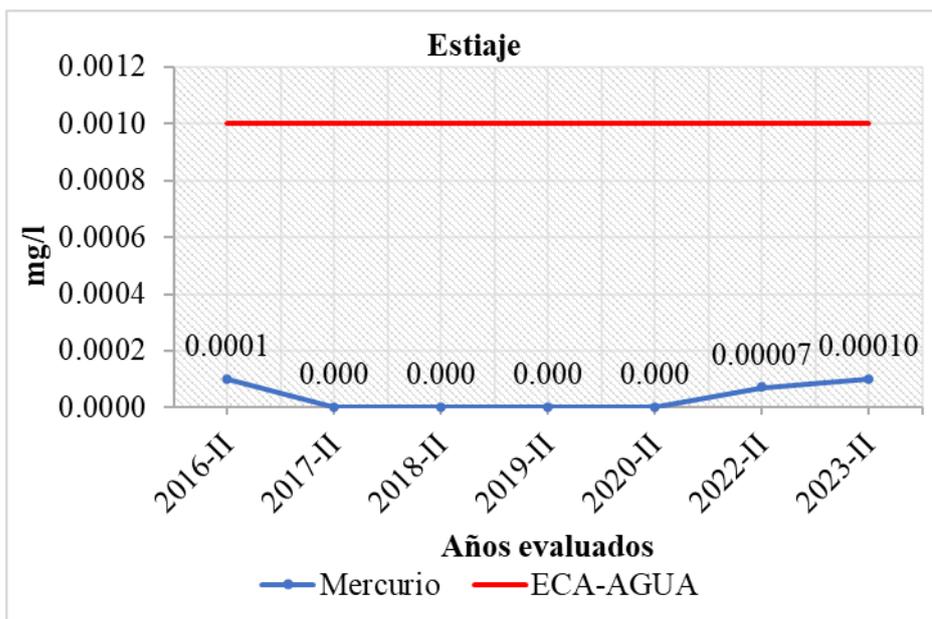
Análisis de tendencia de Mercurio en RCruc5 en época de avenida.



Nota: El mercurio muestra un cumplimiento general con los valores establecidos en el ECA-agua, respaldado por los datos y representaciones gráficas en la época de avenida.

Figura 90

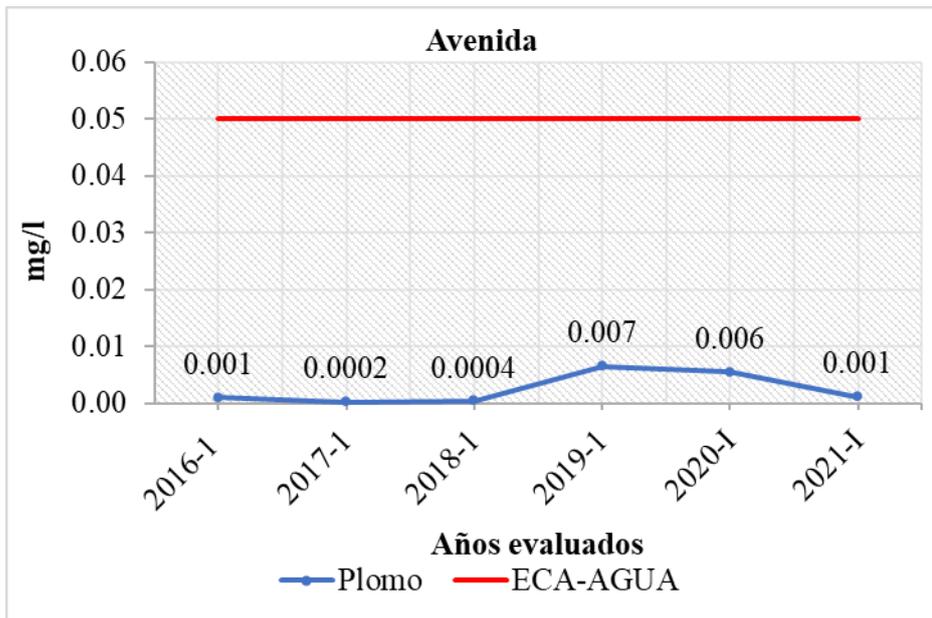
Análisis de tendencia de Mercurio en RCruc5 en época de estiaje.



Nota: El mercurio muestra un cumplimiento general con los valores establecidos en el ECA-agua, respaldado por los datos y representaciones gráficas en la época de estiaje.

Figura 91

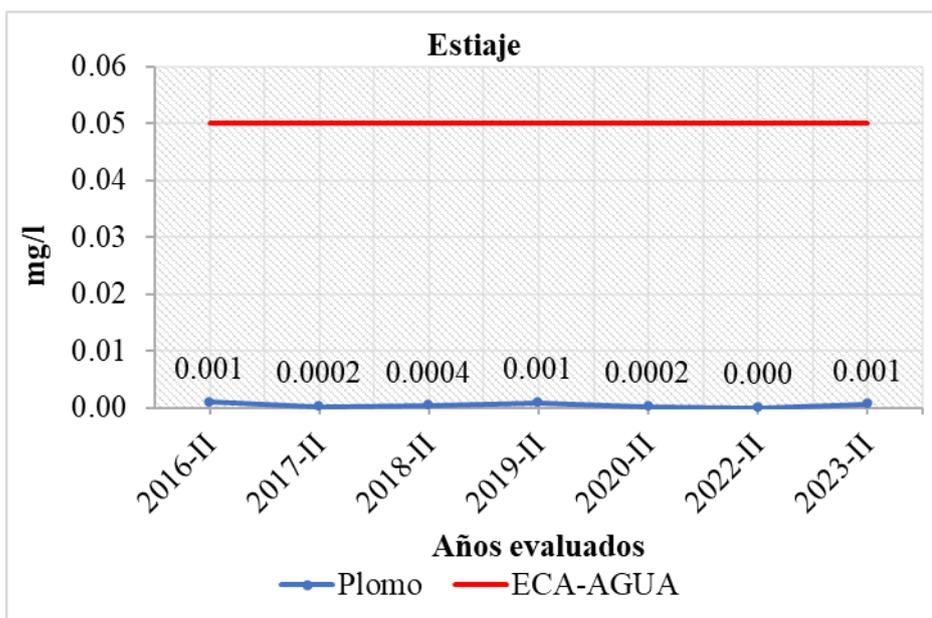
Análisis de tendencia de Plomo en RCruc5 en época de avenida.



Nota: En referencia al plomo, similar a otros elementos en este punto, no excede los valores permitidos en ninguno de los años analizados en la época de avenida.

Figura 92

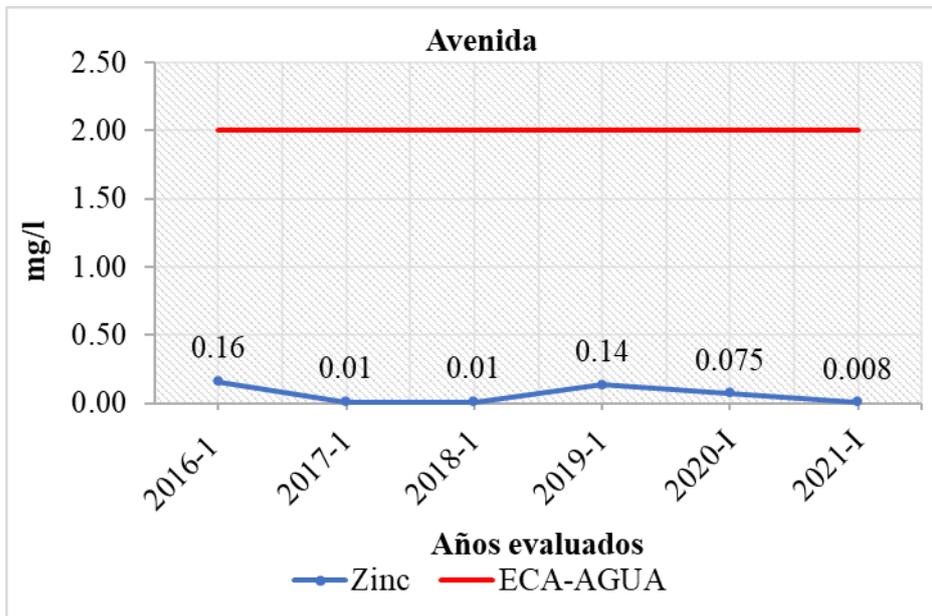
Análisis de tendencia de Plomo en RCruc5 en época de estiaje.



Nota: En referencia al plomo, similar a otros elementos en este punto, no excede los valores permitidos en ninguno de los años analizados en la época de estiaje.

Figura 93

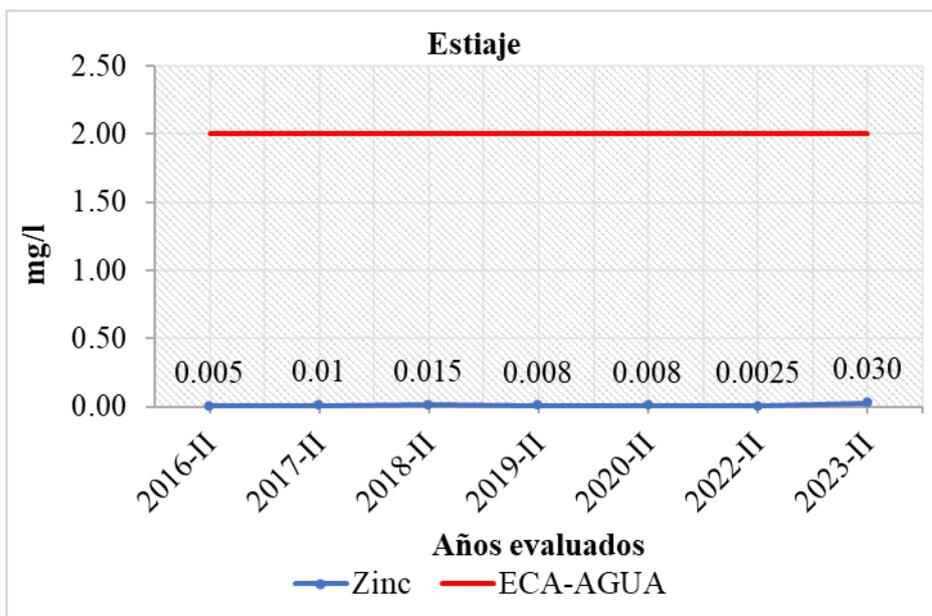
Análisis de tendencia de Zinc en RCruc5 en época de avenida.



Nota: En contraste, el zinc se adhiere en su mayoría a los valores establecidos en el ECA-agua, como se observa en el gráfico adjunto en la época de avenida.

Figura 94

Análisis de tendencia de Zinc en RCruc5 en época de estiaje.



Nota: En contraste, el zinc se adhiere en su mayoría a los valores establecidos en el ECA-agua, como se observa en el gráfico adjunto en la época de estiaje.

4.2. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ESPACIAL DEL COMPORTAMIENTO DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS APLICANDO EL ÍNDICE CCME WQI Y HPI

4.2.1. Resultados del índice de calidad de aguas ICA- CCME

Se condensaron los resultados del índice ICA - CCME en dos gráficos generales, ambos identificados con el símbolo "A" para avenidas y "E" para estiaje. El período de avenida y estiaje abarcó desde 2016 hasta 2023, representado en la Figura 4 y 5. Estos gráficos también exhiben los resultados para el período total, identificado con el símbolo "T".

Figura 95

Índice de calidad de agua de la Cuenca Azangaro, periodo Avenida y 2016-2023

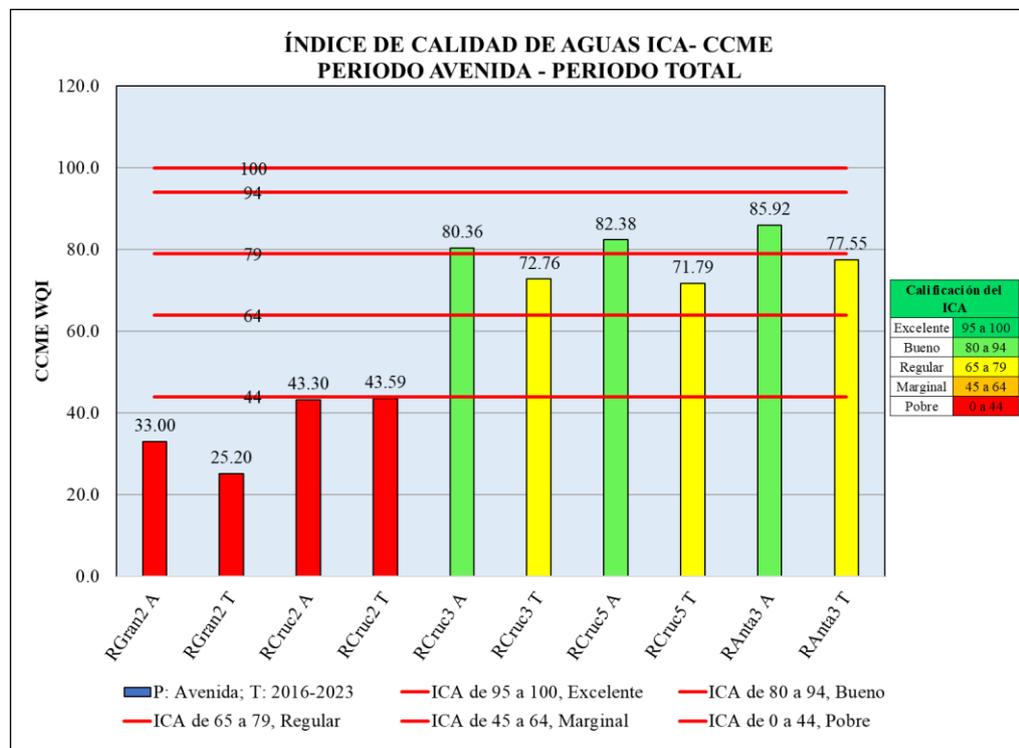
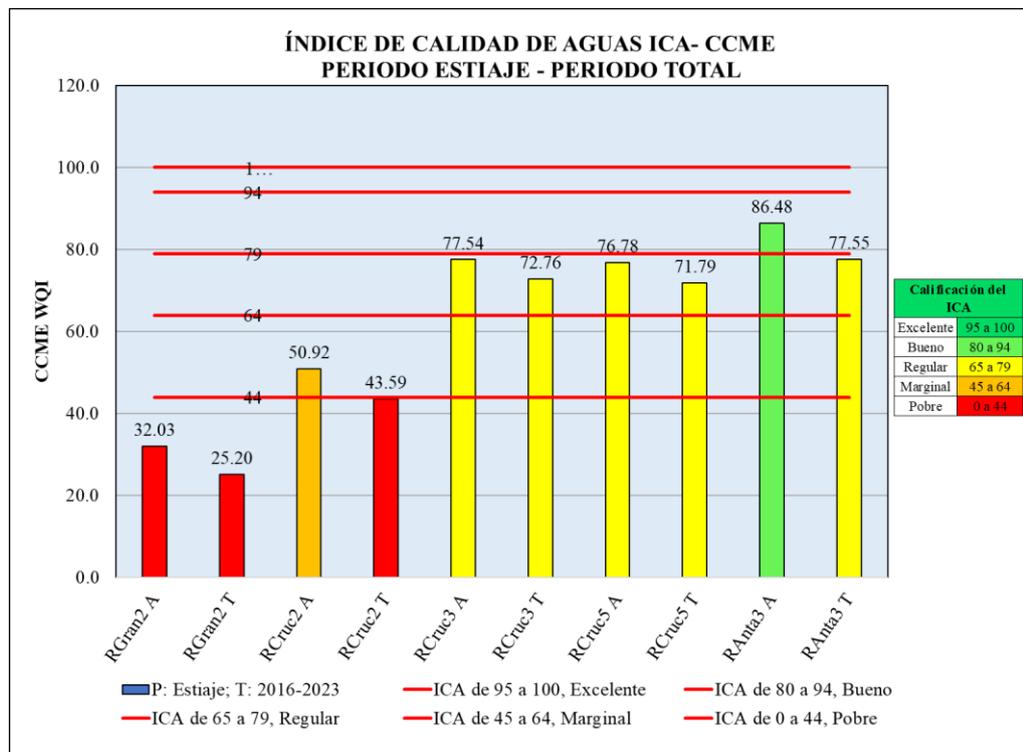


Figura 96

Índice de calidad de agua de la Cuenca Azángaro, periodo Estiaje y 2016-2023



4.2.2. Análisis y calificación de resultados en la cuenca Azángaro por punto con la metodología ICA CCME WQI.

Punto de Red RGran2 (Río Grande)

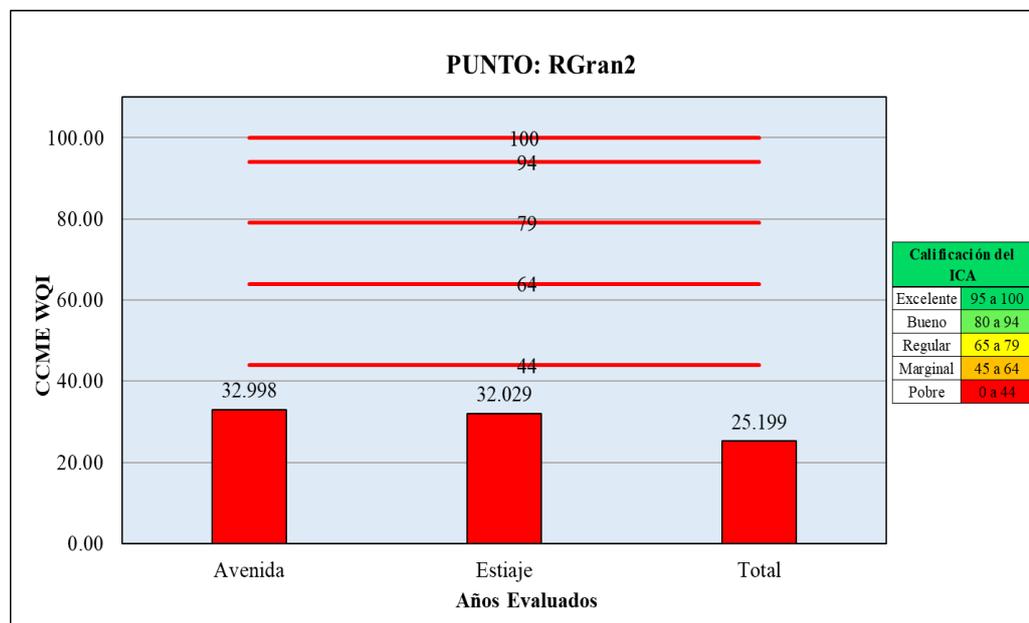
La calificación del ICA CCME por periodos de avenida y de estiaje es **Pobre**. Los valores en el punto RGran2 son 32.998 y 32.029, se encuentra en el límite superior en la calificación del ICA, Los hallazgos indicaron que con frecuencia la calidad del agua enfrenta amenazas o impactos negativos, alejándose de las condiciones físicas o niveles establecidos para los parámetros correspondientes.

La calificación del ICA CCME Total del año 2016 al 2023 es Pobre, con un valor de 25.199, su resultado evidenció que la calidad del agua se encuentra amenazada o con impactos negativos.

Según las evaluaciones por períodos y el total, se observó que obtuvieron la puntuación más baja. La Figura 96 resume puntuaciones similares a lo largo de los años en períodos y el total.

Figura 97

Punto de muestreo RGran2 con el ICA CCME WQI



Punto de Red RCruc2 (Río Crucero)

La calificación del ICA CCME por periodo de avenida es Pobre. El valor en el punto RCruc2 es 43.30 demuestra que la calidad del agua es amenazada y afectada de manera negativa y con frecuencia se aleja de las condiciones físicas o niveles establecidos para los parámetros correspondientes.

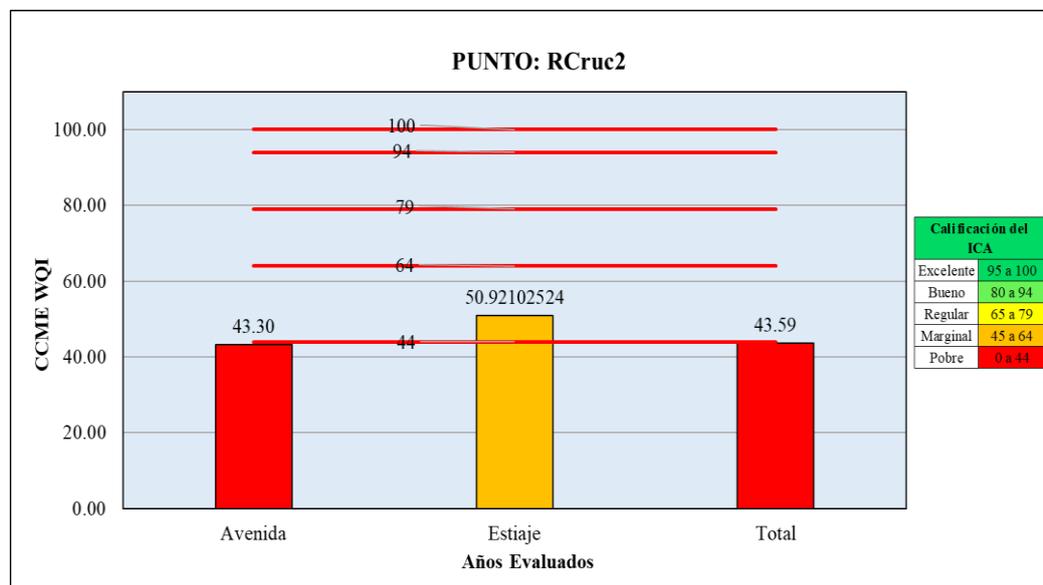
La calificación del ICA CCME por periodo de estiaje es Marginal, con un valor de 50.92, su resultado evidencio que la calidad del agua enfrenta

amenazas o impactos negativos con frecuencia, alejándose con regularidad de las condiciones físicas o niveles establecidos para los parámetros correspondientes.

La calificación del ICA CCME Total del año 2016 al 2023 es Pobre, con un valor de 43.59, no se observó ninguna tendencia de mejora en la calidad del agua en comparación con la evaluación por períodos al utilizar la evaluación del ICA Total.

Figura 98

Punto de muestreo RCruc2 con el ICA CCME WQI



Punto de Red RCruc3 (Río Crucero)

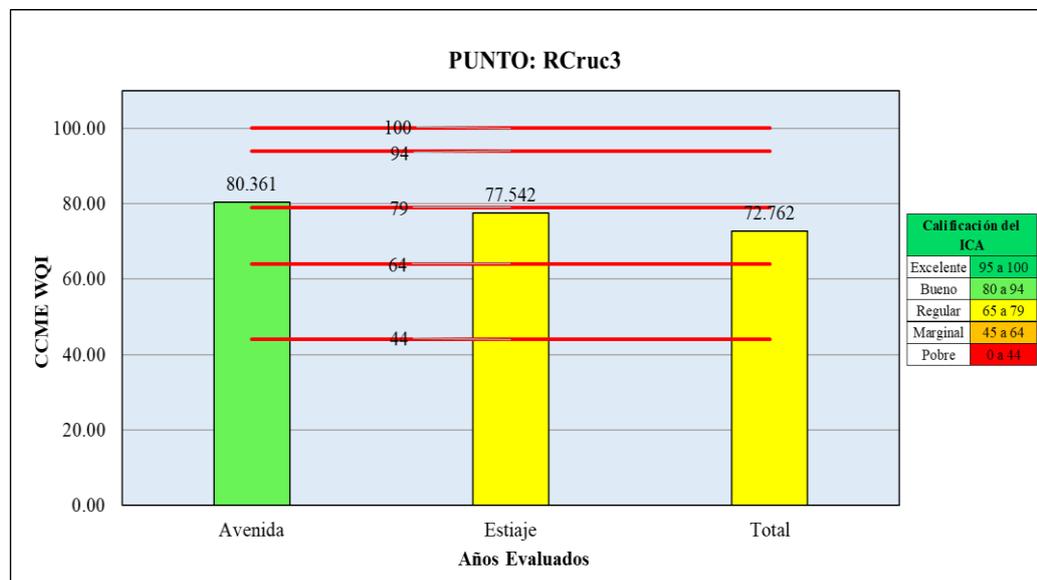
La calificación del ICA CCME por periodo de avenida es Buena. El valor en el punto RCruc3 es 80.361 e indica que la calidad del agua enfrenta amenazas o impactos negativos con poca frecuencia y se aleja con regularidad de las condiciones físicas o niveles establecidos para los parámetros correspondientes.

La calificación del ICA CCME por periodo de estiaje es Regular, con un valor de 77.542, su resultado evidenció que la calidad del agua enfrenta amenazas o impactos negativos con frecuencia y se aleja con regularidad de las condiciones físicas o niveles establecidos para los parámetros que corresponden.

La calificación del ICA CCME Total del año 2016 al 2023 es Regular, con un valor de 72.762, la calificación general como "Regular" sugiere que la calidad del agua del río persiste con un nivel constante de contaminación; no obstante, este resultado no refleja que existe una inclinación hacia la mejora en la calidad del agua del río. La Figura 8 resume los resultados a lo largo de los años en periodos y el total.

Figura 99

Punto de muestreo RCruc3 con el ICA CCME WQI



Punto de Red RCruc5 (Río Crucero)

La calificación del ICA CCME por periodo de avenida es Buena. El valor en el punto RCruc5 es 82.377, los resultados en el río Crucero se muestran en la tabla 11, se observa que 6 resultados de los análisis de agua no cumplen con

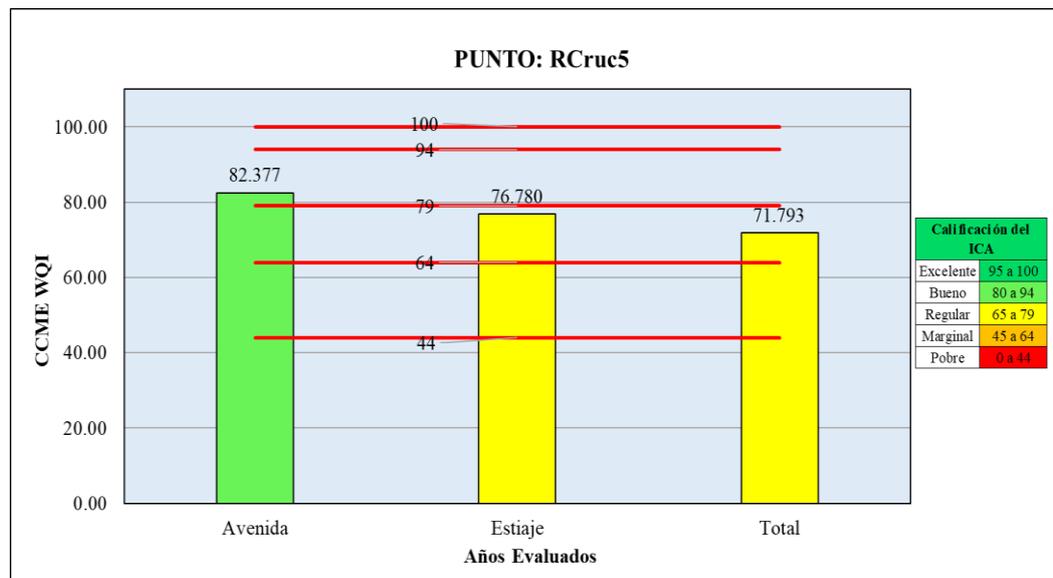
el ECA agua categoría 3, su evaluación es más favorable en este período, indicando que la calidad del agua generalmente está resguardada, aunque ocasionalmente se ve amenazada y se aleja de las condiciones físicas o deseables establecidas para los parámetros.

La calificación del ICA CCME por periodo de estiaje es Regular, con un valor de 76.780, su resultado se sitúa en el extremo inferior de la escala de calificación del ICA, y para ambos períodos, los resultados indicaron que la calidad del agua está resguardada, con solo un nivel reducido de amenaza. Esta evaluación concordó con los resultados de los parámetros analizados y la presencia de fuentes contaminantes en la ubicación.

La calificación del ICA CCME Total del año 2017 al 2023 es Regular, con un valor de 71.793, su resultado puso de manifiesto que la calidad del agua se encuentra protegida, aunque presenta desviaciones de las condiciones físicas o ideales establecidas para los parámetros.

