

# Universidad Nacional de Ingeniería

## Facultad de Ingeniería Ambiental



TESIS

### **Calidad de sedimentos con metales y metaloide aplicando índices de calidad ambiental en un tramo de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, periodo 2013 – 2020: análisis basado en informes de monitoreo**

Para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental.

Elaborado por

Anthony Kenny Silvera Peche

 [0000-0003-3251-0796](#)

Asesor

MSc. Norvin Plumieer Requena Sanchez

 [0000-0001-6584-1466](#)

LIMA – PERÚ

2024

---

Citar/How to cite	Silvera Peche [1]
Referencia/Reference	
Estilo/Style:	
IEEE (2020)	
	[1] A. Silvera Peche, “ <i>Calidad de sedimentos con metales y metaloide aplicando índices de calidad ambiental en un tramo de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, periodo 2013 – 2020: análisis basado en informes de monitoreo</i> ” [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.
Citar/How to cite	(Silvera, 2024)
Referencia/Reference	Silvera, A. (2024). <i>Calidad de sedimentos con metales y metaloide aplicando índices de calidad ambiental en un tramo de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, periodo 2013 – 2020: análisis basado en informes de monitoreo</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.

---

### ***Dedicatoria***

*A mis padres Alejandro e Irma por su amor y confianza que me han impulsado a seguir mis sueños, por ser mi faro en los momentos de oscuridad y por celebrar conmigo en los momentos de triunfo.*

*A mis hermanos Elber y Katherine quienes han son mis aliados, confidentes y cómplices en mi vida, brindándome fuerza y alegría.*

*A Solanch por su amor, apoyo y constante aliento que me ha dado la fuerza para seguir adelante.*

## **Agradecimientos**

A la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería por su compromiso con la calidad y excelencia académica a lo largo de mi educación superior.

A mi asesor Norvin Requena por su orientación experta, sabiduría y dedicación a lo largo de esta investigación

A todos mis profesores, quienes compartieron su conocimiento y experiencia de manera desinteresada.

A mis queridos compañeros de estudio, especialmente Cinthya y Samantha por su amistad y colaboración, fueron un regalo inestimable durante este proceso.

## Resumen

La región Madre de Dios enfrenta graves desafíos ambientales debido a la minería aurífera aluvial ilegal, lo que ha provocado la acumulación de contaminantes en los sedimentos fluviales. La falta de normativas en Perú sobre estándares de calidad ambiental en sedimentos y métodos de evaluación resalta la importancia de esta investigación, que busca evaluar la calidad de sedimentos con metales y metaloides en un tramo de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios aplicando índices de calidad ambiental (2013-2020), a partir de informes de monitoreo. Se analizaron cuatro sitios impactados en siete períodos de avenida y cuatro de estiaje, estimando niveles de fondo según las condiciones locales.

Los resultados indican que los índices individuales, como el índice de geoacumulación, factor de enriquecimiento, factor de contaminación y factor de riesgo ecológico, muestran una baja alteración para As, Cu, Cr, Pb y Zn. Sin embargo, el Cd presentó niveles de contaminación hasta 2016, y valores no detectados posteriormente. El Hg mostró los valores más elevados en 2013, disminuyendo en años recientes, pero manteniendo niveles de contaminación y riesgo ecológico moderado. Los índices integrados, como el grado de contaminación, índice de contaminación de Nemerow, grado de contaminación modificado e índice de riesgo ecológico potencial reflejan una contaminación moderada incluso en los períodos más recientes.

En conclusión, la dinámica cambiante de la contaminación a lo largo de los años subraya la necesidad de un monitoreo continuo para desarrollar estrategias efectivas de gestión ambiental en la región, con especial atención al Hg y Cd.

Palabras clave — Sedimentos, metales y metaloide, minería ilegal, calidad ambiental.

## Abstract

The Madre de Dios region faces serious environmental challenges due to illegal alluvial gold mining, which has led to the accumulation of pollutants in river sediments. The lack of regulations in Peru on environmental quality standards in sediments and evaluation methods highlights the importance of this research, which seeks to evaluate the quality of sediments with metals and metalloid in a section of the Medio Alto Madre de Dios Interbasin by applying environmental quality indices (2013-2020), based on monitoring reports. Four impacted sites were analyzed in seven flood periods and four periods of low water, estimating background levels according to local conditions

The results indicate that individual indices, such as the geoaccumulation index, enrichment factor, contamination factor and ecological risk factor, show a low alteration for As, Cu, Cr, Pb and Zn. However, the Cd presented contamination levels until 2016, and values not detected subsequently. Hg showed the highest values in 2013, decreasing in recent years, but maintaining levels of pollution and moderate ecological risk. Integrated indices such as degree of contamination, Nemerow pollution index, modified degree of contamination and potential ecological risk index reflect moderate contamination even in the most recent periods.

In conclusion, the changing dynamics of pollution over the years underscores the need for continuous monitoring to develop effective environmental management strategies in the region, with special attention to Hg and Cd.

**Keywords** — Sediments, metals and metalloid, illegal mining, environmental quality.

## Tabla de contenido

	Pág.
Resumen .....	v
Abstract .....	vi
Introducción.....	xviii
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo .....	1
1.1    Generalidades .....	1
1.2    Descripción del problema de investigación.....	1
1.2.1    Realidad problemática .....	1
1.2.2    Formulación del problema .....	2
1.3    Justificación .....	3
1.4    Objetivos del estudio .....	4
1.4.1    Objetivo general .....	4
1.4.2    Objetivos específicos.....	5
1.5    Hipótesis.....	5
1.5.1    Hipótesis general.....	5
1.5.2    Hipótesis específicas .....	5
1.6    Antecedentes investigativos .....	6
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual.....	12
2.1    Marco teórico.....	12
2.1.1    Metales y metaloides .....	12
2.1.2    Arsénico (As) .....	12
2.1.3    Cadmio (Cd) .....	13
2.1.4    Cobre (Cu) .....	13
2.1.5    Cromo (Cr) .....	13
2.1.6    Mercurio (Hg) .....	14
2.1.7    Plomo (Pb) .....	14
2.1.8    Zinc (Zn) .....	15

2.1.9 Sedimentos: .....	16
2.1.10 Fuentes de origen de los sedimentos .....	16
2.1.11 Transporte de sedimentos .....	17
2.1.12 Metales en sedimentos.....	18
2.1.13 Indicadores ambientales:.....	18
2.1.14 Sedimentos como indicadores ambientales.....	19
2.1.15 Índices de calidad de sedimentos.....	19
2.1.16 Nivel de fondo:.....	20
2.1.17 Nivel de referencia.....	21
2.1.18 Software Pro UCL 5.2:.....	21
2.2 Marco conceptual .....	23
2.2.1 Ambiente: .....	23
2.2.2 Calidad ambiental:.....	23
2.2.3 Contaminación:.....	23
2.2.4 Impacto ambiental .....	23
2.2.5 Ecosistema. .....	23
2.2.6 Toxicidad: .....	24
2.2.7 Prevención de la contaminación .....	24
Capítulo III. Descripción del área de estudio .....	25
3.1 Departamento Madre de Dios.....	25
3.2 Intercuenca Medio Alto Madre de Dios .....	26
3.3 Características físicas.....	27
3.3.1 Geología .....	27
3.3.2 Fisiografía .....	28
3.3.3 Aspectos hidrológicos .....	28
3.3.4 Régimen hidrológico .....	29
3.3.5 Régimen de la Precipitación Estacional.....	30
3.3.6 Clima .....	30

3.4	Minería ilegal en Madre de Dios .....	32
3.5	Proceso de extracción de oro .....	33
	Capítulo IV. Marco metodológico.....	35
4.1	Enfoque .....	35
4.2	Tipo de investigación .....	35
4.3	Nivel .....	35
4.4	Diseño metodológico .....	35
4.5	Temporalidad.....	36
4.6	Variables y operacionalización .....	36
4.7	Población, muestra y unidad de análisis.....	36
4.7.1	Población de estudio .....	36
4.7.2	Muestra .....	36
4.8	Técnicas de recolección de datos .....	36
4.9	Instrumentos de recolección .....	37
4.10	Procedimiento metodológico .....	37
4.10.1	Identificación de concentraciones de metales y metaloide .....	37
4.10.2	Estimación de los niveles de fondo.....	38
4.10.3	Comparación con estándares internacionales .....	40
4.10.4	Cálculo de los índices de calidad de sedimentos .....	41
4.10.5	Ánálisis estadístico .....	49
	Capítulo V. Desarrollo del trabajo de investigación .....	50
5.1	Ubicación de puntos de muestreados.....	50
5.2	Identificación de concentraciones de metales y metaloide .....	53
5.3	Estimación del nivel de fondo .....	54
5.3.1	Identificación de las concentraciones de metales y metaloide .....	54
5.3.2	Cumplimiento de criterios del MINAM y la U.S. EPA .....	55
5.3.3	Distribución espacial de puntos de monitoreo .....	57
5.3.4	Estimación del nivel de fondo y nivel de referencia .....	59

5.4	Comparación con los niveles de fondo .....	60
5.5	Comparación con estándares internacionales .....	61
5.5.1	Comparación con las directrices canadienses .....	61
5.5.2	Comparación con las directrices basadas en consenso .....	63
5.6	Cálculo de índices de calidad de sedimentos .....	65
5.6.1	Índices individuales .....	65
5.6.2	Índices integrados .....	82
5.7	Ánalisis estadístico y prueba de hipótesis .....	89
5.7.1	Prueba de normalidad .....	89
5.7.2	Prueba de hipótesis específica 1 .....	90
5.7.3	Prueba de hipótesis específica 2 .....	91
5.7.4	Prueba de hipótesis específica 3 .....	92
5.7.5	Prueba de hipótesis específica 4 .....	94
	Capítulo VI. Análisis y discusión de resultados .....	99
6.1	Identificación de concentración de metales y metaloide .....	99
6.2	Estimación de niveles de fondo .....	103
6.3	Comparación con los niveles de fondo .....	103
6.3.1	Arsénico (As) .....	103
6.3.2	Cadmio (Cd) .....	105
6.3.3	Cobre (Cu) .....	106
6.3.4	Cromo (Cr) .....	107
6.3.5	Mercurio (Hg) .....	108
6.3.6	Plomo (Pb) .....	109
6.3.7	Zinc (Zn) .....	110
6.4	Comparación con estándares internacionales .....	111
6.4.1	Arsénico (As) .....	111
6.4.2	Cadmio (Cd) .....	113
6.4.3	Cobre (Cu) .....	115

6.4.4 Cromo (Cr) .....	117
6.4.5 Mercurio (Hg).....	119
6.4.6 Plomo (Pb) .....	121
6.4.7 Zinc (Zn) .....	123
6.5 Índices de calidad de sedimentos.....	125
6.4.1 Índices individuales .....	125
6.4.2 Índices integrados .....	162
Conclusiones.....	171
Recomendaciones.....	173
Referencias bibliográficas .....	175
Anexos .....	188

## Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Efectos tóxicos de metales y metaloide.....	15
Tabla 2: Directrices canadienses sobre la calidad de los sedimentos para la protección de la vida acuática (CEQG).....	40
Tabla 3: Directrices de calidad de los sedimentos basadas en consenso.....	41
Tabla 4: Índice de Geoacumulación (Igeo).....	42
Tabla 5: Factor de Enriquecimiento (EF).....	43
Tabla 6: Factor de Contaminación (Cf).....	44
Tabla 7: Factor de Respuesta Toxica (Tr).....	45
Tabla 8: Factor de riesgo ecológico (Er).....	45
Tabla 9: Índice de carga de contaminación (PLI).....	46
Tabla 10: Grado de contaminación (Cdeg).....	46
Tabla 11: Índice de contaminación de Nemerow (PI) .....	47
Tabla 12: Grado de contaminación modificado (mCdeg).....	48
Tabla 13: Niveles de Riesgo Ecológico Potencial (PERI) .....	48
Tabla 14: Puntos de muestreo Intercuenca Medio Alto Madre de Dios en los diversos periodos. .....	50
Tabla 15: Puntos de muestreo Intercuenca Medio Alto Madre de Dios en los diversos periodos. .....	51
Tabla 16: Descripción geográfica de puntos de muestreo Intercuenca Medio Alto Madre de Dios. .....	52
Tabla 17: Concentración de metales y metaloide durante el 2013-2020. ....	53
Tabla 18: Ubicación de puntos de muestreados para el cálculo del nivel de fondo. ....	55
Tabla 19: Concentración de elementos para el cálculo del nivel de fondo. ....	55
Tabla 20: Comparación con criterios U.S. EPA. ....	55
Tabla 21: Comparación criterios MINAM. ....	56
Tabla 22: Nivel de fondo y referencia. ....	59

Tabla 23: Comparaciones entre el NF y las concentraciones de metales y metaloide durante el 2013-2020. ....	60
Tabla 24: Comparaciones con el ISQG y PEL con las concentraciones de metales y metaloide durante el 2013-2020. ....	62
Tabla 25: Comparaciones con el TEC y PEC con las concentraciones de metales y metaloide durante el 2013-2020. ....	63
Tabla 26: Resultados del Igeo de los metales y metaloide analizados durante el 2013-2020. ....	65
Tabla 27: Interpretación de resultados del Igeo de los metales y metaloide analizados durante el 2013-2020. ....	66
Tabla 28: Resultados del EF de los metales y metaloide analizados durante el 2013-2020. ....	71
Tabla 29: Interpretación de resultados del EF de los metales y metaloide analizados durante el 2013-2020. ....	72
Tabla 30: Resultados del Cf de los metales y metaloide analizados durante el 2013-2020. ....	75
Tabla 31: Interpretación de resultados del Cf de los metales y metaloide analizados durante el 2013-2020. ....	77
Tabla 32: Resultados del Cf de los metales y metaloide analizados durante el 2013-2020. ....	80
Tabla 33: Interpretación de resultados del Er de los metales y metaloide analizados durante el 2013-2020. ....	81
Tabla 34: Resultados e Interpretación de resultados del PLI de los metales y metaloide analizados durante el 2013-2020. ....	83
Tabla 35: Resultados e Interpretación de resultados del Cdeg de los metales y metaloide analizados durante el 2013-2020. ....	84
Tabla 36: Resultados e interpretación de resultados del PI de los metales y metaloide analizados durante el 2013-2020. ....	85
Tabla 37: Resultados e Interpretación de resultados del mCdeg de los metales y metaloide analizados durante el 2013-2020. ....	87
Tabla 38: Resultados e Interpretación de resultados del PERI de los metales y metaloide analizados durante el 2013-2020. ....	88
Tabla 39: Prueba de normalidad (As, Cd, Cu, Cr, hg, Pb y Zn) ....	90
Tabla 40: Prueba de Friedman. ....	91

Tabla 41: Prueba de Rangos con signo de Wilcoxon comparación con el NF en la zona de nivel de fondo .....	92
Tabla 42: Prueba de Rangos con signo de Wilcoxon comparación con el NF.....	93
Tabla 43: Prueba de Rangos con signo de Wilcoxon comparación con ISQG .....	95
Tabla 44: Prueba de Rangos con signo de Wilcoxon comparación con PEL.....	96
Tabla 45: Prueba de Rangos con signo de Wilcoxon comparación con TEC .....	97
Tabla 46: Prueba de Rangos con signo de Wilcoxon comparación con PEC .....	98

## Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Subcuenca del departamento Madre de Dios. ....	26
Figura 2: Intercuenca Medio Alto Madre de Dios .....	27
Figura 3: Principales ríos en el departamento Madre de Dios. ....	29
Figura 4: Régimen hidrológico de Madre de Dios. ....	30
Figura 5: Climas en el departamento Madre de Dios. ....	31
Figura 6: Temperatura mínima y máxima en el departamento Madre de Dios. ....	32
Figura 7: Zona de actividad minera en la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios.....	33
Figura 8: Proceso de extracción de oro en minería aluvial. ....	34
Figura 9: Metodología para estimar el nivel de fondo. ....	39
Figura 10: Distribución espacial de puntos de muestreados Intercuenca Medio Alto Madre de Dios. ....	52
Figura 11: Distribución espacial de puntos de muestreados fuera de la actividad minera... <td style="text-align: right;">57</td>	57
Figura 12: Distribución espacial de puntos de muestreados en un clima húmedo. ....	58
Figura 13: Distribución espacial de puntos de muestreados con fisiografía llanura aluvial. ....	59
Figura 14: Gráfico de estimación de concentraciones de metales y metaloide durante el 2013 - 2020. ....	99
Figura 15: Gráfico de comparación entre la concentración de arsénico y el NF, ISQG, PEL, TEC y PEC durante el 2013 - 2020. ....	112
Figura 16: Gráfico de comparación entre la concentración de cadmio y el NF, ISQG, PEL, TEC y PEC durante el 2013 - 2020. ....	114
Figura 17: Gráfico de comparación entre la concentración de cobre y el NF, ISQG, PEL, TEC y PEC durante el 2013 - 2020. ....	116
Figura 18: Gráfico de comparación entre la concentración de cromo y el NF, ISQG, PEL, TEC y PEC durante el 2013 - 2020. ....	118
Figura 19: Gráfico de comparación entre la concentración de mercurio y el NF, ISQG, PEL, TEC y PEC durante el 2013 - 2020. ....	120

Figura 20: Gráfico de comparación entre la concentración de plomo y el NF, ISQG, PEL, TEC y PEC durante el 2013 - 2020. ....	122
Figura 21: Gráfico de comparación entre la concentración de zinc y el NF, ISQG, PEL, TEC y PEC durante el 2013 - 2020. ....	124
Figura 22: Gráfico del Igeo del arsénico durante el 2013 - 2020. ....	126
Figura 23: Gráfico del Igeo del cadmio durante el 2013 - 2020. ....	127
Figura 24: Gráfico del Igeo del cobre durante el 2013 - 2020. ....	128
Figura 25: Gráfico del Igeo del cromo durante el 2013 - 2020. ....	129
Figura 26: Gráfico del Igeo del mercurio durante el 2013 - 2020. ....	130
Figura 27: Gráfico del Igeo del plomo durante el 2013 - 2020. ....	132
Figura 28: Gráfico del Igeo del zinc durante el 2013 - 2020. ....	133
Figura 29: Gráfico de comparación de Igeo de As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb y Zn durante el 2013 - 2020. ....	134
Figura 30: Gráfico del FE del arsénico durante el 2013 - 2020. ....	135
Figura 31: Gráfico del FE del cadmio durante el 2013 - 2020. ....	136
Figura 32: Gráfico del FE del cobre durante el 2013 - 2020. ....	137
Figura 32: Gráfico del FE del cromo durante el 2013 - 2020. ....	138
Figura 34: Gráfico del FE del mercurio durante el 2013 - 2020. ....	139
Figura 34: Gráfico del FE del plomo durante el 2013 - 2020. ....	140
Figura 35: Gráfico del FE del zinc durante el 2013 - 2020. ....	141
Figura 37: Gráfico de comparación de FE de As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb y Zn durante el 2013 - 2020. ....	142
Figura 37: Gráfico del Cf del arsénico durante el 2013 - 2020. ....	143
Figura 38: Gráfico del Cf del cadmio durante el 2013 - 2020. ....	144
Figura 39: Gráfico del Cf del cobre durante el 2013 - 2020. ....	145
Figura 40: Gráfico del Cf del cromo durante el 2013 - 2020. ....	146
Figura 41: Gráfico del Cf del mercurio durante el 2013 - 2020. ....	147
Figura 42: Gráfico del Cf del plomo durante el 2013 - 2020. ....	148

Figura 43: Gráfico del Cf del zinc durante el 2013 - 2020. ....	149
Figura 44: Gráfico de comparación de Cf de As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb y Zn durante el 2013 - 2020. ....	150
Figura 45: Gráfico del Er del arsénico durante el 2013 - 2020. ....	152
Figura 46: Gráfico del Er del cadmio durante el 2013 - 2020. ....	153
Figura 47: Gráfico del Er del cobre durante el 2013 - 2020. ....	154
Figura 48: Gráfico del Er del cromo durante el 2013 - 2020. ....	155
Figura 49: Gráfico del Er del mercurio durante el 2013 - 2020. ....	156
Figura 50: Gráfico del Er del plomo durante el 2013 - 2020. ....	157
Figura 51: Gráfico del Er del zinc durante el 2013 - 2020. ....	158
Figura 52: Gráfico de comparación de Er de As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb y Zn durante el 2013 - 2020. ....	159
Figura 53: Gráfico del PLI durante el 2013 - 2020. ....	162
Figura 54: Gráfico del Cdeg durante el 2013 - 2020. ....	163
Figura 55: Gráfico del PI durante el 2013 - 2020. ....	164
Figura 56: Gráfico del mCdeg durante el 2013 - 2020. ....	166
Figura 57: Gráfico del PERI durante el 2013 - 2020. ....	167
Figura 58: Gráfico de comparación entre los índices PLI, Cdeg, PI, mCdeg y PERI durante el 2013 - 2020. ....	168

## Introducción

La contaminación en sedimentos de río por metales y metaloides es un problema mundial, debido a los efectos dañinos que no solo afecta los ecosistemas locales sino también la salud de las comunidades circundantes (Usman et al., 2020). Estos elementos pueden llevar a los cuerpos de agua debido condiciones naturales en donde interviene la dinámica de río y los procesos de erosión naturales (Debnath et al., 2024); y como es más común por las actividades humanas que genera la deforestación de bosques, la generación de sedimentos en ríos y el cambio de sus cauces como consecuencia.

Los metales y metaloides se adsorben principalmente en partículas suspendidas que luego pueden sedimentarse en el fondo del río. Los sedimentos son partículas transportadas por el viento y la corriente de agua (García & Maza, 1998a), que tienen la capacidad de adsorber contaminantes para luego acumularse y encontrarse biodisponibles para la biota (Birch, 2023; Tavakoly Sany et al., 2014). Es por ello su importancia como indicadores, gracias a su capacidad de registrar e integrar en el tiempo eventos ambientales que brindan información necesaria para una adecuada gestión ambiental (Birch, 2023).

En el Perú, la región Madre de Dios es una de las más afectadas por la minería aluvial aurífera que se presenta en la zona (Espin & Pérez, 2021), una actividad que ha dejado una marcada huella en la salud de sus ríos. La extracción de oro, principalmente a través de dragas con las que se remueven grandes masas de sedimentos en los cauces de ríos y el uso de mercurio para separar el oro, ha generado graves impactos ambientales (Velásquez Zapata, 2020). La proliferación de residuos contaminantes provenientes de esta actividad se traduce en la acumulación de elementos en los lechos de los ríos locales. A pesar de las investigaciones realizadas en la zona aún no se precisa como es la dinámica de estos impactos a través de los años y no se tiene una metodología estándar para la determinar es estado de calidad ambiental en los sedimentos de ríos amazónicos.

En un escenario donde la normativa peruana carece de regulaciones específicas para la concentración de metales y metaloides en sedimentos, esta investigación se erige como un pilar fundamental para el establecimiento de metodologías para evidenciar de manera integral el estado de la calidad de sedimentos, empleando múltiples índices de evaluación, con el propósito de proporcionar datos sustanciales para una gestión ambiental efectiva.

El objetivo es evaluar la calidad de sedimentos con presencia de metales (Cd, Cu, Cr, Hg, Pb y Zn) y metaloide (As) en un tramo de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios aplicando índices de calidad ambiental, durante el 2013 - 2020. Los índices utilizados se clasificaron en individuales como el índice de geoacumulación (Igeo), Factor de riesgo ecológico (Er), Factor de Enriquecimiento (EF) y Factor de contaminación (Cf); e Índices Integrados como el Índice de carga de contaminación (PLI), Grado de contaminación (Cdeg), Índice de Contaminación de Nemerow (PI), el Índice de riesgo ecológico potencial (PERI) y Grado de contaminación modificado (mCdeg). Cuyo cálculo se realiza en base a los datos obtenidos de informes de monitoreo de la zona contaminada analizada y los valores de nivel de fondo (NF) estimado. Es crucial destacar la importancia de la determinación de los niveles de fondo específicos de la zona de estudio, para una evaluación precisa de la calidad de los sedimentos. A menudo, se recurre a los valores referenciales de la corteza terrestre, pero esto puede conducir a interpretaciones erróneas, ya que cada región geográfica puede presentar características geoquímicas únicas.

# Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

## 1.1 Generalidades

El cuerpo de la presente investigación se encuentra dividida en 5 capítulos:

Capítulo I: Parte introductoria del trabajo

Capítulo II: Marcos teórico y conceptual

Capítulo III: Descripción del área de estudio

Capítulo IV: Marco metodológico

Capítulo V: Análisis y discusión de resultados

## 1.2 Descripción del problema de investigación

### 1.2.1 *Realidad problemática*

A escala global, la contaminación por metales y metaloides en sistemas fluviales provocada por actividades industriales y factores socioeconómicos, constituyen uno de los principales desafíos sociales y ambientales (Usman et al., 2020). Esta situación es particularmente evidente en los países del sur global, especialmente en naciones en desarrollo (Sudarningsih et al., 2023), en donde la explotación informal de oro es común (Rubiano et al., 2020).

En el Perú, existen regiones en las que se desarrolla minería aurífera aluvial entre ellas se encuentran Amazonas, Loreto, Madre de Dios, San Martín, Huánuco y Ucayali. Según el Centro de Innovación Científica Amazónica, esta actividad causa graves daños al ambiente y a la salud humana debido a sus múltiples impactos, como la generación de sedimentos y la contaminación por mercurio (Arana Cardó, 2023).

La presente investigación se centra en Madre de Dios, una de las regiones más afectadas por la minería aluvial aurífera ilegal e informal, lo que ha resultado

en graves impactos en los ecosistemas y la salud de las personas (Osores et al., 2012). Los residuos producto de estas actividades llegan a los ríos de la cuenca Madre de Dios, para luego ser depositados en el fondo y acumularse en sedimentos. Los sedimentos son el hábitat de organismos que además actúan como sumideros de sustancias químicas o elementos que pueden resultar perjudiciales para los seres vivos por los diversos efectos dañinos que generan a la salud, asimismo tienen la capacidad de registrar fielmente e integrar en el tiempo eventos ambientales que brindan información espacial y temporal útil (Birch, 2023).

Por consiguiente, conocer el estado de contaminación en sedimentos ayudara a una mejor gestión ambiental en la región e incorporar aquella información a los estudios de sedimentos que por sus características pueden actuar como sumideros o reservorios de sustancias orgánicas e inorgánicas, los cuales representan un indicador de calidad ambiental (Zuzolo et al., 2017, Almeida et al., 2020).

Si bien en el Perú no existe una normativa que regule la concentración de metales y metaloides en sedimentos u otros parámetros, la presente investigación busca evaluar la calidad de sedimentos con presencia de metales y metaloide en un tramo de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, aplicando índices de calidad ambiental; cuya importancia radica en conocer los daños que dichos elementos contaminantes habrían ocasionado en el ecosistema de río, las especies que la habitan, así como a la población que hace uso de estas aguas.

### **1.2.2 *Formulación del problema***

La investigación se puede formular a través de las siguientes preguntas:

**Pregunta general:**

¿Cuál es el estado de la calidad de sedimentos con presencia de metales y metaloide en un tramo de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios aplicando índices de calidad ambiental durante el 2013 - 2020?

**Preguntas específicas:**

¿Cuáles son las concentraciones de metales y metaloide en sedimentos en el tramo analizado de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios durante el 2013 – 2020?

¿Cuáles son los niveles de fondo para metales y metaloide en sedimentos en el tramo analizado de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios?

¿Cuáles son las concentraciones de metales y metaloide en sedimentos en el tramo analizado de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, durante el 2013 – 2020, que superan a los niveles de fondo?

¿Cuáles son las concentraciones altas de metales y metaloide en sedimentos en el tramo analizado de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios durante el 2013 – 2020, que superan a los estándares internacionales sobre la calidad de los sedimentos (ISQG, PEL, TEC y PEC)?

### **1.3 Justificación**

El presente estudio aportara información sobre el análisis de metales y metaloide en un tramo de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios durante el 2013 - 2020, que puede ser aprovechado en otras investigaciones y fines académicos. Asimismo, se evaluará el estado de la calidad de sedimentos con presencia de

metales y metaloide para lo cual se aplica una metodología que usa múltiples índices de calidad ambiental, lo que permite realizar una evaluación eficaz, proporcionando el riesgo ambiental, el estado de la calidad ambiental e identificar si la acumulación de elementos es de origen natural o antropogénica en el área de estudio. A fin de realizar acciones que permitan su protección y desarrollo sostenible.

La presente investigación se justifica en que, de acuerdo con los resultados obtenidos, se permitiría a las autoridades competentes tomar mejores decisiones respecto a la alteración que evidencia el estado de la calidad de sedimentos, además una comparación de la contaminación en diferentes años mostrara como ha sido la dinámica, las zonas con mayor afectación y riesgo ambiental.

Con esta investigación también se busca aportar con datos para mejorar la normatividad técnica y legal en materia de sedimentos en el Perú. Debido a que actualmente no hay una legislación nacional vigente que defina concentraciones límite para metales o metaloides en sedimentos u otros parámetros, ni una metodología aprobada que sirva de base para realizar la evaluación de la calidad ambiental en esta materia.

## **1.4 Objetivos del estudio**

### **1.4.1 *Objetivo general***

- Evaluar la calidad de sedimentos con presencia de metales y metaloide en un tramo de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios aplicando índices de calidad ambiental durante el 2013 – 2020.

#### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Identificar las concentraciones de metales y metaloide en sedimentos en un tramo de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios durante el 2013 – 2020.
- Estimar los niveles de fondo para metales y metaloide en sedimentos en un tramo de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios.
- Analizar las concentraciones de metales y metaloide en sedimentos en el tramo analizado de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, durante el 2013 – 2020, que superan a los niveles de fondo.
- Analizar las concentraciones altas de metales y metaloide en sedimentos en el tramo analizado de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios durante el 2013 – 2020, que superan a los estándares internacionales sobre la calidad de los sedimentos (ISQG, PEL, TEC y PEC).

### **1.5 Hipótesis**

#### **1.5.1 Hipótesis general**

- El estado de la calidad de sedimentos con presencia de metales y metaloide en un tramo de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios se encontrará en condición de contaminado en alguno de los índices de calidad ambiental, durante el 2013 – 2020.

#### **1.5.2 Hipótesis específicas**

- Las concentraciones de metales y metaloide en el tramo de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, mostraran diferencias significativas entre el 2013 – 2020.
- Los niveles de fondo estimados no tendrán diferencia significativa con respecto a las concentraciones de metales y metaloide de la zona utilizada para la estimación de nivel de fondo.

- Las concentraciones de metales y metaloide en sedimentos en el tramo analizado de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, serán mayores a los niveles de fondo estimados.
- Las concentraciones de metales y metaloide en sedimentos en el tramo analizado de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, serán mayores a las directrices internacionales sobre calidad de sedimentos (ISQG, PEL, TEC y PEC)

## 1.6 Antecedentes investigativos

**Gutiérrez La Torre (2015)**, en su tesis, identificó y evaluó los impactos de las actividades de conservación, agropecuarias y mineras sobre la calidad de los sedimentos y del agua en la cuenca baja del río Tambopata, Madre de Dios, durante la temporada de crecientes en febrero y marzo del 2013, para así determinar qué actividades son las que generan mayor contaminación. Siguiendo las consideraciones de DIRESA se definieron tres puntos de muestreo por cada una de las actividades estudiadas, obteniendo un total de nueve. Los indicadores de calidad del agua fueron sólidos disueltos totales, sólidos en suspensión, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, temperatura, pH, nitrógeno amoniacal y turbidez. Asimismo, para los sedimentos se evaluaron los metales y metaloides ya que tienden a precipitarse y acumularse rápidamente en los ecosistemas acuáticos. El estudio concluyó que la calidad de los sedimentos y el agua generalmente no presenta contaminación, incluso sin considerar el arsénico y la turbidez. Además, la minería es la actividad que presentó calidad de sedimentos y agua de peor calidad y por el contrario la actividad de conservación es la que presenta mejor calidad.

**Cabrera Drouet (2018)**, en su tesis evaluó la contaminación por metales y metaloides (Ni, Pb, Zn Al, Cr, Cu, Mn, Ba, Cd, Co, As) en sedimentos y suelos, mediante diversos índices de polución, de la Reserva Biológica Limoncocha (RBL) en Ecuador en mayo del 2018. Para ello se tomaron 7 puntos de para sedimentos y 6 correspondiente a suelo. Los índices para determinar la contaminación en sedimentos y suelos fueron clasificados en 4 criterios: i) la relación entre la concentración del elemento y el nivel de fondo (Índice de geoacumulación, Factor de Enriquecimiento, Pollution load index, Modified degree of contamination); ii) la movilidad y especiación del elemento (Risk Assessment Code, Factor de contaminación global e individual); iii) la toxicidad del elemento (Riesgo potencial ecológico) y iv) para contaminación en sedimentos compuestos (Modified Risk Assessment Code, Toxic Units). Además utilizo como nivel de fondo los valores propuestos por Turekian & Wedepohl (1961). Finalmente se concluye que los valores de Cu y Cd superan los límites de la normativa canadiense en suelos y sedimentos; sin embargo, en suelos no se supera los valores de la normativa ecuatoriana. Asimismo, los índices basados en el criterio el primer criterio (i), revelan que los elementos Cu y Cd son los que muestran mayor problemática en la calidad de los sedimentos.

**Usman et al. (2020)**, en su artículo de investigación, llevo a cabo un análisis de las concentraciones, procedencia y la distribución espacial de elementos metálicos (Mn, Ni, Cr, Pb, Fe, Cd y Co) en sedimentos en el río Indo influenciada con minería de cromita, en el norte de Pakistán, cuantificando la contaminación y los riesgos ecológicos a través del índice de riesgo ecológico (Er), el factor de contaminación (Cf) y Índice de Carga de Contaminación (PLI). Para ello se recolectaron 44 muestras de sedimento en el río Indo y sus afluentes desde Thakot hasta Gilgit, además utilizo investigaciones previas para establecer los niveles de fondo. El estudio concluye diciendo que el Mn, Co, Cr, Ni y Fe tuvieron las

concentraciones más elevadas en el complejo Jijal y de Cd y Pb cerca de los depósitos de sulfuro de plomo. Los valores de Cf evidenciaron entre una contaminación moderada a una con niveles considerables de contaminación y los valores de PLI indicaron una contaminación moderada en los sedimentos. Los valores de PERI mostraron un riesgo bajo para el ecosistema acuático. Asimismo, hubo contribución de las fuentes geogénicas y antropogénicas a la contaminación del río Indo y sus afluentes según los análisis estadísticos y geoespaciales.

**Almeida et al. (2020)**, en su artículo de investigación evaluó 20 muestras de sedimentos superficiales del río Joanes, Bahía en Brasil en períodos de lluvia y sequía en 2019. El estudio determinó la distribución espacial y evaluó la contaminación en sedimentos por metales utilizando el índice de carga de contaminación (PLI), el índice de riesgo ecológico (Er) y factor de enriquecimiento (EF), además utilizó investigaciones previas para establecer los niveles de fondo. Además, se identificó las fuentes potenciales de metales tóxicos. Para ello se recolectaron 10 muestras en periodo de lluvia, y 10 en sequía. Se analizaron los elementos: Ni, Zn, Cu, Cd, Cr y Pb. La Er reveló que en la temporada de lluvia existe un aumento significativo en el riesgo asociado con los metales. Asimismo, la concentración de materia orgánica es un aspecto que influye en los altos niveles de metales.

**Palacios Torres et al. (2020)**, en su investigación cuantificó oligoelementos en sedimentos y peces de la cuenca del río Atrato, Colombia influenciada por la minería aluvial del oro, evaluando su riesgo ambiental y para la salud humana, considerando valores de nivel de fondo, como los de la corteza terrestre desarrollados por Hu y Gao (2008). Se calcularon el factor de contaminación (Cf) que sugieren que los sedimentos estaban moderadamente contaminados por Cr, Cu, Cd y fuertemente contaminados por As; el índice de carga de contaminación

(PLI) y índice de riesgo ecológico potencial (PERI) que evidenciaron el 54% de los sedimentos como contaminados y el 90% como moderadamente contaminados, respectivamente. En conjunto, los datos sugieren que la minería de oro libera elementos tóxicos que han anulado la calidad de los sedimentos en el río Atrato.

**Saleh (2021)** en su artículo de investigación evaluó la contaminación producida por 5 metales: Pb, Cu, Ni, Zn y Cd; en sedimentos en la zona costera del Mar Rojo de Yemen, a través de diversos índices de calidad de sedimentos; asimismo identifica las posibles fuentes de contaminación utilizando un análisis estadístico multivariado. Se analizaron 135 muestras de sedimentos, distribuidos en nueve sitios. Para determinar la calidad en sedimentos se aplicaron las directrices de calidad de sedimentos (SGQ) calculando así el cociente ERM medio (M-ERM-Q), el riesgo ecológico (Er), factor de contaminación (Cf), el grado de contaminación modificado (mCd), el índice de geoacumulación (Igeo) y el índice de carga de contaminación (PLI), además utilizo una investigación previa para establecer los niveles de fondo. Los resultados de la distribución espacial revelaron que concentraciones más elevadas de metal estaban en la zona media y baja al sur de ciudad de Hodeia. Los resultados de SQG indicaron que los efectos biológicos adversos de los metales se asociaron Cu y Cd, con Ni. El Er indicó un riesgo ecológico bajo ( $Er < 50$ ) a considerable ( $100 \leq Er < 200$ ). El M-ERM-Q mostro que los metales estudiados tenía una probabilidad de toxicidad del 21% en todos los sitios estudiados. Igeo y Cf indicaron la siguiente relación de valores:  $Zn > Ni > Pb > Cd > Cu$ . A su vez, el PLI y mCd indicaron que Ras Isa y la aldea de Urj eran los sitios más contaminados. Finalmente, la investigación revelo que el medio marino en la zona costera del Mar Rojo de Yemen experimenta una presión ambiental significativa debido a las actividades humanas.

**Fang et al. (2022)**, en su artículo investigación, tuvo como objetivo analizar las características geoquímicas y ambientales de los metales: Fe, Cr, Ni, Co, Zn, Cu, Hg, Mn y Pb; en los sedimentos estuarinos de los ríos taiwaneses y el Estrecho de Taiwán, se tomaron 20 muestras durante el periodo 2009 - 2013 y 8 muestras en 2015. Se utilizaron tres índices para la evaluación de la contaminación: Índice de geo acumulación (Igeo), el Factor de Enriquecimiento (EF), y el riesgo ecológico potencial (PERI). Además utilizo como nivel de fondo los valores la corteza superior de Taylor y McLennan (1995). Finalmente, los resultados sugieren que los sedimentos analizados están poco contaminados por metales con excepción del Cu y Hg en algunas estaciones.

**Yakovlev et al. (2022)**, en su investigación evaluó la distribución de metales y parámetros de riesgo ambiental en sedimentos del estuario del río Pechora (Cuenca del Océano Ártico). Se recogieron 86 muestras de sedimentos de fondo usando el muestreador Van Veen galvanizado. Para evaluar la contaminación y toxicidad en sedimentos se utilizó el Índice de Riesgo Ecológico (Er), Índice de Geoacumulación (Igeo), factor de Contaminación (Cf) y Factor de Enriquecimiento (EF). Además utilizo como nivel de fondo los valores esquisto global de Turekian & Wedepohl (1961).Los resultados mostraron un bajo nivel de metales en los sedimentos del fondo y un bajo riesgo ambiental, a pesar de registrarse concentraciones elevadas de metales en el agua del río Pechora provenientes de la actividad humana. En conclusión, el río Pechora no actúa como filtro o trampa de sedimentos lo que favorece a la penetración de metales en las profundidades del mar de Barents.

**Monteiro et al. (2023)**, en su investigación evaluó la integridad del medio ambiente en 30 lagos conectados al río Araguaia, en Brasil; utilizando el índice de geoacumulación (Igeo) y el índice de riesgo ecológico potencial (PERI), además

estimo los niveles de fondo a través de la mediana de la concentración de elementos en 18 lagos con actividad antrópica baja. Los sedimentos no mostraron una contaminación significativa (Igeo: 1.35 – 0.50) y riesgos ecológicos bajos a considerables (PERI: 23.5 –85.1). Finalmente, la integración de la evaluación de sedimentos y los índices de uso de la tierra con métodos geoestadísticos resultó ser una herramienta valiosa para identificar áreas prioritarias para la acumulación de Hg a escala regional.

## Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

### 2.1 Marco teórico

#### 2.1.1 *Metales y metaloides*

Los metales son elementos químicos que poseen propiedades como brillo metálico, la capacidad de conducir calor y electricidad, la capacidad de formar iones positivos, perder electrones (Duffus, 2002). En la presente investigación se analizarán el mercurio (Hg), plomo (Pb), cobre (Cu), zinc (Zn), cadmio (Cd) y cromo (Cr).

Los metaloides son aquellos que poseen las propiedades físicas de un metal, pero que químicamente se comportan como no metales (Pienta citado por Duffus, 2001). En el trabajo de investigación se analiza al arsénico (As).

Los metales y metaloides entre ellos el arsénico, plomo, cadmio, y mercurio son considerados muy tóxicos, en su forma sólida libre en el ambiente. Siendo su capacidad de acumulación y su fuerte afinidad los mecanismos de su toxicidad (Molina, 2013).

#### 2.1.2 *Arsénico (As)*

Es un metaloide que presenta cuatro estados de oxidación (+5, +3, 0 y -3) y comúnmente se encuentra en la naturaleza con estado de oxidación +3 y +5 en forma de arseniato ( $\text{As}^{5+}$ ;  $\text{AsO}_4^{3-}$ ) y de arsenito ( $\text{As}^{3+}$ ;  $\text{AsO}_3^{3-}$ ). Este elemento no esencial posee una elevada afinidad a las partículas acuáticas y resultan depositadas en sedimentos junto con los óxidos de manganeso y hierro (CCME, 1999a).

En cuanto a toxicidad del arsénico, este elemento se acumula mayormente en el hígado, el tubo digestivo, el riñón, los pulmones y el bazo; los síntomas que se presentan

son: diarrea, pigmentación de la piel, hiperqueratosis, hepatomegalia, daño tubular renal, caída del cabello y daños al sistema nervioso central (Orozco Barrenetxea et al., 2002).

#### **2.1.3 Cadmio (Cd)**

Es un metal de transición que puede ser tóxico en concentraciones elevadas en los sistemas acuáticos para los seres vivos. Este oligoelemento no esencial se acumula en sedimentos asociados la materia particulada en forma de materia orgánica, hidróxidos de hierro y manganeso, también pueden precipitar en soluciones de carbonato o sulfuros (CCME, 1999b)

Los síntomas de intoxicación son la hipertensión y la arterioesclerosis, patología renal, en consecuencia de su acumulación en las arterias y los riñones (Orozco Barrenetxea et al., 2002).

#### **2.1.4 Cobre (Cu)**

Es un elemento traza que puede resultar potencialmente tóxico para los organismos acuáticos cuando se encuentran en concentraciones altas, este elemento se introduce a los sistemas acuáticos por medio de la escorrentía superficial y tiende la tendencia de acumularse en los sedimentos (CCME, 1999d).

#### **2.1.5 Cromo (Cr)**

Es un metal de transición que puede ser tóxico en los sistemas acuáticos en concentraciones elevadas. En sistemas acuáticos este oligoelemento esencial se puede encontrar con los estados de oxidación  $\text{Cr}^{+3}$  y  $\text{Cr}^{+6}$ . Este elemento se asocia a material particulado que luego se deposita en sedimentos (CCME, 1999c).

### **2.1.6 *Mercurio (Hg)***

Es un metal de transición que puede ser tóxico en concentración altas. Posee tres estados de oxidación (0, +1, +2). Es un oligoelemento no esencial que posee gran afinidad por ligandos orgánicos por ello puede transportarse con facilidad a los sedimentos (CCME, 1999f).

La toxicidad del mercurio depende de su estado, los compuestos inorgánicos de mercurio presentan un menor peligro debido a que son liberados por la orina, a diferencia de los compuestos orgánicos de mercurio. El mercurio puede destruir los glóbulos rojos, producir tumores cerebrales, cambios cromosómicos, etc. Siendo sus síntomas más frecuentes la pérdida de apetito y peso, cambios de sensibilidad al dolor, temblores, inflamación de las encías, irritaciones cutáneas, alteraciones psíquicas y convulsiones. (Orozco Barrenetxea et al., 2002) .

### **2.1.7 *Plomo (Pb)***

Este elemento es un metal tóxico en concentraciones elevadas, se presenta comúnmente en estado divalente ( $Pb^{+2}$ ). Sin embargo también se puede encontrar en la naturaleza en estado monovalente ( $Pb^{+1}$ ) y tetravalente ( $Pb^{+4}$ ) (CCME, 1999e).

El plomo no desempeña ninguna función biológicamente, en cambio perturba procesos fisiológicos de las plantas (Jaishankar et al., 2014), es un oligoelemento no esencial puede ingresar a sistemas acuáticos para luego ser depositado en sedimentos, asociado por lo general a óxidos de manganeso y hierro como material particulado, y puede precipitar con solución de carbonato o sulfuro. Por ello son una vía de exposición para los organismos acuáticos (CCME, 1999e).

En cuanto a su toxicidad en su forma de  $Pb^{+2}$  provoca inhibición de la síntesis de hemoglobina, puede impedir el normal desarrollo óseo, entre otros (Molina, 2013).

El plomo puede absorberse en el tubo gastrointestinal si la intoxicación es producida por vía oral, además se distribuye principalmente en los tejidos blandos, la sangre y los huesos. Los síntomas de intoxicación pueden ser malestar, dolor abdominal, irritabilidad, anorexia, vómitos y apatía. Se afecta principalmente los sistemas: hematopoyético, nervioso central y renal (Orozco Barrenetxea et al., 2002).

#### **2.1.8 Zinc (Zn)**

El zinc es el elemento metálico más abundante de la corteza terrestre, desempeña un papel esencial en numerosas funciones biológicas vitales para la inmunidad y la viabilidad celular. Esto se debe a su presencia necesaria en más de 300 enzimas y 1000 factores de transcripción (McCall et al., 2000). A pesar de su importancia para mantener la salud, es importante destacar que una exposición excesiva al zinc puede tener consecuencias perjudiciales, como alteración de procesos metabólicos normales y daño oxidativo (Becker & Skaar, 2014).

En la Tabla 1, se presentan los efectos tóxicos de metales y metaloide analizados en la investigación

**Tabla 1**

*Efectos tóxicos de metales y metaloide.*

Nº	Elemento	Efectos tóxicos
1	Arsénico (As)	Efectos gastrointestinales, daño en la piel, enfermedad pulmonar, enfermedad cardiovascular, daños al sistema nervioso. Posibles efectos cancerígenos (piel, vejiga, pulmón).
2	Cadmio (Cd)	Osteoporosis, trastornos del sistema nervioso central, trastornos sistema esquelético, trastornos del sistema reproductor femenino, afecciones renales, cardiovasculares, hipertensión.
3	Cobre (Cu)	Puede ser tóxico para las plantas y algas, por otro lado, su toxicidad en los animales no es muy pronunciada. No obstante, el consumo

		excesivo de cobre está relacionado con posibles daños en el hígado, los túbulos renales y la aparición de anemia hemolítica.)
4	Cromo (Cr)	Daño hepático, renal, asma dificultad para respirar, dermatitis alérgica, eccema. Posible cancerígeno cromo Cr (VI)
5	Mercurio (Hg)	Trastornos gastrointestinales, daños renales, perdida de cabello, daños al sistema cardiovascular, daños al sistema nervioso y cerebro en estado fetal.
6	Plomo (Pb)	Daños al sistema nervioso, enfermedades hematológicas, enfermedades cardiovasculares, trastornos neurológicos, tumores renales. Es muy tóxico en niños y mujeres embarazadas.
7	Zinc (Zn)	Fitotóxico a altas concentraciones. Una ingesta excesiva está asociada a sangrado gastrointestinal, trastornos del crecimiento y reproductivos.

Nota: Adaptado de , Reyes et al., (2016) y Hou et al.(2023).

### **2.1.9 Sedimentos:**

Sedimento es un término general para las partículas que provienen de las rocas y el suelo que son transportadas por el agua corriente y el viento. Con el tiempo, estas partículas se depositan y acumulan en el propio cauce de los ríos, lagos y lagunas, océanos o en las partes bajas de las cuencas. En este sentido, los sedimentos depositados adquieren sus características finales y estructura de estas grandes masas de agua (García & Maza, 1998b).

### **2.1.10 Fuentes de origen de los sedimentos**

La fuente principal de los sedimentos está constituida por los suelos y las rocas que se hallan en las cuencas, además son el viento y el agua los principales agentes de transporte y erosión. Las fuentes son muy diversas y aunque no se pueden determinar todas las existentes, se pueden clasificar en dos tipos (García & Maza, 1998b). :

- Fuentes Naturales: Si provienen de movimientos naturales del terreno, de la erosión del cauce principal o de la superficie del terreno.
- Fuentes Artificiales: Si provienen de obras de ingeniería, destrucción de la vegetación, desechos urbanos e industriales y la explotación de minas y canteras.

### **2.1.11 Transporte de sedimentos**

Según (*Estudio de calidad de sedimentos en la unidad hidrográfica Madre de Dios, 2021a*) los sedimentos se dividen en 3 tipos: el sedimento de fondo que representa entre 1% - 5%, en sedimento que interactúa con el fondo entre 10% – 25 % y el sedimento que no interactúa con el fondo (también conocido como carga de lavado) entre 75% – 90%. Siendo el sedimento de fondo principalmente constituido por arenas y es el que define la forma del río. Y los sedimentos que no interactúa con el fondo con presencia de limos y arcillas. Para la presente investigación se analizan las concentraciones de metales y metaloide en sedimentos de fondo.

En sedimentos de ríos tropicales no existen sedimento finos (< 63 um), son arena y grava, estos sedimentos por ser gruesos no tienden a adsorber los metales, generalmente estos elementos tienden a adsorberse en sedimentos por debajo de 63 um, (*Impactos ambientales de la minería aluvial en Madre de Dios, 2020*). Por ello la asociación de elementos tóxicos con partículas más finas es motivo de gran preocupación teniendo en cuenta el transporte de partículas más finas a larga distancia y la transferencia de toxicidad a los tramos aguas abajo (Radhakrishnan et al., 2023).

Según Guerreo (2022) la agradación en Madre de Dios, se ve afectada por la actividad extractiva, esto ocurre debido a que el material residual producto de la minería aluvial queda depositado en las zonas de playa (gravas, piedra), y cuando el río aumenta su caudal ocasiona que el fondo de río disminuya, de tal manera que este material por el peso comienza a caer y queda depositado en el fondo del río. Ocasionando que, durante otro evento, el río no pueda erosionar más y tampoco los materiales del fondo puedan suspenderse. Asimismo, en épocas de estiaje el río puede variar +/- 4 metros y en avenida +/- 6 metros, lo que indica que el río llega a tapar los residuos dejados por la minería.

### **2.1.12 Metales en sedimentos**

Los metales se unen a los sedimentos a través de múltiples mecanismos como la adsorción en la superficie de las partículas, el intercambio iónico, la coprecipitación y la complejación con materia orgánica (Zhuang et al., 2018). Se ha demostrado que gracias a estas propiedades las concentraciones de elementos metálicos en sedimentos de río puede ser hasta un millón de veces mayor que la que ocurre en el agua circundante. Además se ha descubierto que la mayor parte de los elementos metálicos existentes se pueden encontrar en los sedimentos (Crompton, 2015).

La presencia de metales y metaloides en sedimentos de los ríos se debe, en parte, a la contaminación provocada por el hombre, y el control de los niveles de estas sustancias en los sedimentos y los núcleos de sedimentos proporciona una indicación de la dependencia del tiempo de su concentración durante períodos de tiempo prolongados (Crompton, 2015).

El análisis de sedimentos proporciona un medio para rastrear los compuestos metálicos desde su fuente hasta el ecosistema debido a que la contaminación de los sedimentos se encuentra no solo en los ríos, sino también en los sedimentos estuarinos y oceánicos (Crompton, 2015)

### **2.1.13 Indicadores ambientales:**

Los indicadores ambientales son herramientas clave para la evaluación eficaz del grado de contaminación, además identifican si la acumulación de metales y metaloides es natural o antropogénica (Birch, 2023). Además se considera que los sedimentos de los sistemas fluviales son un verdadero representante del estado de contaminación del río (Radhakrishnan et al., 2023)

### **2.1.14 Sedimentos como indicadores ambientales**

Los sedimentos actúan como receptores de contaminantes y son utilizados para evaluar la condición de ecosistemas acuáticos, debido a la influencia en la salud biológica que presentan al participar en el proceso de absorción en el sistema biótico.(Birch, 2023; Tavakoly Sany et al., 2014). La descarga continua de contaminantes puede llegar a provocar un efecto adverso en la biota y contaminar el sedimento luego de un proceso muy lento de biotransformación y desorción. Incluso con niveles bajos de contaminación, los metales afectan la flora y la fauna, que luego pueden ingresar a la cadena alimentaria a través de la bioacumulación (Ali et al., 2018).

Los metales y metaloides pueden encontrarse acumulados más de 1000 veces en sedimentos, que en la columna de agua del ambiente acuático. Además, pueden persistir durante mucho tiempo y ser liberados en aguas subyacentes al cambiar las condiciones ambientales. Por tanto, los sedimentos tienen ventaja en la evaluación del estado ambiental debido a la capacidad de registrar e integrar en el tiempo eventos ambientales que brindan información espacial y útil (Siddique et al., 2021; Birch, 2023).

### **2.1.15 Índices de calidad de sedimentos**

Para la presente investigación se realiza una clasificación entre índices individuales e índices integrados.

#### **2.1.15.1 Índices Individuales.**

Se refiere a índices cuyo cálculo se realiza en base a cada uno de los elementos evaluados (metal o metaloide). En la investigación se utilizan los siguientes: Índice de geoacumulación (Igeo), Factor de enriquecimiento (FE), Factor de contaminación (Cf), Factor de Riesgo ecológico (Er).

### **2.1.15.2      *Índices integrados***

Se refiere a índices cuya evaluación y cálculo se realiza en base a un conjunto de elementos evaluados (metal o metaloide). En la investigación se utilizarán los siguientes: Índice de carga de contaminación (PLI), Grado de contaminación (Cdeg), Índice de contaminación de Nemerow (PI), Grado de contaminación modificado (mCdeg), Índice de riesgo ecológico potencial (PERI).

### **2.1.16 *Nivel de fondo:***

Se define de dos formas; la primera, el nivel de fondo natural es la concentración de una sustancia en el ambiente de forma natural o que no se genera por actividades humanas; y la segunda, nivel de fondo antropogénico como la concentración de una sustancia en un área de control que no se encuentra asociada a la actividad analizada (U.S. EPA, 2002).

Según la U.S. EPA (1995) los criterios para la selección de sitios para recolección de sedimentos de fondo son los siguientes:

- a) Recolectado corriente arriba del sitio contaminado en un área no afectada por la fuente contaminada.
- b) Recolectado al mismo tiempo que se muestra el sedimento contaminado.
- c) Tener el tamaño de la partícula y concentración de carbono orgánico similar.
- d) Recolectado usando equipo de muestreo idóneo.
- e) Recolectados utilizando el mismo diseño de muestreo basado en estadísticas (es decir, números y configuración) y procedimientos de manejo de composición (si corresponde)

Según el MINAM (2014) el nivel de fondo es la concentración de la sustancia que fue generada de forma natural o por una actividad diferente al objeto de estudio. Asimismo, los criterios para la selección del sitio para la recolección de los niveles de fondo son:

- a) El sitio de muestreo deberá estar fuera del sitio o predio en estudio y no debe estar demasiado alejado del mismo.
- b) El sitio de muestreo deberá presentar una orografía y geología similar al sitio en estudio; y debe de estar en la misma área climática y de vegetación.
- c) Las muestras para el nivel de fondo deben ser compuestas, recolectadas en un mínimo de tres áreas diferentes, pero con características similares al área de estudio. (p.14)

A menudo, se recurre a los valores de nivel de fondo tomando como referencia a los valores globales de la corteza terrestre desarrollados por Turekian & Wedepohl (1961), Taylor & McLennan (1995), Hu & Gao, (2008), entre otros, pero esto puede conducir a interpretaciones erróneas, ya que cada región geográfica puede presentar características geoquímicas únicas, además la evaluación que utiliza datos locales es más precisa y aplicable a un área de estudio específica, por lo que es recomendable valores locales de fondo para áreas de alto impacto (Birch, 2023).

#### **2.1.17 Nivel de referencia**

Se refiere a un valor que es poco probable que sea superado por una unidad representativa de la población actual en estudio. Por consiguiente, si no hubo cambios significativos en las condiciones de muestreo, existe una baja probabilidad que dicho valor sea superado en mediciones posteriores (De Miguel et al., 2002).

#### **2.1.18 Software Pro UCL 5.2:**

Es un software estadístico desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S. EPA) e investigadores del Centro de Soporte Técnico (TSC) y el Laboratorio Nacional de Investigación de Exposición (NERL) de ORD. Se emplea para el análisis de conjuntos de datos ambientales, ofrece herramientas gráficas y métodos

estadísticos para analizar diversos problemas estadísticos y de muestreo ambiental (U.S. EPA, 2022).

Pro UCL 5.2 incorpora métodos para tratar diversas situaciones ambientales y permiten establecer niveles de fondo, comparar conjuntos de datos de muestra de fondo y del sitio para la evaluación, estimar el tamaño de la muestra basado en objetivos de calidad de datos (DQO, por siglas en inglés, data quality objectives), la evaluación de riesgos, y realizar tendencias básicas de análisis (U.S. EPA, 2022).

En la presente investigación se utilizó el software Pro UCL 5.2 para para el cálculo del nivel de fondo y nivel de referencia. Según la Guía de usuario de Pro UCL 5.2 de la U.S. EPA (2022), es recomendable obtener al menos 10 registros para aplicar los métodos estadísticos, realizar las evaluaciones y cálculos de nivel de fondo y referencia, cuando no sea posible recolectar la cantidad de muestras determinadas mediante un proceso de DQO.

En la presente investigación se tuvo un total de 10 muestras, con resultados detectados para cada elemento, distribuidas en la zona de la Intercuenca Alto Madre de Dios no afectada por actividad minera.

El valor tomado como nivel de fondo es el límite superior de confianza (UCL -95% por sus siglas en inglés, Upper Confidence Limit), el cual representa el valor de la cota superior con un 95% de intervalo de confianza de la media poblacional de un elemento en específico; y el nivel de referencia es el límite superior de tolerancia (UTL 95-95, por sus siglas en inglés, Upper tolerance limit). Según U.S. EPA (2022) que representa el valor de la cota superior con un 95 % de intervalo de confianza del percentil 95 de la población estudiada de un elemento en específico.

## **2.2 Marco conceptual**

### **2.2.1 *Ambiente:***

Es un sistema natural o transformado por acciones humanas (Espinoza, 2007), compuesto por elementos biológicos, sociales, físicos, culturales, económicos y estéticos que interactúan con el ser humano, la comunidad y entre sí (Gómez Orea & Gómez Villarino, 2013).

### **2.2.2 *Calidad ambiental:***

La calidad ambiental hace referencia al grado de conservación de todos los factores ambientales que incluye al ser humano, suelo, agua, aire, clima, paisaje, flora, fauna, los bienes materiales, bienes culturales y su interacción. (Gómez Orea & Gómez Villarino, 2013)

### **2.2.3 *Contaminación:***

Es el nivel de concentración de elementos químicos por encima del cual se generan impactos que suponen un riesgo para la calidad ambiental y salud de las personas. (Espinoza, 2007).

### **2.2.4 *Impacto ambiental.***

Es el cambio significativo de un parámetro ambiental que se produce en un área y periodo específico ocasionado por una actividad humana determinada, al compararse con la situación que hubiese resultado sin dicha actividad. (Espinoza, 2007).

### **2.2.5 *Ecosistema.***

Es la unidad básica de estudio de la naturaleza (Espinoza, 2007). Se refiere a la organización vital de un espacio geográfico en particular, donde los seres vivos

interaccionan entre sí y con el espacio en el que viven, generando de tal interacción un intercambio de materia, energía e información. Un ecosistema puede ser un charco de agua, río, un pastizal, un bosque, una cuenca. (Gómez Orea & Gómez Villarino, 2013).

#### **2.2.6 *Toxicidad:***

Es la capacidad intrínseca de una sustancia (Peña et al., 2001) de producir daño en los seres vivos (Orozco Barrenetxea et al., 2002). En consecuencia para evaluar los riesgos es crítico conocer sobre la toxicidad de contaminantes estudiados (Peña et al., 2001).

#### **2.2.7 *Prevención de la contaminación***

Evaluando los riesgos se diseñan estrategias para prevenir la contaminación y evitar efectos negativos en la salud humana. Por ello, con el cálculo de la cantidad permisible de contaminantes en los componentes ambientales que tienen contacto con las poblaciones, se determina los límites de concentración de tóxicos para que la población no esté expuesta a un peligro intolerable. Sin embargo, evitar que produzca la contaminación es la mejor opción, en lugar de tratar de eliminarla. (Peña et al., 2001).

## **Capítulo III. Descripción del área de estudio**

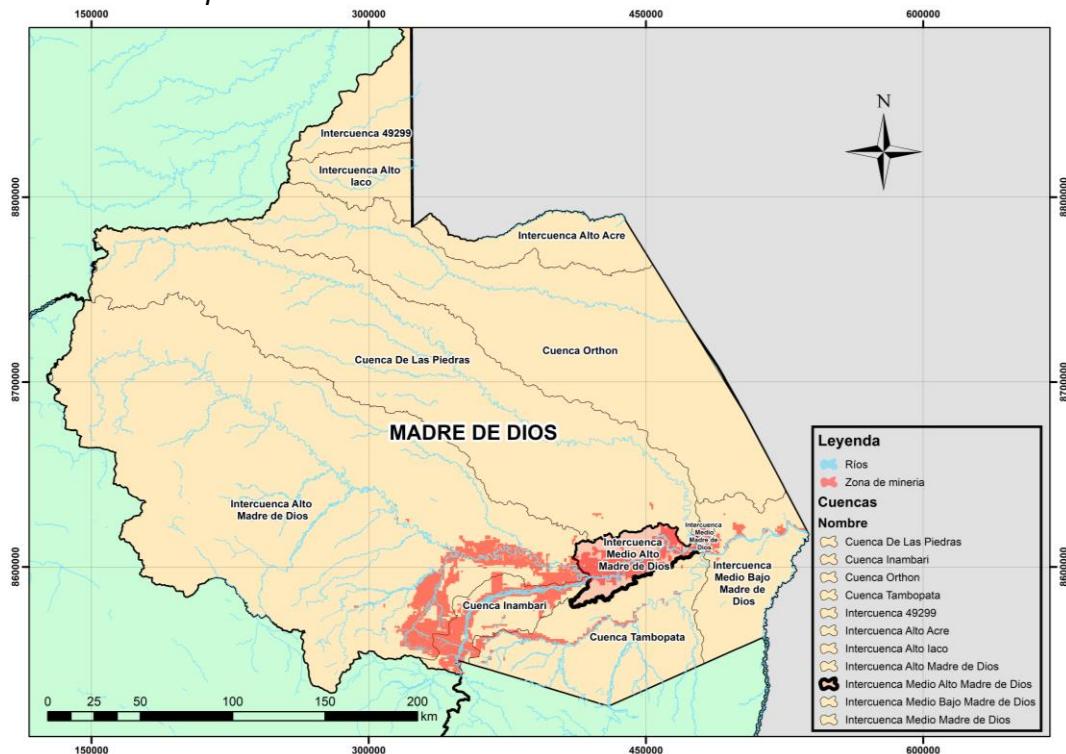
### **3.1 Departamento Madre de Dios**

Está ubicado al sur de la Amazonia Peruana , en la selva baja limitando con Bolivia y Brasil, tienen un área de aproximadamente 85183,96 km<sup>2</sup> que supone el 6.64% del territorio Nacional (ZEE Madre de Dios, 2009). Además, se encuentran conformado por 11 subcuentas dentro de su territorio. El río Madre de Dios, es el río principal de la cuenca homónima, que a su vez pertenece a la cuenca de Amazonas con una longitud de aproximadamente 1150 km y discurre por dos países: Perú y Bolivia (Santos Villar, 2017). Es también llamado río Amaru-Mayu y se origina en la cordillera del Perú llamada Vilcanota, ubicada al noroeste del Cuzco. La cuenca del río mencionado, posee un área de aproximadamente 124910 km<sup>2</sup>, donde 95181 km<sup>2</sup> del área pertenecen al Perú y 29729 km<sup>2</sup> a Bolivia (Abasto Lara, 1987).

La presente investigación se centra específicamente en la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios la cual presenta un área aproximada de 8570 km<sup>2</sup>.