Figura 100

Punto de muestreo RCruc3 con el ICA CCME WQI



Punto de Red RAnta3 (Río Antauta)

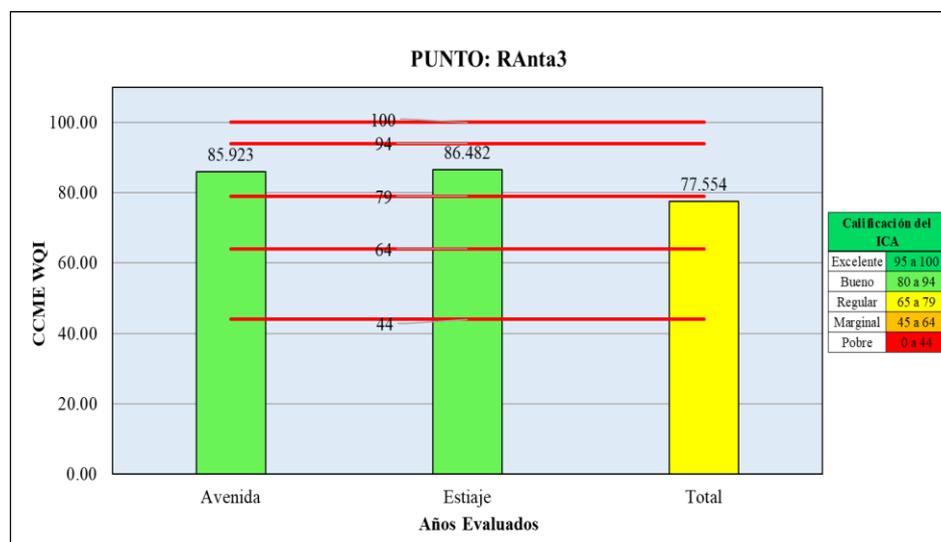
La calificación del ICA CCME por periodo de avenida es Regular. El valor en el punto RAnta3 es 85.923 esto indica que con frecuencia la calidad del agua enfrenta pocas amenazas o impactos negativos y se distancia en muchas ocasiones de las condiciones físicas o niveles establecidos para los parámetros correspondientes.

La calificación del ICA CCME por periodo de estiaje es Buena, con un valor de 86.482, por ende, la protección de la calidad del agua es común, aunque ocasionalmente se ve amenazada por algún impacto negativo y se desvía de las condiciones físicas o ideales establecidas por la normativa nacional; este punto demuestra una mejoría evidente en la calidad del agua del río Crucero.

La calificación del ICA CCME Total del año 2016 al 2023 es Regular, con un valor de 77.354, su calificación mostro un valor similar al del periodo 2016 al 2018.

Figura 101

Punto de muestreo RAnta3 con el ICA CCME WQI



4.2.3. Resultados del índice de metales pesados HPI

Los resultados del índice HPI se agruparon en dos épocas: uno que es la época de estiaje durante los años 2016 hasta 2023 (Figura 11) y otro que es la época de avenida durante los años 2016 hasta 2023 (Figura 12). Ambas épocas se muestran en los gráficos, además se incluyen los resultados del período total que comprende desde 2016 hasta 2023, representado por el símbolo T. Estos datos permiten una comparación entre los diferentes años para comprender mejor la evolución de los resultados a lo largo del tiempo.

Figura 102

Índice de metales de Metales pesados de la cuenca Azangaro, época de estiaje 2016-2023

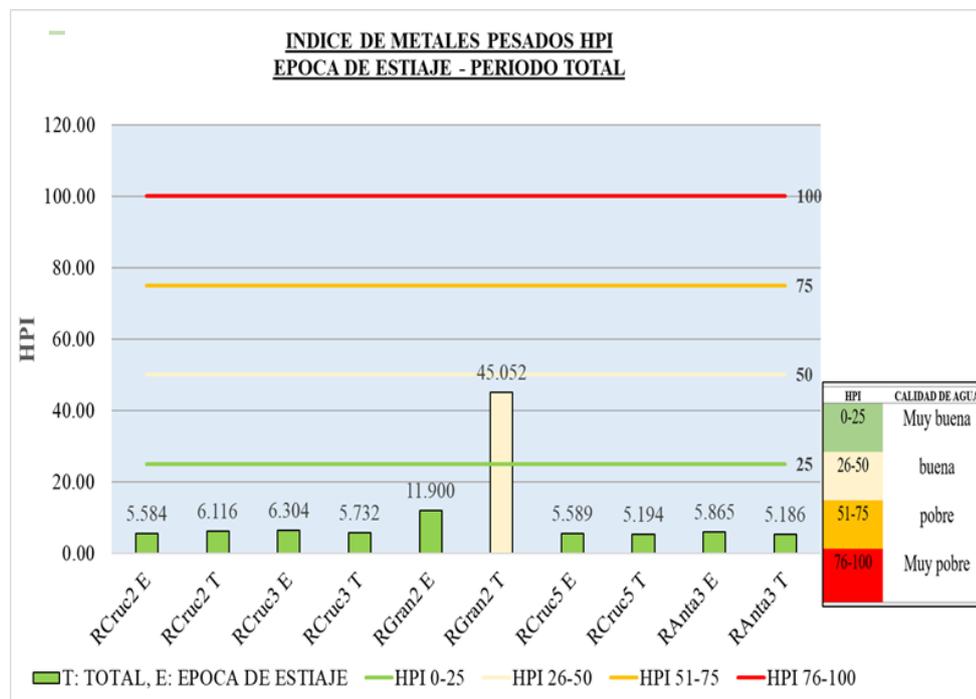
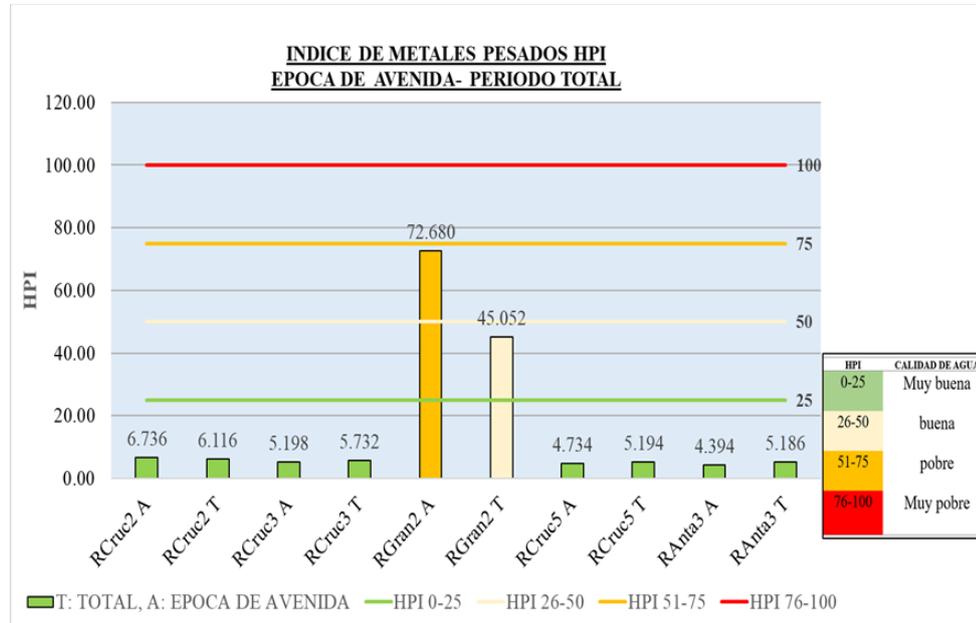


Figura 103

Índice de metales de Metales pesados del rio Crucero, época de avenida 2016-2023



4.2.4. Análisis y calificación del índice de metales pesados HPI en los puntos de interés.

Punto: RGrand2

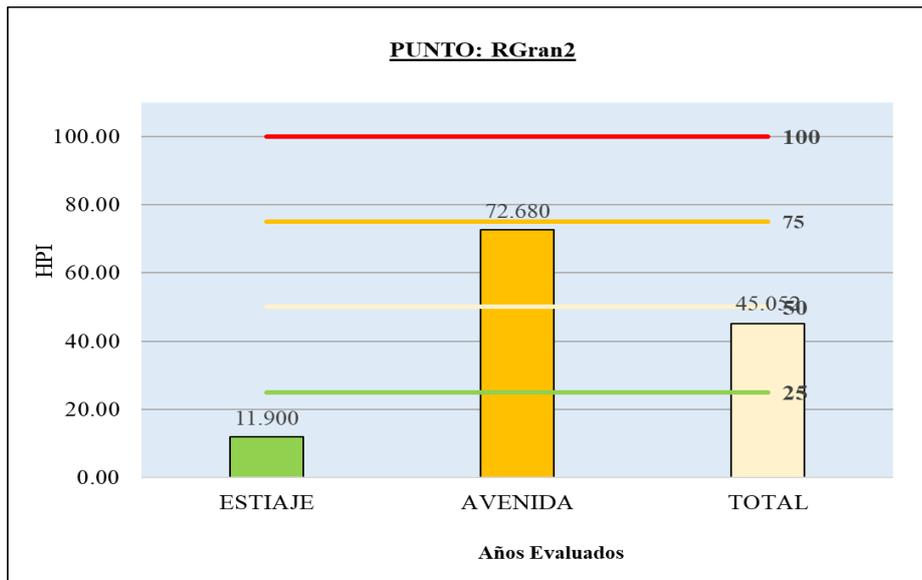
La evaluación del Índice de Contaminación por Metales Pesados (HPI) durante la época de estiaje durante los años 2016-2023 revela una calidad de buena para el punto de muestreo RGrand2 como se muestra en la figura 13. Los resultados obtenidos concuerdan con los análisis de los metales, los cuales no cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA) tales que el manganeso, hierro y Zinc.

La calificación general del HPI para las épocas de estiaje durante 2016 a 2023 es considerada muy buena. A pesar de que las calificaciones fueron similares en ambos periodos, existe una diferencia en los valores asignados.

En la época de avenida, se observó un valor de 72.68 y en el periodo total se observó 45.05 de calificación. La calificación total en este punto representa un promedio en comparación con las calificaciones por periodos.

Figura 104

Punto de muestreo RGran2 con el HPI



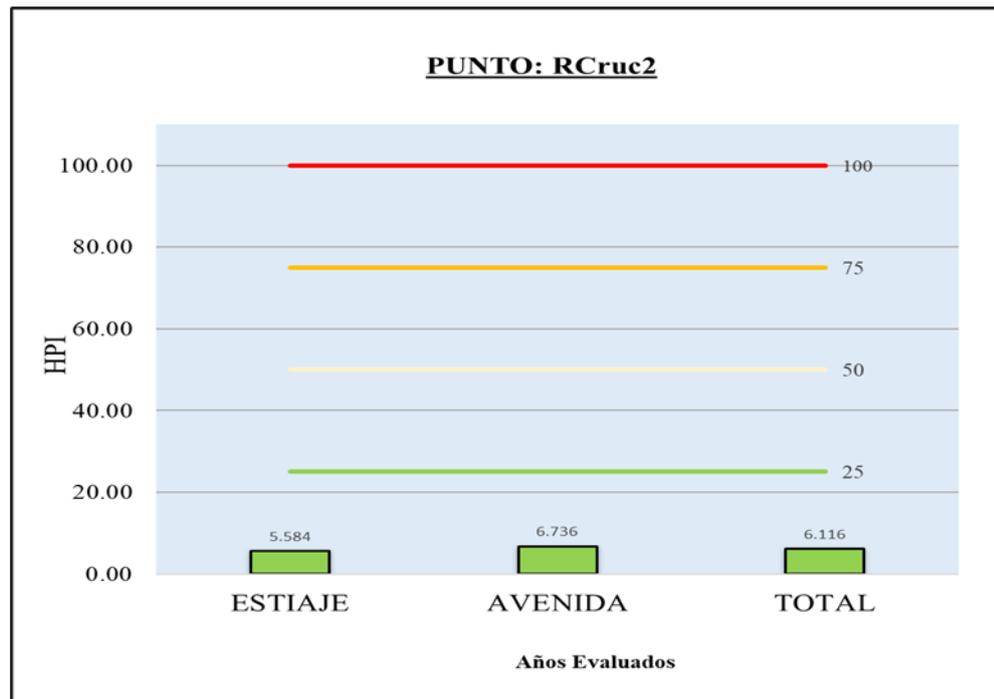
Punto: RCruc 2

La calificación del índice de metales pesados HPI en la época de avenida durante los años 2016 al 2023. El índice de metales pesados HPI fue **altamente satisfactorio** registrando un valor de 6.73. Los detalles se encuentran en el cuadro adjunto, donde se identifica que 11 de los resultados de análisis de agua no cumplieron con la normativa establecida para la categoría 3-D1 del ECA agua, especialmente debido a niveles superiores de aluminio, hierro y manganeso. Estos parámetros impactaron significativamente en el resultado general al exceder los estándares. En este contexto, la calificación general fue altamente satisfactoria.

En la época de estiaje 2016 al 2023, el HPI mantuvo una calificación también muy buena, con un valor de 5.58. La calificación total del HPI durante el período 2016 al 2023 se mantiene como muy buena.

Figura 105

Punto de muestreo RCruc2 con el HPI



Punto: RCruc3

La calificación del Índice de Metales Pesados (HPI) durante la época de estiaje del 2016 a 2023 el HPI reflejó un nivel de muy buena, alcanzando un valor de 6.30 donde se identificaron 2 resultados de análisis de agua que no cumplieron con los estándares establecidos para la categoría 3-D1 del ECA agua, principalmente debido a niveles elevados de aluminio y hierro.

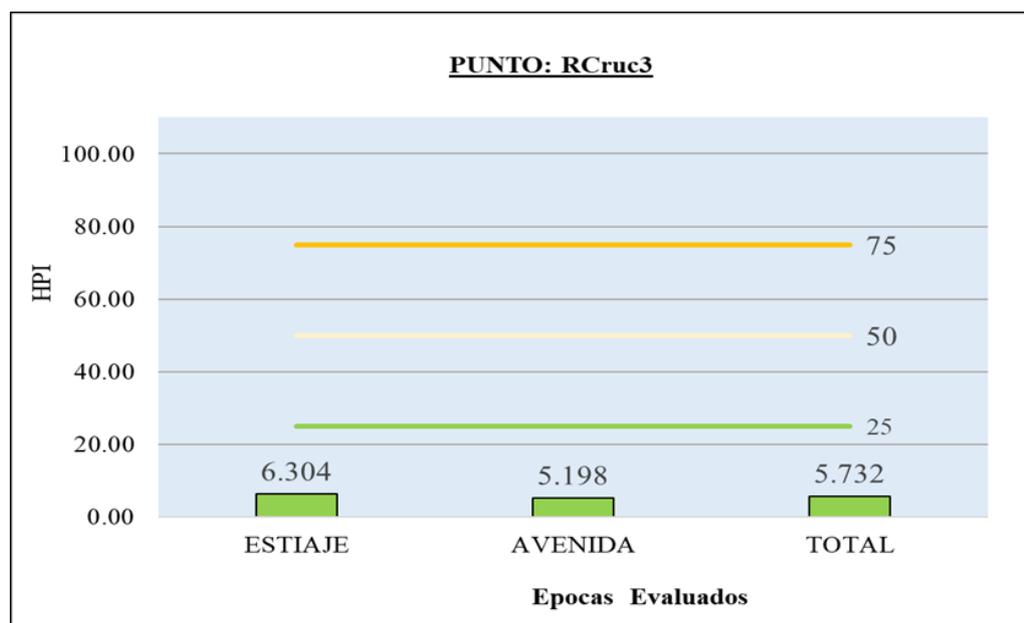
Para la época de avenida, el HPI mantuvo una calificación igualmente favorable, con un valor de 5.198. Se identificó que en 4 de los análisis de agua, los niveles no cumplieron con los requisitos establecidos para la categoría 3-D1

del ECA agua, donde aluminio, hierro y manganeso excedieron los estándares. A pesar de estos incumplimientos en algunos parámetros la calificación es de muy buena.

En cuanto a la calificación total del HPI durante el período de 2016 a 2023, sigue manteniendo un nivel de calificación de muy buena. Esta evaluación por periodos resulta más realista al reflejar una tendencia de mejora que ha sido evidente los datos obtenidos.

Figura 106

Punto de muestreo RCruc3 con el HPI



Punto: RCruc5

La evaluación del HPI para el periodo total del 2016 al 2023 arroja una calificación muy buena, con resultados de 5.19 respectivamente, según se detalla en la figura 16 que se cumple con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA).

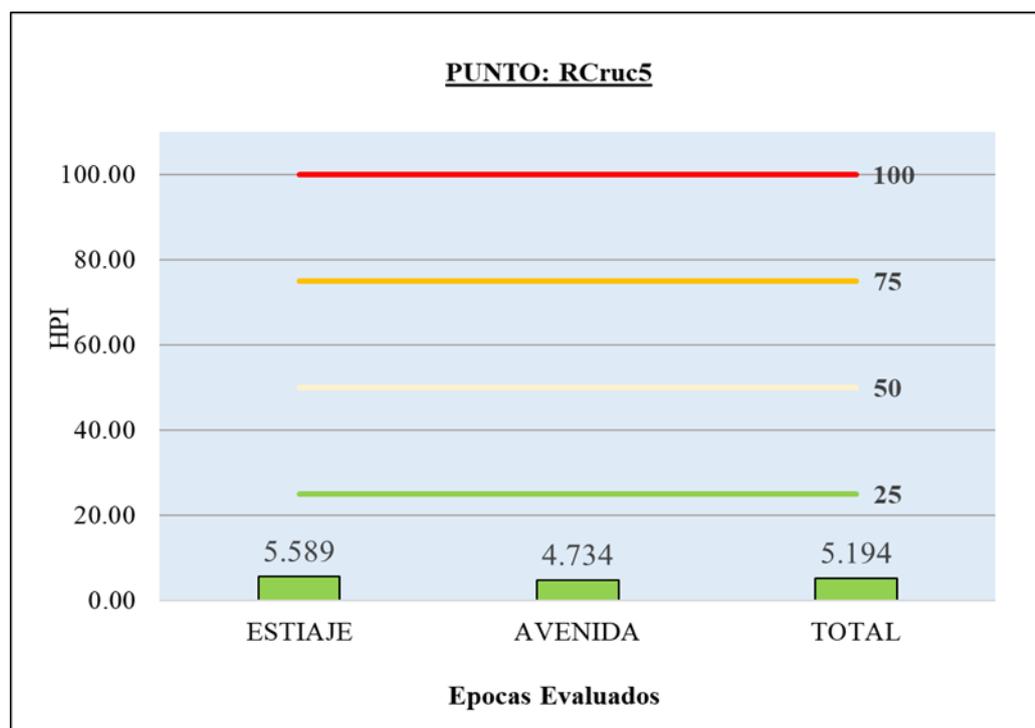
En la época de estiaje, también se evidencia los valores numéricos que el resultado de la calificación del HPI es de muy buena con un valor de 5.59.

Para la época de avenida, el HPI mantuvo una calificación igualmente favorable, con un valor de 4.73 Se identificó que en 2 de los resultados de análisis de agua los niveles no cumplieron con los requisitos establecidos para la categoría 3-D1 del ECA agua.

La puntuación total del HPI durante el periodo de 2016 al 2023 refleja una calidad muy buena con una calificación de 6.97 que por periodos indica una tendencia estable, evidenciada en los resultados de campo.

Figura 107

Punto de muestreo RCruc5 con el HPI



Punto: RAnta3

La puntuación del Índice de Contaminación por Metales Pesados (HPI) durante el período 2016 al 2023 en época de estiaje muestra una calidad de muy buena con un HPI de 5.86 detallado en la figura 17 En este caso, se observó que dos de los resultados de las pruebas de agua no cumplen con el

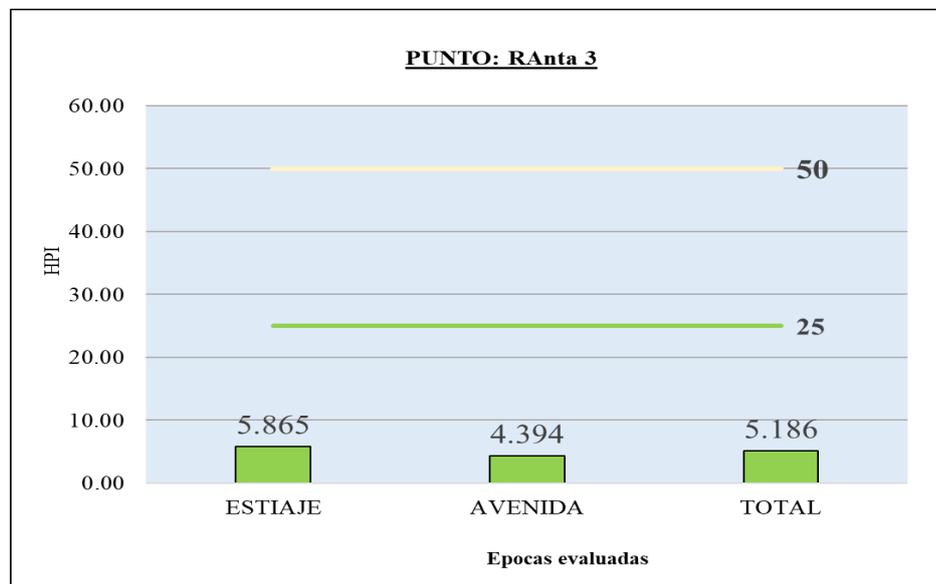
Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para la categoría 3-D1, principalmente los parámetros de aluminio y hierro. Estos parámetros exceden en alguno de los años los límites establecidos por el ECA.

En cuanto a la época de avenida, el HPI refleja una calidad de muy buena, con un valor de 4.39, como se muestra en el Cuadro adjuntos. Esto se debe a que la evaluación del HPI se basa principalmente en la concentración de metales, mientras que el ICA CCME considera más parámetros.

El puntaje total del HPI durante el período 2016 al 2023 indica una calidad muy buena, similar a la evaluación realizada por el Índice de Calidad del Agua de Canadá. A pesar de que la calificación por periodos muestra una estabilidad.

Figura 108

Punto de muestreo RAnta3 con el HPI



La evaluación de los índices de calidad, tanto en el primer como en el segundo periodo, revela una marcada tendencia positiva en la mejora de la calidad



del agua. Específicamente, durante el segundo periodo, se observa de manera destacada un progreso continuo hacia condiciones más favorables en términos de calidad hídrica. Este indicador sugiere un avance significativo en la preservación y protección de la calidad del agua, indicando una dirección positiva en el manejo de los recursos hídricos en el área de estudio.

La evaluación del estado de calidad del agua en la cuenca del río Rímac se realizó mediante el índice canadiense CCME_WQI, utilizado para el cálculo del índice de calidad de aguas ICA PE. La interpretación de cada resultado se encuentra influida por la ubicación geográfica de los puntos de monitoreo, así como por las variaciones temporales y espaciales. Es fundamental considerar diversos factores que inciden en la calidad del agua, como la naturaleza y ubicación de las fuentes contaminantes, ya que estos elementos contribuyen a la complejidad del análisis y a la comprensión de la situación ambiental en la cuenca (ANA, 2018).

Algunos índices de calidad de agua más recientes, como el CCME-WQI y el DWQI, proponen estructuras de cálculo que permiten una evaluación integral y amplia de la calidad del agua, considerando tanto la variación en el tiempo como en el espacio. Estos índices analizan, durante un periodo determinado, el número de parámetros que superan un punto de referencia, la frecuencia de registros que exceden este punto y la magnitud de dicha superación. Estas estructuras de cálculo facilitan la comparación de los parámetros con la normatividad vigente, según el uso evaluado, lo que beneficia la evaluación de fuentes con variaciones considerables en la calidad a lo largo del tiempo y permite adaptar la evaluación a las condiciones específicas de una región o país. (Torres y otros, 2009)



La introducción de metales en los ríos y su incorporación al ciclo hidrológico se origina desde diversas fuentes, siendo significativas las de origen litogénico o geoquímico. No obstante, es crucial destacar que, en la actualidad, la mayor concentración de estos metales en los cuerpos de agua se debe principalmente a actividades humanas, conocidas como actividades antropogénicas. Este fenómeno resalta la influencia directa de las acciones humanas en el incremento de los niveles de metales en los ríos, lo cual puede tener importantes implicaciones para la calidad del agua y el equilibrio del ecosistema acuático. (Geesey y otros, 1984)

En el estudio acerca de la presencia de metales en el agua y los sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, ubicada en la frontera entre México y Guatemala, se señala que la actividad minera no solo genera impactos durante su operación, sino también después de su cese o cuando las operaciones son abandonadas. Esta situación afecta negativamente la calidad del agua, la salud del suelo y los ecosistemas que abarca, provocando consecuencias a largo plazo incluso cuando las minas ya no están en funcionamiento. (Laino Guanes, 2015)



4.3. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN TEMPORAL DEL COMPORTAMIENTO DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS APLICANDO EL MÉTODO ESTADÍSTICO DE CORRELACIÓN DE PEARSON Y SPEARMAN

4.3.1. Correlación entre las concentraciones de parámetros físico-químicos y metales totales.

Los resultados procesados con el programa estadístico IBM SPSS Statistics se sometieron a un análisis de correlación utilizando el método de Pearson en el punto RCruc2-Avenida y el método de Spearman en los puntos RGran2, RAnta3, RCruc3 y RCruc5. Estos métodos fueron seleccionados debido a que se ajustan mejor a las características de cada punto, tanto en épocas de avenida como de estiaje. En cada ubicación, se generaron matrices de correlación de Pearson y Spearman para cada temporada (estiaje y avenida), permitiendo así una evaluación integral de las relaciones estadísticas en distintos ciclos estacionales.

Primero se realizó la prueba de normalidad planteando las hipótesis nula y alternativa con el objetivo de determinar si la distribución de los datos es normal.

En la Figura 49, 50, 52, 53, 54, 55, 56, 57 y 58, se observan las matrices de correlación de Spearman calculada a partir de los datos de ambas épocas (avenida y estiaje) de los cinco puntos de monitoreo, excepto el punto RCruc2-avenida.

En la Figura 51 se observa la matriz de correlación de Pearson calculada a partir de los datos de la época de avenida del punto RCruc2.

4.3.2. Método Spearman

Se utilizó el método de Spearman para los puntos de monitoreo: RGran2 (avenida y estiaje), RCruc2 (estiaje), RAnta3 (avenida y estiaje), RCruc3 (avenida y estiaje) y RCruc5(avenida y estiaje). Esta elección se basó en los resultados de la prueba de normalidad, la cual indicó que estos datos se ajustan mejor al método de Spearman.

Se evaluaron mediante una prueba estadística no paramétrica cual es la correlación de Spearman para saber si las dos variables son significativas en donde Se calcularon las matrices de correlación de Spearman en dos épocas tales como estiaje y avenida, En los Anexos 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 se presentan las matrices de correlación entre 14 variables ordenadas los metales tales como; aluminio, arsénico, Cobre, Cadmio, hierro, manganeso, mercurio, plomo y zinc. Por la otra parte los parámetros físico-químicos tales como; Caudal, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y pH.

4.3.3. Método Pearson

Se utilizó el método de Pearson para el punto de monitoreo RCruc2 (avenida). Esta elección se basó en los resultados de la prueba de normalidad, la cual indicó que estos datos se ajustan mejor al método de Pearson.

Se realizó un análisis estadístico no paramétrico para evaluar la significancia de la correlación de Pearson entre dos variables. Se calcularon matrices de correlación de Spearman en dos períodos distintos, durante el estiaje



y la avenida. En el Anexo 3, se presenta la matriz de correlación que incluye 14 variables, abarcando metales como aluminio, arsénico, cobre, cadmio, hierro, manganeso, mercurio, plomo y zinc, así como parámetros físico-químicos como caudal, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y pH.

Punto RGran2

Según el Anexo 1 y el Anexo 2, se observan correlaciones negativas entre pH, respecto a Al, As, Cd, Cu, Fe, Hg, Pb, Zn, Temperatura, Conductividad eléctrica y caudal, correlaciones positivas con los Oxígeno Disuelto. De lo descrito podemos inferir la disminución del pH estaría asociado a un incremento del Al, As, Cd, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn, Temperatura, Conductividad eléctrica, caudal. Como también el incremento del pH se debe a un incremento de Oxígeno disuelto.

Asimismo, se observan correlaciones negativas entre temperatura con respecto a Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Hg, Pb, Zn, pH, caudal y Oxígeno Disuelto mientras presenta correlaciones positivas con Conductividad eléctrica. De lo descrito podemos inferir la disminución de temperatura está asociado a un incremento del Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Hg, Pb, Zn, pH, caudal y Oxígeno Disuelto y el incremento de la temperatura se debe al incremento de la Conductividad eléctrica.

La conductividad eléctrica presenta correlaciones negativas al. También se observan correlaciones positivas con Al, Fe y temperatura, De lo descrito podemos inferir la disminución de la conductividad eléctrica está asociado a un incremento As, Cd, Cu, Mn, Hg, Zn, pH, oxígeno disuelto y caudal a su vez el



incremento de la conductividad eléctrica se encuentra relacionado a un incremento de Al, Fe, temperatura. Con el plomo no existe relación.

El oxígeno disuelto presenta correlaciones negativas altas respecto al Al, As, Cu, Fe, pb, Hg, Zn, caudal, temperatura y conductividad eléctrica, así mismo se refleja correlaciones positivas con las variables de Cd, Mn, pH. De lo descrito podemos inferir la disminución de oxígeno disuelto, está asociado a un incremento Al, As, Cu, Fe, pb, Hg, Zn, caudal, temperatura y conductividad eléctrica y el incremento del oxígeno disuelto está asociado al incremento de Cd, Mn y pH.

Se observó relaciones negativas entre el Caudal con los parámetros de campo tales como temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y pH, se presentó correlaciones positivas con Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Hg, Pb, Zn.

En los párrafos anteriores ya mencionados se infiere que en el punto de monitoreo RGran2 la mayoría de los metales sobrepasan los límites establecidos se debe a que en la zona la actividad más sobresaliente es la minería y al pasar los años se ve con mas claridad el crecimiento a que la población se dedica más a dicha actividad.

Punto RCruc2

De acuerdo al Anexo 3 y al Anexo 4, se realizaron análisis de correlación entre las mediciones físico-químicas tomadas in situ y la concentración total de metales para el punto de muestreo RCruc2.

Se observan relaciones negativas entre el pH respecto a Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, conductividad eléctrica, Caudal y temperatura, se notan relaciones positivas entre Hg y oxígeno disuelto. Se deduce que una disminución en el pH se



relaciona con un aumento en a Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, conductividad eléctrica, Caudal y temperatura, a su vez se vincula el aumento de pH se debe al incremento de Hg y oxígeno disuelto.

La temperatura se relaciona negativamente con los parámetros físico-químicos el pH, oxígeno disuelto de grado moderado. Se aprecian correlaciones positivas con Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Hg, Zn y Pb, Temperatura, caudal y la conductividad eléctrica. Se deduce que una disminución en la temperatura se asocia con un aumento en los parámetros físico-químicos el pH y oxígeno disuelto, y un aumento de la temperatura se debe al aumento de Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Hg, Zn y Pb, Temperatura, caudal y la conductividad eléctrica.

La conductividad eléctrica muestra correlaciones negativas con Al, As, Cu, Fe, Mn y, Pb, Zn, pH, Oxígeno Disuelto y caudal así también hay correlaciones positivas con Hg y Temperatura, Se infiere que una disminución en la conductividad eléctrica está relacionada con un aumento en Al, As, Cu, Fe, Mn y, Pb, Zn, pH, Oxígeno Disuelto, caudal y un aumento de la conductividad eléctrica se debe al aumento del Hg y Temperatura.

El oxígeno disuelto presenta correlaciones negativas con Al, As, Cu, Fe, Mn, Pb, Cd, Hg, Zn, Caudal, conductividad eléctrica y temperatura, correlaciones positivas con el pH. Se deduce que una disminución en el oxígeno disuelto se asocia con un aumento en Al, As, Cu, Fe, Mn, Pb, Cd, Hg, Zn, caudal, conductividad eléctrica, temperatura y el incremento de oxígeno disuelto se debe al aumento de pH

El caudal se correlaciona negativamente con los parámetros tales como Hg, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y pH. se presentó correlaciones

positivas con Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn y temperatura. Se infiere que la disminución de caudal implica que Hg, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y pH aumenten.

En este punto los parámetros que exceden los estándares de calidad ambiental del agua son aluminio, manganeso y hierro este crecimiento se da a que la principal fuente de contaminación sería la minería, erosión, procesos industriales, lixiviación de rocas, que puede ocasionar daños a la flora y fauna acuática.

Punto RAnta3

Según al Anexo 5 y al Anexo 6, se observan asociaciones contrastantes entre la temperatura y Fe, Mn y Caudal, mientras que se identifican vínculos directos con Al, As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn, oxígeno disuelto, pH y conductividad eléctrica. Se plantea que una disminución en la temperatura se vincula con un aumento en la concentración de Fe, Mn y caudal, mientras que un aumento en la temperatura se relaciona con un incremento Al, As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn, oxígeno disuelto, pH y conductividad eléctrica

Se detectan correlaciones negativas entre el pH y Cd, Hg y conductividad eléctrica, al mismo tiempo que presenta relaciones positivas con Al, As, Cu, Fe, Pb, Zn, oxígeno disuelto, caudal y temperatura. Se infiere que una reducción en el pH está asociada con un aumento de la concentración de Cd, Hg y conductividad eléctrica, y un aumento en el pH se atribuye al incremento de la concentración de Al, As, Cu, Fe, Pb, Zn, oxígeno disuelto, caudal y temperatura.

La conductividad eléctrica muestra relaciones opuestas con Al, As, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, caudal y pH y relaciones positivas con Hg, Cd, temperatura y oxígeno



disuelto. Se deduce que una disminución en la conductividad eléctrica se relaciona con un aumento Al, As, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, caudal y pH, mientras que un aumento en la conductividad eléctrica se atribuye al incremento de los parámetros Hg, Cd, temperatura, oxígeno disuelto.

El oxígeno disuelto presenta relaciones negativas con Cd y caudal, mientras muestra relaciones positivas con Al, As, Cu, Fe, Mn, Zn, Pb, Hg, temperatura, conductividad eléctrica y pH. Se sugiere que una disminución en el oxígeno disuelto está asociada con un aumento de Cd y caudal, mientras que un aumento en el oxígeno disuelto se debe al incremento de la concentración de Al, As, Cu, Fe, Mn, Zn, Pb, Hg, temperatura, conductividad eléctrica y pH.

Al igual que en el punto RCruc2 en este punto también en algunos años y en diferentes épocas exceden de los límites establecidos los metales tales como: aluminio, hierro, manganeso esto se debe a que en el ámbito de ese punto existen la presencia de unidades mineras y como los parámetros ya mencionados su origen data de mineras.

Punto RCruc3

Según al Anexo 7 y al Anexo 8, se detectan relaciones inversas entre la temperatura y Al, As, Cu, Cd, Fe, Mn, Pb y Zn, mientras que se observan relaciones directas con el Hg, oxígeno disuelto, pH, la conductividad eléctrica. Se sugiere que una reducción en la temperatura se vincula con un aumento en Al, As, Cu, Cd, Fe, Mn, Hg, Pb y Zn, y a su vez el aumento de la temperatura se relaciona con un aumento del mercurio, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y pH.

También se aprecian correlaciones negativas moderadas entre el pH y Hg, caudal también presenta relaciones positivas con Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn,



oxígeno disuelto, temperatura, conductividad. Se infiere que una reducción del pH se asocia con un aumento en Hg, caudal, y un incremento en el pH se atribuye al aumento de Al, As, Cd, Cu, Hg, Fe, Mn, Pb, temperatura, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica.

La conductividad eléctrica muestra asociaciones inversas con Al, As, Cu, Cd, Fe, Mn, Hg, Pb, Zn, caudal y asociaciones positivas con pH, OD y T°. Se deduce que una disminución en la conductividad eléctrica se relaciona con un aumento en Al, As, Cu, Cd, Fe, Mn, Hg, Pb, Zn, caudal. mientras que un aumento en la conductividad eléctrica se atribuye al incremento de los parámetros físico químico pH, OD y T°.

El oxígeno disuelto presenta asociaciones negativas con Al, As, Cu, Fe, Mn, Cd, Zn, caudal así también presenta asociaciones positivas con Hg, Pb, la conductividad eléctrica, temperatura y pH. Se infiere que una disminución en el oxígeno disuelto se vincula con un aumento en Al, As, Cu, Fe, Mn, Cd, Zn y Caudal mientras el aumento del oxígeno disuelto se debe al aumento del Hg, Pb, la conductividad eléctrica, temperatura y pH.

El caudal presenta relaciones negativas con Hg, pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y presenta relaciones positivas con los parámetros de Al, As, Cu, Fe, Mn, Cd, Zn, Pb. Se deduce que la disminución del caudal se debe al alto contenido de mercurio, pH y el aumento del caudal se debe al crecimiento del nivel de concentración de Al, As, Cu, Fe, Mn, Cd, Zn, Pb.

En este punto de monitoreo los metales que exceden los estándares de calidad ambiental de agua dichos metales son los siguientes: aluminio, arsénico,



hierro y manganeso de los cuales se infiere que por la confluencia de dos ríos los valores tienden a subir por la actividad minera en parte alta del río Crucero.

Punto RCruc5

De acuerdo al Anexo 9 y al Anexo 10, se evidencian correlaciones negativas entre la temperatura y el Al, Cd, Fe, Mn, Pb y caudal mientras que se observan conexiones directas con el As, Cu, Hg, Zn, oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica. Se plantea que una disminución en la temperatura se relaciona con un aumento en Al, Cd, Fe, Mn, Pb y caudal. Mientras que un aumento en la temperatura se asocia con un incremento en el As, Cu, Hg, Zinc, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y pH.

Se perciben correlaciones negativas entre el pH y Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Hg, Pb y caudal como también presenta relaciones positivas con Zn, oxígeno disuelto, temperatura y conductividad. Se infiere que una disminución en el pH está vinculada con un aumento de Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Hg, Pb, caudal y un aumento en el pH se atribuye al incremento de Zn, oxígeno disuelto, temperatura y conductividad

La conductividad eléctrica muestra relaciones inversas con Al, As, Cu, Cd, Fe, Mn, Hg, Pb, Zn, caudal y relaciones positivas con pH, temperatura, oxígeno disuelto. Se deduce que una reducción en la conductividad eléctrica se relaciona con un aumento Al, As, Cu, Cd, Fe, Mn, Pb, Zn, caudal, mientras que un aumento en la conductividad eléctrica se atribuye al incremento de los parámetros pH, temperatura, oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto presenta relaciones negativas con Al, As, Cu, Fe, Mn, Cd y Zn, Pb y caudal en cuanto a las relaciones positivas con Hg, temperatura, la



conductividad eléctrica y pH. Se sugiere que una disminución en el oxígeno disuelto está asociada con un aumento en Al, As, Cu, Fe, Mn, Cd y Zn, Pb y, mientras que un aumento en el oxígeno disuelto se debe al incremento de Hg, temperatura, la conductividad eléctrica y pH.

El caudal presenta correlaciones negativas con Hg, pH, temperatura, Oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y una relación positiva con la mayoría de los metales tales como en Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Zn y Pb, de donde se deduce que el aumento del caudal se debe al incremento de la concentración de metales pesados debido al vertimiento de las fuentes contaminantes. En este punto solo los metales de aluminio y hierro sobrepasan los estándares de calidad ambiental del agua (ECA-AGUA) ya que en la zona hay vertimientos de aguas residuales también la variación se da en la época de avenida en el año 2013.

4.4. EVALUACIÓN DE LAS CAUSALIDADES QUE INFLUYEN EN EL COMPORTAMIENTO ESPACIO-TEMPORAL DE LA CONTAMINACIÓN DE METALES PESADOS EN LA CUENCA AZÁNGARO DURANTE EL PERIODO 2016-2023

4.4.1. Punto de monitoreo RGran2

En el punto de monitoreo RGran2 la mayoría de los metales sobrepasan los límites establecidos se debe a que en la zona la actividad más sobresaliente es la minería y al pasar los años se ve con más claridad el crecimiento a que la población se dedica más a dicha actividad.



Plomo

Los altos niveles de plomo en un río durante las épocas de avenida y estiaje pueden deberse a varias fuentes de contaminación, como la escorrentía urbana e industrial, las descargas industriales, la escorrentía agrícola y las actividades mineras en la cuenca del río. Estos contaminantes son transportados por las lluvias y pueden acumularse en el agua durante la estación seca. La presencia de plomo en niveles elevados plantea graves riesgos para la salud humana y el ecosistema acuático, especialmente afectando el sistema nervioso, los riñones y el desarrollo cognitivo en niños y mujeres embarazadas. Es esencial abordar y regular estas fuentes de contaminación para proteger la salud pública y el medio ambiente.

Aluminio

El aluminio es uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre. Generalmente se encuentra en forma de aluminosilicatos y conforme el pH del suelo disminuye se solubiliza. La toxicidad del aluminio ha sido reconocida como el factor limitante más importante para la producción agrícola en suelos ácidos. El síntoma principal de la toxicidad por aluminio es la inhibición del crecimiento de las raíces (Jones, 1978). Paralelamente, en los últimos años se ha discutido la posible relevancia del aluminio en la etiología de la enfermedad de Alzheimer.

Mercurio

El incremento de los niveles de mercurio en un río durante la época de avenida puede atribuirse a diversas causas, tanto naturales como humanas. Entre ellas se incluyen el arrastre de sedimentos, la escorrentía de áreas contaminadas, el desbordamiento de instalaciones de almacenamiento cercanas al río, cambios en la dinámica del agua durante las inundaciones y las descargas de vertidos



industriales. Identificar la fuente específica de contaminación mediante investigaciones detalladas es esencial para evaluar y mitigar este problema de calidad del agua.

Manganeso

El manganeso puede encontrarse en minerales y formaciones rocosas presentes en la cuenca. Su movilidad está influenciada por las condiciones redox del agua, y las actividades humanas, como los vertidos provenientes de la industria y la agricultura, pueden representar fuentes importantes de manganeso.

Hierro

El exceso de hierro que sobrepasa los límites establecidos en el Estándar de Calidad Ambiental para Agua (ECA AGUA) puede tener diversas causas, siendo resultado tanto de procesos naturales como de acciones humanas, que alberga depósitos naturales ricos en hierro, puede liberar este elemento, la escorrentía proveniente de áreas urbanas e industriales arrastra sedimentos y contaminantes, incluido el hierro, hacia el río, contribuyendo al aumento de sus niveles.

Cobre

El exceso de cobre que supera los límites establecidos puede atribuirse a diversas razones, y generalmente está vinculado a procesos naturales y actividades humanas. Como también la minería ya que alrededor del punto de monitoreo existe actividad minera.



Arsénico

En este punto al igual que el arsenico varios parámetros exceden los limites establecidos debido a que es la parte alta de la cuenca en donde la población se dedica a la extracción de minerales para tal efecto utilizan productos químicos.

4.4.2. Punto de monitoreo RCruc2

En este punto los parámetros que exceden los estándares de calidad ambiental del agua son aluminio, manganeso y hierro este crecimiento se da a que la principal fuente de contaminación seria la minería, erosión, procesos industriales, lixiviación de rocas, que puede ocasionar daños a la flora y fauna acuática.

Manganeso

El manganeso puede encontrarse en minerales y formaciones rocosas dentro de la cuenca. Su movilidad está sujeta a las condiciones redox del agua, y las actividades humanas, como los vertidos provenientes de la industria y la agricultura, pueden constituir fuentes relevantes de manganeso en el entorno acuático.

Hierro

La estructura geológica presente en la cuenca puede albergar depósitos naturalmente abundantes en hierro, los cuales tienden a movilizarse especialmente durante eventos de lluvias intensas o períodos de avenida. Además, es importante destacar que el vertimiento de aguas residuales provenientes de áreas urbanas, así como las actividades mineras y las prácticas agrícolas, también desempeñan un papel significativo en el incremento de los niveles de hierro en el entorno acuático.



La combinación de estos factores naturales y las influencias antropogénicas contribuyen a la complejidad de la dinámica del hierro en la cuenca, resaltando la necesidad de un enfoque integral para abordar y comprender la variabilidad en los niveles de este metal en el agua.

Aluminio

La concentración elevada de aluminio en la época de estiaje en el río crucero está relacionado con varios factores tales como Menor caudal del agua durante la estación seca, los niveles de dilución de los contaminantes, así como el aluminio, disminuyen, por eso se registra un valor alto que sobrepasa los límites permitidos otra de las razones es las condiciones geoquímicas, también las Actividades antropogénicas como la minería, la agricultura y la descarga de desechos industriales, liberan aluminio al medio ambiente. Durante la estación seca, cuando el flujo de agua es menor, los contaminantes pueden acumularse más fácilmente, resultando en concentraciones más altas

4.4.3. Punto de monitoreo RCruc3

En este punto de monitoreo los metales que exceden los estándares de calidad ambiental de agua dichos metales son los siguientes: aluminio, arsénico, hierro y manganeso de los cuales se infiere que por la confluencia de dos ríos los valores tienden a subir por la actividad minera en parte alta del río Crucero.

Hierro

La geología de la cuenca puede contener depósitos ricos en hierro que se movilizan durante las lluvias o la época de avenida. También se debe al



vertimiento de aguas residuales de las zonas urbanas, actividades mineras y prácticas agrícolas contribuyen al aumento de los niveles de hierro.

Manganeso

Similar al hierro, el manganeso puede estar presente en minerales y rocas de la cuenca. Las condiciones redox del agua influyen en su movilidad y las actividades antropogénicas como los vertidos industriales y agrícolas pueden ser fuentes significativas de manganeso.

Arsénico

Algunas regiones geológicas contienen depósitos naturales de arsénico que pueden liberarse en el agua, liberación de desechos industriales y prácticas agrícolas que utilizan arsenicales pueden contribuir.

Aluminio

Presente en muchos minerales y suelos, el aluminio puede movilizarse debido a la acidez del agua, especialmente durante la época de lluvias. Vertimientos industriales, actividades mineras y liberación de sedimentos debido a la deforestación pueden aumentar los niveles de aluminio.

4.4.4. Punto de monitoreo RCruc5

En este punto solo los metales de aluminio, manganeso y hierro sobrepasan los estándares de calidad ambiental del agua (ECA-AGUA) ya que en la zona hay vertimientos de aguas residuales también la variación se da en la época de avenida en los años 2013, 2016 y 2019.



Es crucial implementar medidas de monitoreo y control para mitigar estos problemas, como regulaciones en las descargas industriales, prácticas agrícolas sostenibles para reducir la escorrentía de metales. El consumo de agua con concentraciones elevadas de hierro, manganeso y aluminio puede tener efectos adversos, incluyendo problemas gastrointestinales y otros impactos a largo plazo. También pueden causar daños a los ecosistemas acuáticos, afectando la biodiversidad y la salud general del ecosistema. Los organismos acuáticos pueden sufrir toxicidad debido a estas concentraciones elevadas, lo que puede afectar a toda la cadena alimentaria.

4.4.5. Punto de monitoreo RAnta3

Al igual que en el punto RCruc5 en este punto en el año 2017 en la época seca exceden de los límites establecidos los metales tales como: aluminio, hierro y manganeso esto se debe a que en el ámbito de ese punto existen la presencia de actividad minera como es la unidad minera MINSUR S.A. y vertimiento de aguas residuales generada por la población urbana del distrito de Antauta. También se debe a que, durante la estación seca, la reducción del flujo de agua puede provocar que los contaminantes se concentren más en el agua y la sedimentación incrementa en aguas de menor caudal puede liberar estos metales al agua.

El consumo de agua con concentraciones elevadas de hierro, manganeso y aluminio puede tener efectos adversos para la salud, incluyendo problemas gastrointestinales y otros impactos a largo plazo. Las altas concentraciones de estos metales pueden tener efectos negativos en los ecosistemas acuáticos, causando daños significativos que afectan la biodiversidad y la salud del ecosistema.



V. CONCLUSIONES

- PRIMERA:** La variación de la concentración de metales pesados y totales en aguas superficiales en las cinco estaciones de muestreo en la microcuenca del río Tinco presentan diferencias en ambas épocas. En los puntos RGran2 y RCruc2 la mayor parte de los parámetros físico-químicos monitoreados in situ (pH, conductividad, Oxígeno disuelto) y metales pesados exceden los estándares de calidad ambiental para agua, categoría 3.
- SEGUNDA:** La evaluación espacial del comportamiento de la contaminación por metales pesados en la Cuenca Azángaro mediante la aplicación del índice de calidad de agua CCME WQI nos da como resultado una calificación pobre en los puntos RGran2 y RCruc2 tanto en épocas de avenida y estiaje, mientras que en los demás puntos está dentro de la calificación de "Regular" a "Bueno", así como también utilizando el índice HPI de medición netamente de metales pesados se muestra al Punto RGran2 con una calificación de "pobre" en épocas de avenidas y "Buena" en época de estiaje, a diferencia de los demás puntos que se encuentran en una calificación de "muy buena".
- TERCERA:** La evaluación temporal del comportamiento de la contaminación por metales evidencia cambios significativos en la concentración de metales pesados tanto en épocas de avenida y estiaje en cada punto de monitoreo.
- CUARTA:** La evaluación de las causalidades del comportamiento de la contaminación por metales pesados revela preocupantes niveles de concentración especialmente en los puntos de la zona alta de la cuenca (RGran2) donde se percibe que la actividad minera existente ha contribuido



significativamente en el aumento de metales pesados en las aguas superficiales. identificó diferentes usos de agua en el ámbito de estudio, se concluye que existen diversas necesidades y demandas de recursos hídricos en la zona, lo que puede tener implicaciones importantes para la gestión y conservación del agua en la región.



VI. RECOMENDACIONES

PRIMERA: De acuerdo a los resultados, se recomienda implementar medidas de control y regulación de la minería en la cuenca Azangaro para reducir la liberación de metales pesados. Esto podría incluir la revisión y aplicación de normativas más estrictas, así como la supervisión constante de las actividades mineras.

SEGUNDA: Se sugiere como medida crucial llevar a cabo la recolección de muestras de agua mensualmente y, de manera similar, recopilar muestras de sedimentos en todos los lugares de muestreo, con el fin de obtener información más precisa sobre esta sección de la cuenca. También se deben tomar medidas preventivas, de control y mitigación de los impactos de las actividades mineras informales en el medio ambiente, ya que no solo contaminan las aguas en general, sino que también pueden generar conflictos, afectando la gobernabilidad regional.

TERCERA: Se recomienda integrar de manera regular la evaluación en futuras investigaciones de calidad de agua mediante los índices HPI en los programas de monitoreo y evaluación de la calidad del agua. Esto permitirá obtener una comprensión más completa de la presencia y efectos de metales pesados, facilitando la toma de decisiones informadas.

CUARTA: En la evaluación de herramientas de gestión ambiental, es esencial incorporar instrumentos que respalden la interpretación de la calidad del agua en cuerpos naturales, estableciendo sus líneas base y considerando los monitoreos futuros como compromisos ambientales, de acuerdo con el sector correspondiente.



QUINTA: Se sugiere a las entidades involucradas en la gestión integrada de recursos hídricos que, en futuros monitoreos, incorporen mediciones de caudales en cada punto, debido a que este parámetro está estrechamente relacionado con los parámetros de campo establecidos, además de su importancia en la evaluación de la calidad del agua y la dinámica de los cuerpos de agua, influyendo en varios aspectos ambientales como la distribución de contaminantes, erosión del lecho del río y la disponibilidad de agua para diversos usos, mejorando así la eficacia de los estudios de calidad del agua en las diferentes cuencas.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA, A. N. (2018). *Metodología para la Determinación del Índice de Calidad de Agua*. Lima: ANA.
- Asociación SER. (2007). *Actividad Minera Informal en Ananea y Contaminación de la Cuenca del Río Ramis*. Puno: Oficina Regional Puno Asociación SER.
- C. Reyes, Y., Vergara, i., Torres, O. E., Diaz, M., & González, E. E. (2016). Contaminación por Metales Pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *ingeniería, investigación y Desarrollo*, 16(2), 66-77.
- Carbajal Azcona, Á., & Gonzáles Fernández, M. (2012). *Agua para la Salud. Pasado, presente y futuro*. Madrid.
- Carpio Fernández, J., Quispe Yanapa, B., & Machaca Fernández, D. (2021). *Hidrogeología de la cuenca del río Azángaro (019), región Puno*. región Puno, Perú: INGEMMET. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3301>
- CCME-WQI, C. C. (1999). *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: CCME Water Quality Index 1.0*. Winnipeg.
- Chapman, D. (1992). *Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring - Second Edition*. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.4324/9780203476710>
- Contreras Pérez, José Bernardino. Carmen Leticia Mendoza. Arismendis Gómez. (2004). Determinación de metales pesados en aguas y sedimentos del Río Hain. *Ciencia y Sociedad Republica Dominicana*, Vol. 29, núm. 1, pp. 38-71.
- Escobar, J. (2002). *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- Fernandez, N., & Solano, F. (2005). Índices de Calidad y de Contaminación del Agua. *Universidad de Pamplona*.
- Flores Jacinto, P. (2013). Propuesta de Índice de calidad de agua residual utilizando un modelo aritmetico ponderado. *Interciencia*, 38.



- Flores, V. (2008). *Informe Inspeccion del Rio Ramis. Núcleo de afirmación del Saber Andino. Puno.*
- Forstner, U. (1981). *Metal Pollution Assessment From Sediment Analysis*,. Berlin: Springer-Verlag.
- Geesey , G., Borstad, L., & Chapman, P. (1984). Influence of flow-related events on concentration and phase distribution of metals in the lower Fraser River and a small tributary stream in British Columbia, Canada. *Research Gate*, 18(2), 233-238. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0043-1354\(84\)90074-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0043-1354(84)90074-5)
- Giri, S. & Kumar, A. (2014). “*Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el indice de contaminación de metales pesados en el río Subarnarekha, India*”. India: Exposicion y salud de la calidad del agua, 5(a) 173-182.
- Goodchild, M. F. (1992). *Goodchild, "Geographical Information Science" (Ciencia de la Información Geográfica)*, (Vol. 1). New york.
- Guevara Gil, A., & Nuñovero Cisneros, L. (2018). Del dicho al hecho hay muhco trecho: Sobre la gestión integrada del agua en el Perú. *Derecho & Sociedad*, 51, 59-69.
- Gutierrez Cabana, V. R. (2018). Evaluación de la calidad de agua del río Coata en la desembocadura del río Torococha utilizando el Índice de Calidad de Agua del Consejo Canadiense CCME–WQI y el ICA–PE, Puno. <http://hdl.handle.net/20.500.12840/1771>
- Laino Guanes, R. (2015). Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, frontera Mexico-Guatemala. *Tecnología y Ciencias del Agua*, VI(4), 61-74.
- Laino,R.,Jiménez, F., & Musálem, K. (2015). Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva frontera Mexico - Guatemala. *Tecnol. Ciencia. Agua*, Vol. 6, n.4, 61-74.
- Minas, M. d. (1998). Evaluación Ambiental Territorial de las zonas auríferas de Puno. *Dirección General de Asuntos Ambientales.*



- Ministerio de Agricultura. (2003). *Estudio Integral de los Recursos Hidricos de la Cuenca del Río Ramis*. Puno: Inaena.
- OMS, O. M. (s.f.). . *Temas de salud: Agua. Recuperado*.
<http://www.who.int/topics/water/es/>
- Pérez, J. P. (2013). Metales pesados y calidad del agua residual en relación con el riego agrícola. *Revista del centro de Hidrociencias*, 1-7.
- Ramos, I. H. (2017). Concentracion de los Metales Pésados y Propuesta de Recuperación en la Sub cuenca del rio Crucero.
- REDLACH. (2007). Gestión integrada de las cuencas hidrográficas como aporte a la mitigación de los cambios climáticos. *REDLACH*, 2, 1-18.
- Reza, R., & Singh, G. (2010). Heavy metal contamination and its idexing approach for river water. *International Jorunal of Enviromental Science and Technology*, 785-792.
- Rojas, J. A. (2009). *Calidad del Agua* (3ra ed.). Escuela Colombiana de Ingenieria Julio Garavito.
- Rubio Arias, H., Ortiz Delgado, R., Quintana Martinez, M., Saucedo Terán, R., Ochoa Rivero, J., & Rey Burciaga, N. (2014). Índice de calidad de agua (ICA) en la presa la boquilla en Chihuahua, México. *Ecosistemas y recur. agropecuarios*, 1(2), 139-150.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282014000200005&lng=es.
- Saravia. (2007). *Contaminacion del Agua*.
- Sierra Ramirez, C. (2011). *Calidad del agua* (1° ed.). Medellin, Colombia: Universidad de Medellin.
- Solanes, M., & Gonzales Villareal, F. (2001). *Los Principios de Dublin Reflejados en una Evaluacion Comparativa de Ordenamientos Institucionales y Legales para una Gestión Integrada* (Vol. 3). Asociación Mundial del Agua (GWP) Trabajos de Investigación.



- Sotero-Solís, V., & Alva-Astudillo, M. (2013). Contenido de metales pesados en agua y sedimento en el bajo Nanay. *Ciencia Amazonica*, 3(1), 24-32.
<https://doi.org/https://doi.org/10.22386/ca.v3i1.49>
- Teves Aguirre, B. M. (2015). Estudio fisicoquímico de la calidad del agua del río Cagra, región Lima. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/6797>
- Torres, P., Cruz, C., & Patiño, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano, una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, VIII(15 especial), 79-94.
- Zavala Carrión, B., & Guerrero Bohorquez, C. (2006). *Estudio Geoambiental de la Cuenca del Río Ramis* (Primera ed.). Lima, Perú: INGEMMET.



ANEXOS

ANEXO 1: Pruebas de normalidad para todos los puntos en épocas de avenida y estiaje.