**Figura 1**

*Subcuencas del departamento Madre de Dios.*



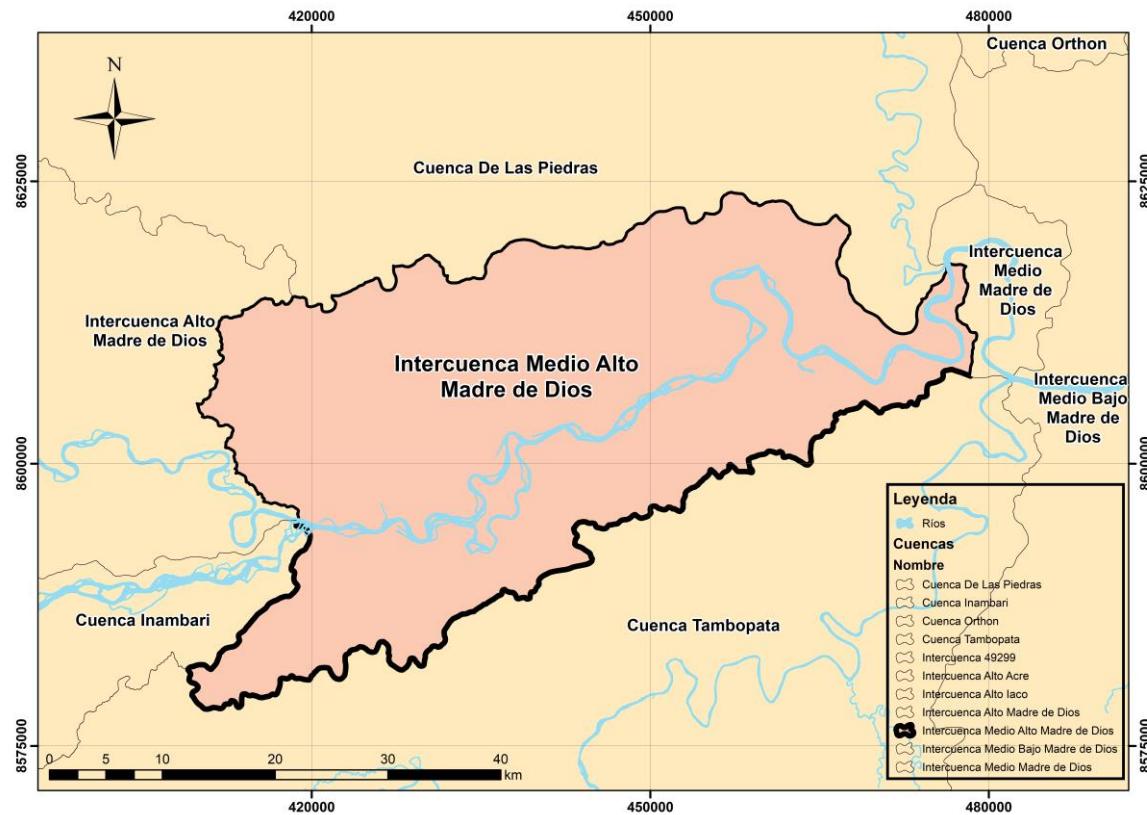
*Nota:* Distribución espacial de las subcuencas, ríos y zona de minería en la región Madre de Dios

### 3.2 Intercuenca Medio Alto Madre de Dios

La Intercuenca Medio Alto Madre de Dios se ubica en el departamento con el mismo nombre, limita al norte con la subcuenca de las Piedras, al sur con la subcuenca de Tambopata, al oeste con la intercuenca Inambari, al noroeste con la intercuenca Alto Madre de Dios, al este con la intercuenca medio Madre de Dios. Tiene un área de aproximadamente 1603.8199 km<sup>2</sup>. Según la ZEE propuesta en Madre de Dios (2009), presenta un área significativa con ocupación actual de uso para la extracción de minerales.

**Figura 2**

*Intercuenca Medio Alto Madre de Dios.*



Nota: Límites geográficos de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios

### 3.3 Características físicas

#### 3.3.1 Geología

En base a los procesos geológicos experimentados en el departamento Madre de Dios se han definido dos unidades morfoestructurales relevantes (Castro Medina, 2008):

- La Cordillera Andina, formada por diversos procesos tectónicos y sedimentarios que dieron origen a los relieves desde el Precámbrico hasta la actualidad.
- La Penillanura Amazónica, formada partir de acumulación de sedimentos provenientes de la Cordillera de los Andes desde el Terciario Inferior.

Asimismo, según la ZEE de Madre de Dios (2008) se han encontrado 24 clasificaciones de unidades geológicas presentes en el departamento de las cuales en la presente investigación se centra en los depósitos fluviales recientes (holoceno), que están constituidos por arcillas, limos y gravas sin consolidar que forman las planicies de inundación, terrazas bajas inundables y los lechos de los ríos.

En cuanto a la presencia de oro, se encuentra localizada en depósitos aluviales, originada debido a las acumulaciones en rocas de la Cordillera Oriental (lentes, filones y venas de cuarzo aurífero) por erosión y transporte de los sistemas fluviales a través de los años (Castro Medina, 2008).

### **3.3.2 *Fisiografía***

Se identifican tres grandes paisajes en el departamento: Gran Paisaje Llanura Aluvial, Gran Paisaje Colinoso y Gran Paisaje Montañoso. La investigación se enfoca en el primero el cual abarca un territorio de 3,687,294 ha, que representa el 43.29% del departamento cuya característica importante es su topografía relativamente plana a ligeramente inclinada (0 a 4%) conformada por sedimentos antiguos, subrecientes y recientes transportados por los principales ríos (Escobedo Torres, 2008).

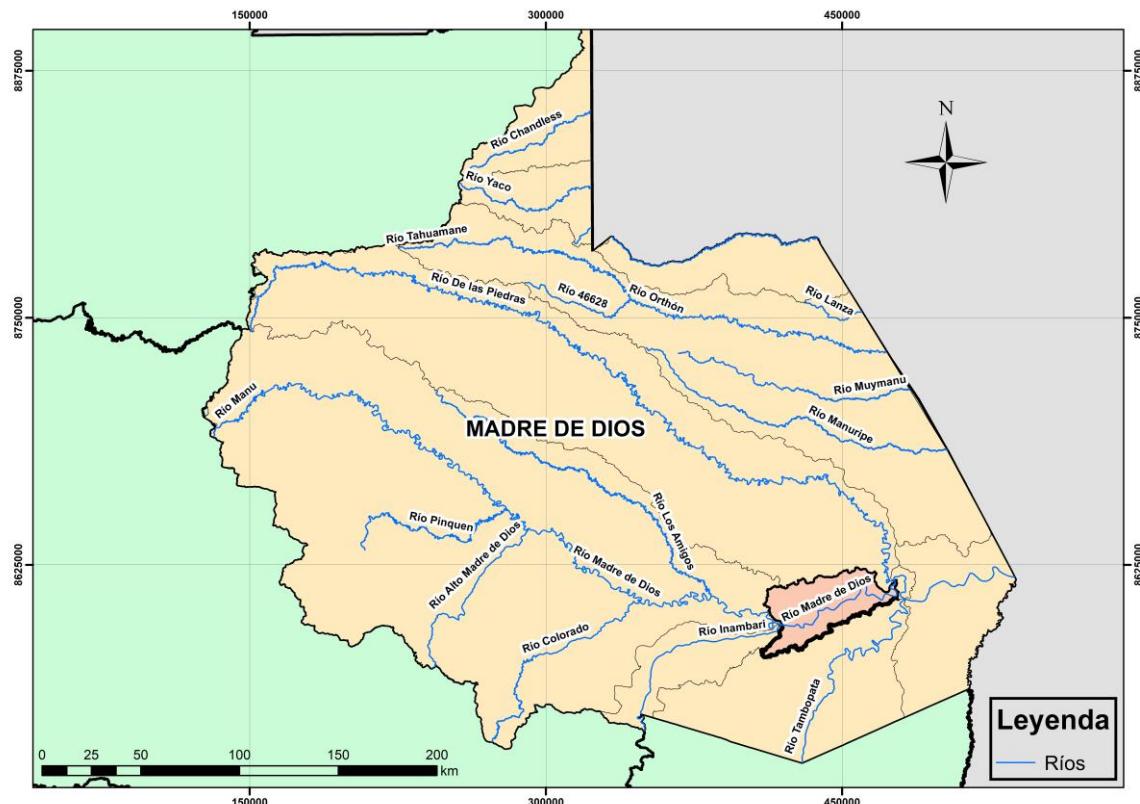
### **3.3.3 *Aspectos hidrológicos***

El río principal en el departamento Madre de Dios es el río homónimo, cuyos tributarios se originan en la Cordillera de los Andes del sur del Perú, se compone por la unión del río Manu por el oeste y por el río Alto Madre de Dios por el sur del departamento. Sus principales afluentes por su margen derecha son los ríos Tambopata, Blanco, Inambari Colorado, Chive; y por su margen izquierda; Tahuamanu, De las Piedras, Los Amigos. A su vez este río principal es afluente del río Madeiras el cual desemboca en el río Amazona en Brasil (Maco García, 2008).

Según la ZEE (2008) es un río que presente una velocidad de corriente entre rápida a muy rápida según la clasificación de Berg.

**Figura 3**

*Principales ríos en el departamento Madre de Dios.*



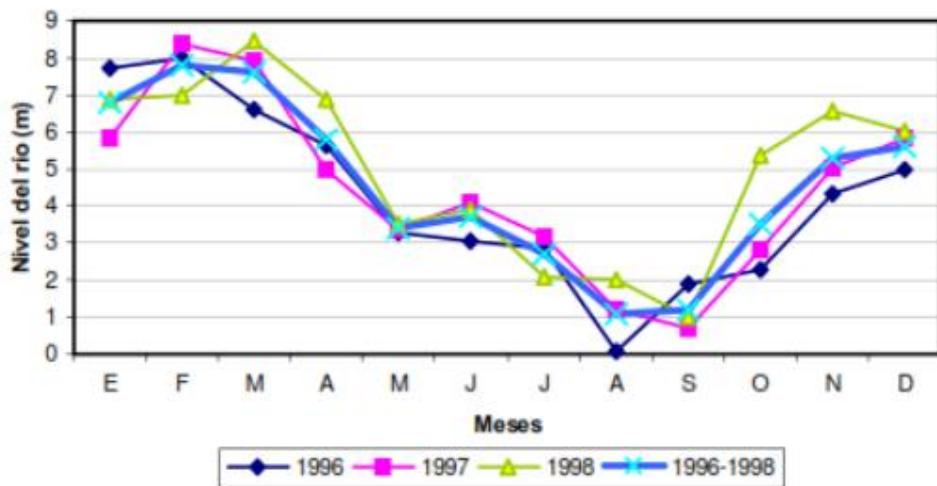
Nota: Distribución espacial de los principales ríos de la región Madre de Dios.

### 3.3.4 Régimen hidrológico

El río Madre de Dios presenta un régimen hidrológico creciente de enero a marzo; media vaciante de abril a junio; vaciante de julio a septiembre y medio creciente de octubre a diciembre (ANA, 2010).

**Figura 4**

*Régimen hidrológico de Madre de Dios.*



Nota: Autoridad Nacional del Agua (2010) Estudio diagnóstico hidrológico de la cuenca Madre de Dios.

### **3.3.5 Régimen de la Precipitación Estacional**

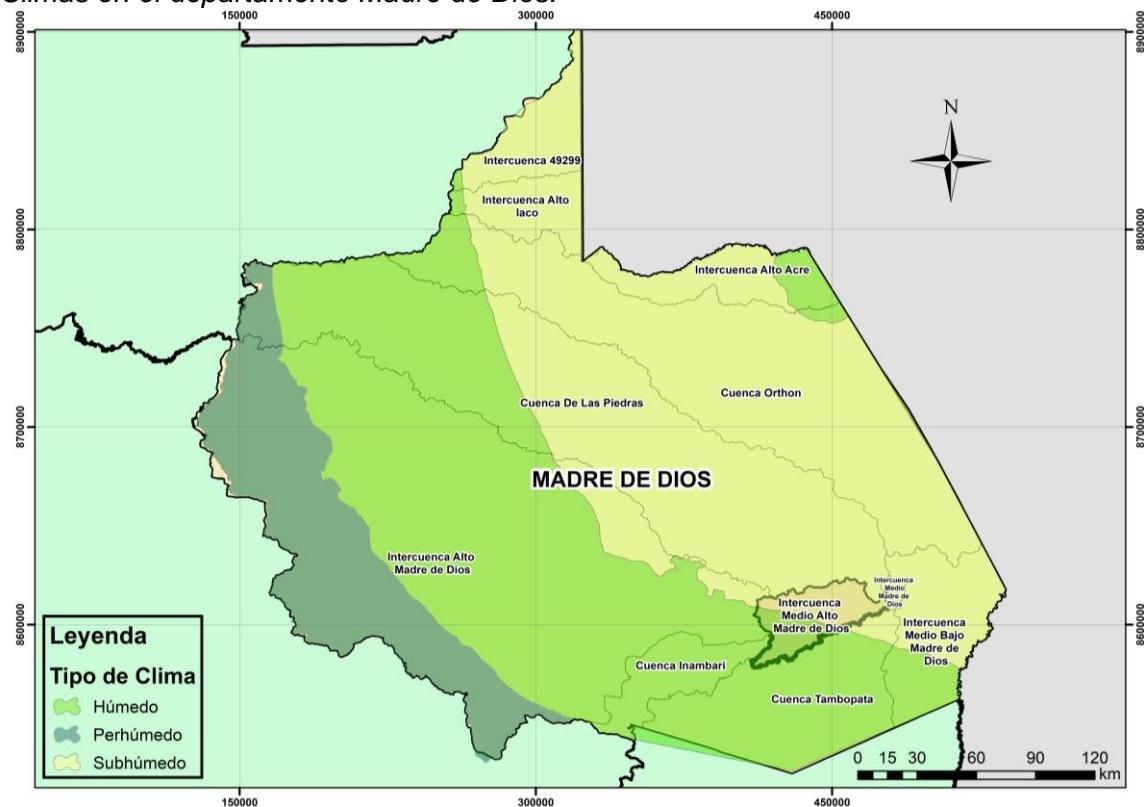
En la zona de estudio perteneciente al llano amazónico las precipitaciones son constantes variando su intensidad durante el año, en los meses desde octubre hasta abril se presentan las más intensas y de junio a agosto las más bajas, los meses de mayo y septiembre se consideran de transición (ANA, 2010).

### **3.3.6 Clima**

Según la ZEE (2008), el clima en el departamento Madre de Dios se divide en tres grandes zonas: clima húmedo, clima subhúmedo y clima perhúmedo. (ZEE). La zona de estudio de la presente investigación se presenta un el clima húmedo, con precipitaciones que oscilan los 1500 y 3000 mm anuales. El Clima Húmedo comprende la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios que en temporada de verano se genera un gran exceso de agua (ANA, 2010).

**Figura 5**

*Climas en el departamento Madre de Dios.*

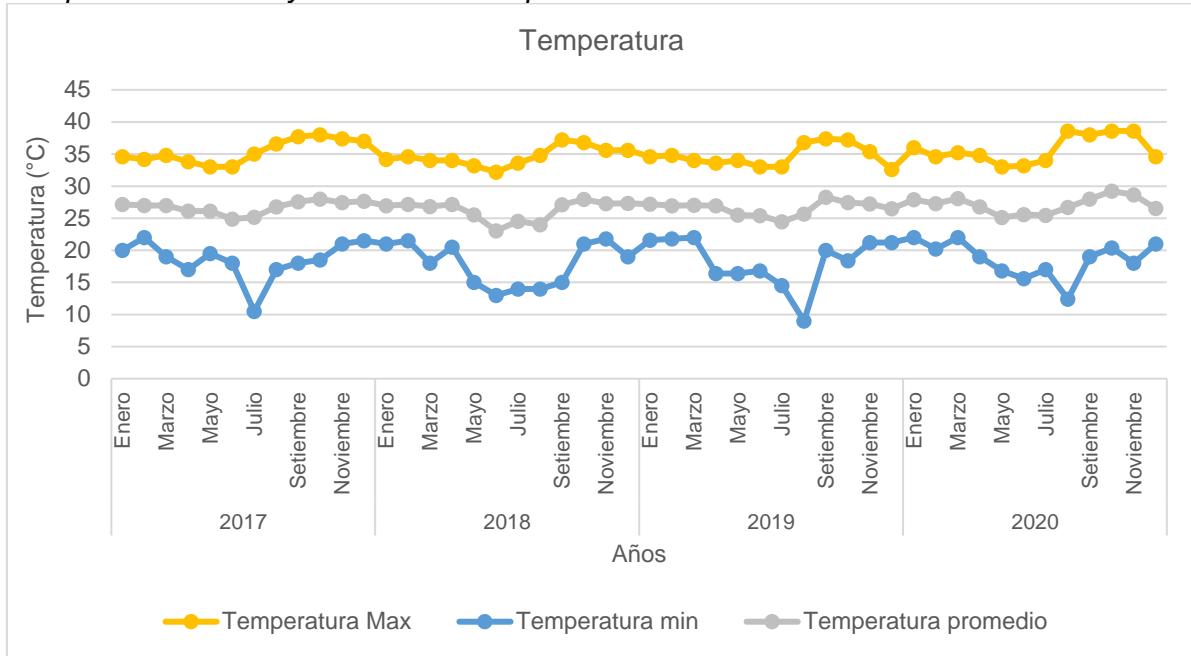


Nota: Distribución espacial climático de la región Madre de Dios.

Según el SENAMHI como se muestra en la Figura 6 la variación de la temperatura tomadas en Puerto Maldonado durante los años 2017, 2018, 2019 y 2020, muestran valores mínimos en los meses de julio y agosto y valores máximos en los meses de octubre y noviembre (SENAMHI, 2024)

**Figura 6**

Temperatura mínima y máxima en el departamento Madre de Dios.



Nota: Fuente SENAMHI (2024)

### 3.4 Minería ilegal en Madre de Dios

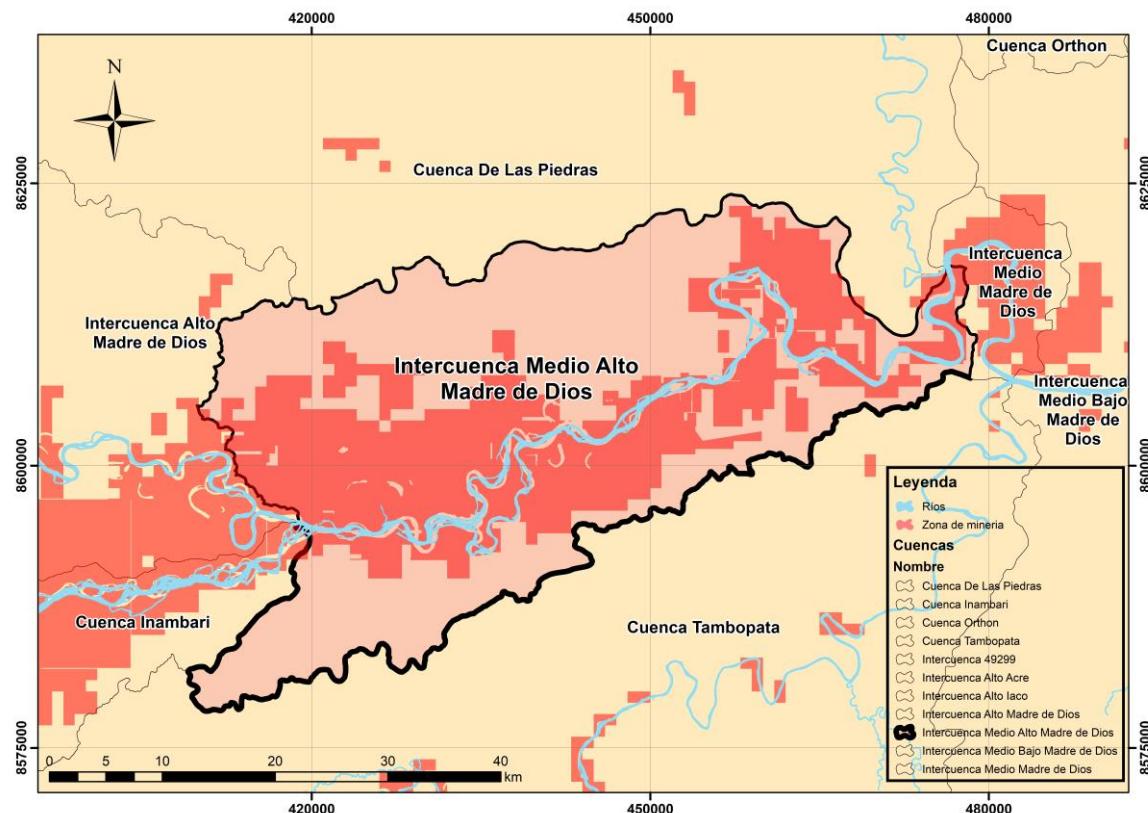
Esta región del Perú posee una gran riqueza en cuanto a recursos naturales, sin embargo en las últimas cinco décadas gracias a la facilidad de acceso por la construcción de carreteras que propiciaron un desarrollo desordenado y perjudicial para la región, además de facilitar el acceso de los mineros a la zona, donde extraen los minerales en su mayoría de manera ilegal, las actividades como la pesca y la caza se han reducido por falta de recursos (Scully, 2020). Principalmente es la minería ilegal la que trae como consecuencias la destrucción de bosques, destrucción de tierras agrícolas aluviales, contaminación por mercurio y otras sustancias tóxicas, la destrucción de la vegetación ribereña, cambios en los cursos de los ríos, entre otros (Velásquez Zapata, 2020).

La contaminación por mercurio es uno de los mayores impactos originado por la minería ilegal en Madre de Dios, este elemento es usado para la extracción de oro, depositándose en diversos componentes ambientales como el suelo y el fondo de los cauces (Scully, 2020). El mercurio es un elemento metálico altamente tóxico y acumulativo

que puede generar graves problemas en su forma de metilmercurio, presente en cuerpos de agua (ríos, lagos), como trastornos neurológicos en recién nacidos, degeneración celular, necrosis cerebral, etc. (Jaishankar et al., 2014). Siendo una vía de acceso al cuerpo humano, a través de la ingesta de pescado (Scully, 2020).

**Figura 7**

*Zona de actividad minera en la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios.*



Nota: Distribución espacial de la zona de minería dentro de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios.

### 3.5 Proceso de extracción de oro

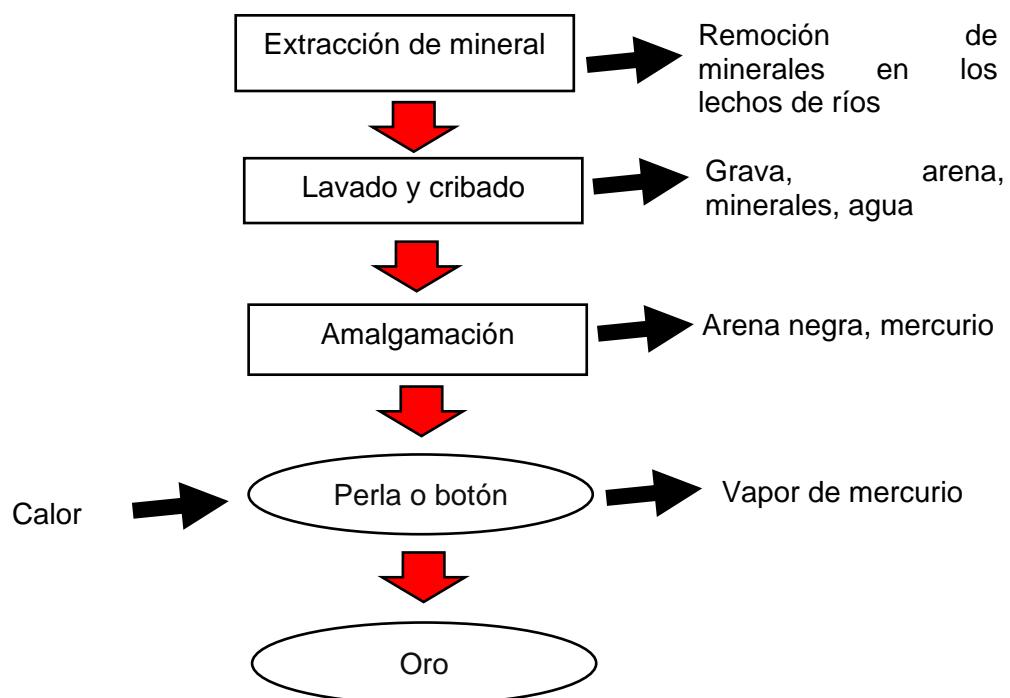
Según el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana y Ministerio del Ambiente (2011) en el departamento de la zona de estudio, se explotan yacimientos aluviales debido a sus altas concentraciones de oro de hasta 0.31 gramos por cada 1 m<sup>3</sup> de grava.

El proceso de extracción oro (IIAP & MINAM, 2011):

1. Extracción gravas y arenas de los yacimientos fluviales (se realiza mediante carretillas, motobombas, dragas, cargadores frontales y/o volquetes)
2. Lavado de material y cribado con una alfombra o lona de yute (el material más fino con partículas de oro, denominado arenilla aurífera, es depositado sobre una superficie de plástico).
3. Amalgamación, se aplica mercurio a la arenilla aurífera (por cada 1 Kg de oro se utilizan 2.8 Kg de mercurio). Se obtiene la perla o botón de amalgama con una proporción de 3/2 entre mercurio y oro respectivamente.
4. La perla o botón, se somete a calor resultando el oro fundido y el mercurio volatizado.
5. Se obtiene el oro rehogado. Aproximadamente el 50 % mercurio vaporizado vuelve inmediatamente a estado líquido, por lo general en las dragas ubicadas en los ríos.

**Figura 8**

*Proceso de extracción de oro en minería aluvial.*



Nota: Adaptado de IIAP y MINAM (2011)

## **Capítulo IV. Marco metodológico**

### **4.1 Enfoque**

El enfoque es de tipo cuantitativo, debido a que se utilizan variables de estudio que serán medibles, se evaluara la calidad de sedimentos a través de los índices de calidad de sedimentos calculados con las concentraciones de los metales y metaloide en las muestras, analizados de informes de monitoreo ambiental de sedimentos realizados por la ANA.

### **4.2 Tipo de investigación**

La investigación es tipo aplicada debido a que se aplican índices de calidad ambiental desarrollados en investigaciones previa, de manera practica en la zona de estudio.

### **4.3 Nivel**

El nivel de la investigación será descriptivo debido a que describe el estado de calidad de sedimentos obtenido a través de los índices ambientales durante el 2013-2020 en la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios.

### **4.4 Diseño metodológico**

Es no experimental, debido a que no se realiza una manipulación de las variables, se utilizan las concentraciones de metales y metaloides, obtenidas de informes de monitoreo.

#### **4.5 Temporalidad**

La investigación será de tipo longitudinal - retrospectivo debido a que se utiliza información secundaria proporcionada de informes de monitoreos realizados por la ANA que se encuentre disponible entre los años 2013 -2020.

#### **4.6 Variables y operacionalización**

En el Anexo 1 se muestra la matriz de operacionalización de variables y la matriz de consistencia, que considera:

Variable: Calidad de sedimentos por metales (Cd, Cu, Cr, Hg, Pb y Zn) y metaloide (As) con índices de calidad.

#### **4.7 Población, muestra y unidad de análisis**

##### **4.7.1 Población de estudio**

42 informes de monitoreo ambiental de la cuenca Madre de Dios (2013-2021)

##### **4.7.2 Muestra**

11 informes de monitoreo de sedimentos en la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios (2013-2020).

#### **4.8 Técnicas de recolección de datos**

Análisis de documental, debido a que la información de concentraciones fue extraída de informes de monitoreos realizados por la ANA como fuente de información secundaria para la investigación.

#### **4.9 Instrumentos de recolección**

Guías de análisis documental (Anexo 2), los informes de monitoreo fueron solicitados a través de plataforma de transparencia de la información del ANA.

#### **4.10 Procedimiento metodológico**

##### ***4.10.1 Identificación de concentraciones de metales y metaloide***

- a) Solicitud de información a la Autoridad Nacional del Agua:

Los datos utilizados en la presente investigación fueron solicitados a la Autoridad Nacional del Agua (ANA), específicamente de la Autoridad Administrativa del Agua XIII Madre de Dios, mediante el formato de acceso a la información pública, sobre los informes técnicos de monitoreo de agua y sedimentos de la cuenca Madre de Dios de los años 2013 – 2021.

- b) Guía de análisis documental con criterios de inclusión:

Para obtener las concentraciones de metales y metaloides a utilizar en la investigación, se utilizaron cinco criterios de inclusión:

1. Informes monitoreo de la cuenca de Madre de Dios realizados por la ANA: Se obtuvieron un total de 42 informes técnicos.
2. Informes de monitoreo de sedimentos en la cuenca de Madre de Dios realizados por la ANA: Se obtuvieron un total de 19 informes técnicos.
3. Informes de Monitoreo que registren puntos de monitoreo ubicados en la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios (área de estudio impactada por la minería aluvial): Se obtuvieron un total de 11 informes técnicos.

4. Puntos de monitoreo ubicados en la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios (área de estudio impactada por minería aluvial): Se obtuvieron 4 puntos de muestreo, se utilizó el software ArcGIS 10.5 para realizar los mapas de distribución espacial de los puntos muestreados, se determinó que los puntos de muestreo tenían una ubicación similar, compartían el mismo código y la misma descripción geográfica a través de los periodos muestreados, por lo que se consideró el mismo punto de muestreo siempre que tuvieran las características mencionadas.
5. Informes de ensayo de laboratorio con las concentraciones de As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Zn y Al.

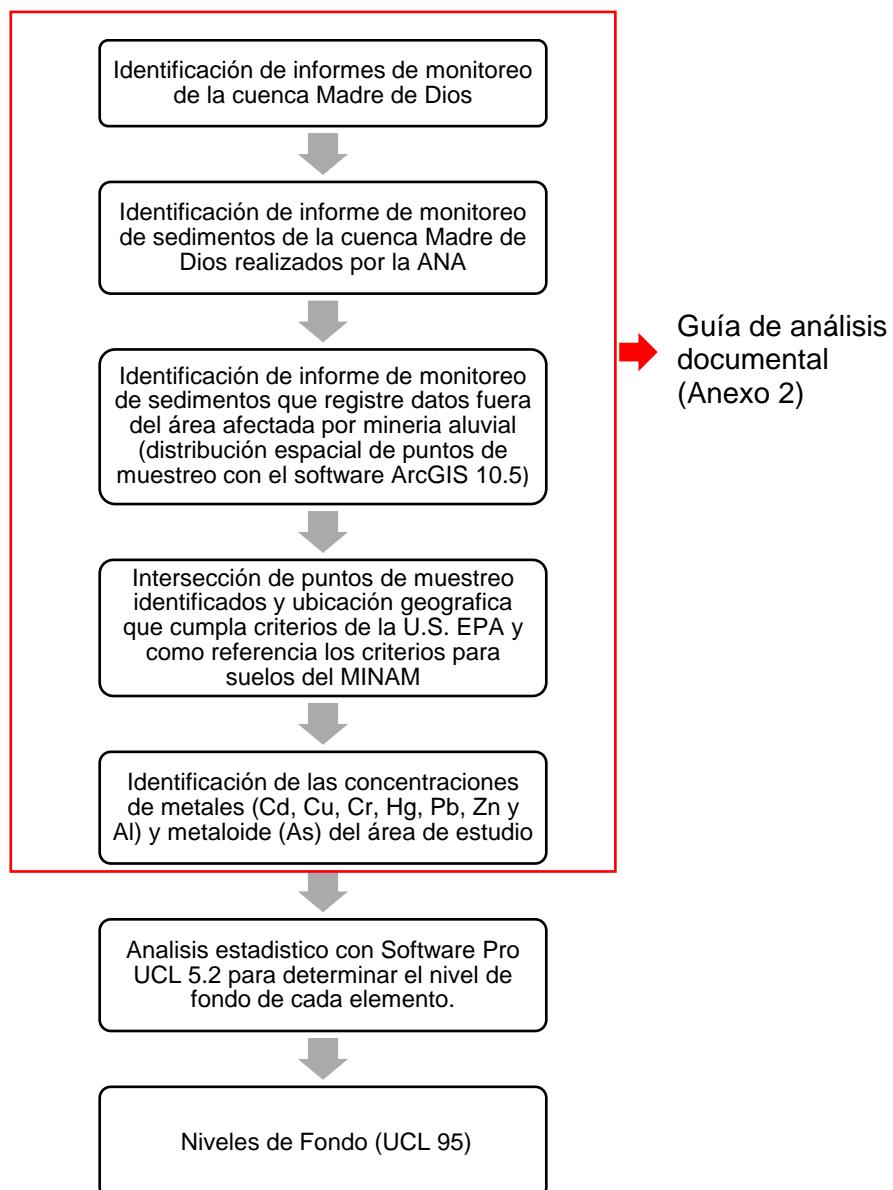
En el Anexo 2 se presenta la guía de análisis documental, en donde se listan los criterios de inclusión, informes de monitoreo y los ensayos de laboratorio utilizados en la investigación.

#### **4.10.2 *Estimación de los niveles de fondo***

Para estimar el nivel de fondo, utilizamos la guía de análisis documental del Anexo 2 y seguimos el proceso de la Figura 9.

**Figura 9**

*Metodología para estimar el nivel de fondo.*



*Nota:* Proceso metodológico para la estimación del nivel de fondo.

Para estimar el fondo geoquímico del área analizada se utiliza el Software Pro UCL 5.2, el cual es un Software creado por la U.S. EPA, diseñado para tratar información ambiental en tema de suelos y sedimentos.

#### **4.10.3 Comparación con estándares internacionales**

##### **4.10.3.1 Comparación con las directrices canadienses sobre la calidad de los sedimentos para la protección de la vida acuática (CEQGs, por siglas en inglés Canadian Environmental Quality Guidelines).**

Proporcionan una evaluación cuantitativa del grado de toxicidad en el sedimento, los efectos adversos, daños al ecosistema y organismos que habitan (Saleh, 2021b). Para el trabajo de investigación se utiliza las directrices canadienses en el que se muestra los valores del Estándar Interino de la Calidad de Sedimento (ISQG, por siglas en inglés, Interim Sediment Quality Guidelines) que representan valores por debajo del cual no se presentan efecto biológico adverso en organismos bentónico y epibentónicos; y el Nivel de Efecto Probable (PEL, por sus siglas en inglés, Probable Effect Level), en donde si se presentan estos efectos adversos con frecuencia (CCME, 2014). Los valores del ISQG y PEL se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Directrices canadienses sobre la calidad de los sedimentos para la protección de la vida acuática (CEQG).*

Elemento	ISQG (mg/Kg)	PEL (mg/Kg)
Arsénico (As)	5.9	17
Cadmio (Cd)	0.6	3.5
Cobre (Cu)	35.7	197
Cromo (Cr)	37.3	90
Mercurio (Hg)	0.17	0.486
Plomo (Pb)	35	91.3
Zinc (Zn)	123	315

*Nota: Consejo Canadiense del Ministerio del Medio Ambiente (2014)*

##### **4.10.3.2 Comparación con las Directrices de calidad de sedimentos (SQG por sus siglas en inglés sediment quality guidelines) basadas en consenso.**

Se utilizan para evaluar el grado de contaminación en sedimentos y fueron desarrolladas por MacDonald et al. (2000), el cual establece dos tipos de directrices:

- Concentración de efecto umbral (TEC por sus siglas en inglés threshold effect concentration) el cual representa las concentraciones por debajo de las cuales no se espera que ocurran efectos adversos a los organismos de los sedimentos
- Concentración de efecto probable (PEC por sus siglas en inglés probable effect concentration) establece las concentraciones por encima de las cuales se espera que ocurran efectos adversos a los organismos de los sedimentos.

Los valores del TEC y PEC se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Directrices de calidad de los sedimentos basadas en consenso.*

Elemento	TEC (mg/Kg)	PEC (mg/Kg)
Arsénico (As)	9.79	33
Cadmio (Cd)	0.99	4.98
Cobre (Cu)	31.6	149
Cromo (Cr)	43.4	111
Mercurio (Hg)	0.18	1.06
Plomo (Pb)	35.8	128
Zinc (Zn)	121	459

*Nota: MacDonald et al. (2000)*

#### **4.10.4 Cálculo de los índices de calidad de sedimentos**

Para realizar el cálculo de los índices de calidad de sedimento, en la presente investigación se realizó la clasificación en índices individuales (Índice de geo acumulación, Factor de enriquecimiento, Factor de contaminación) e índices integrados (Índice de carga de contaminación, Grado de contaminación, Índice de contaminación de Nemerow, Grado de contaminación modificado e Índice de riesgo ecológico potencial)

#### 4.10.4.1 Índices Individuales.

##### 4.10.4.1.1 Índice de geoacumulación (Igeo).

Este índice sirve para evaluar la contaminación por elementos metálicos en sedimento, y el nivel de fondo natural correspondiente (Muller, 1969)

Este índice fue desarrollado por Müller (1969) en base a índices para evaluar calidad del agua. Igeo es una medida del nivel de contaminación en sedimentos con sustancias inorgánicas u orgánicas. Establece una relación entre la concentración actual o recientes con valores de referencia denominados también fondo geoquímico o nivel de fondo que resultan de la distribución global por causas naturales (Muller, 1986).

El Igeo calcula de la siguiente manera: (Muller, 1986):

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{B_n \times 1.5} \quad (1)$$

$I_{geo}$  = índice de geoacumulación

$C_n$  = concentración del elemento en la muestra sedimento

$B_n$  = fondo geoquímico del elemento en el sedimento anterior a la civilización de la misma área de depósito.

**Tabla 4**

##### Índice de Geoacumulación (Igeo).

Valor	Clases	
$I_{geo} \leq 0$	0	No contaminado
$0 < I_{geo} \leq 1$	1	No contaminado a moderadamente contaminado
$1 < I_{geo} \leq 2$	2	Moderadamente contaminado
$2 < I_{geo} \leq 3$	3	Moderadamente a fuertemente contaminado
$3 < I_{geo} \leq 4$	4	Fuertemente contaminado

4 < Igeo ≤ 5	5	Fuertemente a extremadamente contaminado
Igeo > 5	6	Extremadamente contaminado

Nota: Hakanson (1980)

#### 4.10.4.1.2 Factor de Enriquecimiento (EF).

Es el índice más aplicado en la actualidad (Birch, 2023), permite evaluar en el ambiente, la influencia de las actividades humanas. Utilizando la concentración de un elemento de referencia con baja variabilidad en la corteza terrestre, que por lo general es el manganeso (Mn), aluminio (Al) o el hierro (Fe) (Ferreira et al., 2022). Para la presente investigación se utilizará como elemento de referencia al Aluminio (Al) debido a que no tiene origen antropogénico y es el más utilizado en la literatura geoquímica (Brady et al., 2015) (Sutherland, 2000).

$$EF = \frac{\left(\frac{C_n}{C_M}\right) sample}{\left(\frac{C_n}{C_M}\right) background} \quad (2)$$

Donde  $(C_n / CM)$  es la relación entre la concentración del elemento n ( $C_n$ ) y la concentración del elemento de referencia ( $CM$ ) en la muestra de sedimento. El fondo  $(C_n / CM)$  es la relación entre las concentraciones de nivel de fondo del elemento n y el elemento de referencia.

**Tabla 5**

#### Factor de Enriquecimiento (EF).

Nº	Valor	
1	$EF \leq 2$	Deficiencia mínima de enriquecimiento mineral
2	$2 < EF \leq 5$	Enriquecimiento moderado
3	$5 < EF \leq 20$	Enriquecimiento significativo
4	$20 < EF \leq 40$	Muy alto enriquecimiento
5	$40 > EF$	Enriquecimiento extremadamente alto

Nota: Sutherland (2000).

#### 4.10.4.1.3 Factor de contaminación (Cf).

El Cf se utiliza para medir la contaminación de sustancias tóxicas. Este factor explica la contaminación de elementos a nivel individual (Hakanson, 1980). Es la relación entre la concentración del elemento en un determinado sitio de muestreo y su concentración en un sitio de fondo. Este factor refleja cómo se ha acumulado un elemento en un sitio específico en relación con un sitio de fondo (Hakanson, 1980).

$$C_f^i = \frac{C_s^i}{C_b^i} \quad (3)$$

$C_f^i$  = factor de contaminación de la muestra i

$C_s^i$  = Concentración del elemento (i) en una muestra.

$C_b^i$  = Concentración de fondo del elemento (i) en una muestra.

**Tabla 6**

#### Factor de Contaminación (Cf).

Nº	Valor	
1	$C_f^i < 1$	Contaminación baja
2	$1 \leq C_f^i < 3$	Contaminación moderada
3	$3 \leq C_f^i < 6$	Contaminación considerable
4	$C_f^i \geq 6$	Contaminación muy alta

Nota: Hakanson (1980)

#### 4.10.4.1.4 Factor de riesgo ecológico (Er).

Este índice presenta numéricamente el riesgo ecológico de un elemento químico en el suelo o sedimento estudiado. Hakanson lo propuso en 1980 y la ecuación utilizada para el cálculo es:

$$Er^i = Tr^i \cdot C_f^i \quad (4)$$

Donde,  $Tr_i$  es el factor de respuesta tóxica de un elemento químico contaminante y  $Cf_i$  es el factor de contaminación de este elemento. Los valores del factor de respuesta tóxica según Hakanson (1980) se muestran en la Tabla 7.

$Er^i$  = Factor de riesgo ecológico potencial para la sustancia dada (i).

$Tr^i$  = factor de “respuesta tóxica” para la sustancia dada, es decir,  $PCB = 40 \times BPI/5$ ,  $Hg = 40 \times 5 / BPI$ ,  $Cd = 30 * \sqrt{5} / \sqrt{BPI}$ ,  $As = 10$ ,  $Pb = Cu = 5 * \sqrt{5} / \sqrt{BPI}$ ,  $Cr = 2 * \sqrt{5} / \sqrt{BPI}$  y  $Zn = 1 * \sqrt{5} / \sqrt{BPI}$ , donde  $BPI$  = el índice de bioproducción

Considerando un  $BPI$  promedio de 5 se obtienen los siguientes resultados, según Hakanson (1980)

**Tabla 7**

*Factor de Respuesta Tóxica (Tr).*

Nº	Elemento	$Tr^i$
1	As	10
2	Cd	30
3	Cr	2
4	Cu	5
5	Hg	40
6	Pb	5
7	Zn	1

Nota: Hakanson (1980)

**Tabla 8**

*Factor de riesgo ecológico (Er).*

Nº	Valor	
1	$Er < 40$	Bajo riesgo ecológico
2	$40 \leq Er < 80$	Riesgo ecológico moderado
3	$80 \leq Er < 160$	Riesgo ecológico considerable
4	$160 \leq Er < 320$	Riesgo ecológico Alto
5	$Er \geq 320$	Riesgo ecológico muy alto

Nota: Hakanson (1980)

#### 4.10.4.2 Índices Integrados.

##### 4.10.4.2.1 Índice de carga de contaminación (PLI).

Es un índice evalúa la carga de contaminación en una muestra, teniendo en cuenta todos los elementos analizados. Sirve para comparar el nivel de la contaminación en diferentes sitios. (Tomlinson et al., 1980).

$$PLI = \sqrt[n]{C_f^1 x C_f^2 x C_f^3 x \dots x C_f^n} \quad (5)$$

**Tabla 9**

*Índice de carga de contaminación (PLI).*

Nº	Valor	
1	$PLI > 1$	Condición contaminada
2	$PLI < 1$	No hay contaminación

Nota: Tomlinson et al., (1980).

##### 4.10.4.2.2 Grado de contaminación (Cdeg)

Cdeg se utiliza para la evaluación de suelos y sedimentos. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$C_{deg} = \sum_{i=1}^n C_{fi} \quad (6)$$

**Tabla 10**

*Grado de contaminación (Cdeg).*

Nº	Valor	
1	$Cdeg < 8$	Bajo grado de contaminación
2	$8 \leq Cdeg < 16$	Moderado grado de contaminación
3	$16 \leq Cdeg < 32$	Considerable grado de contaminación
4	$32 \leq Cdeg$	Muy alto grado de contaminación

Nota: Hakanson (1980).

#### 4.10.4.2.3 Índice de contaminación de Nemerow (PI)

Este índice utiliza el promedio de los Cf de un elemento en específico (Brady et al., 2015). Además, se considera el impacto de un elemento individual utilizando el factor de contaminación máximo (Birch, 2023).

Su ecuación de cálculo viene definida por:

$$PI = \sqrt{\frac{(Cf_{av})^2 + (Cf_{max})^2}{2}} \quad (7)$$

Donde Cfav es el promedio del Cf del elemento analizado y Cfmax es el Cf máximo del elemento.

**Tabla 11**

*Índice de contaminación de Nemerow (PI).*

Nº	Valor	
1	$PI < 0.7$	No contaminando
2	$0.7 \leq PI < 1$	Ligeramente Contaminado
3	$1 \leq PI < 2$	Moderadamente contaminado
4	$2 \leq PI < 3$	Altamente contaminado
5	$3 \geq PI$	Severamente contaminado

Nota: Brady et al.(2015)

#### 4.10.4.2.4 Grado de contaminación modificado (mCdeg)

Es un índice de elementos múltiples utilizado para la evaluación de sedimentos y se calcula utilizando la siguiente ecuación (Abrahim & Parker, 2008).

$$mC_{deg} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Cf_i \quad (8)$$

**Tabla 12***Grado de contaminación modificado (mCdeg).*

Nº	Valor	
1	$mCdeg < 1.5$	Contaminación muy baja
2	$1.5 \leq mCdeg < 2$	Contaminación baja
3	$2 \leq mCdeg < 4$	Contaminación moderada
4	$4 \leq mCdeg < 8$	Contaminación alta
5	$8 \leq mCdeg < 16$	Contaminación muy alta
6	$16 \leq mCdeg < 32$	Contaminación extremadamente alta
7	$32 \leq mCdeg$	Contaminación ultra alta

Nota: Abraham &amp; Parker (2008)

**4.10.4.2.5 Índice de riesgo ecológico potencial (PERI)**

Este índice muestra el grado de contaminación en sedimentos con elementos tóxicos en cada zona, en base a la toxicidad de elementos y la respuesta ambiental (Hakanson, 1980).

$$PERI = \sum_{i=1}^8 Er^i = \sum_{i=1}^8 Tr^i \cdot C_f^i \quad (9)$$

*PERI* = Índice de riesgo ecológico potencial solicitado para la cuenca / lago.

**Tabla 13***Niveles de Riesgo Ecológico Potencial (PERI).*

Nº	Valor	
1	$PERI < 150$	Bajo riesgo ecológico
2	$150 \leq PERI < 300$	Riesgo ecológico moderado
3	$300 \leq PERI < 600$	Riesgo ecológico considerable
4	$PERI \geq 600$	Riesgo ecológico muy alto

Nota: Hakanson (1980)

#### **4.10.5 Análisis estadístico**

##### **4.10.5.1 Análisis estadístico de normalidad de los datos analizados**

El análisis estadístico, consiste en primero en determinar si los datos poseen una distribución normal mediante la prueba estadística de Shapiro – Wilk para una cantidad de datos menor a 50. Las pruebas estadísticas se realizan con ayuda del Software IBM SPSS Statistics 25.

Se determina si los datos presentan una distribución normal, con la finalidad de aplicar estadística paramétrica o no paramétrica para el análisis de datos.

##### **4.10.5.2 Análisis estadístico para verificar las hipótesis**

En la presente investigación, debido a que los datos no presentan una distribución normal se utiliza estadística no paramétrica, como la prueba de Friedman para verificar que las concentraciones de metales y metaloides varían significativamente en los períodos de 2013-2 al 2020-2. Y la prueba de Wilcoxon para verificar si existen diferencias significativas entre las concentraciones de elementos analizados y los niveles de fondo estimados, ISQG, PEL, TEC y PEC.

## Capítulo V. Desarrollo del trabajo de investigación

### 5.1 Ubicación de puntos de muestreados

Para cumplir los objetivos de la investigación se obtuvieron las concentraciones de elementos en sedimentos de muestras durante los períodos de estiaje en los años 2014-1, 2015-1, 2016-1, 2018-1. Asimismo, durante los períodos de avenida en los años 2013-2, 2014-2, 2016-2, 2017-2, 2018-2, 2019-2, 2020-2. En la Tabla 14 se muestra el código de los puntos de muestreo, así como las coordenadas de ubicación en UTM WGS 84.

**Tabla 14**

*Puntos de muestreo Intercuenca Medio Alto Madre de Dios en los diversos períodos.*

Periodo	Código	Este (UTM WGS 84 19L)	Norte (UTM WGS 84 19L)
2013-2 <sup>1</sup>	RMadr-4	419086	8594947
	RMadr-5	426248	8593639
	RMadr-6	437761	8594819
2014-1 <sup>2</sup>	RMadr-4	419334	8594709
	RMadr-5	426156	8593829
	LLabe-1	436163	8592892
2014-2 <sup>3</sup>	RMadr-6	438179	8594991
	RMadr-4	419086	8594947
	RMadr-5	426248	8593639
2015-1 <sup>4</sup>	LLabe-1	436319	8593519
	RMadr-6	437761	8594819
	RMadr-4	419086	8594947
2016-1 <sup>5</sup>	RMadr-5	426248	8593639
	LLabe-1	436319	8593519
	RMadr-6	437761	8594819
2016-2 <sup>6</sup>	RMadr-4	418871	8595651
	RMadr-5	426344	8593829
	LLabe-1	436458	8593260
	RMadr-6	437273	8595435
	RMadr-4	418871	8595651
	RMadr-5	426344	8593829
	RMadr-6	437273	8595435

	RMadr-4	417895	8595524
2017-2 <sup>7</sup>	RMadr-5	426129	8593804
	LLabe-1	435977	8592698
	RMadr-6	438536	8595261
2018-1 <sup>8</sup>	RMadr-4	417182	8595001
	RMadr-5	427039	8594160
	LLabe-1	436042	8592742
	RMadr-6	438418	8594964
2018-2 <sup>9</sup>	RMadr-4	417790	8595124
	RMadr-5	427039	8594160
	LLabe-1	436042	8592742
	RMadr-6	438418	8594964
2019-2 <sup>10</sup>	RMadr-4	417790	8595124
	RMadr-5	427039	8594160
	RMadr-6	438418	8594964
2020-2 <sup>11</sup>	RMadr-4	417790	8595124
	RMadr-5	427039	8594160
	RMadr-6	438418	8594964

Nota: <sup>1</sup>Informe de ensayo N° 131846, reportado en el informe técnico N° 021-2013-ANA-DGRH/RATQ, <sup>2</sup>Informe de ensayo N° 082065-2014, reportado en el informe técnico N°056-2014-ANA-DGCRH-VIG, <sup>3</sup>Informe de ensayo N° 084840-2014, reportado en el informe técnico N°031-2014-ANA-DGCRH-GOCRH, <sup>4</sup>Informe de ensayo N° 093153-2015, reportado en el informe técnico N°078-2015-ANA-DGCRH-GOCRH, <sup>5</sup>Informe técnico N°325-2016-ANA-AAA- XIII MDD/SDGCRH, <sup>6</sup>Informe técnico N°062-2017-ANA-AAA- XIII MDD/SDGCRH, <sup>7</sup>Informe de ensayo N° 57062-2017, reportado en el informe técnico N°015-2018-JRMP, <sup>8</sup>Informe de ensayo N° 27618-2018, reportado en el informe técnico N°025-2018-JRMP, <sup>9</sup>Informe de ensayo N° 69719-2018, reportado en el informe técnico N°060-2019-ANA-AAA.MDD-AT/H LH, <sup>10</sup>Informe de ensayo N° 76069-2019, reportado en el informe técnico N° 074-2019-ANA-AAA.MDD-AT/H LH, <sup>11</sup>Informe de ensayo N° 54497-2019, reportado en el informe técnico N°071-2020-ANA-AAA.MDD-AT/H LH.

En la investigación se analizan 4 puntos de muestreo a través de los períodos mencionados como se muestran en la Tabla 15.

**Tabla 15**

*Puntos de muestreo Intercuencia Medio Alto Madre de Dios en los diversos períodos.*

N°	Código	2013 -2	2014 -1	2014 -2	2015 -1	2016 -1	2016 -2	2017 -2	2018 -1	2018 -2	2019 -2	2020 -2
1	RMadr4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	RMadr5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	LLabe1	N.M.	X	X	X	X	N.M.	X	X	X	N.M.	N.M.
4	RMadr6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

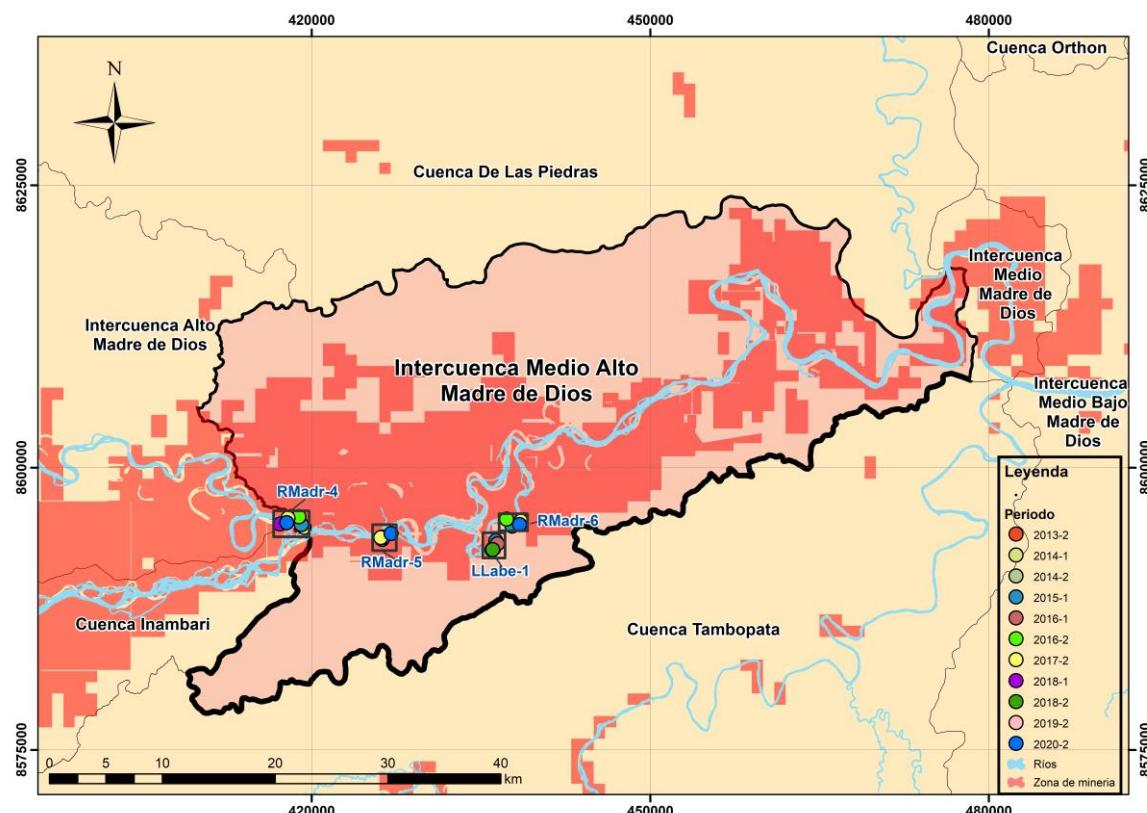
Nota: X: Punto muestreado, N.M.: Punto no muestreado

A partir de la información recolectada de los informes técnicos, a través de la guía de análisis documental (Anexo 2), se pudo determinar que los puntos de muestreo tenían

una ubicación similar, por lo que se consideró el mismo punto de muestreo siempre cuando, tuvieran la misma descripción geográfica y además la ANA los considerara el mismo punto de muestreo según Hugo León (2021). La distribución de mencionados puntos se presenta en la siguiente Figura 10.

**Figura 10**

*Distribución espacial de puntos de muestreados Intercuenca Medio Alto Madre de Dios.*



Nota: Distribución espacial de puntos muestreados dentro de la zona de minería en la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios (2013-2020)

Los puntos de muestreo analizados cumplen la siguiente descripción geográfica según la Tabla 16.

**Tabla 16**

*Descripción geográfica de puntos de muestreo Intercuenca Medio Alto Madre de Dios.*

Nº	Código	Descripción
1	RMadr-4	En el río Madre de Dios, aguas arriba del río Inambari
2	RMadr-5	En el río Madre de Dios, aguas abajo del río Inambari
3	RMadr-6	En el río Madre de Dios, aguas abajo del río Laberinto
4	LLabe-1	Laguna laberinto

*Nota:* Informe de ensayo N° 131846, reportado en el informe técnico N° 021-2013-ANA-DGRH/RATQ, Informe de ensayo N° 082065-2014, reportado en el informe técnico N°056-2014-ANA-DGCRH-VIG, Informe de ensayo N° 084840-2014, reportado en el informe técnico N°031-2014-ANA-DGCRH-GOGRH, Informe de ensayo N° 093153-2015, reportado en el informe técnico N°078-2015-ANA-DGCRH-GOGRH, Informe técnico N°325-2016-ANA-AAA- XIII MDD/SDGCRH, Informe técnico N°062-2017-ANA-AAA- XIII MDD/SDGCRH, Informe de ensayo N° 57062-2017, reportado en el informe técnico N°015-2018-JRMP, Informe de ensayo N° 27618-2018, reportado en el informe técnico N°025-2018-JRMP, Informe de ensayo N° 69719-2018, reportado en el informe técnico N°060-2019-ANA-AAA.MDD-AT/HLH, Informe de ensayo N° 76069-2019, reportado en el informe técnico N° 074-2019-ANA-AAA.MDD-AT/HLH, Informe de ensayo N° 54497-2019, reportado en el informe técnico N°071-2020-ANA-AAA.MDD-AT/HLH.

## 5.2 Identificación de concentraciones de metales y metaloide

En base al análisis de distribución espacial de los puntos muestreados en la Tabla 17 se muestra las concentraciones obtenidas a través de los años 2013-2020. Obtenidos de los informes técnico de monitoreo sedimentos en Madre de Dios, listados en la guía de análisis documental en el Anexo 2.

**Tabla 17**

*Concentración de metales y metaloide durante el 2013-2020.*

N°	Código	Arsénico (mg/Kg)	Cadmio (mg/Kg)	Cobre (mg/Kg)	Cromo (mg/Kg)	Mercurio (mg/Kg)	Plomo (mg/Kg)	Zinc (mg/Kg)
2013- 2 <sup>1</sup>	RMadr-4	< 0.8	17.97	37.23	19.24	0.324	12.22	77.9
	RMadr-5	< 0.8	17.58	39.23	18.03	0.273	11.03	72.6
	RMadr-6	< 0.8	17.09	39.74	17.61	0.067	10.46	71
2014- 1 <sup>2</sup>	RMadr-4	1.6	1.61	19.37	13.47	< 0.06	8.59	42.2
	RMadr-5	10.5	1.99	26.84	15.2	< 0.06	7.74	43.3
	LLabe-1	3.5	1.8	27.72	16.33	< 0.06	9.62	46.8
2014- 2 <sup>3</sup>	RMadr-6	7.9	2.22	31.34	17.36	< 0.06	11.44	54
	RMadr-4	5.2	3.16	26.53	16.01	< 0.06	9.01	45.1
	RMadr-5	13.1	3.96	32.61	17.69	< 0.06	9.88	53.4
2015- 1 <sup>4</sup>	LLabe-1	5.5	4.09	34.49	19.66	< 0.06	11.08	56.5
	RMadr-6	4.7	4.13	32.4	19.94	< 0.06	11.31	57.5
	RMadr-4	13.6	5	24.27	18.34	< 0.1	10.39	48.9
2015- 1 <sup>4</sup>	RMadr-5	7.2	5.5	32.51	19.11	< 0.1	12.06	53.6
	LLabe-1	9	5.4	25.41	17.27	< 0.1	10.97	53.4
	RMadr-6	14.1	5.2	29.33	16.77	< 0.1	10.84	52.6
2016- 1 <sup>5</sup>	RMadr-4	< 3	1.6	11.9	7.3	0.013	6	25
	RMadr-5	< 3	2.3	21.7	10.2	0.017	8	38
	LLabe-1	11	1.7	20	8.6	0.023	8	34

	RMadr-6	11	2.6	23.8	12	0.029	9	37
2016- 2 <sup>6</sup>	RMadr-4	4	1.1	21.7	20.5	0.062	11	52
	RMadr-5	10	0.9	21	19	0.093	7	45
	RMadr-6	11	1.2	23.3	22.2	0.119	10	52
	RMadr-4	< 3.5	< 0.5	27.9	24.7	0.05	12	73.7
2017- 2 <sup>7</sup>	RMadr-5	< 3.5	< 0.5	26.1	22.7	0.05	11	66.1
	LLabe-1	< 3.5	< 0.5	6	11	0.02	< 2	54.7
	RMadr-6	20.5	< 0.5	32	23.6	0.1	< 2	69.1
	RMadr-4	< 3.5	< 0.5	32.3	28.7	0.04	24	88.8
2018- 1 <sup>8</sup>	RMadr-5	< 3.5	< 0.5	42.6	33.3	0.04	14	94.8
	LLabe-1	< 3.5	< 0.5	30.6	29.3	0.04	17	92
	RMadr-6	< 3.5	< 0.5	26.7	24.1	0.05	15	71
	RMadr-4	< 3.5	< 0.5	23.8	19.4	0.03	< 2	55.2
2018- 2 <sup>9</sup>	RMadr-5	< 3.5	< 0.5	27.7	20.6	0.05	11	59.8
	LLabe-1	15.3	< 0.5	40.2	24.8	0.07	17	82.2
	RMadr-6	18	< 0.5	34.5	23.3	0.07	14	75
	RMadr-4	< 3.6	< 0.3	34	29	0.03	12	74
2019- 2 <sup>10</sup>	RMadr-5	< 3.6	< 0.3	30	22	0.05	9	62
	RMadr-6	< 3.6	< 0.3	20	19	0.02	7	52
	RMadr-4	< 3.6	< 0.3	21.3	22.9	0.04	10.2	63.3
	RMadr-5	21.8	< 0.3	36.9	29.9	0.07	10.9	78.4
2020- 2 <sup>11</sup>	RMadr-6	< 3.6	< 0.3	23.2	25.9	0.02	10.9	70.2

Nota: <sup>1</sup>Informe de ensayo N° 131846, reportado en el informe técnico N° 021-2013-ANA-DGRH/RATQ, <sup>2</sup>Informe de ensayo N° 082065-2014, reportado en el informe técnico N°056-2014-ANA-DGCRH-VIG, <sup>3</sup>Informe de ensayo N° 084840-2014, reportado en el informe técnico N°031-2014-ANA-DGCRH-GOCRH, <sup>4</sup>Informe de ensayo N° 093153-2015, reportado en el informe técnico N°078-2015-ANA-DGCRH-GOCRH, <sup>5</sup>Informe técnico N°325-2016-ANA-AAA- XIII MDD/SDGCRH, <sup>6</sup>Informe técnico N°062-2017-ANA-AAA- XIII MDD/SDGCRH, <sup>7</sup>Informe de ensayo N° 57062-2017, reportado en el informe técnico N°015-2018-JRMP, <sup>8</sup>Informe de ensayo N° 27618-2018, reportado en el informe técnico N°025-2018-JRMP, <sup>9</sup>Informe de ensayo N° 69719-2018, reportado en el informe técnico N°060-2019-ANA-AAA.MDD-AT/HLH, <sup>10</sup>Informe de ensayo N° 76069-2019, reportado en el informe técnico N° 074-2019-ANA-AAA.MDD-AT/HLH, <sup>11</sup>Informe de ensayo N° 54497-2019, reportado en el informe técnico N°071-2020-ANA-AAA.MDD-AT/HLH.

### 5.3 Estimación del nivel de fondo

#### 5.3.1 Identificación de las concentraciones de metales y metaloide

En el Anexo 2 se presenta la guía de análisis documental para identificar las concentraciones utilizadas para la estimación del nivel de fondo. Los datos recolectados del informe técnico de monitoreo de sedimentos se presentan en la Tabla 18 y Tabla 19.

**Tabla 18***Ubicación de puntos de muestreados para el cálculo del nivel de fondo.*

Nº	Periodo	Código	Este (UTM WGS 84 19L)	Norte (UTM WGS 84 19L)
1	2016-2	RMadr15	257037	8599864
2	2016-2	RMadr12	289047	8637947
3	2016-2	RManu3	210542	8706682
4	2016-2	RPana1	246122	8677947
5	2016-2	QPach1	249157	8679531
6	2016-2	RManu 1	277812	8655207
7	2016-2	RPinq 1	276977	8650855
8	2016-2	RAzul 1	304822	8605800
9	2016-2	RChil 1	303152	8609143
10	2016-2	RChil 2	307844	8609998

Nota: Informe técnico N°062-2017-ANA-AAA- XIII MDD/SDGCRH.

**Tabla 19***Concentración de elementos para el cálculo del nivel de fondo.*

Nº	Código	Arsénico (mg/Kg)	Cadmio (mg/Kg)	Cobre (mg/Kg)	Cromo (mg/Kg)	Mercurio (mg/Kg)	Plomo (mg/Kg)	Zinc (mg/Kg)
1	RMadr15	6	1	18.4	12.6	0.03	11	51
2	RMadr12	8	2.1	20.4	16.6	0.016	12	66
3	RManu3	8	1.9	14.8	14.2	0.023	14	58
4	RPana1	4	0.9	7.5	7.5	0.015	9	28
5	QPach1	16	2.2	16.6	15.8	0.024	17	62
6	RManu 1	5	1.2	7.5	9.53	0.011	9	39
7	RPinq 1	7	1.6	12.9	11.9	0.018	14	44
8	RAzul 1	7	2	22.5	20.8	0.013	10	60
9	RChil 1	4	1.7	15	18.3	0.014	9	52
10	RChil 2	6	2.3	24.4	23.7	0.022	13	69

Nota: Informe técnico N°062-2017-ANA-AAA- XIII MDD/SDGCRH.

**5.3.2 Cumplimiento de criterios del MINAM y la U.S. EPA**

En la Tabla 20 se muestra un cuadro comparativo de los criterios establecidos por la U.S. EPA (1995) para determinar los puntos a muestrear para la estimación del nivel de fondo.

**Tabla 20***Comparación con criterios U.S. EPA.*

Criterios para determinar el nivel de fondo (U.S. EPA,1995)	Muestras de nivel de fondo	Muestras contaminadas
--	----------------------------	-----------------------

1. Recolectado corriente arriba del sitio contaminado en un área no afectada por la fuente contaminada.	Muestras recolectas de la Intercuenca Alto Madre de Dios, ubicada aguas arriba, en zona no afectada por la actividad minera según la ZEE.	Muestras recolectas de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, ubicada zona afectada por la actividad minera según la ZEE.
2. Recolectado al mismo tiempo que se muestra el sedimento contaminado	Muestras tomadas en 2016	Muestras tomadas del 2013 al 2020
3. Tener el tamaño de la partícula y concentración de carbono orgánico similar.	Sin información	Sin información
4. Recolectado usando equipo de muestreo idóneo.	Se utilizó el Procedimiento para Muestreo de Aguas y Sedimento" del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de la República de Colombia	Se utilizó el Procedimiento para Muestreo de Aguas y Sedimento" del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de la República de Colombia
5. Recolectados utilizando el mismo diseño de muestreo basado en estadísticas (es decir, números y configuración) y procedimientos de manejo de composición (si corresponde)	El muestreo es no probabilístico debido a que se toma como criterio la experiencia de especialistas a cargo en los monitoreos.	El muestreo es no probabilístico debido a que se toma como criterio la experiencia de especialistas a cargo en los monitoreos.