Pruebas de normalidad RGran2 Época de avenida						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Aluminio	.250	6	.200*	.812	6	.075
Arsenico	.416	6	.002	.626	6	<.001
Cadmio	.205	6	.200*	.920	6	.502
Cobre	.230	6	.200*	.840	6	.130
Hierro	.281	6	.152	.779	6	.037
Manganeso	.272	6	.185	.826	6	.099
Mercurio	.384	6	.006	.721	6	.010
Plomo	.281	6	.149	.807	6	.068
Zinc	.271	6	.192	.917	6	.482
pH	.229	6	.200*	.852	6	.162
Temperatura	.193	6	.200*	.977	6	.934
Oxigeno Disuelto	.233	6	.200*	.924	6	.531
Conductividad	.231	6	.200*	.915	6	.467
Caudal m3/s	.310	6	.074	.763	6	.027

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Pruebas de normalidad RGran2 Época de avenida						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Aluminio	.230	5	.200*	.883	5	.322
Arsenico	.253	5	.200*	.847	5	.185
Cadmio	.365	5	.028	.676	5	.005
Cobre	.420	5	.004	.662	5	.004
Hierro	.218	5	.200*	.912	5	.482
Manganeso	.376	5	.020	.694	5	.008
Mercurio	.386	5	.014	.723	5	.016
Plomo	.262	5	.200*	.835	5	.152
Zinc	.341	5	.059	.766	5	.041
pH	.222	5	.200*	.915	5	.498
Temperatura	.170	5	.200*	.977	5	.918
Oxigeno Disuelto	.236	5	.200*	.914	5	.492
Conductividad	.198	5	.200*	.983	5	.948
Caudal m3/s	.351	5	.044	.839	5	.163

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors



Pruebas de normalidad RCru2 Época de avenida

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Aluminio	0.304	6	0.088	0.863	6	0.198
Arsenico	0.221	6	.200*	0.914	6	0.464
Cadmio	0.170	6	.200*	0.976	6	0.928
Cobre	0.284	6	0.143	0.885	6	0.294
Hierro	0.282	6	0.148	0.856	6	0.176
Manganeso	0.201	6	.200*	0.911	6	0.445
Mercurio	0.309	6	0.076	0.745	6	0.058
Plomo	0.175	6	.200*	0.923	6	0.529
Zinc	0.159	6	.200*	0.948	6	0.726
pH	0.181	6	.200*	0.944	6	0.688
Temperatura	0.264	6	.200*	0.898	6	0.361
Oxigeno Disuelto	0.149	6	.200*	0.985	6	0.975
Conductividad	0.130	6	.200*	0.979	6	0.946
Caudal m3/s	0.293	6	0.118	0.833	6	0.113

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Pruebas de normalidad RCru2 Época de estiaje

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Aluminio	0.280	7	0.102	0.770	7	0.021
Arsenico	0.191	7	.200*	0.880	7	0.229
Cadmio	0.170	7	.200*	0.898	7	0.318
Cobre	0.178	7	.200*	0.968	7	0.883
Hierro	0.271	7	0.129	0.768	7	0.020
Manganeso	0.204	7	.200*	0.880	7	0.228
Mercurio	0.221	7	.200*	0.866	7	0.171
Plomo	0.169	7	.200*	0.873	7	0.196
Zinc	0.213	7	.200*	0.896	7	0.309
pH	0.295	7	0.065	0.858	7	0.144
Temperatura	0.267	7	0.140	0.818	7	0.042
Oxigeno Disuelto	0.265	7	0.146	0.891	7	0.281
Conductividad	0.232	7	.200*	0.887	7	0.259
Caudal m3/s	0.313	7	0.037	0.704	7	0.004

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Pruebas de normalidad RCru3 Época de avenida

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Aluminio	0.239	6	.200*	0.947	6	0.716
Arsenico	0.313	6	0.068	0.861	6	0.192
Cadmio	0.216	6	.200*	0.926	6	0.551
Cobre	0.172	6	.200*	0.942	6	0.674
Hierro	0.202	6	.200*	0.967	6	0.873
Manganeso	0.271	6	0.193	0.923	6	0.531
Mercurio	0.309	6	0.076	0.745	6	0.018
Plomo	0.212	6	.200*	0.863	6	0.201
Zinc	0.173	6	.200*	0.967	6	0.870
pH	0.370	6	0.010	0.754	6	0.022
Temperatura	0.178	6	.200*	0.950	6	0.738
Oxigeno Disuelto	0.316	6	0.061	0.764	6	0.027
Conductividad	0.263	6	.200*	0.923	6	0.526
Caudal m3/s	0.293	6	0.118	0.833	6	0.113

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Pruebas de normalidad RCru3 Época de estiaje

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Aluminio	0.483	7	0.000	0.490	7	0.000
Arsenico	0.404	7	0.001	0.601	7	0.000
Cadmio	0.295	7	0.066	0.799	7	0.040
Cobre	0.472	7	0.000	0.532	7	0.000
Hierro	0.480	7	0.000	0.494	7	0.000
Manganeso	0.395	7	0.002	0.630	7	0.001
Mercurio	0.221	7	.200*	0.866	7	0.171
Plomo	0.487	7	0.000	0.489	7	0.000
Zinc	0.446	7	0.000	0.515	7	0.000
pH	0.316	7	0.033	0.805	7	0.046
Temperatura	0.146	7	.200*	0.975	7	0.934
Oxigeno Disuelto	0.147	7	.200*	0.979	7	0.954
Conductividad	0.368	7	0.005	0.708	7	0.005
Caudal m3/s	0.313	7	0.037	0.704	7	0.004

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors



Pruebas de normalidad RCru5 Época de avenida

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Aluminio	0.276	6	0.169	0.800	6	0.059
Arsenico	0.328	6	0.043	0.708	6	0.007
Cadmio	0.306	6	0.082	0.840	6	0.131
Cobre	0.301	6	0.097	0.828	6	0.103
Hierro	0.275	6	0.175	0.827	6	0.101
Manganeso	0.293	6	0.118	0.861	6	0.192
Mercurio	0.309	6	0.076	0.745	6	0.018
Plomo	0.352	6	0.019	0.775	6	0.035
Zinc	0.295	6	0.111	0.821	6	0.091
pH	0.258	6	.200*	0.918	6	0.488
Temperatura	0.324	6	0.048	0.832	6	0.112
Oxigeno Disuelto	0.200	6	.200*	0.952	6	0.759
Conductividad	0.252	6	.200*	0.908	6	0.424
Caudal m3/s	0.270	6	0.195	0.878	6	0.260

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Pruebas de normalidad RCru5 Época de estiaje

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Aluminio	0.314	7	0.036	0.756	7	0.0145
Arsenico	0.268	7	0.139	0.867	7	0.1754
Cadmio	0.170	7	.200*	0.898	7	0.3183
Cobre	0.148	7	.200*	0.962	7	0.8382
Hierro	0.293	7	0.069	0.835	7	0.0895
Manganeso	0.187	7	.200*	0.935	7	0.5954
Mercurio	0.221	7	.200*	0.866	7	0.1707
Plomo	0.228	7	.200*	0.889	7	0.2675
Zinc	0.264	7	0.152	0.828	7	0.0763
pH	0.188	7	.200*	0.881	7	0.2305
Temperatura	0.215	7	.200*	0.908	7	0.3853
Oxigeno Disuelto	0.503	7	0.000	0.456	7	0.000004
Conductividad	0.190	7	.200*	0.946	7	0.6897
Caudal m3/s	0.325	7	0.025	0.712	7	0.0050

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors



Pruebas de normalidad RAnta3 Época de avenida

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Aluminio	0.230	6	.200*	0.854	6	0.170
Arsenico	0.324	6	0.049	0.716	6	0.009
Cadmio	0.297	6	0.107	0.823	6	0.093
Cobre	0.283	6	0.145	0.842	6	0.136
Hierro	0.318	6	0.057	0.803	6	0.062
Manganeso	0.306	6	0.083	0.853	6	0.166
Mercurio	0.309	6	0.076	0.745	6	0.018
Plomo	0.307	6	0.081	0.814	6	0.078
Zinc	0.392	6	0.004	0.587	6	0.000
pH	0.407	6	0.002	0.661	6	0.002
Temperatura	0.221	6	.200*	0.945	6	0.700
Oxigeno Disuelto	0.218	6	.200*	0.867	6	0.215
Conductividad	0.248	6	.200*	0.907	6	0.415
Caudal m3/s	0.293	6	0.118	0.833	6	0.113

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Pruebas de normalidad RAnta3 Época de estiaje

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Aluminio	0.498	7	0.000	0.460	7	0.000
Arsenico	0.382	7	0.003	0.540	7	0.000
Cadmio	0.322	7	0.028	0.689	7	0.003
Cobre	0.491	7	0.000	0.484	7	0.000
Hierro	0.501	7	0.000	0.457	7	0.000
Manganeso	0.496	7	0.000	0.462	7	0.000
Mercurio	0.221	7	.200*	0.866	7	0.171
Plomo	0.482	7	0.000	0.479	7	0.000
Zinc	0.373	7	0.004	0.588	7	0.000
pH	0.210	7	.200*	0.953	7	0.753
Temperatura	0.164	7	.200*	0.911	7	0.404
Oxigeno Disuelto	0.287	7	0.085	0.833	7	0.085
Conductividad	0.158	7	.200*	0.970	7	0.902
Caudal m3/s	0.313	7	0.037	0.704	7	0.004

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

ANEXO 2: Correlación de Spearman en el punto RGrand2 en época de Avenida

		Aluminio	
Aluminio	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	1.000	Arsenico
Arsenico	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	0.943** 0.005	Cadmio
Cadmio	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	0.714 0.111	Cobre
Cobre	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	1.000** 0.005	Hierro
Hierro	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	1.000** 0.005	Manganeso
Manganeso	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	0.657 0.156	Mercurio
Mercurio	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	0.841* 0.036	Plomo
Plomo	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	1.000** 0.005	Zinc
Zinc	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	0.943** 0.005	pH
pH	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	-0.543 0.266	Temperatura
Temperatura	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	-0.600 0.208	Oxigeno Disuelto
Oxigeno Disuelto	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	-0.600 0.208	Conductividad
Conductividad	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	0.371 0.468	Caudal m3/s
Caudal m3/s	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	0.029 0.957	

ANEXO 3: Correlación de Spearman en el punto RGrand2 en época de Estiaje

		Aluminio	
Aluminio	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	1.000	Arsenico
Arsenico	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	.900* 0.037	1.000 Cadmio
Cadmio	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	0.410 0.493	1.000 Cobre
Cobre	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	.900* 0.037	1.000 Hierro
Hierro	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	.900* 0.037	1.000 Manganeseo
Manganeseo	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	.900** 0.037	1.000 Mercurio
Mercurio	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	0.316 0.604	1.000 Plomo
Plomo	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	.900* 0.037	1.000 Zinc
Zinc	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	.900* 0.037	1.000 pH
pH	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	-0.500 0.391	1.000 Temperatura
Temperatura	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	-0.700 0.188	1.000 Oxigeno Disuelto
Oxigeno Disuelto	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	0.200 0.747	1.000 Conductividad
Conductividad	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	0.000 1.000	1.000 Caudal m3/s
Caudal m3/s	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	-0.200 0.747	1.000

ANEXO 4: Correlación de Pearson en el punto RCruc2 en época de Avenida

Aluminio	Corr. de Pearson	Aluminio		Arsenico	Cadmio	Cobre	Hierro	Manganeso	Mercurio	Plomo	Zinc	pH	Temperatura	Oxigeno Disuelto	Conductividad	Caudal m ³ /s
	Sig. (bilateral)	1.000	1.000													
Arsenico	Corr. de Pearson	0.980**	1.000	Arsenico	Cadmio	Cobre	Hierro	Manganeso	Mercurio	Plomo	Zinc	pH	Temperatura	Oxigeno Disuelto	Conductividad	Caudal m ³ /s
	Sig. (bilateral)	0.001	1.000													
Cadmio	Corr. de Pearson	0.313	0.244	Arsenico	Cadmio	Cobre	Hierro	Manganeso	Mercurio	Plomo	Zinc	pH	Temperatura	Oxigeno Disuelto	Conductividad	Caudal m ³ /s
	Sig. (bilateral)	0.546	0.642													
Cobre	Corr. de Pearson	0.986**	0.954**	Arsenico	Cadmio	Cobre	Hierro	Manganeso	Mercurio	Plomo	Zinc	pH	Temperatura	Oxigeno Disuelto	Conductividad	Caudal m ³ /s
	Sig. (bilateral)	0.000	0.003													
Hierro	Corr. de Pearson	0.995**	0.963**	Arsenico	Cadmio	Cobre	Hierro	Manganeso	Mercurio	Plomo	Zinc	pH	Temperatura	Oxigeno Disuelto	Conductividad	Caudal m ³ /s
	Sig. (bilateral)	0.000	0.002													
Manganeso	Corr. de Pearson	.876*	.896*	Arsenico	Cadmio	Cobre	Hierro	Manganeso	Mercurio	Plomo	Zinc	pH	Temperatura	Oxigeno Disuelto	Conductividad	Caudal m ³ /s
	Sig. (bilateral)	0.022	0.016													
Mercurio	Corr. de Pearson	-0.404	-0.433	Arsenico	Cadmio	Cobre	Hierro	Manganeso	Mercurio	Plomo	Zinc	pH	Temperatura	Oxigeno Disuelto	Conductividad	Caudal m ³ /s
	Sig. (bilateral)	0.427	0.392													
Plomo	Corr. de Pearson	0.920**	.875*	Arsenico	Cadmio	Cobre	Hierro	Manganeso	Mercurio	Plomo	Zinc	pH	Temperatura	Oxigeno Disuelto	Conductividad	Caudal m ³ /s
	Sig. (bilateral)	0.009	0.022													
Zinc	Corr. de Pearson	0.921**	.902*	Arsenico	Cadmio	Cobre	Hierro	Manganeso	Mercurio	Plomo	Zinc	pH	Temperatura	Oxigeno Disuelto	Conductividad	Caudal m ³ /s
	Sig. (bilateral)	0.009	0.014													
pH	Corr. de Pearson	0.190	0.047	Arsenico	Cadmio	Cobre	Hierro	Manganeso	Mercurio	Plomo	Zinc	pH	Temperatura	Oxigeno Disuelto	Conductividad	Caudal m ³ /s
	Sig. (bilateral)	0.718	0.929													
Temperatura	Corr. de Pearson	0.439	0.483	Arsenico	Cadmio	Cobre	Hierro	Manganeso	Mercurio	Plomo	Zinc	pH	Temperatura	Oxigeno Disuelto	Conductividad	Caudal m ³ /s
	Sig. (bilateral)	0.384	0.332													
Oxigeno Disuelto	Corr. de Pearson	-0.473	-0.448	Arsenico	Cadmio	Cobre	Hierro	Manganeso	Mercurio	Plomo	Zinc	pH	Temperatura	Oxigeno Disuelto	Conductividad	Caudal m ³ /s
	Sig. (bilateral)	0.343	0.373													
Conductividad	Corr. de Pearson	-0.463	-0.471	Arsenico	Cadmio	Cobre	Hierro	Manganeso	Mercurio	Plomo	Zinc	pH	Temperatura	Oxigeno Disuelto	Conductividad	Caudal m ³ /s
	Sig. (bilateral)	0.355	0.346													
Caudal m ³ /s	Corr. de Pearson	0.170	0.139	Arsenico	Cadmio	Cobre	Hierro	Manganeso	Mercurio	Plomo	Zinc	pH	Temperatura	Oxigeno Disuelto	Conductividad	Caudal m ³ /s
	Sig. (bilateral)	0.747	0.793													

ANEXO 5: Correlación de Spearman en el punto RCruc2 en época de Estiaje

Rho de Spearman		Aluminio	
Aluminio	<i>Coef. de corr.</i> <i>Sig. (bilateral)</i>	1.000	Arsenico
Arsenico	<i>Coef. de corr.</i> <i>Sig. (bilateral)</i>	0.883** 0.008	Cadmio
Cadmio	<i>Coef. de corr.</i> <i>Sig. (bilateral)</i>	-0.018 0.969	1.000 1.000
Cobre	<i>Coef. de corr.</i> <i>Sig. (bilateral)</i>	0.893** 0.007	0.182 0.696
Hierro	<i>Coef. de corr.</i> <i>Sig. (bilateral)</i>	0.883** 0.008	-0.018 0.969
Manganeso	<i>Coef. de corr.</i> <i>Sig. (bilateral)</i>	0.500 0.253	0.893** 0.007
Mercurio	<i>Coef. de corr.</i> <i>Sig. (bilateral)</i>	0.624 0.134	0.418 0.350
Plomo	<i>Coef. de corr.</i> <i>Sig. (bilateral)</i>	0.582 0.170	0.786* 0.229
Zinc	<i>Coef. de corr.</i> <i>Sig. (bilateral)</i>	0.107 0.819	0.598* 0.833*
pH	<i>Coef. de corr.</i> <i>Sig. (bilateral)</i>	0.107 0.819	0.642 0.120
Temperatura	<i>Coef. de corr.</i> <i>Sig. (bilateral)</i>	0.679 0.094	0.645 0.393
Oxigeno Disuelto	<i>Coef. de corr.</i> <i>Sig. (bilateral)</i>	0.321 0.482	0.214 0.645
Conductividad	<i>Coef. de corr.</i> <i>Sig. (bilateral)</i>	0.643 0.119	-0.055 0.908
Caudal m3/s	<i>Coef. de corr.</i> <i>Sig. (bilateral)</i>	0.108 0.818	0.191 0.682
			0.248 0.592
			0.450 0.310
			0.108 0.818
			0.541 0.210
			-0.037 0.937
			0.642 0.120
			0.450 0.310
			0.270 0.558
			0.000 1.000
			0.148 0.788
			0.482 0.319
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
			0.607 1.000
			0.148 0.819
			0.702 0.819
			-0.179 0.607
			0.321 0.464
			0.482 0.760
			0.321 0.294
		</	

ANEXO 6: Correlación de Spearman en el punto RAnta3 en época de Avenida

		Aluminio							
Aluminio	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	1.000	Arsenico						
Arsenico	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	0.714 0.111	1.000 Cadmio						
Cadmio	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	0.309 0.552	0.772 0.072	1.000 Cobre					
Cobre	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	0.657 0.156	.886* 0.019	0.525 0.285	1.000 Hierro				
Hierro	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	.829* 0.042	0.714 0.111	0.370 0.470	.829* 0.042	1.000 Manganeso			
Manganeso	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	.829* 0.042	0.600 0.208	0.463 0.355	.886* 0.019	1.000 Mercurio			
Mercurio	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	0.309 0.552	0.772 0.072	1.000** 0.583	0.525 0.285	0.463 0.355	1.000 Plomo		
Plomo	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	0.926** 0.008	0.926** 0.008	0.492 0.224	.833* 0.039	0.772 0.072	0.583 0.224	1.000 Zinc	
Zinc	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	.820* 0.046	0.698 0.123	0.492 0.322	0.759 0.080	.880* 0.021	.820* 0.046	0.492 0.322	1.000 pH
pH	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	0.429 0.397	0.486 0.329	-0.123 0.816	0.714 0.111	0.486 0.329	0.494 0.320	0.273 0.600	1.000 temperatura
temperatura	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	0.696 0.125	.899* 0.015	0.626 0.183	0.928** 0.008	0.725 0.103	.861* 0.028	.832* 0.040	1.000 Oxigeno Disuelto
Oxigeno Disuelto	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	0.348 0.499	0.319 0.538	-0.188 0.722	0.464 0.354	0.145 0.784	0.360 0.483	0.216 0.682	1.000 Conductividad
Conductividad	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	-0.406 0.425	0.029 0.957	0.031 0.953	-0.116 0.827	-0.609 0.200	-0.204 0.699	-0.585 0.222	1.000 Caudal m3/s
Caudal m3/s	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	0.086 0.872	0.371 0.468	-0.062 0.908	0.657 0.156	0.371 0.468	-0.062 0.908	0.091 0.864	0.886* 0.019
									0.232 0.658

ANEXO 9: Correlación de Spearman en el punto RCruc3 en época de Estiaje

		Aluminio	
Aluminio	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	1.000	Arsenico
Arsenico	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	0.429 0.337	1.000
Cadmio	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	-0.072 0.878	0.721 0.068
Cobre	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	0.500 0.253	0.964** 0.000
Hierro	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	0.571 0.180	.786* 0.036
Manganeso	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	0.500 0.253	0.679 0.094
Mercurio	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	-0.165 0.723	0.275 0.550
Plomo	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	0.473 0.284	.837* 0.019
Zinc	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	0.216 0.641	0.000 1.000
pH	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	0.679 0.094	0.714 0.613
Temperatura	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	0.429 0.337	0.071 -0.559
Oxigeno Disuelto	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	0.214 0.645	0.071 0.879
Conductividad	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	-0.571 0.180	-0.107 0.819
Caudal m3/s	Coef. de corr. Sig. (bilateral)	-0.072 0.878	0.541 0.210
			0.478
			0.908
			0.054
			0.324
			0.482
			0.969
			0.018
			-0.321
			0.645
			0.788
			-0.126
			0.214
			0.760
			0.143
			0.000
			0.148
			0.607
			0.788
			-0.126
			0.005
			0.076
			0.019
			0.706
			.837*
			0.473
			0.723
			-0.165
			0.253
			0.500
			0.180
			0.571
			0.253
			0.275
			0.550
			0.469
			0.635
			0.220
			0.635
			0.982**
			0.196
			0.673
			0.005
			-0.090
			0.848
			0.011
			0.294
			0.523
			0.367
			0.418
			0.535
			1.000
			0.214
			0.645
			0.788
			-0.126
			0.071
			0.879
			0.192
			0.760
			0.143
			0.000
			0.148
			0.607
			0.788
			-0.126
			0.005
			0.076
			0.019
			0.706
			.837*
			0.473
			0.723
			-0.165
			0.253
			0.500
			0.180
			0.571
			0.253
			0.275
			0.550
			0.469
			0.635
			0.220
			0.635
			0.982**
			0.196
			0.673
			0.005
			-0.090
			0.848
			0.011
			0.294
			0.523
			0.367
			0.418
			0.535
			1.000
			0.214
			0.645
			0.788
			-0.126
			0.071
			0.879
			0.192
			0.760
			0.143
			0.000
			0.148
			0.607
			0.788
			-0.126
			0.005
			0.076
			0.019
			0.706
			.837*
			0.473
			0.723
			-0.165
			0.253
			0.500
			0.180
			0.571
			0.253
			0.275
			0.550
			0.469
			0.635
			0.220
			0.635
			0.982**
			0.196
			0.673
			0.005
			-0.090
			0.848
			0.011
			0.294
			0.523
			0.367
			0.418
			0.535
			1.000
			0.214
			0.645
			0.788
			-0.126
			0.071
			0.879
			0.192
			0.760
			0.143
			0.000
			0.148
			0.607
			0.788
			-0.126
			0.005
			0.076
			0.019
			0.706
			.837*
			0.473
			0.723
			-0.165
			0.253
			0.500
			0.180
			0.571
			0.253
			0.275
			0.550
			0.469
			0.635
			0.220
			0.635
			0.982**
			0.196
			0.673
			0.005
			-0.090
			0.848
			0.011
			0.294
			0.523
			0.367
			0.418
			0.535
			1.000
			0.214
			0.645
			0.788
			-0.126
			0.071
			0.879
			0.192
			0.760
			0.143
			0.000
			0.148
			0.607
			0.788
			-0.126
			0.005
			0.076
			0.019
			0.706
			.837*
			0.473
			0.723
			-0.165
			0.253
			0.500
			0.180
			0.571
			0.253
			0.275
			0.550
			0.469
			0.635
			0.220
			0.635
			0.982**
			0.196
			0.673
			0.005
			-0.090
			0.848
			0.011
			0.294
			0.523
			0.367
			0.418
			0.535
			1.000
			0.214
			0.645
			0.788
			-0.126
			0.071
			0.879
			0.192
			0.760
			0.143
			0.000
			0.148
			0.607
			0.788
			-0.126
			0.005
			0.076
			0.019
			0.706
			.837*
			0.473
			0.723
			-0.165
			0.253
			0.500
			0.180
			0.571
			0.253
			0.275
			0.550
			0.469
			0.635
			0.220
			0.635
			0.982**
			0.196
			0.673
			0.005
			-0.090
			0.848
			0.011
			0.294
			0.523
			0.367
			0.418
			0.535
			1.000
			0.214
			0.645
			0.788
			-0.126
			0.071
			0.879
			0.192
			0.760
			0.143
			0.000
			0.148
			0.607
			0.788
			-0.126
			0.005
			0.076
			0.019
			0.706
			.837*
			0.473
			0.723
			-0.165
			0.253
			0.500
			0.180
			0.571
			0.253
			0.275
			0.550
			0.469
			0.635
			0.220
			0.635
			0.982**
			0.196
			0.673
			0.005
			-0.090
			0.848
			0.011
			0.294
			0.523
			0.367
			0.418
			0.535
			1.000
			0.214
			0.645
			0.788
			-0.126
			0.071
			0.879
			0.192
			0.760
			0.143
			0.000
			0.148
			0.607

ANEXO 12: Resultados y cálculos del Índice de Calidad de Agua CCME en el punto

RGran2

Tabla 3: Datos periodo avenida del punto RGran2 CCME WQI

N°	Parametros	Simbolo	unidad	ECA - AGUA Cat.	2016-I	2017-I	2018-I	2019-I	2020-I	2021
1	Demanda de Oxígeno	DBO5	mg/L	15	3.000	2.000	2.000	2.000	2.000	6.000
2	Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	>=4	4.640	6.790	4.772	5.340	5.990	5.345
3	pH	pH		6.5-8.5	5.650	8.530	6.410	5.850	6.917	6.098
4	Aluminio	Al	mg/L	5	69.790	0.124	98.670	26.170	8.151	264.600
5	Arsenico	As	mg/L	0.1	0.315	0.00234	0.230	0.15154	0.0341	2.225
6	Cadmio	Cd	mg/L	0.01	0.00018	0.00001	0.0015	0.00182	0.00123	0.00361
7	Cobre	Cu	mg/L	0.2	0.138	0.00102	0.17449	0.04287	0.0174	0.4243
8	Hierro	Fe	mg/L	5	133.700	0.3642	186.20	45.2	14.350	567.700
9	Manganeso	Mn	mg/L	0.2	0.001	0.03114	6.478	2.006	1.543	7.021
11	Plomo	Pb	mg/L	0.05	0.127	0.0002	0.1512	0.0496	0.0104	0.4401
12	Zinc	Zn	mg/L	2	0.725	0.010	0.6932	0.5056	0.302	1.603
13	Coliformes T.	C.T.	NMP/100m	1000	1700.000	1100.000	700.000	33.000	70.000	4600.000
14	E. Coli	E.C.	NMP/100m	1000	1700.000	700.000	170.000	13.000	33.000	1700.000

Tabla 4: Datos periodo estiaje del punto RGran2 CCME WQI

N°	Parametros	Simbolo	unidad	ECA - AGUA Cat.	2017-II	2018-II	2019-II	2020-II	2022-II
1	Demanda de Oxígeno	DBO5	mg/L	15	2.000	2.000	2.000	2.000	234.800
2	Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	>=4	6.670	4.300	3.700	4.825	7.370
3	pH	pH		6.5-8.5	8.300	6.150	6.052	7.346	7.208
4	Aluminio	Al	mg/L	5	1.10900	26.920	23.250	0.473	60.973
5	Arsenico	As	mg/L	0.1	0.00573	0.04845	0.1317	0.005	0.276
6	Cadmio	Cd	mg/L	0.01	0.00001	0.00001	0.0004	0.0001	0.00228
7	Cobre	Cu	mg/L	0.2	0.00254	0.04067	0.0386	0.0012	0.3411
8	Hierro	Fe	mg/L	5	2.11100	53.1	36.770	0.936	94.513
9	Manganeso	Mn	mg/L	0.2	0.19103	1.118	0.5788	0.0661	6.068
11	Plomo	Pb	mg/L	0.05	0.00180	0.0287	0.0453	0.0005	0.1256
12	Zinc	Zn	mg/L	2	0.01000	0.1204	0.154	0.008	0.603
13	Coliformes	C.T.	NMP/100m	1000	1700.000	1.800	49.000	4.500	130000.0
14	E. Coli	E.C.	NMP/100m	1000	460.000	1.900	13.000	2.000	49000.0

Son los resultados que no satisfacen el ECA agua para la Categoría 3.



Tabla 5: Análisis de datos con el CCME WQI en el periodo de avenida y estiaje, así como el periodo total en RGran2

RGran2 - Periodo de Avenida

Alcance		Frecuencia		Amplitud	
F1	69.2308	F2	41.02564	F3	83.6132
N° de Variables Fallidas	9	N° de Testeos Fallidos	32		
N° Total de Variables	13	N° Total de Testeos	78		
F al Cuadrado	4792.8994	F al Cuadrado	1683.1032	F al Cuadrado	6991.1705

Sumatoria	Raiz
13467.17315	116.0481501

ICA CCME WQI
32.99760

Calificación del ICA	
de 0 a 44	Pobre

Cuando la prueba valor no supera el objetivo

nse	5.102480087
-----	-------------

Excursión i	0.1504425	0.0035294	0.0140406	0.1111111	0.0659233	12.958	18.734	4.234	0.6302	51.92	2.15
Valores de Testeo Fallidos	5.65	8.53	6.41	5.85	6.098	69.79	98.67	26.17	8.151	264.6	0.315
Valores según el ECA Agua	6.5	8.5	6.5	6.5	6.5	5	5	5	5	5	0.1

1.2993	0.5154	21.25	1.1215	25.74	36.24	8.04	1.87	112.54	31.39	9.03
0.22993	0.15154	2.225	0.4243	133.7	186.2	45.2	14.35	567.7	6.478	2.006
0.1	0.1	0.1	0.2	5	5	5	5	5	0.2	0.2

6.715	34.105	1.54	2.024	7.802	0.7	0.1	3.6	0.7	0.7
1.543	7.021	0.127	0.1512	0.4401	1700	1100	4600	1700	1700
0.2	0.2	0.05	0.05	0.05	1000	1000	1000	1000	1000

RGran2 - Periodo de Estiaje

Alcance		Frecuencia		Amplitud	
F1	84.6154	F2	30.76923	F3	75.8485
N° de Variables Fallidas	11	N° de Testeos Fallidos	20		
N° Total de Variables	13	N° Total de Testeos	65		
F al Cuadrado	7159.7633	F al Cuadrado	946.74556	F al Cuadrado	5753.002

Sumatoria	Raiz
13859.5109	117.7264239

ICA CCME WQI
32.02862

Calificación del ICA	
de 0 a 44	Pobre

Cuando la prueba valor no supera el objetivo

nse	3.140537562
-----	-------------

Excursión i	14.653333	0.0810811	0.0569106	0.0740251	4.384	3.65	11.1946	0.317	1.7593	0.7055	9.62
Valores de Testeo Fallidos	234.8	3.7	6.15	6.052	26.92	23.25	60.973	0.1317	0.27593	0.3411	53.1
Valores según el ECA Agua	15	4	6.5	6.5	5	5	5	0.1	0.1	0.2	5

6.354	17.902578	4.59	1.894	29.34059	1.512	0.7	129	48
36.77	94.51289	1.118	0.5788	6.068118	0.1256	1700	130000	49000
5	5	0.2	0.2	0.2	0.05	1000	1000	1000



RGran2 - Periodo Total

Alcance	
F1	92.8571
N° de Variables Fallidas	13
N° Total de Variables	14
F al Cuadrado	8622.449

Frecuencia	
F2	36.36364
N° de Testeos Fallidos	52
N° Total de Testeos	143
F al Cuadrado	1322.314

Amplitud	
F3	82.704
F al Cuadrado	6839.9572

Sumatoria	Raiz
16784.7202	129.5558575

ICA CCME WQI
25.19870

Calificacion del ICA	
de 0 a 44	Pobre

Quando la prueba valor no supera el objetivo

nse	4.78169486
-----	------------

Excursión i	0.1504425	0.0035294	0.0140406	0.1111111	0.0659233	12.958	18.734	4.234	0.6302	51.92	2.15
Valores de Testeo Fallidos	5.65	8.53	6.41	5.85	6.098	69.79	98.67	26.17	8.151	264.6	0.315
Valores según el ECA Agua	6.5	8.5	6.5	6.5	6.5	5	5	5	5	5	0.1

1.2993	0.5154	21.25	1.1215	25.74	36.24	8.04	1.87	112.54	31.39	9.03
0.22993	0.15154	2.225	0.4243	133.7	186.2	45.2	14.35	567.7	6.478	2.006
0.1	0.1	0.1	0.2	5	5	5	5	5	0.2	0.2

6.715	34.105	1.54	2.024	7.802	0.7	0.1	3.6	0.7	0.7	14.653333
1.543	7.021	0.127	0.1512	0.4401	1700	1100	4600	1700	1700	234.8
0.2	0.2	0.05	0.05	0.05	1000	1000	1000	1000	1000	15

0.0810811	0.0569106	0.0740251	4.384	3.65	11.1946	0.317	1.7593	0.7055	9.62	6.354
3.7	6.15	6.052	26.92	23.25	60.973	0.1317	0.27593	0.3411	53.1	36.77
4	6.5	6.5	5	5	5	0.1	0.1	0.2	5	5

17.902578	4.59	1.894	29.34059	1.512	0.7	129	48
94.51289	1.118	0.5788	6.068118	0.1256	1700	130000	49000
5	0.2	0.2	0.2	0.05	1000	1000	1000

ANEXO 13: Resultados y cálculos del Índice de Calidad de Agua CCME en el punto

RCruc2.

Tabla 6: Datos periodo avenida del punto RCruc2 CCME WQI

	Parametros	Simbolo	unidad	ECA - AGUA Cat. 2	2016-I	2017-I	2018-I	2019-I	2020-I	2021-I
1	ca de Oxígeno	DBO5	mg/L	15	6	2	2	4	2	2
2	geno Disuelto	OD	mg/L	>=4	4.04	8.37	5.714	5.11	6.72	6.122
3	pH	pH		6.5-8.5	7.62	6.62	8.454	6.79	8.082	7.544
4	Aluminio	Al	mg/L	5	2.495	0.155	9.341	10.56	2.802	3.313
5	Arsenico	As	mg/L	0.1	0.012	0.00172	0.04844	0.06726	0.0134	0.0256
6	Cadmio	Cd	mg/L	0.01	0.0032	0.00001	0.0019	0.00157	0.00089	0.00111
7	Cobre	Cu	mg/L	0.2	0.006	0.0006	0.01369	0.01459	0.0061	0.0063
8	Hierro	Fe	mg/L	5	5.262	0.2892	17.67	17.83	5.816	6.853
9	Manganeso	Mn	mg/L	0.2	0.104	0.01582	0.5169	0.5485	0.2792	0.4325
10	Plomo	Pb	mg/L	0.05	0.001	0.0002	0.0129	0.0115	0.0071	0.0049
11	Zinc	Zn	mg/L	2	0.115	0.0544	0.6545	0.5555	0.264	0.392
12	Coliformes	Zn	MP/100r	1000	230000	27	7000	2800	11000	11000
13	E. Coli	Zn	MP/100r	1000	230000	17	1100	1100	4600	4600

Tabla 7: Datos periodo estiaje del punto RCruc2 CCME WQI

	Parametros	Simbolo	unidad	ECA - AGUA Cat. 2	2016-II	2017-II	2018-II	2019-II	2020-II	2022-II	2023-II
1	ca de Oxígeno	DBO5	mg/L	15	3	2	5	2	3	2	1.5
2	geno Disuelto	OD	mg/L	>=4	5.28	6.69	4.6	4.963	5.105	6.75	7.93
3	pH	pH		6.5-8.5	8	8.9	8.17	8.31	7.955	8.281	8.326
4	Aluminio	Al	mg/L	5	0.447	0.1	0.328	0.182	0.003	0.213	1.277
5	Arsenico	As	mg/L	0.1	0.007	0.00152	0.00234	0.0042	0.0014	0.005	0.007
6	Cadmio	Cd	mg/L	0.01	0.00018	0.00001	0.00001	0.0001	0.0001	0.00006	0.00003
7	Cobre	Cu	mg/L	0.2	0.002	0.00066	0.00112	0.0015	0.0003	0.0011	0.0027
8	Hierro	Fe	mg/L	5	0.684	0.1865	0.4483	0.263	0.047	0.32	1.7734
9	Manganeso	Mn	mg/L	0.2	0.037	0.01898	0.03678	0.0519	0.0237	0.020	0.0505
10	Plomo	Pb	mg/L	0.05	0.001	0.0002	0.0008	0.001	0.0002	0.0004	0.0007
11	Zinc	Zn	mg/L	2	0.021	0.0774	0.0587	0.025	0.011	0.00799	0.0336
12	Coliformes	Zn	MP/100r	1000	79000	33	1300	11000	28000	79000	92000
13	E. Coli	Zn	MP/100r	1000	33000	13	170	2200	17000	33000	17000

Tabla 8: Análisis de datos con el CCME WQI en el periodo de avenida y estiaje, así como el periodo total en RCruc2

RCruc2 - Periodo de Avenida

Alcance		Frecuencia		Amplitud		
F1	38.4615	F2	25.64103	F3	86.6382	
N° de Variables Fallidas	5	N° de Testeos Fallidos	20			
N° Total de Variables	13	N° Total de Testeos	78			
F al Cuadrado	1479.2899	F al Cuadrado	657.4622	F al Cuadrado	7506.1706	
Sumatoria	Raíz	ICA CCME WQI		Calificacion del ICA		
9642.922753	98.19838468	43.30347		de 0 a 44	Pobre	
Cuando la prueba valor no supera el objetivo		nse	6.483998718			

Excursión i	0.8682	1.112	0.0524	2.534	2.566	0.1632	0.3706	1.5845	1.7425	0.396	1.1625
Valores de Testeo Fallidos	9.341	10.56	5.262	17.67	17.83	5.816	6.853	0.5169	0.5485	0.2792	0.4325
Valores según el ECA Agua	5	5	5	5	5	5	5	0.2	0.2	0.2	0.2
	229	6	1.8	10	10	229	0.1	0.1	3.6	3.6	
	230000	7000	2800	11000	11000	230000	1100	1100	4600	4600	
	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	

RCruc2 - Periodo de Estiaje

Alcance		Frecuencia		Amplitud		
F1	23.0769	F2	13.18681	F3	80.7427	
N° de Variables Fallidas	3	N° de Testeos Fallidos	12			
N° Total de Variables	13	N° Total de Testeos	91			
F al Cuadrado	532.54438	F al Cuadrado	173.89204	F al Cuadrado	6519.3769	
Sumatoria	Raíz	ICA CCME WQI		Calificacion del ICA		
7225.813352	85.00478429	50.92103		de 45 a 64	Marginal	
Cuando la prueba valor no supera el objetivo		nse	4.192824822			

Excursión i	0.0470588	78.00	0.30	10.00	27.00	78.00	91.00	32.00	1.20	16.00	32.00
Valores de Testeo Fallidos	8.9	79000	1300	11000	28000	79000	92000	33000	2200	17000	33000
Valores según el ECA Agua	8.5	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

16.00
17000
1000



RCruc2 - Periodo Total

Alcance	
F1	46.1538
N° de Variables Fallidas	6
N° Total de Variables	13
F al Cuadrado	2130.1775

Frecuencia	
F2	18.93491
N° de Testeos Fallidos	32
N° Total de Testeos	169
F al Cuadrado	358.53086

Amplitud	
F3	84.0007
F al Cuadrado	7056.1246

Sumatoria	Raíz
9544.832966	97.69766101

ICA CCME WQI
43.59257

Calificación del ICA	
de 0 a 44	Pobre

Quando la prueba valor no supera el objetivo

nse	5.250289697
-----	-------------

Excursión i	0.8682	1.112	0.0524	2.534	2.566	0.1632	0.3706	1.5845	1.7425	0.396	1.1625
Valores de Testeo Fallidos	9.341	10.56	5.262	17.67	17.83	5.816	6.853	0.5169	0.5485	0.2792	0.4325
Valores según el ECA Agua	5	5	5	5	5	5	5	0.2	0.2	0.2	0.2

229.0	6.0	1.8	10.0	10.0	229.0	0.1	0.1	3.6	3.6	0.0470588
230000	7000	2800	11000	11000	230000	1100	1100	4600	4600	8.9
1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	8.5

78.0	0.3	10.0	27.0	78.0	91.0	32.0	1.2	16.0	32.0	16.0
79000	1300	11000	28000	79000	92000	33000	2200	17000	33000	17000
1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

ANEXO 14: Resultados y cálculos del Índice de Calidad de Agua CCME en el punto

RAnta3

Tabla 9: Datos periodo avenida del punto RAnta3 CCME WQI

N°	Parametros	Simbolo	unidad	ECA - AGUA Cat. 2	2016-I	2017-I	2018-I	2019-I	2020-I	2021-I
1	Ca de Oxígeno	DBO5	mg/L	15	3	2	2	2	2	2
2	geno Disuelto	OD	mg/L	>=4	6.82	5.9	7.11	7.11	6.68	6.054
3	pH	pH		6.5-8.5	8.72	4.58	8.779	8.779	8,036	7.969
4	Aluminio	Al	mg/L	5	0.453	0.06	0.033	0.213	0.182	0.021
5	Arsenico	As	mg/L	0.1	0.007	0.00108	0.0012	0.0021	0.0026	0.0013
6	Cadmio	Cd	mg/L	0.01	0.0002	0.00001	1E-05	1E-05	0.0001	0.0001
7	Cobre	Cu	mg/L	0.2	0.01	0.00175	0.0021	0.0062	0.0126	0.0018
8	Hierro	Fe	mg/L	5	0.733	0.1063	0.0428	0.1936	1,107	0.026
9	Manganeso	Mn	mg/L	0.2	0.05	0.01272	0.0053	0.0109	0.0351	0.0027
11	Plomo	Pb	mg/L	0.05	0.001	0.0002	0.0002	0.0007	0.0007	0.0002
12	Zinc	Zn	mg/L	2	0.114	0.01	0.01	0.01	0.023	0.008
13	Coliformes	Zn	NMP/100	1000	1400	4.5	13	13	330	790
14	E. Coli	Zn	NMP/100	1000	1400	2	4.5	7.8	240	330

Tabla 10: Datos periodo estiaje del punto RAnta3 CCME WQI

N°	Parametros	Simbolo	unidad	ECA - AGUA Cat. 2	2016-II	2017-II	2018-II	2019-II	2020-II	2022-II	2023-II
1	Ca de Oxígeno	DBO5	mg/L	15	3	2	2	2	3	2	1.1
2	geno Disuelto	OD	mg/L	>=4	6.24	6.4	6.07	5.7	6.133	7.58	7.66
3	pH	pH		6.5-8.5	8.28	8.5	8.75	8.15	7.665	8.228	8.364
4	Aluminio	Al	mg/L	5	0.005	6.025	0.023	0.017	0.003	0.01	0.057
5	Arsenico	As	mg/L	0.1	0.007	0.04081	0.0012	0.0012	0.001	0.001	0.0011
6	Cadmio	Cd	mg/L	0.01	0.0002	0.00063	1E-05	0.0001	0.0001	6E-05	3E-05
7	Cobre	Cu	mg/L	0.2	0.002	0.03581	0.0014	0.002	0.001	0.0018	0.0022
8	Hierro	Fe	mg/L	5	0.015	11.37	0.0243	0.055	0.016	0.020	0.0749
9	Manganeso	Mn	mg/L	0.2	0.001	0.34411	0.0013	0.005	0.0014	0.0015	0.0032
11	Plomo	Pb	mg/L	0.05	0.001	0.0252	0.0002	0.0002	0.0002	0.0004	0.0006
12	Zinc	Zn	mg/L	2	0.004	0.1144	0.0122	0.008	0.008	0.004	0.0232
13	Coliformes	Zn	NMP/100	1000	23	4.5	11	6.8	13	49	4.5
14	E. Coli	Zn	NMP/100	1000	23	2	4	2	4.5	33	4.5

Tabla 11: Análisis de datos con el CCME WQI en el primer y segundo periodo, así como el periodo total en Ranta3

Ranta3 - Periodo de Avenida

Alcance		Frecuencia		Amplitud		
F1	23.0769	F2	7.692308	F3	1.65267	
N° de Variables Fallidas	3	N° de Testeos Fallidos	6			
N° Total de Variables	13	N° Total de Testeos	78			
F al Cuadrado	532.54438	F al Cuadrado	59.171598	F al Cuadrado	2.731312	
Sumatoria	Raíz	ICA CCME WQI		Calificacion del ICA		
594.4472883	24.38128972	85.92304		de 80 a 94 Bueno		
Cuando la prueba valor no supera el objetivo						
Excursión i	0.0258824	0.419214	0.0328235	0.0328235	0.4	0.4
Valores de Testeo Fallidos	8.72	4.58	8.779	8.779	1400	1400
Valores según el ECA Agua	8.5	6.5	8.5	8.5	1000	1000
nse						0.016804402

Ranta3 - Periodo de Estiaje

Alcance		Frecuencia		Amplitud		
F1	23.0769	F2	3.296703	F3	2.17574	
N° de Variables Fallidas	3	N° de Testeos Fallidos	3			
N° Total de Variables	13	N° Total de Testeos	91			
F al Cuadrado	532.54438	F al Cuadrado	10.868253	F al Cuadrado	4.7338549	
Sumatoria	Raíz	ICA CCME WQI		Calificacion del ICA		
548.1464863	23.4125284	86.48237		de 80 a 94 Bueno		
Cuando la prueba valor no supera el objetivo						
Excursión i	0.0294118	1.274	0.72055			
Valores de Testeo Fallidos	8.75	11.37	0.34411			
Valores según el ECA Agua	8.5	5	0.2			
nse						0.022241338

Ranta3 - Periodo Total

Alcance		Frecuencia		Amplitud					
F1	38.4615	F2	5.325444	F3	1.93502				
N° de Variables Fallidas	5	N° de Testeos Fallidos	9						
N° Total de Variables	13	N° Total de Testeos	169						
F al Cuadrado	1479.2899	F al Cuadrado	28.360352	F al Cuadrado	3.7442892				
Sumatoria	Raíz	ICA CCME WQI		Calificacion del ICA					
1511.394582	38.87665857	77.55389		de 65 a 79 Regular					
Cuando la prueba valor no supera el objetivo									
Excursión i	0.0258824	0.419214	0.0328235	0.0328235	0.4	0.4	0.0294118	1.274	0.72055
Valores de Testeo Fallidos	8.72	4.58	8.779	8.779	1400	1400	8.75	11.37	0.34411
Valores según el ECA Agua	8.5	6.5	8.5	8.5	1000	1000	8.5	5	0.2
nse						0.019731983			

ANEXO 15: Resultados y cálculos del Índice de Calidad de Agua CCME en el punto

RCruc3

Tabla 12: Datos periodo avenida del punto RCruc3 CCME WQI

	Parametros	Simbolo	unidad	ECA - AGUA Cat. 3	2016-1	2017-1	2018-1	2019-1	2020-I	2021-I
1	Demanda de Oxígeno	DBO5	mg/L	15	4	2	2	2	2	2
2	Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	>=4	6.36	8.9	5.863	5.863	6.48	6.751
3	pH	pH		6.5-8.5	8.42	8.46	8.437	8.437	8.134	8.007
4	Aluminio	Al	mg/L	5	1.769	0.21	2.826	5.954	3.191	2.468
5	Arsenico	As	mg/L	0.1	0.007	0.0023	0.0113	0.0462	0.0114	0.0269
6	Cadmio	Cd	mg/L	0.01	0.0003	0.00001	0.0006	0.0007	0.0005	0.0001
7	Cobre	Cu	mg/L	0.2	0.008	0.00091	0.0053	0.0118	0.0111	0.0052
8	Hierro	Fe	mg/L	5	3.02	0.4274	5.291	10.6	6.207	4.884
9	Manganeso	Mn	mg/L	0.2	0.081	0.02328	0.1485	0.1925	0.1456	0.1371
10	Plomo	Pb	mg/L	0.05	0.001	0.0011	0.0049	0.0093	0.0094	0.0038
11	Zinc	Zn	mg/L	2	0.092	0.0175	0.1821	0.217	0.153	0.087
12	Coliformes	Zn	NMP/100	1000	330	7.8	2400	1300	3500	1300
13	E. Coli	Zn	NMP/100	1000	330	7.8	490	330	2400	490

Tabla 13: Datos periodo estiaje del punto RCruc3 CCME WQI

	Parametros	Simbolo	unidad	ECA -AGUA Cat. 3	2016-II	2017-II	2018-II	2019-II	2020-II	2022-II	2023-II
1	Demanda de Oxígeno	DBO5	mg/L	15	3	2	2	2	3	2	1.1
2	Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	>=4	6.15	6.41	5.79	4.602	7.521	7.25	8.17
3	pH	pH		6.5-8.5	8.37	8.5	7.76	8.467	7.94	8.432	8.561
4	Aluminio	Al	mg/L	5	0.025	5.015	0.097	0.083	0.024	0.20	0.215
5	Arsenico	As	mg/L	0.1	0.007	0.03425	0.0017	0.0048	0.0019	0.004	0.0049
6	Cadmio	Cd	mg/L	0.01	0.0002	0.00042	1E-05	0.0001	0.0001	0.0001	3E-05
7	Cobre	Cu	mg/L	0.2	0.002	0.02577	3E-05	0.0013	0.0003	0.002	0.0019
8	Hierro	Fe	mg/L	5	0.322	8.758	0.0453	0.199	0.078	0.44	0.3002
9	Manganeso	Mn	mg/L	0.2	0.032	0.25299	0.0024	0.0381	0.0185	0.052	0.0222
10	Plomo	Pb	mg/L	0.05	0.001	0.0212	0.0002	0.0006	0.0004	0.0010	0.0006
11	Zinc	Zn	mg/L	2	0.006	0.0887	0.0126	0.008	0.008	0.006	0.0072
12	Coliformes	Zn	NMP/100	1000	6.8	13	1700	4	4.5	33	4.5
13	E. Coli	Zn	NMP/100	1000	6.8	4.5	330	2	2	33	4.5

Tabla 14: Análisis de datos con el CCME WQI en el primer y segundo periodo, así como el periodo total en RCruc3

RCruc3 - Periodo de Avenida										
Alcance		Frecuencia					Amplitud			
F1	30.7692	F2	11.53846			F3	8.78303			
N° de Variables Fallidas	4	N° de Testeos Fallidos	9							
N° Total de Variables	13	N° Total de Testeos	78							
F al Cuadrado	946.74556	F al Cuadrado	133.13609			F al Cuadrado	77.141532			
Sumatoria	Raiz	ICA CCME WQI					Calificacion del ICA			
1157.023189	34.01504357	80.36083					de 80 a 94	Bueno		
Cuando la prueba valor no supera el objetivo		nse	0.096287179							
Excursión i	0.1908	0.0582	1.12	0.2414	1.4	0.3	2.5	0.3	1.4	
Valores de Testeo Fallidos	5.954	5.291	10.6	6.207	2400	1300	3500	1300	2400	
Valores según el ECA Agua	5	5	5	5	1000	1000	1000	1000	1000	

RCruc3 - Periodo de Estiaje										
Alcance		Frecuencia					Amplitud			
F1	38.4615	F2	5.494505			F3	1.86217			
N° de Variables Fallidas	5	N° de Testeos Fallidos	5							
N° Total de Variables	13	N° Total de Testeos	91							
F al Cuadrado	1479.2899	F al Cuadrado	30.189591			F al Cuadrado	3.4676658			
Sumatoria	Raiz	ICA CCME WQI					Calificacion del ICA			
1512.947197	38.89662193	77.54237					de 65 a 79	Regular		
Cuando la prueba valor no supera el objetivo		nse	0.018975016							
Excursión i	0.0071765	0.003	0.7516	0.26495	0.7					
Valores de Testeo Fallidos	8.561	5.015	8.758	0.25299	1700					
Valores según el ECA Agua	8.5	5	5	0.2	1000					



RCruc3 - Periodo Total

Alcance	
F1	46.1538
N° de Variables Fallidas	6
N° Total de Variables	13
F al Cuadrado	2130.1775

Frecuencia	
F2	8.284024
N° de Testeos Fallidos	14
N° Total de Testeos	169
F al Cuadrado	68.625048

Amplitud	
F3	5.18249
F al Cuadrado	26.858233

Sumatoria	Raiz
2225.660796	47.17690956

ICA CCME WQI
72.76160

Calificacion del ICA	
de 65 a 79	Regular

Quando la prueba valor no supera el objetivo

nse	0.054657553
-----	-------------

Excursión i	0.1908	0.0582	1.12	0.2414	1.4	0.3	2.5	0.3	1.4	0.0071765	0.003
Valores de Testeo Fallidos	5.954	5.291	10.6	6.207	2400	1300	3500	1300	2400	8.561	5.015
Valores según el ECA Agua	5	5	5	5	1000	1000	1000	1000	1000	8.5	5

0.7516	0.26495	0.7
8.758	0.25299	1700
5	0.2	1000

ANEXO 16: Resultados y cálculos del Índice de Calidad de Agua CCME en el punto

RCruc5

Tabla 15: Datos periodo avenida del punto RCruc5 CCME WQI

	Parametros	Simbolo	unidad	ECA -AGUA Cat. 3	2016-I	2017-I	2018-I	2019-I	2020-I	2021-I
1	Demanda de Oxígeno	DBO5	mg/L	15	5	2	2	2	2	2
2	Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	>=4	5.52	8.7	5.997	4.6	6.32	6.794
3	pH	pH		6.5-8.5	8.19	8.42	8.379	8.378	8.247	8.273
4	Aluminio	Al	mg/L	5	4.015	0.052	0.143	3.759	1.535	0.224
5	Arsenico	As	mg/L	0.1	0.007	0.0032	0.0027	0.0276	0.0089	0.0033
6	Cadmio	Cd	mg/L	0.01	0.0003	1E-05	1E-05	0.0004	0.0001	0.0001
7	Cobre	Cu	mg/L	0.2	0.009	0.0005	0.001	0.0078	0.0061	0.001
8	Hierro	Fe	mg/L	5	8.416	0.0716	0.1821	6.748	2.914	0.35
9	Mercurio	Hg	mg/L	0.001	0.0001	3E-05	3E-05	3E-05	5E-05	5E-05
10	Plomo	Pb	mg/L	0.05	0.001	0.0002	0.0004	0.0065	0.0055	0.0011
11	Zinc	Zn	mg/L	2	0.16	0.01	0.01	0.1363	0.075	0.008
12	Coliformes	C.T.	NMP/100	1000	7900	13	33	2400	2400	33
13	E. Coli	E.C.	NMP/100	1000	7900	7.8	13	790	790	23

Tabla 16: Datos periodo estiaje del punto RCruc5 CCME WQI

	Parametros	Simbolo	unidad	ECA -AGUA Cat. 3	2016-II	2017-II	2018-II	2019-II	2020-II	2022-II	2023-II
1	Demanda de Oxígeno	DBO5	mg/L	15	3	2	2	2	3	2	1.1
2	Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	>=4	6.88	7.1	5.17	5.001	5.32	6.82	818
3	pH	pH		6.5-8.5	8.37	8.47	8.62	8.588	7.997	8	8.57
4	Aluminio	Al	mg/L	5	0.052	0.011	0.051	0.235	0.018	0.041	0.092
5	Arsenico	As	mg/L	0.1	0.007	0.0037	0.0031	0.0079	0.0032	0.006	0.0039
6	Cadmio	Cd	mg/L	0.01	0.0002	1E-05	0.00001	0.0001	0.0001	0.0001	3E-05
7	Cobre	Cu	mg/L	0.2	0.002	3E-05	0.0006	0.0026	0.0003	0.001	0.0014
8	Hierro	Fe	mg/L	5	0.094	0.0557	0.1096	0.344	0.103	0.131	0.2159
9	Mercurio	Hg	mg/L	0.001	0.0001	3E-05	3E-05	5E-05	5E-05	0.054	0.0001
10	Plomo	Pb	mg/L	0.05	0.001	0.0002	0.0004	0.0009	0.0002	0.0004	0.0006
11	Zinc	Zn	mg/L	2	0.005	0.01	0.0146	0.008	0.008	0.0025	0.0298
12	Coliformes	C.T.	NMP/100	1000	2	49	2	44	7.8	1.8	1.8
13	E. Coli	E.C.	NMP/100	1000	2	33	1.8	4.5	2	1.8	1.8

Tabla 17: *Análisis de datos con el CCME WQI en el primer y segundo periodo, así como el periodo total en RCruc5*