Nota: Criterios para la estimación del nivel de fondo según U.S. EPA (1995)

En la Tabla 21 se muestra un cuadro comparativo de los criterios establecidos por la MINAM (2014) para determinar los puntos a muestrear para la estimación del nivel de fondo, que para la presente investigación se tomaron como referencia debido a que en el Perú aún no se desarrollan criterios para determinar el nivel de fondo en sedimentos.

**Tabla 21**

*Comparación criterios MINAM.*

<b>Criterios para determinar el nivel de fondo (MINAM, 2014)</b>	<b>Muestras de nivel de fondo</b>	<b>Muestras contaminadas</b>
a) El sitio de muestreo deberá estar fuera del sitio o predio en estudio y no debe estar demasiado alejado del mismo.	Muestras recolectas de la Intercuenca Alto Madre de Dios, ubicada aguas arriba, en zona no afectada por la actividad minera según la ZEE.	Muestras recolectas de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, ubicada en zona afectada por la actividad minera según la ZEE.
b) El sitio de muestreo deberá presentar una orografía y geología similar al sitio en estudio; y debe de estar en la misma área climática y de vegetación.	Geología perteneciente unidad litoestratigráfica depósitos fluviales recientes. Clima húmedo, Topografía gran paisaje llanura aluvial (topografía relativamente plana a ligeramente inclinada (0 a 4 %).	Unidad litoestratigráfica depósitos fluviales recientes. Clima húmedo, Topografía gran paisaje llanura aluvial (topografía relativamente plana a ligeramente inclinada (0 a 4 %).

c) Las muestras para el nivel de fondo deben ser compuestas, recolectadas en un mínimo de tres áreas diferentes, pero con características similares al área de estudio.

Se recolectaron 10 muestras para el cálculo del nivel de fondo con características similares al área de estudio.

Se recolectaron entre 3 a 4 muestras por periodo evaluado.

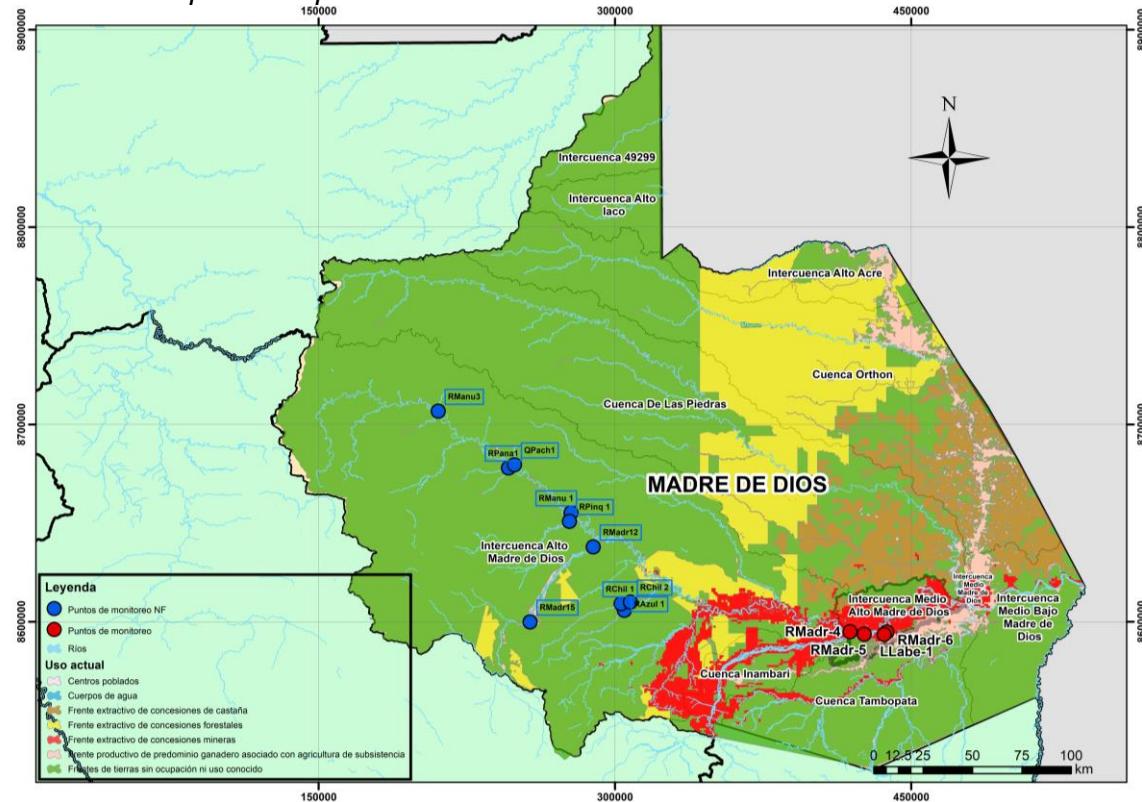
*Nota: Criterios para la estimación del nivel de fondo según MINAM (2014)*

### 5.3.3 Distribución espacial de puntos de monitoreo

En la Figura 11 se muestra la distribución espacial de puntos de monitoreo fuera de la actividad minera según la ZEE (2008).

**Figura 11**

*Distribución espacial de puntos de muestreados fuera de la actividad minera.*

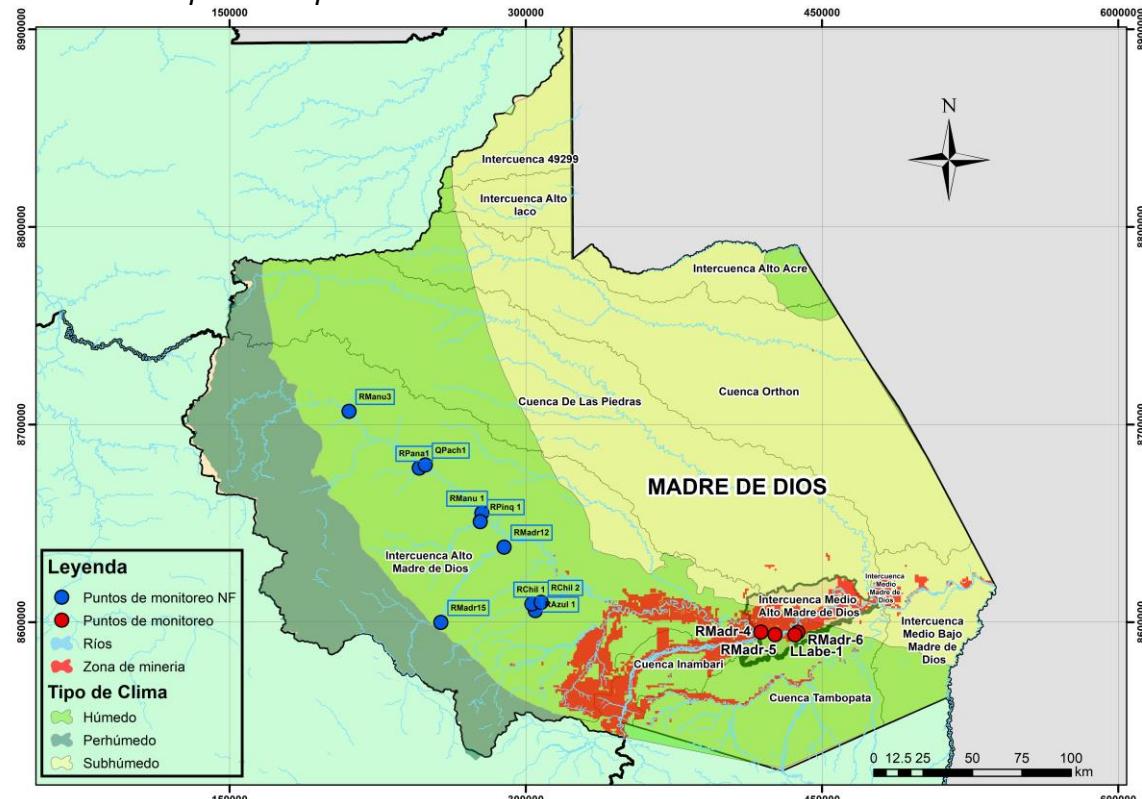


*Nota: Distribución espacial de los puntos muestreados para la estimación del nivel de fondo, no relacionados a la actividad minera*

En la Figura 12 se muestra la distribución espacial de puntos de muestreados ubicados en un Clima húmedo y depósitos fluviales según la ZEE (2008).

**Figura 12**

*Distribución espacial de puntos de muestreados en un clima húmedo.*

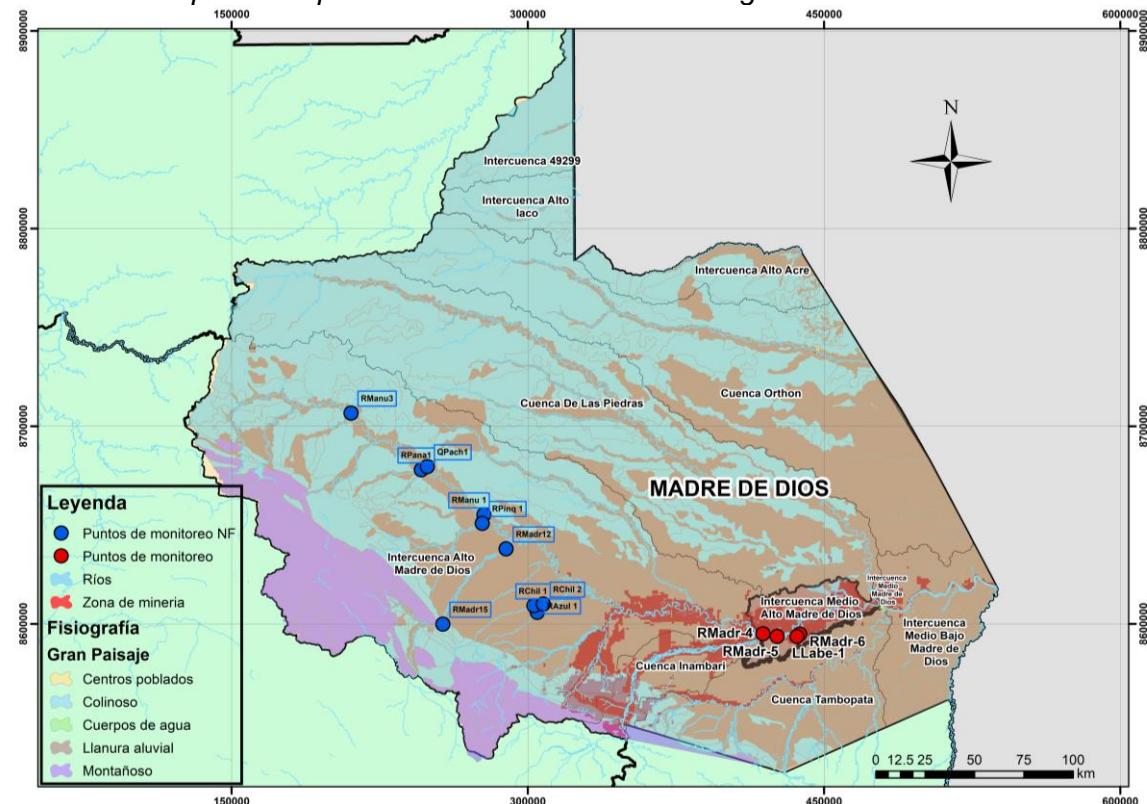


Nota: Distribución espacial de los puntos muestreados para la estimación del nivel de fondo con un clima húmedo.

En la Figura 13 se muestra la distribución espacial de puntos de muestreados que presentan una fisiografía de llanura aluvial según la ZEE (2008).

**Figura 13**

*Distribución espacial de puntos de muestreados con fisiografía llanura aluvial.*



Nota: Distribución espacial de los puntos muestreados para la estimación del nivel de fondo en la llanura aluvial.

### **5.3.4 Estimación del nivel de fondo y nivel de referencia**

Los valores utilizados para la estimación del nivel de fondo mediante en software Pro UCL 5.2 son los mostrados en la Tabla 19. Los resultados de la estadística aplicada mediante el Software Pro UCL 5.2 se muestran en el Anexo 4.

En la Tabla 22 se muestran los valores de fondo, considerados como el UCL 95, para los elementos analizados.

**Tabla 22**

*Nivel de fondo y referencia.*

Elemento	Nivel de fondo UCL 95 (mg/Kg)	Nivel de referencia UTL 95-95 (mg/Kg)
Arsénico	8.893	16
Cadmio	1.952	2.3
Cobre	18.98	24.4

Cromo	17.7	23.7
Mercurio	0.0217	0.03
Plomo	13.2	17
Zinc	59.59	69
Aluminio	9243	12350

Nota: Estimación mediante el Software Pro UCL 5.2

#### 5.4 Comparación con los niveles de fondo

En la Tabla 23 se muestran valores de concentraciones de metales y metaloide en sedimentos de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, comparados con los niveles de fondo (NF) estimado.

**Tabla 23**

*Comparaciones entre el NF y las concentraciones de metales y metaloide durante el 2013-2020.*

Nº	Código	Arsénico (mg/Kg)	Cadmio (mg/Kg)	Cobre (mg/Kg)	Cromo (mg/Kg)	Mercurio (mg/Kg)	Plomo (mg/Kg)	Zinc (mg/Kg)
2013-2	RMadr-4	< 0.8	17.97	37.23	19.24	0.324	12.22	77.9
2013-2	RMadr-5	< 0.8	17.58	39.23	18.03	0.273	11.03	72.6
2013-2	RMadr-6	< 0.8	17.09	39.74	17.61	0.067	10.46	71
2014-1	RMadr-4	1.6	1.61	19.37	13.47	< 0.06	8.59	42.2
2014-1	RMadr-5	10.5	1.99	26.84	15.2	< 0.06	7.74	43.3
2014-1	LLabe-1	3.5	1.8	27.72	16.33	< 0.06	9.62	46.8
2014-1	RMadr-6	7.9	2.22	31.34	17.36	< 0.06	11.44	54
2014-2	RMadr-4	5.2	3.16	26.53	16.01	< 0.06	9.01	45.1
2014-2	RMadr-5	13.1	3.96	32.61	17.69	< 0.06	9.88	53.4
2014-2	LLabe-1	5.5	4.09	34.49	19.66	< 0.06	11.08	56.5
2014-2	RMadr-6	4.7	4.13	32.4	19.94	< 0.06	11.31	57.5
2015-1	RMadr-4	3.6	5	24.27	18.34	< 0.1	10.39	48.9
2015-1	RMadr-5	7.2	5.5	32.51	19.11	< 0.1	12.06	53.6
2015-1	LLabe-1	9	5.4	25.41	17.27	< 0.1	10.97	53.4
2015-1	RMadr-6	14.1	5.2	29.33	16.77	< 0.1	10.84	52.6
2016-1	RMadr-4	< 3	1.6	11.9	7.3	0.013	6	25
2016-1	RMadr-5	< 3	2.3	21.7	10.2	0.017	8	38
2016-1	LLabe-1	11	1.7	20	8.6	0.023	8	34
2016-1	RMadr-6	11	2.6	23.8	12	0.029	9	37

2016-2	RMadr-4	4	1.1	21.7	20.5	0.062	11	52
2016-2	RMadr-5	10	0.9	21	19	0.093	7	45
2016-2	RMadr-6	11	1.2	23.3	22.2	0.119	10	52
2017-2	RMadr-4	< 3.5	< 0.5	27.9	24.7	0.05	12	73.7
2017-2	RMadr-5	< 3.5	< 0.5	26.1	22.7	0.05	11	66.1
2017-2	LLabe-1	< 3.5	< 0.5	6	11	0.02	< 2	54.7
2017-2	RMadr-6	20.5	< 0.5	32	23.6	0.1	< 2	69.1
2018-1	RMadr-4	< 3.5	< 0.5	32.3	28.7	0.04	24	88.8
2018-1	RMadr-5	< 3.5	< 0.5	42.6	33.3	0.04	14	94.8
2018-1	LLabe-1	< 3.5	< 0.5	30.6	29.3	0.04	17	92
2018-1	RMadr-6	< 3.5	< 0.5	26.7	24.1	0.05	15	71
2018-2	RMadr-4	< 3.5	< 0.5	23.8	19.4	0.03	< 2	55.2
2018-2	RMadr-5	< 3.5	< 0.5	27.7	20.6	0.05	11	59.8
2018-2	LLabe-1	15.3	< 0.5	40.2	24.8	0.07	17	82.2
2018-2	RMadr-6	18	< 0.5	34.5	23.3	0.07	14	75
2019-2	RMadr-4	< 3.6	< 0.3	34	29	0.03	12	74
2019-2	RMadr-5	< 3.6	< 0.3	30	22	0.05	9	62
2019-2	RMadr-6	< 3.6	< 0.3	20	19	0.02	7	52
2020-2	RMadr-4	< 3.6	< 0.3	21.3	22.9	0.04	10.2	63.3
2020-2	RMadr-5	21.8	< 0.3	36.9	29.9	0.07	10.9	78.4
2020-2	RMadr-6	< 3.6	< 0.3	23.2	25.9	0.02	10.9	70.2
NF		8.893	1.952	18.98	17.7	0.0217	13.2	59.59

Nota:  Supera el nivel de fondo (NF)

Informe de ensayo N° 131846, reportado en el informe técnico N° 021-2013-ANA-DGRH/RATQ, Informe de ensayo N° 082065-2014, reportado en el informe técnico N°056-2014-ANA-DGCRH-VIG, Informe de ensayo N° 084840-2014, reportado en el informe técnico N°031-2014-ANA-DGCRH-GOCRH, Informe de ensayo N° 093153-2015, reportado en el informe técnico N°078-2015-ANA-DGCRH-GOCRH, Informe técnico N°325-2016-ANA-AAA- XIII MDD/SDGCRH, Informe técnico N°062-2017-ANA-AAA- XIII MDD/SDGCRH, Informe de ensayo N° 57062-2017, reportado en el informe técnico N°015-2018-JRMP, Informe de ensayo N° 27618-2018, reportado en el informe técnico N°025-2018-JRMP, Informe de ensayo N° 69719-2018, reportado en el informe técnico N°060-2019-ANA-AAA.MDD-AT/HLH, Informe de ensayo N° 76069-2019, reportado en el informe técnico N° 074-2019-ANA-AAA.MDD-AT/HLH, Informe de ensayo N° 54497-2019, reportado en el informe técnico N°071-2020-ANA-AAA.MDD-AT/HLH.

## 5.5 Comparación con estándares internacionales

### 5.5.1 Comparación con las directrices canadienses

En la Tabla 24 se muestran valores de concentraciones de metales y metaloide en sedimentos de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, comparados con las directrices canadiense de calidad de sedimento para la protección de la vida acuática (ISQG y PEL).

**Tabla 24**

Comparaciones con el ISQG y PEL con las concentraciones de metales y metaloide durante el 2013-2020.

Nº	Código	Arsénico (mg/Kg)	Cadmio (mg/Kg)	Cobre (mg/Kg)	Cromo (mg/Kg)	Mercurio (mg/Kg)	Pbomo (mg/Kg)	Zinc (mg/Kg)
2013-2	RMadr-4	< 0.8	17.97	37.23	19.24	0.324	12.22	77.9
2013-2	RMadr-5	< 0.8	17.58	39.23	18.03	0.273	11.03	72.6
2013-2	RMadr-6	< 0.8	17.09	39.74	17.61	0.067	10.46	71
2014-1	RMadr-4	1.6	1.61	19.37	13.47	< 0.06	8.59	42.2
2014-1	RMadr-5	10.5	1.99	26.84	15.2	< 0.06	7.74	43.3
2014-1	LLabe-1	3.5	1.8	27.72	16.33	< 0.06	9.62	46.8
2014-1	RMadr-6	7.9	2.22	31.34	17.36	< 0.06	11.44	54
2014-2	RMadr-4	5.2	3.16	26.53	16.01	< 0.06	9.01	45.1
2014-2	RMadr-5	13.1	3.96	32.61	17.69	< 0.06	9.88	53.4
2014-2	LLabe-1	5.5	4.09	34.49	19.66	< 0.06	11.08	56.5
2014-2	RMadr-6	4.7	4.13	32.4	19.94	< 0.06	11.31	57.5
2015-1	RMadr-4	3.6	5	24.27	18.34	< 0.1	10.39	48.9
2015-1	RMadr-5	7.2	5.5	32.51	19.11	< 0.1	12.06	53.6
2015-1	LLabe-1	9	5.4	25.41	17.27	< 0.1	10.97	53.4
2015-1	RMadr-6	14.1	5.2	29.33	16.77	< 0.1	10.84	52.6
2016-1	RMadr-4	< 3	1.6	11.9	7.3	0.013	6	25
2016-1	RMadr-5	< 3	2.3	21.7	10.2	0.017	8	38
2016-1	LLabe-1	11	1.7	20	8.6	0.023	8	34
2016-1	RMadr-6	11	2.6	23.8	12	0.029	9	37
2016-2	RMadr-4	4	1.1	21.7	20.5	0.062	11	52
2016-2	RMadr-5	10	0.9	21	19	0.093	7	45
2016-2	RMadr-6	11	1.2	23.3	22.2	0.119	10	52
2017-2	RMadr-4	< 3.5	< 0.5	27.9	24.7	0.05	12	73.7
2017-2	RMadr-5	< 3.5	< 0.5	26.1	22.7	0.05	11	66.1
2017-2	LLabe-1	< 3.5	< 0.5	6	11	0.02	< 2	54.7
2017-2	RMadr-6	20.5	< 0.5	32	23.6	0.1	< 2	69.1
2018-1	RMadr-4	< 3.5	< 0.5	32.3	28.7	0.04	24	88.8
2018-1	RMadr-5	< 3.5	< 0.5	42.6	33.3	0.04	14	94.8
2018-1	LLabe-1	< 3.5	< 0.5	30.6	29.3	0.04	17	92
2018-1	RMadr-6	< 3.5	< 0.5	26.7	24.1	0.05	15	71
2018-2	RMadr-4	< 3.5	< 0.5	23.8	19.4	0.03	< 2	55.2
2018-2	RMadr-5	< 3.5	< 0.5	27.7	20.6	0.05	11	59.8
2018-2	LLabe-1	15.3	< 0.5	40.2	24.8	0.07	17	82.2

2018-2	RMadr-6	18	< 0.5	34.5	23.3	0.07	14	75
2019-2	RMadr-4	< 3.6	< 0.3	34	29	0.03	12	74
2019-2	RMadr-5	< 3.6	< 0.3	30	22	0.05	9	62
2019-2	RMadr-6	< 3.6	< 0.3	20	19	0.02	7	52
2020-2	RMadr-4	< 3.6	< 0.3	21.3	22.9	0.04	10.2	63.3
2020-2	RMadr-5	21.8	< 0.3	36.9	29.9	0.07	10.9	78.4
2020-2	RMadr-6	< 3.6	< 0.3	23.2	25.9	0.02	10.9	70.2
ISQG		5.9	0.6	35.7	37.3	0.17	35	123
PEL		17	3.5	197	90	0.486	91.3	315

Nota:  Supera el ISQG,  Supera el PEL

Informe de ensayo N° 131846, reportado en el informe técnico N° 021-2013-ANA-DGRH/RATQ, Informe de ensayo N° 082065-2014, reportado en el informe técnico N°056-2014-ANA-DGCRH-VIG, Informe de ensayo N° 084840-2014, reportado en el informe técnico N°031-2014-ANA-DGCRH-GOCRH, Informe de ensayo N° 093153-2015, reportado en el informe técnico N°078-2015-ANA-DGCRH-GOCRH, Informe técnico N°325-2016-ANA-AAA- XIII MDD/SDGCRH, Informe técnico N°062-2017-ANA-AAA- XIII MDD/SDGCRH, Informe de ensayo N° 57062-2017, reportado en el informe técnico N°015-2018-JRMP, Informe de ensayo N° 27618-2018, reportado en el informe técnico N°025-2018-JRMP, Informe de ensayo N° 69719-2018, reportado en el informe técnico N°060-2019-ANA-AAA.MDD-AT/HLH, Informe de ensayo N° 76069-2019, reportado en el informe técnico N° 074-2019-ANA-AAA.MDD-AT/HLH, Informe de ensayo N° 54497-2019, reportado en el informe técnico N°071-2020-ANA-AAA.MDD-AT/HLH.

### 5.5.2 Comparación con las directrices basadas en consenso

En la Tabla 25 se muestran valores de concentraciones de metales y metaloide en sedimentos de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, comparados con las directrices de calidad de sedimentos basadas en consenso (TEC y PEC).

**Tabla 25**

*Comparaciones con el TEC y PEC con las concentraciones de metales y metaloide durante el 2013-2020.*

N°	Código	Arsénico (mg/Kg)	Cadmio (mg/Kg)	Cobre (mg/Kg)	Cromo (mg/Kg)	Mercurio (mg/Kg)	Pb (mg/Kg)	Zinc (mg/Kg)
2013-2	RMadr-4	< 0.8	17.97	37.23	19.24	0.324	12.22	77.9
2013-2	RMadr-5	< 0.8	17.58	39.23	18.03	0.273	11.03	72.6
2013-2	RMadr-6	< 0.8	17.09	39.74	17.61	0.067	10.46	71
2014-1	RMadr-4	1.6	1.61	19.37	13.47	< 0.06	8.59	42.2
2014-1	RMadr-5	10.5	1.99	26.84	15.2	< 0.06	7.74	43.3
2014-1	LLabe-1	3.5	1.8	27.72	16.33	< 0.06	9.62	46.8
2014-1	RMadr-6	7.9	2.22	31.34	17.36	< 0.06	11.44	54
2014-2	RMadr-4	5.2	3.16	26.53	16.01	< 0.06	9.01	45.1
2014-2	RMadr-5	13.1	3.96	32.61	17.69	< 0.06	9.88	53.4

2014-2	LLabe-1	5.5	4.09	34.49	19.66	< 0.06	11.08	56.5
2014-2	RMadr-6	4.7	4.13	32.4	19.94	< 0.06	11.31	57.5
2015-1	RMadr-4	3.6	5	24.27	18.34	< 0.1	10.39	48.9
2015-1	RMadr-5	7.2	5.5	32.51	19.11	< 0.1	12.06	53.6
2015-1	LLabe-1	9	5.4	25.41	17.27	< 0.1	10.97	53.4
2015-1	RMadr-6	14.1	5.2	29.33	16.77	< 0.1	10.84	52.6
2016-1	RMadr-4	< 3	1.6	11.9	7.3	0.013	6	25
2016-1	RMadr-5	< 3	2.3	21.7	10.2	0.017	8	38
2016-1	LLabe-1	11	1.7	20	8.6	0.023	8	34
2016-1	RMadr-6	11	2.6	23.8	12	0.029	9	37
2016-2	RMadr-4	4	1.1	21.7	20.5	0.062	11	52
2016-2	RMadr-5	10	0.9	21	19	0.093	7	45
2016-2	RMadr-6	11	1.2	23.3	22.2	0.119	10	52
2017-2	RMadr-4	< 3.5	< 0.5	27.9	24.7	0.05	12	73.7
2017-2	RMadr-5	< 3.5	< 0.5	26.1	22.7	0.05	11	66.1
2017-2	LLabe-1	< 3.5	< 0.5	6	11	0.02	< 2	54.7
2017-2	RMadr-6	20.5	< 0.5	32	23.6	0.1	< 2	69.1
2018-1	RMadr-4	< 3.5	< 0.5	32.3	28.7	0.04	24	88.8
2018-1	RMadr-5	< 3.5	< 0.5	42.6	33.3	0.04	14	94.8
2018-1	LLabe-1	< 3.5	< 0.5	30.6	29.3	0.04	17	92
2018-1	RMadr-6	< 3.5	< 0.5	26.7	24.1	0.05	15	71
2018-2	RMadr-4	< 3.5	< 0.5	23.8	19.4	0.03	< 2	55.2
2018-2	RMadr-5	< 3.5	< 0.5	27.7	20.6	0.05	11	59.8
2018-2	LLabe-1	15.3	< 0.5	40.2	24.8	0.07	17	82.2
2018-2	RMadr-6	18	< 0.5	34.5	23.3	0.07	14	75
2019-2	RMadr-4	< 3.6	< 0.3	34	29	0.03	12	74
2019-2	RMadr-5	< 3.6	< 0.3	30	22	0.05	9	62
2019-2	RMadr-6	< 3.6	< 0.3	20	19	0.02	7	52
2020-2	RMadr-4	< 3.6	< 0.3	21.3	22.9	0.04	10.2	63.3
2020-2	RMadr-5	21.8	< 0.3	36.9	29.9	0.07	10.9	78.4
2020-2	RMadr-6	< 3.6	< 0.3	23.2	25.9	0.02	10.9	70.2
TEC		9.79	0.99	31.6	43.4	0.18	35.8	121
PEL		33	4.98	149	111	1.06	128	459

Nota:  Supera el TEC,  Supera el PEC

Informe de ensayo N° 131846, reportado en el informe técnico N° 021-2013-ANA-DGRH/RATQ, Informe de ensayo N° 082065-2014, reportado en el informe técnico N°056-2014-ANA-DGCRH-VIG, Informe de ensayo N° 084840-2014, reportado en el informe técnico N°031-2014-ANA-DGCRH-GOCRH, Informe de ensayo N° 093153-2015, reportado en el informe técnico N°078-2015-ANA-DGCRH-GOCRH, Informe técnico N°325-2016-ANA-AAA- XIII MDD/SDGCRH, Informe técnico N°062-2017-ANA-AAA- XIII MDD/SDGCRH, Informe de ensayo N° 57062-2017, reportado en el informe técnico N°015-2018-JRMP, Informe de ensayo N° 27618-2018, reportado en el informe técnico N°025-2018-JRMP, Informe de ensayo N° 69719-2018, reportado en el informe técnico N°060-2019-ANA-AAA.MDD-AT/HLH, Informe de ensayo N° 76069-2019, reportado en el informe

técnico N° 074-2019-ANA-AAA.MDD-AT/HLH, Informe de ensayo N° 54497-2019, reportado en el informe técnico N°071-2020-ANA-AAA.MDD-AT/HLH.

## 5.6 Cálculo de índices de calidad de sedimentos

### 5.6.1 Índices individuales

#### 5.6.1.1 Índice de geoacumulación (Igeo)

En la siguiente Tabla 26 y Tabla 27 se muestran los resultados y la interpretación respectivamente del cálculo del Igeo.

**Tabla 26**

*Resultados del Igeo de los metales y metaloide analizados durante el 2013-2020.*

Periodo	Código	Igeo (As)	Igeo (Cd)	Igeo (Cu)	Igeo (Cr)	Igeo (Hg)	Igeo (Pb)	Igeo (Zn)
2013-2	RMadr-4	N.D.	2.6	0.4	-0.5	3.3	-0.7	-0.2
	RMadr-5	N.D.	2.6	0.5	-0.6	3.1	-0.8	-0.3
	RMadr-6	N.D.	2.5	0.5	-0.6	1.0	-0.9	-0.3
2014-1	RMadr-4	-3.1	-0.9	-0.6	-1.0	N.D.	-1.2	-1.1
	RMadr-5	-0.3	-0.6	-0.1	-0.8	N.D.	-1.4	-1.0
	LLabe-1	-1.9	-0.7	0.0	-0.7	N.D.	-1.0	-0.9
2014-2	RMadr-6	-0.8	-0.4	0.1	-0.6	N.D.	-0.8	-0.7
	RMadr-4	-1.4	0.1	-0.1	-0.7	N.D.	-1.1	-1.0
	RMadr-5	0.0	0.4	0.2	-0.6	N.D.	-1.0	-0.7
2015-1	LLabe-1	-1.3	0.5	0.3	-0.4	N.D.	-0.8	-0.7
	RMadr-6	-1.5	0.5	0.2	-0.4	N.D.	-0.8	-0.6
	RMadr-4	-1.9	0.8	-0.2	-0.5	N.D.	-0.9	-0.9
2015-1	RMadr-5	-0.9	0.9	0.2	-0.5	N.D.	-0.7	-0.7
	LLabe-1	-0.6	0.9	-0.2	-0.6	N.D.	-0.9	-0.7
	RMadr-6	0.1	0.8	0.0	-0.7	N.D.	-0.9	-0.8
2016-1	RMadr-4	N.D.	-0.9	-1.3	-1.9	-1.3	-1.7	-1.8
	RMadr-5	N.D.	-0.3	-0.4	-1.4	-0.9	-1.3	-1.2
	LLabe-1	-0.3	-0.8	-0.5	-1.6	-0.5	-1.3	-1.4

	RMadr-6	-0.3	-0.2	-0.3	-1.1	-0.2	-1.1	-1.3
2016-2	RMadr-4	-1.7	-1.4	-0.4	-0.4	0.9	-0.8	-0.8
	RMadr-5	-0.4	-1.7	-0.4	-0.5	1.5	-1.5	-1.0
	RMadr-6	-0.3	-1.3	-0.3	-0.3	1.9	-1.0	-0.8
	RMadr-4	N.D.	N.D.	0.0	-0.1	0.6	-0.7	-0.3
2017-2	RMadr-5	N.D.	N.D.	-0.1	-0.2	0.6	-0.8	-0.4
	LLabe-1	N.D.	N.D.	-2.2	-1.3	-0.7	N.D.	-0.7
	RMadr-6	0.6	N.D.	0.2	-0.2	1.6	N.D.	-0.4
	RMadr-4	N.D.	N.D.	0.2	0.1	0.3	0.3	0.0
2018-1	RMadr-5	N.D.	N.D.	0.6	0.3	0.3	-0.5	0.1
	LLabe-1	N.D.	N.D.	0.1	0.1	0.3	-0.2	0.0
	RMadr-6	N.D.	N.D.	-0.1	-0.1	0.6	-0.4	-0.3
	RMadr-4	N.D.	N.D.	-0.3	-0.5	-0.1	N.D.	-0.7
2018-2	RMadr-5	N.D.	N.D.	0.0	-0.4	0.6	-0.8	-0.6
	LLabe-1	0.2	N.D.	0.5	-0.1	1.1	-0.2	-0.1
	RMadr-6	0.4	N.D.	0.3	-0.2	1.1	-0.5	-0.3
	RMadr-4	N.D.	N.D.	0.3	0.1	-0.1	-0.7	-0.3
2019-2	RMadr-5	N.D.	N.D.	0.1	-0.3	0.6	-1.1	-0.5
	RMadr-6	N.D.	N.D.	-0.5	-0.5	-0.7	-1.5	-0.8
	RMadr-4	N.D.	N.D.	-0.4	-0.2	0.3	-1.0	-0.5
	RMadr-5	0.7	N.D.	0.4	0.2	1.1	-0.9	-0.2
2020-2	RMadr-6	N.D.	N.D.	-0.3	0.0	-0.7	-0.9	-0.3

Nota: N.D.: Valor no detectado por el laboratorio.

**Tabla 27**

*Interpretación de resultados del Igeo de los metales y metaloide analizados durante el 2013-2020.*

Período Códiao	Igeo (As)	Igeo (Cd)	Igeo (Cu)	Igeo (Cr)	Igeo (Hg)	Igeo (Pb)	Igeo (Zn)

2013-2	RMadr-4	No contaminado (N.D.)	Moderadamente a fuertemente contaminado	No contaminado o a moderadamente contaminado	No contaminado	Fuertemente contaminado	No contaminado	No contaminado
	RMadr-5	No contaminado (N.D.)	Moderadamente a fuertemente contaminado	No contaminado o a moderadamente contaminado	No contaminado	Fuertemente contaminado	No contaminado	No contaminado
2014-1	RMadr-6	No contaminado (N.D.)	Moderadamente a fuertemente contaminado	No contaminado o a moderadamente contaminado	No contaminado	Moderadamente contaminado	No contaminado	No contaminado
	RMadr-4	No contaminado	No contaminado	No contaminado	No contaminado	No contaminado (N.D.)	No contaminado	No contaminado
2014-2	RMadr-5	No contaminado	No contaminado	No contaminado	No contaminado	No contaminado (N.D.)	No contaminado	No contaminado
	LLabe-1	No contaminado	No contaminado	No contaminado	No contaminado	No contaminado (N.D.)	No contaminado	No contaminado
2014-3	RMadr-6	No contaminado	No contaminado	No contaminado o a moderadamente contaminado	No contaminado	No contaminado (N.D.)	No contaminado	No contaminado
	RMadr-4	No contaminado	No contaminado o a moderadamente contaminado	No contaminado	No contaminado	No contaminado (N.D.)	No contaminado	No contaminado
2014-4	RMadr-5	No contaminado	No contaminado o a moderadamente contaminado	No contaminado o a moderadamente contaminado	No contaminado	No contaminado (N.D.)	No contaminado	No contaminado
	LLabe-1	No contaminado	No contaminado o a moderadamente contaminado	No contaminado o a moderadamente contaminado	No contaminado	No contaminado (N.D.)	No contaminado	No contaminado



	No contaminado	No contaminado	No contaminado	No contaminado	Moderadamente contaminado	No contaminado	No contaminado
RMadr-6	No contaminado	No contaminado	No contaminado	No contaminado	Moderadamente contaminado	No contaminado	No contaminado
RMadr-4	No contaminado (N.D.)	No contaminado (N.D.)	No contaminado	No contaminado	No contaminado a moderadamente contaminado	No contaminado	No contaminado
2017-2	No contaminado (N.D.)	No contaminado (N.D.)	No contaminado	No contaminado	No contaminado a moderadamente contaminado	No contaminado	No contaminado
LLabe-1	No contaminado (N.D.)	No contaminado (N.D.)	No contaminado	No contaminado	No contaminado	No contaminado (N.D.)	No contaminado
RMadr-6	No contaminado a moderadamente contaminado	No contaminado (N.D.)	No contaminado a moderadamente contaminado	No contaminado	Moderadamente contaminado	No contaminado (N.D.)	No contaminado
RMadr-4	No contaminado (N.D.)	No contaminado (N.D.)	No contaminado a moderadamente contaminado	No contaminado			
2018-1	No contaminado (N.D.)	No contaminado (N.D.)	No contaminado a moderadamente contaminado	No contaminado a moderadamente contaminado	No contaminado a moderadamente contaminado	No contaminado (N.D.)	No contaminado a moderadamente contaminado
LLabe-1	No contaminado (N.D.)	No contaminado (N.D.)	No contaminado a moderadamente contaminado	No contaminado a moderadamente contaminado	No contaminado a moderadamente contaminado	No contaminado	No contaminado a moderadamente contaminado
RMadr-6	No contaminado (N.D.)	No contaminado (N.D.)	No contaminado	No contaminado	No contaminado a moderadamente contaminado	No contaminado	No contaminado

	No contaminado (N.D.)	No contaminado (N.D.)	No contaminado	No contaminado	No contaminado	No contaminado (N.D.)	No contaminado
	No contaminado (N.D.)	No contaminado (N.D.)	No contaminado	No contaminado	No contaminado a moderadamente contaminado	No contaminado	No contaminado
2018-2	No contaminado a moderadamente contaminado	No contaminado (N.D.)	No contaminado a moderadamente contaminado	No contaminado	Moderadamente contaminado	No contaminado	No contaminado
	No contaminado a moderadamente contaminado	No contaminado (N.D.)	No contaminado a moderadamente contaminado	No contaminado	Moderadamente contaminado	No contaminado	No contaminado
	No contaminado (N.D.)	No contaminado (N.D.)	No contaminado a moderadamente contaminado	No contaminado a moderadamente contaminado	No contaminado	No contaminado	No contaminado
	No contaminado (N.D.)	No contaminado (N.D.)	No contaminado a moderadamente contaminado	No contaminado a moderadamente contaminado	No contaminado	No contaminado	No contaminado
2019-2	No contaminado (N.D.)	No contaminado (N.D.)	No contaminado a moderadamente contaminado	No contaminado a moderadamente contaminado	No contaminado a moderadamente contaminado	No contaminado	No contaminado
	No contaminado (N.D.)	No contaminado (N.D.)	No contaminado	No contaminado	No contaminado	No contaminado	No contaminado
	No contaminado (N.D.)	No contaminado (N.D.)	No contaminado	No contaminado	No contaminado	No contaminado	No contaminado
2020-2	No contaminado a moderadamente contaminado	No contaminado (N.D.)	No contaminado a moderadamente contaminado	No contaminado a moderadamente contaminado	Moderadamente contaminado	No contaminado	No contaminado
	No contaminado (N.D.)	No contaminado (N.D.)	No contaminado	No contaminado	No contaminado	No contaminado	No contaminado

Nota: N.D.: Valor no detectado por el laboratorio.

### 5.6.1.2 Factor de Enriquecimiento (EF)

En la siguiente Tabla 28 y Tabla 29 se muestran los resultados y la interpretación respectivamente del cálculo del EF.

**Tabla 28**

*Resultados del EF de los metales y metaloide analizados durante el 2013-2020.*

Periodo	Código	EF (As)	EF (Cd)	EF (Cu)	EF (Cr)	EF (Hg)	EF (Pb)	EF (Zn)
2013-2	RMadr-4	N.D.	7.1	1.5	0.8	11.5	0.7	1.0
	RMadr-5	N.D.	6.6	1.5	0.7	9.3	0.6	0.9
	RMadr-6	N.D.	6.7	1.6	0.8	2.4	0.6	0.9
2014-1	RMadr-4	0.3	1.2	1.5	1.1	N.D.	1.0	1.1
	RMadr-5	1.5	1.3	1.8	1.1	N.D.	0.7	0.9
	LLabe-1	0.5	1.1	1.7	1.1	N.D.	0.9	0.9
	RMadr-6	1.0	1.2	1.8	1.1	N.D.	0.9	1.0
2014-2	RMadr-4	0.6	1.6	1.4	0.9	N.D.	0.7	0.8
	RMadr-5	1.1	1.6	1.3	0.8	N.D.	0.6	0.7
	LLabe-1	0.5	1.5	1.3	0.8	N.D.	0.6	0.7
	RMadr-6	0.4	1.6	1.3	0.9	N.D.	0.7	0.7
2015-1	RMadr-4	0.4	2.3	1.1	0.9	N.D.	0.7	0.7
	RMadr-5	0.6	2.2	1.3	0.8	N.D.	0.7	0.7
	LLabe-1	0.8	2.1	1.0	0.7	N.D.	0.6	0.7
	RMadr-6	1.3	2.2	1.3	0.8	N.D.	0.7	0.7
2016-1	RMadr-4	N.D.	1.5	1.1	0.7	1.1	0.8	0.7
	RMadr-5	N.D.	3.7	3.5	1.8	2.4	1.9	2.0
	LLabe-1	2.5	1.8	2.1	1.0	2.1	1.2	1.2
	RMadr-6	2.2	2.4	2.2	1.2	2.4	1.2	1.1
2016-2	RMadr-4	0.5	0.6	1.2	1.2	3.0	0.9	0.9
	RMadr-5	1.1	0.5	1.1	1.1	4.2	0.5	0.7
	RMadr-6	1.1	0.5	1.1	1.1	4.7	0.7	0.8
2017-2	RMadr-4	N.D.	N.D.	0.9	0.9	1.4	0.6	0.8
	RMadr-5	N.D.	N.D.	0.9	0.9	1.5	0.6	0.7
	LLabe-1	N.D.	N.D.	0.5	0.9	1.4	N.D.	1.3
	RMadr-6	1.4	N.D.	1.0	0.8	2.7	N.D.	0.7
2018-1	RMadr-4	N.D.	N.D.	0.8	0.8	0.9	0.9	0.7
	RMadr-5	N.D.	N.D.	1.0	0.8	0.8	0.4	0.7
	LLabe-1	N.D.	N.D.	0.6	0.6	0.7	0.5	0.6
	RMadr-6	N.D.	N.D.	0.8	0.8	1.4	0.7	0.7

	RMadr-4	N.D.	N.D.	1.0	0.9	1.1	N.D.	0.8
	RMadr-5	N.D.	N.D.	1.0	0.8	1.6	0.6	0.7
	LLabe-1	0.9	N.D.	1.2	0.8	1.8	0.7	0.7
	RMadr-6	1.1	N.D.	1.0	0.7	1.8	0.6	0.7
2018-2	RMadr-4	N.D.	N.D.	0.9	0.8	0.7	0.5	0.6
	RMadr-5	N.D.	N.D.	0.9	0.7	1.4	0.4	0.6
	RMadr-6	N.D.	N.D.	0.8	0.8	0.7	0.4	0.7
2019-2	RMadr-4	N.D.	N.D.	0.9	1.1	1.5	0.6	0.9
	RMadr-5	1.4	N.D.	1.1	0.9	1.8	0.5	0.7
2020-2	RMadr-6	N.D.	N.D.	0.9	1.0	0.7	0.6	0.8

Nota: N.D.: Valor no detectado por el laboratorio.

**Tabla 29**

*Interpretación de resultados del EF de los metales y metaloide analizados durante el 2013-2020.*

Período Código	EF (As)	EF (Cd)	EF (Cu)	EF (Cr)	EF (Hg)	EF (Pb)	EF (Zn)
	Deficiencia de enriquecimiento (N.D.)	Enriquecimiento significativo	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento	Enriquecimiento significativo	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento
2013-2	Deficiencia de enriquecimiento (N.D.)	Enriquecimiento significativo	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento	Enriquecimiento significativo	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento
	Deficiencia de enriquecimiento (N.D.)	Enriquecimiento significativo	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento	Enriquecimiento moderado	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento
	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento (N.D.)	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento
2014-1	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento (N.D.)	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento
	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento
	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento (N.D.)	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento
	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento





	RMadr-6	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento (N.D.)	Deficiencia de enriquecimiento				
	RMadr-4	Deficiencia de enriquecimiento (N.D.)	Deficiencia de enriquecimiento (N.D.)	Deficiencia de enriquecimiento				
2019-2	RMadr-5	Deficiencia de enriquecimiento (N.D.)	Deficiencia de enriquecimiento (N.D.)	Deficiencia de enriquecimiento				
	RMadr-6	Deficiencia de enriquecimiento (N.D.)	Deficiencia de enriquecimiento (N.D.)	Deficiencia de enriquecimiento				
	RMadr-4	Deficiencia de enriquecimiento (N.D.)	Deficiencia de enriquecimiento (N.D.)	Deficiencia de enriquecimiento				
2020-2	RMadr-5	Deficiencia de enriquecimiento	Deficiencia de enriquecimiento (N.D.)	Deficiencia de enriquecimiento				
	RMadr-6	Deficiencia de enriquecimiento (N.D.)	Deficiencia de enriquecimiento (N.D.)	Deficiencia de enriquecimiento				

Nota: N.D.: Valor no detectado por el laboratorio.

### 5.6.1.3 Factor de Contaminación (Cf)

En la siguiente Tabla 30 y Tabla 31 se muestran los resultados y la interpretación respectivamente del cálculo del Cf.

**Tabla 30**

*Resultados del Cf de los metales y metaloide analizados durante el 2013-2020.*

Periodo	Código	Cf (As)	Cf (Cd)	Cf (Cu)	Cf (Cr)	Cf (Hg)	Cf (Pb)	Cf (Zn)
2013-2	RMadr-4	N.D.	9.2	2.0	1.1	14.9	0.9	1.3
	RMadr-5	N.D.	9.0	2.1	1.0	12.6	0.8	1.2
	RMadr-6	N.D.	8.8	2.1	1.0	3.1	0.8	1.2
2014-1	RMadr-4	0.2	0.8	1.0	0.8	N.D.	0.7	0.7
	RMadr-5	1.2	1.0	1.4	0.9	N.D.	0.6	0.7
	LLabe-1	0.4	0.9	1.5	0.9	N.D.	0.7	0.8
	RMadr-6	0.9	1.1	1.7	1.0	N.D.	0.9	0.9
2014-2	RMadr-4	0.6	1.6	1.4	0.9	N.D.	0.7	0.8

	RMadr-5	1.5	2.0	1.7	1.0	N.D.	0.7	0.9
	LLabe-1	0.6	2.1	1.8	1.1	N.D.	0.8	0.9
	RMadr-6	0.5	2.1	1.7	1.1	N.D.	0.9	1.0
2015-1	RMadr-4	0.4	2.6	1.3	1.0	N.D.	0.8	0.8
	RMadr-5	0.8	2.8	1.7	1.1	N.D.	0.9	0.9
	LLabe-1	1.0	2.8	1.3	1.0	N.D.	0.8	0.9
	RMadr-6	1.6	2.7	1.5	0.9	N.D.	0.8	0.9
2016-1	RMadr-4	N.D.	0.8	0.6	0.4	0.6	0.5	0.4
	RMadr-5	N.D.	1.2	1.1	0.6	0.8	0.6	0.6
	LLabe-1	1.2	0.9	1.1	0.5	1.1	0.6	0.6
	RMadr-6	1.2	1.3	1.3	0.7	1.3	0.7	0.6
2016-2	RMadr-4	0.4	0.6	1.1	1.2	2.9	0.8	0.9
	RMadr-5	1.1	0.5	1.1	1.1	4.3	0.5	0.8
	RMadr-6	1.2	0.6	1.2	1.3	5.5	0.8	0.9
2017-2	RMadr-4	N.D.	N.D.	1.5	1.4	2.3	0.9	1.2
	RMadr-5	N.D.	N.D.	1.4	1.3	2.3	0.8	1.1
	LLabe-1	N.D.	N.D.	0.3	0.6	0.9	N.D.	0.9
	RMadr-6	2.3	N.D.	1.7	1.3	4.6	N.D.	1.2
2018-1	RMadr-4	N.D.	N.D.	1.7	1.6	1.8	1.8	1.5
	RMadr-5	N.D.	N.D.	2.2	1.9	1.8	1.1	1.6
	LLabe-1	N.D.	N.D.	1.6	1.7	1.8	1.3	1.5
	RMadr-6	N.D.	N.D.	1.4	1.4	2.3	1.1	1.2
2018-2	RMadr-4	N.D.	N.D.	1.3	1.1	1.4	N.D.	0.9
	RMadr-5	N.D.	N.D.	1.5	1.2	2.3	0.8	1.0
	LLabe-1	1.7	N.D.	2.1	1.4	3.2	1.3	1.4
	RMadr-6	2.0	N.D.	1.8	1.3	3.2	1.1	1.3
2019-2	RMadr-4	N.D.	N.D.	1.8	1.6	1.4	0.9	1.2
	RMadr-5	N.D.	N.D.	1.6	1.2	2.3	0.7	1.0
	RMadr-6	N.D.	N.D.	1.1	1.1	0.9	0.5	0.9
2020-2	RMadr-4	N.D.	N.D.	1.1	1.3	1.8	0.8	1.1
	RMadr-5	2.5	N.D.	1.9	1.7	3.2	0.8	1.3
	RMadr-6	N.D.	N.D.	1.2	1.5	0.9	0.8	1.2

Nota: N.D.: Valor no detectado por el laboratorio.

**Tabla 31**

Interpretación de resultados del Cf de los metales y metaloide analizados durante el 2013-2020.

Período	Código	Cf (As)	Cf (Cd)	Cf (Cu)	Cf (Cr)	Cf (Hg)	Cf (Pb)	Cf (Zn)
	RMadr-4	Contaminación baja (N.D.)	Contaminación muy alta	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación muy alta	Contaminación baja	Contaminación moderada
2013-2	RMadr-5	Contaminación baja (N.D.)	Contaminación muy alta	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación muy alta	Contaminación baja	Contaminación moderada
	RMadr-6	Contaminación baja (N.D.)	Contaminación muy alta	Contaminación moderada	Contaminación baja	Contaminación considerable	Contaminación baja	Contaminación moderada
	RMadr-4	Contaminación baja	Contaminación baja	Contaminación moderada	Contaminación baja	Contaminación baja (N.D.)	Contaminación baja	Contaminación baja
2014-1	RMadr-5	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación baja	Contaminación baja (N.D.)	Contaminación baja	Contaminación baja
	LLabe-1	Contaminación baja	Contaminación baja	Contaminación moderada	Contaminación baja	Contaminación baja (N.D.)	Contaminación baja	Contaminación baja
	RMadr-6	Contaminación baja	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación baja	Contaminación baja (N.D.)	Contaminación baja	Contaminación baja
	RMadr-4	Contaminación baja	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación baja	Contaminación baja (N.D.)	Contaminación baja	Contaminación baja
2014-2	RMadr-5	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación baja	Contaminación baja (N.D.)	Contaminación baja	Contaminación baja
	LLabe-1	Contaminación baja	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación baja (N.D.)	Contaminación baja	Contaminación baja
	RMadr-6	Contaminación baja	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación baja (N.D.)	Contaminación baja	Contaminación baja

	RMadr-4	Contaminación baja	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación baja (N.D.)	Contaminación baja	Contaminación baja
	RMadr-5	Contaminación baja	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación baja (N.D.)	Contaminación baja	Contaminación baja
2015-1	LLabe-1	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación baja	Contaminación baja (N.D.)	Contaminación baja	Contaminación baja
	RMadr-6	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación baja	Contaminación baja (N.D.)	Contaminación baja	Contaminación baja
	RMadr-4	Contaminación baja (N.D.)	Contaminación baja	Contaminación baja	Contaminación baja	Contaminación baja	Contaminación baja	Contaminación baja
	RMadr-5	Contaminación baja (N.D.)	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación baja	Contaminación baja	Contaminación baja	Contaminación baja
2016-1	LLabe-1	Contaminación moderada	Contaminación baja	Contaminación moderada	Contaminación baja	Contaminación moderada	Contaminación baja	Contaminación baja
	RMadr-6	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación baja	Contaminación moderada	Contaminación baja	Contaminación baja
	RMadr-4	Contaminación baja	Contaminación baja	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación baja	Contaminación baja
2016-2	RMadr-5	Contaminación moderada	Contaminación baja	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación considerable	Contaminación baja	Contaminación baja
	RMadr-6	Contaminación moderada	Contaminación baja	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación considerable	Contaminación baja	Contaminación baja
	RMadr-4	Contaminación baja (N.D.)	Contaminación baja (N.D.)	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación baja	Contaminación moderada
2017-2	RMadr-5	Contaminación baja (N.D.)	Contaminación baja (N.D.)	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación baja	Contaminación moderada



	RMadr-4	Contaminación baja (N.D.)	Contaminación baja (N.D.)	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación baja	Contaminación moderada
2020-2	RMadr-5	Contaminación moderada	Contaminación baja (N.D.)	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación considerable	Contaminación baja	Contaminación moderada
	RMadr-6	Contaminación baja (N.D.)	Contaminación baja (N.D.)	Contaminación moderada	Contaminación moderada	Contaminación baja	Contaminación baja	Contaminación moderada

Nota: N.D.: Valor no detectado por el laboratorio.

#### 5.6.1.4 Factor de Riesgo Ecológico (Er)

En la siguiente Tabla 32 y Tabla 33 se muestran los resultados y la interpretación respectivamente del cálculo del Er.

**Tabla 32**

*Resultados del Cf de los metales y metaloide analizados durante el 2013-2020.*

Periodo	Código	Er (As)	Er (Cd)	Er (Cu)	Er (Cr)	Er (Hg)	Er (Pb)	Er (Zn)
2013-2	RMadr-4	N.D.	276.2	9.8	2.2	597.2	4.6	1.3
	RMadr-5	N.D.	270.2	10.3	2.0	503.2	4.2	1.2
	RMadr-6	N.D.	262.7	10.5	2.0	123.5	4.0	1.2
2014-1	RMadr-4	1.8	24.7	5.1	1.5	N.D.	3.3	0.7
	RMadr-5	11.8	30.6	7.1	1.7	N.D.	2.9	0.7
	LLabe-1	3.9	27.7	7.3	1.8	N.D.	3.6	0.8
	RMadr-6	8.9	34.1	8.3	2.0	N.D.	4.3	0.9
2014-2	RMadr-4	5.8	48.6	7.0	1.8	N.D.	3.4	0.8
	RMadr-5	14.7	60.9	8.6	2.0	N.D.	3.7	0.9
	LLabe-1	6.2	62.9	9.1	2.2	N.D.	4.2	0.9
	RMadr-6	5.3	63.5	8.5	2.3	N.D.	4.3	1.0
2015-1	RMadr-4	4.0	76.8	6.4	2.1	N.D.	3.9	0.8
	RMadr-5	8.1	84.5	8.6	2.2	N.D.	4.6	0.9
	LLabe-1	10.1	83.0	6.7	2.0	N.D.	4.2	0.9
	RMadr-6	15.9	79.9	7.7	1.9	N.D.	4.1	0.9
2016-1	RMadr-4	N.D.	24.6	3.1	0.8	24.0	2.3	0.4
	RMadr-5	N.D.	35.3	5.7	1.2	31.3	3.0	0.6
	LLabe-1	12.4	26.1	5.3	1.0	42.4	3.0	0.6
	RMadr-6	12.4	40.0	6.3	1.4	53.5	3.4	0.6

	RMadr-4	4.5	16.9	5.7	2.3	114.3	4.2	0.9
2016-2	RMadr-5	11.2	13.8	5.5	2.1	171.4	2.7	0.8
	RMadr-6	12.4	18.4	6.1	2.5	219.4	3.8	0.9
2017-2	RMadr-4	N.D.	N.D.	7.3	2.8	92.2	4.5	1.2
	RMadr-5	N.D.	N.D.	6.9	2.6	92.2	4.2	1.1
	LLabe-1	N.D.	N.D.	1.6	1.2	36.9	N.D.	0.9
	RMadr-6	23.1	N.D.	8.4	2.7	184.3	N.D.	1.2
2018-1	RMadr-4	N.D.	N.D.	8.5	3.2	73.7	9.1	1.5
	RMadr-5	N.D.	N.D.	11.2	3.8	73.7	5.3	1.6
	LLabe-1	N.D.	N.D.	8.1	3.3	73.7	6.4	1.5
	RMadr-6	N.D.	N.D.	7.0	2.7	92.2	5.7	1.2
2018-2	RMadr-4	N.D.	N.D.	6.3	2.2	55.3	N.D.	0.9
	RMadr-5	N.D.	N.D.	7.3	2.3	92.2	4.2	1.0
	LLabe-1	17.2	N.D.	10.6	2.8	129.0	6.4	1.4
	RMadr-6	20.2	N.D.	9.1	2.6	129.0	5.3	1.3
2019-2	RMadr-4	N.D.	N.D.	9.0	3.3	55.3	4.5	1.2
	RMadr-5	N.D.	N.D.	7.9	2.5	92.2	3.4	1.0
	RMadr-6	N.D.	N.D.	5.3	2.1	36.9	2.7	0.9
	RMadr-4	N.D.	N.D.	5.6	2.6	73.7	3.9	1.1
2020-2	RMadr-5	24.5	N.D.	9.7	3.4	129.0	4.1	1.3
	RMadr-6	N.D.	N.D.	6.1	2.9	36.9	4.1	1.2

Nota: N.D.: Valor no detectado por el laboratorio.

**Tabla 33**

*Interpretación de resultados del Er de los metales y metaloide analizados durante el 2013-2020.*

Periodo	Código	Er (As)	Er (Cd)	Er (Cu)	Er (Cr)	Er (Hg)	Er (Pb)	Er (Zn)
2013-2	RMadr-4	Bajo (N.D.)	Alto	Bajo	Bajo	Muy alto	Bajo	Bajo
	RMadr-5	Bajo (N.D.)	Alto	Bajo	Bajo	Muy alto	Bajo	Bajo
	RMadr-6	Bajo (N.D.)	Alto	Bajo	Bajo	Considerable	Bajo	Bajo
2014-1	RMadr-4	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo (N.D.)	Bajo	Bajo
	RMadr-5	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo (N.D.)	Bajo	Bajo
	LLabe-1	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo (N.D.)	Bajo	Bajo
2014-2	RMadr-6	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo (N.D.)	Bajo	Bajo
	RMadr-4	Bajo	moderado	Bajo	Bajo	Bajo (N.D.)	Bajo	Bajo
	RMadr-5	Bajo	moderado	Bajo	Bajo	Bajo (N.D.)	Bajo	Bajo
2015-1	LLabe-1	Bajo	moderado	Bajo	Bajo	Bajo (N.D.)	Bajo	Bajo
	RMadr-6	Bajo	moderado	Bajo	Bajo	Bajo (N.D.)	Bajo	Bajo
	RMadr-4	Bajo	moderado	Bajo	Bajo	Bajo (N.D.)	Bajo	Bajo
	RMadr-5	Bajo	Considerable	Bajo	Bajo	Bajo (N.D.)	Bajo	Bajo

	LLabe-1	Bajo	Considerable	Bajo	Bajo	Bajo (N.D.)	Bajo	Bajo
	RMadr-6	Bajo	moderado	Bajo	Bajo	Bajo (N.D.)	Bajo	Bajo
2016-1	RMadr-4	Bajo (N.D.)	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	RMadr-5	Bajo (N.D.)	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
	LLabe-1	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	moderado	Bajo	Bajo
	RMadr-6	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	moderado	Bajo	Bajo
2016-2	RMadr-4	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Considerable	Bajo	Bajo
	RMadr-5	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Bajo	Bajo
	RMadr-6	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Bajo	Bajo
2017-2	RMadr-4	Bajo (N.D.)	Bajo (N.D.)	Bajo	Bajo	Considerable	Bajo	Bajo
	RMadr-5	Bajo (N.D.)	Bajo (N.D.)	Bajo	Bajo	Considerable	Bajo	Bajo
	LLabe-1	Bajo (N.D.)	Bajo (N.D.)	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo (N.D.)	Bajo
	RMadr-6	Bajo	Bajo (N.D.)	Bajo	Bajo	Alto	Bajo (N.D.)	Bajo
2018-1	RMadr-4	Bajo (N.D.)	Bajo (N.D.)	Bajo	Bajo	moderado	Bajo	Bajo
	RMadr-5	Bajo (N.D.)	Bajo (N.D.)	Bajo	Bajo	moderado	Bajo	Bajo
	LLabe-1	Bajo (N.D.)	Bajo (N.D.)	Bajo	Bajo	moderado	Bajo	Bajo
	RMadr-6	Bajo (N.D.)	Bajo (N.D.)	Bajo	Bajo	Considerable	Bajo	Bajo
2018-2	RMadr-4	Bajo (N.D.)	Bajo (N.D.)	Bajo	Bajo	moderado	Bajo (N.D.)	Bajo
	RMadr-5	Bajo (N.D.)	Bajo (N.D.)	Bajo	Bajo	Considerable	Bajo	Bajo
	LLabe-1	Bajo	Bajo (N.D.)	Bajo	Bajo	Considerable	Bajo	Bajo
	RMadr-6	Bajo	Bajo (N.D.)	Bajo	Bajo	Considerable	Bajo	Bajo
2019-2	RMadr-4	Bajo (N.D.)	Bajo (N.D.)	Bajo	Bajo	moderado	Bajo	Bajo
	RMadr-5	Bajo (N.D.)	Bajo (N.D.)	Bajo	Bajo	Considerable	Bajo	Bajo
	RMadr-6	Bajo (N.D.)	Bajo (N.D.)	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
2020-2	RMadr-4	Bajo (N.D.)	Bajo (N.D.)	Bajo	Bajo	moderado	Bajo	Bajo
	RMadr-5	Bajo	Bajo (N.D.)	Bajo	Bajo	Considerable	Bajo	Bajo
	RMadr-6	Bajo (N.D.)	Bajo (N.D.)	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo

Nota: N.D.: Valor no detectado por el laboratorio.

## 5.6.2 Índices integrados

### 5.6.2.1 Índice de carga de contaminación (PLI)

En la siguiente Tabla 34 se muestran los resultados y la interpretación respectivamente del cálculo del PLI.

**Tabla 34**

Resultados e Interpretación de resultados del PLI de los metales y metaloide analizados durante el 2013-2020.

Periodo	Código	PLI	
2013-2	RMadr-4	2.66	Contaminado
	RMadr-5	2.50	Contaminado
	RMadr-6	1.94	Contaminado
2014-1	RMadr-4	0.61	No Contaminado
	RMadr-5	0.92	No Contaminado
	LLabe-1	0.81	No Contaminado
2014-2	RMadr-6	1.04	Contaminado
	RMadr-4	0.92	No Contaminado
	RMadr-5	1.23	Contaminado
2014-2	LLabe-1	1.13	Contaminado
	RMadr-6	1.10	Contaminado
	RMadr-4	0.98	No Contaminado
2015-1	RMadr-5	1.23	Contaminado
	LLabe-1	1.18	Contaminado
	RMadr-6	1.28	Contaminado
2016-1	RMadr-4	0.54	No Contaminado
	RMadr-5	0.79	No Contaminado
	LLabe-1	0.80	No Contaminado
2016-1	RMadr-6	0.97	No Contaminado
	RMadr-4	0.95	No Contaminado
	RMadr-5	1.01	Contaminado
2016-2	RMadr-6	1.23	Contaminado
	RMadr-4	1.40	Contaminado
	RMadr-5	1.30	Contaminado
2017-2	LLabe-1	0.64	No Contaminado
	RMadr-6	1.94	Contaminado
	RMadr-4	1.69	Contaminado
2018-1	RMadr-5	1.67	Contaminado
	LLabe-1	1.58	Contaminado
	RMadr-6	1.43	Contaminado
2018-2	RMadr-4	1.15	Contaminado
	RMadr-5	1.27	Contaminado
	LLabe-1	1.76	Contaminado
2019-2	RMadr-6	1.66	Contaminado
	RMadr-4	1.36	Contaminado
	RMadr-5	1.26	Contaminado

	RMadr-6	0.86	No Contaminado
	RMadr-4	1.17	Contaminado
2020-2	RMadr-5	1.74	Contaminado
	RMadr-6	1.10	Contaminado

Nota: Resultados del PLI y su interpretación en cada uno de los puntos de monitoreo analizados (2013 -2020)

### 5.6.2.2 Grado de contaminación (Cdeg)

En la siguiente Tabla 35 se muestran los resultados y la interpretación respectivamente del cálculo del Cdeg.