RCruc5 - Periodo de Avenida											
Alcance		Frecuencia				Amplitud					
F1	23.0769	F2	7.692308			F3	18.438				
N° de Variables Fallidas	3	N° de Testeos Fallidos	6								
N° Total de Variables	13	N° Total de Testeos	78								
F al Cuadrado	532.54438	F al Cuadrado	59.171598			F al Cuadrado	339.96078				
Sumatoria	Raíz	ICA CCME WQI				Calificacion del ICA					
931.6767587	30.52338053	82.37680				de 80 a 94		Bueno			
Cuando la prueba valor no supera el objetivo						nse	0.226061538				
Excursión i	0.6832	0.3496	6.9	1.4	1.4	6.9					
Valores de Testeo Fallidos	8.416	6.748	7900	2400	2400	7900					
Valores según el ECA Agua	5	5	1000	1000	1000	1000					
RCruc5 - Periodo de Estiaje											
Alcance		Frecuencia				Amplitud					
F1	15.3846	F2	4.395604			F3	36.897				
N° de Variables Fallidas	2	N° de Testeos Fallidos	4								
N° Total de Variables	13	N° Total de Testeos	91								
F al Cuadrado	236.68639	F al Cuadrado	19.321338			F al Cuadrado	1361.3896				
Sumatoria	Raíz	ICA CCME WQI				Calificacion del ICA					
1617.397344	40.21687885	76.78009				de 65 a 79		Regular			
Cuando la prueba valor no supera el objetivo						nse	0.584711054				
Excursión i	0.0141176	0.0103529	0.0082353	53.176							
Valores de Testeo Fallidos	8.62	8.59	8.57	0.05							
Valores según el ECA Agua	8.50	8.50	8.50	0.00							
RCruc5 - Periodo Total											
Alcance		Frecuencia				Amplitud					
F1	38.4615	F2	5.91716			F3	29.5368				
N° de Variables Fallidas	5	N° de Testeos Fallidos	10								
N° Total de Variables	13	N° Total de Testeos	169								
F al Cuadrado	1479.2899	F al Cuadrado	35.01278			F al Cuadrado	872.42255				
Sumatoria	Raíz	ICA CCME WQI				Calificacion del ICA					
2386.725274	48.85412239	71.79323				de 65 a 79		Regular			
Cuando la prueba valor no supera el objetivo						nse	0.419180508				
Excursión i	0.6832	0.3496	6.9	1.4	1.4	6.9	0.0141176	0.0103529	0.0082353	53.176	
Valores de Testeo Fallidos	8.416	6.748	7900	2400	2400	7900	8.62	8.59	8.57	0.05	
Valores según el ECA Agua	5	5	1000	1000	1000	1000	8.50	8.50	8.50	0.00	

ANEXO 17: Resultados y cálculos del HPI en el punto RGran2

Tabla 18: Datos primer periodo del punto RGran2 HPI

EPOCA DE ESTIAJE RGRAN2									
Parametros	Simbolo	unidad	ECA - AGUA Cat. 3	2017-II	2018-II	2019-II	2020-II	2022-II	PROMEDI O
Aluminio	Al	mg/L	5	1.109	26.92	23.25	0.473	60.973	22.545
Arsenico	As	mg/L	0.1	0.00573	0.04845	0.1317	0.005	0.27593	0.093
Cadmio	Cd	mg/L	0.01	0.00001	0.00001	0.0004	0.0001	0.00228	0.001
Cobre	Cu	mg/L	0.2	0.00254	0.04067	0.0386	0.0012	0.3411	0.085
Hierro	Fe	mg/L	5	2.111	53.1	36.77	0.936	94.51289	37.486
Manganeso	Mn	mg/L	0.2	0.19103	1.118	0.5788	0.0661	6.068118	1.604
Mercurio	Hg	mg/L	0.001	0.00003	0.00003	0.00005	0.00005	0.00014	0.00006
Plomo	Pb	mg/L	0.05	0.0018	0.0287	0.0453	0.0005	0.1256	0.040
Zinc	Zn	mg/L	2	0.01	0.1204	0.154	0.008	0.60346	0.179

Tabla 19: Datos segundo periodo del punto RGran2 HPI

EPOCA DE AVENIDA RGRAN2										
Parametros	Simbolo	unidad	ECA -AGUA Cat. 3	2016-1	2017-1	2018-1	2019-1	2020-I	2021	PROMEDIO
Aluminio	Al	mg/L	5	69.7900	0.12400	98.67	26.17	8.151	264.6	77.918
Arsenico	As	mg/L	0.1	0.3150	0.00234	0.22993	0.15154	0.0341	2.225	0.493
Cadmio	Cd	mg/L	0.01	0.0002	0.00001	0.0015	0.00182	0.00123	0.00361	0.001
Cobre	Cu	mg/L	0.2	0.1380	0.00102	0.17449	0.04287	0.0174	0.4243	0.133
Hierro	Fe	mg/L	5	133.7000	0.36420	186.2	45.2	14.35	567.7	157.919
Manganeso	Mn	mg/L	0.2	0.0010	0.03114	6.478	2.006	1.543	7.021	2.847
Mercurio	Hg	mg/L	0.001	0.0001	0.00003	0.00212	0.00003	0.00005	0.00145	0.001
Plomo	Pb	mg/L	0.05	0.1270	0.00020	0.1512	0.0496	0.0104	0.4401	0.130
Zinc	Zn	mg/L	2	0.7250	0.01000	0.6932	0.5056	0.302	1.603	0.640

Tabla 20: Análisis de datos con el HPI en el primer y segundo periodo, así como el periodo total en RGran2

EPOCA ESTIAJE						EPOCA AVENIDA					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI RGran2	Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI RGran2
22.55	5.00	0.20	450.90	90.18		77.92	5.00	0.20	1558.35	311.67	
0.09	0.10	10.00	93.36	933.62		0.49	0.10	10.00	492.99	4929.85	
0.00	0.01	100.00	5.60	560.00		0.00	0.01	100.00	13.92	1391.67	
0.08	0.20	5.00	42.41	212.06		0.13	0.20	5.00	66.51	332.53	
37.49	5.00	0.20	749.72	149.94		157.92	5.00	0.20	3158.38	631.68	
1.60	0.20	5.00	802.20	4011.02		2.85	0.20	5.00	1423.35	7116.73	
0.00	0.00	1000.00	6.00	6000.00		0.00	0.00	1000.0	63.00	63000.00	
0.04	0.05	20.00	80.76	1615.20		0.13	0.05	20.00	259.50	5190.00	
0.18	2.00	0.50	8.96	4.48		0.64	2.00	0.50	31.99	16.00	
		1140.90		13576.50	11.900			1140.90		82920.12	72.680

TOTAL					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI RGran2
52.75	5.00	0.20	1054.96	210.99	
0.31	0.10	10.00	311.34	3113.38	
0.00	0.01	100.00	10.14	1013.64	
0.11	0.20	5.00	55.55	277.77	
103.18	5.00	0.20	2063.5	412.71	
2.28	0.20	5.00	1141.01	5705.04	
0.00	0.00	1000.00	37.09	37090.91	
0.09	0.05	20.00	178.25	3565.09	
0.43	2.00	0.50	21.52	10.76	
		1140.90		51400.29	45.052

ANEXO 18: Resultados y cálculos del HPI en el punto RCruc2

Tabla 21: Datos primer periodo del punto RCruc2 HPI

EPOCA DE ESTIAJE RCruc2											
Parametros	Simb	unidad	ECA-AGUA Cat. 2	2016-II	2017-II	2018-II	2019-II	2020-II	2022-II	2023-II	PROMEDIO
Aluminio	Al	mg/L	5	0.447	0.1	0.328	0.182	0.003	0.213	1.277	0.364286
Arsenico	As	mg/L	0.1	0.007	0.00152	0.00234	0.0042	0.0014	0.00493	0.007	0.004056
Cadmio	Cd	mg/L	0.01	0.00018	0.00001	0.00001	0.0001	0.0001	0.00006	0.000	0.000070
Cobre	Cu	mg/L	0.2	0.002	0.00066	0.00112	0.0015	0.0003	0.0011	0.003	0.001340
Hierro	Fe	mg/L	5	0.684	0.1865	0.4483	0.263	0.047	0.3223	1.773	0.532071
Manganeso	Mn	mg/L	0.2	0.037	0.01898	0.03678	0.0519	0.0237	0.020044	0.051	0.034129
Mercurio	Hg	mg/L	0.001	0.0001	0.00003	0.00003	0.00005	0.00005	0.00007	0.000	0.000061
Plomo	Pb	mg/L	0.05	0.001	0.0002	0.0008	0.001	0.0002	0.0004	0.001	0.000614
Zinc	Zn	mg/L	2	0.021	0.0774	0.0587	0.025	0.011	0.00799	0.034	0.033527

Tabla 22: Datos segundo periodo del punto RCruc2 HPI

EPOCA DE AVENIDA RCruc2										
Parametros	Simb	unidad	ECA-AGUA	2016-I	2017-I	2018-I	2019-I	2020-I	2021	PROMEDIO
Aluminio	Al	mg/L	5	2.495	0.155	9.341	10.560	2.802	3.313	4.7777
Arsenico	As	mg/L	0.1	0.012	0.00172	0.048	0.067	0.0134	0.0256	0.0281
Cadmio	Cd	mg/L	0.01	0.0032	0.00001	0.002	0.002	0.00089	0.00111	0.0014
Cobre	Cu	mg/L	0.2	0.006	0.0006	0.014	0.015	0.0061	0.0063	0.0079
Hierro	Fe	mg/L	5	5.262	0.2892	17.670	17.830	5.816	6.853	8.9534
Manganeso	Mn	mg/L	0.2	0.104	0.01582	0.517	0.549	0.2792	0.4325	0.3162
Mercurio	Hg	mg/L	0.001	0.0001	0.00003	0.000	0.000	0.00005	0.00005	0.00005
Plomo	Pb	mg/L	0.05	0.001	0.0002	0.013	0.012	0.0071	0.0049	0.0063
Zinc	Zn	mg/L	2	0.115	0.0544	0.655	0.556	0.264	0.392	0.3392

Tabla 23: Análisis de datos con el HPI en el primer y segundo periodo, así como el periodo total en RCruc2

EPOCA DE ESTIAJE RCruc2					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI RCruc2
0.364286	5.00	0.20	7.29	1.46	
0.004056	0.10	10.00	4.06	40.56	
0.000070	0.01	100.00	0.70	70.00	
0.001340	0.20	5.00	0.67	3.35	
0.532071	5.00	0.20	10.64	2.13	
0.034129	0.20	5.00	17.06	85.32	
0.000061	0.00	1000.0	6.14	6142.86	
0.000614	0.05	20.00	1.23	24.57	
0.033527	2.00	0.50	1.68	0.84	
		1140.9		6371.08	5.58

EPOCA DE AVENIDA RCruc2					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI RCruc2
4.7777	5	0.2	95.55333	19.11	
0.0281	0.1	10	28.07	280.70	
0.0014	0.01	100	14.46667	1446.67	
0.0079	0.2	5	3.94	19.70	
8.9534	5	0.2	179.0673	35.81	
0.3162	0.2	5	158.0767	790.38	
0.0000	0.001	1000	4.833333	4833.33	
0.0063	0.05	20	12.53333	250.67	
0.3392	2	0.5	16.96167	8.48	
		1140.9		7684.85	6.736

TOTAL					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI RCruc2
2.4012	5	0.2	48.02462	9.605	
0.0151	0.1	10	15.13923	151.392	
0.0007	0.01	100	7.053846	705.385	
0.0044	0.2	5	2.179231	10.896	
4.4188	5	0.2	88.37646	17.675	
0.1643	0.2	5	82.14708	410.735	
0.0001	0.001	1000	5.538462	5538.462	
0.0032	0.05	20	6.446154	128.923	
0.1746	2	0.5	8.731115	4.366	
		1140.9		6977.43885	6.116

ANEXO 19: Resultados y cálculos del HPI en el punto RAnta3

Tabla 24: Datos primer periodo del punto RAnta3 HPI

EPOCA DE ESTIAJE RAnta3											
Parametros	Simb	unidad	ECA-AGUA	2016-II	2017-II	2018-II	2019-II	2020-II	2022-II	2023-II	PROMEDIO
Aluminio	Al	mg/L	5	0.005	6.025	0.023	0.017	0.003	0.01	0.057	0.87714
Arsenico	As	mg/L	0.1	0.007	0.04081	0.00116	0.0012	0.001	0.00099	0.0011	0.00761
Cadmio	Cd	mg/L	0.01	0.00018	0.00063	0.00001	0.0001	0.0001	0.00006	0.00003	0.00016
Cobre	Cu	mg/L	0.2	0.002	0.03581	0.00143	0.002	0.001	0.0018	0.0022	0.00661
Hierro	Fe	mg/L	5	0.015	11.37	0.0243	0.055	0.016	0.01969	0.0749	1.65356
Manganeso	Mn	mg/L	0.2	0.001	0.34411	0.00133	0.005	0.0014	0.001538	0.0032	0.05108
Mercurio	Hg	mg/L	0.001	0.0001	0.00003	0.00003	0.00005	0.00005	0.00007	0.0001	0.00006
Plomo	Pb	mg/L	0.05	0.001	0.0252	0.0002	0.0002	0.0002	0.0004	0.0006	0.00397
Zinc	Zn	mg/L	2	0.004	0.1144	0.0122	0.008	0.008	0.00408	0.0232	0.02484

Tabla 25: Datos segundo periodo del punto RAnta3 HPI

EPOCA DE AVENIDA RAnta3										
Parametros	Simb.	unidad	ECA-AGUA	2016-1	2017-1	2018-1	2019-1	2020-I	2021	PROMEDIO
Aluminio	Al	mg/L	5	0.45300	0.06000	0.03300	0.21300	0.18200	0.02100	0.16033
Arsenico	As	mg/L	0.1	0.00700	0.00108	0.00116	0.00213	0.00260	0.00130	0.00255
Cadmio	Cd	mg/L	0.01	0.00018	0.00001	0.00001	0.00001	0.00010	0.00010	0.00007
Cobre	Cu	mg/L	0.2	0.01000	0.00175	0.00206	0.00618	0.01260	0.00180	0.00573
Hierro	Fe	mg/L	5	0.73300	0.10630	0.04280	0.19360	1.10700	0.02600	0.36812
Manganeso	Mn	mg/L	0.2	0.05000	0.01272	0.00525	0.01091	0.03510	0.00270	0.01945
Mercurio	Hg	mg/L	0.001	0.00010	0.00003	0.00003	0.00003	0.00005	0.00005	0.00005
Plomo	Pb	mg/L	0.05	0.00100	0.00020	0.00020	0.00070	0.00070	0.00020	0.00050
Zinc	Zn	mg/L	2	0.11400	0.01000	0.01000	0.01000	0.02300	0.00800	0.02917

Tabla 26: Análisis de datos con el HPI en el primer y segundo periodo, así como el periodo total en RAnta3

EPOCA DE ESTIAJE RAnta3					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI RAnta3
0.87714	5.00	0.20	17.54	3.51	
0.00761	0.10	10.00	7.61	76.09	
0.00016	0.01	100.00	1.59	158.57	
0.00661	0.20	5.00	3.30	16.51	
1.65356	5.00	0.20	33.07	6.61	
0.05108	0.20	5.00	25.54	127.71	
0.00006	0.00	1000.0	6.14	6142.86	
0.00397	0.05	20.00	7.94	158.86	
0.02484	2.00	0.50	1.24	0.62	
		1140.9		6691.34	5.86

EPOCA DE AVENIDA RAnta3					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI RAnta3
0.1603	5	0.2	3.2067	0.64	
0.0025	0.1	10	2.545	25.45	
0.0001	0.01	100	0.6833	68.33	
0.0057	0.2	5	2.8658	14.33	
0.3681	5	0.2	7.3623	1.47	
0.0194	0.2	5	9.7233	48.62	
0.00005	0.001	1000	4.8333	4833.33	
0.0005	0.05	20	1	20.00	
0.0292	2	0.5	1.4583	0.73	
		1140.9		5012.91	4.394

TOTAL					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI RAnta3
0.5463	5	0.2	10.9262	2.185	
0.0053	0.1	10	5.27154	52.715	
0.0001	0.01	100	1.16923	116.923	
0.0062	0.2	5	3.10115	15.506	
1.0603	5	0.2	21.2055	4.241	
0.0365	0.2	5	18.2407	91.203	
0.0001	0	1000	5.53846	5538.462	
0.0024	0.05	20	4.73846	94.769	
0.0268	2	0.5	1.34185	0.671	
		1140.9		5916.67572	5.1860

ANEXO 20: Resultados y cálculos del HPI en el punto RCruc3

Tabla 27: Datos primer periodo del punto RCruc3 HPI

EPOCA DE ESTIAJE RCruc3											
Parametros	Simb	unidad	ECA-AGUA	2016-II	2017-II	2018-II	2019-II	2020-II	2022-II	2023-II	PROMEDIO
Aluminio	Al	mg/L	5	0.0250	5.0150	0.0970	0.0830	0.0240	0.2010	0.2150	0.8086
Arsenico	As	mg/L	0.1	0.0070	0.0343	0.0017	0.0048	0.0019	0.0039	0.0049	0.0084
Cadmio	Cd	mg/L	0.01	0.0002	0.0004	0.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000	0.0001
Cobre	Cu	mg/L	0.2	0.0020	0.0258	0.0000	0.0013	0.0003	0.0018	0.0019	0.0047
Hierro	Fe	mg/L	5	0.3220	8.7580	0.0453	0.1990	0.0780	0.4377	0.3002	1.4486
Manganeso	Mn	mg/L	0.2	0.0320	0.2530	0.0024	0.0381	0.0185	0.0515	0.0222	0.0597
Mercurio	Hg	mg/L	0.001	0.0001	0.00003	0.0000	0.0001	0.0001	0.00007	0.0001	0.0001
Plomo	Pb	mg/L	0.05	0.0010	0.0212	0.0002	0.0006	0.0004	0.0010	0.0006	0.0036
Zinc	Zn	mg/L	2	0.0060	0.0887	0.0126	0.0080	0.0080	0.0058	0.0072	0.0195

Tabla 28: Datos segundo periodo del punto RCruc3 HPI

EPOCA DE AVENIDA RCruc3										
Parametros	Simb.	unidad	ECA-AGUA	2016-1	2017-1	2018-1	2019-1	2020-I	2021	PROMEDIO
Aluminio	Al	mg/L	5	1.7690	0.2100	2.8260	5.9540	3.1910	2.4680	2.7363
Arsenico	As	mg/L	0.1	0.0070	0.0023	0.0113	0.0462	0.0114	0.0269	0.0175
Cadmio	Cd	mg/L	0.01	0.0003	0.00001	0.0006	0.0007	0.0005	0.0001	0.0004
Cobre	Cu	mg/L	0.2	0.0080	0.0009	0.0053	0.0118	0.0111	0.0052	0.0071
Hierro	Fe	mg/L	5	3.0200	0.4274	5.2910	10.6000	6.2070	4.8840	5.0716
Manganeso	Mn	mg/L	0.2	0.0810	0.0233	0.1485	0.1925	0.1456	0.1371	0.1213
Mercurio	Hg	mg/L	0.001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0000
Plomo	Pb	mg/L	0.05	0.0010	0.0011	0.0049	0.0093	0.0094	0.0038	0.0049
Zinc	Zn	mg/L	2	0.0920	0.0175	0.1821	0.2170	0.1530	0.0870	0.1248

Tabla 29: *Análisis de datos con el HPI en el primer y segundo periodo, así como el periodo total en RCruc3*

EPOCA DE ESTIAJE RCruc3					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI RCruc3
0.80857	5.00	0.20	16.17	3.23	
0.00835	0.10	10.00	8.35	83.50	
0.00013	0.01	100.00	1.29	128.57	
0.00473	0.20	5.00	2.36	11.82	
1.44860	5.00	0.20	28.97	5.79	
0.05967	0.20	5.00	29.83	149.17	
0.00007	0.00	1000.0	6.67	6666.67	
0.00357	0.05	20.00	7.14	142.86	
0.01947	2.00	0.50	0.97	0.49	
		1140.9		7192.10	6.30

EPOCA DE AVENIDA RCruc3					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI RCruc3
2.7363	5	0.2	54.7267	10.95	
0.0175	0.1	10	17.5183	175.18	
0.0004	0.01	100	3.7	370.00	
0.0071	0.2	5	3.52667	17.63	
5.0716	5	0.2	101.431	20.29	
0.1213	0.2	5	60.6642	303.32	
0.0000	0.001	1000	4.83333	4833.33	
0.0049	0.05	20	9.83333	196.67	
0.1248	2	0.5	6.23833	3.12	
		1140.9		5930.49	5.198

TOTAL					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI RCruc3
1.6983	5	0.2	33.9662	6.793	
0.0126	0.1	10	12.5815	125.815	
0.0002	0.01	100	2.4	240.000	
0.0058	0.2	5	2.90077	14.504	
3.1207	5	0.2	62.4147	12.483	
0.0881	0.2	5	44.0633	220.317	
0.0001	0.001	1000	5.75	5750.000	
0.0042	0.05	20	8.38462	167.692	
0.0681	2	0.5	3.40331	1.702	
		1140.9		6539.305909	5.732

ANEXO 21: Resultados y cálculos del HPI en el punto RCruc5

Tabla 30: Datos primer periodo del punto RCruc5 HPI

EPOCA DE ESTIAJE RCruc5											
Parametros	Simb	unidad	ECA- AGUA Cat. 2	2016-II	2017-II	2018-II	2019-II	2020-II	2022-II	2023-II	PROMEDIO
Aluminio	Al	mg/L	5	0.052	0.011	0.051	0.235	0.018	0.041	0.092	0.0714
Arsenico	As	mg/L	0.1	0.007	0.004	0.003	0.008	0.003	0.006	0.004	0.0049
Cadmio	Cd	mg/L	0.01	0.000	0.00001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0001
Cobre	Cu	mg/L	0.2	0.002	0.00003	0.001	0.003	0.000	0.001	0.001	0.0011
Hierro	Fe	mg/L	5	0.094	0.056	0.110	0.344	0.103	0.131	0.216	0.1504
Manganeso	Mn	mg/L	0.2	0.008	0.029	0.043	0.045	0.040	0.054	0.032	0.0359
Mercurio	Hg	mg/L	0.001	0.000	0.00003	0.00003	0.00005	0.00005	0.00007	0.0001	0.0001
Plomo	Pb	mg/L	0.05	0.0010	0.0002	0.0004	0.0009	0.0002	0.0004	0.0006	0.0005
Zinc	Zn	mg/L	2	0.0050	0.0100	0.0146	0.0080	0.0080	0.0025	0.0298	0.0111

Tabla 31: Datos segundo periodo del punto RCruc5 HPI

EPOCA DE AVENIDA RCruc5										
Parametros	Simb	unidad	ECA-AGUA	2016-1	2017-1	2018-1	2019-1	2020-I	2021	PROMEDIO
Aluminio	Al	mg/L	5	4.015	0.052	0.143	3.759	1.535	0.224	1.6213
Arsenico	As	mg/L	0.1	0.007	0.00319	0.00267	0.02756	0.0089	0.0033	0.0088
Cadmio	Cd	mg/L	0.01	0.00033	0.00001	0.00001	0.00042	0.0001	0.0001	0.0002
Cobre	Cu	mg/L	0.2	0.009	0.00053	0.00099	0.00781	0.0061	0.001	0.0042
Hierro	Fe	mg/L	5	8.416	0.0716	0.1821	6.748	2.914	0.35	3.1136
Manganeso	Mn	mg/L	0.2	0.159	0.02028	0.02766	0.12183	0.0973	0.0273	0.0756
Mercurio	Hg	mg/L	0.001	0.0001	0.00003	0.00003	0.00003	0.00005	0.00005	0.0000
Plomo	Pb	mg/L	0.05	0.001	0.0002	0.0004	0.0065	0.0055	0.0011	0.0025
Zinc	Zn	mg/L	2	0.16	0.01	0.01	0.1363	0.075	0.008	0.0666

Tabla 32: *Análisis de datos con el HPI en el primer y segundo periodo, así como el periodo total en RCruc5*

EPOCA DE ESTIAJE RCruc5					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI RCruc2
0.071429	5.00	0.20	1.43	0.29	
0.004899	0.10	10.00	4.90	48.99	
0.000070	0.01	100.00	0.70	70.00	
0.001149	0.20	5.00	0.57	2.87	
0.150426	5.00	0.20	3.01	0.60	
0.035877	0.20	5.00	17.94	89.69	
0.000061	0.00	1000.0	6.14	6142.86	
0.000529	0.05	20.00	1.06	21.14	
0.011123	2.00	0.50	0.56	0.28	
		1140.9		6376.71	5.59

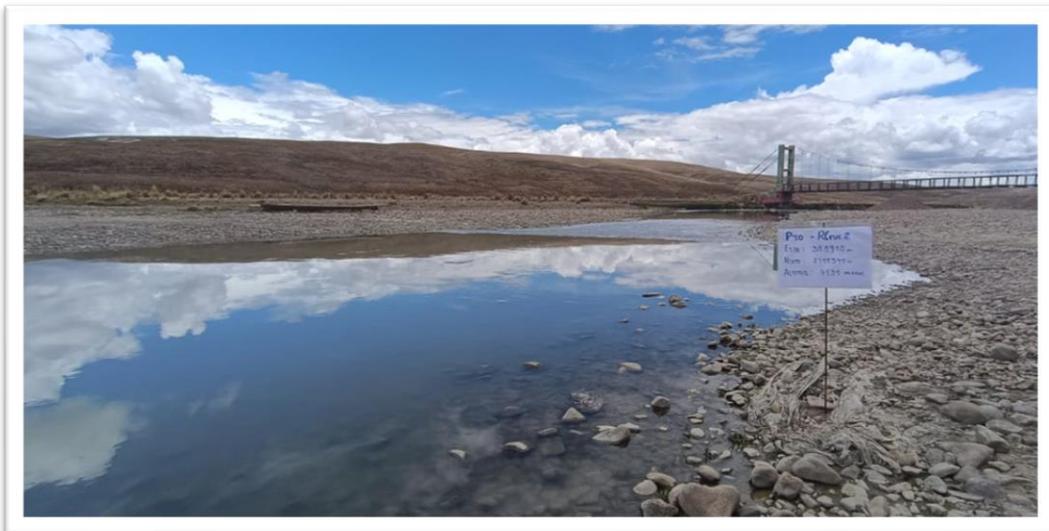
EPOCA DE AVENIDA RCruc5					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI RCruc2
1.6213	5	0.2	32.427	6.49	
0.0088	0.1	10	8.77	87.70	
0.0002	0.01	100	1.6167	161.67	
0.0042	0.2	5	2.1192	10.60	
3.1136	5	0.2	62.2723	12.45	
0.0756	0.2	5	37.7808	188.90	
0.00005	0.001	1000	4.8333	4833.33	
0.0025	0.05	20	4.900	98.00	
0.0666	2	0.5	3.3275	1.66	
		1140.9		5400.80	4.734

TOTAL					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI RCruc2
0.7868	5	0.2	15.73538	3.147	
0.0067	0.1	10	6.685385	66.854	
0.0001	0.01	100	1.123077	112.308	
0.0026	0.2	5	1.287308	6.437	
1.5181	5	0.2	30.36105	6.072	
0.0542	0.2	5	27.09638	135.482	
0.0001	0.001	1000	5.538462	5538.462	
0.0014	0.05	20	2.830769	56.615	
0.0367	2	0.5	1.835231	0.918	
		1140.9		5926.294	5.194

ANEXO 22: Registro Fotográfico en el Punto RGran2



ANEXO 23: Registro fotográfico en el punto RCruc2



ANEXO 24: Registro fotográfico en el punto RCruc3



ANEXO 25: Registro fotográfico en el punto RCruc5

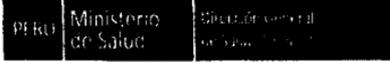


ANEXO 26: Registro fotográfico en el punto RAnta3





ANEXO 27: Reporte de Ministerio de Salud



"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"
"Año del Centenario de Machu Picchu para el Mundo"

INFORME N° 001193 - 2011/DEPA-APRH/DIGESA

A : **M.C. MILAGRITOS FRANCISCA ARAUJO ZAPATA**
Directora Ejecutiva
Dirección de Ecología y Protección del Ambiente

Asunto : Evaluación de resultados del Cuarto Monitoreo y Vigilancia Sanitaria Participativa de del río Ramis, y afluentes, así como de muestras de agua de consumo humano, en cumplimiento del Acta de la Décimo Octava Reunión Extraordinaria de la Comisión Multisectorial de la Cuenca del río Ramis suscrita el 22/01/2010 en la ciudad de Puno.

Referencias : Informe de Ensayo N° 1012 – 2011
DG-DIRESA-PUNO/DESA-OFICIO N° 4260-2010.
Expediente N° 34217-2010-DV del 21/12/2010

Fecha : 22 de marzo de 2011

Es grato dirigirme a usted, para informarle respecto a las actividades de Vigilancia Sanitaria y ambiental participativa de las aguas de los ríos Ramis y sus tributarios, desarrolladas entre los días 14 al 16 de diciembre de 2010, en cumplimiento al cronograma de actividades del año 2010 presentada en la Décimo Octava Reunión Extraordinaria de la Comisión Multisectorial de la Cuenca del río Ramis del 22 de enero de 2010, teniendo como marco legal el Capítulo VII "De la Protección del Ambiente para la Salud" de la Ley N° 26842 -"Ley General de Salud".

I. ANTECEDENTES

El día 22 de junio de 2009, en la Municipalidad Provincial de Puno, se suscribió el **Acta de Reunión entre Autoridades Locales, Provinciales, Gobierno Regional y Representantes del Gobierno Nacional para tratar el problema ambiental de la cuenca del río Ramis**, con la participación, de la Presidencia del Consejo de Ministros, Ministerio de Salud, Ministerio de Agricultura, Ministerio de Energía y Minas, y Ministerio del Interior, en el que se establecieron acuerdos y compromisos correspondiendo al sector salud el numeral 6 que se indica a continuación:

- ✓ La Dirección General de Salud Ambiental y la Dirección Regional de Salud Puno, realizarán los monitoreos participativos de la calidad del río Ramis entre los días 13 al 18 de julio del presente y la tercera semana del mes de noviembre, las misma que serán permanentes y se realizarán 4 veces al año.

El día 22 de enero de 2010, en la sala de reuniones de la Dirección Regional de Turismo de Puno se suscribió el **Acta de la Decimo Octava Reunión Extraordinaria de la Comisión Multisectorial de la Cuenca del río Ramis**, en la que se establecieron acuerdos correspondiendo al sector salud el numeral 2 que se indica:

- ✓ La DIGESA reestructura su cronograma de monitoreo sanitario iniciando el primer monitoreo en febrero del presente año, asimismo presentará un informe detallado sobre los costos que implica la realización de éste.



Primer Monitoreo				Ejecutado
Segundo Monitoreo				Ejecutado
Tercer Monitoreo				Ejecutado
Cuarto Monitoreo				Ejecutado

www.digesa.minsa.gob.pe
www.digesa.sld.pe

Calle Las Amapolas N° 350
Urb. San Eugenio, Lince - Lima 14, Perú
T (511) 4428353, 4428356 / F (511) 4226404



"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"
"Año del Centenario de Machu Picchu para el Mundo"

Con fecha 14 de diciembre de 2010, se dio inicio al cuarto monitoreo participativo de las cuencas del río Ramis y afluentes, en donde sólo participaron la **DIRESA Puno**, conjuntamente con personal técnico de la **DIGESA**, tomándose muestras de agua en las estaciones establecidas así como para agua de consumo humano.

II. MARCO LEGAL VIGENTE

- ✓ **Ley No. 26842 - "Ley General de Salud" del 20 de junio de 1997**; indica que el Ministerio de Salud, a través de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), es la Autoridad encargada de la Protección del Ambiente para la Salud, conforme se establece en el **TÍTULO II: DE LOS DEBERES, RESTRICCIONES Y RESPONSABILIDADES EN CONSIDERACIÓN A LA SALUD DE TERCEROS**, en los artículos 104° al 107° del **CAPÍTULO VIII - DE LA PROTECCIÓN DEL AMBIENTE PARA LA SALUD**, así como en el **TÍTULO V: DE LA AUTORIDAD DE SALUD**, señalando en el artículo 127°: "Quedan sujetas a **supervigilancia** de la Autoridad de Salud de nivel nacional, las entidades públicas que por sus leyes de organización y funciones, leyes orgánicas o leyes especiales están facultadas para controlar aspectos sanitarios y ambientales".
- ✓ **Decreto Supremo N° 023-2005-SA del 01 enero de 2006**; que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Salud.
- ✓ **Ley N° 28611 - Ley General del Ambiente**, del 13 de octubre de 2010. Artículo 3 y Artículo 53.
- ✓ **Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM**; que aprueba los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, el 31 de julio de 2008.
- ✓ **Ley N° 29338 "Ley de Recursos Hídricos"**; de acuerdo a la Primera Disposición Complementaria Transitoria entra en vigencia a partir del 01 de abril de 2009.
- ✓ **Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM del 19 de diciembre de 2009**; aprueban Disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua.
- ✓ **Decreto Supremo N° 001-2010-AG del 24 de marzo de 2010**; aprueban el Reglamento de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos.
- ✓ **Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA del 22 de marzo de 2010**; aprueba la clasificación de cuerpos de agua superficiales y marino - costeros.

III. DESARROLLO DEL CUARTO MONITOREO PARTICIPATIVO

La DIGESA en coordinación con la Dirección Regional de Salud Puno invitó, vía telefónica y por medios electrónicos, a las Autoridades del nivel Nacional, Regional, Local y representantes del Comité de Lucha de la Cuenca del río Ramis, para que formen parte de la comisión del cuarto monitoreo participativo que se realizó del 14 al 16 de diciembre de 2010. El trabajo contempló el monitoreo de los recursos hídricos de las cuencas del río Ramis y afluentes, con la finalidad de evaluar las condiciones sanitarias y ambientales de los ríos y quebradas de la zona en estudio, así como el agua para consumo humano de las localidades asentadas en la cuenca del río Ramis, cuyas aguas son usadas como fuente de abastecimiento.

La actividad se inició con una reunión de coordinación previa en la DIRESA Puno, a la que asistieron sólo los representantes de la Dirección Regional de Salud Puno y la DIGESA.



1. ASPECTOS RELACIONADOS A LA SALUD Y AL AMBIENTE

A). ACTIVIDADES ECONÓMICAS

Río Ramis

En la naciente del río Ramis continúa la actividad minera aurífera informal y actividad regulada en el cerro La Rinconada, así como en el ámbito de influencia de la localidad de Ananea en la que se observó el incremento de la actividad minera informal mecanizada para la extracción de Oro en la que participa una población aproximada de 30 mil personas, entre los que se encuentran los mineros informales, comerciantes y otros.



PERU Ministerio de Salud

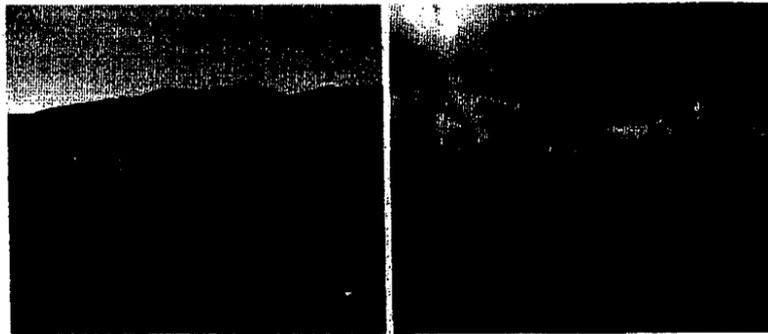
Dirección General de Salud Ambiental

"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"
"Año del Centenario de Machu Picchu para el Mundo"



Fotografía 5: Asentamiento Humano La Rinconada a las faldas del glaciar (Aprx. 30 000 Hab.)

Fotografía 6: Laguna La Rinconada antes de las operaciones mineras Informales en el río Ananea.



Fotografía 7: Laguna Sillacunca, impactada por las actividades mineras informales antes de la descarga al río Ananea.

Fotografía 8: Río Ananea aguas abajo de la localidad de Ananea, se observa actividad minera informal intensa.

El río Ramis, nace en la laguna Sillacunca con el nombre de río Ananea, que luego se une con el río Grande, cambiando de nombre en este punto como río Grande, hasta cambiar de nombre al pasar por la localidad de San Anton, a río San Antón, siguiendo su recorrido al pasar por la ciudad de Azángaro, cambia su nombre a río Azángaro, el río Azángaro al confluir con el río Ayaviri, dan origen al río Ramis el cual desemboca al Lago Titicaca.



B). VIGILANCIA SANITARIA DE LAS AGUAS SUPERFICIALES Y DE CONSUMO HUMANO

b.1. CLASIFICACIÓN

AGUAS SUPERFICIALES

Los recursos hídricos de las cuencas de los ríos Ramis y afluentes, debido a que sus aguas son usadas para bebida de animales de pastoreo existente en la zona (auquénidos y ovinos), se definen como **Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales - "Parámetros para Bebida de Animales"**, según la Resolución Jefatural N° 202-2010-ANA del 22 de marzo de 2010; que aprueba la clasificación de cuerpos de agua superficiales y marino - costeros, respectivamente.



Por otro lado, las lagunas Sillacunca, Rinconada, Lunar de Oro y Suches debido a razones de protección de la flora y fauna acuática se define como Categoría 4: **Conservación del ambiente acuático "Lagos y lagunas"**, establecido en el R.J. N° 202-2010-ANA del 22 de marzo de 2010.

AGUA PARA CONSUMO HUMANO

En vista de que las aguas para Consumo Humano son abastecidas por red pública de la población de las localidades Crucero, Carlos Gutiérrez, San Antón, Azángaro, Samán y Taraco, se compararán con los valores de la Guía para la Calidad del Agua Potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

b.2 ESTACIONES DE MONITOREO

Para la evaluación detallada de la calidad sanitaria de las aguas de los recursos hídricos de las cuencas de los ríos Ramis y afluentes, se establecieron 21 estaciones de monitoreo para determinar los agentes ambientales que pudieran estar afectando al recurso hídrico.

Río Ramis y tributarios

10097	E-1	Laguna Sillacunca, orilla de laguna Sillacunca.
10098	E-2	Laguna Rinconada, orilla de la laguna Rinconada.
10099	E-3	Laguna Lunar de Oro, orilla de laguna cruce carretera Rinconada-Cerro Lunar.
10100	E-4	Río Ananea o Inambari, 50 m aguas arriba de las pozas de sedimentación (1000 m antes de desembocar al río Grande).
-	E-4A	Río Ananea o Inambari, 500 m aguas arriba de la confluencia con el río Grande.
10102	E-5	Río Sellani (Grande), 500 m aguas arriba de la confluencia con el río Ananea.
10103	E-6	Río Grande, 500 m aguas abajo de la confluencia con el río Ananea.
-	E-6A	Río Ancococalla, cruce de la carretera hacia la localidad de Ananea.
10104	E-7	Río Grande, 300 m aguas abajo del puente carretera a Muñani.
10105	E-8	Río Crucero, altura del poblado Huecchani.
10108	E-9	Río Crucero, 70 m aguas abajo del puente colgante Crucero.
10107	E-10A	Qda. Chuquisani, 150 m aguas arriba de la confluencia con la qda. Choghñacota.
10108	E-10B	Qda. Choghñacota, 150 m aguas arriba de la confluencia con la qda. Chuquisani y 500 m de la presa de relave de MINSUR.
10109	E-10	Qda. Choghñacota, 50 m aguas abajo de la confluencia de las qdas. Choghñacota y Chuquisani.
-	E-11	Qda. Choghñacota, 100 m aguas arriba de la confluencia con el río Antauta.
10110	E-12	Río Antauta, 100 m aguas arriba de la unión con la quebrada Choghñacota.
10111	E-13	Río Antauta, 150 m aguas abajo de la unión con la quebrada Choghñacota.
10112	E-14	Río Crucero, 150 m aguas abajo de la bocatoma de irrigación El Carmen.
10113	E-15	Río San Antón, 10 m aguas arriba de la bocatoma Inampu.
10114	E-16	Río Azángaro, 200 m aguas arriba del puente colgante Azángaro.
10115	E-17	Río Ramis, 200 m aguas abajo de la confluencia de ríos Azángaro y Pucará.
10116	E-17 A	Río Azángaro, antes de la confluencia con río Ayaviri.
10117	E-17 B	Río Ayaviri, antes de la confluencia con río Azángaro.
10118	E-18	Río Ramis, 10 m aguas abajo del puente Ramis.



AGUA PARA CONSUMO HUMANO

Además se tomaron 04 muestras de agua para consumo humano de las localidades de Crucero, Carlos Gutiérrez, Azángaro, Taraco y Samán, para el análisis físico-químico.

-	AP-1	Manantial, margen derecha de la laguna Lunar.	La Rinconada	Manantial
10119	AP-2	Grifo Domiciliario, calle Amargura N° 224- Crucero.	Crucero	Manantial
10120	AP-3	Grifo del Puesto de Salud Carlos Gutiérrez, Av. Linbani s/n.	Carlos Gutiérrez	Manantial
-	AP-4	Grifo Domiciliario, Av. Tupac Amaru S/N (Restaurante Volante).	San Antón	Manantial
10121	AP-5	Grifo Domiciliario, Jr. 9 de Octubre N° 172, Restoran.	Azángaro	Río Azángaro
-	AP-6	Grifo Domiciliario, Jr. Puno S/N - familia Chipana.	Taraco	Río Azángaro
10122	AP-7	Grifo Domiciliario, calle Nueva S/N-familia Mamani.	Samán	Río Azángaro

www.digesa.minsa.gob.pe
www.digesa.sld.pe

Calle Las Amapolas N° 350
Urb. San Eugenio, Lince - Lima 14, Perú
T (511) 4428353, 4428356 / F (511) 4226404



b.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En la evaluación de resultados de la calidad sanitaria de las aguas de los ríos Ramis y tributarios desde la naciente hasta la desembocadura al lago Titicaca, correspondiente al monitoreo del mes de diciembre de 2010, se aplicarán los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua de los parámetros pH, conductividad, oxígeno disuelto, arsénico, cobre, cadmio, cromo, plomo, zinc, mercurio, hierro, manganeso, sólidos disueltos totales y sólidos suspendidos totales de la categoría 3: Riego de Vegetales y bebida de animales - "Parámetros para Bebida de Animales" y la Categoría 4: Conservación del ambiente acuático - "Lagunas y Lagos" aprobado mediante D. S. N° 002-2008-MINAM del 31 de julio de 2008, cuyos valores se muestran a continuación:

pH	Unidad de pH	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
Conductividad	mS/cm	<5,0	-
Oxígeno Disuelto	Mg/L	>=5	>=5
Cobre	mg/L	0,5	0,02
Cadmio	mg/L	0,01	0,004
Cromo	mg/L	-	-
Plomo	mg/L	0,05	0,001
Zinc	mg/L	24	0,03
Arsénico	mg/L	0,05	0,01
Mercurio	mg/L	0,001	0,0001
Cianuro WAD	mg/L	0,1	-
Hierro	mg/L	1,0	-
Manganeso	mg/L	0,2	-
Sólidos disueltos totales	mg/L	-	500
Sólidos suspendidos totales	mg/L	-	≤25

AGUAS SUPERFICIALES

Lagunas de la cuenca alta del río Ramis

ECA: Categoría 4 ¹	6,5 - 8,5	-	-	>= 5	-	0,022	-	2000	1000
E-1	7,30	9,99	0,036	9,00	6000	-	-	-	-
E-2	7,11	11,21	0,227	7,64	10	-	-	-	-
E-3		7,86	0,914	7,66	77	-	-	-	-

ECA Categoría 4 ¹	500	≤25	0,01	0,02	0,004	-	0,001	-	0,03	0,00011
E-1			<0,0005		<0,010			2,05		
E-2			<0,0005	<0,010	<0,010	204	<0,025	1,31		<0,00011
E-3								2,75		

< No detectados a valores menores

No supera los ECA para Agua

Supera los ECA para Agua

¹Categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático "Lagunas y Lagos"

En las estaciones E-01, E-02 y E-03, ubicadas en las lagunas Sillacunca, Rinconada y Lunar de Oro, respectivamente, las concentraciones de pH y oxígeno disuelto cumplen con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua - Categoría 4¹ del D.S. N° 002-2008- MINAM; excepto en el punto E-3 para el pH que se encuentra fuera del rango establecido por el ECA para Agua.

www.digesa.minsa.gob.pe
www.digesa.sld.pe

Calle Las Amapolas N° 350
Urb. San Eugenio, Lince - Lima 14, Perú
T (511) 4428353, 4428356 / F (511) 4226404



Por otro lado, en la estación punto de monitoreo E-1 las concentraciones de As no superan los ECA's para la Categoría 4, sin embargo las concentraciones de STD, STS, Cu, Pb, Zn y Hg, son mayores en 5.24, 32.2, 6.9, 212, 26.27 y 4.36 veces, respectivamente a los ECA para Agua - Categoría 4.

En el punto de Monitoreo E-2 (Laguna Rinconada) las concentraciones de As, Cd, Cu, Cr, Fe, Hg y Pb, no superan los ECA para agua Categoría 4, sin embargo la concentración de Zn es mayor en 8.8 veces el ECA para agua establecido.

En la estación de Monitoreo E-3 (Laguna Lunar), las concentraciones de STD, STS, As, Cu, Cd, Pb, Zn y Hg, son mayores en 0.148, 1.84, 9.04, 3.6, 2.25, 69, 72 y 3.82 veces los ECA para la Categoría 4, establecidos mediante D.S. N° 002-2008- MINAM; incumpliendo con la referida norma debido al impacto ocasionado por la actividad minera informal en la zona de La Rinconada y Pampa Blanca.

Río Ramis y tributarios

ECA Agua - Cat 3	6,5-8,5	—	<2,0	—	≥4,0	—	—	—	—	0,1
E-04	7.29	8.82	0.126	6 000	9.00	38 820	290	28 000	-	-
E-4A	7.04	9.24	0.306	6 000	8.61	38 270	278	29 350	-	-
E-05	7.30	11.83	0.089	2 000	7.70	908	196	712	-	-
E-06	8.86	12.74	0.199	6 000	7.62	15 390	179	13 325	-	-
E-6A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E-07	7.58	11.82	0.122	6 000	7.70	4 510	450	4 060	-	-
E-08	7.42	20.97	0.189	6 000	8.24	6 518	80	6 438	-	-
E-09	8.19	17.38	0.260	2 000	8.97	1 780	1 150	630	-	-
E-10A	7.64	14.13	0.005	18	7.09	-	-	-	-	-
E-10B	10.41	10.41	0.094	6	7.80	486	485	5	-	-
E-10	7.11	12.97	0.435	4	7.26	-	-	-	-	-
E-11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E-12	7.41	12.89	0.367	18	6.98	-	-	-	-	-
E-13	8.30	15.99	0.323	28	6.70	-	-	-	-	-
E-14	7.95	12.77	0.133	92	7.05	242	224	18	-	-
E-15	8.32	14.70	0.383	46	6.90	296	264	32	-	-
E-16	8.58	13.33	0.573	75	7.28	480	364	59	-	-
E-17	8.20	17.32	0.641	92	6.63	504	376	28	-	-
E-17A	8.28	16.56	0.591	78	7.02	448	376	42	-	-
E-17B	8.39	18.40	0.911	16	7.71	602	594	8	-	-
E-18	8.18	17.10	0.850	30	6.50	609	594	15	-	-



[Handwritten signature]

[Handwritten signature]



ECA Agua - Cat 3	0.050	0.005	0.20	0.10*	1.0	0.20	0.001	0.05	2.0
E-04							0.00064		1.890
E-4A							0.00058		
E-05		<0,010	0.035				0.00080	0.031	0.139
E-06							0.00076		1.750
E-6A									
E-07		<0,010	0.152				<0,00011		0.628
E-08							<0,00011		0.974
E-09		<0,010	0.023	0.039			<0,00011	0.029	0.712
E-10A	<0,0005			<0,028	0.482			<0,025	1.790
E-10B	<0,0005	<0,010	0.038	<0,028	0.183	0.141		<0,025	0.108
E-10	<0,0005	<0,010		<0,028	0.252			<0,025	0.798
E-11									
E-12	<0,0005	<0,010	0.017	<0,028	0.221	0.034		<0,025	0.096
E-13	0.0037	<0,010	0.149	<0,028	1.070	0.225		<0,025	0.560
E-14	<0,0005	<0,010	0.019	<0,028	0.792	0.066		<0,025	0.090
E-15	0.0043	<0,010	0.020	<0,028	1.270	0.090		<0,025	0.060
E-16	0.0053	<0,010	<0,010	<0,028	1.860	0.127		<0,025	0.058
E-17	0.0097	<0,010	<0,010	<0,028	1.230	0.066		<0,025	0.089
E-17A	0.0082	<0,010	0.012	<0,028	2.370	0.136		<0,025	0.104
E-17B	0.0236	<0,010	<0,010	<0,028	0.269	0.069		<0,025	0.074
E-18	0.0077	<0,010	<0,010	<0,028	0.744	0.070		<0,025	0.087

< No detectados a valores menores

■ No supera los ECA para Agua

■ Supera los ECA para Agua

*Categoría 3: "Riego de vegetales y bebida de animales; Parámetros para riego de vegetales de tallo bajo y alto"

En las 18 estaciones establecidas para el monitoreo de los ríos Ananea, Grande, Ancocalla, Crucero, Antauta, San Antón, Azángaro y Ramis, así como las quebradas Chogñacota y Chuquisani, las concentraciones de pH y OD, son menores a los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua - Categoría 3: "Riego de vegetales y bebida de animales; parámetros para riego de vegetales de tallo bajo y alto" del D.S. N° 002-2008-MINAM; excepto en el punto de monitoreo E-10B para el pH, el cual se encuentra fuera del rango de los ECA para agua, presentando concentraciones ligeramente ácidas.

Asimismo, las concentraciones de **arsénico** y **hierro** en las estaciones de monitoreo E-4, E-5, E-6, E-7, E-8 y E-9, **superan** en 23.24, 31.39, 0.99, 5.55, 16.07 y 1.18 veces para el **As** y en 1204.47, 1605.18, 63.20, 1108.57, 305.44, 11.16 y 56.02 veces para el **Fe**, los ECA's para la Categoría 3. Las concentraciones de As y Fe para las demás estaciones cumplen con los ECA para la Categoría 3.

En las 16 estaciones E-4 al E-18 establecidas en los ríos Ananea o inambari, Sallani-Grande, Grande, Crucero, San Antón, Antauta, Azángaro y Ramis, las concentraciones de **cadmio (Cd)**, son menores al límite de detección del método del laboratorio cuyo valor es 0.010, es mayor al valor estándar de la mencionada norma; excepto en las estaciones E-4, E-4A, E-06, E-08 y E-10A, los cuales superan en 3.40, 4.80, 3.0, 1.60 y 1.20 veces el ECA de agua - Categoría 3.

Por otro lado las concentraciones de **cobre** en las estaciones de monitoreo E-4, E-4A, E-6, E-8 y E-10A, E-10 superan en 1.39, 2.80, 1.70, 0.29, 0.52 y 0.095 veces respectivamente para **Cu** respectivamente a los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua - Categoría 3 del D.S. N° 002-2008-MINAM, incumpliendo con la referida norma. Las concentraciones de Cu para las demás estaciones cumplen con el ECA para la Categoría 3.





Ministerio
de Salud

Directorio General
de Salud Ambiental

"Decenio de las Personas con Discapacidad en el Perú"
"Año del Centenario de Machu Picchu para el Mundo"

Asimismo, las concentraciones de **manganeso** en las estaciones de monitoreo E-4, E-4A, E-5, E-6, E-7, E-8, E-09, E-10A y E-10, **superan** en 82.95, 81.90, 3.59, 23.10, 23.0, 27.65, 1.98, 1.04, y 0.34 veces para el **Mn** los ECA's para la Categoría 3. Las concentraciones de Mn para las demás estaciones cumplen con los ECA para la Categoría 3.

Las concentraciones de **Plomo** en las estaciones de monitoreo E-4, E-4A, E-6, E-7 y E-8, **superan** en 7.22, 11.76, 8.06, 1.88 y 3.16 veces para el **Pb** los ECA's para la Categoría 3. En el resto de estaciones las concentraciones de **Pb** cumplen con los ECA para la Categoría 3.

La concentraciones de **Hg** en todas las estaciones no superan los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua - **Categoría 3** del D.S. N° 002-2008-MINAM, cumpliendo con la referida norma.

Asimismo, las concentraciones de **zinc** en casi todas las estaciones de monitoreo cumplen con los ECA's para la Categoría 3, excepto en la estación E-4A que supera en 2.65 veces el ECA establecido.

AGUA PARA CONSUMO HUMANO

Valor Guía - OMS	0.003	1.0	0.05	0,3'	0.5	0.01	3,0'	-
AP-1	-	-	-	-	-	-	-	-
AP-2	<0.003	<0.010	<0.028	<0.038	<0.013	<0.025	0.019	<0.0005
AP-3	-	<0.010	<0.028	<0.038	<0.013	<0.025	0.020	<0.0005
AP-4	-	-	-	-	-	-	-	-
AP-5	-	<0.010	<0.028	<0.038	<0.013	<0.025	0.041	<0.0005
AP-6	-	-	-	-	-	-	-	-
AP-7	-	0.011	<0.028	<0.038	<0.013	<0.025	0.056	<0.0005



< No detectados a valores menores
No supera el valor Guía de la OMS
Supera el valor Guía de la OMS
Sustancias y parámetros del agua potable que pueden provocar quejas de los consumidores.

Respecto a los resultados obtenidos en los puntos AP-2 al AP-7 ubicados en los grifos domiciliarios de agua para consumo humano de las localidades de Crucero, Carlos Gutiérrez, Azángaro y Samán, se tiene que las concentraciones de **cobre (Cu)**, **chromo (Cr)**, **hierro (Fe)**, **manganeso (Mn)**, **plomo (Pb)** y **zinc (Zn)**, **son menores** a los valores recomendados por la guía de la OMS para "sustancias químicas de importancia para la salud, presentes en el agua potable". Sin embargo se reporta las concentraciones de **cadmio** que superan los valores guía de OMS, en las estaciones AP-03, AP-05 y AP-07, correspondientes a las localidades de los distritos de Carlos Gutierrez, Azángaro y Samán.

IV. CONCLUSIONES

- En la **naciente del río Ramis**, se mantiene la actividad minera informal e incluso se está incrementando; generando gran impacto negativo, a los recursos hídricos y suelos ubicados en la zona, y también a la flora y fauna que utilizan estas aguas para su supervivencia.
- La **laguna Sillacunca**, ubicada en el extremo de la cuenca alta del río Ramis, da origen al río Ananea; esta laguna se encuentra impactada negativamente por la actividad minera informal ubicada a su alrededor, la cual ha sido colmatada con sedimentos generando alto riesgo a la supervivencia del ecosistema de la zona,

Página 8 de 10

www.digesa.minsa.gob.pe
www.digesa.sld.pe

Calle Las Amapolas N° 350
Urb. San Eugenio, Lince - Lima 14, Perú
T (511) 4428353, 4428356 / F (511) 4226404



- El río **Ananea**, que nace de la laguna **Sillacunca**, es retenido por la minería informal aguas abajo, impactándolo con metales pesados y lodos, lo cual genera problemas a la flora y fauna ubicada en la zona que se abastece de esta agua contaminada hasta la confluencia con el río Grande.
- Del mismo modo, el río **Grande** se encuentra contaminado, no cumpliendo con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua - Categoría 3 del D.S. N° 002-2008-MINAM. Impidiendo el normal crecimiento de la ganadería dentro de ellos el pastoreo de auquénidos y ovinos, que sirven de sustento a la población ubicada en la zona, este río cambia de nombre al pasar por la ciudad de **Crucero**.
- El río **Crucero** se encuentra impactado por la actividad minera informal ubicada en la zona, sin embargo este río discurre a través de poblaciones ubicadas en sus márgenes hasta la altura de la ciudad de **San Antón** donde cambia de nombre a río **San Antón**.
- El río **San Antón**, se caracteriza por que su caudal se ha incrementado por los aportes de afluentes, logrando reducir su carga contaminante. Siguiendo su recorrido al pasar por la ciudad de **Azángaro**, cambia su nombre a río **Azángaro**, que si bien es cierto a la altura de estas localidades se ha reducido su nivel de contaminación, también es cierto que estas poblaciones se abastecen de agua de este recurso hídrico, por lo que se debe tomar en cuenta para tomar acciones a favor de la salud de la población ubicadas en las márgenes de este río.
- A lo largo de la trayectoria de este río recibe aportes de afluentes como la quebradas y ríos tales como el río **Antauta** que aportan aguas claras que favorecen la dilución mejorando la calidad sanitaria de este recursos hídrico.
- El río **Azángaro** al confluir con el río **Ayaviri**, dan origen al río **Ramis** que es un río navegable con flora y fauna acuática que sirve de abastecimiento de alimentos para la población ubicada en sus márgenes.
- El río **Ramis**, luego de un largo recorrido por el altiplano desemboca en el lago **Titicaca**.
- En la cuenca baja del río **Ramis**, existen poblaciones que se abastecen de agua que luego de tratamientos convencionales que luego es distribuida a la población, durante los primeros monitoreos realizados durante el año 2010 no se detectaron metales pesados en los puntos de muestreo, sin embargo en este último monitoreo del mes de diciembre, se detecto presencia de concentraciones de **cadmio** que superan los valores recomendados por la OMS, en las estaciones AP-03, AP-05 y AP-07, correspondientes a las localidades de los distritos de Carlos Gutierrez, Azángaro y Samán; por lo que la **DIRESA Puno** deberá tener en cuenta durante la fiscalización a las empresas que abastecen de agua a estas poblaciones.



V. RECOMENDACIONES



- ✓ El Comité Técnico Multisectorial debe tomar medidas drásticas para frenar la fuente de contaminación ambiental que está ocurriendo en la cuenca alta del ríos **Ramis** y afluentes.
- ✓ Remitir el presente informe a la Dirección Regional de Salud Puno, dependencia que deberá dar a conocer los resultados obtenidos a las autoridades Regionales y Locales involucrados para dar solución al problema ambiental de la cuenca del río **Ramis**.
- ✓ Remitir copia del presente informe a la Comisión Multisectorial de la Cuenca del río **Ramis** presidida por el Ministerio de Energía y Minas, para conocimiento y la difusión a las instituciones miembros de la Comisión Multisectorial.
- ✓ Remitir copia del presente informe, a la Dirección Regional de Puno, para conocimiento y fines.