**Tabla 35**

*Resultados e Interpretación de resultados del Cdeg de los metales y metaloide analizados durante el 2013-2020.*

Periodo	Código	Cdeg	
2013-2	RMadr-4	29.4	Considerable grado de contaminación
	RMadr-5	26.7	Considerable grado de contaminación
	RMadr-6	16.9	Considerable grado de contaminación
2014-1	RMadr-4	4.1	Bajo grado de contaminación
	RMadr-5	5.8	Bajo grado de contaminación
	LLabe-1	5.2	Bajo grado de contaminación
2014-2	RMadr-6	6.4	Bajo grado de contaminación
	RMadr-4	5.9	Bajo grado de contaminación
	RMadr-5	7.9	Bajo grado de contaminación
2015-1	LLabe-1	7.4	Bajo grado de contaminación
	RMadr-6	7.3	Bajo grado de contaminación
	RMadr-4	6.9	Bajo grado de contaminación
2016-1	RMadr-5	8.2	Moderado grado de contaminación
	LLabe-1	7.8	Bajo grado de contaminación
	RMadr-6	8.4	Moderado grado de contaminación
2016-2	RMadr-4	3.3	Bajo grado de contaminación
	RMadr-5	4.9	Bajo grado de contaminación
	LLabe-1	5.9	Bajo grado de contaminación
2017-2	RMadr-6	7.1	Bajo grado de contaminación
	RMadr-4	7.9	Bajo grado de contaminación
	RMadr-5	9.3	Moderado grado de contaminación
	RMadr-6	11.4	Moderado grado de contaminación
	RMadr-4	7.3	Bajo grado de contaminación
	RMadr-5	6.9	Bajo grado de contaminación

	LLabe-1	2.8	Bajo grado de contaminación
	RMadr-6	11.1	Moderado grado de contaminación
	RMadr-4	8.5	Moderado grado de contaminación
	RMadr-5	8.6	Moderado grado de contaminación
2018-1	LLabe-1	7.9	Bajo grado de contaminación
	RMadr-6	7.4	Bajo grado de contaminación
	RMadr-4	4.7	Bajo grado de contaminación
2018-2	RMadr-5	6.8	Bajo grado de contaminación
	LLabe-1	11.1	Moderado grado de contaminación
	RMadr-6	10.7	Moderado grado de contaminación
	RMadr-4	7.0	Bajo grado de contaminación
2019-2	RMadr-5	6.8	Bajo grado de contaminación
	RMadr-6	4.5	Bajo grado de contaminación
	RMadr-4	6.1	Bajo grado de contaminación
2020-2	RMadr-5	11.5	Moderado grado de contaminación
	RMadr-6	5.6	Bajo grado de contaminación

Nota: Resultados del Cdeg y su interpretación en cada uno de los puntos de monitoreo analizados (2013 -2020)

#### 5.6.2.3 Índice de contaminación de Nemerow (PI)

En la siguiente Tabla 36 se muestran los resultados y la interpretación del cálculo del PI.

**Tabla 36**

*Resultados e interpretación de resultados del PI de los metales y metaloide analizados durante el 2013-2020.*

Periodo	Código	PI	
2013-2	RMadr-4	11.11	Severamente contaminado
	RMadr-5	9.44	Severamente contaminado
	RMadr-6	6.50	Severamente contaminado
2014-1	RMadr-4	0.87	Ligeramente contaminado
	RMadr-5	1.21	Moderadamente contaminado
	LLabe-1	1.20	Moderadamente contaminado
	RMadr-6	1.39	Moderadamente contaminado
2014-2	RMadr-4	1.34	Moderadamente contaminado
	RMadr-5	1.71	Moderadamente contaminado
	LLabe-1	1.72	Moderadamente contaminado
	RMadr-6	1.73	Moderadamente contaminado

	RMadr-4	1.98	Moderadamente contaminado
2015-1	RMadr-5	2.22	Altamente contaminado
	LLabe-1	2.16	Altamente contaminado
	RMadr-6	2.13	Altamente contaminado
	RMadr-4	0.70	Ligeramente contaminado
2016-1	RMadr-5	1.02	Moderadamente contaminado
	LLabe-1	1.06	Moderadamente contaminado
	RMadr-6	1.19	Moderadamente contaminado
	RMadr-4	2.17	Altamente contaminado
2016-2	RMadr-5	3.17	Severamente contaminado
	RMadr-6	4.05	Severamente contaminado
	RMadr-4	1.93	Moderadamente contaminado
2017-2	RMadr-5	1.90	Moderadamente contaminado
	LLabe-1	0.82	Ligeramente contaminado
	RMadr-6	3.62	Severamente contaminado
	RMadr-4	1.77	Moderadamente contaminado
2018-1	RMadr-5	2.00	Altamente contaminado
	LLabe-1	1.72	Moderadamente contaminado
	RMadr-6	1.94	Moderadamente contaminado
	RMadr-4	1.28	Moderadamente contaminado
2018-2	RMadr-5	1.89	Moderadamente contaminado
	LLabe-1	2.63	Altamente contaminado
	RMadr-6	2.61	Altamente contaminado
	RMadr-4	1.60	Moderadamente contaminado
2019-2	RMadr-5	1.90	Moderadamente contaminado
	RMadr-6	0.99	Ligeramente contaminado
	RMadr-4	1.56	Moderadamente contaminado
2020-2	RMadr-5	2.65	Altamente contaminado
	RMadr-6	1.30	Moderadamente contaminado

Nota: Resultados del PI Nemerow y su interpretación en cada uno de los puntos de monitoreo analizados (2013-2020)

#### 5.6.2.4 Grado de contaminación modificado (mCdeg)

En la siguiente Tabla 37 se muestran los resultados y la interpretación respectivamente del cálculo del mCdeg.

**Tabla 37**

*Resultados e Interpretación de resultados del mCdeg de los metales y metaloide analizados durante el 2013-2020.*

Periodo	Código	mCdeg	
2013-2	RMadr-4	4.9	Contaminación alta
	RMadr-5	4.5	Contaminación alta
	RMadr-6	2.8	Contaminación moderada
2014-1	RMadr-4	0.7	Contaminación muy baja
	RMadr-5	1.0	Contaminación muy baja
	LLabe-1	0.9	Contaminación muy baja
2014-2	RMadr-6	1.1	Contaminación muy baja
	RMadr-4	1.0	Contaminación muy baja
	RMadr-5	1.3	Contaminación muy baja
2015-1	LLabe-1	1.2	Contaminación muy baja
	RMadr-6	1.2	Contaminación muy baja
	RMadr-4	1.1	Contaminación muy baja
2015-1	RMadr-5	1.4	Contaminación muy baja
	LLabe-1	1.3	Contaminación muy baja
	RMadr-6	1.4	Contaminación muy baja
2016-1	RMadr-4	0.6	Contaminación muy baja
	RMadr-5	0.8	Contaminación muy baja
	LLabe-1	0.8	Contaminación muy baja
2016-1	RMadr-6	1.0	Contaminación muy baja
	RMadr-4	1.1	Contaminación muy baja
	RMadr-5	1.3	Contaminación muy baja
2016-2	RMadr-6	1.6	Contaminación baja
	RMadr-4	1.5	Contaminación muy baja
	RMadr-5	1.4	Contaminación muy baja
2017-2	LLabe-1	0.7	Contaminación muy baja
	RMadr-6	2.2	Contaminación moderada
	RMadr-4	1.7	Contaminación baja
2018-1	RMadr-5	1.7	Contaminación baja
	LLabe-1	1.6	Contaminación baja
	RMadr-6	1.5	Contaminación muy baja
2018-2	RMadr-4	1.2	Contaminación muy baja
	RMadr-5	1.4	Contaminación muy baja
	LLabe-1	1.9	Contaminación baja
2019-2	RMadr-6	1.8	Contaminación baja
	RMadr-4	1.4	Contaminación muy baja

	RMadr-5	1.4	Contaminación muy baja
	RMadr-6	0.9	Contaminación muy baja
	RMadr-4	1.2	Contaminación muy baja
2020-2	RMadr-5	1.9	Contaminación baja
	RMadr-6	1.1	Contaminación muy baja

Nota: Resultados del mCdeg y su interpretación en cada uno de los puntos de monitoreo analizados (2013 - 2020).

#### 5.6.2.5 Índice de riesgo ecológico potencial (PERI)

En la siguiente Tabla 38 se muestran los resultados y la interpretación respectivamente del cálculo del PERI.

**Tabla 38**

*Resultados e Interpretación de resultados del PERI de los metales y metaloide analizados durante el 2013-2020.*

Periodo	Código	PERI	Riesgo ecológico
2013-2	RMadr-4	891.3	Muy alto
	RMadr-5	791.2	Muy alto
	RMadr-6	403.8	Considerable
2014-1	RMadr-4	37.1	Bajo
	RMadr-5	54.8	Bajo
	LLabe-1	45.2	Bajo
2014-2	RMadr-6	58.5	Bajo
	RMadr-4	67.4	Bajo
	RMadr-5	90.8	Bajo
2015-1	LLabe-1	85.5	Bajo
	RMadr-6	84.8	Bajo
	RMadr-4	94.1	Bajo
2015-1	RMadr-5	108.8	Bajo
	LLabe-1	106.8	Bajo
	RMadr-6	110.4	Bajo
2016-1	RMadr-4	55.2	Bajo
	RMadr-5	77.2	Bajo
	LLabe-1	90.7	Bajo
2016-2	RMadr-6	117.4	Bajo
	RMadr-4	148.8	Bajo
	RMadr-5	207.6	Moderado

	RMadr-6	263.5	Moderado
2017-2	RMadr-4	108.1	Bajo
	RMadr-5	106.9	Bajo
	LLabe-1	40.6	Bajo
	RMadr-6	219.6	Moderado
2018-1	RMadr-4	96.1	Bajo
	RMadr-5	95.6	Bajo
	LLabe-1	93.1	Bajo
	RMadr-6	108.8	Bajo
2018-2	RMadr-4	64.7	Bajo
	RMadr-5	107.0	Bajo
	LLabe-1	167.4	Moderado
	RMadr-6	167.6	Moderado
2019-2	RMadr-4	73.3	Bajo
	RMadr-5	107.0	Bajo
	RMadr-6	47.8	Bajo
2020-2	RMadr-4	86.9	Bajo
	RMadr-5	172.1	Moderado
	RMadr-6	51.2	Bajo

Nota: Resultados del PERI y su interpretación en cada uno de los puntos de monitoreo analizados (2013 -2020)

## 5.7 Análisis estadístico y prueba de hipótesis

Para determinar las pruebas estadísticas a utilizar primero se determina la distribución de los datos analizados.

### 5.7.1 Prueba de normalidad

Antes de utilizar estadísticas para la verificación de la hipótesis, se empleó el análisis de la normalidad de datos mediante el uso del Software IBM SPSS Statistics 25, para ello se empleó la prueba de Shapiro Wilk para datos menores a 50, como se muestra en la Tabla 39.

**Tabla 39****Prueba de normalidad (As, Cd, Cu, Cr, hg, Pb y Zn)**

Elementos	Estadístico	Shapiro-Wilk	
		gl	Sig.
Arsénico	0.948	21	0.310
Cadmio	0.659	22	0.000
Cobre	0.974	40	0.473
Cromo	0.983	40	0.808
Mercurio	0.624	28	0.000
Plomo	0.848	37	0.000
Zinc	0.981	40	0.725

Nota: Elaborado mediante el software IBM SPSS Statistics 25.

Solo presenta distribución normal los valores de concentración de arsénico, cobre, cromo y zinc. Según el análisis estadístico de Shapiro Wilk, los elementos como el arsénico, cobre, cromo y zinc; presentan una distribución normal con un nivel de significancia mayor a 0.05 e intervalo de confianza de 95%. Sin embargo, el cadmio, mercurio y plomo no presentan distribución normal con un nivel de significancia menor a 0.05 e intervalo de confianza de 95%.

En general los resultados muestran que gran parte de los datos no siguen una distribución normal, por lo que corresponde utilizar estadísticas no paramétricas para la verificación de las hipótesis.

### 5.7.2 Prueba de hipótesis específica 1

Mediante el uso del Software IBM SPSS Statistics 25, se empleó la prueba de Friedman, para verificar la hipótesis específica 1, las concentraciones de metales y metaloide en el tramo de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, mostraran diferencias significativas entre el 2013 – 2020.

Hipótesis Nula ( $H_0$ ): No hay diferencias significativas en las concentraciones de metales y metaloides en los sedimentos entre los diferentes períodos (2013-1 al 2020-2).

Hipótesis Alternativa (H1): Hay diferencias significativas en las concentraciones de metales y metaloides en los sedimentos entre los diferentes periodos (2013-1 al 2020-2).

El análisis se realizará mediante una la prueba de Friedman como se muestra en la Tabla 40.

**Tabla 40**

*Prueba de Friedman.*

Estadísticos de prueba <sup>a</sup>	
N	10
Chi-cuadrado	53.823
gl	10
Sig. asintótica	0.000

Nota.<sup>a</sup>: Prueba de Friedman

Con un nivel de significancia menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ), y se afirma con un 95% de confianza que existen diferencias significativas entre las concentraciones de metales y metaloides en los sedimentos entre los diferentes periodos (2013-1 al 2020-2).

### **5.7.3 Prueba de hipótesis específica 2**

Mediante el uso del Software IBM SPSS Stadistics 25, se empleó la prueba de Wilcoxon, para verificar la hipótesis específica 2, los niveles de fondo estimados no tendrán diferencia significativa con respecto a las concentraciones de metales y metaloide de la zona utilizada para la estimación de nivel de fondo. Para ello se plantean hipótesis nula ( $H_0$ ) e hipótesis alternativa ( $H_1$ ):

$H_0$ : Las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc de la zona utilizada para la estimación de nivel de fondo, no son significativamente diferentes a su nivel de fondo estimado.

H1: Las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc de la zona utilizada para la estimación de nivel de fondo, son significativamente diferentes a su nivel de fondo estimado.

El análisis se realizará mediante una la prueba de Wilcoxon como se muestra en la Tabla 41.

**Tabla 41**

*Prueba de Rangos con signo de Wilcoxon comparación con el NF en la zona de nivel de fondo.*

Estadísticos de prueba <sup>a</sup>							
	NF_As - Arsénico	NF_Cd - Cadmio	NF_Cu - Cobre	NF_Cr - Cromo	NF_Hg - Mercurio	NF_Pb - Plomo	NF_Zn - Zinc
Z	-1.788 <sup>b</sup>	-1.376 <sup>b</sup>	-1.172 <sup>b</sup>	-1.478 <sup>b</sup>	-1.580 <sup>b</sup>	-1.682 <sup>b</sup>	-1.274 <sup>b</sup>
Sig. Asintótica (bilateral)	0.074	0.169	0.241	0.139	0.114	0.093	0.203

Nota: <sup>a</sup>. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon, <sup>b</sup>. Se basa en rangos negativos.

La prueba estadística de Wilcoxon nos muestra los siguiente:

Para arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc con nivel de significancia mayor a 0.05, se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ), y se afirma con un 95% de confianza que las concentraciones de estos elementos en las muestras analizadas de la de la zona para el nivel de fondo, no son significativamente diferentes a los niveles de fondo estimados.

#### **5.7.4 Prueba de hipótesis específica 3**

Mediante el uso del Software IBM SPSS Stadistics 25, se empleó la prueba de Wilcoxon, para verificar la hipótesis específica 3, Las concentraciones de metales y metaloide en sedimentos en el tramo analizado de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, serán mayores a los niveles de fondo estimados. Para ello se plantean hipótesis nula ( $H_0$ ) e hipótesis alternativa ( $H_1$ ):

$H_0$ : Las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc en las muestras analizadas de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, no son significativamente diferentes a su nivel de fondo estimado

$H_1$ : Las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc en las muestras analizadas de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, son significativamente diferentes a su nivel de fondo estimado.

El análisis se realizará mediante una la prueba de Wilcoxon como se muestra en la Tabla 42.

**Tabla 42**

*Prueba de Rangos con signo de Wilcoxon comparación con el NF.*

Estadísticos de prueba <sup>a</sup>							
	NF_As - Arsénico	NF_Cd - Cadmio	NF_Cu - Cobre	NF_Cr - Cromo	NF_Hg - Mercurio	NF_Pb - Plomo	NF_Zn - Zinc
Z	-0.574 <sup>b</sup>	-2.581 <sup>b</sup>	-4.973 <sup>b</sup>	-2.352 <sup>b</sup>	-4.104 <sup>b</sup>	-3.810 <sup>c</sup>	0.000 <sup>d</sup>
Sig. Asintótica (bilateral)	0.566	0.010	0.000	0.019	0.000	0.000	1.000

Nota: <sup>a</sup>. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon, <sup>b</sup>. Se basa en rangos positivos., <sup>c</sup>. Se basa en rangos negativos., <sup>d</sup>. La suma de rangos negativos es igual a la suma de rangos positivos.

La prueba estadística de Wilcoxon nos muestra los siguiente:

Para cadmio, cobre, cromo, mercurio con nivel de significancia menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ), y se afirma con un 95% de confianza que las concentraciones de estos elementos en las muestras analizadas de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, son significativamente diferentes y mayores a los niveles de fondo estimados.

Con respecto al plomo con nivel de significancia menor al 0.05, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ), y se afirma con un 95% de confianza que las concentraciones de plomo

en las muestras analizadas de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, son significativamente diferentes y menores a los niveles de fondo estimados.

Con respecto al arsénico y zinc con nivel de significancia mayor a 0.05, se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ), y se afirma con un 95% de confianza que las concentraciones de estos elementos en las muestras analizadas de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, no son significativamente diferentes a los niveles de fondo estimados.

#### **5.7.5 Prueba de hipótesis específica 4**

Mediante el uso del Software IBM SPSS Stadistics 25, se empleó la prueba de Wilcoxon, para verificar la hipótesis específica 4, Las concentraciones de metales y metaloide en sedimentos en el tramo analizado de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, serán mayores a las directrices internacionales sobre calidad de sedimentos (ISQG, PEL, TEC y PEC). Para ello se plantean hipótesis nula ( $H_0$ ) e hipótesis alternativa ( $H_1$ ) por cada estándar (ISQG, PEL, TEC y PEC):

Comparación con los ISQG:

$H_0$ : Las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc en las muestras analizadas de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, no son significativamente diferentes al valor de su ISQG.

$H_1$ : Las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc en las muestras analizadas de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, son significativamente diferentes al valor de su ISQG.

El análisis se realizará mediante una la prueba de Wilcoxon como se muestra en la Tabla 43.

**Tabla 43****Prueba de Rangos con signo de Wilcoxon comparación con ISQG**

Estadísticos de prueba <sup>a</sup>							
	ISQG_As - Arsénico	ISQG_Cd - Cadmio	ISQG_Cu - Cobre	ISQG_Cr - Cromo	ISQG_Hg - Mercurio	ISQG_Pb - Plomo	ISQG_Zn - Zinc
Z	-2.729 <sup>b</sup>	-4.107 <sup>b</sup>	-4.711 <sup>c</sup>	-5.511 <sup>c</sup>	-3.842 <sup>c</sup>	-5.304 <sup>c</sup>	-5.511 <sup>c</sup>
Sig. Asintótica (bilateral)	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Nota: <sup>a</sup>. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon, <sup>b</sup>. Se basa en rangos positivos., <sup>c</sup>. Se basa en rangos negativos.

La prueba estadística de Wilcoxon nos muestra los siguiente:

Para arsénico y cadmio con nivel de significancia menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ), y se afirma con un 95% de confianza que las concentraciones de estos elementos en las muestras analizadas de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, son significativamente diferentes y mayores a los ISQG.

Con respecto al cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc con nivel de significancia menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ), y se afirma con un 95% de confianza que las concentraciones de estos elementos en las muestras analizadas de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, son significativamente diferentes y menores a los ISQG.

Comparación con los PEL:

$H_0$ : Las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc en las muestras analizadas de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, no son significativamente diferentes al valor de su PEL.

$H_1$ : Las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc en las muestras analizadas de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, son significativamente diferentes al valor de su PEL.

El análisis se realizará mediante una prueba de Wilcoxon como se muestra en la Tabla 44.

**Tabla 44**

*Prueba de Rangos con signo de Wilcoxon comparación con PEL*

Estadísticos de prueba <sup>a</sup>							
	PEL_As - Arsénico	PEL_Cd - Cadmio	PEL_Cu - Cobre	PEL_Cr - Cromo	PEL_Hg - Mercurio	PEL_Pb - Plomo	PEL_Zn - Zinc
Z	-3.633 <sup>b</sup>	-0.179 <sup>b</sup>	-5.511 <sup>b</sup>	-5.511 <sup>b</sup>	-4.628 <sup>b</sup>	-5.304 <sup>b</sup>	-5.511 <sup>b</sup>
Sig. Asintótica (bilateral)	0.000	0.858	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Nota: <sup>a</sup>. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon, <sup>b</sup>. Se basa en rangos negativos.

La prueba estadística de Wilcoxon nos muestra los siguiente:

Para arsénico, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc con nivel de significancia menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ), y se afirma con un 95% de confianza que las concentraciones de estos elementos en las muestras analizadas de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, son significativamente diferentes y menores a los PEL.

Con respecto al cadmio con nivel de significancia mayor al 0.05, se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ), y se afirma con un 95% de confianza que las concentraciones de cadmio en las muestras analizadas de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, no son significativamente diferentes a su PEL.

Comparación con los TEC:

$H_0$ : Las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc en las muestras analizadas de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, no son significativamente diferentes al valor de su TEC.

H1: Las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc en las muestras analizadas de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, son significativamente diferentes al valor de su TEC.

El análisis se realizará mediante una la prueba de Wilcoxon como se muestra en la Tabla 45.

**Tabla 45**

*Prueba de Rangos con signo de Wilcoxon comparación con TEC*

Estadísticos de prueba <sup>a</sup>							
	TEC_As - Arsénico	TEC_Cd - Cadmio	TEC_Cu - Cobre	TEC_Cr - Cromo	TEC_Hg - Mercurio	TEC_Pb - Plomo	TEC_Zn - Zinc
Z	-0.122 <sup>b</sup>	-4.074 <sup>c</sup>	-2.688 <sup>b</sup>	-5.511 <sup>b</sup>	-4.104 <sup>b</sup>	-5.304 <sup>b</sup>	-5.511 <sup>b</sup>
Sig. Asintótica (bilateral)	0.903	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000

Nota: <sup>a</sup>. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon, <sup>b</sup>. Se basa en rangos negativos., <sup>c</sup>. Se basa en rangos positivos.

La prueba estadística de Wilcoxon nos muestra los siguiente:

Para cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc con nivel de significancia menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ), y se afirma con un 95% de confianza que las concentraciones de estos elementos en las muestras analizadas de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, son significativamente diferentes y menores a los valores de su TEC.

Con respecto al cadmio con nivel de significancia menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ), y se afirma con un 95% de confianza que las concentraciones de estos elementos en las muestras analizadas de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, son significativamente diferentes y mayores a los valores de su TEC.

Con respecto al arsénico con nivel de significancia mayor al 0.05, se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ), y se afirma con un 95% de confianza que las concentraciones de

arsénico en las muestras analizadas de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, no son significativamente diferentes a su TEC.

Comparación con los PEC:

Ho: Las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc en las muestras analizadas de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, no son significativamente diferentes al valor de su PEC.

H1: Las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc en las muestras analizadas de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, son significativamente diferentes al valor de su PEC.

El análisis se realizará mediante una la prueba de Wilcoxon como se muestra en la Tabla 46.

**Tabla 46**

*Prueba de Rangos con signo de Wilcoxon comparación con PEC*

Estadísticos de prueba <sup>a</sup>							
	PEC_As - Arsénico	PEC_Cd - Cadmio	PEC_Cu - Cobre	PEC_Cr - Cromo	PEC_Hg - Mercurio	PEC_Pb - Plomo	PEC_Zn - Zinc
Z	-4.016 <sup>b</sup>	-1.737 <sup>b</sup>	-5.511 <sup>b</sup>	-5.511 <sup>b</sup>	-4.628 <sup>b</sup>	-5.304 <sup>b</sup>	-5.511 <sup>b</sup>
Sig. Asintótica (bilateral)	0.000	0.082	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Nota: <sup>a</sup>. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon, <sup>b</sup>. Se basa en rangos negativos., <sup>c</sup>. Se basa en rangos positivos.

La prueba estadística de Wilcoxon nos muestra los siguiente:

Para arsénico, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc con nivel de significancia menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula (Ho), y se afirma con un 95% de confianza que las concentraciones de estos elementos en las muestras analizadas de la Intercuenca

Medio Alto Madre de Dios, son significativamente diferentes y menores a los valores de su PEC.

Con respecto al cadmio con nivel de significancia mayor al 0.05, se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ), y se afirma con un 95% de confianza que las concentraciones de cadmio en las muestras analizadas de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, no son significativamente diferentes a su PEC.

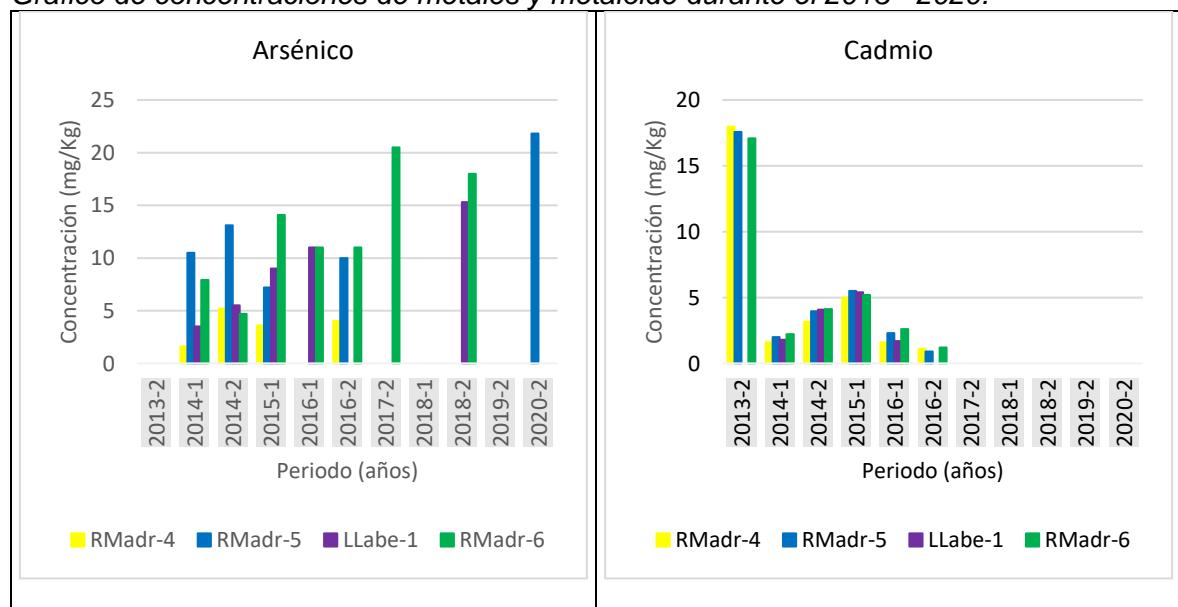
## Capítulo VI. Análisis y discusión de resultados

### 6.1 Identificación de concentración de metales y metaloide

En la Figura 14 se presentan los gráficos de las concentraciones de metales y metaloide durante el 2013-2020.

**Figura 14**

Gráfico de concentraciones de metales y metaloide durante el 2013 - 2020.





Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel.

Las concentraciones de metales y metaloide analizados muestran diferencias significativas entre los períodos analizados (2013-1 al 2020-2). Se constata la presencia de arsénico en la mayoría de los períodos analizados con concentraciones entre 1.6 mg/Kg a 21.8 mg/Kg, con excepción del 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6), 2017-2 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1), 2018-1 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6) y 2019-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6); representando el 47.5 % de los registros analizados; donde las concentraciones se encuentran por debajo del límite de detección. Esto puede ocurrir debido a que el arsénico se puede encontrar asociado al oro en zona aluvial en forma de arsenito, por ello al generarse una erosión de los depósitos aluviales en el tramo de ríos este es transportado por la corriente debido a que tiene la tendencia a adsorberse en partículas pequeñas como las arcillas que se encuentran en la columna de agua en forma de sedimento suspendido más que en el fondo en donde está conformado mayormente por arena gruesa y grava.

En relación con el cadmio, se encuentra presente los 6 primeros períodos analizados con concentraciones entre 0.9 mg/Kg y 17.97 mg/Kg; por el contrario, en los 5 últimos períodos comprendidos por 2017-2 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2018-1 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2018-2 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2019-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6) y 2020-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6); que representan el 45% de los registros analizados; no se evidenció presencia del elemento debido a que las concentraciones se encontraron por debajo del límite de detección. El cadmio a pesar de encontrarse presente como lo muestra en la zona para el cálculo del nivel de fondo no tiene tendencia a acumularse en los sedimentos de fondo, al menos en los últimos años, su concentración es no detectado por lo que estaría siendo arrastrado por la corriente de agua, y su presencia marcada en el 2013 representaría una consecuencia debido a la actividad humana.

En cuanto al mercurio se encuentra presente en la mayoría de los periodos analizados con concentraciones que varían de 0.013 mg/Kg a 0.324 mg/Kg, con excepción del 2014-1 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2014-2 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2015-1 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6); que representa el 30% de los registros analizados; donde las concentraciones se encuentran por debajo del límite de detección. Esto puede ocurrir debido a que el mercurio es un elemento utilizado por la minería aluvial para extracción del oro, en este sentido este elemento al igual que otros metales tiene tendencia adsorberse en partículas pequeñas como la arcilla y limo; lo cuales se encuentran en forma de sedimentos suspendidos en la columna de agua por lo que son arrastrados con la corriente la mayor parte de este elemento, por lo que la tendencia a depositarse en sedimentos de fondo son solo en condiciones específicas por ejemplo cuando el caudal aumenta y arrastra los depósitos dejados por la minería aluvial informal con mercurio.

En cuanto al plomo se encuentra presente en la mayoría de los periodos analizados con concentraciones que varían de 6 mg/Kg a 24 mg/Kg, con excepción del 2017-2 (Llabe-1, RMadr-6), 2018-2 (RMadr-4); que representa el 7% de los registros analizados; donde las concentraciones se encuentran por debajo del límite de detección.

Con respecto al cobre, cromo y zinc se evidencio su presencia con concentraciones entre 6 mg/Kg a 42.6 mg/Kg, 7.3 mg/Kg a 33.3 mg/Kg y 25 mg/Kg a 94.8 mg/Kg respectivamente, durante todos los periodos y puntos de muestreo analizados. Estos elementos se encuentran presentes en la zona del nivel fondo, así mismo su concentración no posee la misma variación que los otros elementos estudiados, tiende a ser constante en los puntos de monitoreo analizados, por lo que podrían ser metales que se encuentran en el fondo de río de forma natural.

## 6.2 Estimación de niveles de fondo

La estimación de los niveles de fondo de los elementos estudiados con el software PRO UCL 5.2 resultó para el arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc en 8.893, 1.952, 18.98, 17.7, 0.0217, 13.2, 59.59 mg/Kg respectivamente. Cumpliendo las condiciones del uso del Software para estimar los niveles de fondo, a partir de al menos 10 registros y demostrando valores representativos de la zona analizada del nivel de fondo con concentraciones de metales y metaloides que no son significativamente diferentes a los valores estimados.

## 6.3 Comparación con los niveles de fondo

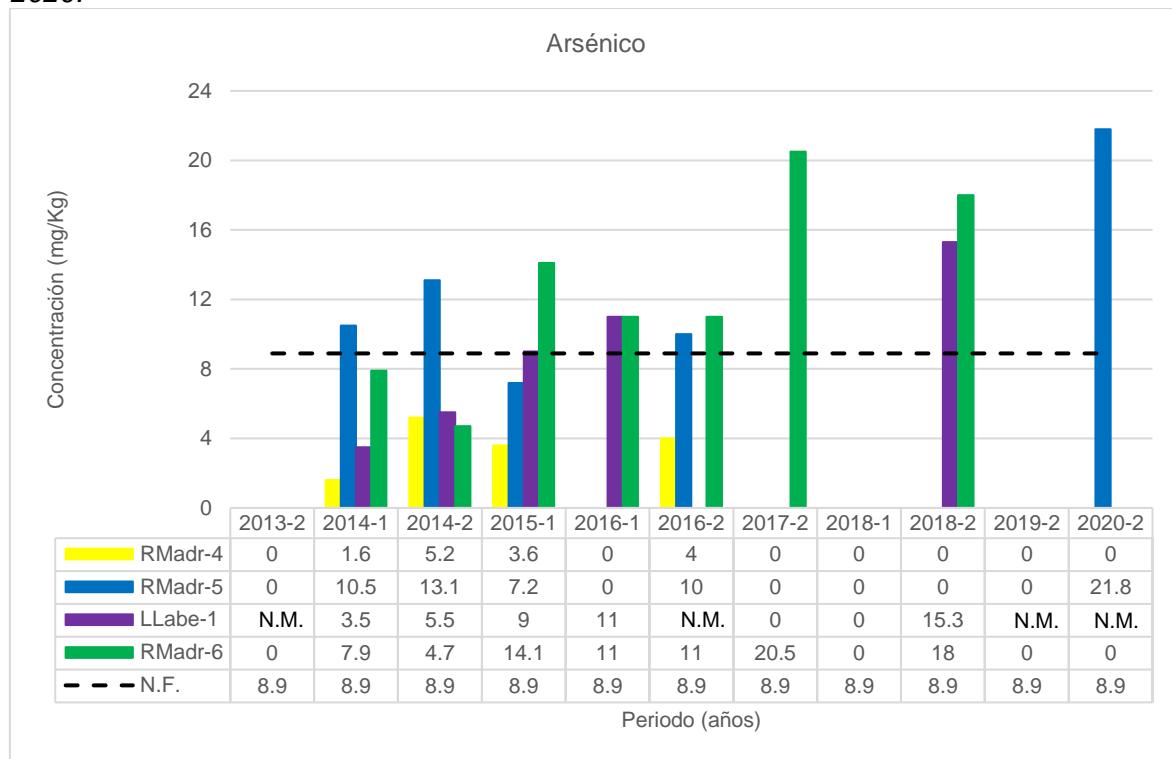
A continuación, se realiza comparación de las concentraciones de metales y metaloide con los niveles de fondo (NF).

### 6.3.1 Arsénico (As)

En la Figura 15 se muestra la comparación de las concentraciones de arsénico en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6 con el nivel de fondo (NF).

**Figura 15**

*Gráfico de comparación entre la concentración de arsénico y el NF durante el 2013 - 2020.*



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 15 se puede observar lo siguiente:

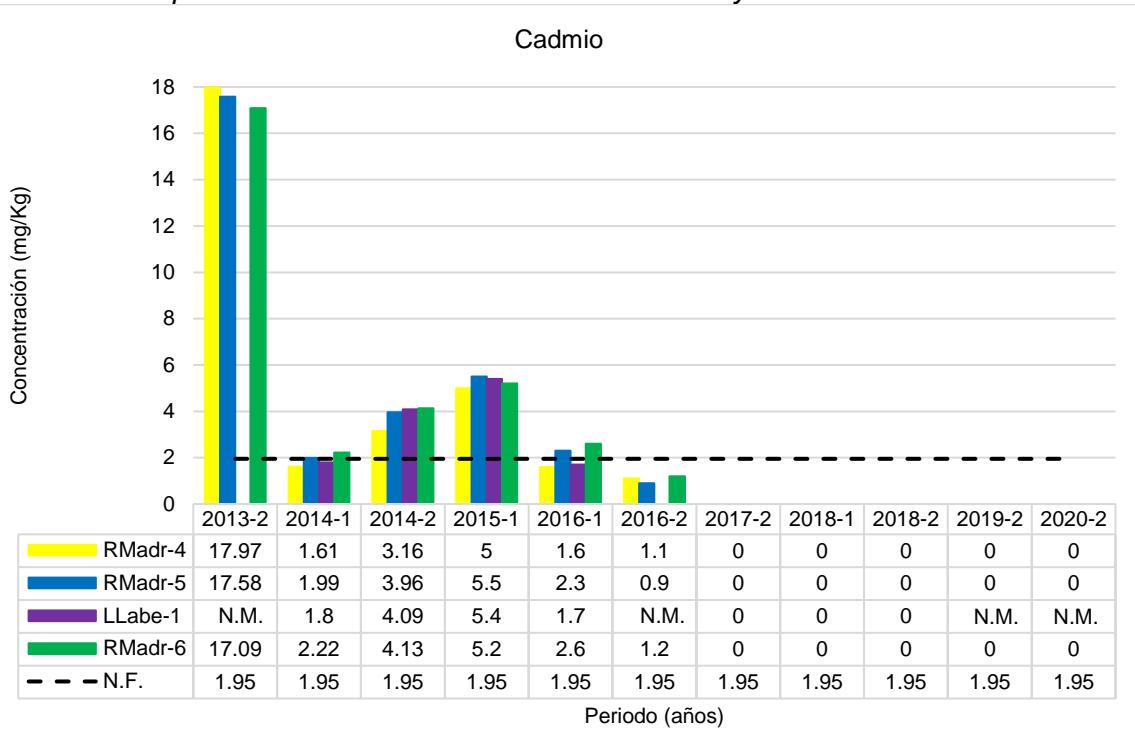
La concentración de arsénico en sedimentos comparado con su nivel de fondo = 8.893 mg/Kg es superado en los siguientes períodos de monitoreo: 2014-1 (RMadr-5), 2014-2 (RMadr-5), 2015-1 (Llabe-1, RMadr-6), 2016-1 (Llabe-1, RMadr-6), 2016-2 (RMadr-5, RMadr-6), 2017-2 (RMadr-6), 2018-2 (Llabe-1, RMadr-6), 2020-2 (RMadr-5); que representa el 30% de registros analizados. Sin embargo, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de arsénico no presentan diferencia significativa con su nivel de fondo estimado en las muestras analizadas, por lo que su presencia puede ser natural.

### 6.3.2 Cadmio (Cd)

En la Figura 16 se muestra la comparación de las concentraciones de cadmio en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, LLabe-1 y RMadr-6 con el nivel de fondo (NF).

**Figura 16**

Gráfico de comparación entre la concentración de cadmio y el NF durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 16 se puede observar lo siguiente:

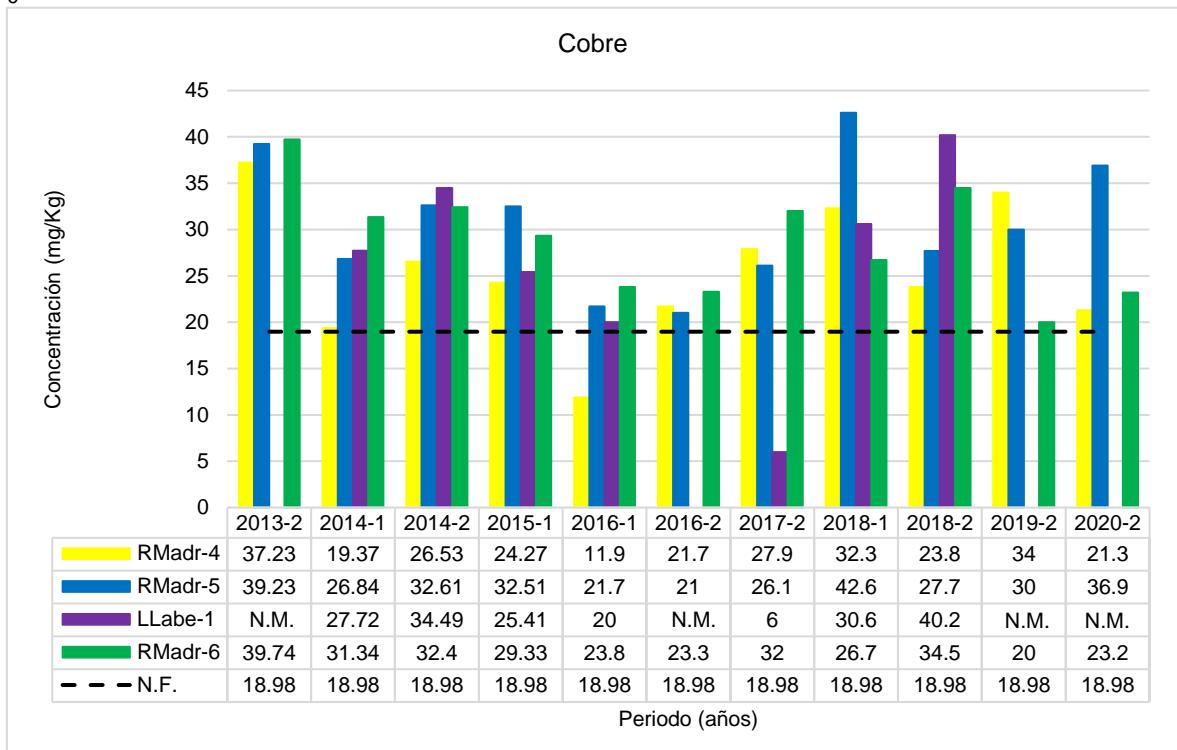
La concentración de cadmio comparado con su nivel de fondo = 1.952 mg/Kg es superado en los siguientes periodos de monitoreo: 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6), 2014-1 (RMadr-5, RMadr-6), 2014-2 (RMadr-4, RMadr-5, LLabe-1, RMadr-6), 2015-1 (RMadr-4, RMadr-5, LLabe-1, RMadr-6) y 2016-1 (RMadr-5, RMadr-6); que representa el 37.5% de registros analizados. Además, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de cadmio presentan diferencia significativa y son mayores con su nivel de fondo estimado en las muestras analizadas.

### 6.3.3 Cobre (Cu)

En la Figura 17 se muestra la comparación de la concentración de cobre en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, LLabe-1 y RMadr-6 con el nivel de fondo (NF).

**Figura 17**

Gráfico de comparación entre la concentración de cobre y el NF durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 17 se puede observar lo siguiente:

La concentración de cobre comparado con su nivel de fondo = 18.98 mg/Kg es superado en los siguientes períodos de monitoreo: 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6), 2014-1 (RMadr-4, LLabe-1, RMadr-5, RMadr-6), 2014-2 (RMadr-4, LLabe-1, RMadr-5, RMadr-6), 2015-1 (RMadr-4, LLabe-1, RMadr-5, RMadr-6), 2016-1 (LLabe-1, RMadr-5, RMadr-6), 2016-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6), 2017-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6), 2018-1 (RMadr-4, LLabe-1, RMadr-5, RMadr-6), 2018-2 (RMadr-4, LLabe-1, RMadr-5, RMadr-6), 2019-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6) y 2020-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6);

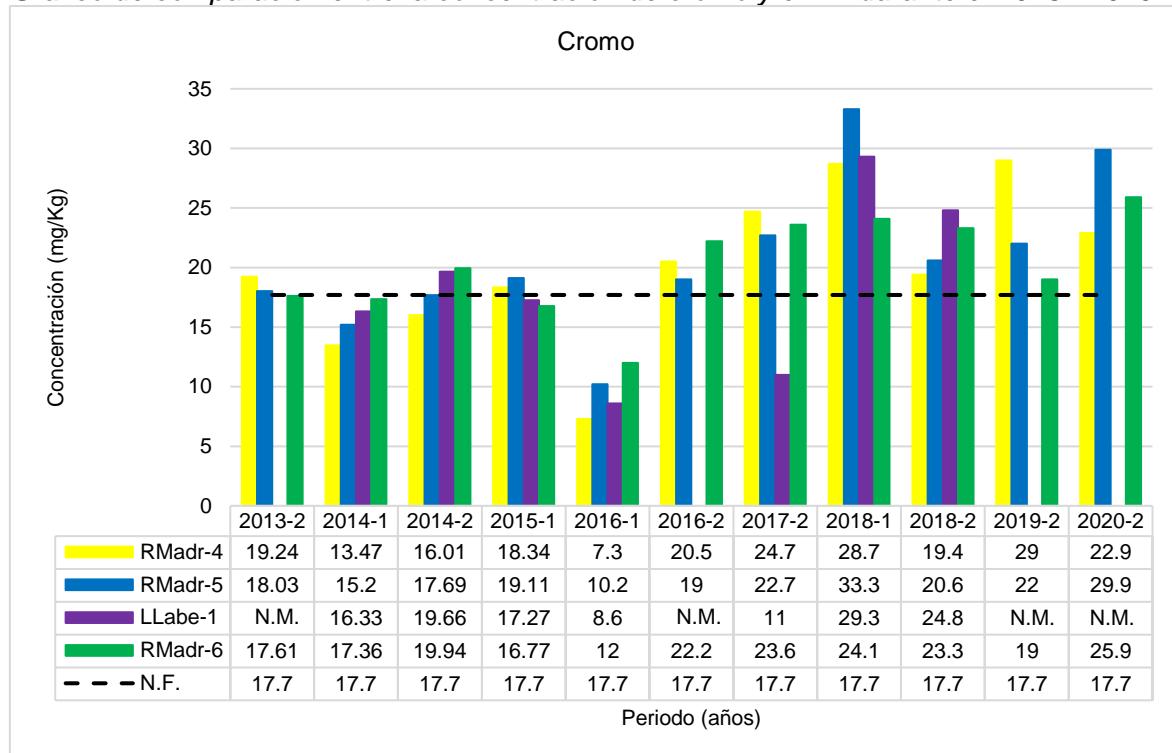
que representa el 95% de registros analizados. Además, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de cobre presentan diferencia significativa y son mayores con su nivel de fondo estimado en las muestras analizadas

#### 6.3.4 Cromo (Cr)

En la Figura 18 se muestra la comparación de la concentración de cromo en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6 con el nivel de fondo (NF).

**Figura 18**

*Gráfico de comparación entre la concentración de cromo y el NF durante el 2013 - 2020.*



*Nota:* Elaborado mediante Microsoft Excel., 0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 18 se puede observar lo siguiente:

La concentración de cromo comparado con su nivel de fondo = 17.7 mg/Kg es superado en los siguientes períodos de monitoreo: 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5), 2014-2 (Llabe-1, RMadr-6), 2015-1 (RMadr-4, RMadr-5), 2016-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6), 2017-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6), 2018-1 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6),

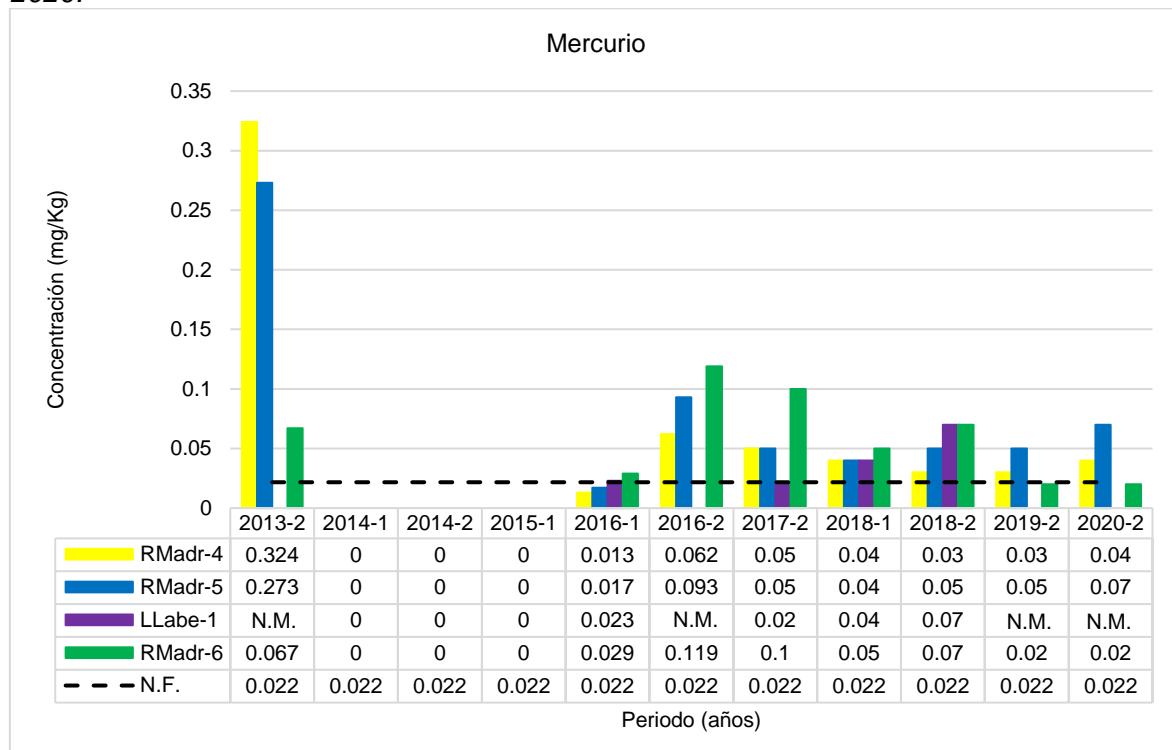
2019-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6) y 2020-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6); que representa el 65% de registros analizados. Además, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de cromo presentan diferencia significativa y son mayores con su nivel de fondo estimado en las muestras analizadas.

### 6.3.5 Mercurio (Hg)

En la Figura 19 se muestra la comparación de la concentración de mercurio en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6 con el nivel de fondo (NF).

**Figura 19**

*Gráfico de comparación entre la concentración de mercurio y el NF durante el 2013 - 2020.*



*Nota:* Elaborado mediante Microsoft Excel., 0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 19 se puede observar lo siguiente:

La concentración de mercurio comparado con su nivel de fondo = 0.0217 mg/Kg es superado en los siguientes períodos de monitoreo: 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6),

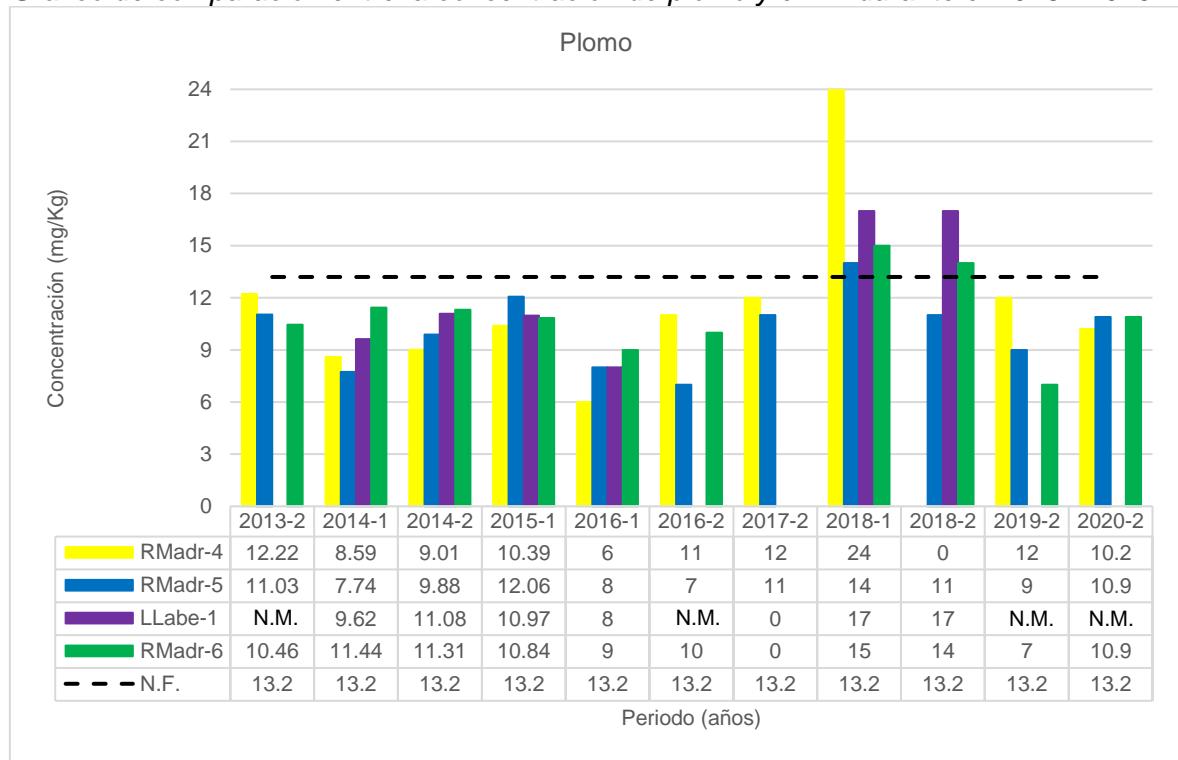
2016-1 (Llabe-1, RMadr-6), 2016-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6), 2017-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6), 2018-1 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2018-2 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2019-2 (RMadr-4, RMadr-5) y 2020-2 (RMAdr-4, RMadr-5); que representa el 55% de registros analizados. Además, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de mercurio presentan diferencia significativa y son mayores con su nivel de fondo estimado en las muestras analizadas.

### 6.3.6 Plomo (Pb)

En la Figura 20 se muestra la comparación de la concentración de plomo en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6 con el nivel de fondo (NF).

**Figura 20**

*Gráfico de comparación entre la concentración de plomo y el NF durante el 2013 - 2020.*



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 20 se puede observar lo siguiente:

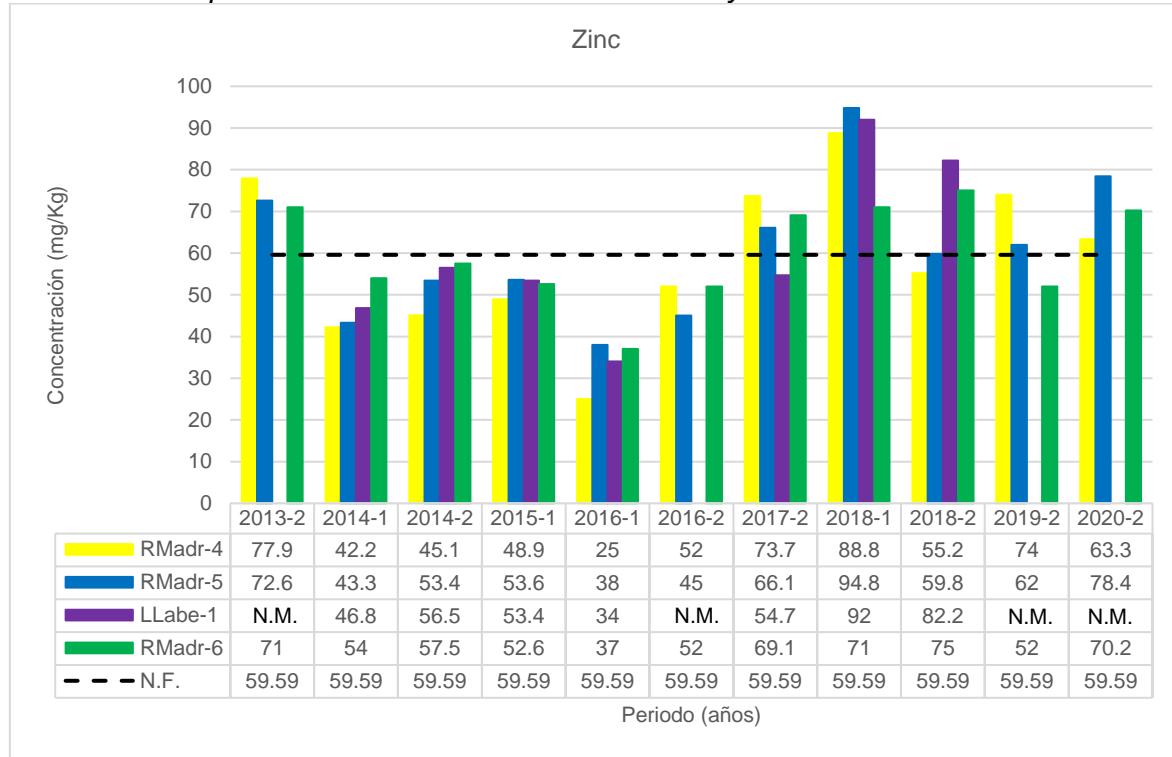
La concentración de plomo comparado con su nivel de fondo = 13.2 mg/Kg es superado en los siguientes periodos de monitoreo: 2018-1 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6) y 2018-2 (Llabe-1, RMadr-6); que representa el 15% de registros analizados. Sin embargo, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de plomo presentan diferencia significativa y son menores con su nivel de fondo estimado en las muestras analizadas, por lo que su presencia puede ser natural.

### 6.3.7 Zinc (Zn)

En la Figura 21 se muestra la comparación de la concentración de zinc en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6 y el nivel de fondo (NF).

**Figura 21**

*Gráfico de comparación entre la concentración de zinc y el NF durante el 2013 - 2020.*



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 21 se puede observar lo siguiente:

La concentración de zinc comparado con su nivel de fondo = 59.59 mg/Kg es superado en los siguientes periodos de monitoreo: 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6), 2017-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6), 2018-1 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2018-2 (RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2019-2 (RMadr-4, RMadr-5) y 2020-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6); que representa el 45% de registros analizados. Sin embargo, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de zinc no presentan diferencia significativa con su nivel de fondo estimado en las muestras analizadas, por lo que su presencia puede ser natural.

## **6.4 Comparación con estándares internacionales**

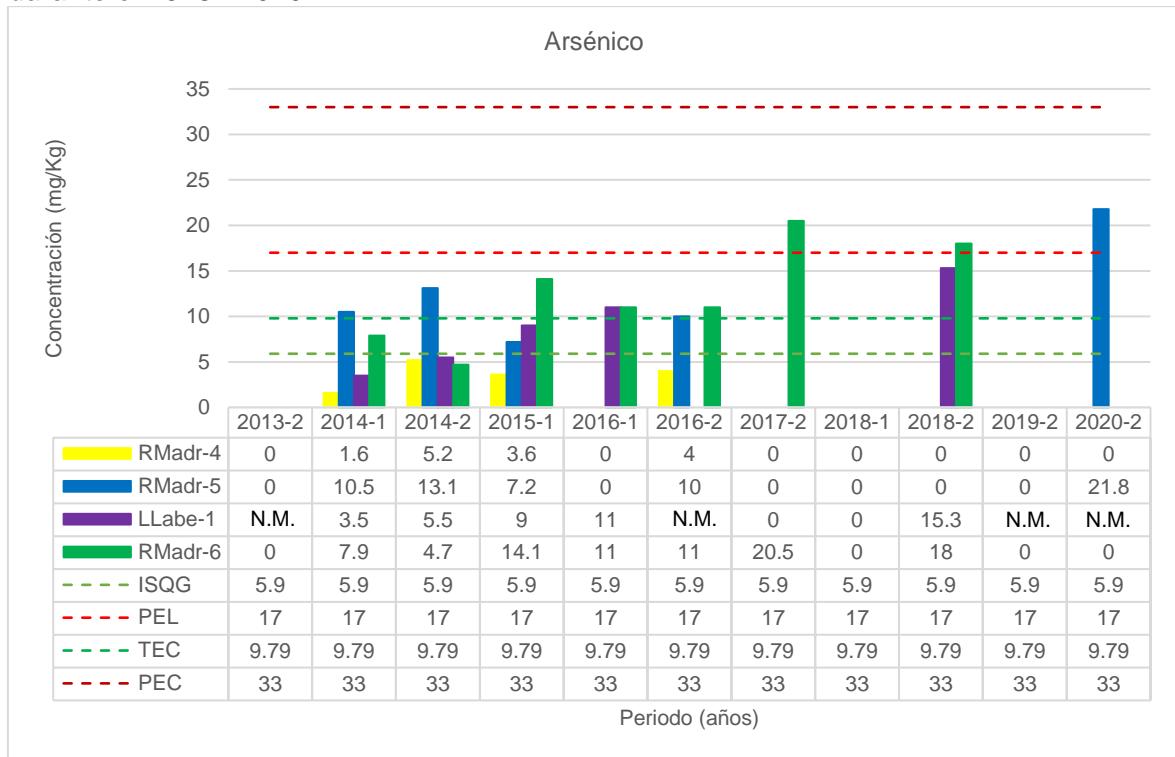
A continuación, se realiza comparación de las concentraciones de metales y metaloide con las directrices canadienses sobre la calidad de los sedimentos (ISQG y PEL), las directrices para calidad de sedimentos basadas en consenso (PEC y TEC).

### **6.4.1 Arsénico (As)**

En la Figura 15 se muestra la comparación de las concentraciones de arsénico en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6 entre el estándar interino de la calidad de sedimento (ISQG), nivel de efecto probable (PEL), concentración de efecto umbral (TEC) y concentración de efecto probable (PEC).

**Figura 15**

Gráfico de comparación entre la concentración de arsénico y el ISQG, PEL, TEC y PEC durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 15 se puede observar lo siguiente:

La concentración de arsénico comparado con el ISQG = 5.9 mg/Kg, es superado y presentaría efecto biológico adverso en los en los organismos bentónicos y epibentónicos, en los siguientes periodos de monitoreo: 2014-1 (RMadr-5, RMadr-6), 2014-2 (RMadr-5), 2015-1 (LLabe-1, RMadr-5, RMadr-6), 2016-1 (LLabe-1, RMadr-6), 2016-2 (RMadr-5, RMadr-6), 2017-2 (RMadr-6), 2018-2 (Llabe-1, RMadr-6) y 2020-2 (RMadr-5); que representa el 35% de registros analizados. Además, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de arsénico presentan diferencia significativa y son mayores con su ISQG en las muestras analizadas.

La concentración de arsénico comparado con el PEL = 17 mg/Kg, supera y presentaría efecto biológico adverso con frecuencia en los en los organismos bentónicos y epibentónicos, en los siguientes periodos de monitoreo: 2017-2 (RMadr-6), 2018-2 (RMadr-

6), 2020-2 (RMadr-5); que representa el 8% de registros analizados. Sin embargo, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de arsénico en general presentan diferencia significativa y son menores con su PEL en las muestras analizadas.

La concentración de arsénico comparado con el TEC = 9.79 mg/Kg, es superado y podría representar riesgos tóxicos en organismos de los sedimentos, en los siguientes periodos de monitoreo: 2014-1 (RMadr-5), 2014-2 (RMadr-5), 2015-1 (RMadr-6), 2016-1 (Llabe-1, RMadr-6), 2016-2 (RMadr-5, RMadr-6), 2017-2 (RMadr-6), 2018-2 (Llabe-1, RMadr-6) y 2020-2 (RMadr-5); que representa el 28% de registros analizados. Sin embargo, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de arsénico en general presentan diferencia significativa y son menores con su TEC en las muestras analizadas

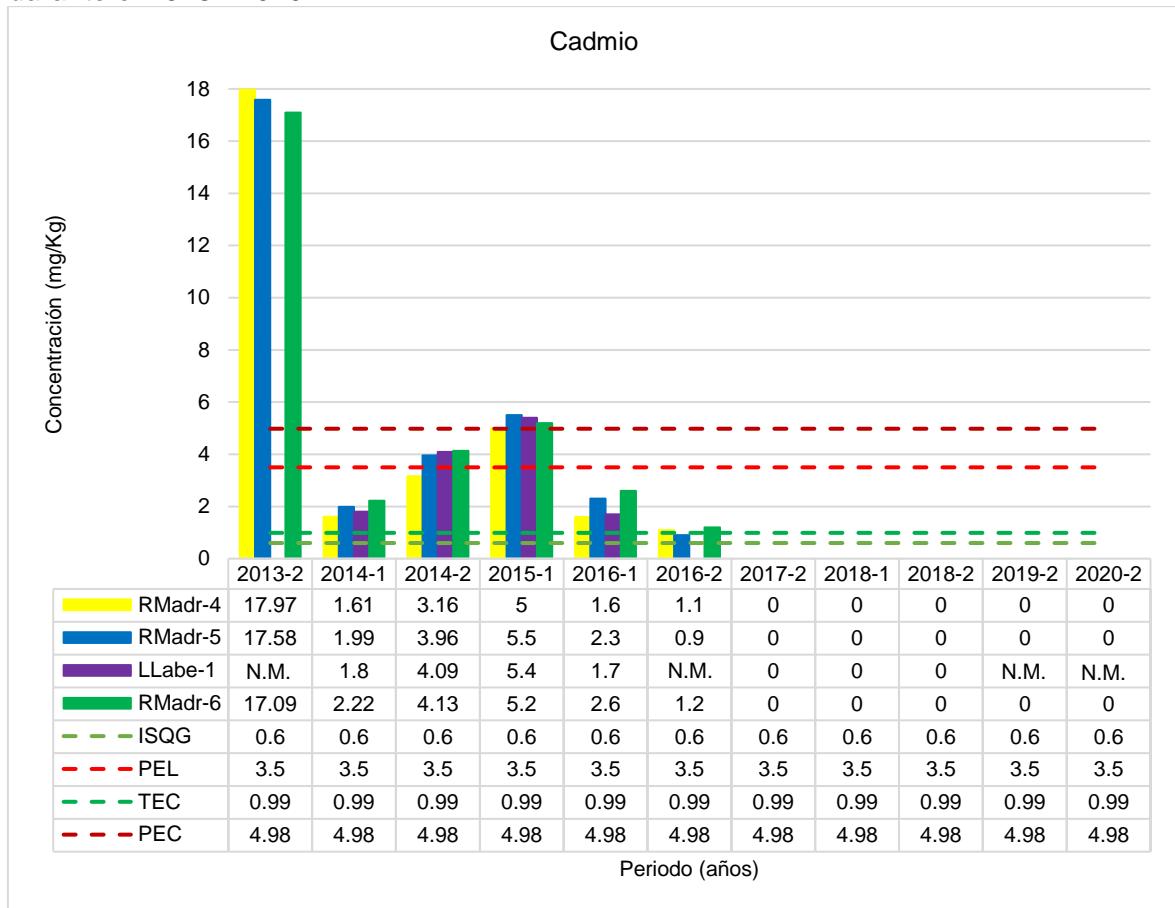
La concentración de arsénico comparado con el PEC = 33 mg/Kg, no supera y no se esperaría efectos adversos en organismos de los sedimentos con frecuencia, en ninguno de los periodos de monitoreo analizados. Además, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de arsénico en general presentan diferencia significativa y son menores con su PEC en las muestras analizadas

#### **6.4.2 Cadmio (Cd)**

En la Figura 16 se muestra la comparación de las concentraciones de cadmio en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6 entre el estándar interino de la calidad de sedimento (ISQG), nivel de efecto probable (PEL), concentración de efecto umbral (TEC) y concentración de efecto probable (PEC).

**Figura 16**

Gráfico de comparación entre la concentración de cadmio y el ISQG, PEL, TEC y PEC durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 16 se puede observar lo siguiente:

La concentración de cadmio comparado con el ISQG = 0.6 mg/Kg es superado y presentaría efecto biológico adverso en los en los organismos bentónicos y epibentónicos, en los siguientes períodos de monitoreo: 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6), 2014-1 (RMadr-4, RMadr-5, LLabe-1, RMadr-6), 2014-2 (RMadr-4, RMadr-5, LLabe-1, RMadr-6), 2015-1 (RMadr-4, RMadr-5, LLabe-1, RMadr-6), 2016-1 (RMadr-4, RMadr-5, LLabe-1, RMadr-6) y 2016-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6); que representa el 55% de registros analizados. Además, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de cadmio presentan diferencia significativa y son mayores con su ISQG en las muestras analizadas.

La concentración de cadmio comparado con el PEL = 3.5 mg/Kg es superado y presentaría efecto biológico adverso con frecuencia en los en los organismos bentónicos y epibentónicos, en los siguientes periodos de monitoreo: 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6), 2014-2 (RMadr-5, LLabe-1, RMadr-6), 2015-1 (RMadr-4, RMadr-5, LLabe-1, RMadr-6); que representa el 25% de registros analizados. Además, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de cadmio no presentan diferencia significativa con su PEL en las muestras analizadas.

La concentración de cadmio comparado con el TEC = 0.99 mg/Kg, es superado y podría representar riesgos tóxicos en organismos de los sedimentos, en los siguientes periodos de monitoreo: 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6), 2014-1 (RMadr-4, RMadr-5, LLabe-1, RMadr-6), 2014-2 (RMadr-4, RMadr-5, LLabe-1, RMadr-6), 2015-1 (RMadr-4, RMadr-5, LLabe-1, RMadr-6), 2016-1 (RMadr-4, RMadr-5, LLabe-1, RMadr-6), 2016-2 (RMadr-4, RMadr-6); que representa el 53 % de registros analizados. Además, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de cadmio presentan diferencia significativa y son mayores con su TEC en las muestras analizadas.

La concentración de cadmio comparado con el PEC = 4.98 mg/Kg, es superado y se esperaría efectos adversos en organismos de los sedimentos con frecuencia, en los siguientes periodos de monitoreo: 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6), 2015-1 (RMadr-4, RMadr-5, LLabe-1, RMadr-6); que representa el 18 % de registros analizados. Sin embargo, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de cadmio en general no presentan diferencia significativa con su PEC en las muestras analizadas.

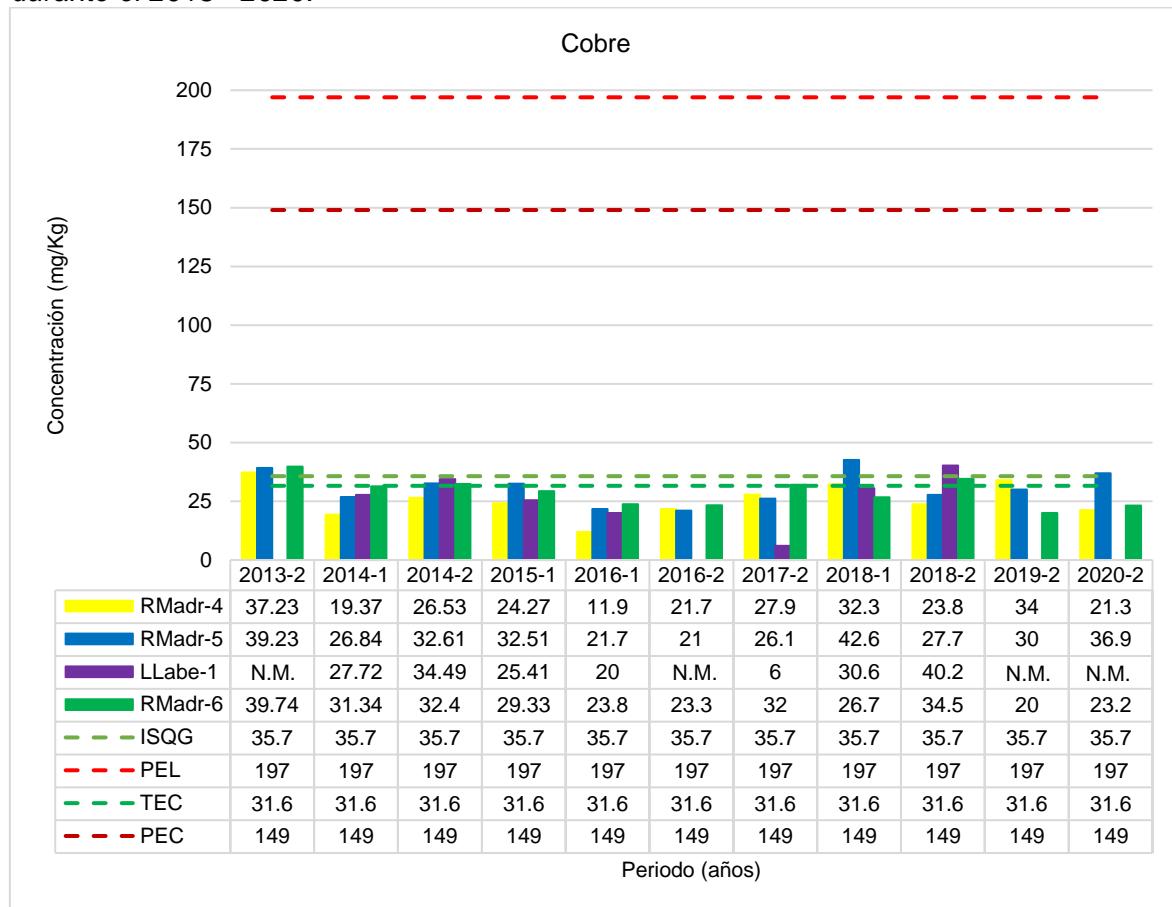
#### **6.4.3 Cobre (Cu)**

En la Figura 17 se muestra la comparación de la concentración de cobre en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, LLabe-1 y RMadr-6 entre el estándar interino de

la calidad de sedimento (ISQG), nivel de efecto probable (PEL), concentración de efecto umbral (TEC) y concentración de efecto probable (PEC).

**Figura 17**

Gráfico de comparación entre la concentración de cobre y el ISQG, PEL, TEC y PEC durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 17 se puede observar lo siguiente:

La concentración de cobre comparado con el ISQG = 35.7 mg/Kg es superado y presentaría efecto biológico adverso en los organismos bentónicos y epibentónicos, en los siguientes períodos de monitoreo: 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6), 2018-1 (RMadr-5), 2018-2 (LLabe-1), 2020-2 (RMadr-5); que representa el 15% de registros analizados. Sin embargo, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de

cobre en general presentan diferencia significativa y son menores con su ISQG en las muestras analizadas.

La concentración de cobre comparado con el PEL = 197 mg/Kg no es superado y no presentaría efecto biológico adverso con frecuencia en los en los organismos bentónicos y epibentónicos, en ninguno de los periodos de monitoreo analizados. Además, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de cobre en general presentan diferencia significativa y son menores con su PEL en las muestras analizadas.

La concentración de cobre comparado con el TEC = 31.6 mg/Kg, es superado y podría representar riesgos tóxicos en organismos de los sedimentos, en los siguientes periodos de monitoreo: 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6), 2014-2 (RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2015-1 (RMadr-5), 2018-1 (RMadr-4, RMadr-5), 2018-2 (Llabe-1, RMadr-6), 2019-2 (RMadr-4) y 2020-2 (RMadr-5); que representa el 33% de registros analizados. Sin embargo, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de cobre en general presentan diferencia significativa y son menores con su TEC en las muestras analizadas.

La concentración de cobre comparado con el PEC = 149 mg/Kg, no supera y no se esperaría efectos adversos en organismos de los sedimentos con frecuencia, en ninguno de los periodos de monitoreo analizados. Además, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de cobre en general presentan diferencia significativa y son menores con su PEC en las muestras analizadas.

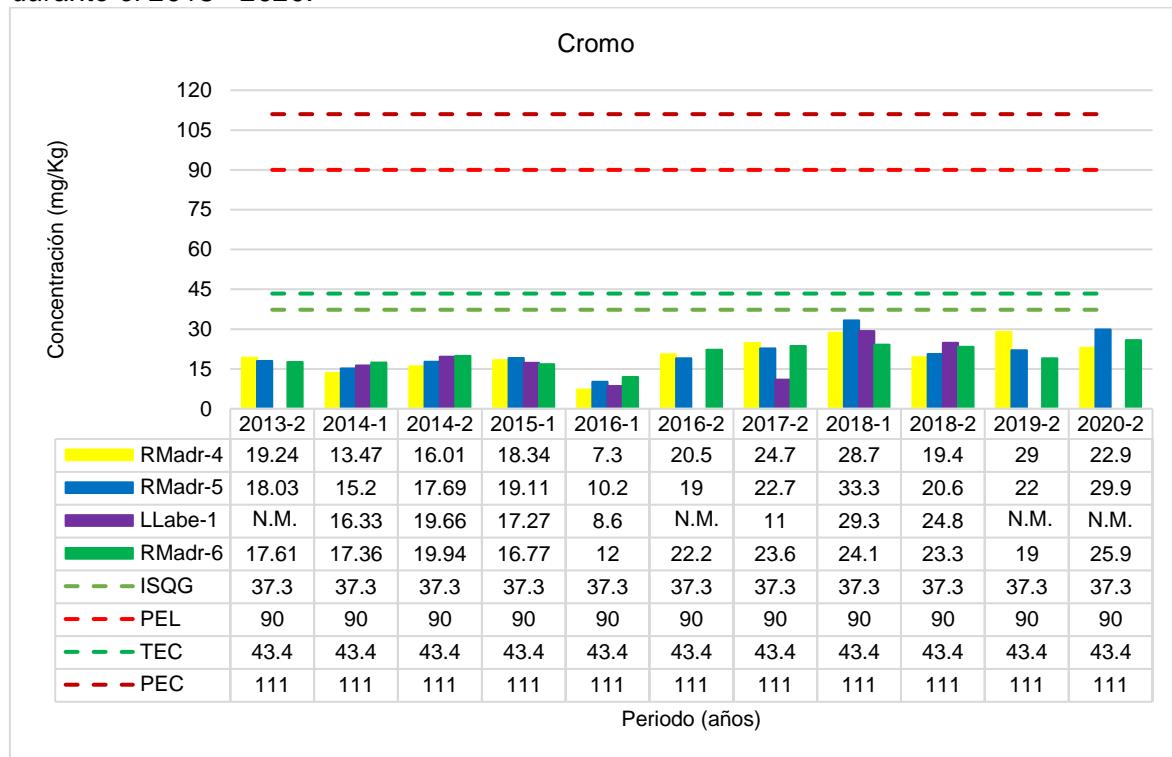
#### **6.4.4 Cromo (Cr)**

En la Figura 18 se muestra la comparación de la concentración de cromo en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6 entre el estándar interino de

la calidad de sedimento (ISQG), nivel de efecto probable (PEL), concentración de efecto umbral (TEC) y concentración de efecto probable (PEC).

**Figura 18**

Gráfico de comparación entre la concentración de cromo y el ISQG, PEL, TEC y PEC durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 18 se puede observar lo siguiente:

La concentración de cromo comparado con el ISQG = 37.3 mg/Kg no es superado y no presentaría efecto biológico adverso en los en los organismos bentónicos y epibentónicos, en los períodos de monitoreo analizados. Además, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de cromo en general presentan diferencia significativa y son menores con su ISQG en las muestras analizadas.

La concentración de cromo comparado con el PEL = 90 mg/Kg no es superado y no presentaría efecto biológico adverso con frecuencia en los en los organismos bentónicos y epibentónicos, en ninguno de los períodos de monitoreo analizados. Además, de acuerdo

con el análisis estadístico las concentraciones de cromo en general presentan diferencia significativa y son menores con su PEL en las muestras analizadas.

La concentración de cromo comparado con el TEC = 43.4 mg/Kg no es superado y no representaría riesgos tóxicos en organismos de los sedimentos, en ninguno de los periodos de monitoreo analizados. Además, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de cromo en general presentan diferencia significativa y son menores con su TEC en las muestras analizadas.

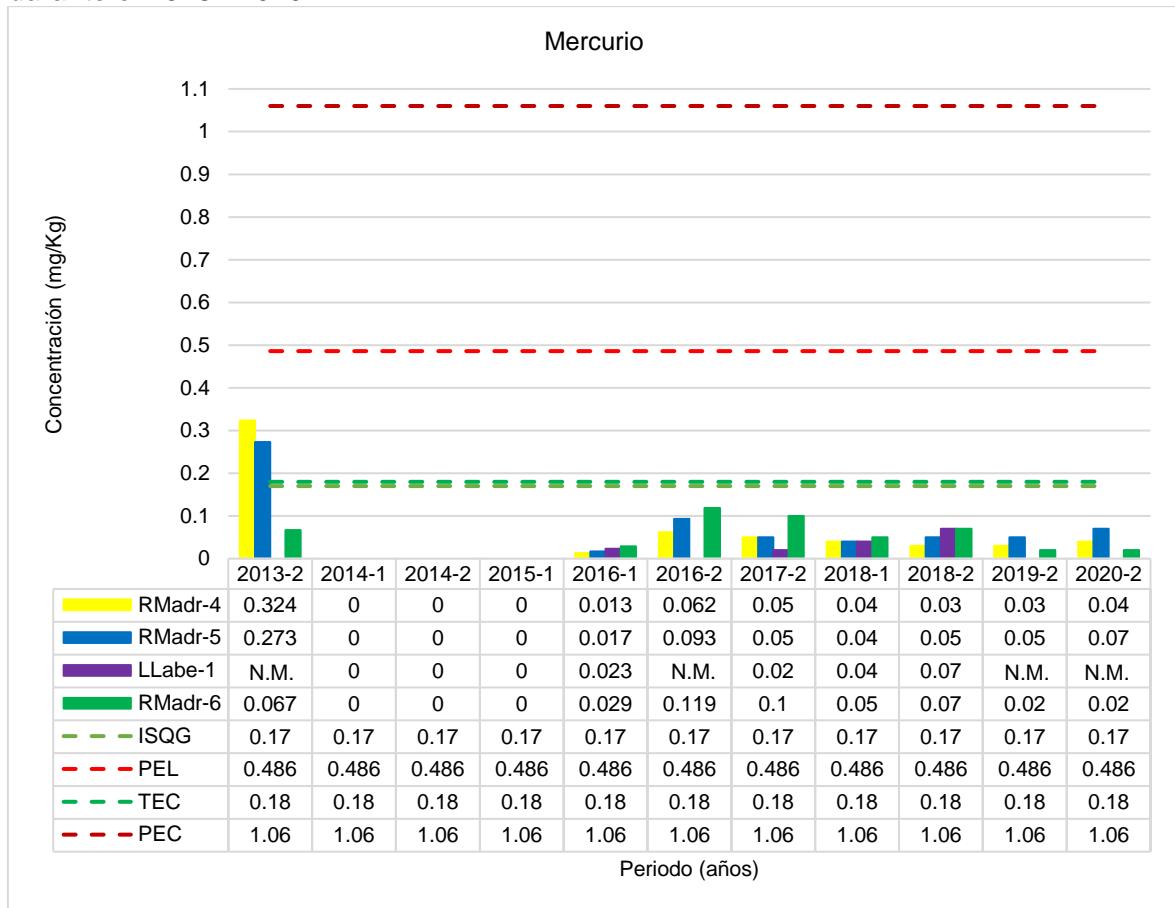
La concentración de cromo comparado con el PEC = 111 mg/Kg, no supera y no se esperaría efectos adversos en organismos de los sedimentos con frecuencia, en ninguno de los periodos de monitoreo analizados. Además, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de cromo en general presentan diferencia significativa y son menores con su TEC en las muestras analizadas.

#### **6.4.5 *Mercurio (Hg)***

En la Figura 19 se muestra la comparación de la concentración de mercurio en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6 entre el estándar interino de la calidad de sedimento (ISQG), nivel de efecto probable (PEL), concentración de efecto umbral (TEC) y concentración de efecto probable (PEC).

**Figura 19**

Gráfico de comparación entre la concentración de mercurio y el ISQG, PEL, TEC y PEC durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 19 se puede observar lo siguiente:

La concentración de mercurio comparado con el ISQG = 0.17 mg/Kg es superado y presentaría efecto biológico adverso en los en los organismos bentónicos y epibentónicos, solo en el periodo de monitoreo 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5). que representa el 5% de registros analizados. Sin embargo, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de mercurio en general presentan diferencia significativa y son menores con su ISQG en las muestras analizadas.

La concentración de mercurio comparado con el PEL = 0.486 mg/Kg no es superado y no presentaría efecto biológico adverso con frecuencia en los en los organismos

bentónicos y epibentónicos, en ninguno de los periodos de monitoreo analizados. Además, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de mercurio en general presentan diferencia significativa y son menores con su PEL en las muestras analizadas.

La concentración de mercurio comparado con el TEC = 0.18 mg/Kg, es superado y podría representar riesgos tóxicos en organismos de los sedimentos, en el siguiente periodo de monitoreo: 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5); que representa el 5% de registros analizados. Sin embargo, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de mercurio en general presentan diferencia significativa y son menores con su TEC en las muestras analizadas.

La concentración de mercurio comparado con el PEC = 1.06 mg/Kg, no supera y no se esperaría efectos adversos en organismos de los sedimentos con frecuencia, en ninguno de los periodos de monitoreo analizados. Además, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de mercurio en general presentan diferencia significativa y son menores con su PEC en las muestras analizadas.

#### **6.4.6 Plomo (Pb)**

En la Figura 20 se muestra la comparación de la concentración de plomo en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6 entre el estándar interino de la calidad de sedimento (ISQG), nivel de efecto probable (PEL), concentración de efecto umbral (TEC) y concentración de efecto probable (PEC).

**Figura 20**

Gráfico de comparación entre la concentración de plomo y el ISQG, PEL, TEC y PEC durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 20 se puede observar lo siguiente:

La concentración de plomo comparado con el ISQG = 35 mg/Kg no es superado y no presentaría efecto biológico adverso en los en los organismos bentónicos y epibentónicos, en los períodos de monitoreo analizados. Además, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de plomo en general presentan diferencia significativa y son menores con su ISQG en las muestras analizadas.

La concentración de plomo comparado con el PEL = 91.3 mg/Kg no es superado y no presentaría efecto biológico adverso con frecuencia en los en los organismos bentónicos y epibentónicos, en ninguno de los períodos de monitoreo analizados. Además, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de plomo en general presentan diferencia significativa y son menores con su PEL en las muestras analizadas.

La concentración de plomo comparado con el TEC = 35.8 mg/Kg no es superado y no representaría riesgos tóxicos en organismos de los sedimentos, en ninguno de los periodos de monitoreo analizados. Además, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de plomo en general presentan diferencia significativa y son menores con su TEC en las muestras analizadas.

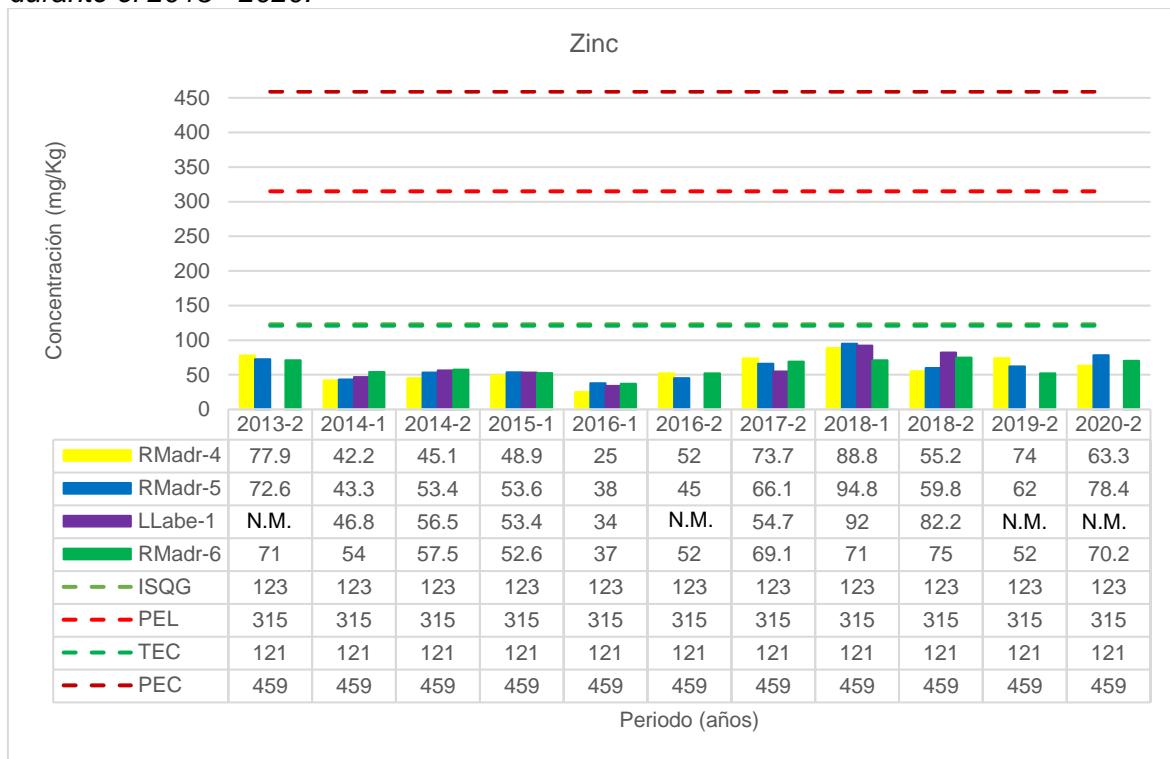
La concentración de plomo comparado con el PEC = 128 mg/Kg no supera y no se esperaría efectos adversos en organismos de los sedimentos con frecuencia, en ninguno de los periodos de monitoreo analizados. Además, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de plomo en general presentan diferencia significativa y son menores con su PEC en las muestras analizadas.

#### **6.4.7 Zinc (Zn)**

En la Figura 21 se muestra la comparación de la concentración de zinc en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6 entre el estándar interino de la calidad de sedimento (ISQG), nivel de efecto probable (PEL), concentración de efecto umbral (TEC) y concentración de efecto probable (PEC).

**Figura 21**

Gráfico de comparación entre la concentración de zinc y el ISQG, PEL, TEC y PEC durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 21 se puede observar lo siguiente:

La concentración de zinc comparado con el ISQG = 123 mg/Kg no es superado y no presentaría efecto biológico adverso en los en los organismos bentónicos y epibentónicos, en los períodos de monitoreo analizados. Además, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de zinc en general presentan diferencia significativa y son menores con su ISQG en las muestras analizadas.

La concentración de zinc comparado con el PEL = 315 mg/Kg no es superado y no presentaría efecto biológico adverso con frecuencia en los en los organismos bentónicos y epibentónicos, en ninguno de los períodos de monitoreo analizados. Además, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de zinc en general presentan diferencia significativa y son menores con su PEL en las muestras analizadas.

La concentración de zinc comparado con el TEC = 121 mg/Kg no es superado y no representaría riesgos tóxicos en organismos de los sedimentos, en ninguno de los periodos de monitoreo analizados. Además, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de zinc en general presentan diferencia significativa y son menores con su TEC en las muestras analizadas.

La concentración de zinc comparado con el PEC = 459 mg/Kg, no supera y no se esperaría efectos adversos en organismos de los sedimentos con frecuencia, en ninguno de los periodos de monitoreo analizados. Además, de acuerdo con el análisis estadístico las concentraciones de zinc en general presentan diferencia significativa y son menores con su PEC en las muestras analizadas.

## **6.5 Índices de calidad de sedimentos**

### **6.4.1 Índices individuales**

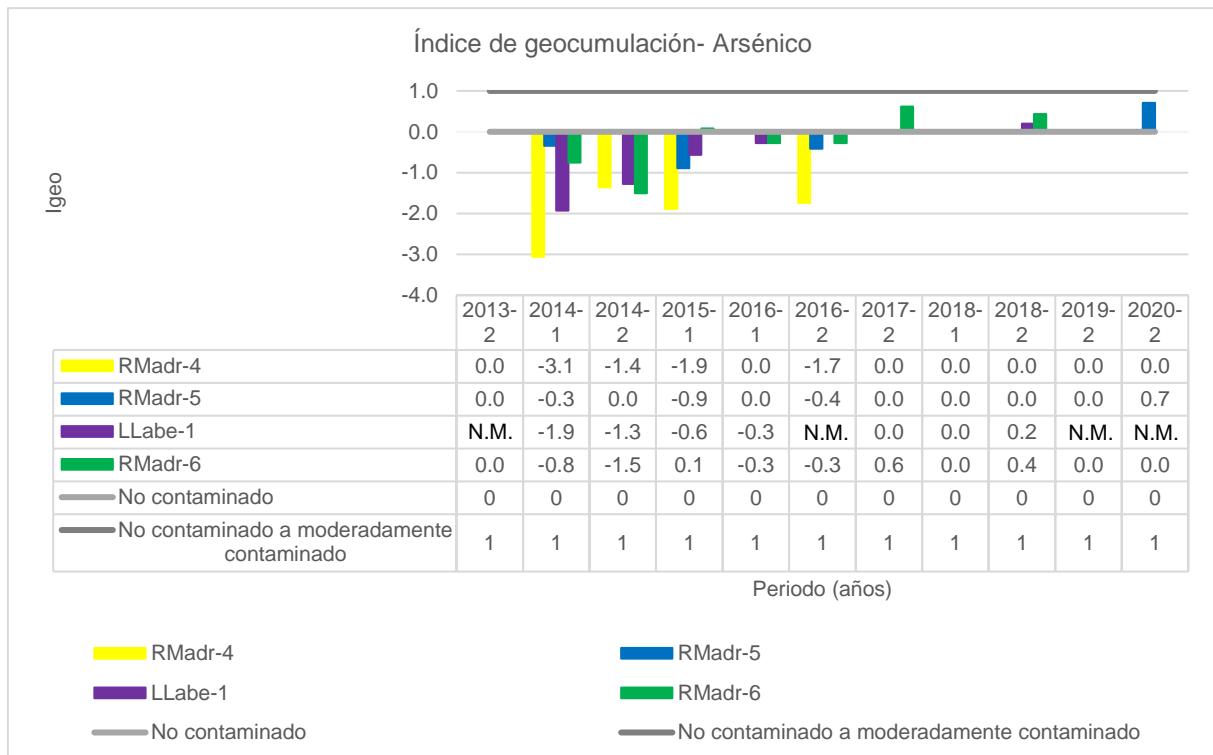
#### **6.4.1.1 Índice de geoacumulación (Igeo).**

##### **6.5.1.1.1 Igeo del arsénico.**

En la Figura 22 se muestran los niveles de Igeo que alcanzo el arsénico durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 22**

Gráfico del Igeo del arsénico durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0.0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 22 se puede observar lo siguiente:

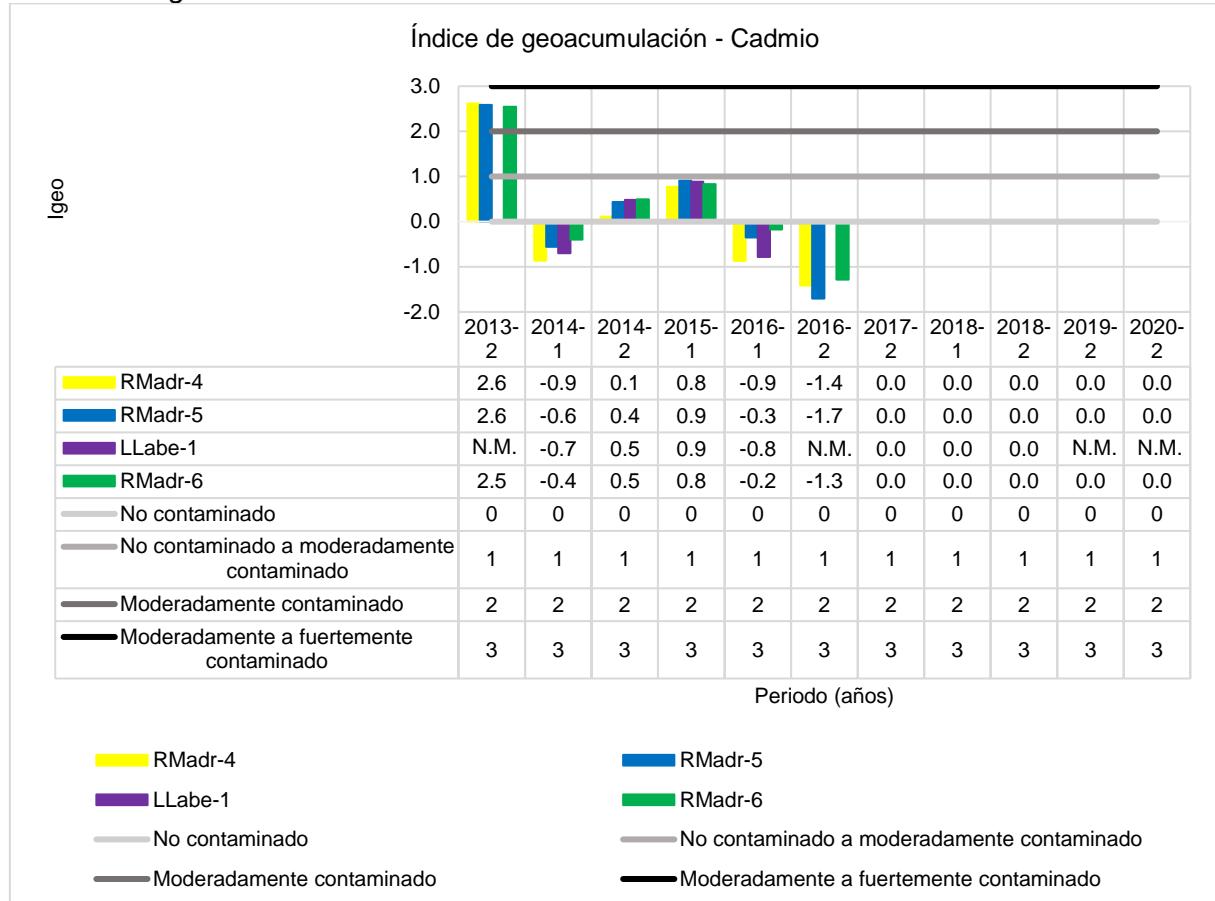
El Igeo del arsénico evaluado en el periodo 2013 - 2020 presenta valores menores a 0, en condición de no contaminado en la mayoría de los puntos de monitoreo analizados, con excepción del periodo 2017-2 (RMadr-6), 2018-2 (RMadr-6) y 2020-2 (RMadr-5) con valores entre 0 y 1 en condición de no contaminado a moderadamente contaminado.

#### 6.5.1.1.2 Igeo del cadmio

En la Figura 23 se muestran los niveles de Igeo que alcanzo el cadmio durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

Figura 23

### Gráfico del Igeo del cadmio durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0.0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 23 se puede observar lo siguiente:

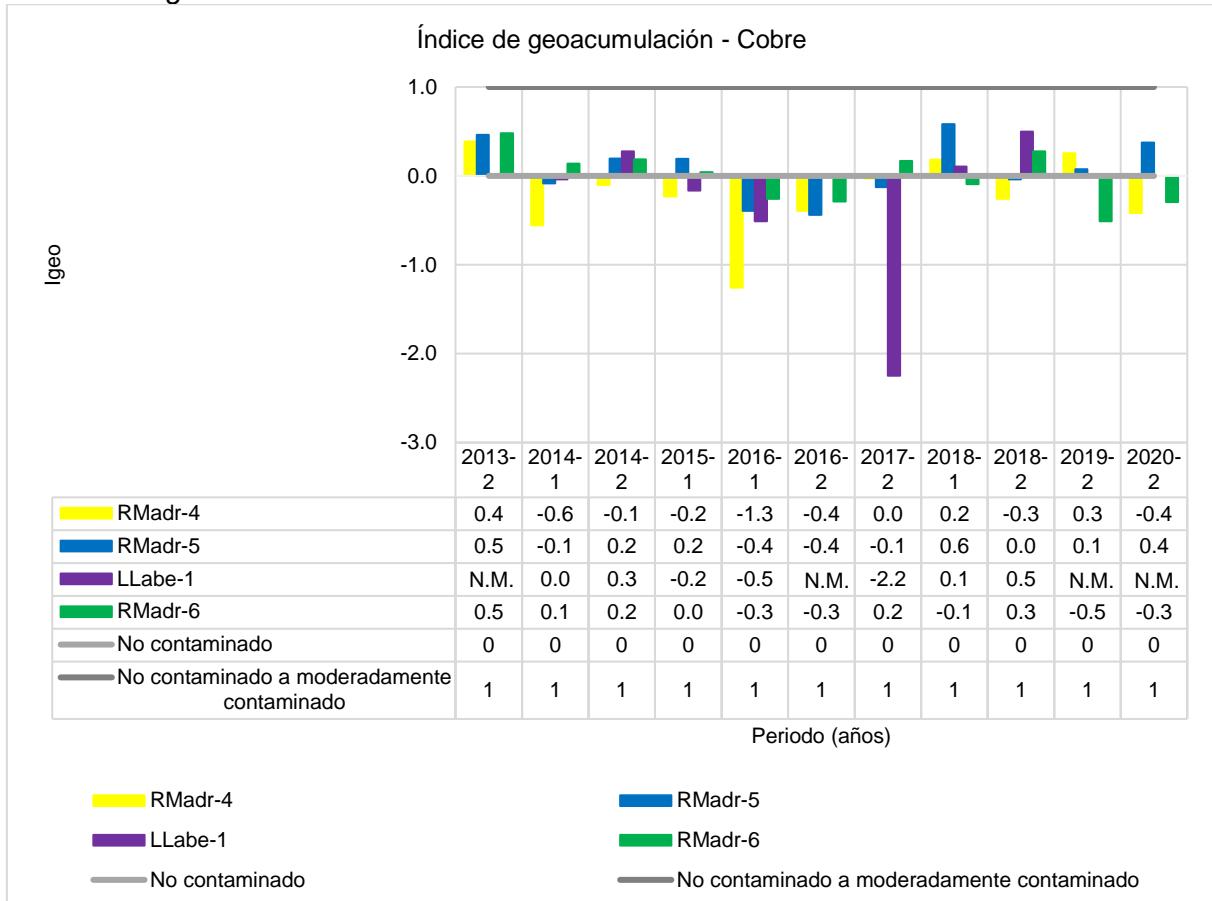
El Igeo del cadmio evaluado en el periodo 2013 - 2020 presenta valores menores a 0, en condición de no contaminado en la mayoría de los puntos de monitoreo analizados y del 2017-2 al 2020-2 con valores no detectados. Por otro lado, presenta valores entre 0 y 1 en condición de no contaminado a moderadamente contaminado durante el 2014-2 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6) y 2015-1 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6); además en el periodo 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6) presenta valores entre 2 y 3 en condición de moderadamente contaminado a fuertemente contaminado.

### 6.5.1.1.3 Igeo del cobre

En la Figura 24 se muestran los niveles de Igeo que alcanzo el cobre durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 24**

Gráfico del Igeo del cobre durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0.0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 24 se puede observar lo siguiente:

El Igeo del cobre evaluado en el periodo 2013 - 2020 presenta valores menores a 0, en condición de no contaminado en la mayoría de los puntos de monitoreo analizados, con excepción del 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6), 2014-1 (RMadr-6), 2014-2 (RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6) y 2015-1 (RMadr-5), 2017-2 (RMadr-6), 2018-1 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1), 2018-2 (Llabe-1, RMadr-6), 2019-2 (RMadr-4, RMadr-5) y 2020-2

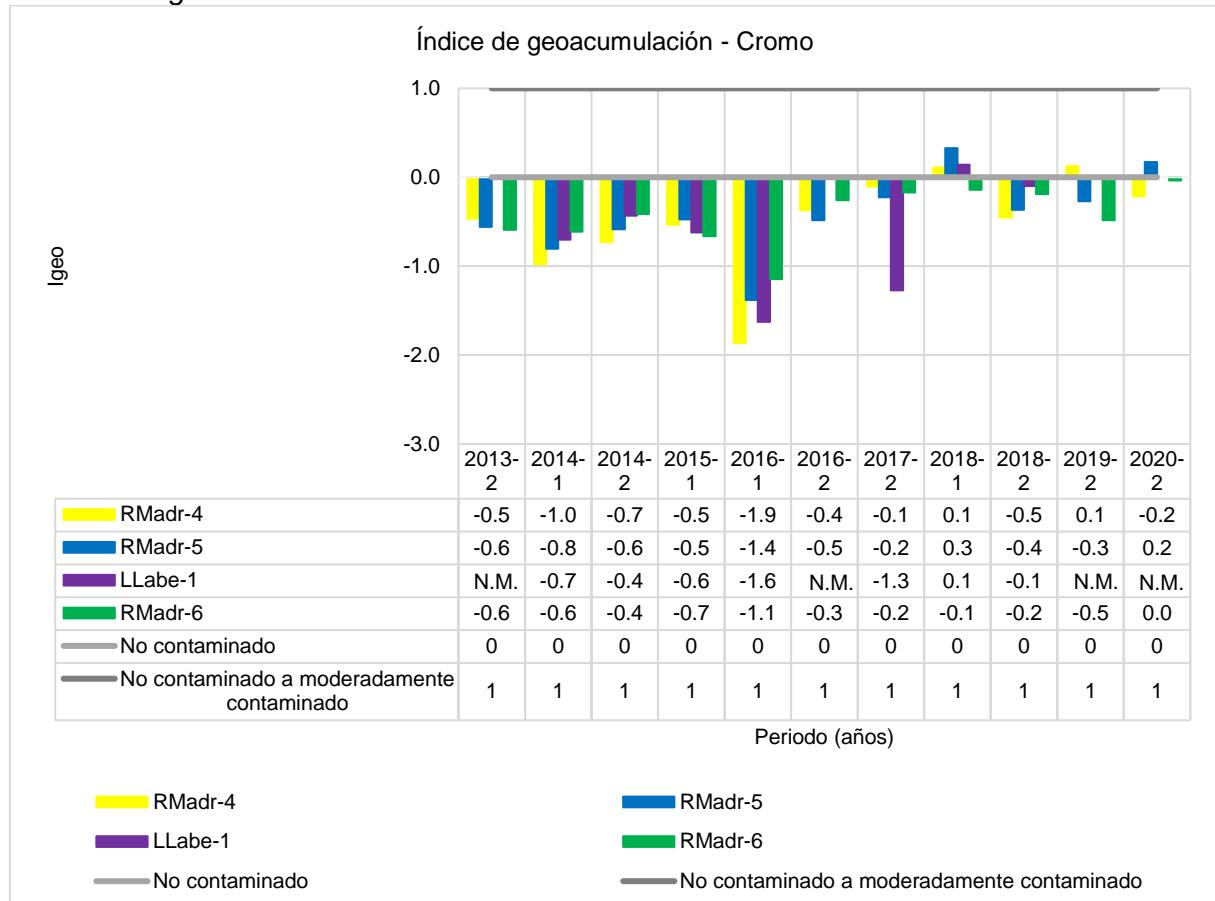
(RMadr-5) donde presenta valores entre 0 y 1 en condición de no contaminado a moderadamente contaminado.

#### 6.5.1.1.4 Igeo del cromo

En la Figura 25 se muestran los niveles de Igeo que alcanzo el cromo durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 25**

Gráfico del Igeo del cromo durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0.0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 25 se puede observar lo siguiente:

El Igeo del cromo evaluado en el período 2013 - 2020 presenta valores menores a 0, en condición de no contaminado en la mayoría de los puntos de monitoreo analizados, con excepción del período 2018-1 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1), 2019-2 (RMadr-4) y 2020-

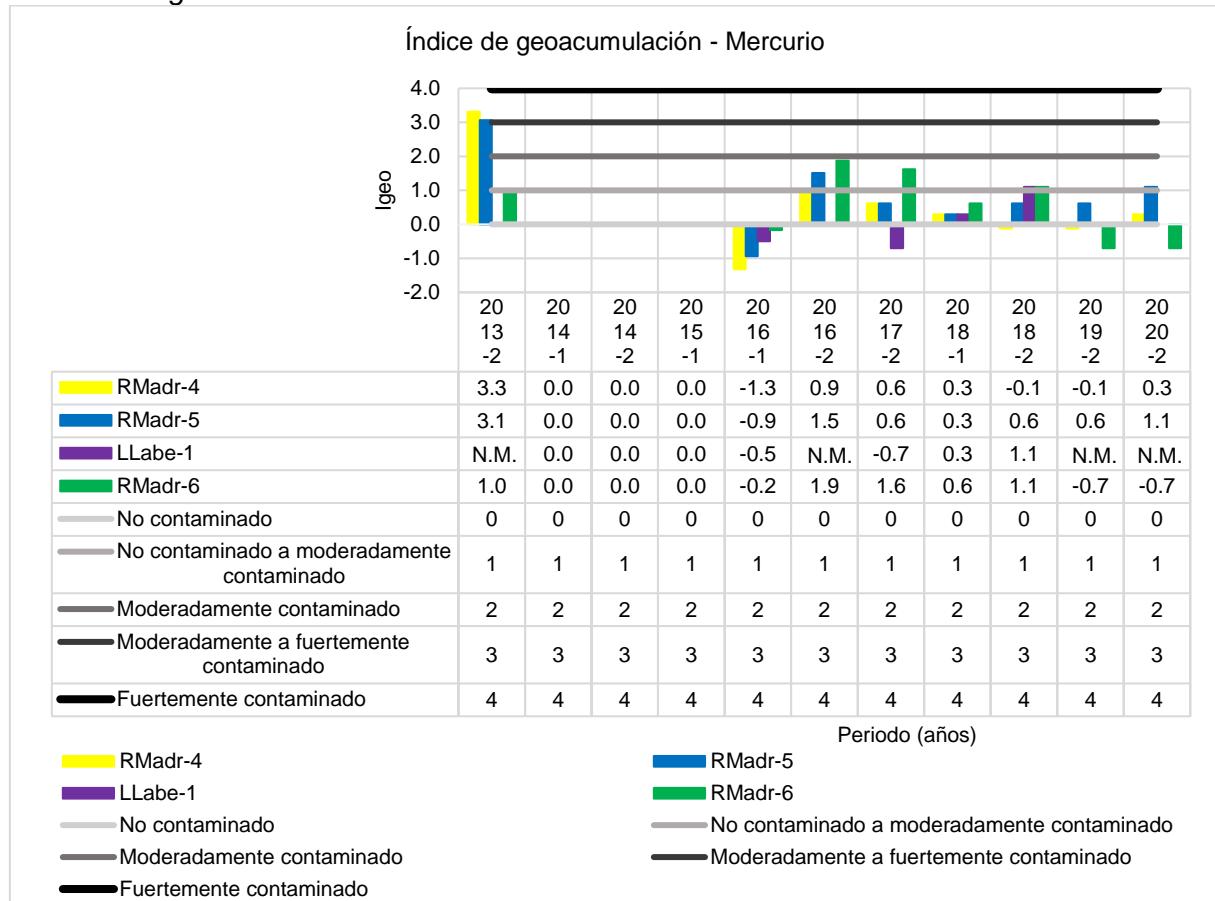
2 (RMadr-5) con valores entre 0 y 1 en condición de no contaminado a moderadamente contaminado.

#### 6.5.1.1.5 *Igeo del mercurio*

En la Figura 26 se muestran los niveles de Igeo que alcanzo el mercurio durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 26**

Gráfico del Igeo del mercurio durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0.0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 26 se puede observar lo siguiente:

El Igeo del mercurio evaluado en el período 2013 - 2020 presenta valores menores a 0, en condición de no contaminado en 2016-1 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2017-2 (Llabe-1), 2019-2 (RMadr-5), 2020-2 (RMAdr-5) y con valores no detectados en

condición de no contaminado en todos los puntos muestreados en 2014-1, 2014-2 y 2015-1.

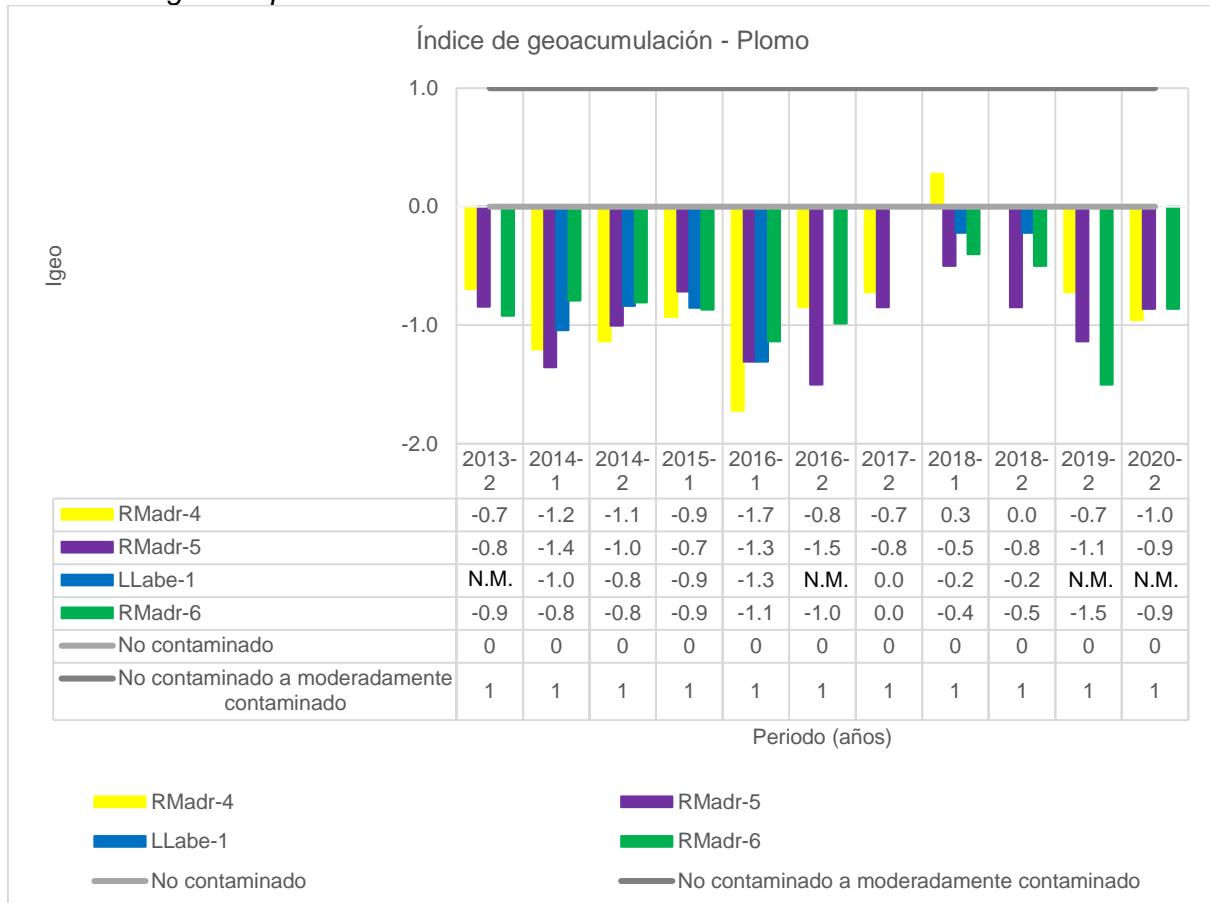
1. Por otro lado, presenta valores entre 0 y 1 en condición de no contaminado a moderadamente contaminado en 2013-2 (RMadr-6), 2016-2 (RMadr-4), 2017-2 (RMadr-4, RMadr-5), 2018-1 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2018-2 (RMadr-5), 2019-2 (RMadr-5) y 2020-2 (RMadr-4). Valores entre 1 y 2 en condición de moderadamente contaminado en 2016-2 (RMadr-5, RMadr-6), 2017-2 (RMadr-6), 2018-2 (Llabe-1, RMadr-6) y 2020-2 (RMadr-5). Valores entre 3 y 4 en condición de moderadamente a fuertemente contaminado en 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5).

#### **6.5.1.1.6 *Igeo del plomo***

En la Figura 27 se muestran los niveles de Igeo que alcanzo el plomo durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 27**

Gráfico del Igeo del plomo durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0.0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 27 se puede observar lo siguiente:

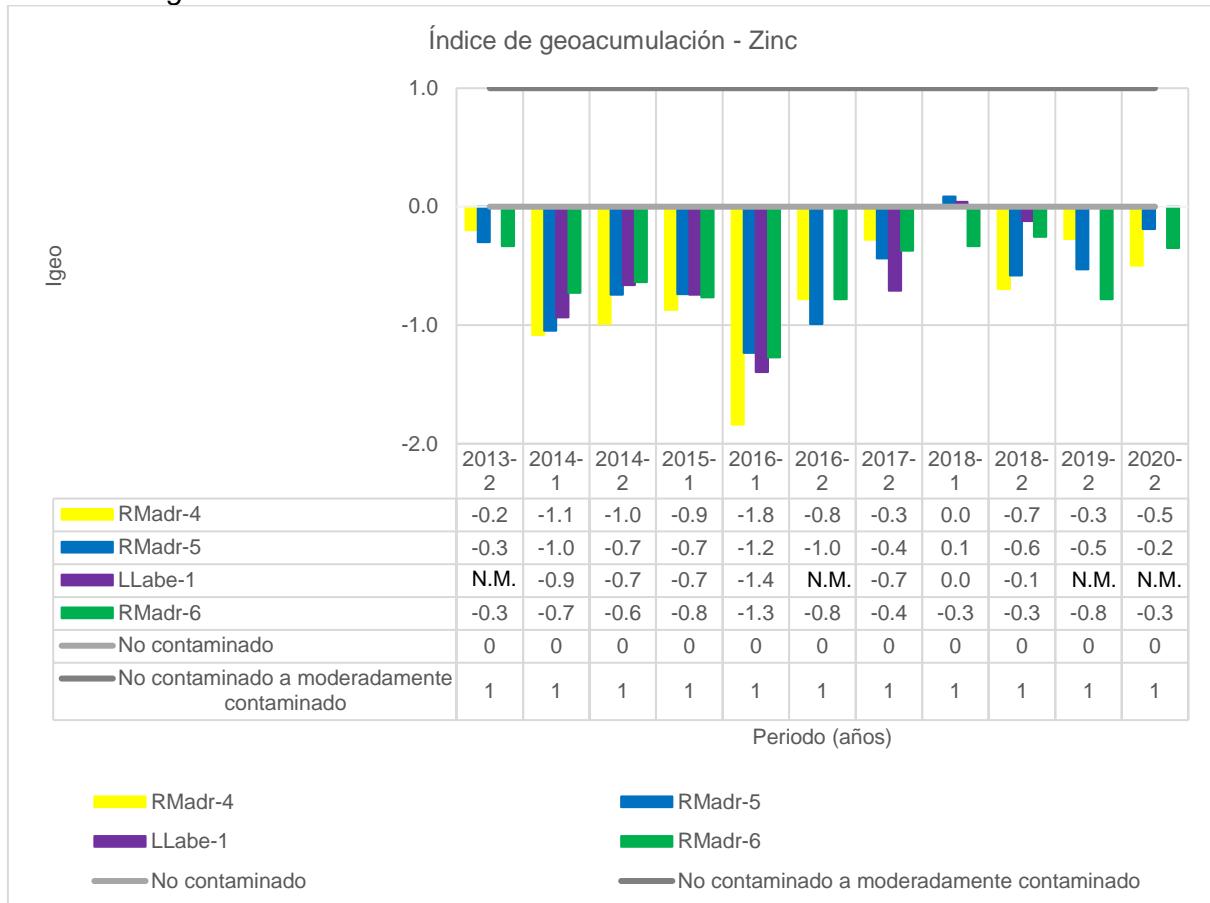
El Igeo del plomo evaluado en el periodo 2013 - 2020 presenta valores menores a 0, en condición de no contaminado en la mayoría de los puntos de monitoreo analizados, con excepción del periodo 2018-1 (RMadr-4) con un valor entre 0 y 1 en condición de no contaminado a moderadamente contaminado.

#### 6.5.1.1.7 Igeo del zinc

En la Figura 28 se muestran los niveles de Igeo que alcanzo el zinc durante el 2013 - 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 28**

Gráfico del Igeo del zinc durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0.0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 28 se puede observar lo siguiente:

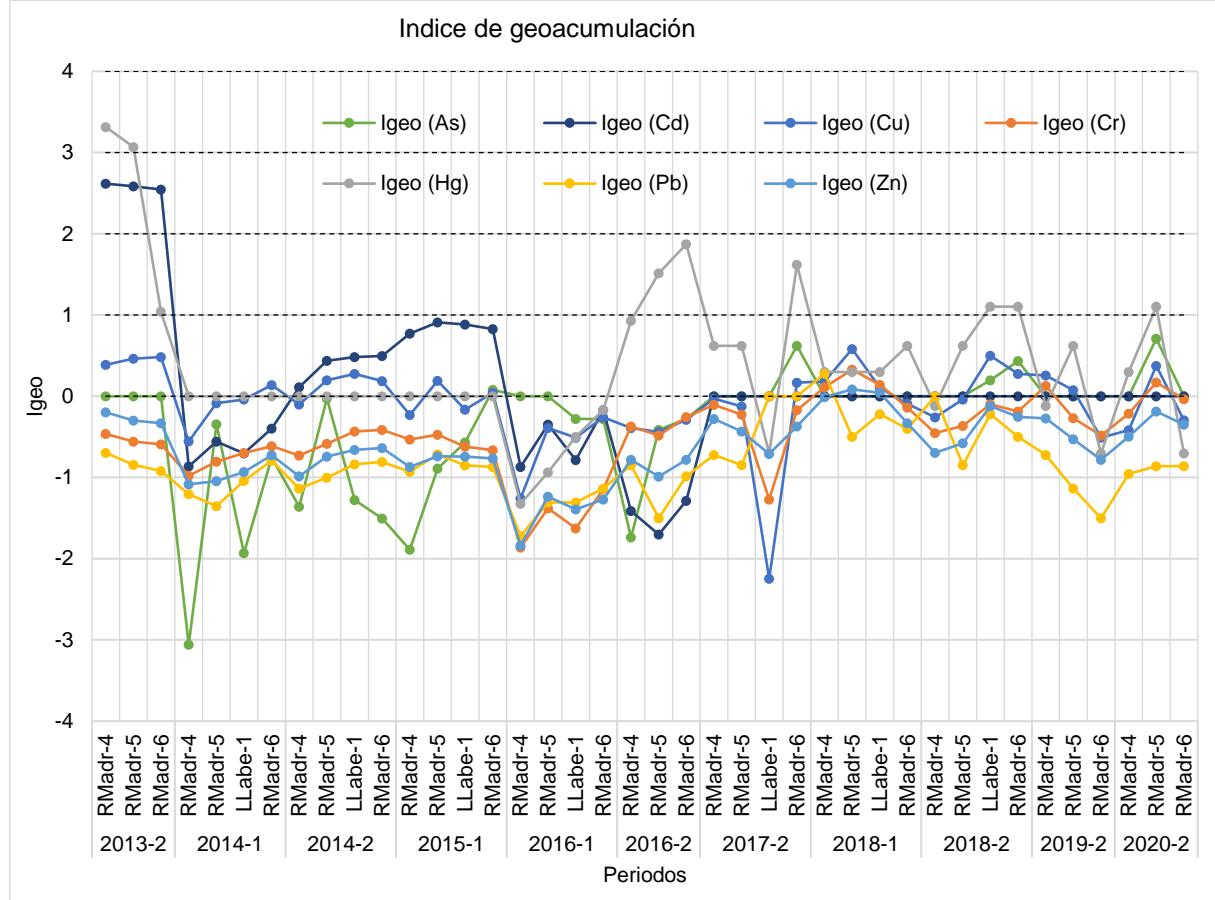
El Igeo del zinc evaluado en el periodo 2013 - 2020 presenta valores menores a 0, en condición de no contaminado en la mayoría de los puntos de monitoreo analizados, con excepción del periodo 2018-1 (RMadr-5, Llabe-1) con un valor entre 0 y 1 en condición de no contaminado a moderadamente contaminado.

#### 6.5.1.1.8 Comparación de Igeo

En la Figura 29 se muestran los niveles de Igeo que alcanzaron los elementos As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb y Zn durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 29**

## Gráfico de comparación de Igeo de As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb y Zn durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel

En la figura 29 se puede observar, que el índice de geoacumulación (Igeo) muestra condiciones de no contaminado a moderadamente contaminado ( $0 < \text{Igeo} \leq 1$ ) para As, Cu, Cr, Pb y Zn en el 12.5%, 45%, 12.5%, 2.5% y 5% respectivamente, de los datos registrados, indicando una baja a moderada geoacumulación con concentraciones similares a sus niveles de fondo. En el resto de los registros para estos elementos los valores de Igeo sugieren una condición de no contaminado ( $\text{Igeo} \leq 0$ ).

Asimismo, los valores de Igeo en condición de moderadamente contaminado ( $1 < \text{Igeo} \leq 2$ ) solo se presentan para el Hg en 2016-2 (RMadr-5, RMadr-6), 2017-2 (RMadr-6), 2018-2 (Llabe-1, RMadr-6) y 2020-2 (RMadr-5). Conjuntamente, se presentan un Igeo en

condición de moderadamente a fuertemente contaminado ( $2 < \text{Igeo} \leq 3$ ) solo para el Cd 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6). Y los valores más altos del Igeo en condición de fuertemente contaminado ( $3 < \text{Igeo} \leq 4$ ) se presentan para el Hg en 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5).

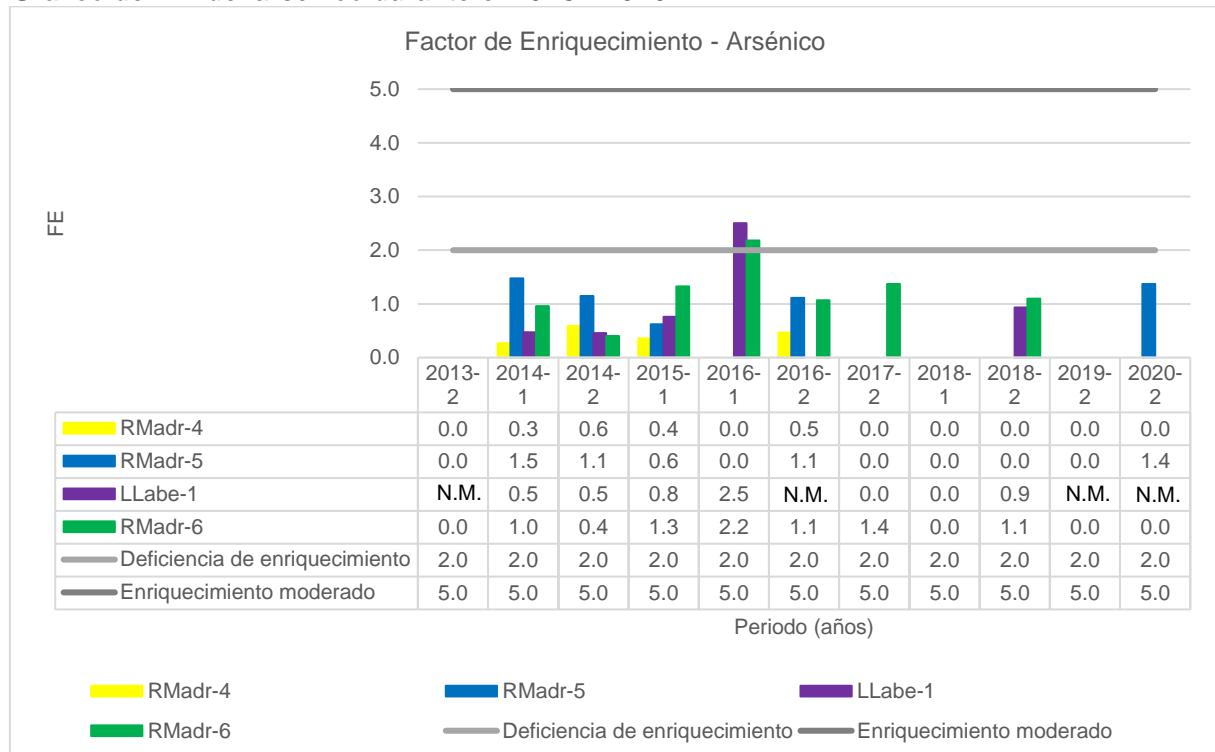
#### 6.4.1.2 Factor de enriquecimiento (FE).

##### 6.5.1.2.1 FE del arsénico.

En la Figura 30 se muestran los niveles de FE que alcanzo el arsénico durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 30**

Gráfico del FE del arsénico durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0.0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 30 se puede observar lo siguiente:

El FE del arsénico evaluado en el período 2013 - 2020 presenta valores menores a 2, en condición de deficiencia de enriquecimiento en la mayoría de los puntos de monitoreo

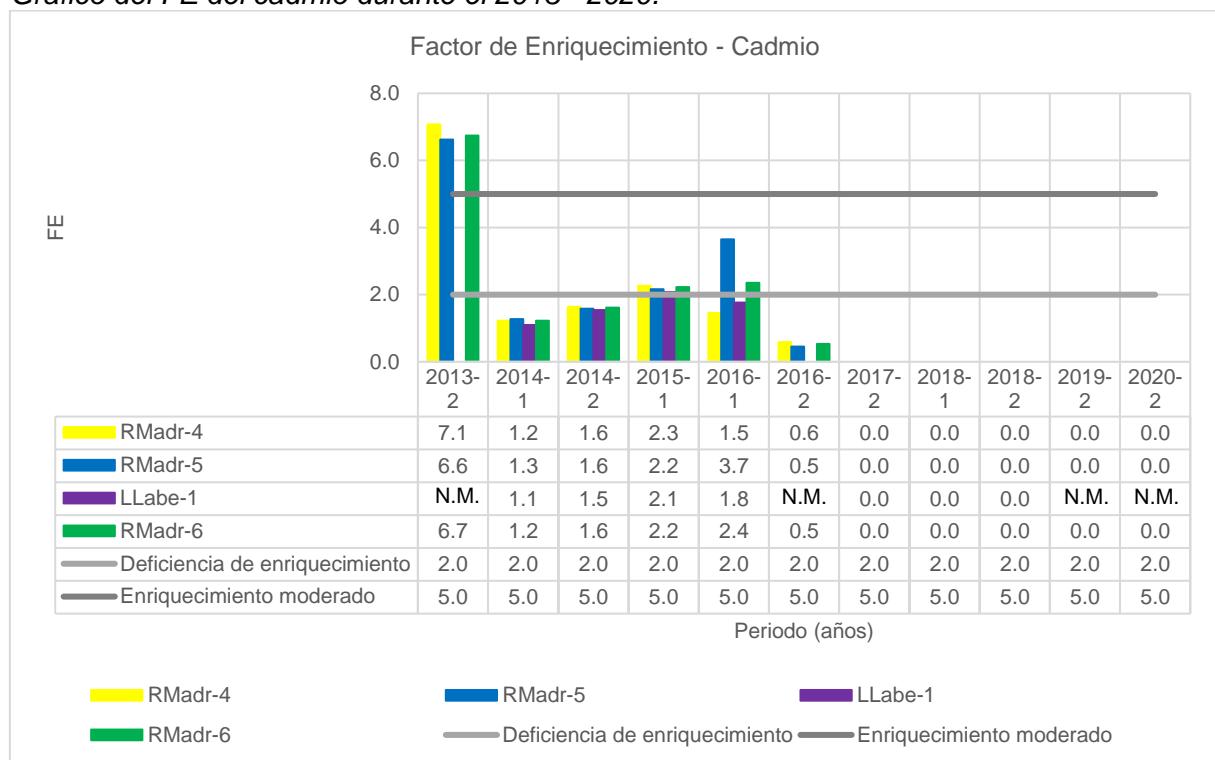
analizados, con excepción del periodo 2016-1 (Llabe-1, RMadr6) con un valor entre 2 y 5 en condición de enriquecimiento moderado.

#### 6.5.1.2.2 FE del cadmio.

En la Figura 31 se muestran los niveles de FE que alcanzo el cadmio durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 31**

Gráfico del FE del cadmio durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0.0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 31 se puede observar lo siguiente:

El FE del cadmio evaluado en el periodo 2013 - 2020 presenta valores menores a 2, en condición de deficiencia de enriquecimiento en la mayoría de los puntos de monitoreo analizados y del 2017-2 al 2020-2 con valores no detectados. En el periodo 2015-1 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr6), 2016-1 (RMadr-5, RMadr6) presenta valores entre 2 y 5 en

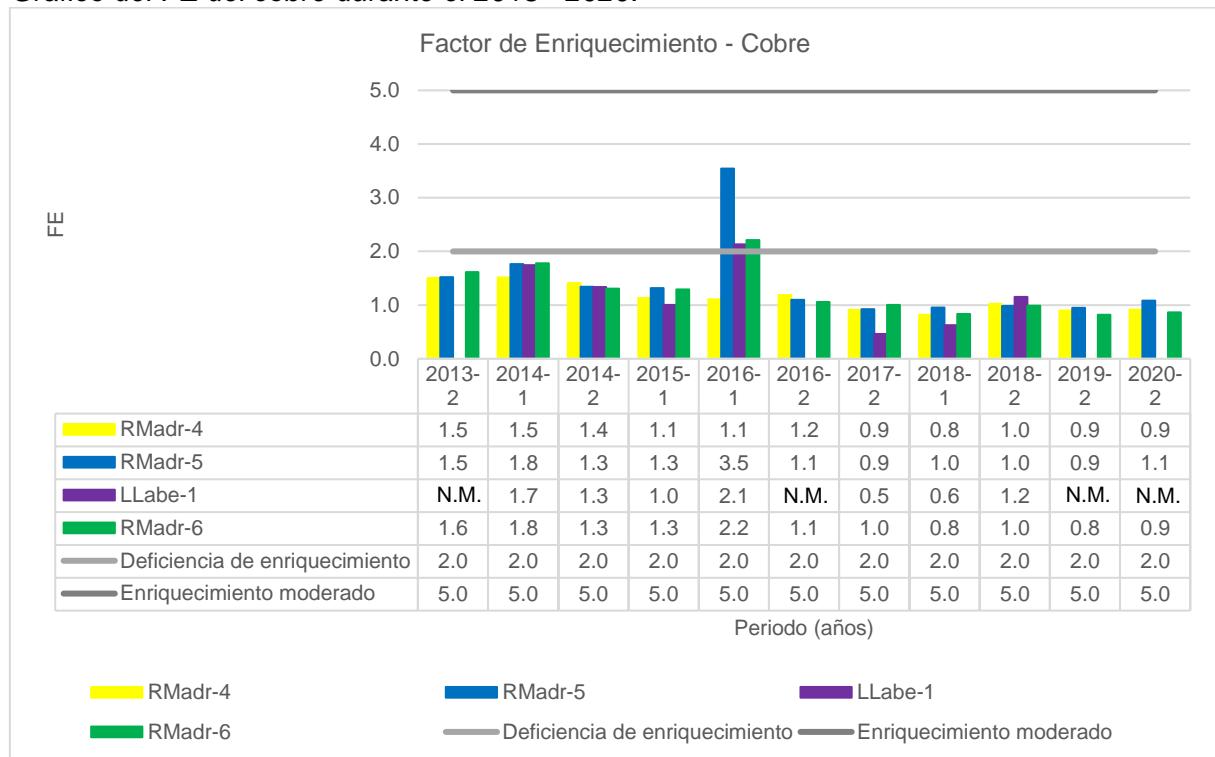
condición de enriquecimiento moderado. En el periodo 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr6) presenta valores entre 5 y 20 en condición de enriquecimiento significativo.

#### 6.5.1.2.3 FE del cobre.

En la Figura 32 se muestran los niveles de FE que alcanzo el cobre durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 32**

*Gráfico del FE del cobre durante el 2013 - 2020.*



*Nota:* Elaborado mediante Microsoft Excel., 0.0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 32 se puede observar lo siguiente:

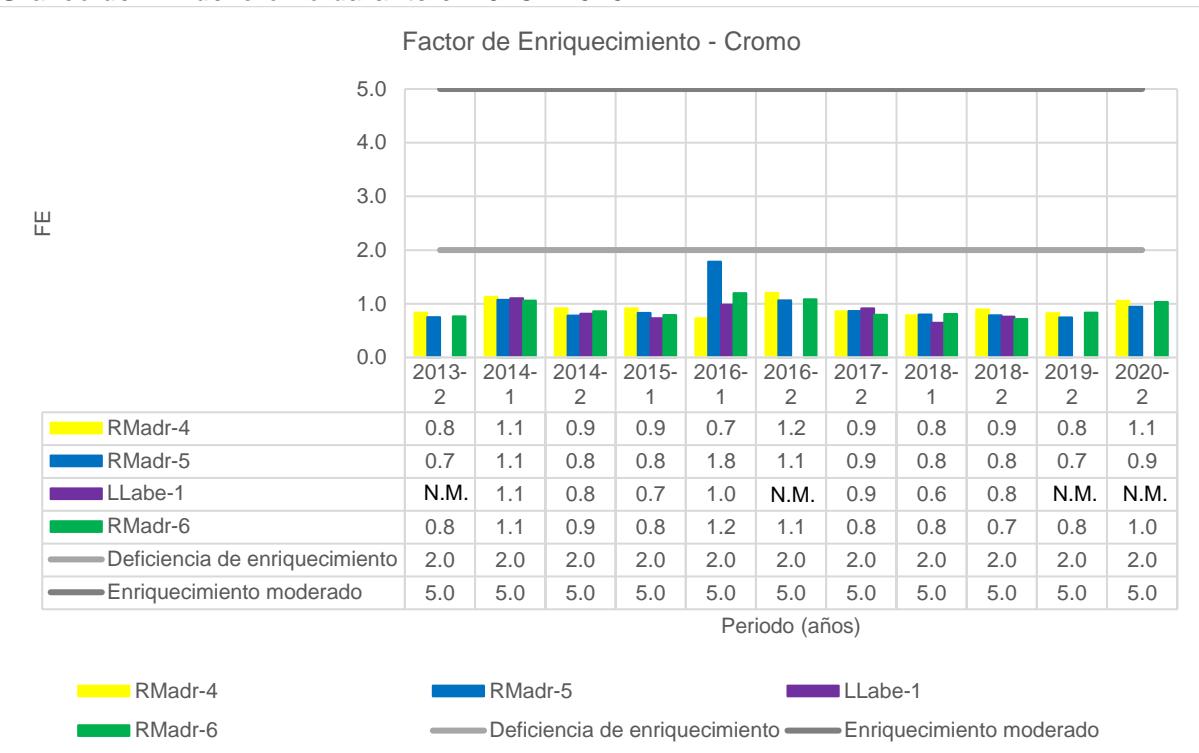
El FE del cobre evaluado en el periodo 2013 - 2020 presenta valores menores a 2, en condición de deficiencia de enriquecimiento en la mayoría de los puntos de monitoreo analizados, con excepción del periodo 2016-1 (RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6) con valores entre 2 y 5 en condición de enriquecimiento moderado.

#### 6.5.1.2.4 FE del cromo.

En la Figura 33 se muestran los niveles de FE que alcanzo el cromo durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 32**

Gráfico del FE del cromo durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0.0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 33 se puede observar lo siguiente:

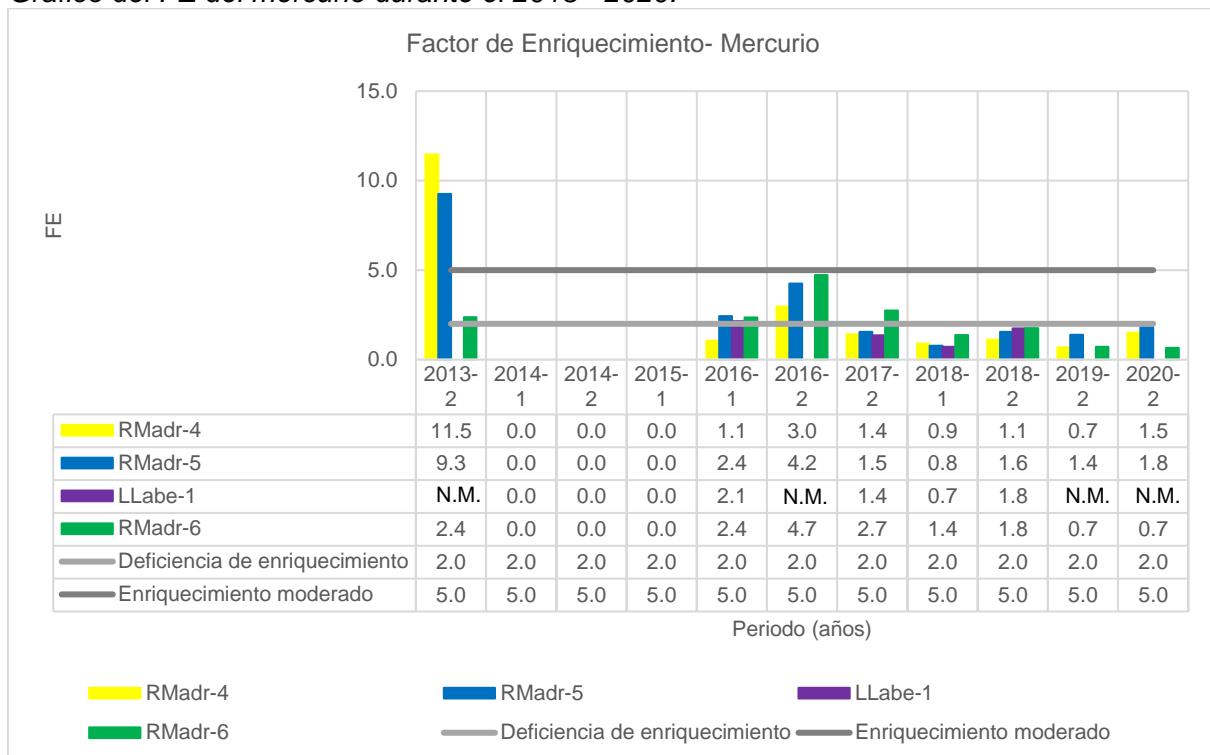
El FE del cromo evaluado en el período 2013 - 2020 presenta valores menores a 2, en condición de deficiencia de enriquecimiento en todos los puntos de monitoreo analizados.

#### 6.5.1.2.5 FE del mercurio.

En la Figura 34 se muestran los niveles de FE que alcanzo el mercurio durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 34**

Gráfico del FE del mercurio durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0.0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 34 se puede observar lo siguiente:

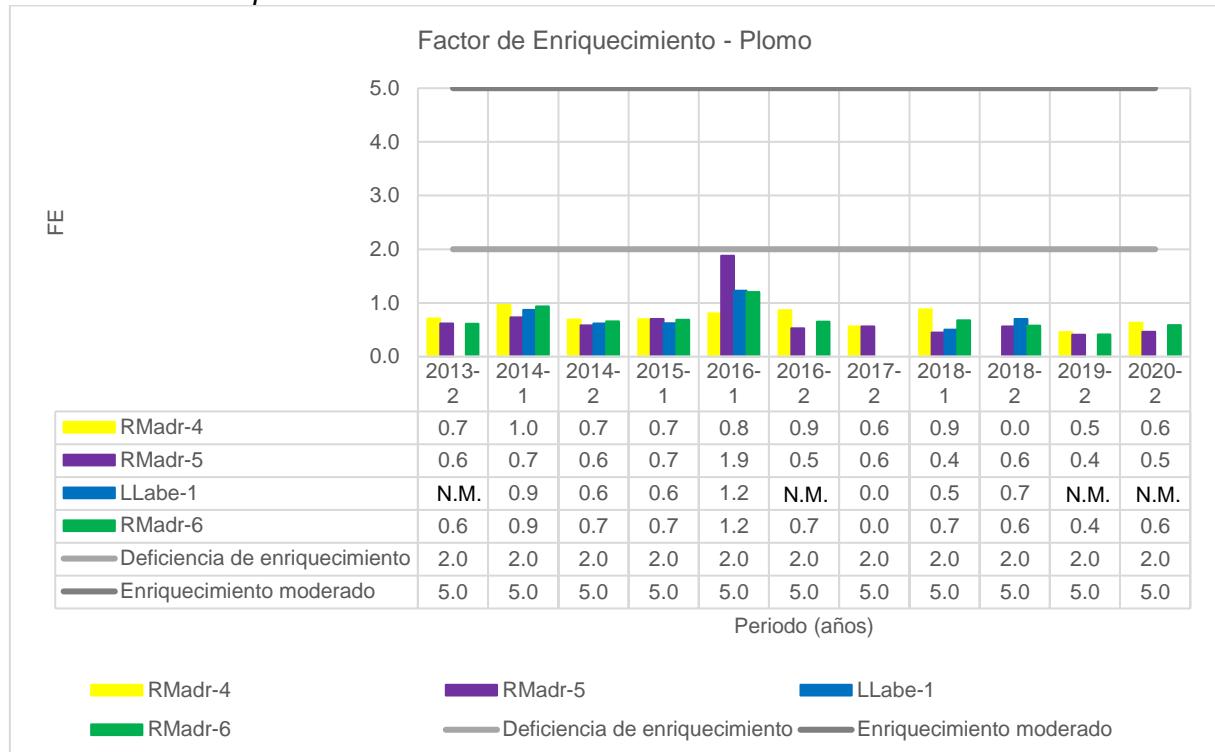
El FE del mercurio evaluado en el periodo 2013 - 2020 presenta valores menores a 2, en condición de deficiencia de enriquecimiento en la mayoría de los puntos de monitoreo analizados, con excepción del periodo 2013-2 (RMadr-6), 2016-1 (RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2016-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6), 2017-2 (RMadr-6) con valores entre 2 y 5 en condición de enriquecimiento moderado. Además, en el periodo 2013-2 (RMadr-5, RMadr-6) presenta valores entre 5 y 20 en condición de enriquecimiento significativo.

#### **6.5.1.2.6 FE del plomo.**

En la Figura 35 se muestran los niveles de FE que alcanzo el zinc durante el 2013 - 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 34**

Gráfico del FE del plomo durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0.0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 35 se puede observar lo siguiente:

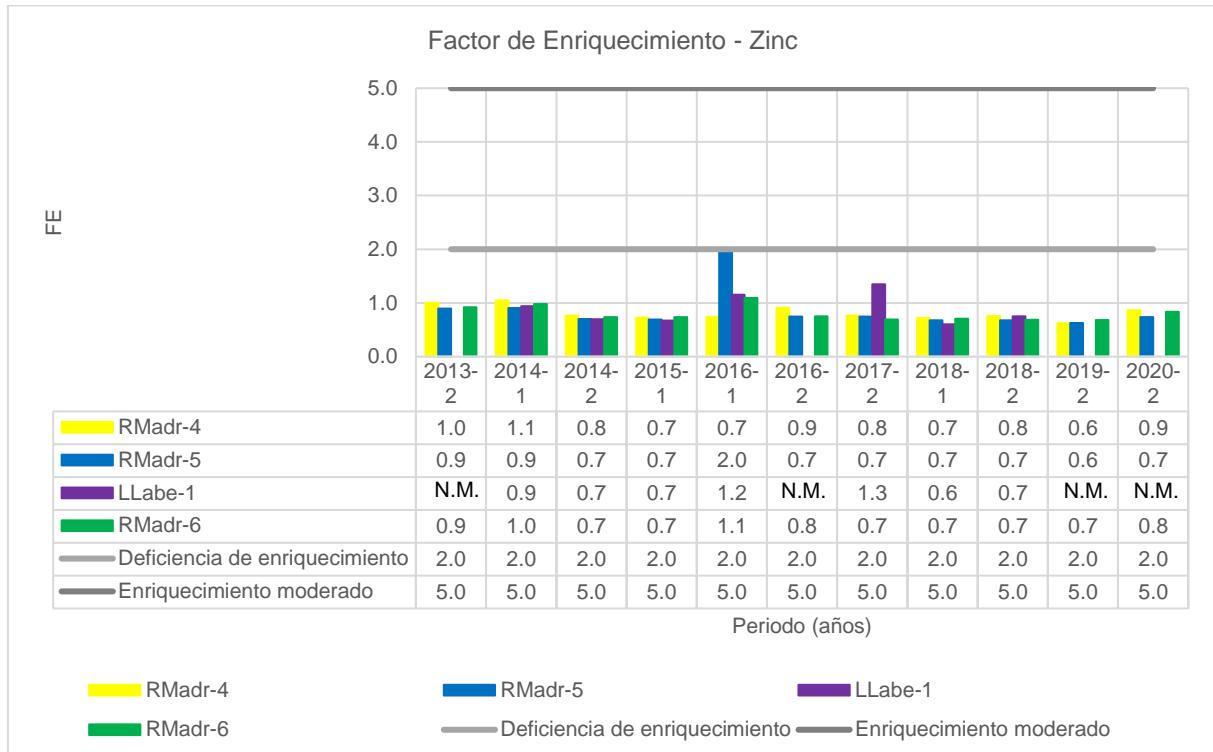
El FE del plomo evaluado en el periodo 2013 - 2020 presenta valores menores a 2, en condición de deficiencia de enriquecimiento en todos los puntos de monitoreo analizados.

#### 6.5.1.2.7 FE del zinc.

En la Figura 36 se muestran los niveles de FE que alcanzo el zinc durante el 2013 - 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 35**

Gráfico del FE del zinc durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0.0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 36 se puede observar lo siguiente:

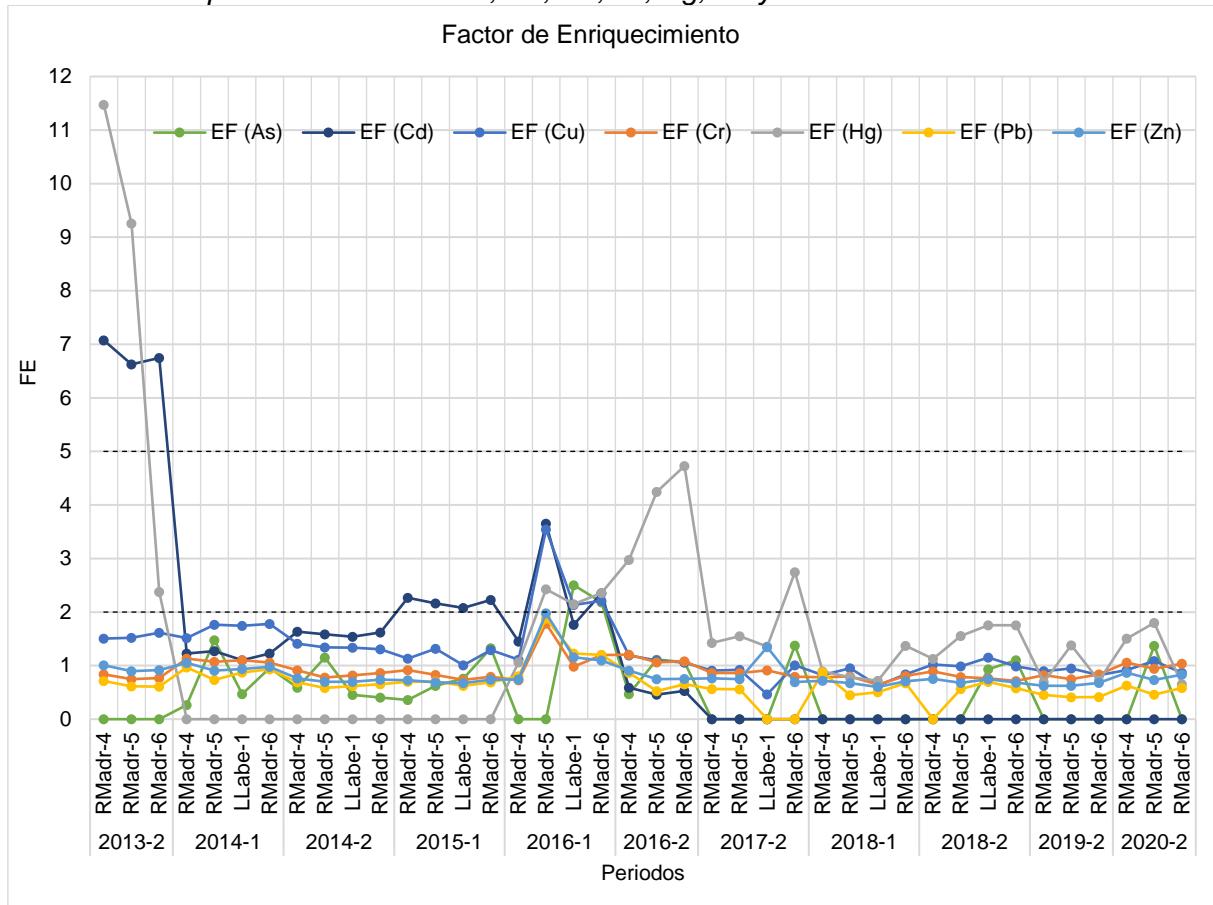
El FE del zinc evaluado en el periodo 2013 - 2020 presenta valores menores a 2, en condición de deficiencia de enriquecimiento en todos los puntos de monitoreo analizados.

#### 6.5.1.2.8 Comparación de FE

En la Figura 37 se muestran los niveles de FE que alcanzaron los elementos As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb y Zn durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 37**

Gráfico de comparación de FE de As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb y Zn durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel

En la figura 37 se puede observar, que el Factor de Enriquecimiento (FE) presenta un enriquecimiento moderado ( $2 < \text{FE} \leq 5$ ) para As y Cu en el 5% y 7.5% de los datos registrados, sin embargo, para el resto de los registros de estos elementos incluyendo el 100% de registros de Cr, Pb, y Zn revela una deficiencia de enriquecimiento ( $\text{FE} < 2$ ) en la zona de estudio.

Asimismo, el FE en condición de enriquecimiento moderado ( $2 < \text{EF} \leq 5$ ) se presenta en As en 2016-1 (Llabe-1, RMadr6); Cd en 2015-1 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr6), 2016-1 (RMadr-5, RMadr6); Cu en 2016-1 (RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6); Hg en 2013-2 (RMadr-6), 2016-1 (RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2016-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6), 2017-2 (RMadr-6). Y los valores más altos del FE en condición de

enriquecimiento significativo ( $5 < EF \leq 20$ ) se presentan en el Hg en 2013-2 (RMadr-5, RMadr-6), seguido del Cd en 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr6).

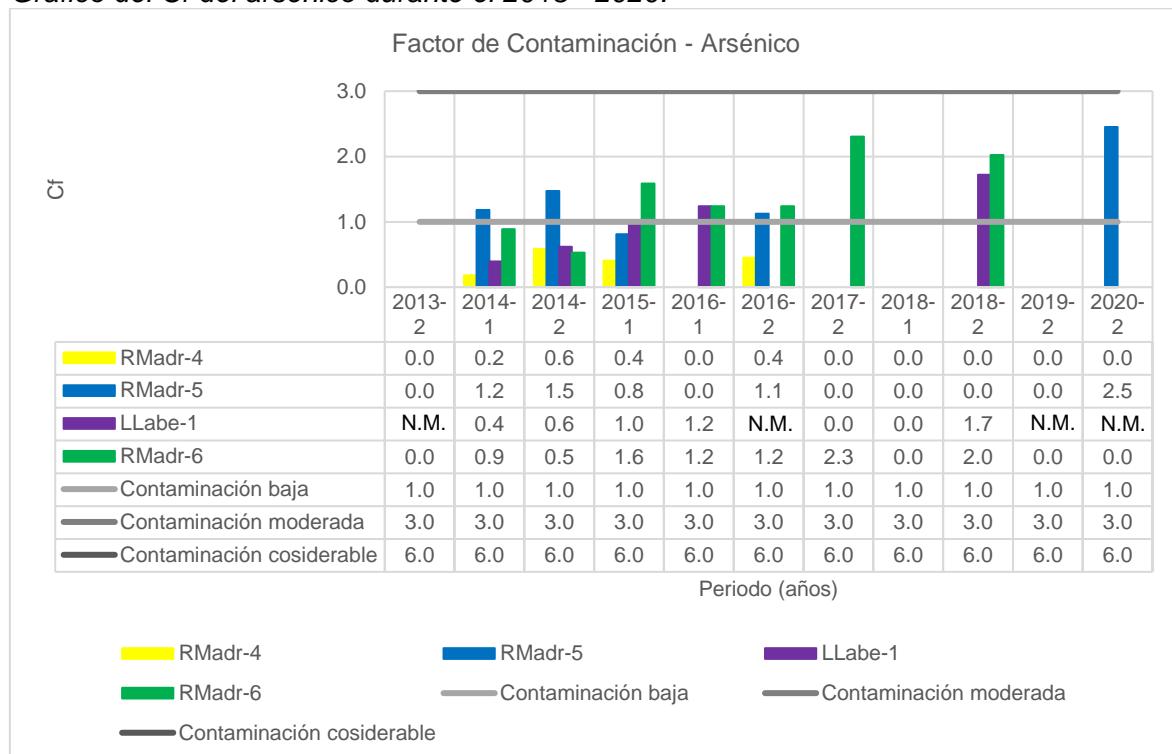
#### 6.4.1.3 Factor de contaminación (Cf).

##### 6.5.1.3.1 Cf del arsénico.

En la Figura 37 se muestran los niveles de Cf que alcanzo el arsénico durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 37**

Gráfico del Cf del arsénico durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0.0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 37 se puede observar lo siguiente:

El Cf del arsénico evaluado en el período 2013 - 2020 presenta valores menores a 1, en condición de contaminación baja en 2014-1(RMadr-4, Llabe-1, RMadr-6), 2014-2 (RMadr-4, Llabe-1, RMadr-6), 2015-1 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1) y 2016-2 (RMadr-4). Valores entre 1 y 3 en condición de contaminación moderada en 2014-1 (RMadr-5), 2014-

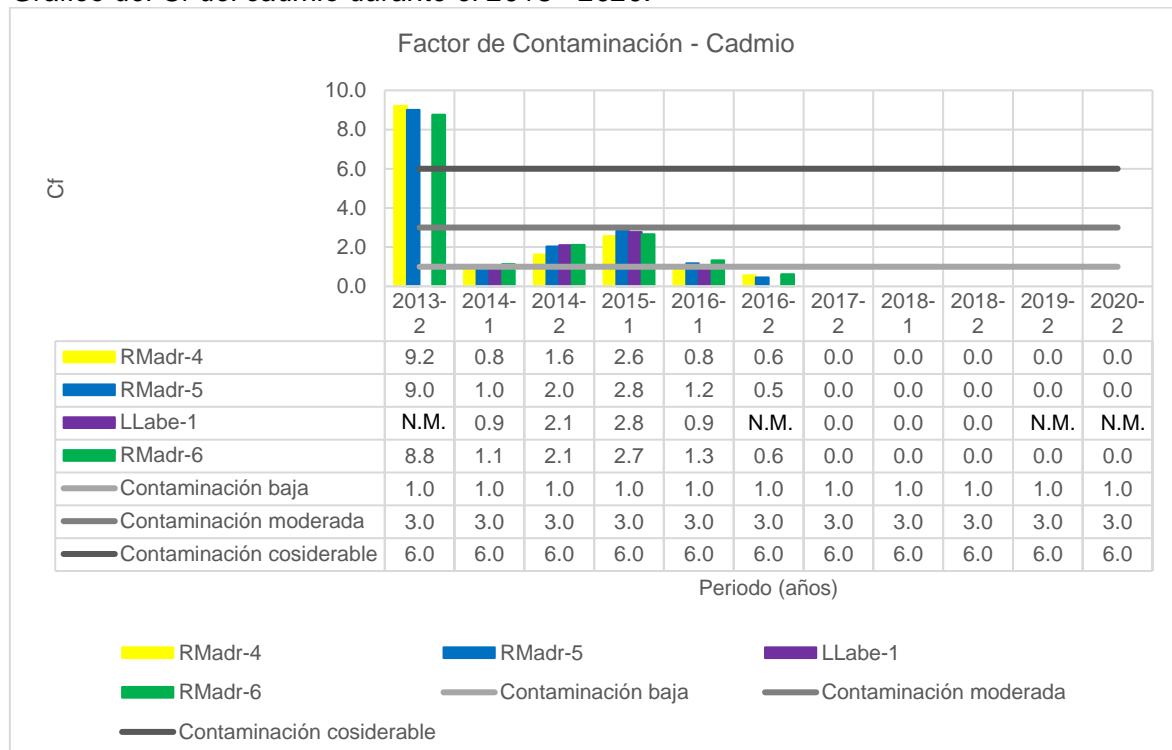
2 (RMadr-5), 2015-1 (RMadr-6), 2016-1 (Llabe-1, RMadr-6), 2016-2 (RMadr-5, RMadr-6), 2017-2 (RMadr-6), 2018-2 (Llabe-1, RMadr-6) y 2020-2 RMadr-5).

#### 6.5.1.3.2 Cf del cadmio.

En la Figura 38 se muestran los niveles de Cf que alcanzo el cadmio durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 38**

Gráfico del Cf del cadmio durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0.0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 38 se puede observar lo siguiente:

El Cf del cadmio evaluado en el periodo 2013 - 2020 presenta valores menores a 1, en condición de contaminación baja en 2014-1(RMadr-4, Llabe-1), 2016-1 (RMadr-4, Llabe-1) y 2016-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6), asimismo valores no detectados del 2017-2 al 2020-2. Valores entre 1 y 3 en condición de contaminación moderada en 2014-1 (RMadr-5, RMadr-6), 2014-2 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2015-1 (RMadr-4, Llabe-1, RMadr-6), 2016-1 (RMadr-4, RMadr-6), 2016-2 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2017-1 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2017-2 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2018-1 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2018-2 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2019-1 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2019-2 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6) y 2020-2 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6).

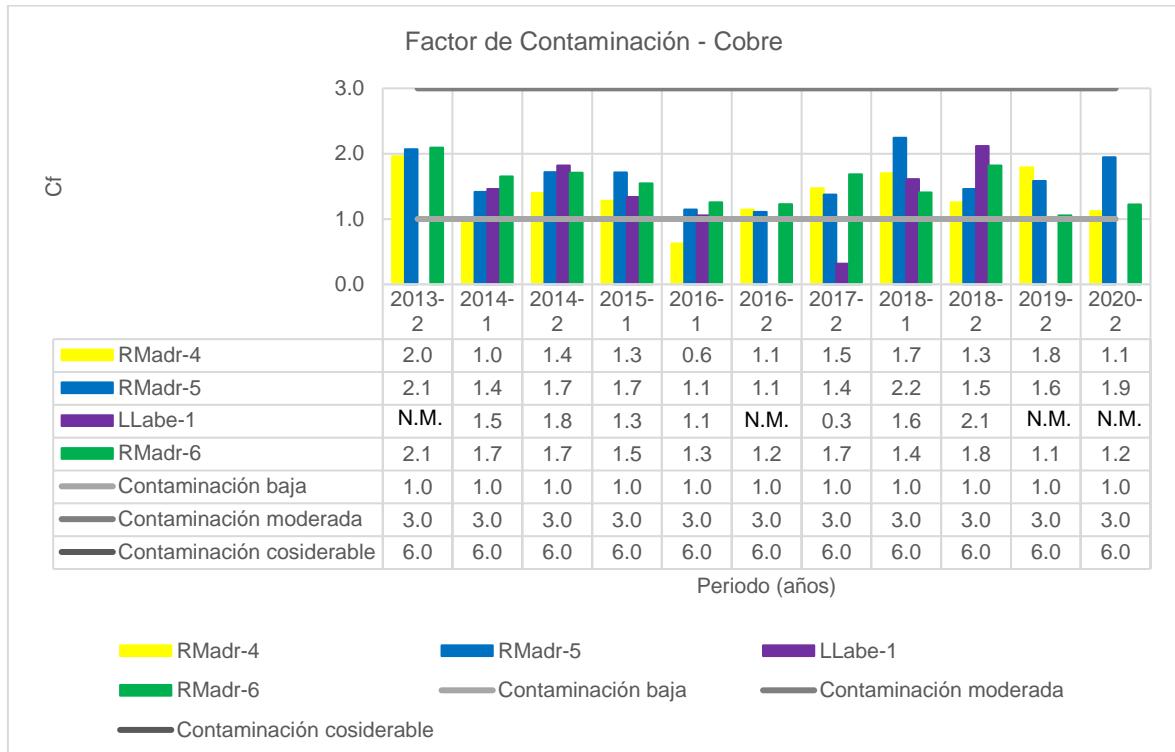
RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6) y 2016-1 (RMadr-5, RMadr-6). Valores mayores a 6 en condición de contaminación muy alta 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6).

#### 6.5.1.3.3 Cf del cobre.

En la Figura 39 se muestran los niveles de Cf que alcanzo el cobre durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 39**

Gráfico del Cf del cobre durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0.0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 39 se puede observar lo siguiente:

El Cf del cobre evaluado en el periodo 2013 - 2020 presenta valores menores a 1, en condición de contaminación baja en 2016-1 (RMadr-4) y 2017-2 (Llabe-1). Valores entre 1 y 3 en condición de contaminación moderada en todos los puntos de monitoreo restantes analizados 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6), 2014-1 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2014-2 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2015-1 (RMadr-4, RMadr-5,

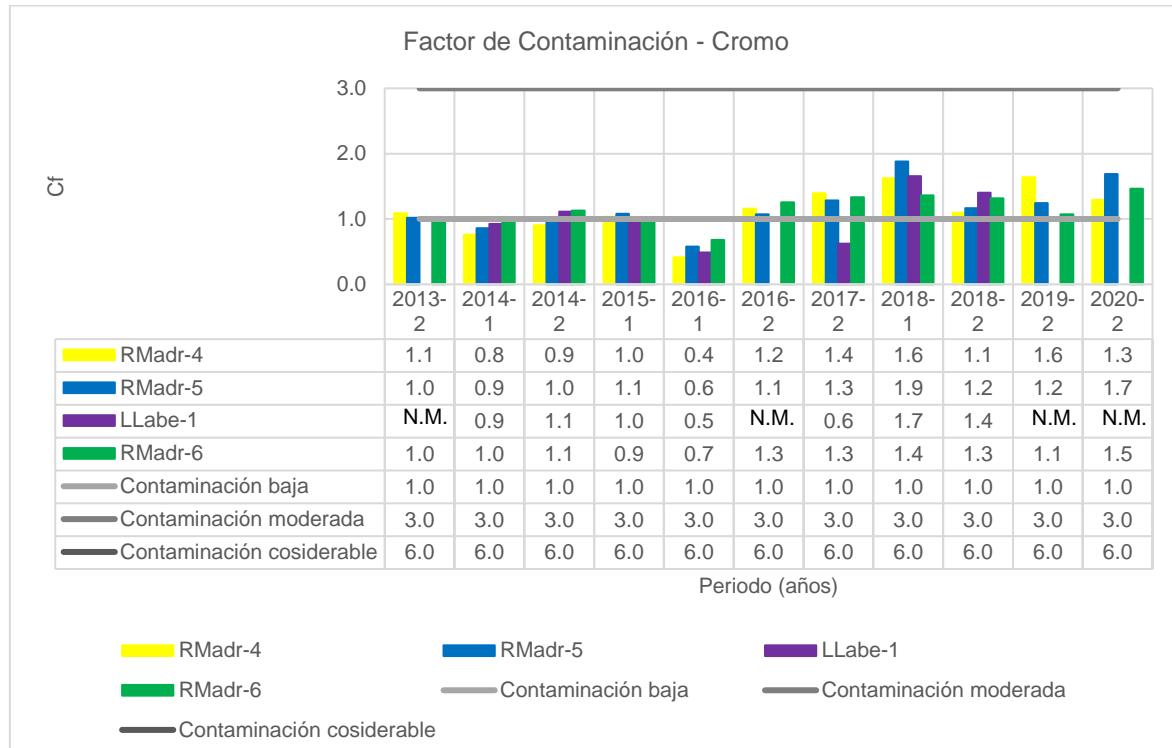
Llabe-1, RMadr-6), 2016-1 (RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2016-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6), 2017-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6), 2018-1 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2018-2 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2019-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6) y 2020-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6).

#### 6.5.1.3.4 Cf del cromo.

En la Figura 40 se muestran los niveles de Cf que alcanzo el cromo durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 40**

Gráfico del Cf del cromo durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0.0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 40 se puede observar lo siguiente:

El Cf del cromo evaluado en el periodo 2013 - 2020 presenta valores menores a 1, en condición de contaminación baja en 2013-2 (RMadr-6), 2014-1 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2014-2 (RMadr-4, RMadr-5), 2015-1 (Llabe-1, RMadr-6), 2016-1

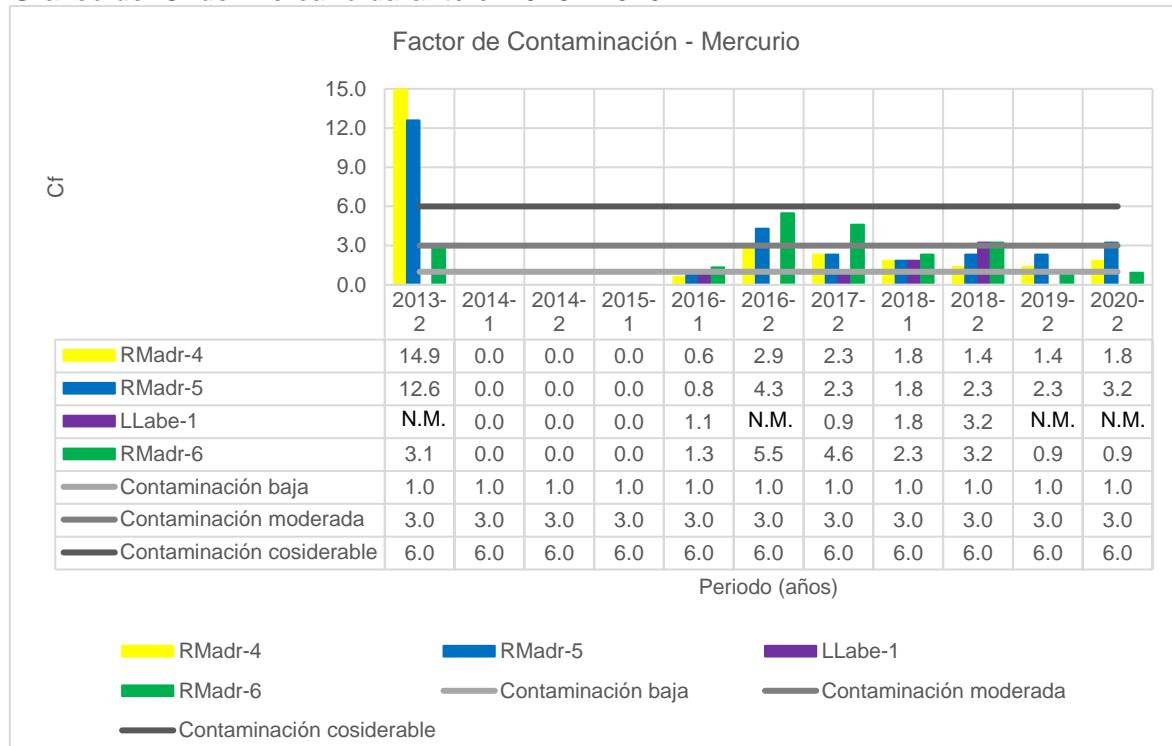
(RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6) y 2017-2 (Llabe-1). Valores entre 1 y 3 en condición de contaminación moderada en 2014-2 (Llabe-1, RMadr-6), 2015-1 (RMadr-4, RMadr-5), 2016-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6), 2017-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6), 2018-2 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2019-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6) y 2020-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6).

#### 6.5.1.3.5 Cf del mercurio.

En la Figura 41 se muestran los niveles de Cf que alcanzo el mercurio durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 41**

Gráfico del Cf del mercurio durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0.0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 41 se puede observar lo siguiente:

El Cf del mercurio evaluado en el periodo 2013 - 2020 presenta valores menores a 1 en condición de contaminación baja en 2016-1 (RMadr-4, RMadr-5), 2017-2 (Llabe-1),

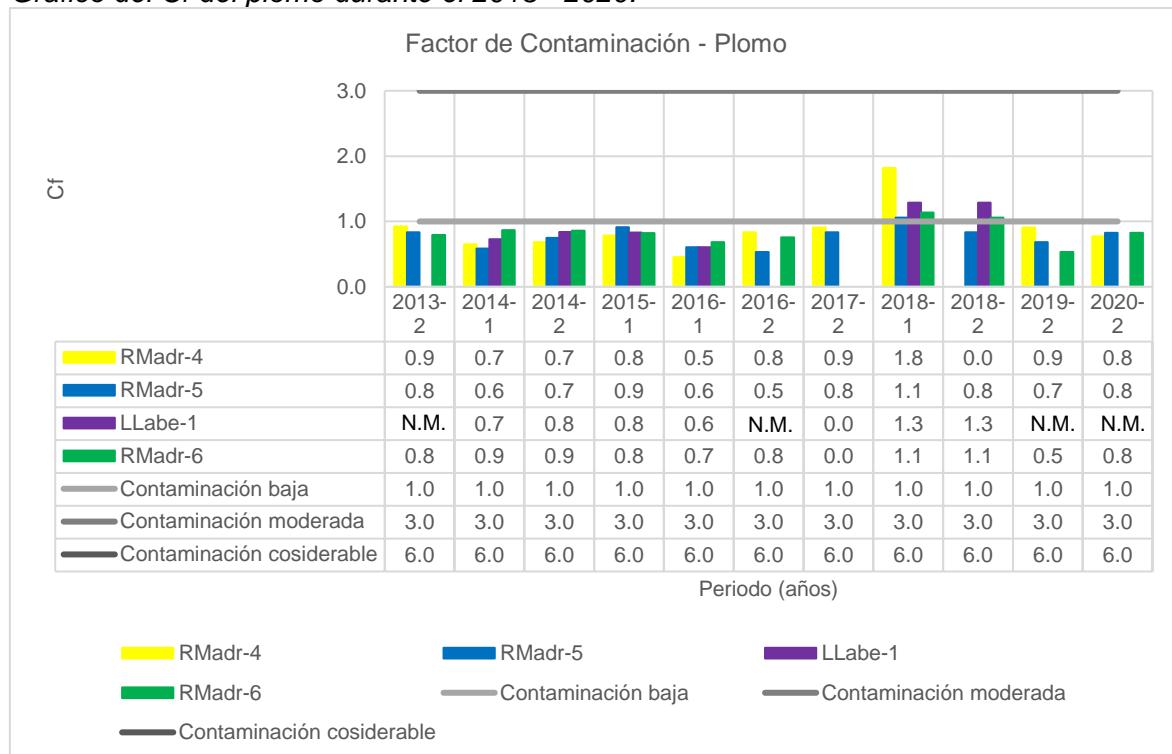
2019-2 (RMadr-6) y 2020-2 (RMadr-6). Valores entre 1 y 3 en condición de contaminación moderada en 2016-1 (Llabe-1, RMadr-6), 2016-2 (RMadr-4), 2017-2 (RMadr-4, RMadr-5), 2018-1 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2018-2 (RMadr-4, RMadr-5), 2019-2 (RMadr-4, RMadr-5) y 2020-2 (RMadr-4). Valores entre 3 y 6 en condición de contaminación considerable en 2013-2 (RMadr-6), 2016-2 (RMadr-5, RMadr-6), 2017-2 (RMadr-6), 2018-2 (Llabe-1, RMadr-6) y 2020-2 (RMadr-5). Valores mayores a 6 en condición de contaminación muy alta en 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5).

#### 6.5.1.3.6 Cf del plomo.

En la Figura 42 se muestran los niveles de Cf que alcanzo el plomo durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 42**

Gráfico del Cf del plomo durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0.0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 42 se puede observar lo siguiente:

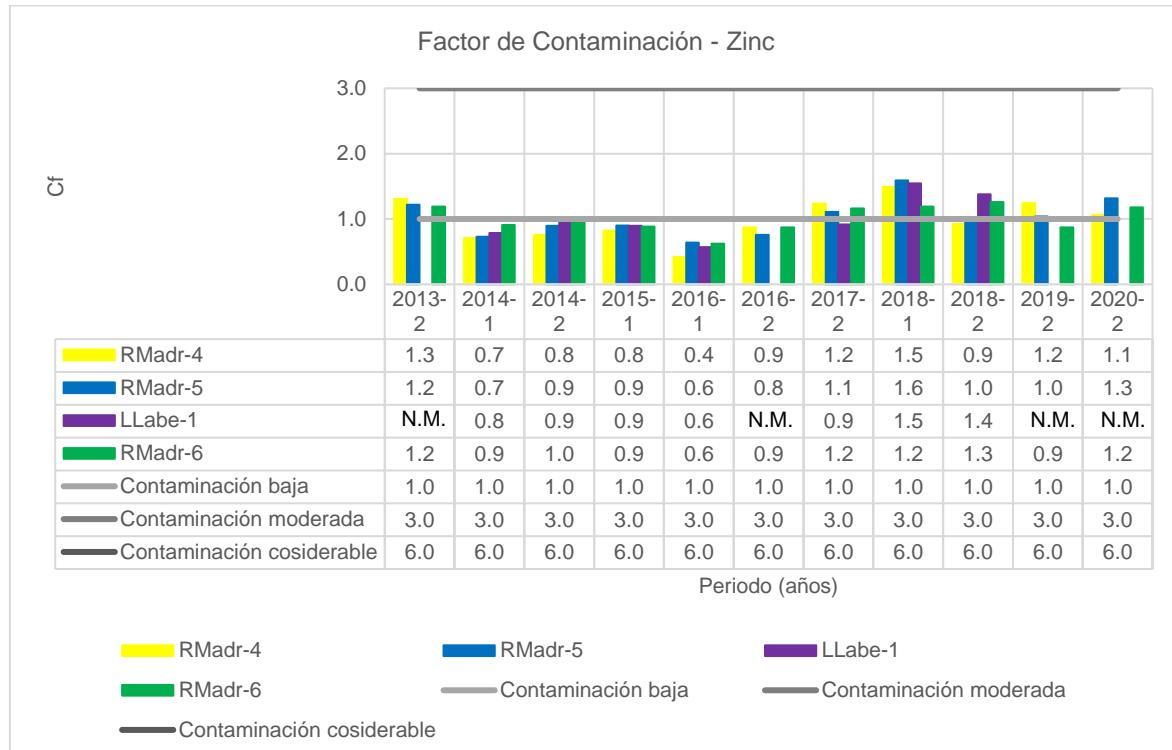
El Cf del plomo evaluado en el periodo 2013 - 2020 presenta valores menores a 1, en condición de contaminación baja en la mayoría de los puntos de monitoreo analizados, con excepción del periodo 2018-1 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6) y 2018-2 (Llabe-1, RMadr-6) con valores entre 1 y 3 en condición de contaminación moderada.

#### 6.5.1.3.7 Cf del zinc.

En la Figura 43 se muestran los niveles de Cf que alcanzo el zinc durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 43**

Gráfico del Cf del zinc durante el 2013 - 2020.



En la Figura 43 se puede observar lo siguiente:

El Cf del zinc evaluado en el periodo 2013 - 2020 presenta valores menores a 1, en condición de contaminación baja en la mayoría de los puntos de monitoreo analizados, con excepción del periodo 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6), 2017-2 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6) con valores entre 1 y 3 en condición de contaminación moderada.

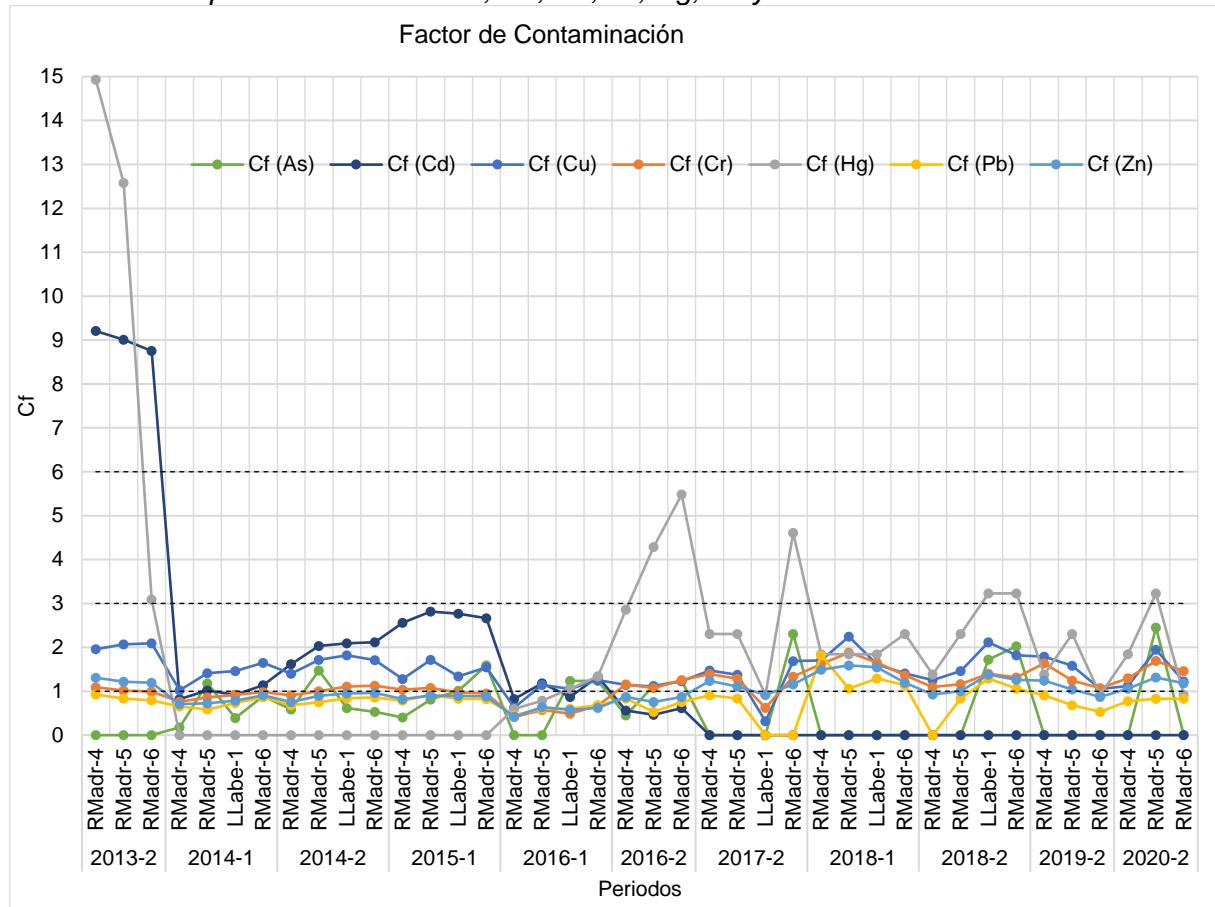
RMadr-6), 2018-1 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2018-2 (RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2019-2 (RMadr-4, RMadr-5) y 2020-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6) con valores entre 1 y 3 en condición de contaminación moderada.

#### 6.5.1.3.8 Comparación de Cf

En la Figura 44 se muestran los niveles de Cf que alcanzaron los elementos As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb y Zn durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 44**

Gráfico de comparación de Cf de As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb y Zn durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel

En la figura 44 se puede observar, que el Factor de Contaminación (Cf) presenta condición de contaminación moderada ( $1 \leq Cf < 3$ ) para As, Cu, Cr, Pb y Zn en el 30%,

95%, 65%, 15% y 45% respectivamente, de los datos registrados. En el resto de los registros para estos elementos los valores de Cf sugieren una condición de no contaminado ( $Cf < 1$ ).

Asimismo, el Cf presenta contaminación considerable ( $3 \leq Cf < 6$ ) solo para el Hg en 2013-2 (RMadr-6), 2016-2 (RMadr-5, RMadr-6), 2017-2 (RMadr-6), 2018-2 (Llabe-1, RMadr-6) y 2020-2 (RMadr-5). Conjuntamente, los valores más altos del Cf en condición de contaminación muy alta ( $Cf \geq 6$ ) se muestran para el Hg en 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5), seguidos del Cd en 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6).

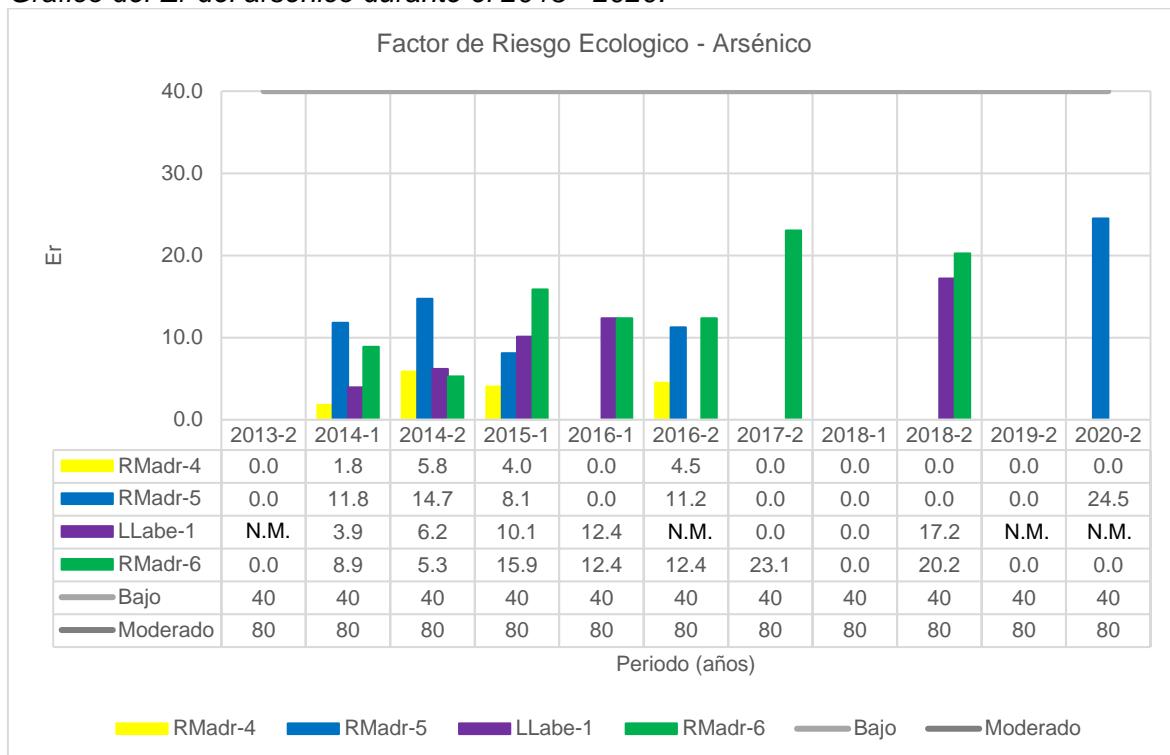
#### **6.4.1.4 Factor de riesgo ecológico (Er).**

##### **6.5.1.4.1 *Er del arsénico.***

En la Figura 45 se muestran los niveles de Er que alcanzo el arsénico durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 45**

Gráfico del Er del arsénico durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0.0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 45 se puede observar lo siguiente:

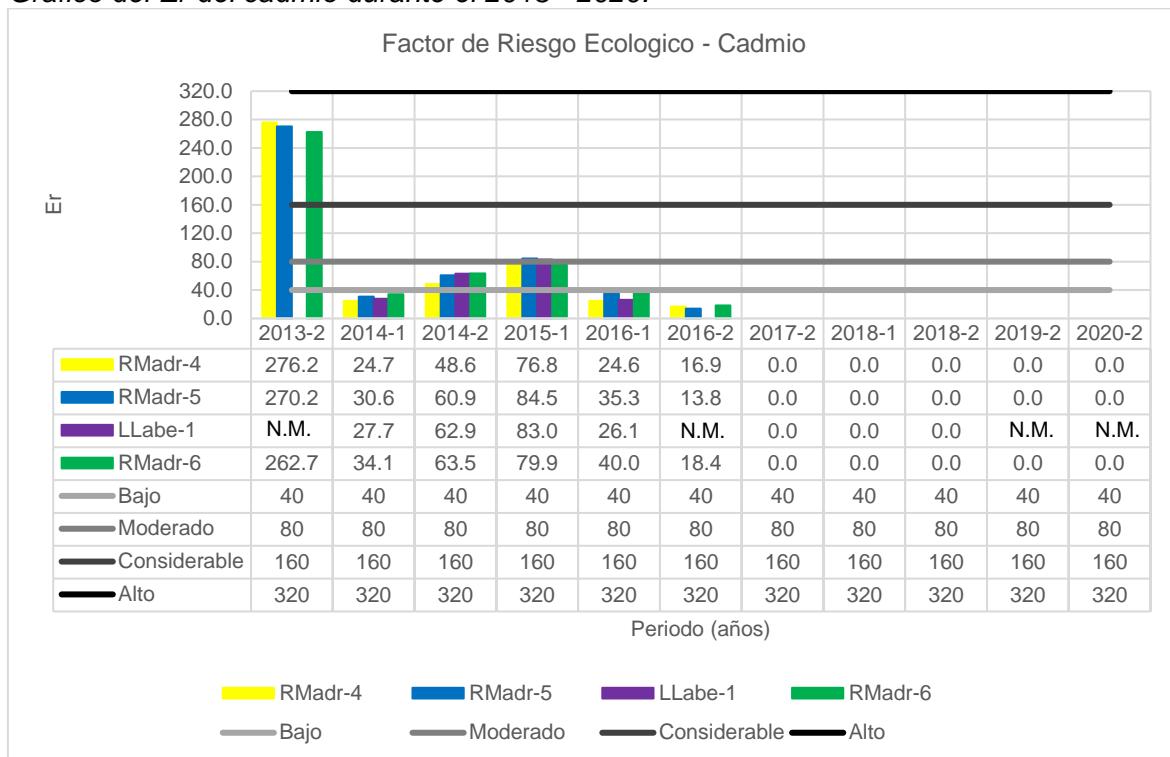
El Er del arsénico evaluado en el periodo 2013 - 2020 presenta valores menores a 40, en condición de riesgo ecológico bajo en todos los puntos de monitoreo analizados.

#### 6.5.1.4.2 Er del cadmio.

En la Figura 46 se muestran los niveles de Er que alcanzo el cadmio durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 46**

Gráfico del Er del cadmio durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0.0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 46 se puede observar lo siguiente:

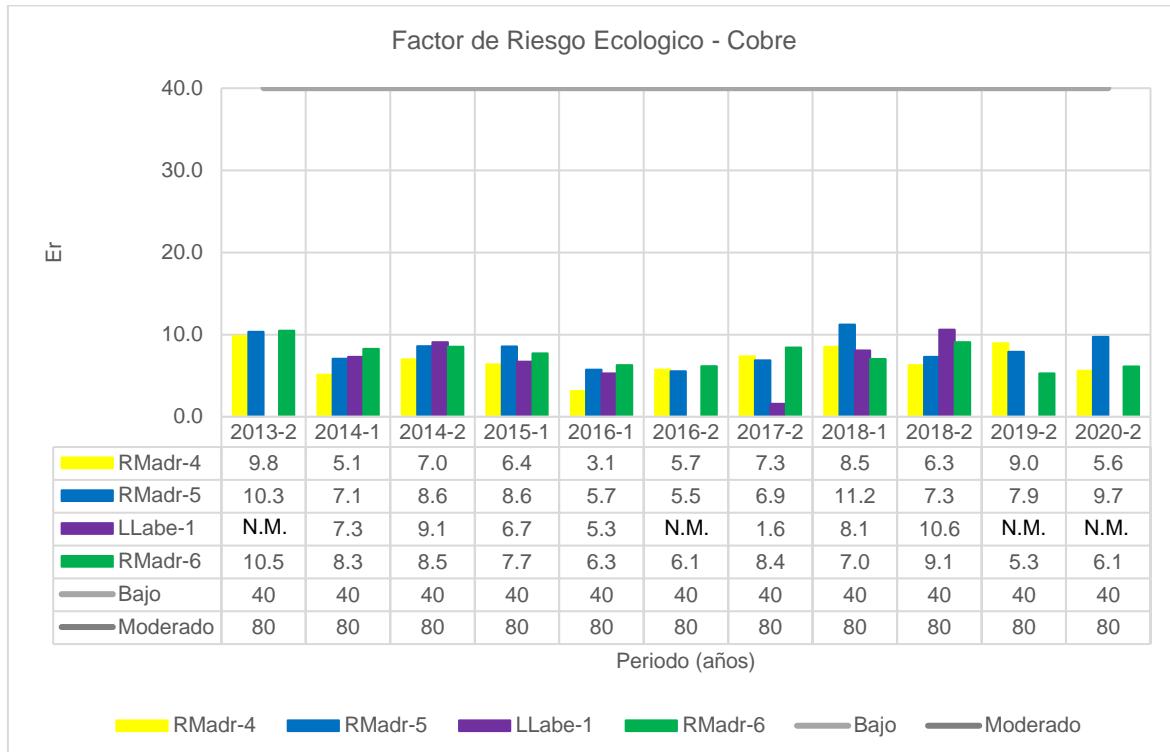
El Er del cadmio evaluado en el periodo 2013 - 2020 presenta valores menores a 40, en condición de riesgo ecológico bajo en 2014-1 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2016-1 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6) y 2016-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6). Valores entre 40 y 80 en condición de riesgo ecológico moderado en 2014-2 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6) y 2015-1 (RMadr-4, RMadr-6). Valores entre 80 y 160 en condición de riesgo ecológico considerable en 2015-1 (RMadr-5, Llabe-1). Valores entre 160 y 320 en condición de riesgo ecológico alto en 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6).

#### 6.5.1.4.3 Er del cobre.

En la Figura 47 se muestran los niveles de Er que alcanzo el cobre durante el 2013 - 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 47**

Gráfico del Er del cobre durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0.0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 47 se puede observar lo siguiente:

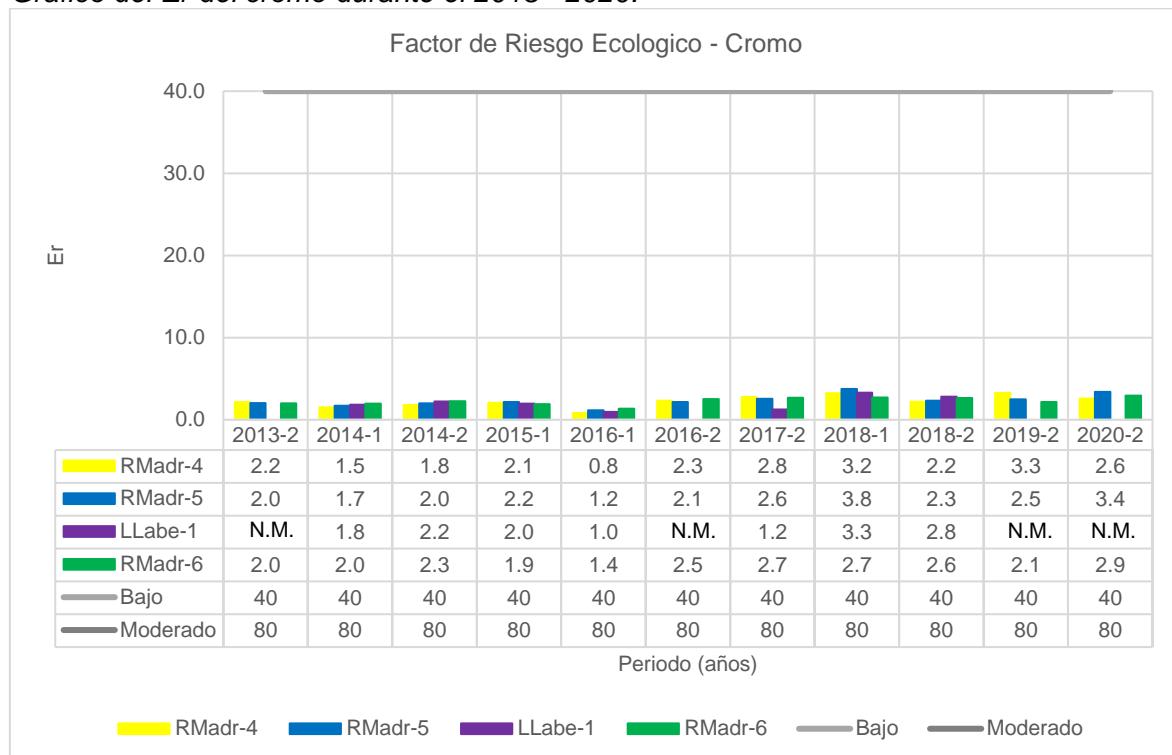
El Er del cobre evaluado en el periodo 2013 - 2020 presenta valores menores a 40 en condición de riesgo ecológico bajo en todos los puntos de monitoreo analizados.

#### 6.5.1.4.4 Er del cromo.

En la Figura 48 se muestran los niveles de Er que alcanzo el cromo durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 48**

Gráfico del Er del cromo durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0.0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 48 se puede observar lo siguiente:

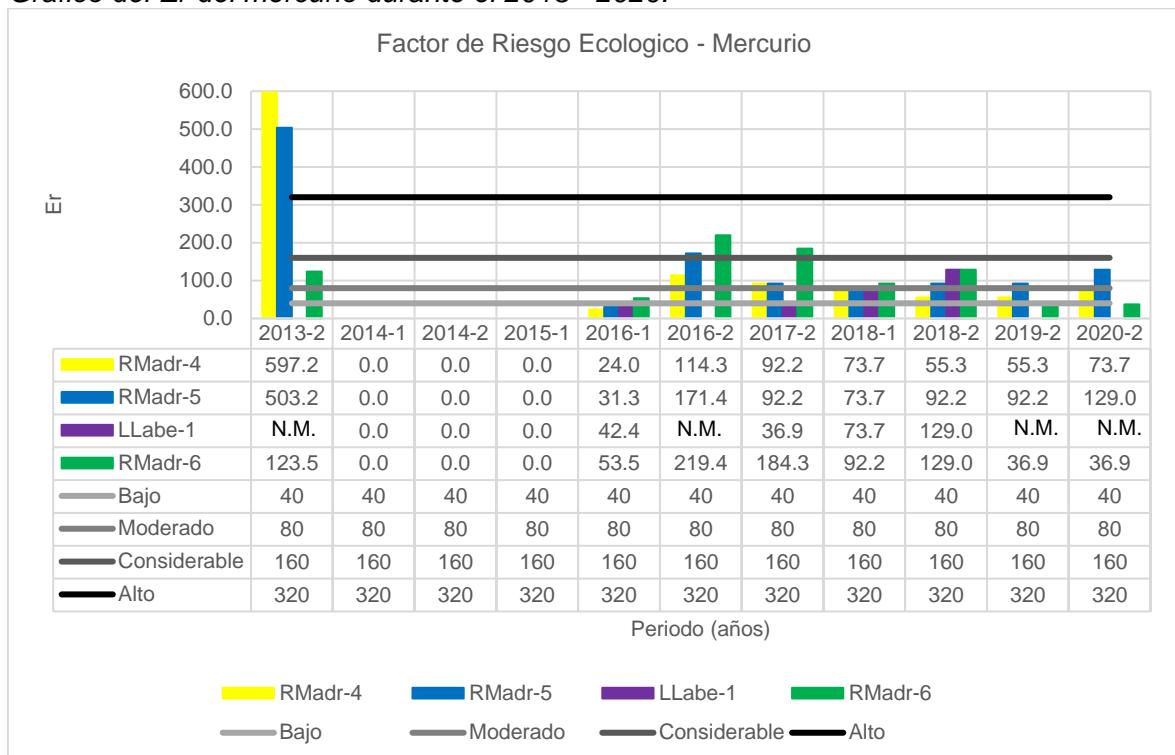
El Er del cromo evaluado en el periodo 2013 - 2020 presenta valores menores a 40 en condición de riesgo ecológico bajo en todos los puntos de monitoreo analizados.

#### 6.5.1.4.5 Er del mercurio.

En la Figura 49 se muestran los niveles de Er que alcanzo el mercurio durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 49**

Gráfico del Er del mercurio durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0.0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 49 se puede observar lo siguiente:

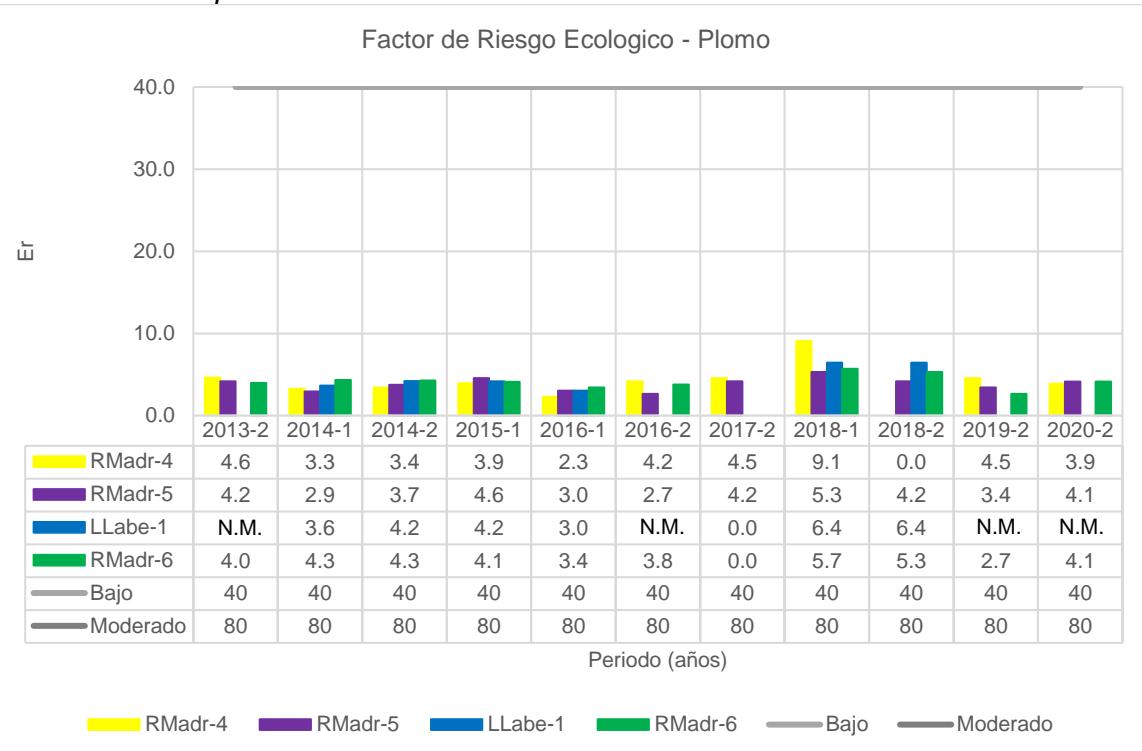
El Er del mercurio evaluado en el periodo 2013 - 2020 presenta valores menores a 40 en condición de riesgo ecológico bajo en 2016-1 (RMadr-4, RMadr-5), 2019-2(RMadr-6) y 2020-2 (RMadr-6). Valores entre 40 y 80 en condición de riesgo ecológico moderado en 2016-1 (Llabe-1, RMadr-6), 2018-1 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1), 2018-2 (RMadr-4), 2019-2 (RMadr-4) y 2020-2 (RMadr-4). Valores entre 80 y 160 en condición de riesgo ecológico considerable en 2013-2 (RMadr-6), 2016-2 (RMadr-4), 2017-2 (RMadr-4, RMadr-5), 2018-1 (RMadr-6), 2018-2 (RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2019-2 (RMadr5) y 2020-2 (RMadr-5). Valores entre 160 y 320 en condición de riesgo ecológico alto en 2016-2 (RMadr-5, RMadr-6), 2017-2 (RMadr-6). Valores mayores a 320 en condición de riesgo ecológico muy alto en 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5).

#### 6.5.1.4.6 Er del plomo.

En la Figura 50 se muestran los niveles de Er que alcanzo el plomo durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 50**

Gráfico del Er del plomo durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0.0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 50 se puede observar lo siguiente:

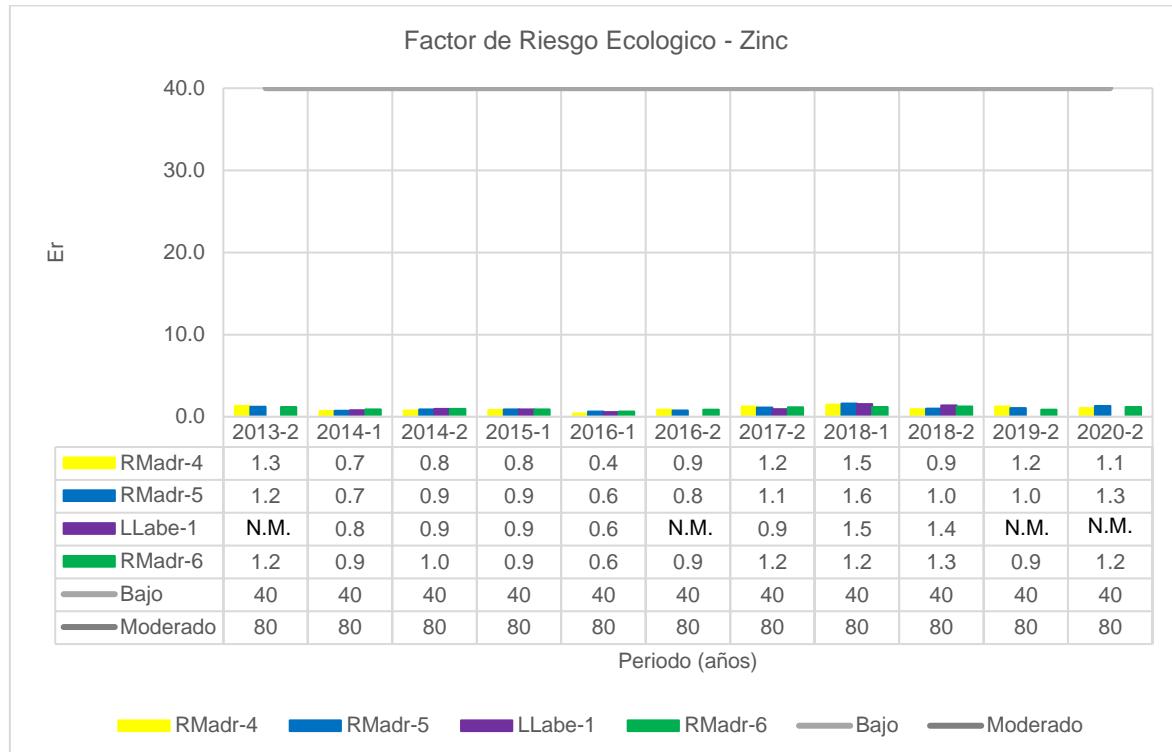
El Er del plomo evaluado en el período 2013 - 2020 presenta valores menores a 40 en condición de riesgo ecológico bajo en todos los puntos de monitoreo analizados.

#### 6.5.1.4.7 Er del zinc.

En la Figura 51 se muestran los niveles de Er que alcanzo el zinc durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 51**

Gráfico del Er del zinc durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel., 0.0: Valor no detectado por el laboratorio, N.M.: No muestreado.

En la Figura 51 se puede observar lo siguiente:

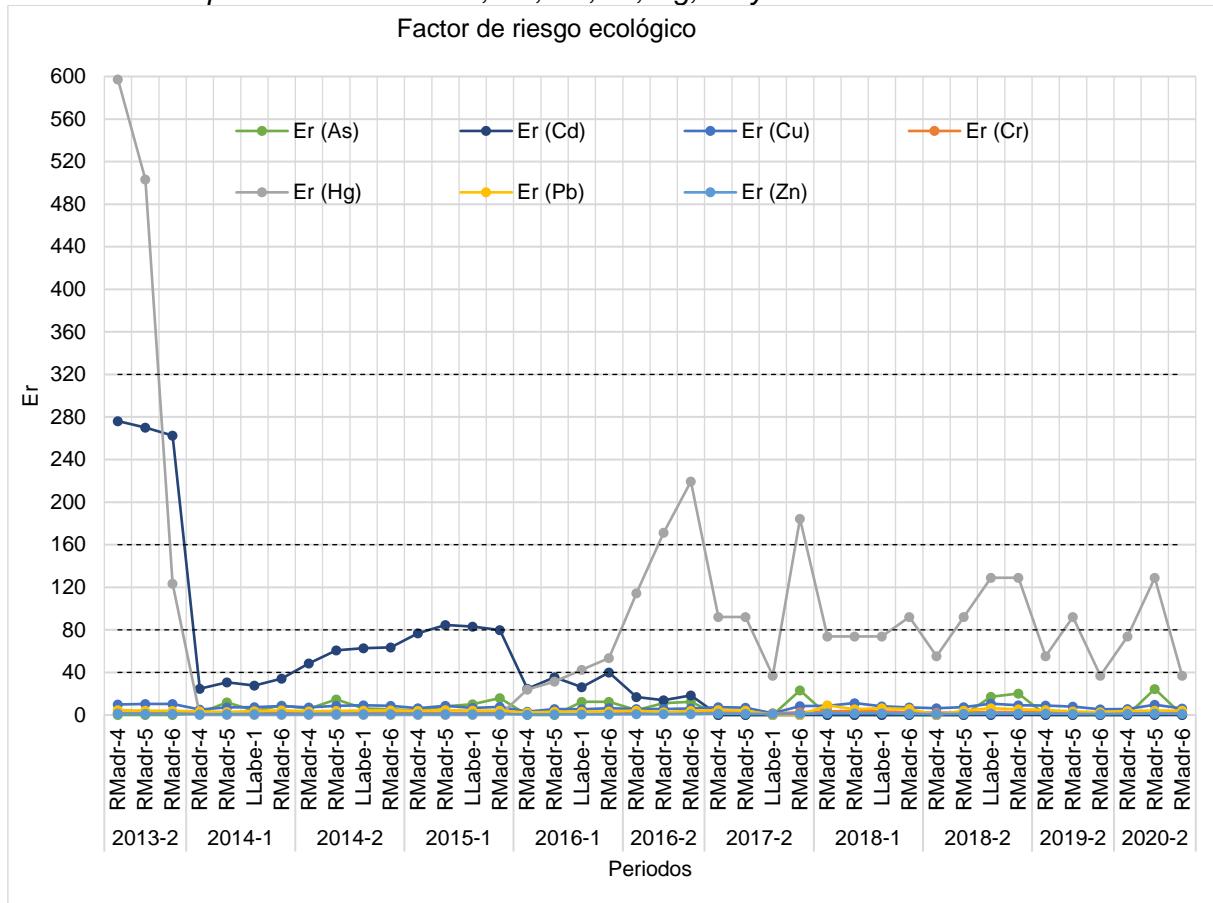
El Er del zinc evaluado en el periodo 2013 - 2020 presenta valores menores a 40 en condición de riesgo ecológico bajo en todos los puntos de monitoreo analizados.

#### 6.5.1.4.8 Comparación de Er

En la Figura 52 se muestran los niveles de Er que alcanzaron los elementos As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb y Zn durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 52**

Gráfico de comparación de Er de As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb y Zn durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel

En la figura 52 se puede observar, que el Factor de Riesgo Ecológico (Er) presenta condición riesgo ecológico bajo ( $Er < 40$ ) para As, Cu, Cr, Pb y Zn en todos los registros analizados. Estos resultados sugieren condiciones ambientales favorables en la zona de estudio, con bajos riesgos ecológicos asociados a estos elementos a lo largo del tiempo.

Asimismo, se observan un Er en condición de riesgo ecológico moderado ( $40 \leq Er < 80$ ) para el Cd en 2014-2 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6) y 2015-1 (RMadr-4, RMadr-6); para el Hg en 2016-1 (Llabe-1, RMadr-6), 2018-1 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1), 2018-2 (RMadr-4), 2019-2 (RMadr-4) y 2020-2 (RMadr-4). Er en condición de riesgo ecológico considerable ( $80 \leq Er < 160$ ) en Cd 2015-1 (RMadr-5, Llabe-1); para Hg en 2013-2 (RMadr-6), 2016-2 (RMadr-4), 2017-2 (RMadr-4, RMadr-5), 2018-1 (RMadr-6), 2018-2 (RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2019-2 (RMadr-5) y 2020-2 (RMadr-5). Er en condición de

riesgo ecológico alto ( $160 \leq Er < 320$ ) en Cd 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6); para Hg en 2016-2 (RMadr-5, RMadr-6), 2017-2 (RMadr-6). Y los valores más altos de Er en condición de riesgo ecológico muy alto ( $Er \geq 320$ ) en Hg en 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5).

Los índices evaluados de manera individual muestran un comportamiento similar, los valores más elevados se presentan para el Hg durante el periodo analizado del 2013 – 2020, en los Cf, Igeo, Er y EF; y específicamente el valor más alto en 2013 (RMadr-4); en periodos más recientes, específicamente en 2016-2, 2017-2, 2018-2 y 2020-2, se mantiene una condición de moderadamente contaminado según el Igeo, enriquecimiento moderado según el FE, contaminación considerable según el Cf y riesgo ecológico alto a considerable según el Er. Resultados comparables a los encontradas en el río Atrato en Colombia en donde el Hg presento Cf en condición de contaminación moderada en el 44% de los sitios de (Palacios-Torres et al., 2018), aunque se utilizaron como nivel de fondo los valores de referencia de la corteza terrestre. Además con resultados similares a los obtenidos en los sedimentos de las lagunas de la llanura aluvial del río Araguaia en Brasil, para el cual se calcularon los nivel de fondo a través de la mediana de 18 lagos con baja actividad antrópica, donde el Igeo resulto en 70% de las muestras sin ningún grado de contaminación; el resto de las muestras se encuentran en la transición entre no contaminadas y moderadamente contaminadas (30%); y con respecto al factor de riesgo ecológico, 50% de los registros presentaron riesgo ecológico bajo, 40% de registros riesgo ecológico moderado y 10% de los registros con riesgo ecológico considerable (Monteiro et al., 2023).

El segundo elemento que presenta los valores más elevados es el Cd en 2013-2 (RMadr-4), y en periodos posteriores, específicamente en 2014-2 y 2015-1, se observa una disminución en las condiciones de contaminación, con un Igeo que reflejaron condiciones no contaminado a moderadamente contaminado, FE con enriquecimiento moderado, Cf con contaminación moderada y Er con riesgo ecológico considerable; sin embargo del

2017-2 al 2020-2, se registraron valores no detectados en todas las muestras analizados. Resultados comparables a los encontrados en el río Atrato en Colombia, donde el Cd presenta 82% en condición de riesgo ecológico moderado y 8% en riesgo ecológico considerable (Palacios-Torres et al., 2020).

Los elementos As, Cu, Cr, Pb y Zn revelan un perfil ambiental poco alterado en la zona de estudio. El Igeo muestra una condición de no contaminado en 88%, 88%, 98% y 95% para As, Cr, Pb y Zn respectivamente, en cuanto al Cu presenta Igeo no contaminado y de no contaminado a moderadamente contaminado en el 55% y 45% respectivamente. El FE revela una deficiencia de enriquecimiento en todas las muestras para Cr, Pb y Zn, en cuanto al As y Cu presentan deficiencia de enriquecimiento en el 95% y 93% respectivamente, indicando ausencia de enriquecimiento significativo en la zona de estudio. En relación con Cf, se evidencia una condición entre contaminación baja y moderada para As, Cu, Cr, Pb y Zn en todas las muestras, señalando una presencia entre baja y moderada de contaminantes en comparación con sus niveles de fondo en la zona estudiada. El Er evaluado durante el periodo 2013-2020, presenta valores menores a 40 en todos los puntos de muestreo para As, Cu, Cr, Pb y Zn indicando un riesgo ecológico bajo. Similar a los resultados obtenidos en los sedimentos del río Atrato en Colombia, donde el Er para el As, Cr, Cu y Pb en condición de bajo riesgo ecológico para el 98%, 100%, 100% y 100% de registros respectivamente y el Cf en condición de moderadamente contaminando para el 96%, 98%, 92% para el As, Cr y Cu mientras que el Pb presento condiciones de no contaminado en el 100% de los registros (Palacios-Torres et al., 2020). Estos resultados sugieren condiciones ambientales favorables en la zona de estudio, asociados a estos elementos a lo largo del tiempo, indicando que sus concentraciones se encuentran mayormente en niveles compatibles con su fondo natural, con bajos riesgos ecológicos y sin evidencia significativa de contaminación o enriquecimiento en la zona de estudio.

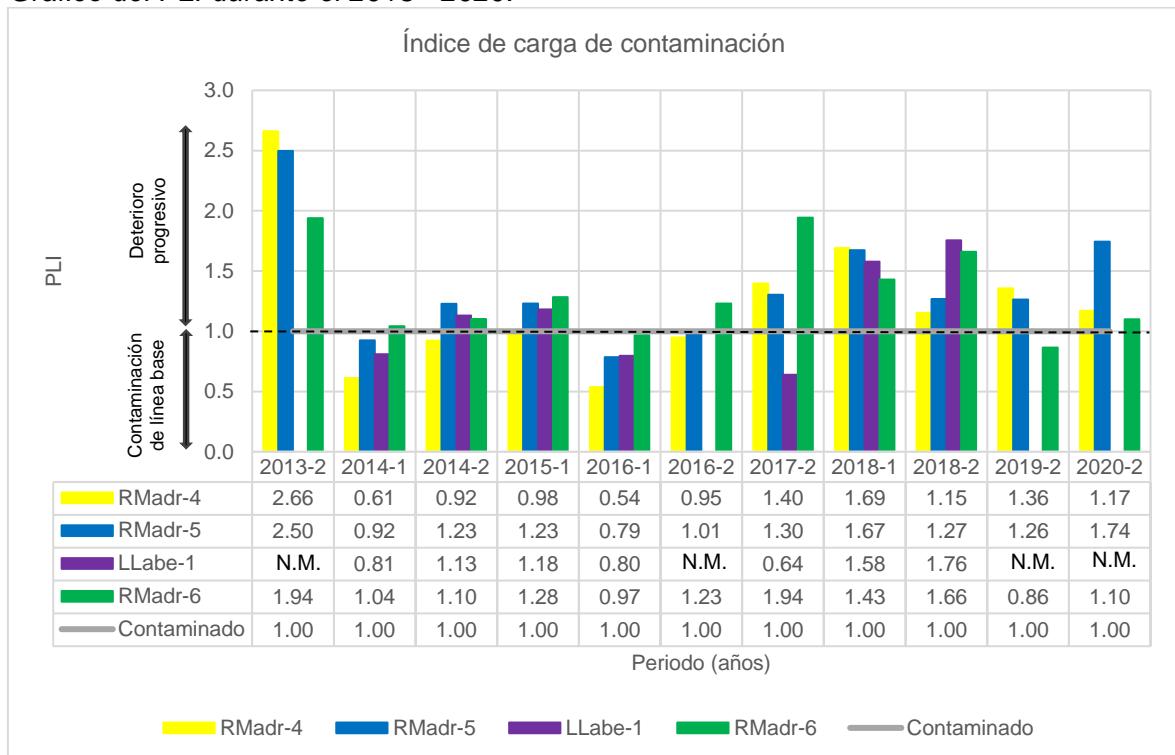
## 6.4.2 Índices integrados

### 6.4.2.1 Índice de carga de contaminación (PLI).

En la Figura 53 se muestran los niveles de PLI que se obtuvo debido al análisis de arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 53**

Gráfico del PLI durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel, N.M.: No muestreado.

En la Figura 53 se puede observar lo siguiente:

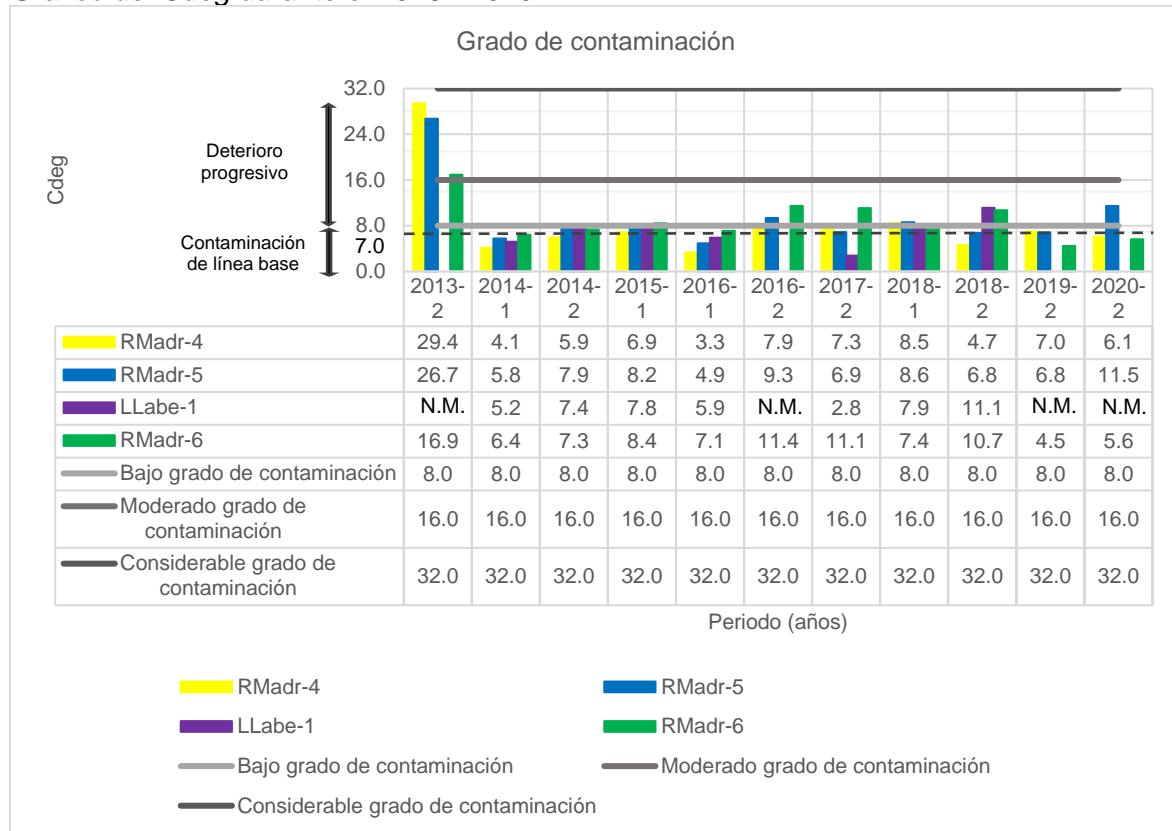
El PLI evaluado en el período 2013 - 2020 presenta valores mayores a 1 en condición contaminado en 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6), 2014 (RMadr-6), 2014-2 (RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2015-1 (RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2016-2 (RMadr-5, RMadr-6), 2017-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6), 2018-1 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2018-2 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2019-2 (RMadr-4, RMadr-5) y 2020-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6).

#### 6.4.2.2 Grado de contaminación (Cdeg).

En la Figura 54 se muestran los niveles de Cdeg que se obtuvo debido al análisis de arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 54**

*Gráfico del Cdeg durante el 2013 - 2020.*



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel. N.M.: No muestreado.

En la Figura 54 se puede observar lo siguiente:

El Cdeg evaluado en el período 2013 - 2020 presenta valores menores a 8 en condición de bajo grado de contaminación en la mayoría de los puntos analizados, con excepción del período 2015-1 (RMadr-5, RMadr-6), 2016-2 (RMadr-5, RMadr-6), 2017-2 (RMadr-6), 2018-1 (RMadr-4, RMadr-5), 2018-2 (Llabe-1, RMadr-6), 2020-2 (RMadr-6) con valores entre 8 y 6 en condición de moderado grado de contaminación. Además del período

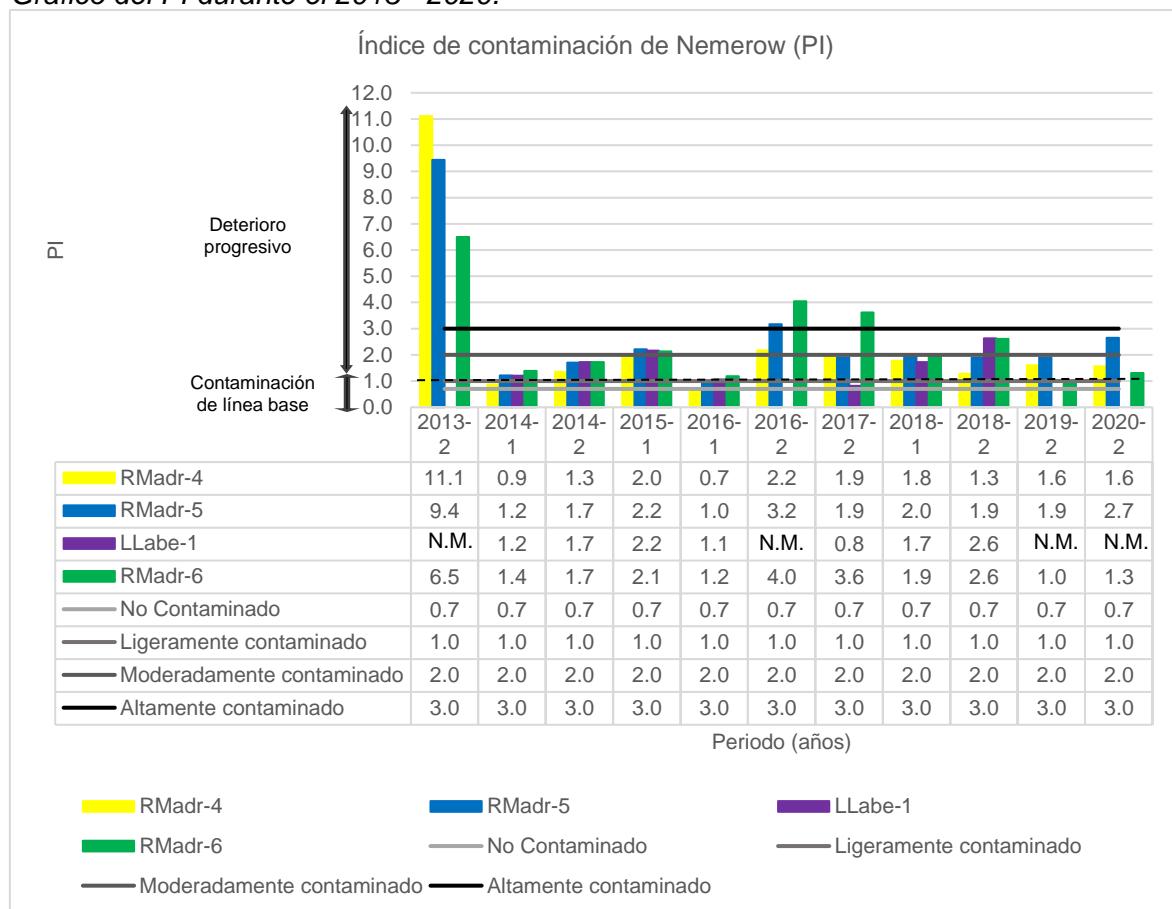
2013-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6) con valores entre 16 y 32 en condición de considerable grado de contaminación.

#### 6.4.2.3 Índice de contaminación de Nemerow (PI).

En la Figura 55 se muestran los niveles de PI que se obtuvo debido al análisis de arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 55**

Gráfico del PI durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel, N.M.: No muestreado.

En la Figura 55 se puede observar lo siguiente:

El PI evaluado en el período 2013 - 2020 no presenta valores menores a 0.7 en condición de no contaminado en todos los puntos de monitoreo analizados. Presenta

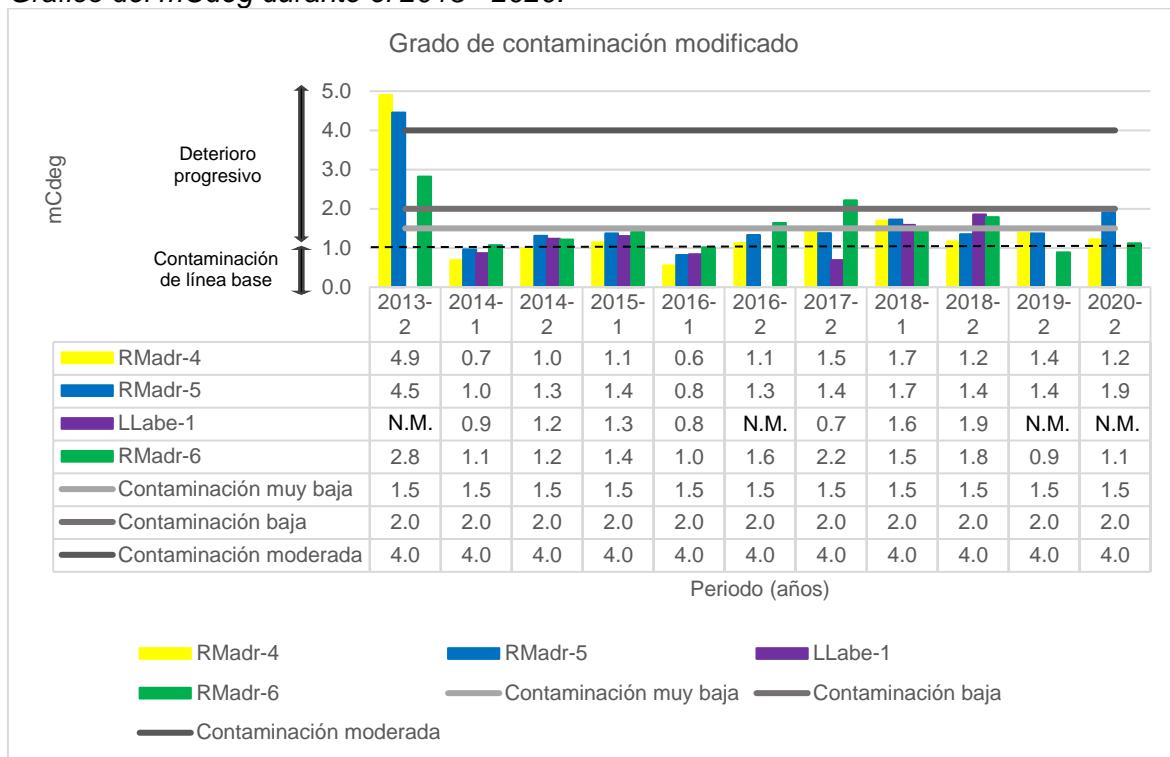
valores entre 0.7 y 1 en condición de ligeramente contaminado en 2017-2 (RMadr-4), 2016-1 (RMadr-4), 2017-2 (Llabe-1) y 2019-2 (RMadr-6). Valores entre 1 y 2 en condición de moderadamente contaminado en 2014-1 (RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2014-2 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2015-1 (RMadr-4), 2016-1 (RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2017-2 (RMadr-4, RMadr-5), 2018-1 (RMadr-4, Llabe-1, RMadr-6), 2018-2 (RMadr-4, RMadr-5), 2019-2 (RMadr-4, RMadr-5) y 2020-2 (RMadr-4, RMadr-6). Valores entre 2 y 3 en condición de altamente contaminado 2015-1 (RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2016-2 (RMadr-4), 2018-1 (RMadr-5), 2018-2 (Llabe-1, RMadr-6) y 2020-2 (RMadr-5). Valores mayores a 3 en condición de severamente contaminado en 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6), 2016-2 (RMadr-5, RMadr-6) y 2017-2 (RMadr-6).

#### **6.4.2.4 Grado de contaminación modificado (mCdeg).**

En la Figura 56 se muestran los niveles de mCdeg que se obtuvo debido al análisis de arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 56**

Gráfico del mCdeg durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel, N.M.: No muestreado.

En la Figura 56 se puede observar lo siguiente:

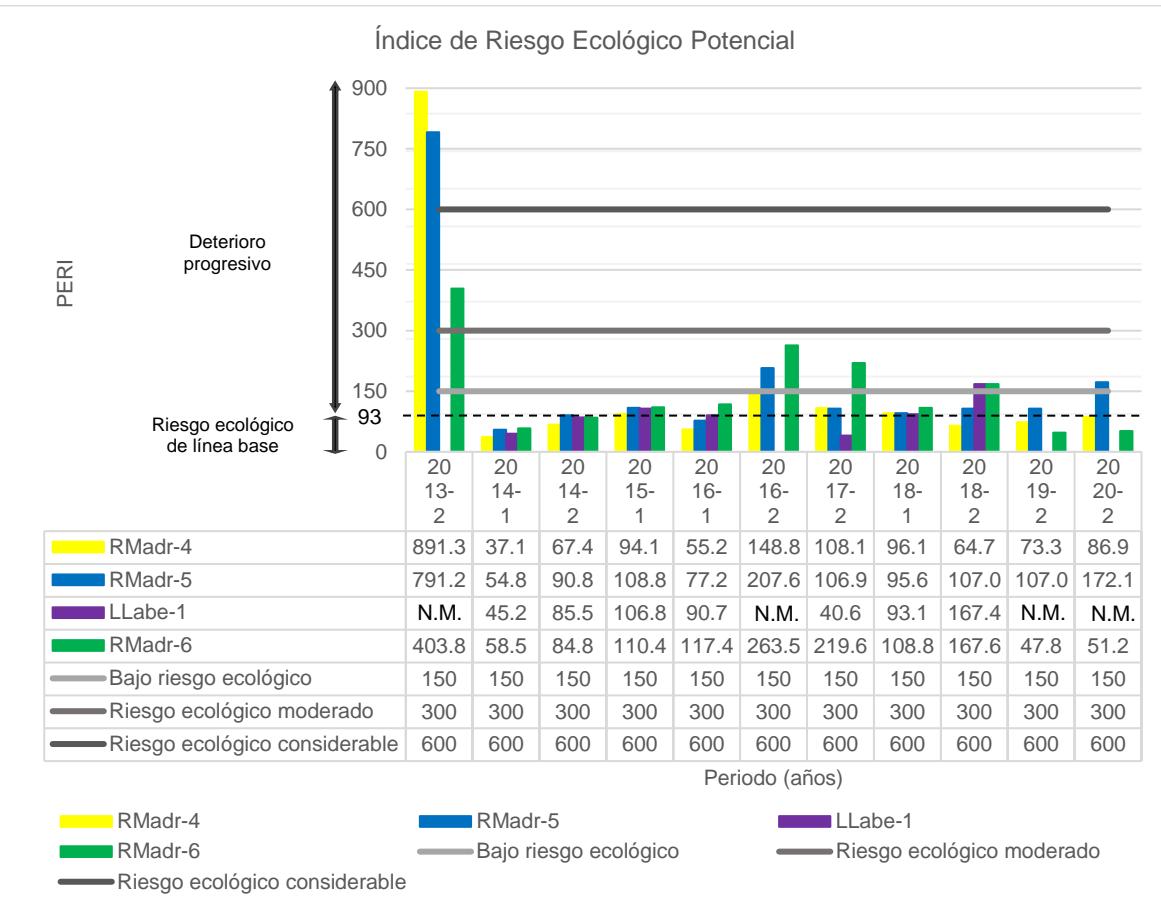
El mCdeg evaluado en el periodo 2013 - 2020 presenta valores menores a 1.5 en condición de contaminación muy baja en la mayoría de los puntos de monitoreo analizados, con excepción del periodo 2016-2 (RMadr-6), 2018-1 (RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1), 2018-2 (Llabe-1, RMadr-6) y 2020-2 (RMadr-5) con valores entre 1.5 y 2 en condición de contaminación baja. En 2013-2 (RMadr-6) y 2017-2 (RMadr-6) con valores entre 2 y 4 en condición de contaminación moderada. En 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5) con valores entre 4 y 8 en condición de contaminación alta.

#### 6.4.2.5 Índice de riesgo ecológico (PERI).

En la Figura 57 se muestran los niveles de PERI que se obtuvo debido al análisis de arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 57**

Gráfico del PERI durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel. N.M.: No muestreado.

En la Figura 57 se puede observar lo siguiente:

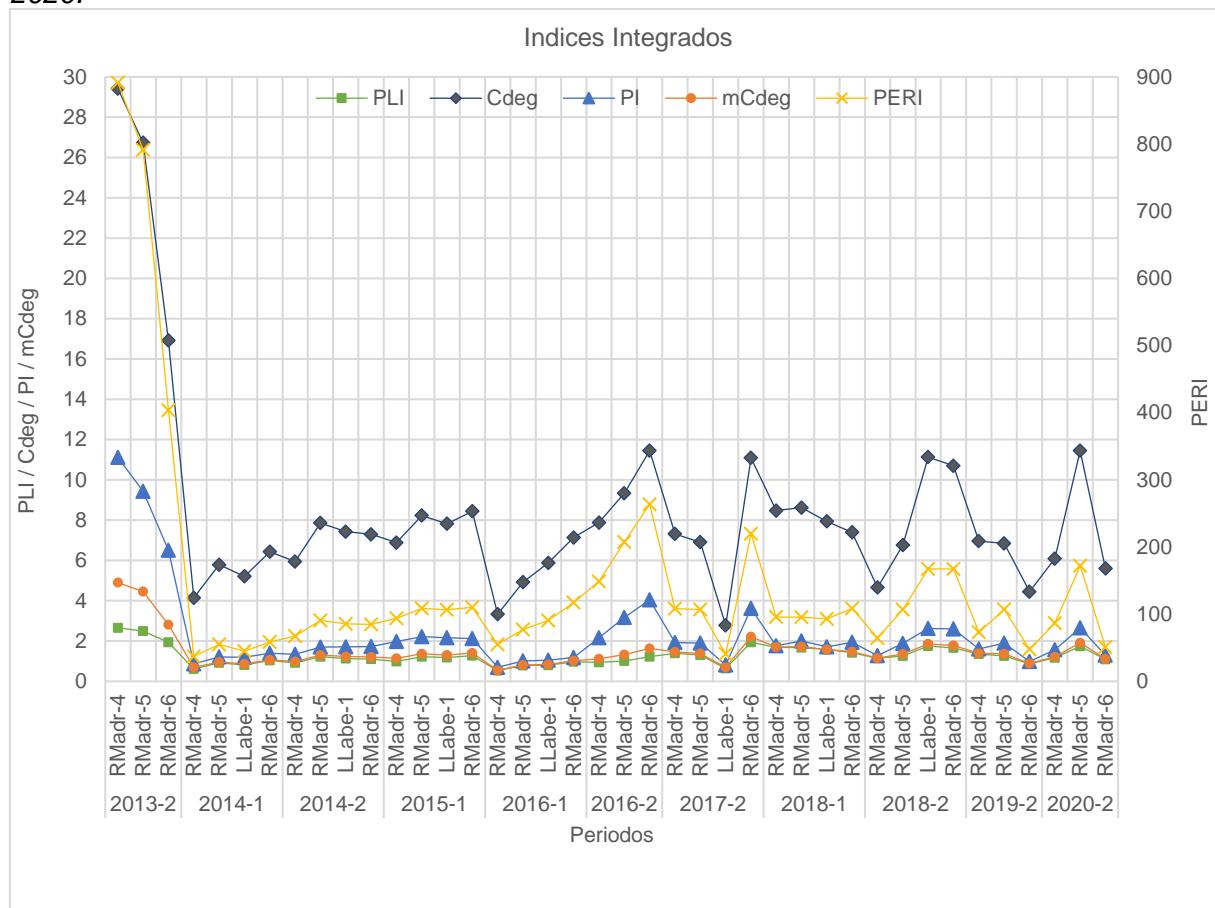
El PERI evaluado en el periodo 2013 - 2020 presenta valores menores a 150 en condición de bajo riesgo ecológico en la mayoría de los puntos de monitoreo analizados, con excepción del periodo 2016-2 (RMadr-5, RMadr-6), 2017-2 (RMadr-6), 2018-2 (LLabe-1, RMadr-6) y 2020-2 (RMadr-5) con valores entre 150 y 300 en condición de riesgo ecológico moderado. En 2013-2 (RMadr4, RMadr-6) con un valor entre 300 y 600 en condición de riesgo ecológico considerable. En 2013-2 (RMadr4, RMadr-6) con valores mayores a 600 en condición de riesgo ecológico muy alto.

#### 6.4.2.6 Comparación de índices integrados.

En la Figura 58 se muestran el grafico de comparación entre los índices integrados PLI, Cdeg, PI, mCdeg y PERI que se obtuvo debido al análisis de As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb y Zn durante el 2013 – 2020 en los puntos de monitoreo RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 y RMadr-6.

**Figura 58**

Gráfico de comparación entre los índices PLI, Cdeg, PI, mCdeg y PERI durante el 2013 - 2020.



Nota: Elaborado mediante Microsoft Excel

En la Figura 58 se puede observar la comparación grafica de los 5 índices integrados evaluados desde el 2013-2 al 2020-2, El PLI muestra que el 70% de los registros analizados muestran una condición de contaminado, observándose su valor más alto 2.7 en el periodo 2013-2 (RMadr-4). El Cdeg muestra que el 25 % de los registros analizados muestran un moderado grado de contaminación ( $8 \leq \text{Cdeg} \leq 16$ ), y sus valores más altos

presentan un considerable grado de contaminación ( $16 \leq \text{Cdeg} \leq 32$ ) en 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6). El PI muestra que el 55% de los registros analizados muestran una condición de moderadamente contaminado ( $1 \leq \text{PI} < 2$ ), además de condición de altamente contaminado ( $2 \leq \text{PI} < 3$ ) en 2015-1 (RMadr-5, Llabe-1, RMadr-6), 2016-2 (RMadr-4), 2018-1 (RMadr-5), 2018-2 (Llabe-1, RMadr-6) y 2020-2 (RMadr-5); y sus valores más altos presentan una condición de severamente contaminando ( $3 \geq \text{PI}$ ) en 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6), 2016-2 (RMadr-5, RMadr-6) y 2017-2 (RMadr-6). El mCdeg muestra que el 18% de los registros analizados muestran una contaminación baja ( $1.5 \leq \text{mCdeg} \leq 2$ ), además de una condición de contaminación moderada ( $2 \leq \text{mCdeg} \leq 4$ ) en 2013-2 (RMadr-6) y 2017-2 (RMadr-6); sus valores más altos se presentan en condición de contaminación alta ( $4 \leq \text{mCdeg} \leq 8$ ) en 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5). Por último, el PERI muestra que el 15% de los registros analizados muestran un riesgo ecológico moderado ( $150 \leq \text{PERI} < 300$ ), además de riesgo ecológico considerable ( $300 \leq \text{PERI} < 600$ ) en 2013-2 (RMadr-6); y sus valores más altos presentan una condición de riesgo ecológico muy alto ( $\text{PERI} \geq 600$ ) en 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5).

La evaluación integral de cinco índices de calidad de sedimentos revela una situación ambiental dinámica en la zona de estudio. Aunque se identifican periodos de contaminación significativa, especialmente en los primeros años (2013-2), se observa una tendencia a la mejora en periodos más recientes (2016-2, 2017-2, 2018-2 y 2020-2). El PLI señala una presencia continua de contaminación desde 2013-2 hasta 2020-2, evidenciando una persistente contaminación en la zona. El Cdeg indica un grado de contaminación moderado en periodos recientes, sugiriendo una posible disminución de la intensidad de la contaminación comparado con el periodo inicial. El PI muestra fluctuaciones en la intensidad de la contaminación a lo largo del tiempo, persistiendo en niveles moderados a severos. El mCdeg refleja una mejora general en la calidad de sedimentos, con bajos niveles de contaminación en la mayoría de los periodos evaluados. El PERI revela una disminución gradual del riesgo ecológico, aunque persiste en niveles

moderados en periodos más recientes. Resultados comparables con los obtenidos en sedimentos del río Atrato en Colombia, en donde el 8% de los registros presentan condición de riesgo ecológico considerable (PERI) y el 92% en condición de riesgo ecológico moderado; en cuanto al PLI categorizo al 54% de registros en condición de contaminados que está relacionada a la destrucción de bosques por la minería (Palacios-Torres et al., 2020).

Estos resultados evidencian la dinámica a través del periodo analizado sobre la calidad de sedimentos del río Madre de Dios con influencia de la minería aluvial, obteniendo sus valores más altos en el 2013 y luego existiendo una disminución en periodos más recientes, pero aun en condiciones contaminación, enriquecimiento y riesgo ecológico moderado. Esto puede estar relacionado a que en el 2012 se generó el mayor valor de producción de oro ilegal e informal en el Perú, y por lo tanto una mayor uso de mercurio para amalgamación y acumulación en sedimentos; además, a partir de este año se tipifica el delito de minería ilegal y en los años posteriores el valor de producción de minería ilegal e informal empieza a disminuir de manera progresiva (Arana & Montoya, 2017).

Debido a que las actividades humanas alteran los sistemas fluviales, y estos a su vez el equilibrio natural del ecosistema acuático; es relevante determinar el nivel real de la contaminación de los sedimentos de río (Magni et al., 2021). Los ríos tropicales alterados por actividades humanas presentan una dinámica compleja que requiere investigaciones exhaustivas para una mejor comprensión, en este contexto, esta investigación pudo ser complementada con análisis de sedimentos suspendidos y con datos recolectados durante los meses de transición entre los períodos de estiaje y avenida para una comprensión completa de los fenómenos estudiados. Por ello, obtener datos durante todas las temporadas, incluyendo avenida, estiaje y las transiciones entre ellas, es imperativo para garantizar una investigación fielmente la realidad de zona estudiada.

## Conclusiones

En el análisis llevado a cabo se encontraron diferencias significativas entre las concentraciones de metales y metaloides en los sedimentos entre los diferentes períodos (2013-1 al 2020-2). En este sentido, se enfatiza la consistente presencia de cobre, cromo y zinc en todos los períodos estudiados; por otro lado, el arsénico, cadmio, mercurio y plomo presentaron concentraciones por debajo del límite de detección en el 47.5%, 45%, 30% y 7% de los registros analizados.

Se estimaron los valores de nivel de fondo en sedimentos teniendo en cuenta las características climáticas y geológicas de la zona de estudio para el arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc con el software PRO UCL 5.2 resultando 8.893, 1.952, 18.98, 17.7, 0.0217, 13.2, 59.59 mg/Kg respectivamente.

La comparación de los niveles de fondo estimados con las concentraciones de metales y metaloide analizados, durante el 2013 – 2020, muestra una diferencia significativa para el cadmio, cobre, cromo y mercurio que son superados en el 37.5%, 95%, 65% y 55% respectivamente de registros analizados. Mientras que para el plomo son significativamente menores; con respecto al arsénico y zinc no existe diferencias significativas en comparación con su nivel de fondo.

La comparación con los estándares internacionales sobre calidad de sedimentos, durante el 2013 – 2020, muestran que el arsénico supera significativamente sus valores de ISQG, el cadmio supero significativamente su ISQG, TEC e iguala su PEL y PEC; indicando efectos biológicos adversos y/o riesgos tóxicos en organismos bentónicos y epibentónicos, en diversos períodos de monitoreo. Mientras que para el cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc no superan significativamente estos estándares sugiriendo que estos elementos no representan riesgos significativos para los organismos durante los períodos analizados.

Los índices de calidad de sedimentos evaluados de forma individual evidencian sus valores más elevados para factor de contaminación, índice de geoacumulación, factor de riesgo ecológico y factor de enriquecimiento para el mercurio en 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5), seguido del cadmio en el 2013-2 (RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6). Y los más bajos; para el arsénico, cobre, cromo, plomo y zinc que evidenciaría un perfil ambiental positivo o poco alterado en la zona de estudio con respecto a estos elementos. Asimismo, los índices integrados como el índice de carga de contaminación, grado de contaminación, índice de contaminación de Nemerow, grado de contaminación modificado y índice de riesgo ecológico potencial, evidencian sus valores más elevados en el primer periodo (2013-2), luego se observa una tendencia a disminuir los valores en periodos más recientes (2016-2, 2017-2, 2018-2 y 2020-2), sin embargo, aun con presencia de alteración.

Estos hallazgos resaltan la dinámica cambiante de la contaminación especialmente del mercurio y cadmio en la zona estudiada, subrayando la importancia de un monitoreo continuo para comprender las variaciones temporales y desarrollar estrategias de gestión ambiental que aborden de manera efectiva los riesgos asociados con estos elementos en el área de estudio.

## Recomendaciones

En base a la presencia variable de elementos contaminantes en los puntos de monitoreo estudiados y la naturaleza dinámica de los entornos ambientales, se recomienda implementar un sistema de monitoreo ambiental continuo y más frecuente. Es recomendable un monitoreo en las estaciones de creciente, vacante y las dos transiciones entre estos dos ciclos hidrológicos (media vacante y medio creciente), que pueden proporcionar un mayor análisis y comportamiento de los elementos estudiados. Esto permitirá capturar de manera más precisa las tendencias a lo largo del tiempo y las posibles fluctuaciones en las concentraciones de contaminantes.

Con respecto a la metodología para el cálculo del nivel de fondo, se recomienda que el enfoque utilizado para la evaluación de las concentraciones de sedimentos y la estimación de los niveles de fondo (UCL) sea considerado por futuros investigadores en el campo. Este enfoque puede ser aplicado con éxito por otros especialistas para calcular los niveles de fondo de sedimentos en distintas zonas de estudio. Esto se lograría utilizando datos disponibles públicamente o conjuntos de datos análogos pertinentes. Su implementación puede contribuir significativamente a una comprensión más profunda de los niveles de contaminantes en distintos entornos y su impacto ambiental.

Basandonos en los resultados preocupantes obtenidos en el análisis de la concentración de arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc en sedimentos, se sugiere la implementación inmediata de medidas preventivas y de mitigación. Dada la significativa superación de los niveles de fondo (NF) estimados, los estándares canadienses para calidad de sedimentos de agua dulce (ISQG y PEL) y directrices de calidad de los sedimentos basadas en consenso (TEC y PEC), es crucial adoptar estrategias que reduzcan los riesgos potenciales para los organismos de la zona de estudio. Se recomienda el diseño e implementación de un plan integral de gestión ambiental, centrado específicamente en la reducción de la contaminación de metales y metaloide en los sedimentos.

Se recomienda considerar otras variables que influyen en el análisis de la calidad de sedimentos, como la materia orgánica presente y el tamizaje para estandarizar el tamaño de sedimento utilizado en el análisis de laboratorio debido a que estos elementos contaminantes tienden a adsorberse en partículas más pequeñas. Asimismo, completar con monitoreo de sedimentos suspendidos. Estas recomendaciones buscan mejorar la eficacia y la confiabilidad de los índices utilizados para evaluar la calidad de sedimentos, contribuyendo así a una gestión ambiental más efectiva y a la preservación a largo plazo de la salud del ecosistema acuático en la zona de estudio.

## Referencias bibliográficas

Abasto Lara, N. (1987). *Balance hidrico superficial de la cuenca del río Madre de dios Amazonia, Bolivia—Perú.* SENAMHI.  
[https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers16-07/33875.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers16-07/33875.pdf)

Abrahim, G. M. S., & Parker, R. J. (2008). Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environmental Monitoring and Assessment*, 136(1), 227-238. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9678-2>

Ali, A., Strezov, V., Davies, P. J., & Wright, I. (2018). River sediment quality assessment using sediment quality indices for the Sydney basin, Australia affected by coal and coal seam gas mining. *Science of The Total Environment*, 616-617, 695-702.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.259>

Almeida, L. C., da Silva Júnior, J. B., dos Santos, I. F., de Carvalho, V. S., de Santana Santos, A., Hadlich, G. M., & Ferreira, S. L. C. (2020). Assessment of toxicity of metals in river sediments for human supply: Distribution, evaluation of pollution and sources identification. *Marine Pollution Bulletin*, 158, 111423. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111423>

ANA. (2010). *Estudio Diagnóstico Hidrológico de la cuenca Madre de Dios.* Administración Local de Agua Maldonado - Autoridad Nacional del Agua.  
[https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/diagnostico\\_hidrológico\\_-madre\\_de\\_dios\\_0.pdf](https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/diagnostico_hidrológico_-madre_de_dios_0.pdf)

Arana Cardó, M. (2023). *Minería ilegal en la Amazonía peruana—Informe sobre las actividades mineras en las regiones amazónicas de Amazonas, Huánuco, Loreto, Madre de Dios, San Martín y Ucayali*. (p. 178). Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible.  
<https://drive.google.com/drive/folders/19dMVhxdQSAkzEm0-ZM0r3vPbLcQOcn4->

Arana, M., & Montoya, P. (2017). *Reporte de inventario: Estimaciones de referencia del uso y consumo de mercurio en la minería de oro artesanal y de pequeña escala en Perú*. Artisanal Gold Council. <https://artisanalgold.org/country-reports/>

Becker, K. W., & Skaar, E. P. (2014). Metal limitation and toxicity at the interface between host and pathogen. *FEMS Microbiology Reviews*, 38(6), 1235-1249.  
<https://doi.org/10.1111/1574-6976.12087>

Birch, G. F. (2023). A review and critical assessment of sedimentary metal indices used in determining the magnitude of anthropogenic change in coastal environments. *Science of The Total Environment*, 854, 158129.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158129>

Brady, J. P., Ayoko, G. A., Martens, W. N., & Goonetilleke, A. (2015). Development of a hybrid pollution index for heavy metals in marine and estuarine sediments. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(5), 306.  
<https://doi.org/10.1007/s10661-015-4563-x>

Cabrera Drouet, J. (2018). *Evaluación de la contaminación por metales pesados en sedimentos y suelos de la Reserva Biológica Limoncocha—Ecuador mediante índices de polución*. [Universidad de Cantabria].

<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/14196/409479.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Castro Medina, W. (2008). *Zonificación Ecológica y Económica del departamento de Madre de Dios—Geología* (p. 63). Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana y el Gobierno Regional de Madre de Dios.  
<http://terra.iiap.gob.pe/macrozee-mdd.html>

CCME. (1999a). *Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life-Arsenic*. Canadian Council of Ministers of the Environment. <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/230>

CCME. (1999b). *Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life-Cadmium*. Canadian Council of Ministers of the Environment. <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/231>

CCME. (1999c). *Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life-Chromium*. Canadian Council of Ministers of the Environment. <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/233>

CCME. (1999d). *Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life-Copper*. Canadian Council of Ministers of the Environment. <https://ccme.ca/en/resources/sediment>

CCME. (1999e). *Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life-Lead*. Canadian Council of Ministers of the Environment. <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/239>

CCME. (1999f). *Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life-Mercury*. Canadian Council of Ministers of the Environment. <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/241>

CCME. (2014). *Canadian Council of Ministers of the Environment / Le Conseil canadien des ministres de l'environnement*. <https://ccme.ca/en/summary-table>

Crompton, T. R. (2015). Chapter 7—Metals in Sediments. En T. R. Crompton (Ed.), *Determination of Metals in Natural Waters, Sediments and Soils* (pp. 203-228). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802654-0.00007-6>

De Miguel, E., Arranz-González, J., Cala, V., Chacón, E., Gallego, E., Alberruche, E., Alonso, C., Canteli, P., & Palacios, I. (2002). *Determinación de niveles de fondo y niveles de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos de la Comunidad de Madrid*.

Debnath, A., Singh, P. K., & Sharma, Y. C. (2024). Spatial distribution of heavy metals in the sediments of River Ganges, India: Occurrence, contamination, source identification, seasonal variations, mapping, and ecological risk evaluation. *Marine Pollution Bulletin*, 198, 115910. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115910>

Día 1: Evento de cierre del proyecto de investigación «River Mining» (PEER 8-235). (2022, julio 31). Impactos de la agradación fluvial en el río Madre de Díos. [https://www.youtube.com/watch?v=Y\\_J-zAQHqrs&t=1387s](https://www.youtube.com/watch?v=Y_J-zAQHqrs&t=1387s)

Duffus, J. H. (2002). «Heavy metals» a meaningless term? (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 74(5), 793-807. <https://doi.org/10.1351/pac200274050793>

Environmental Protection Agency (U.S. EPA). (2022). *ProUCL Version 5.2.0 User Guide*. <https://www.epa.gov/land-research/proucl-software>

Escobedo Torres, R. (2008). *Zonificación Ecológica y Económica del departamento de Madre de Dios—Fisiografía* (p. 24). Instituto de Investigaciones de la

Amazonía Peruana y el Gobierno Regional de Madre de Dios.

<http://terra.iiap.gob.pe/macrozee-mdd.html>

Espin, J., & Perz, S. (2021). Environmental crimes in extractive activities: Explanations for low enforcement effectiveness in the case of illegal gold mining in Madre de Dios, Peru. *The Extractive Industries and Society*, 8(1), 331-339. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2020.12.009>

Espinoza, G. (2007). *Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental. Estudio de calidad de sedimentos en la unidad hidrográfica Madre de Dios*. (2021a, octubre 21). Cambios hidrogeomorfológicos y su relación con la dispersión de mercurio de ríos afectados por minería aurífera aluvial Parte 2. <https://www.youtube.com/watch?v=BfVaMyzi11s>

*Estudio de calidad de sedimentos en la unidad hidrográfica Madre de Dios*. (2021b, octubre 21). Estudio de calidad de sedimentos en el ámbito en la unidad hidrográfica Madre de Dios. <https://www.youtube.com/watch?v=BfVaMyzi11s>

Fang, T. H., Huang, Z. T., & Chang, F. W. (2022). The geochemical and environmental characteristics of trace metals in surface sediments of the river estuarine mouths around the Taiwan Island and the Taiwan Strait. *Marine Pollution Bulletin*, 182, 113967. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113967>

Ferreira, S. L. C., da Silva, J. B., dos Santos, I. F., de Oliveira, O. M. C., Cerdá, V., & Queiroz, A. F. S. (2022). Use of pollution indices and ecological risk in the assessment of contamination from chemical elements in soils and sediments

- Practical aspects. *Trends in Environmental Analytical Chemistry*, 35, e00169. <https://doi.org/10.1016/j.teac.2022.e00169>

García Flores, M., & Maza Álvarez, J. A. (1998a). *Origen y propiedades de los sedimentos: Capítulo 7 del Manual de ingeniería de ríos*. Instituto de Ingeniería del UNAM.

García Flores, M., & Maza Álvarez, J. A. (1998b). *Origen y propiedades de los sedimentos: Capítulo 7 del Manual de ingeniería de ríos*. Instituto de Ingeniería del UNAM.

Gómez Orea, D., & Gómez Villarino, T. (2013). *Evaluación de impacto ambiental* (tercera). Mundi-Prensa Libros.

*Guía para el muestreo de suelos* (Resolución Ministerial N° 085-2014-MINAM). (2014). MINAM. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2018/07/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELO.pdf>

Gutiérrez La Torre, T. A. (2015). *Impactos mineros, agropecuarios y de la conservación en la calidad del agua y los sedimentos, cuenca Tambopata, Madre de Dios* [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2195>

Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control.a sedimentological approach. *Water Research*, 14(8), 975-1001. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90143-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8)

Hou, Y., Zhao, Y., Lu, J., Wei, Q., Zang, L., & Zhao, X. (2023). Environmental contamination and health risk assessment of potentially toxic trace metal elements in soils near gold mines – A global meta-analysis. *Environmental Pollution*, 121803. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121803>

Hu, Z., & Gao, S. (2008). Upper crustal abundances of trace elements: A revision and update. *Chemical Geology*, 253(3), 205-221.  
<https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2008.05.010>

*Impactos ambientales de la minería aluvial en Madre de Dios*. (2020). Rastreando el mercurio de la minería aluvial, una perspectiva geoquímica.  
<https://www.youtube.com/watch?v=qewwlGYYICo&t=6926s>

Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana - IIAP, & Ministerio del Ambiente - MINAM. (2011). *Minería Aurífera en Madre de Dios y Contaminación con Mercurio—Una Bomba de Tiempo* (Primera Edición).  
<https://sinia.minam.gob.pe/documentos/mineria-aurifera-madre-dios-contaminacion-mercurio-una-bomba-tiempo>

Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7(2), 60-72. <https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009>

MacDonald, D. D., Ingersoll, C. G., & Berger, T. A. (2000). Development and Evaluation of Consensus-Based Sediment Quality Guidelines for Freshwater Ecosystems. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 39(1), 20-31. <https://doi.org/10.1007/s002440010075>

Maco García, J. (2008). *Zonificación Ecológica y Económica del departamento de Madre de Dios—Hidrografía* (p. 49). Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana y el Gobierno Regional de Madre de Dios.  
<http://terra.iiap.gob.pe/macrozee-mdd.html>

Magni, L. F., Castro, L. N., & Rendina, A. E. (2021). Evaluation of heavy metal contamination levels in river sediments and their risk to human health in urban areas: A case study in the Matanza-Riachuelo Basin, Argentina.

*Environmental Research*, 197, 110979.

<https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110979>

McCall, K. A., Huang, C., & Fierke, C. A. (2000). Function and Mechanism of Zinc Metalloenzymes. *The Journal of Nutrition*, 130(5), 1437S-1446S.

<https://doi.org/10.1093/jn/130.5.1437S>

Molina, R. V. (2013). El sistema periódico y su relación con la vida cotidiana: Parte I. *Anales de la Real Sociedad Española de Química*, 4, 301-307.

Monteiro, L. C., Vieira, L. C. G., Bernardi, J. V. E., Moraes, L. de C., Rodrigues, Y. O. S., de Souza, J. P. R., de Souza, J. R., Bastos, W. R., Passos, C. J. S., & Dórea, J. G. (2023). Ecological risk of mercury in bottom sediments and spatial correlation with land use in Neotropical savanna floodplain lakes, Araguaia River, Central Brazil. *Environmental Research*, 238, 117231.

<https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117231>

Muller, G. (1969). *Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River*.

<https://www.scienceopen.com/document?vid=4b875795-5729-4c05-9813-64951e2ca488>

Muller, G. (1986). Schadstoffe in Sedimenten—Sedimente als Schadstoffe. *Mitt, österr. geol. Ges.*, 107-126.

Orozco Barrenetxea, C., Pérez Serrano, A., González Delgado, N., Rodríguez Vidal, F., & Alfayate Blanco, J. M. (2002). *Contaminación Ambiental una visión desde la Química*. Paraninfo.

<https://www.paraninfo.es/catalogo/9788497321785/contaminacion-ambiental--una-vision-desde-la-quimica>

Osores Plenge, F., Rojas Jaimes, J. E., & Manrique Lara Estrada, C. H. (2012). Minería informal e ilegal y contaminación con mercurio en Madre de Dios: Un problema de salud pública. *Acta Médica Peruana*, 29(1), 38-42.

Palacios-Torres, Y., Caballero-Gallardo, K., & Olivero-Verbel, J. (2018). Mercury pollution by gold mining in a global biodiversity hotspot, the Choco biogeographic region, Colombia. *Chemosphere*, 193, 421-430. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.160>

Palacios-Torres, Y., de la Rosa, J. D., & Olivero-Verbel, J. (2020). Trace elements in sediments and fish from Atrato River: An ecosystem with legal rights impacted by gold mining at the Colombian Pacific. *Environmental Pollution*, 256, 113290. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113290>

Peña, C. E., Carter, D. E., & Ayala-Fierro, F. (2001). *TOXICOLOGIA AMBIENTAL*. <http://www.ingenieroambiental.com/informes2/toxamb.pdf>

Pienta, N. (2001). Chemistry: Molecules, Matter, and Change, 4th Edition (Jones, Loretta; Atkins, Peter). *Journal of Chemical Education - J CHEM EDUC*, 78. <https://doi.org/10.1021/ed078p883>

*Propuesta de Zonificación Ecológica y Económica del departamento de Madre de Dios.* (2009). Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana y el Gobierno Regional de Madre de Dios. <https://geoservidor.minam.gob.pe/zee-aprobadas/madre-de-dios/>

Radhakrishnan, N., Taneja, S., Ambastha, S., Pipil, H., & Haritash, A. K. (2023). Heavy metal profile, mobility, and source characterization in size-fractionated

bed-sediments of River Ganga, India. *Marine Pollution Bulletin*, 188, 114650.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114650>

Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz Lagos, M., & González Jimenez, E. E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo: I2+D*, 16(2), 66-77.

Rivera, H., Chira, J., Campián, M., & Cornelio, F. (2007). Análisis correlacional y evolutivo de los metales pesados en sedimentos del río Santa entre Huaraz – Carhuaz, departamento de Ancash. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, 11(21), 19-24.

Rubiano, M. J., Vélez, M. A., & Rueda, X. (2020). *Minería artesanal y de pequeña escala: Estrategias para su formalización y diferenciación de la minería ilegal.* <https://cesed.uniandes.edu.co/wp-content/uploads/2020/07/MINERIA-DE-ORO-ARTESANAL-Y-DE-PEQUE%C3%91A-ESCALA..pdf>

Saleh, Y. S. (2021a). Evaluation of sediment contamination in the Red Sea coastal area combining multiple pollution indices and multivariate statistical techniques. *International Journal of Sediment Research*, 36(2), Article 2.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2020.07.011>

Saleh, Y. S. (2021b). Evaluation of sediment contamination in the Red Sea coastal area combining multiple pollution indices and multivariate statistical techniques. *International Journal of Sediment Research*, 36(2), 243-254.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2020.07.011>

Santos Villar, D. (2017). *Caracterización Hidrológica de la Región Madre de Dios*.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)-  
Dirección de Hidrología. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-42.pdf>

Scully, M. (2020). La justicia medioambiental y la minería aurífera: Las implicaciones de la deforestación y la contaminación de metales pesados en Madre de Dios, Perú. *Independent Study Project (ISP) Collection*. [https://digitalcollections.sit.edu/isp\\_collection/3334](https://digitalcollections.sit.edu/isp_collection/3334)

SENAMHI. (2024). *Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>

SENAMHI - Madre de Dios. (s. f.). Recuperado 17 de septiembre de 2023, de <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=madre-de-dios&p=pronostico-detalle>

Siddique, M. A. M., Rahman, M., Arifur Rahman, S. Md., Hassan, Md. R., Fardous, Z., Zaman Chowdhury, M. A., & Hossain, M. B. (2021). Assessment of heavy metal contamination in the surficial sediments from the lower Meghna River estuary, Noakhali coast, Bangladesh. *International Journal of Sediment Research*, 36(3), 384-391. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2020.10.010>

Sutherland, R. A. (2000). Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environmental Geology*, 39(6), 611-627. <https://doi.org/10.1007/s002540050473>

Tavakoly Sany, S. B., Hashim, R., Rezayi, M., Salleh, A., & Safari, O. (2014). A review of strategies to monitor water and sediment quality for a sustainability

assessment of marine environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(2), 813-833. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-2217-5>

Taylor, S. R., & McLennan, S. M. (1995). The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews of Geophysics*, 33(2), 241-265. <https://doi.org/10.1029/95RG00262>

Tomlinson, D. L., Wilson, J. G., Harris, C. R., & Jeffrey, D. W. (1980). Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 33(1), 566-575. <https://doi.org/10.1007/BF02414780>

Turekian, K. K., & Wedepohl, K. H. (1961). Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. *GSA Bulletin*, 72(2), 175-192. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1961\)72\[175:DOTEIS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1961)72[175:DOTEIS]2.0.CO;2)

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (1995). *Determination of Background Concentrations of Inorganics in Soils and Sediments at Hazardous Waste Sites*. <https://www.epa.gov/remedytech/determination-background-concentrations-inorganics-soils-and-sediments-hazardous-waste>

Usman, Q. A., Muhammad, S., Ali, W., Yousaf, S., & Jadoon, I. A. K. (2020). Spatial distribution and provenance of heavy metal contamination in the sediments of the Indus River and its tributaries, North Pakistan: Evaluation of pollution and potential risks. *Environmental Technology & Innovation*, 101184. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101184>

Velásquez Zapata, G. Y. (2020). Problemas medioambientales de la minería aurífera ilegal en Madre de Dios (Perú). *Observatorio Medioambiental*, 23, 229-241. <https://doi.org/10.5209/obmd.73177>

Yakovlev, E., Puchkov, A., Malkov, A., & Bedrina, D. (2022). Assessment of heavy metals distribution and environmental risk parameters in bottom sediments of the Pechora River estuary (Arctic Ocean Basin). *Marine Pollution Bulletin*, 182, 113960. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113960>

Zhuang, Q., Li, G., & Liu, Z. (2018). Distribution, source and pollution level of heavy metals in river sediments from South China. *CATENA*, 170, 386-396. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.06.037>

*Zonificación Ecológica y Económica del departamento de Madre de Dios* (p. 209). (2008). Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana y el Gobierno Regional de Madre de Dios. <http://terra.iiap.gob.pe/macrozee-mdd.html>

## **Anexos**

Anexo 1: Matriz de operacionalización de variables y matriz de consistencia .....	1
Anexo 2: Guía de análisis documental .....	4
Anexo 3: Ensayos de laboratorio o extractos de informe de monitoreo con resultados de concentraciones de metales y metaloide.....	10
Anexo 4: Resultados del nivel fondo y nivel de referencia (software PRO UCL 5.2) .....	33

## Anexo 1: Matriz de Operacionalización de variables y matriz de consistencia

### Matriz de operacionalización de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición	Unidades de Medición
Calidad de sedimentos por metales (Cd, Cu, Cr, Hg, Pb y Zn) y metaloide (As) con índices de calidad	Metales y metaloide	Arsénico	Razón	- mg/Kg
		Cadmio		- mg/Kg
		Cobre		- mg/Kg
		Cromo		- mg/Kg
		Mercurio		- mg/Kg
		Plomo		- mg/Kg
		Zinc		- mg/Kg
	Índices de calidad individuales	Índice de geoacumulación (Igeo)	Ordinal	- No contaminado - No contaminado a moderadamente contaminado - Moderadamente contaminado - Moderadamente a fuertemente contaminado - Fuertemente contaminado - Fuertemente a extremadamente contaminado - Extremadamente contaminado - Deficiencia mínima de enriquecimiento mineral
		Factor de Enriquecimiento (EF)		- Enriquecimiento moderado - Enriquecimiento significativo - Muy alto enriquecimiento - Enriquecimiento extremadamente alto
		Factor de contaminación (CF)		- Bajo - Moderada - Considerable - Muy alto
		Factor de riesgo ecológico (Er)		- Bajo riesgo ecológico - Riesgo ecológico moderado - Riesgo ecológico considerable - Riesgo ecológico Alto - Riesgo ecológico muy alto
	Índices de calidad integrados	Índice de carga de contaminación (PLI)	Ordinal	- Contaminado - No contaminado
		Grado de contaminación (Cdeg)		- Bajo grado de contaminación - Moderado grado de contaminación - Considerable grado de contaminación - Muy alto grado de contaminación
		Índice de contaminación de Nemerow (PI)		- No contaminando - Ligeramente Contaminado - Moderadamente contaminado - Altamente contaminado

				<ul style="list-style-type: none"> <li>- Severamente contaminado</li> <li>- Contaminación muy baja</li> <li>- Contaminación baja</li> <li>- Contaminación moderada</li> <li>- Contaminación alta</li> <li>- Contaminación muy alta</li> <li>- Contaminación extremadamente alta</li> <li>- Contaminación ultra alta</li> <li>- Bajo riesgo ecológico</li> <li>- Riesgo ecológico moderado</li> <li>- Riesgo ecológico considerable</li> <li>- Riesgo ecológico muy alto</li> </ul>
		<p>Factor de contaminación modificado (mCdeg)</p> <p>Índice de riesgo ecológico potencial (PERI)</p>		

## Matriz de consistencia

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	METODOLOGÍA
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general		
¿Cuál es el estado de la calidad de sedimentos con presencia de metales y metaloide en un tramo de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios aplicando índices de calidad ambiental durante el 2013 - 2020?	Evaluar la calidad de sedimentos con presencia de metales y metaloide en un tramo de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios aplicando índices de calidad ambiental durante el 2013 – 2020.	El estado de la calidad de sedimentos con presencia de metales y metaloide en un tramo de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios se encontrará en condición de contaminado en alguno de los índices de calidad ambiental, durante el 2013 – 2020.		
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas		<p><b>Tipo de investigación:</b> Aplicada.</p> <p><b>Nivel:</b> Descriptivo.</p> <p><b>Enfoque:</b> Cuantitativo.</p> <p><b>Diseño de la investigación:</b> No experimental.</p> <p><b>Población:</b> 42 informes de monitoreo ambiental de la cuenca Madre de Dios (2013-2021)</p> <p><b>Muestra:</b> 11 informes de monitoreo de sedimentos de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios (2013-2020)</p>
¿Cuáles son las concentraciones de metales y metaloide en sedimentos en el tramo analizado de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios durante el 2013 – 2020?	Identificar las concentraciones de metales y metaloide en sedimentos en un tramo de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios durante el 2013 – 2020.	Las concentraciones de metales y metaloide en el tramo de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, mostrarán diferencias significativas entre el 2013 – 2020.	Calidad de sedimentos por metales (Cd, Cu, Cr, Hg, Pb y Zn) y metaloide (As) con índices de calidad	
¿Cuáles son los niveles de fondo para metales y metaloide en sedimentos en el tramo analizado de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios?	Estimar los niveles de fondo para metales y metaloide en sedimentos en un tramo de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios.	Los niveles de fondo estimados no tendrán diferencia significativa con respecto a las concentraciones de metales y metaloide de la zona utilizada para la estimación de nivel de fondo.		
¿Cuáles son las concentraciones de metales y metaloide en sedimentos en el tramo analizado de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, durante el 2013 – 2020, que superan a los niveles de fondo?	Analizar las concentraciones de metales y metaloide en sedimentos en el tramo analizado de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, durante el 2013 – 2020, que superan a los niveles de fondo.	Las concentraciones de metales y metaloide en sedimentos en el tramo analizado de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, serán mayores a los niveles de fondo estimados		
¿Cuáles son las concentraciones altas de metales y metaloide en sedimentos en el tramo analizado de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios durante el 2013 – 2020, que superan a los estándares internacionales sobre la calidad de los sedimentos (ISQG, PEL, TEC y PEC)?	Analizar las concentraciones altas de metales y metaloide en sedimentos en el tramo analizado de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios durante el 2013 – 2020, que superan a los estándares internacionales sobre la calidad de los sedimentos (ISQG, PEL, TEC y PEC).	Las concentraciones de metales y metaloide en sedimentos en el tramo analizado de la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, serán mayores a las directrices internacionales sobre calidad de sedimentos (ISQG, PEL, TEC y PEC)		

## Anexo 2: Guía de análisis documental

### Guía de análisis documental para concentraciones en el área de estudio

Para identificar las concentraciones de metales y metaloide utilizadas en la investigación, se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

CRITERIOS				
<b>1. Informes monitoreo de la cuenca de Madre de Dios realizados por la ANA</b>	<b>2. Informes de monitoreo de sedimentos en la cuenca de Madre de Dios realizados por la ANA</b>	<b>3. Informes de Monitoreo que registren puntos de monitoreo ubicados en la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios (área de estudio impactada por la minería aluvial)</b>	<b>4. Puntos de monitoreo ubicados en la Intercuenca Medio Alto Madre de Dios (área de estudio impactada por la minería aluvial)</b>	<b>5. Informes de ensayo de laboratorio con las concentraciones de As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Zn y Al.</b>
1. Informe técnico N° 021-2013-ANA-DGRH/RATQ 2. Informe técnico N°056-2014-ANA-DGCRH-VIG 3. informe técnico N°031-2014-ANA-DGCRH-GOCRH 4. Informe técnico N°078-2015-ANA-DGCRH-GOCRH 5. Informe técnico N°325-2016-ANA-AAA- XIII MDD/SDGCRH 6. Informe técnico N°062-2017-ANA-AAA- XIII MDD/SDGCRH 7. Informe técnico N°015-2018-JRMP 8. Informe técnico N°022-2018-ANA-AAA.MDD-AT 9. Informe técnico N°017-2018-JRMP 10. Informe técnico N°021-2018-JRMP 11. Informe técnico N°022-2018-ANA-AAA.MDD-AT	1. Informe técnico N° 021-2013-ANA-DGRH/RATQ 2. Informe técnico N°056-2014-ANA-DGCRH-VIG 2. Informe técnico N°056-2014-ANA-DGCRH-VIG 3. informe técnico N°031-2014-ANA-DGCRH-GOCRH 4. Informe técnico N°078-2015-ANA-DGCRH-GOCRH 4. Informe técnico N°078-2015-ANA-DGCRH-GOCRH 5. Informe técnico N°325-2016-ANA-AAA- XIII MDD/SDGCRH 5. Informe técnico N°325-2016-ANA-AAA- XIII MDD/SDGCRH 6. Informe técnico N°062-2017-ANA-AAA- XIII MDD/SDGCRH 6. Informe técnico N°062-2017-ANA-AAA- XIII MDD/SDGCRH 7. Informe técnico N°015-2018-JRMP 7. Informe técnico N°015-2018-JRMP 8. Informe técnico N°025-2018-JRMP 9. Informe técnico N°060-2019-ANA-AAA.MDD-AT/HLH	1. Informe técnico N° 021-2013-ANA-DGRH/RATQ 2. Informe técnico N°056-2014-ANA-DGCRH-VIG 3. informe técnico N°031-2014-ANA-DGCRH-GOCRH 4. Informe técnico N°078-2015-ANA-DGCRH-GOCRH 5. Informe técnico N°325-2016-ANA-AAA- XIII MDD/SDGCRH 6. Informe técnico N°062-2017-ANA-AAA- XIII MDD/SDGCRH 7. Informe técnico N°015-2018-JRMP 8. Informe técnico N°025-2018-JRMP 9. Informe técnico N°060-2019-ANA-AAA.MDD-AT/HLH	1. RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6 2. RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 RMadr-6 3. RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 RMadr-6 4. RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 RMadr-6 5. RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 RMadr-6 6. RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6 7. RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 RMadr-6 8. RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 RMadr-6 9. RMadr-4, RMadr-5, Llabe-1 RMadr-6 10. RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6 11. RMadr-4, RMadr-5, RMadr-6	1. Informe de ensayo N° 131846 2. Informe de ensayo N° 082065-2014 3. Informe de ensayo N° 084840-2014 4. Informe de ensayo N° 093153-2015 5. Informe de ensayo N° J-00243862 6. Informe de ensayo N° J-00218697 7. Informe de ensayo N° 57062-2017 8. Informe de ensayo N° 27618-2018P

12. Informe técnico N°024-2018-JRMP	8. Informe técnico N°021-2018-JRMP	10. Informe técnico N°074-2019-ANA-AAA.MDD-AT/HLH	9. Informe de ensayo N° 69719-2018
13. Informe técnico N°025-2018-JRMP	9. Informe técnico N°024-2018-JRMP	11. Informe técnico N°071-2020-ANA-AAA.MDD-AT/HLH	10. Informe de ensayo N° 76069-2019
14. Informe técnico N°019-2019-ANA-AAA.MDD-AT	10. Informe técnico N°025-2018-JRMP		11. Informe de ensayo N° 54497-2019
15. Informe técnico N°027-2019-ANA-AAA.MDD-AT	11. Informe técnico N°019-2019-ANA-AAA.MDD-AT		
16. Informe técnico N°029-2019-ANA-AAA.MDD-AT	12. Informe técnico N°027-2019-ANA-AAA.MDD-AT		
17. Informe técnico N°041-2019-ANA-AAA.MDD-AT/HLH	13. Informe técnico N°029-2019-ANA-AAA.MDD-AT		
18. Informe técnico N°060-2019-ANA-AAA.MDD-AT/HLH	14. Informe técnico N°060-2019-ANA-AAA.MDD-AT/HLH		
19. Informe técnico N°074-2019-ANA-AAA.MDD-AT/HLH	15. Informe técnico N°074-2019-ANA-AAA.MDD-AT/HLH		
20. Informe técnico N°075-2019-ANA-AAA.MDD-AT/HLH	16. Informe técnico N°075-2019-ANA-AAA.MDD-AT/HLH		
21. Informe técnico N°076-2019-ANA-AAA.MDD-AT/HLH	17. Informe técnico N°001-2020-ANA-AAA.MDD-AT/HLH		
22. Informe técnico N°001-2020-ANA-AAA.MDD-AT/HLH			
23. Informe técnico N°026-2020-ANA-AAA.MDD-AT/HLH			
24. Informe técnico N°027-2020-ANA-AAA.MDD-AT/HLH			
25. Informe técnico N°029-2020-ANA-AAA.MDD-AT/HLH			
26. Informe técnico N°030-2020-ANA-AAA.MDD-AT/HLH			
27. Informe técnico N°050-2020-ANA-AAA.MDD-AT/HLT			

28. Informe técnico N°068-2020-ANA-AAA.MDD-AT/HLH				
29. Informe técnico N°069-2020-ANA-AAA.MDD-AT/HLH				
30. Informe técnico N°070-2020-ANA-AAA.MDD-AT/HLH				
31. Informe técnico N°071-2020-ANA-AAA.MDD-AT/HLH				
32. Informe técnico N°076-2021-ANA-AAA.MDD/HLH				
33. Informe técnico N°077-2021-ANA-AAA.MDD/HLH				
34. Informe técnico N°078-2021-ANA-AAA.MDD/HLH				
35. Informe técnico N°081-2021-ANA-AAA.MDD/HLH				
36. Informe técnico N°082-2021-ANA-AAA.MDD/HLH				
37. Informe técnico N°083-2021-ANA-AAA.MDD/HLH				
38. Informe técnico N°084-2021-ANA-AAA.MDD/HLH				
39. Informe técnico N°085-2021-ANA-AAA.MDD/HLH				
40. Informe técnico N°086-2021-ANA-AAA.MDD/HLH				
41. Informe técnico N°117-2021-ANA-AAA.MDD/HLH				
42. Informe técnico N°195-2021-ANA-AAA.MDD/HLH				

## Guía de análisis documental para concentraciones del nivel de fondo

Para identificar las concentraciones de metales y metaloide utilizadas en la investigación, se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

CRITERIOS				
<b>1. Informes monitoreo de la cuenca de Madre de Dios realizados por la ANA</b>	<b>2. Informes de monitoreo de sedimentos en la cuenca de Madre de Dios realizados por la ANA</b>	<b>3. Informes de Monitoreo que registren puntos de monitoreo ubicados aguas arriba y fuera del área impactada por la minería aluvial</b>	<b>4. Puntos de monitoreo ubicados aguas arriba y fuera del área impactada por la minería aluvial, que cumpan criterios de la USEPA</b>	<b>5. Informes de ensayo de laboratorio con las concentraciones de As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Zn y Al.</b>
1. Informe técnico N° 021-2013-ANA-DGRH/RATQ 2. Informe técnico N°056-2014-ANA-DGCRH-VIG 3. informe técnico N°031-2014-ANA-DGCRH-GOCRH 4. Informe técnico N°078-2015-ANA-DGCRH-GOCRH 5. Informe técnico N°325-2016-ANA-AAA- XIII MDD/SDGCRH 6. Informe técnico N°062-2017-ANA-AAA- XIII MDD/SDGCRH 7. Informe técnico N°015-2018-JRMP 8. Informe técnico N°022-2018-ANA-AAA.MDD-AT 9. Informe técnico N°017-2018-JRMP 10. Informe técnico N°021-2018-JRMP 11. Informe técnico N°022-2018-ANA-AAA.MDD-AT 12. Informe técnico N°024-2018-JRMP 13. Informe técnico N°025-2018-JRMP 14. Informe técnico N°019-2019-ANA-AAA.MDD-AT	1. Informe técnico N° 021-2013-ANA-DGRH/RATQ 2. Informe técnico N°056-2014-ANA-DGCRH-VIG 3. informe técnico N°031-2014-ANA-DGCRH-GOCRH 4. Informe técnico N°078-2015-ANA-DGCRH-GOCRH 5. Informe técnico N°325-2016-ANA-AAA- XIII MDD/SDGCRH 6. Informe técnico N°062-2017-ANA-AAA- XIII MDD/SDGCRH 7. Informe técnico N°015-2018-JRMP 8. Informe técnico N°021-2018-JRMP	1. Informe técnico N°062-2017-ANA-AAA- XIII MDD/SDGCRH 7. Informe técnico N°015-2018-JRMP	1. RMadr15, RMadr12, RManu3, RPana1, QPach1, RManu 1, RPinq 1, RAzul 1, RChil 1, RChil 2	1. Informe de ensayo N° J-00223191

15. Informe técnico N°027-2019-ANA-AAA.MDD-AT	9. Informe técnico N°024-2018-JRMP		
16. Informe técnico N°029-2019-ANA-AAA.MDD-AT	10. Informe técnico N°025-2018-JRMP		
17. Informe técnico N°041-2019-ANA-AAA.MDD-AT/HLH	11. Informe técnico N°019-2019-ANA-AAA.MDD-AT		
18. Informe técnico N°060-2019-ANA-AAA.MDD-AT/HLH	12. Informe técnico N°027-2019-ANA-AAA.MDD-AT		
19. Informe técnico N°074-2019-ANA-AAA.MDD-AT/HLH	13. Informe técnico N°029-2019-ANA-AAA.MDD-AT		
20. Informe técnico N°075-2019-ANA-AAA.MDD-AT/HLH	14. Informe técnico N°060-2019-ANA-AAA.MDD-AT/HLH		
21. Informe técnico N°076-2019-ANA-AAA.MDD-AT/HLH	15. Informe técnico N°074-2019-ANA-AAA.MDD-AT/HLH		
22. Informe técnico N°001-2020-ANA-AAA.MDD-AT/HLH	16. Informe técnico N°075-2019-ANA-AAA.MDD-AT/HLH		
23. Informe técnico N°026-2020-ANA-AAA.MDD-AT/HLH	17. Informe técnico N°001-2020-ANA-AAA.MDD-AT/HLH		
24. Informe técnico N°027-2020-ANA-AAA.MDD-AT/HLH			
25. Informe técnico N°029-2020-ANA-AAA.MDD-AT/HLH			
26. Informe técnico N°030-2020-ANA-AAA.MDD-AT/HLH			
27. Informe técnico N°050-2020-ANA-AAA.MDD-AT/HLT			
28. Informe técnico N°068-2020-ANA-AAA.MDD-AT/HLH			
29. Informe técnico N°069-2020-ANA-AAA.MDD-AT/HLH			
30. Informe técnico N°070-2020-ANA-AAA.MDD-AT/HLH			
31. Informe técnico N°071-2020-ANA-AAA.MDD-AT/HLH			
32. Informe técnico N°076-2021-ANA-AAA.MDD/HLH			
33. Informe técnico N°077-2021-ANA-AAA.MDD/HLH			
34. Informe técnico N°078-2021-ANA-AAA.MDD/HLH			
35. Informe técnico N°081-2021-ANA-AAA.MDD/HLH			
36. Informe técnico N°082-2021-ANA-AAA.MDD/HLH			
37. Informe técnico N°083-2021-ANA-AAA.MDD/HLH			

38. Informe técnico N°084-2021-ANA-AAA.MDD/HLH				
39. Informe técnico N°085-2021-ANA-AAA.MDD/HLH				
40. Informe técnico N°086-2021-ANA-AAA.MDD/HLH				
41. Informe técnico N°117-2021-ANA-AAA.MDD/HLH				
42. Informe técnico N°195-2021-ANA-AAA.MDD/HLH				

**Anexo 3: Ensayos de laboratorio o extractos de informe de monitoreo con resultados de concentraciones de metales y metaloide**

Informe de ensayo N° 131846, reportado en el informe técnico N° 021-2013-ANA-DGRH/RATQ.



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INDECOPI - SNA  
CON REGISTRO N° LE-056**



Registro N° LE-056

**INFORME DE ENSAYO N° 131846  
CON VALOR OFICIAL**

Código de Laboratorio		131846-01	131846-02	131846-03	131846-04	131846-05	131846-06
Código de Cliente		Rhuep_2	RCaye_1	QJaya_1	QGuac_1	RMadr_6	RMadr_5
Fecha de Muestreo		24/10/2013	24/10/2013	25/10/2013	25/10/2013	26/10/2013	26/10/2013
Hora de Muestreo (h)		05:19	11:36	06:47	07:52	05:55	07:47
Tipo de Producto		Sedimento	Sedimento	Sedimento	Sedimento	Sedimento	Sedimento
Tipo Ensayo		Unidad	L.D.M.	Resultados			
<b>Metales (ICP)</b>							
Ag	Plata	mg/Kg	0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Al	Aluminio	mg/Kg	0,1	565,3	5412	9634	1420
As	Arsénico	mg/Kg	0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8
B	Boro	mg/Kg	3	<3	<3	<3	<3
Ba	Bario	mg/Kg	0,03	4,09	27,28	40,76	7,95
Be	Berilio	mg/Kg	0,03	<0,03	<0,03	0,10	<0,03
Ca	Calcio	mg/Kg	1	97	520	504	94
Cd	Cadmio	mg/Kg	0,04	1,33	6,00	11,53	1,78
Ce	Cerio	mg/Kg	0,04	4,80	8,00	11,21	4,70
Co	Cobalto	mg/Kg	0,1	1,6	6,8	8,7	1,9
Cr	Cromo	mg/Kg	0,03	2,14	9,17	13,49	2,69
Cu	Cobre	mg/Kg	0,04	2,13	15,21	12,66	2,32
Fe	Hierro	mg/Kg	0,05	2435	9793	17951	3261
K	Potasio	mg/Kg	0,3	65,1	804,0	738,5	108,7
Li	Litio	mg/Kg	0,02	0,90	9,02	36,31	4,25
Mg	Magnesio	mg/Kg	0,3	59,6	1237	3594	452,4
Mn	Manganoso	mg/Kg	0,04	52,79	168,0	347,9	38,90
Mo	Molibdeno	mg/Kg	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Na	Sodio	mg/Kg	1	26	46	48	33
Ni	Niquel	mg/Kg	0,05	1,23	5,18	14,39	2,05
P	Fósforo	mg/Kg	1	41	209	189	34
Pb	Plomo	mg/Kg	0,13	1,55	4,54	7,25	2,67
Sb	Antimonio	mg/Kg	0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6
Se	Selenio	mg/Kg	1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Si	Silicio	mg/Kg	0,5	194,7	602,3	715,3	406,9
Sn	Estaño	mg/Kg	0,2	0,5	<0,2	<0,2	<0,2
Sr	Estroncio	mg/Kg	0,03	1,23	4,86	7,12	1,28
Ti	Titano	mg/Kg	0,03	20,2	217,3	209,3	17,07
Tl	Talio	mg/Kg	2	<2	<2	<2	<2
V	Vanadio	mg/Kg	0,03	3,23	19,73	17,35	4,17
Zn	Zinc	mg/Kg	0,2	12,7	29,5	64,1	15,5
<b>Metales (FIAS-VF)</b>							
* Hg	Mercurio	mg/Kg	0,005	0,079	0,120	<0,005	1,062
							0,067
							0,273

Legenda: L.D.M. = Límite de detección del método, <2>=Resolución cuantificable, --- = No Analizado,

\*<\*= Menor que el L.D.M. indicado, >\*= Mayor al valor indicado.

\* : Los métodos indicados no han sido acreditados por el SNA-INDECOPI.

**INFORME DE ENSAYO N° 131846  
CON VALOR OFICIAL**

<b>Código de Laboratorio</b>	131846-07	131846-08	
<b>Código de Cliente</b>	RIman_1	RMadr_4	
<b>Fecha de Muestreo</b>	26/10/2013	26/10/2013	
<b>Hora de Muestreo (h)</b>	08.38	08.56	
<b>Tipo de Producto</b>	Sedimento	Sedimento	
<b>Tipo Ensayo</b>	Unidad	L.D.M.	<b>Resultados</b>
<b>Metales (ICP)</b>			
Ag Plata	mg/Kg	0,02	<0,02
Al Aluminio	mg/Kg	0,1	10682
As Arsénico	mg/Kg	0,8	<0,8
B Boro	mg/Kg	3	<3
Ba Bario	mg/Kg	0,03	56,80
Be Berilio	mg/Kg	0,03	<0,03
Ca Calcio	mg/Kg	1	1179
Cd Cadmio	mg/Kg	0,04	14,98
Ce Cerio	mg/Kg	0,04	10,44
Co Cobalto	mg/Kg	0,1	9,1
Cr Cromo	mg/Kg	0,03	15,02
Cu Cobre	mg/Kg	0,04	30,11
Fe Hierro	mg/Kg	0,05	21508
K Potasio	mg/Kg	0,3	1109
Li Litio	mg/Kg	0,02	32,36
Mg Magnesio	mg/Kg	0,3	3765
Mn Manganeso	mg/Kg	0,04	325,7
Mo Molibdeno	mg/Kg	0,05	<0,05
Na Sodio	mg/Kg	1	67
Ni Niquel	mg/Kg	0,05	13,06
P Fósforo	mg/Kg	1	413
Pb Plomo	mg/Kg	0,13	9,49
Sb Antimonio	mg/Kg	0,6	10,5
Se Selenio	mg/Kg	1,0	<1,0
Si Silicio	mg/Kg	0,5	885,1
Sn Estaño	mg/Kg	0,2	<0,2
Sr Estroncio	mg/Kg	0,03	9,51
Ti Titanio	mg/Kg	0,03	237,4
Tl Talio	mg/Kg	2	<2
V Vanadio	mg/Kg	0,03	25,14
Zn Zinc	mg/Kg	0,2	58,7
<b>Metales (FIAS-VF)</b>			
* Hg Mercurio	mg/Kg	0,005	0,081
			0,324

Leyenda: L.D.M. = Límite de detección del método, " $>$ "=Resolución cuantificable, "—" = No Analizado,

"<"= Menor que el L.D.M. indicado, ">" = Mayor al valor indicado.

\* : Los métodos indicados no han sido acreditados por el SNA-INDECOPI.

Informe de ensayo N° 082065-2014, reportado en el informe técnico N°056-2014-ANA-DGCRH-VIG.

**INFORME DE ENSAYO N° 082065-2014  
CON VALOR OFICIAL**

**II. RESULTADOS:**

Producto declarado	Sedimento	Sedimento	Sedimento	Sedimento
Matriz analizada	Sedimento	Sedimento	Sedimento	Sedimento
Fecha de muestreo	2014-05-16	2014-05-16	2014-05-17	2014-05-17
Hora de inicio de muestreo (h)	05:30	07:10	09:15	11:30
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código del cliente	RMadr1	RCOlo1	RInam1	RMadr4
Código del Laboratorio	1405908	1405909	1405921	1405922
Ensayo	Unidades	L.D.M.	Resultados	
<b>Metales</b>				
Plata (Ag)	mg/kg	0.05	<0.05	<0.05
Aluminio (Al)	mg/kg	1.0	6293.5	9023.3
Arsénico (As)	mg/kg	0.1	3.8	0.1
Boro (B)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3
Bario (Ba)	mg/kg	0.1	57.1	22.7
Berilio (Be)	mg/kg	0.02	0.36	0.12
Calcio (Ca)	mg/kg	2.4	2590.6	671.8
Cadmio (Cd)	mg/kg	0.04	1.58	0.52
Cerio (Ce)	mg/kg	0.2	21.3	9.3
Cobalto (Co)	mg/kg	0.03	9.57	3.65
Cromo (Cr)	mg/kg	0.04	12.36	5.63
Cobre (Cu)	mg/kg	0.04	18.01	6.63
Hierro (Fe)	mg/kg	0.1	17347	5362
Mercurio (Hg)	mg/kg	0.06	<0.06	<0.06
Potasio (K)	mg/kg	3.0	604.6	199.4
Litio (Li)	mg/kg	0.3	18.0	5.4
Magnesio (Mg)	mg/kg	2.3	3420.0	1278.5
Manganoso (Mn)	mg/kg	0.04	232.66	112.17
Molibdeno (Mo)	mg/kg	0.2	<0.2	<0.2
Sodio (Na)	mg/kg	2.4	28.2	25.5
Níquel (Ni)	mg/kg	0.04	15.98	5.91
Fósforo (P)	mg/kg	0.2	592.9	151.8
Pbomo (Pb)	mg/kg	0.04	7.87	2.40
Antimonio (Sb)	mg/kg	0.2	0.6	0.3
Selenio (Se)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3
Estanño (Sn)	mg/kg	0.1	0.3	<0.1
Estroncio (Sr)	mg/kg	0.1	13.5	4.1
Titanio (Ti)	mg/kg	0.02	112.24	65.42
Talio(Tl)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3
Vanadio (V)	mg/kg	0.02	16.91	8.73
Zinc (Zn)	mg/kg	0.3	43.2	13.4
*Uranio (U)	mg/kg	0.7	<0.7	<0.7

L.D.M.: Límite de detección del método

Resultados en base seca.

\* El método indicado no ha sido acreditado por INDECOP-SNA.

**INFORME DE ENSAYO N° 082065-2014  
CON VALOR OFICIAL**

**II. RESULTADOS:**

Producto declarado	Sedimento	Sedimento	Sedimento	Sedimento
Matriz analizada	Sedimento	Sedimento	Sedimento	Sedimento
Fecha de muestreo	2014-05-17	2014-05-17	2014-05-17	2014-05-17
Hora de inicio de muestreo (h)	06:36	08:15	11:30	08:45
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código del cliente	LLab1	RMadr5	RMadr6	QJaya1
Código del Laboratorio	1405923	1405924	1405925	1405929
Ensayo	Unidades	L.D.M.	Resultados	
<b>Metales</b>				
Plata (Ag)	mg/kg	0.05	<0.05	<0.05
Aluminio (Al)	mg/kg	1.0	7743.3	7408.4
Arsénico (As)	mg/kg	0.1	3.5	10.5
Boro (B)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3
Bario (Ba)	mg/kg	0.1	62.0	58.8
Berilio (Be)	mg/kg	0.02	0.45	0.30
Calcio (Ca)	mg/kg	2.4	995.3	1065.7
Cadmio (Cd)	mg/kg	0.04	1.80	1.99
Cerio (Ce)	mg/kg	0.2	18.8	14.6
Cobalto (Co)	mg/kg	0.03	10.94	11.09
Cromo (Cr)	mg/kg	0.04	16.33	15.20
Cobre (Cu)	mg/kg	0.04	27.72	26.84
Hierro (Fe)	mg/kg	0.1	18538.2	21178.3
Mercurio (Hg)	mg/kg	0.06	<0.06	<0.06
Potasio (K)	mg/kg	3.0	911.2	1076.2
Litio (Li)	mg/kg	0.3	27.4	27.7
Magnesio (Mg)	mg/kg	2.3	3971.3	3814.7
Manganoso (Mn)	mg/kg	0.04	204.30	340.98
Molibdeno (Mo)	mg/kg	0.2	0.314	0.6
Sodio (Na)	mg/kg	2.4	27.5	22.8
Niquel (Ni)	mg/kg	0.04	18.02	16.64
Fósforo (P)	mg/kg	0.2	538.8	545.6
Plomo (Pb)	mg/kg	0.04	9.62	7.74
Antimonio (Sb)	mg/kg	0.2	0.8	0.9
Selenio(Se)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3
Estaño (Sn)	mg/kg	0.1	0.3	0.3
Estroncio (Sr)	mg/kg	0.1	7.1	6.9
Titanio (Ti)	mg/kg	0.02	116.43	192.37
Talio(Tl)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3
Vanadio (V)	mg/kg	0.02	20.70	19.64
Zinc (Zn)	mg/kg	0.3	46.8	43.3
*Uranio (U)	mg/kg	0.7	<0.7	<0.7

L.D.M.: Límite de detección del método

Resultados en base seca.

\* El método indicado no ha sido acreditado por INDECOP-SNA.

Informe de ensayo N° 084840-2014, reportado en el informe técnico N°031-2014-ANA-DGCRH-GOCRH.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INDECOPI - SNA  
CON REGISTRO N° LE-047



**INFORME DE ENSAYO N° 084840-2014  
CON VALOR OFICIAL**

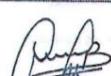
**II. RESULTADOS:**

Producto declarado	Sedimento	Sedimento	Sedimento	Sedimento
Unidades	L.D.M.	Resultados		
Matriz analizada	Sedimento	Sedimento	Sedimento	Sedimento
Fecha de muestreo	2014-11-08	2014-11-08	2014-11-08	2014-11-08
Hora de inicio de muestreo (h)	05:38	06:43	06:55	08:35
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código del cliente	RMadr6	LLab1	QJaya1	QJaya2
Código del Laboratorio	1411596	1411597	1411598	1411599
Ensayo				
Metales				
Plata (Ag)	mg/kg	0.05	<0.05	<0.05
Aluminio (Al)	mg/kg	1.0	12090.0	12583.9
Arsénico (As)	mg/kg	0.1	4.7	5.5
Boro (B)	mg/kg	0.3	0.7	0.5
Bario (Ba)	mg/kg	0.1	72.3	68.8
Berilio (Be)	mg/kg	0.02	0.37	0.32
Calcio (Ca)	mg/kg	2.4	1900.9	1686.4
Cadmio (Cd)	mg/kg	0.04	4.13	4.09
Cerio (Ce)	mg/kg	0.2	38.7	35.1
Cobalto (Co)	mg/kg	0.03	12.89	11.23
Crómo (Cr)	mg/kg	0.04	19.94	19.66
Cobre (Cu)	mg/kg	0.04	32.40	34.49
Hierro (Fe)	mg/kg	0.1	30298.8	29471.1
Mercurio (Hg)	mg/kg	0.06	<0.06	<0.06
Potasio (K)	mg/kg	3.0	1136.8	1241.3
Litio (Li)	mg/kg	0.3	31.7	36.6
Magnesio (Mg)	mg/kg	2.3	4472.2	4447.1
Manganoso (Mn)	mg/kg	0.04	348.32	222.94
Molibdeno (Mo)	mg/kg	0.2	<0.2	0.4
Sodio (Na)	mg/kg	2.4	130.5	172.4
Níquel (Ni)	mg/kg	0.04	21.98	20.31
Pófоро (P)	mg/kg	0.2	602.1	613.8
Plomo (Pb)	mg/kg	0.04	11.31	11.08
Antimonio (Sb)	mg/kg	0.2	0.7	0.8
Selenio (Se)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3
Estafio (Sn)	mg/kg	0.1	0.3	0.5
Estroncio (Sr)	mg/kg	0.1	14.5	11.4
Titanio (Ti)	mg/kg	0.02	224.98	224.47
Talio (Tl)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3
Vanadio (V)	mg/kg	0.02	28.13	26.28
Zinc (Zn)	mg/kg	0.3	57.5	56.5
*Uranio (U)	mg/kg	0.7	<0.7	<0.7

L.D.M.: Límite de detección del método.

Resultados en base seca.

\* El método indicado no ha sido acreditado por INDECOPI-SNA.

  
Dr. Belberth Y. Fajardo León  
DIRECCIÓN TÉCNICA DE LABORATORIO  
C.O.P. N° 649

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Av. Naciones Unidas N° 1565 Chacra Ríos Norte - Lima 01 - Perú. Central Telefónica: 511-425-7227 / 425 6885 RPC: 094976442 Nextel: 98-1091133

Website: [www.sagperu.com](http://www.sagperu.com) E-mail: [sagperu@sagperu.com](mailto:sagperu@sagperu.com), [laboratorio@sagperu.com](mailto:laboratorio@sagperu.com)

Cod: FI02 / F.E: 04/2012

\* El método indicado no ha sido acreditado por INDECOPI-SNA

8th Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, (SMWWV)-APHA-AWWA-WEF, 22nd Edition 2012. - EPA: U.S. Environmental Protection Agency - ASTM: American Society for Testing and Materials - NTP: Norma Técnica Peruana

OBSERVACIONES: Esta prohibido la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S. A. C. Sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.

Página 4 de 7

Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de percebibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendarios de haber ingresado la muestra al laboratorio

NOTA: Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INDECOPI - SNA  
CON REGISTRO N° LE-047



Registro N° LE - 047

**INFORME DE ENSAYO N° 084840-2014  
CON VALOR OFICIAL**

**II. RESULTADOS:**

Producto declarado	Sedimento	Sedimento	Sedimento	Sedimento
Matriz analizada	Sedimento	Sedimento	Sedimento	Sedimento
Fecha de muestreo	2014-11-08	2014-11-08	2014-11-08	2014-11-09
Hora de inicio de muestreo (h)	09:04	08:09	09:38	08:25
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada
Código del cliente	RMadr4	RMadr5	Rinam1	RDosd1
Código del Laboratorio	1411600	1411601	1411602	1411619
Ensayo	Unidades	L.D.M.	Resultados	
<b>Metales</b>				
Plata (Ag)	mg/kg	0.05	<0.05	<0.05
Aluminio (Al)	mg/kg	1.0	9154.1	11849.8
Arsénico (As)	mg/kg	0.1	5.2	13.1
Boro (B)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3
Bario (Ba)	mg/kg	0.1	63.5	52.2
Berilio (Be)	mg/kg	0.02	0.26	0.19
Calcio (Ca)	mg/kg	2.4	2149.2	1439.0
Cadmio (Cd)	mg/kg	0.04	3.16	3.96
Cerio (Ce)	mg/kg	0.2	31.9	29.5
Cobalto (Co)	mg/kg	0.03	10.89	12.12
Cromo (Cr)	mg/kg	0.04	16.01	17.69
Cobre (Cu)	mg/kg	0.04	26.53	32.61
Hierro (Fe)	mg/kg	0.1	22461.5	29424.1
Mercúrio (Hg)	mg/kg	0.06	<0.06	<0.06
Potasio (K)	mg/kg	3.0	867.0	1215.3
Utrio (Li)	mg/kg	0.3	21.8	38.3
Magnesio (Mg)	mg/kg	2.3	3296.7	4035.2
Manganoso (Mn)	mg/kg	0.04	327.87	296.34
Molibdeno (Mo)	mg/kg	0.2	<0.2	0.6
Sodio (Na)	mg/kg	2.4	119.2	95.5
Níquel (Ni)	mg/kg	0.04	17.04	20.30
Fósforo (P)	mg/kg	0.2	441.2	555.8
Pbomo (Pb)	mg/kg	0.04	9.01	9.08
Antimonio (Sb)	mg/kg	0.2	0.5	0.8
Selenio (Se)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3
Estatio (Sn)	mg/kg	0.1	0.4	0.4
Estroncio (Sr)	mg/kg	0.1	16.6	9.8
Titánio (Ti)	mg/kg	0.02	221.29	258.16
Talio (Tl)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3
Vanadio (V)	mg/kg	0.02	24.04	23.73
Zinc (Zn)	mg/kg	0.3	45.1	53.4
*Uranio (U)	mg/kg	0.7	<0.7	<0.7

L.D.M.: Límite de detección del método.

Resultados en base seca.

\* El método indicado no ha sido acreditado por INDECOPI-SNA.

  
Quim. Belberth Y. Fajardo León  
DIRECCIÓN TÉCNICA DE LABORATORIO  
C.O.P. N° 649  
SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Cod: FI 002 / Versión: 04 / FE: 04/2012

\* El método indicado no ha sido acreditado por INDECOPI-SNA  
BM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, (SM62WW)-APHA-AWWA-WEF, 22nd Edition 2012. - EPA: U.S. Environmental Protection Agency - ASTM: American Society for Testing and Materials - NTP: Norma Técnica Peruana

OBSERVACIONES: Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A. C. Solo es válido para las muestras referidas en el presente informe.

Página 5 de 7

Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de permeabilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendarios de haber ingresado la muestra al laboratorio

NOTA: Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Av. Naciones Unidas N° 1565 Chacra Ríos Norte - Lima 01 - Perú Central Telefónica: 511-425-7227 / 425 6885 RPC: 994976442 Nextel: 98-103-1133

Website: www.sagperu.com E-mail: sagperu@sagperu.com, laboratorio@sagperu.com

Informe de ensayo N° 093153-2015, reportado en el informe técnico N°078-2015-ANA-DGCRH-GOCRH.



SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.  
**SAG**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INDECOP - SNA  
CON REGISTRO N° LE-047



**INFORME DE ENSAYO N° 093153-2015  
CON VALOR OFICIAL**

**II. RESULTADOS:**

Producto declarado	Sedimento	Sedimento	Sedimento	Sedimento
Matriz analizada	Sedimento	Sedimento	Sedimento	Sedimento
Fecha de muestreo	2015-07-17	2015-07-17	2015-07-17	2015-07-18
Hora de inicio de muestreo (h)	05:47	07:30	08:10	06:10
Condiciones de la muestra	Preservada y refrigerada	Preservada y refrigerada	Preservada y refrigerada	Preservada y refrigerada
Código del cliente	RCol1	RMadr2	QSeta1	RMadr6
Código del Laboratorio	15071336	15071337	15071338	15071411
Ensayo	L.D.M.	unidades	Resultados	
<b>Metales</b>				
Plata (Ag)	mg/kg	0.05	<0.05	<0.05
Aluminio (Al)	mg/kg	1.1	8285.8	2358.3
Arsénico (As)	mg/kg	0.1	2.0	<0.1
Boro (B)	mg/kg	0.2	<0.2	<0.2
Bario (Ba)	mg/kg	0.2	70.8	49.5
Berilio (Be)	mg/kg	0.02	0.73	0.49
Calcio (Ca)	mg/kg	2.4	1570.0	1245.1
Cadmio (Cd)	mg/kg	0.04	4.2	3.2
Cerio (Ce)	mg/kg	0.2	34.8	28.4
Cobalto (Co)	mg/kg	0.03	10.61	7.58
Cromo (Cr)	mg/kg	0.05	16.71	12.58
Cobre (Cu)	mg/kg	0.04	26.30	18.76
Hierro (Fe)	mg/kg	0.2	20676.9	15949.6
Mercurio (Hg)	mg/kg	0.10	<0.1	<0.1
Potasio (K)	mg/kg	3.9	552.9	436.2
Litio (Li)	mg/kg	0.3	13.6	10.9
Magnesio (Mg)	mg/kg	2.3	3284.3	2507.5
Manganese (Mn)	mg/kg	0.04	386.96	229.89
Molibdeno (Mo)	mg/kg	0.2	<0.2	<0.2
Sodio (Na)	mg/kg	2.3	59.1	57.2
Níquel (Ni)	mg/kg	0.05	14.45	10.86
Fósforo (P)	mg/kg	0.3	358.7	277.7
Plomo (Pb)	mg/kg	0.04	8.61	6.59
Antimonio (Sb)	mg/kg	0.1	0.3	0.4
Selenio (Se)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3
Estatio (Sn)	mg/kg	0.1	1.3	1.0
Estroncio (Sr)	mg/kg	0.1	12.5	10.7
Titanio (Ti)	mg/kg	0.03	172.89	155.76
Talio (Tl)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3
Vanadio (V)	mg/kg	0.04	32.92	23.58
Zinc (Zn)	mg/kg	0.2	43.1	32.6

L.D.M.: Límite de detección del método.

Reporte de resultado en base seca.

  
Quim. Belbeth Y. Fajardo León  
Director Técnico  
C.Q.P. N° 648  
Servicios Analíticos Generales S.A.C.

Juli 11/2012 / Versión: 04 / F.E.: 04/2012

\* El método indicado no ha sido acreditado por INDECOP/SNA  
SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, (SMEWW)-APHA-AWWA-WEF, 22nd Edition 2012. - EPA: U.S. Environmental Protection Agency - ASTM: American Society for Testing and Materials - NTP: Norma Técnica Peruana  
OBSERVACIONES: Está prohibido la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C.. Solo es válido para las muestras referidas en el presente informe. Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de persistencia del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendarios de haber ingresado la muestra al laboratorio

Página 3 de 7

NOTA: Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Av. Naciones Unidas N° 1565 Chacra Ríos Norte - Lima 01 - Perú Central Telefónica: 511-425-7227 / 425 6885 RPC: 994976442 Nextel: 98-109\*1133  
Website: [www.saqperu.com](http://www.saqperu.com) E-mail: [saqperu@saqperu.com](mailto:saqperu@saqperu.com) [laboratorio@saqperu.com](mailto:laboratorio@saqperu.com)



SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

**SAG**

EXPERTS WORKING FOR YOU

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN  
INDECOPI - SNA  
CON REGISTRO N° LE-047



Registro N° LE - 047

**INFORME DE ENSAYO N° 093153-2015  
CON VALOR OFICIAL**

**II. RESULTADOS:**

Producto declarado	Sedimento	Sedimento	Sedimento	Sedimento
<b>Matriz analizada</b>	Sedimento	Sedimento	Sedimento	Sedimento
<b>Fecha de muestreo</b>	2015-07-18	2015-07-18	2015-07-18	2015-07-18
<b>Hora de inicio de muestreo (h)</b>	06:55	08:25	09:22	09:50
<b>Condiciones de la muestra</b>	Preservada y refrigerada	Preservada y refrigerada	Preservada y refrigerada	Preservada y refrigerada
<b>Código del cliente</b>	Llabe1	RMadr5	RInam1	RMadr4
<b>Código del Laboratorio</b>	15071412	15071413	15071414	15071415
<b>Ensayo</b>	L.D.M.	unidades	Resultados	
<b>Metales</b>				
Plata (Ag)	mg/kg	0.05	<0.05	<0.05
Aluminio (Al)	mg/kg	1.1	12318.9	12045.6
Arsénico (As)	mg/kg	0.1	9.0	7.2
Boro (B)	mg/kg	0.2	<0.2	<0.2
Bario (Ba)	mg/kg	0.2	80.6	78.4
Berilio (Be)	mg/kg	0.02	0.76	0.81
Calcio (Ca)	mg/kg	2.4	1057.3	2112.6
Cadmio (Cd)	mg/kg	0.04	5.4	5.5
Cerio (Ce)	mg/kg	0.2	37.2	40.2
Cobalto (Co)	mg/kg	0.03	11.63	12.94
Cromo (Cr)	mg/kg	0.05	17.27	19.11
Cobre (Cu)	mg/kg	0.04	25.41	32.51
Hierro (Fe)	mg/kg	0.2	26721.4	26744.6
Mercurio (Hg)	mg/kg	0.10	<0.1	<0.1
Potasio (K)	mg/kg	3.9	893.8	927.5
Litio (Li)	mg/kg	0.3	32.6	26.8
Magnesio (Mg)	mg/kg	2.3	4308.8	4677.6
Manganoso (Mn)	mg/kg	0.04	321.98	413.37
Molibdeno (Mo)	mg/kg	0.2	<0.2	<0.2
Sodio (Na)	mg/kg	2.3	73.3	62.3
Níquel (Ni)	mg/kg	0.05	18.09	20.10
Fósforo (P)	mg/kg	0.3	609.8	568.4
Pb (Pb)	mg/kg	0.04	10.97	12.06
Antimonio (Sb)	mg/kg	0.1	0.6	0.6
Selenio (Se)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3
Estanño (Sn)	mg/kg	0.1	1.2	1.2
Estroncio (Sr)	mg/kg	0.1	9.7	16.8
Titanio (Ti)	mg/kg	0.03	348.62	174.76
Talio (Tl)	mg/kg	0.3	<0.3	<0.3
Vanadio (V)	mg/kg	0.04	26.82	32.40
Zinc (Zn)	mg/kg	0.2	53.4	53.6

L.D.M.: Límite de detección del método.

Reporte de resultado en base seca.

  
**Quím. Belbeth Y. Fajardo León**  
 Director Técnico  
 C.Q.P. N° 648

Servicios Analíticos Generales S.A.C.

Doc: FI 02 / Versión: 04 / F.E.: 04/2012

\* El método indicado no ha sido acreditado por INDECOPI/SNA  
 SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (SMEWW)-APHA-AWWA-WEF. 22nd Edition 2012. - EPA: U.S. Environmental Protection Agency - ASTM: American Society for Testing and Materials - NTP: Norma Técnica Peruana  
 OBSERVACIONES: Está prohibido la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A. C. Solo es válido para las muestras referidas en el presente informe.  
 Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendarios de haber ingresado la muestra al laboratorio.

Página 4 de 7

NOTA: Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Av. Naciones Unidas N° 1565 Chacra Ríos Norte - Lima 01 - Perú Central Telefónica: 511-425-7227 / 425 6885 RPC: 994976442 Nextel: 98-109\*1133  
 Website: [www.sagperu.com](http://www.sagperu.com) E-mail: [sagperu@sagperu.com](mailto:sagperu@sagperu.com), [laboratorio@sagperu.com](mailto:laboratorio@sagperu.com)

# Informe técnico N°325-2016-ANA-AAA- XIII MDD/SDGCRH

## Cuadro N°14c: Resultados de sedimentos en la cuenca del río Madre de Dios

UNIDADES HIDROGRAFICAS			INTERCUENCA ALTO MADRE DE DIOS						INTERCUENCA MEDIO ALTO MADRE DE DIOS		
Punto de monitoreo			RSetal	RPuqu1	QSetal1	RColo1	RMadr2	RMadr4	RMadr5	Llabe 1	RMadr6
Fecha de muestreo			16/06/2016	06/07/2016	17/06/2016	17/06/2016	17/06/2016	19/06/2016	19/06/2016	20/06/2016	19/06/2016
Hora de inicio de muestreo (h)	Valor Guía ISQG	Valor Guía PEL	6:00	17:40	06:56	7:00	7:55	7:40	8:10	10:00	9:18
Código de laboratorio			5-0001270420	5-0001278675	5-0001271397	5-0001271396	5-0001271398	5-0001271401	5-0001271402	5-0001271404	5-0001271399
Ensayo			J-00220708	J-00219870	J-00218697	J-00218697	J-00218697	J-00218697	J-00218697	J-00218697	J-00218697
	Unidades	LDM									
Plata (Ag)	mg/Kg	0,05		ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)
Aluminio (Al)	mg/Kg	1,1		5185	2480	1463	2487	2277	2982	4567	5222
Arsenico (As)	mg/Kg	0,1	5,9	17	ND(<3)	ND(<3)	ND(<3)	ND(<3)	ND(<3)	ND(<3)	11
Boro (B)	mg/Kg	0,2		5	3	2	2	2	3	4	4
Bario (Ba)	mg/Kg	0,2		35,4	31,1	24,0	48,9	48,6	55,5	55,4	60,8
Berilio (Be)	mg/Kg	0,02		ND(<0,4)	ND(<0,4)	ND(<0,4)	ND(<0,4)	ND(<0,4)	0,4	0,5	0,6
Bismuto (Validado)	mg/Kg	3		ND(<3)	ND(<3)	ND(<3)	ND(<3)	ND(<3)	ND(<3)	ND(<3)	ND(<3)
Calcio (Ca)	mg/Kg	2,4		567	565	197	1156	1472	2078	1377	1644
Cadmio (Cd)	mg/Kg	0,04	0,6	3,5	1,6	ND(<0,2)	1,3	1,5	1,5	1,6	2,3
Cobalto (Co)	mg/Kg	0,03		5,9	4,6	3,2	4,6	4,6	6,1	10,1	8,6
Cromo (Cr)	mg/Kg	0,05	37,3	90	9,72	6,7	5,0	8,2	6,4	7,3	10,2
Cobre (Cu)	mg/Kg	0,04	35,7	197	8,3	6,6	2,6	10,8	7,7	11,9	21,7
Hierro (Fe)	mg/Kg	0,2		18100	17250	15150	17630	17180	18580	30040	26480
Mercurio (Hg)	mg/Kg	0,1	0,17	0,48	0,012	0,038	0,033	0,026	0,012	0,013	0,017
Potasio (K)	mg/Kg	3,9		391	249	68	186	180	292	467	261
Litio (Li)	mg/Kg	0,3		12,6	2,8	1,1	2,9	3,5	5,7	12,4	5,8
Magnesio (Mg)	mg/Kg	2,3		1743	568	186	991	931	1382	1793	1249
Manganoso (Mn)	mg/Kg	0,04		317	238	96,2	247	284	244	302	416
Molibdeno (Mo)	mg/Kg	0,2		ND(<1,4)	ND(<1,4)	ND(<1,4)	ND(<1,4)	ND(<1,4)	ND(<1,4)	ND(<1,4)	ND(<1,4)
Sodio (Na)	mg/Kg	2,3		ND(<40)	55	72	ND(<40)	ND(<40)	ND(<40)	ND(<40)	ND(<40)
Níquel (Ni)	mg/Kg	0,05		10	3	ND(<2)	5	6	8	13	10
Fosforo (P)	mg/Kg	0,3		194	188	63	297	289	387	527	452
Plomo (Pb)	mg/Kg	0,04	35	91,3	5	5	ND(<3)	4	5	6	8
Antimonio (Sb)	mg/Kg	0,1		ND(<4,0)	ND(<4,0)	ND(<4,0)	ND(<4,0)	ND(<4,0)	ND(<4,0)	ND(<4,0)	ND(<4,0)
Selenio (Se)	mg/Kg	0,3		ND(<4)	ND(<4)	ND(<4)	ND(<4)	ND(<4)	ND(<4)	ND(<4)	ND(<4)
Estano (Sn)	mg/Kg	0,1		ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)	ND(<1)
Estroncio (Sr)	mg/Kg	0,1		5,6	4,9	2,8	8,1	11,1	15,6	9,1	13,0
Titanio (Ti)	mg/Kg	0,03		54	43	27	72	54	72	110	87
Talio (Tl)	mg/Kg	0,3		ND(<4)	ND(<4)	ND(<4)	ND(<4)	ND(<4)	ND(<4)	ND(<4)	ND(<4)
Vanadio (V)	mg/Kg	0,04		17	17	18	19	15	15	18	19
Zinc (Zn)	mg/Kg	0,2	123	315	37	19	9	17	18	25	38
Silicio	mg/Kg				N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.
Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH)	mg/Kg			ND(<8)	ND(<8)	N.R.	ND(<8)	N.R.	N.R.	N.R.	ND(<8)
Rango (C10 - C20)											

N.R.: Parámetro no evaluado

ND: No detectable al nivel de cuantificación indicado en el paréntesis ( )

LMD: Límite de Detección del Método

Leyenda: Mayor al ISQG  
Mayor al PEL



Fuente: Elaboración propia de la SDGCRH-AAA XIII MDD - ANA-2016

# Informe técnico N°062-2017-ANA-AAA- XIII MDD/SDGCRH

INFORME TÉCNICO N° 062-2017-ANA-AAA XIII MDD/SDGCRH

A. N. A.	Folio N°
A. A. A. XIII	19

Cuadro N°11b: Resultados de sedimentos en la Unidad Hidrográfica Madre de Dios

UNIDADES HIDROGRÁFICAS		Punto de muestreo	Valor Geológico	Valor Guía PEL	INTERCUERVA ALTO MADRE DE DIOS																
Nombre	Ubicación				RMadr15	RMadr12	RMam3	RPana1	QPach1	RMam1	RPen1	RAmull	RCh1	RCh2	RKare1	RPim1	RCupos	RHus1	RKare2	RHus2	RSeta1
Fecha de muestreo					02/12/2016	03/11/2016	31/10/2016	01/11/2016	01/11/2016	01/11/2016	02/11/2016	29/10/2016	29/10/2016	29/10/2016	24/10/2016	24/10/2016	24/10/2016	24/10/2016	24/10/2016	18/11/2016	
Hora de inicio de muestreo (h)					11:30	5:50	18:00	15:00	17:40	10:10	11:50	7:40	11:20	11:20	7:10	9:15	12:45	15:10	7:30	9:45	
Código de laboratorio					S-000133874	S-000133874	S-000133874	S-000133874	S-000133874	S-000133874	S-000133874	S-000133874	S-000133874	S-000133874	S-000133874	S-000133874	S-000133874	S-000133874	S-000133874	S-000133874	
Empleo					J-003244376	J-003244376	J-003244376	J-003244376	J-003244376	J-003244376	J-003244376	J-003244376	J-003244376	J-003244376	J-003244376	J-003244376	J-003244376	J-003244376	J-003244376	J-003244376	
Unidades	LDM																				
Plata (Ag)	mg/kg	0,05			N.D.(<1)	N.D.(<1)	N.D.(<1)	N.D.(<1)	N.D.(<1)	N.D.(<1)	N.D.(<1)	N.D.(<1)	N.D.(<1)	N.D.(<1)	N.D.(<1)	N.D.(<1)	N.D.(<1)	N.D.(<1)	N.D.(<1)		
Aluminio (Al)	mg/kg	1,1			6055	9741	1021	4256	8223	5340	6357	10240	8239	12350	8472	8952	9086	5617	8952	2362	19516
Aranisop (As)	mg/kg	0,1	5,9	17	5	5	5	4	15	5	7	7	4	6	N.D.(<3)	N.D.(<3)	N.D.(<3)	N.D.(<3)	N.D.(<3)	N.D.(<3)	
Boro (B)	mg/kg	0,2			8	7	7	4	8	6	6	8	6	8	4	5	5	6	4	11	
Bario (Ba)	mg/kg	0,2			93,7	91,4	147,6	65,2	181,2	69,8	114,9	112,6	71,6	115,2	116,9	78	112,4	98,93	129,3	9,94	19,5
Berilio (Be)	mg/kg	0,02			0,6	N.D.(<0,4)															
Bismuto (Bv)	mg/kg	3			N.D.(<1)	NR	10														
Calcio (Ca)	mg/kg	2,4			4099	3503	5095	8444	6819	5058	22690	1999	1718	2587	3,664	2,670	2,700	2,248	3,045	47	80
Cadmio (Cd)	mg/kg	0,04	0,6	3,5	1	2,1	1,8	0,9	0,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	0,5	1,8
Cobalto (Co)	mg/kg	0,03			10,6	12,4	12,1	6,2	15,2	7,1	8,7	15,9	11,9	16,2	16,2	9,8	10,6	8,6	10,6	1,9	6,7
Cromo (Cr)	mg/kg	0,05	37,3	90	12,6	16,6	14,2	7,5	15,8	11,9	26,3	18,3	22,5	22,5	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	13,2	36,5
Cobre (Cu)	mg/kg	0,04			36,7	197	26,4	14,8	14,8	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	
Fluor (F)	mg/kg	0,2			22120	21860	21820	8593	20540	11805	15000	25370	22670	29970	31220	20040	19940	19770	18230	14994	38724
Mercurio (Hg)	mg/kg	0,1	0,17	0,48	0,03	0,016	0,023	0,015	0,024	0,011	0,018	0,013	0,022	0,028	0,024	0,024	0,027	0,025	0,17	0,095	0,164
Potasio (K)	mg/kg	3,9			687	1087	887	456	1038	619	922	724	605	916	577	431	584	348	569	144	316
Urtio (Li)	mg/kg	0,3			11,4	25,8	14,2	6,2	13,8	9,5	9,94	23,1	22,5	28	4,8	7,8	7,8	5,5	5,1	1,1	7,9
Magnesio (Mg)	mg/kg	2,3			3043	4404	3231	1511	3660	2211	2953	4020	3236	4409	3114	3341	3289	1695	3034	144	516
Manganese (Mn)	mg/kg	0,04			374	379	878	334	1350	273	556	136	449	745	398	377	420	642	551	54,1	134
Molibdeno (Mo)	mg/kg	0,2			N.D.(<1,4)	N.D.(<1,4)	N.D.(<1,4)	N.D.(<1,4)	N.D.(<1,4)	N.D.(<1,4)	N.D.(<1,4)	N.D.(<1,4)	N.D.(<1,4)	N.D.(<1,4)	N.D.(<1,4)	N.D.(<1,4)	N.D.(<1,4)	N.D.(<1,4)	N.D.(<1,4)		
Sodio (Na)	mg/kg	2,3			70	72	75	66	123	56	67	74	60	76	65	46	68	N.D.(<40)	50	65	79
Níquel (Ni)	mg/kg	0,05			15	20	16	9	19	10	13	22	19	25	12	14	15	8	13	2	9
Plomo (Pb)	mg/kg	0,3			582	568	495	271	207	311	448	870	688	1007	587	567	606	418	583	221	338
Plomo (Pb)	mg/kg	0,04	35	91,3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	
Antimonio (Sb)	mg/kg	0,1			N.D.(<4,0)	N.D.(<4,0)	N.D.(<4,0)	N.D.(<4,0)	N.D.(<4,0)	N.D.(<4,0)	N.D.(<4,0)	N.D.(<4,0)	N.D.(<4,0)	N.D.(<4,0)	N.D.(<4,0)	N.D.(<4,0)	N.D.(<4,0)	N.D.(<4,0)	N.D.(<4,0)		
Selección (Se)	mg/kg	0,3			N.D.(<4)	N.D.(<4)	N.D.(<4)	N.D.(<4)	N.D.(<4)	N.D.(<4)	N.D.(<4)	N.D.(<4)	N.D.(<4)	N.D.(<4)	N.D.(<4)	N.D.(<4)	N.D.(<4)	N.D.(<4)	N.D.(<4)		
Estibio (Sb)	mg/kg	0,1			30	N.D.(<1)	1	N.D.(<1)	3	1	N.D.(<1)	2									
Estroncio (Sr)	mg/kg	0,1			18,5	17	53	18,9	43,8	20,6	67,9	24,2	18,7	28,6	21,2	18,3	21,2	15,9	15,6	0,6	0,9
Thorio (Th)	mg/kg	0,03			89	91	63	29	54	29	26	170	200	190	76	70	83	47	98	53	39
Talio (Tl)	mg/kg	0,3			N.D.(<4)	N.D.(<4)	N.D.(<4)	N.D.(<4)	N.D.(<4)	N.D.(<4)	N.D.(<4)	N.D.(<4)	N.D.(<4)	N.D.(<4)	N.D.(<4)	N.D.(<4)	N.D.(<4)	N.D.(<4)	N.D.(<4)		
Vanadio (V)	mg/kg	0,04			23	27	36	20	39	20	28	37	31	42	30	33	30	34	22	56	
Zinc (Zn)	mg/kg	0,2	323	315	51	66	58	28	62	39	44	60	52	69	32	39	41	30	34	11	43
Silicio	mg/kg				386	NR	NR	NR	NR	NR	181	158	260	306	242	356	239	380	NR	NR	
Hidrocarburos Residuales y Petróleo (TPH) Range (C10-C40)	mg/kg				24	39	N.D.(<8)	N.D.(<8)	N.D.(<8)	22	24	N.D.(<8)	N.D.(<8)	N.D.(<8)	N.D.(<8)	27	N.D.(<8)	N.D.(<8)	N.D.(<8)	N.D.(<8)	

N.D.: Parámetro no evaluado  
LMD: Límite de Detección del Método

Legenda:  
Mayor al ISOQ  
Mayor al PEL

Fuente: Elaboración propia de la SDGCRH-AAA XIII MDD - ANA-2017



A.N.A.	Folio N°
A.A.A. XIII	20

**Cuadro N°11c: Resultados de sedimentos en la Unidad Hidrográfica Madre de Dios**

UNIDADES HIDROGRAFICAS			INTERCUENCA ALTO MADRE DE DIOS				INTERCUENCA MEDIO ALTO MADRE DE DIOS	
Punto de monitoreo			RPuqu1	RColo1	RMadr2	RMadr4	RMadr5	RMadr6
Fecha de muestreo			24/10/2016	20/11/2016	20/11/2016	21/11/2016	21/11/2016	21/11/2016
Hora de inicio de muestreo (h)	Valo r Guía ISQG	Valo r Guía PEL	8:45	5:10	6:15	7:25	8:10	9:15
Código de laboratorio			S-0001308212	S-0001315135	S-0001315136	S-0001315143	S-0001315146	S-0001315148
Ensayo	Unidades	LDM	J-00231357	J-00242154	J-00242154	J-00243862	J-00243862	J-00243862
Plata (Ag)	mg/Kg	0,05		N.D.(<1)	N.D.(<1)	N.D.(<1)	N.D.(<1)	N.D.(<1)
Aluminio (Al)	mg/Kg	1,1		1537	5807	7355	8885	9332
Arsenico (As)	mg/Kg	0,1	5,9	17	N.D.(<3)	3	4	10
Boro (B)	mg/Kg	0,2		9	6	6	7	7
Bario (Ba)	mg/Kg	0,2		13,2	47,6	68,4	74,4	53,8
Berilio (Be)	mg/Kg	0,02		N.D.(<0,4)	0,5	N.D.(<0,4)	0,5	0,4
Bismuto (Validado)	mg/Kg	3		N.D.(<3)	N.D.(<3)	3	N.D.(<3)	3
Calcio (Ca)	mg/Kg	2,4		276	532	1.290	1.504	596
Cadmio (Cd)	mg/Kg	0,04	0,6	3,5	0,4	0,9	0,9	1,1
Cobalto (Co)	mg/Kg	0,03			2,0	9,5	10,2	12,9
Cromo (Cr)	mg/Kg	0,05	37,3	90	3,4	16,8	16,7	20,5
Cobre (Cu)	mg/Kg	0,04	35,7	197	3,4	13,5	15,2	21,7
Hierro (Fe)	mg/Kg	0,2		6082	23568	23229	2745	25179
Mercurio (Hg)	mg/Kg	0,1	0,17	0,48	0,064	0,068	0,052	0,062
Potasio (K)	mg/Kg	3,9			115	393	658	677
Litio (Li)	mg/Kg	0,3			1,5	10,2	13,8	14,6
Magnesio (Mg)	mg/Kg	2,3			255	1373	2402	2745
Manganoso (Mn)	mg/Kg	0,04			99,8	302	306	380
Molibdeno (Mo)	mg/Kg	0,2			N.D.(<1,4)	N.D.(<1,4)	N.D.(<1,4)	N.D.(<1,4)
Sodio (Na)	mg/Kg	2,3			N.D.(<40)	90	97	103
Niquel (Ni)	mg/Kg	0,05			N.D.(<2)	10	14	17
Fosforo (P)	mg/Kg	0,3			102	365	443	596
Plomo (Pb)	mg/Kg	0,04	35	91,3	N.D.(<3)	8	9	11
Antimonio (Sb)	mg/Kg	0,1			N.D.(<4,0)	N.D.(<4,0)	N.D.(<4,0)	N.D.(<4,0)
Selenio (Se)	mg/Kg	0,3			N.D.(<4)	N.D.(<4)	N.D.(<4)	N.D.(<4)
Estaño (Sn)	mg/Kg	0,1			N.D.(<1)	N.D.(<1)	N.D.(<1)	N.D.(<1)
Estroncio (Sr)	mg/Kg	0,1			2,3	5,4	10,6	13,7
Titanio (Ti)	mg/Kg	0,03			25	130	110	150
Talio (Tl)	mg/Kg	0,3			N.D.(<4)	N.D.(<4)	N.D.(<4)	N.D.(<4)
Vanadio (V)	mg/Kg	0,04			8	30	25	33
Zinc (Zn)	mg/Kg	0,2	123	315	9	36	45	52
Silicio	mg/kg				178	NR