VI. ANEXOS

Se adjuntan:

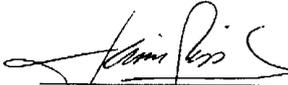


- ✓ Fichas de registro de los resultados de la vigilancia sanitaria participativa de los ríos Ramis y tributarios, del agua para consumo humano de la localidad de las localidades Crucero, Carlos Gutiérrez, Azángaro y Samán, correspondientes al Cuarto Monitoreo Participativo, realizado en el mes de diciembre de 2010.

Es cuanto tenemos que informar a usted, para los fines consiguientes.

Atentamente,


Ing. Jaime Costilla Aliaga
C.I.P. Reg. N° 42807
APRHI/DEPA/DIGESA


Jaime Rojas Ramos
APRHI/DEPA/DIGESA

ANEXO 28 : Esquemas de los resultados de la calidad del agua superficial de la cuenca Azángaro obtenidos por el ANA de los años 2016-2023

Cuadro N° 16
Esquema de la Red de Estaciones de Monitoreo de Calidad del Agua en la Unidad Hidrográfica Azángaro

INFORME DE INSAYO N°		CUADRO DE RESULTADOS DE PARAMETROS DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL DE LA UNIDAD HIDROGRAFICA AZANGARO AÑO 2015												
FECHAS DE MONITOREO		26/09/2015	24/09/2015	25/09/2015	25/09/2015	25/09/2015	25/09/2015	26/09/2015	26/09/2015	24/09/2015	24/09/2015	24/09/2015	24/09/2015	25/09/2015
HORA DE MUESTREO		10:00	11:30	11:40	11:20	06:20	08:45	10:20	11:00	12:45	12:45	11:00	12:45	14:10
Control realizado por: (ANA, OEFA, ADMIN, etc.)		ANA	ANA	ANA	ANA	ANA	ANA	ANA	ANA	ANA	ANA	ANA	ANA	ANA
Cuerpos de Agua		LAGUNA	LAGUNA	LAGUNA	LAGUNA	LAGUNA	LAGUNA	LAGUNA	LAGUNA	LAGUNA	LAGUNA	LAGUNA	LAGUNA	LAGUNA
Muestra		LAGUNA	LAGUNA	LAGUNA	LAGUNA	LAGUNA	LAGUNA	LAGUNA	LAGUNA	LAGUNA	LAGUNA	LAGUNA	LAGUNA	LAGUNA
Código del Punto de Control		RM1A3	RM1A8	RM1A1	RM1A1	RM1A2	RM1A2	RM1A3	RM1A5	RM1A2	RM1A2	RM1A5	RM1A2	RM1A2
UNIDAD HIDROGRAFICA		RIO PRINCIPAL Y/O TRIBUTARIO LAGUNA-AGUINA OMAS												
PARAMETROS ORGANICOS		UNIDAD HIDROGRAFICA AZANGARO												
PARAMETROS INORGANICOS		ESTACION 2015												
NUTRIENTES		RIO PRINCIPAL DE LA UNIDAD HIDROGRAFICA AZANGARO DE NIVEL 4												
METALES Y METALOIDES														
MICROORGANISMOS														
METALOIDES NO CONSIDERADOS EN LOS ECA-APP														
Temperatura (T)	°C	7.11	8.31	4.82	3.61	6.7	7.2	8.17	8.09	8.69	8.25	8.09	8.69	8.25
Conductividad Eléctrica	µS/cm	406.9	793.5	13.4	439.5	360	305.5	379.7	399.5	687	753.6	768.7	753.6	768.7
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	<3	<3	8	3	80	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/l	<6	12	12	12	104.8	32	52	20	16	12	20	16	12
Sólidos Totales Suspendedos (TSS)	mg/l	<3	<3	<3	<3	1.489	0.243	0.356	0.360	0.54	0.360	0.54	0.360	0.54
Bario (Ba)	mg/l	<0.0025	<0.0025	<0.0025	<0.0025	<0.0025	<0.0025	<0.0025	<0.0025	<0.0025	<0.0025	<0.0025	<0.0025	<0.0025
Cadmio (Cd)	mg/l	<0.0025	<0.0025	<0.0025	<0.0025	<0.0025	<0.0025	<0.0025	<0.0025	<0.0025	<0.0025	<0.0025	<0.0025	<0.0025
Cianuro (CN- Wad)	mg/l	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
Litio (Li)	mg/l	<0.036	<0.036	<0.036	<0.036	<0.036	<0.036	<0.036	<0.036	<0.036	<0.036	<0.036	<0.036	<0.036
Magnesio (Mg)	mg/l	8.529	12.09	18.73	16.66	197.3	15.53	14.59	11.04	12.45	15.11	12.45	15.11	16.66
Selenio (Se)	mg/l	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006
Sodio (Na)	mg/l	27.13	27.13	27.13	27.13	27.13	27.13	27.13	27.13	27.13	27.13	27.13	27.13	27.13
Plata (Ag) total	mg/l	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Plata (Ag) libre	mg/l	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Cobalto (Co) total	mg/l	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Cobalto (Co) libre	mg/l	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Cromo (Cr) total	mg/l	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Hierro (Fe) total	mg/l	0.442	0.083	0.687	0.129	715.9	54.16	21.07	0.816	0.154	0.216	0.154	0.216	0.279
Hierro (Fe) libre	mg/l	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Manganeso (Mn) total	mg/l	0.016	0.073	0.023	0.025	12.61	0.9589	0.304	0.055	0.034	0.051	0.055	0.051	0.029
Manganeso (Mn) libre	mg/l	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Niquel (Ni) total	mg/l	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Niquel (Ni) libre	mg/l	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Plata (Ag) total	mg/l	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Plata (Ag) libre	mg/l	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Talio (Tl) total	mg/l	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Talio (Tl) libre	mg/l	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Vanadio (V) total	mg/l	<0.0028	0.00096	0.00068	0.00068	0.01548	0.01548	0.01548	0.00099	0.00062	0.00062	0.00099	0.00062	0.00062
Vanadio (V) libre	mg/l	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Zinc (Zn) total	mg/l	0.027	0.22	0.069	0.004	2.318	0.13	0.133	0.045	0.025	0.032	0.045	0.032	0.004
Zinc (Zn) libre	mg/l	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Acetatos y grasas (MEI-H)	mg/l	230	23	<18	220	3300	2300	790	79	49	69000	79	49	69000
Coliformes Termotolerantes (44.5°C)	NMP/100ml	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Coliformes Totales	mg/l	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
Coliformes Fecales	mg/l	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
Molibdeno (Mo)	mg/l	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Estronio (Sr)	mg/l	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Estronio (Sr) libre	mg/l	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Estronio (Sr) total	mg/l	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Titanio (Ti)	mg/l	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004

Fuente: Informe de ensayo de Laboratorio NSF ENVIROLAB, sede Lima. Acreditados por el Organismo Peruano de Acreditación INACAL-DA (*) ECA Agua-Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales. Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM (Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua) y Resolución Jefatural N° 202-2010 ANA (Clasificación de los cuerpos de agua superficiales, ríos, lagos y lagunas)
 < : Indica menor al límite de detección del método empleado en laboratorio.
 > : Excede el valor del ECA Cat.

Cuadro N° 8: Esquema de los resultados de la calidad del agua superficial de Nevado Riticucho y Laguna Rinconada evaluado con Categoría 4 (Unidad Hidrográfica Azángaro)

RESULTADOS DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA AZÁNGARO REALIZADOS DESDE 27 AL 29 DE ABRIL DEL 2018						
DETALLE	Código de ensayo N°		CATEGORÍA 4: CONSERVACIÓN DEL AMBIENTE ACUÁTICO Et: Lagunas y lagos	196219/2018-1.0	196220/2018-1.0	
	Fecha (dd/mm/aaaa)			27/04/2018	27/04/2018	
	Hora (hh/mm)			09:00:00	11:00:00	
	Monitoreado por:			ANA	ANA	
	Coordenadas en UTM WGS84 zona S-19L (Este en (m))			452376	445057	
	Coordenadas en UTM WGS84 zona S-19L (Norte en (m))			8383641	8378615	
	Altitud en (msnm)			5068	4638	
	Red de puntos de Monitoreo			NR111	LR111	
RÍO PRINCIPAL Y/O TRIBUTARIO LAGO/LAGUNA O MAR		Nevado Riticucho	Laguna Rinconada			
FÍSICO O QUÍMICO	Oxígeno Disuelto (OD) (Valor mínimo)	mg/l >=	5	4.257	4.7320	
	Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6.5-9.0	4.573	4.2690	
	Conductividad	uS/cm	1000	87.2300	557.3000	
	Temperatura	°C	Δ3	-0.1370	13.0700	
	Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5	0.9900	0.9900	
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	5	1.9900	1.9900	
INORGÁNICOS	Aluminio (Al)	mg/L	0.64	0.5410		
	Antimonio (Sb)	mg/L	-	0.00003		
	Arsénico (As)	mg/L	0.15	0.0281		
	Bario (Ba)	mg/L	0.7	0.0013		
	Berilio (Be)	mg/L	-	0.0004		
	Boro (B)	mg/L	-	0.0010		
	Cadmio (Cd)	mg/L	0.00025	0.00001		
	Cobre (Cu)	mg/L	0.1	0.01582		
	Cobalto (Co)	mg/L	-	0.0128		
	Hierro (Fe)	mg/L	-	1.9130		
	Manganeso (Mn)	mg/L	-	0.0370		
	Magnecio (Mg)	mg/L	-	0.3430		
	Mercurio (Hg)	mg/L	0.0001	0.00002		
	Molibdeno (Mo)	mg/L	-	0.00001		
	Niquel (Ni)	mg/L	0.052	0.0237		
	Plomo (Pb)	mg/L	0.0025	0.0015		
	Selenio (Se)	mg/L	0.005	0.0003		
	Talio (Ta)	mg/L	0.0008	0.00001		
Vanadio (V)	mg/L	-	0.00009			
Zinc (Zn)	mg/L	0.12	0.0885			
MICROBIOLOGÍA	Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml =< (d); =< 88(d)	1000			

Excede a la ECA-Agua de la Categoría 4

Cuadro N° 8: Esquema de los resultados de la calidad del agua superficial de Nevado Rilicucho y Laguna Rinconada evaluado con Categoría 4 (Unidad Hidrográfica Azángaro)

RESULTADOS DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA AZÁNGARO REALIZADOS DESDE 08 AL 10 DE MARZO DEL 2019					
DETALLE	Código de ensayo N°			14697/2019	14697/2019
	Fecha (dd/mm/aaaa)			08/03/2019	08/03/2019
	Hora (hh/mm)			07:50:00	09:50:00
	Monitoreado por:			ANA	ANA
	Coordenadas en UTM WGS84 zona S-19L (Este en (m))			452376	445057
	Coordenadas en UTM WGS84 zona S-19L (Norte en (m))			8383641	8378615
	Altitud en (msnm)			5068	4638
	Red de puntos de Monitoreo			NR81	LR81
	RÍO PRINCIPAL Y/O TRIBUTARIO LAGO/LAGUNA O MAR			Nevado Rilicucho	Laguna Rinconada
PARAMETROS DE CAMPO	Oxígeno Disuelto (OD) (Valor mínimo)	mg/l >=	5	5.73	5.19
	Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6.5-9.0	5.02	4.3000
	Conductividad	uS/cm	1000	51.0200	595.9000
	Temperatura	°C	Δ3	0.8400	13.5000
FÍSICO - QUÍMICO	Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5	0.9000	0.9000
	Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	-	0.156	11.79
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	1.9	1.9
	Fosforo total (P-Total)	mg/L	0.035	0.009	0.009
	Nitratos (NO ₃ -N) ⊕	mg/L	13	0.0590	4.4040
	Nitritos (NO ₂ -N) (d)	mg/L	-	0.0130	0.9950
	Amoniaco (NH ₃)	mg/L	1	0.113	1.35
	Nitrogeno Total	mg/L	0.315	0.298	3.12
	Sólidos Disueltos Totales =<	mg/L	25	4	2
	Sulfuros (S ⁻)	mg/L	0.002	0.00039	0.00039
INORGÁNICOS	Aluminio (Al)	mg/L	0.64	0.355	7.032
	Antimonio (Sb)	mg/L	-	0.000039	0.000039
	Arsénico (As)	mg/L	0.15	0.01023	0.00135
	Bario (Ba)	mg/L	0.7	0.0012	0.0208
	Berilio (Be)	mg/L	-	0.000019	0.00606
	Boro (B)	mg/L	-	0.0019	0.0019
	Cadmio (Cd)	mg/L	0.0003	0.00007	0.0039
	Cobre (Cu)	mg/L	0.1	0.00743	0.0229
	Cobalto (Co)	mg/L	-	0.00486	0.1773
	Cromo Total (Cr total)	mg/L	-	0.0001	0.0001
	Hierro (Fe)	mg/L	-	1.2060	1.1420
	Litio (Li)	mg/L	-	0.0017	0.0698
	Manganeso (Mn)	mg/L	-	0.0135	3.4410
	Magnesio (Mg)	mg/L	-	0.1140	13.0800
	Mercurio (Hg)	mg/L	0.0001	0.000029	0.000029
	Molibdeno (Mo)	mg/L	-	0.000019	0.000019
	Niquel (Ni)	mg/L	0.052	0.0083	0.3964
	Plata (Ag)	mg/L	-	0.000029	0.000029
	Plomo (Pb)	mg/L	0.0025	0.0015	0.0087
	Selenio (Se)	mg/L	0.005	0.00039	0.0077
	Uranio	mg/L	-	0.000029	0.003095
	Talio (Tl)	mg/L	0.0008	0.000019	0.000019
Vanadio (V)	mg/L	-	0.00009	0.00009	
Zinc (Zn)	mg/L	0.12	0.1330	1.0670	
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS	Hidrocarburos Totales de Petróleo (C8 - C40)	mg/L	0.5	0.00079	0.00079
	Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml =< (d); =< 88(d)	1000	1.7900	1.7900

Excede a la ECA-Agua de la Categoría 4-E1

Cuadro 11. Resultados de campo y laboratorio en ríos (Cat. 3) de la Unidad Hidrográfica Azángaro – marzo 2020.

Parámetro	Unidad	D5 N°004-2017-MINAM Categoría 3 - D1		D5 N°004-2017-MINAM Categoría 3 - D1		D5 N°004-2017-MINAM Categoría 3 - D1		D5 N°004-2017-MINAM Categoría 3 - D1		D5 N°004-2017-MINAM Categoría 3 - D1		D5 N°004-2017-MINAM Categoría 3 - D1		D5 N°004-2017-MINAM Categoría 3 - D1		D5 N°004-2017-MINAM Categoría 3 - D1		D5 N°004-2017-MINAM Categoría 3 - D1	
		Rio Grande RGran2	Rio Cruzero RCruz2	Rio Antabamba RAntab3	Rio Cruzero RCruz3	Rio Grande RGran	Rio Cruzero RCruz5	Rio Azángaro RAzang2	Rio Ramis RRam1	Rio principal RPrin1	Rio Grande RGran2	Rio Cruzero RCruz2	Rio Antabamba RAntab3	Rio Cruzero RCruz3	Rio Grande RGran	Rio Cruzero RCruz5	Rio Azángaro RAzang2	Rio Ramis RRam1	Rio principal RPrin1
Parámetros de Campo																			
pH		6.5 - 8.5	6.5 - 8.4	8.04	8.13	7.98	8.25	8.18	8.11	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10
Temperatura	°C	8.3	8.3	9.70	10.40	14.50	12.70	13.50	14.50	16.10	16.10	16.10	16.10	16.10	16.10	16.10	16.10	16.10	16.10
Oxígeno Disuelto	mg/L	2.4	2.5	6.68	6.48	5.89	6.32	6.14	5.95	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
Conductividad Eléctrica	µS/cm	2500	263.00	195.30	256.00	447.00	291.00	386.00	387.00	393.00	393.00	393.00	393.00	393.00	393.00	393.00	393.00	393.00	393.00
4 ENSAYOS FISICOQUÍMICOS																			
Acetatos y Grasas	mg/L	5	5	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Bicarbonatos	mg HCO3-/L	518	518	88.60	109.10	117.60	128.90	123.70	118.40	117.10	117.10	117.10	117.10	117.10	117.10	117.10	117.10	117.10	117.10
Nitratos, (como N) + Nitritos, (como N)*	mg/L	100	100	0.43	0.19	0.28	0.09	0.15	0.17	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
Caturo Wad	mg/L	0.1	0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Demanda Biológica de Oxígeno (BOD5)	mg O2/L	15	15	1.90	2.00	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/L	40	40	24.00	22.00	1.90	19.00	20.00	19.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00
Coliformes Aeróbicos	mg/L	0.2	0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4 ENSAYOS FISICOQUÍMICOS - Aniones por Cromatografía Iónica																			
Cloruros, Cl-	mg/L	500	500	1.62	0.74	1.02	1.99	0.62	12.83	16.87	16.87	16.87	16.87	16.87	16.87	16.87	16.87	16.87	16.87
Nitratos, NO3-	mg/L	1.91	1.91	0.85	1.23	1.01	1.01	0.68	0.75	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Nitritos, (como N)	mg NO2-/L	0.43	0.43	0.19	0.28	0.09	0.23	0.15	0.17	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
Nitritos, NO2-	mg NO2-/L	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Sulfatos, (como S)	mg/L	10	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sulfatos, SO4-2	mg/L	1000	1000	44.09	31.29	37.90	44.37	81.52	76.23	77.03	77.03	77.03	77.03	77.03	77.03	77.03	77.03	77.03	77.03
8 ENSAYOS DE METALES - Metales Totales por ICP MS																			
Plata (Ag)	mg/L	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Aluminio (Al)	mg/L	5	5	8.15	2.80	3.19	1.94	1.83	2.16	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80
Arsénico (As)	mg/L	0.1	0.1	0.0340	0.0140	0.0140	0.0070	0.0090	0.0140	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150
Boro (B)	mg/L	1	1	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040
Bario (Ba)	mg/L	0.7	0.7	0.0611	0.0634	0.0697	0.1006	0.0815	0.0911	0.0936	0.0936	0.0936	0.0936	0.0936	0.0936	0.0936	0.0936	0.0936	0.0936
Berilio (Be)	mg/L	0.1	0.1	0.00150	0.00050	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019
Bismuto (Bi)	mg/L	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Calcio (Ca)	mg/L	26.47	26.47	36.69	29.87	44.49	42.18	52.31	50.98	49.79	49.79	49.79	49.79	49.79	49.79	49.79	49.79	49.79	49.79
Cadmio (Cd)	mg/L	0.01	0.01	0.0009	0.0001	0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Cobalto (Co)	mg/L	0.05	0.05	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069
Cromo (Cr)	mg/L	0.1	0.1	0.0085	0.0076	0.0041	0.0028	0.0024	0.0027	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028
Cobre (Cu)	mg/L	0.2	0.2	0.0061	0.0061	0.0111	0.0096	0.0061	0.0066	0.0066	0.0066	0.0066	0.0066	0.0066	0.0066	0.0066	0.0066	0.0066	0.0066
Hierro (Fe)	mg/L	5	5	14.35	5.47	6.21	2.91	3.16	4.00	4.48	4.48	4.48	4.48	4.48	4.48	4.48	4.48	4.48	4.48
Mercurio (Hg)	mg/L	0.001	0.001	0.000049	0.000049	0.000049	0.000049	0.000049	0.000049	0.000049	0.000049	0.000049	0.000049	0.000049	0.000049	0.000049	0.000049	0.000049	0.000049
Potasio (K)	mg/L	2.11	2.11	3.09	1.92	2.47	2.66	2.47	2.66	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80
Litio (Li)	mg/L	0.0484	0.0484	0.0116	0.0197	0.0294	0.0469	0.0412	0.0463	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500
Magnesio (Mg)	mg/L	14.18	14.18	9.05	5.99	10.20	12.22	10.63	10.37	10.15	10.15	10.15	10.15	10.15	10.15	10.15	10.15	10.15	10.15
Manganeso (Mn)	mg/L	0.2	0.2	1.640	0.203	0.0151	0.1223	0.0973	0.1134	0.1138	0.1138	0.1138	0.1138	0.1138	0.1138	0.1138	0.1138	0.1138	0.1138
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sodio (Na)	mg/L	7.03	7.03	4.72	3.08	4.37	19.85	5.10	15.42	18.34	18.34	18.34	18.34	18.34	18.34	18.34	18.34	18.34	18.34
Níquel (Ni)	mg/L	0.2	0.2	0.0117	0.0015	0.0124	0.0026	0.0026	0.0026	0.0026	0.0026	0.0026	0.0026	0.0026	0.0026	0.0026	0.0026	0.0026	0.0026
Plomo (Pb)	mg/L	0.04	0.04	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Plomo (Pb)	mg/L	0.05	0.05	0.0071	0.0071	0.0094	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055
Antimonio (Sb)	mg/L	0.02	0.02	0.0018	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011
Selenio (Se)	mg/L	0.02	0.02	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
Silicio (Si)	mg/L	11.0	11.0	7.5	3.8	7.8	6.4	7.0	8.4	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Estadío (Sn)	mg/L	0.0040	0.0040	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019
Estroncio (Sr)	mg/L	19.000	19.000	0.06300	0.02900	0.0160	0.0260	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160	0.0160
Zinc (Zn)	mg/L	2	2	0.3020	0.2640	0.2640	0.2640	0.2640	0.2640	0.2640	0.2640	0.2640	0.2640	0.2640	0.2640	0.2640	0.2640	0.2640	0.2640
16 ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS																			
Coliformes Termotolerantes*	NMP/100 mL	1000	1000	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00	330.00
Escherichia coli*	NMP/100 mL	1000	1000	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00
18 ENSAYOS PARASITOLÓGICOS																			
Huevos de Helmintos	Huevos/L	1	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1

Fuente: Informe de ensayo 14681-2020, 14682-2020, 14954-2020 emitido por ALS PERU S.A.C. Mayor a ECA-Agua CAT-3 ECA Mayor a ECA-Agua CAT-3, Norma: D.S. N° 004-2017-MINAM "Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ECA)". Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales



Cuadro 11. Resultados de campo y laboratorio en ríos (Categ. 3 y 4-E1) de la Unidad Hidrográfica Azángaro – mayo 2021.

Cuerpo de agua	ECA para Agua (D.L. N°004-2017-MINAM)				Quedada Rincón	Río Cruzuro	Río Antivaca	Río Cruzuro	Río Cruzuro	Río Grande	Río Grande	Río Azángaro	Río Barrios
	Categ. 3 - D1	Categ. 3 - D2	Categ. 4 - E1	Categ. 4 - E2									
PARAMÉTRICOS (IN SITU)													
Temperatura	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Opacidad	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Conductividad eléctrica	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
ENSAYOS FISICOQUÍMICOS													
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Nitratos (NO ₃ -N)	mg/L	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Amoníaco (NH ₃ -N)	mg/L	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Sulfatos (SO ₄ -S)	mg/L	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
ENSAYOS FISICOQUÍMICOS - Aniones por Cromatografía Iónica													
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Nitratos (NO ₃ -N)	mg/L	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Amoníaco (NH ₃ -N)	mg/L	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Sulfatos (SO ₄ -S)	mg/L	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
ENSAYOS PARA METALES - Aniones por ICP MS													
Plata (Ag)	mg/L	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Aluminio (Al)	mg/L	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Asombro (As)	mg/L	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Bario (Ba)	mg/L	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Berilio (Be)	mg/L	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Bismuto (Bi)	mg/L	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Cadmio (Cd)	mg/L	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Cobalto (Co)	mg/L	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Cromo (Cr)	mg/L	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Cobre (Cu)	mg/L	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Plomo (Pb)	mg/L	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mercurio (Hg)	mg/L	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Níquel (Ni)	mg/L	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Vanadio (V)	mg/L	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Antimonio (Sb)	mg/L	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Estadío (Se)	mg/L	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Estroncio (Sr)	mg/L	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Talio (Tl)	mg/L	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Telurio (Te)	mg/L	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Zinc (Zn)	mg/L	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS													
Coliformos totales	UFC/100 ml	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Coliformos fecales	UFC/100 ml	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
ENSAYOS PARASITOLÓGICOS													
Parásitos	UFC/100 ml	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota: Información obtenida de los Informes de ensayo 26536/2021, 26537/2021 y 27021/2021 emitidos por el laboratorio ALS PERU S.A.C.
 + Valores que exceden o no cumplen con los ECA-Agua Categ. 3 o 4-E1 (D.S. N° 004-2017-MINAM) "Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ECA)".
 - Valores obtenidos de la concentración en unidades de Amoníaco-N (NH₃-N), multiplicando por el factor 1,22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH₃).
 - Parámetro no analizado.
 (1) Los valores estándar de amoníaco total (NH₃) para QRITI y LRinc1 se determinaron mediante la tabla 1 del D.S. N° 004-2017-MINAM con las variables temperatura y pH, obteniendo respectivamente 0,502 mg/L y 69,7 mg/L.



Cuadro 10. Resultados de parámetros de calidad del agua en la U.H. Azángaro (septiembre 2023).

Cuerpo de agua	Categoría	Código	ECA para agua (D.S. N°004-2017-MINAM)		Categoría	Unidad	Resultado	Rango	Río Grande									
			3 - D1	3 - D2					4 - E1	Rio Grande	Rio Cruzado	Rio Andahuay	Rio Chucano	Rio Grande	Rio Andahuay	Rio Chucano	Rio Grande	Rio Andahuay
PARÁMETROS IN SITU	Cuerpo de agua	Categoría	Código	Categoría	Unidad	Resultado	Rango	Río Grande										
								Río Grande										
								Río Grande										
								Río Grande										
								Río Grande										
								Río Grande										
								Río Grande										
								Río Grande										
								Río Grande										
								Río Grande										
Río Grande																		
ENSAYOS FISIQUICOLÓGICOS	Reporte de Ensayo	Fecha de muestreo	Categoría	Código	Unidad	Resultado	Rango	Río Grande										
								Río Grande										
								Río Grande										
								Río Grande										
								Río Grande										
								Río Grande										
								Río Grande										
								Río Grande										
								Río Grande										
								Río Grande										
Río Grande																		
ENSAYOS FISIQUICOLÓGICOS - Aniones por Cromatografía Iónica	Reporte de Ensayo	Fecha de muestreo	Categoría	Código	Unidad	Resultado	Rango	Río Grande										
								Río Grande										
								Río Grande										
								Río Grande										
								Río Grande										
								Río Grande										
								Río Grande										
								Río Grande										
								Río Grande										
								Río Grande										
Río Grande																		
ENSAYOS FISIQUICOLÓGICOS - Metales por ICP MS	Reporte de Ensayo	Fecha de muestreo	Categoría	Código	Unidad	Resultado	Rango	Río Grande										
								Río Grande										
								Río Grande										
								Río Grande										
								Río Grande										
								Río Grande										
								Río Grande										
								Río Grande										
								Río Grande										
								Río Grande										
Río Grande																		

Nota: Información adaptada de los Reportes de Ensayo Oficiales de SGS DEL PERÚ S.A.C. (Registro N° LE - 02) y AGQ Perú S.A.C. (Registro N° LE - 072)

Parámetro que trasgrede el ECA Categ. 3 o 4 E-2 (D.S. N° 004-2017-MINAM).

Parámetro no muestreado debido al impedimento en el acceso al punto QRiti1 por la Corporación Minera Ananea S.A.

El parámetro no aplica para esta Subcategoría.

Firmado digitalmente por
MAMANI Romel FAI



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo YOGUELY YHOVANA ALVAREZ FLORES,
identificado con DNI 70844294 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERIA AGRICOLA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
" EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA CONTAMINACIÓN
POR METALES PESADOS EN LA CUENCA AZANGARO EN EL
PERIODO 2016-2023 "

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 24 de ENERO del 2024



FIRMA (obligatoria)


Huella



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo KAREN ESTEFANI VILCA PILCO,
identificado con DNI 70258378 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA AGRICOLA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA CONTAMINACIÓN
POR METALES PESADOS EN LA CUENCA AZANGARO EN
EL PERIODO 2016-2023"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 24 de ENERO del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo YOGUELY YHONANA ALVAREZ FLORES,
identificado con DNI 70844294 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA AGRICOLA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

" EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA CONTAMINACIÓN
POR METALES PESADOS EN LA CUENCA AZANGARO EN
EL PERIODO 2016-2023.

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 24 de ENERO del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo KAREN ESTEFANI VILCA PILCO,
identificado con DNI 70258378 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA AGRÍCOLA
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

" EVALUACION ESPACIO-TEMPORAL DE LA CONTAMINACIÓN
POR METALES PESADOS EN LA CUENCA AZANGARO EN
EL PERIODO 2016 - 2023 "

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 24 de ENERO del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella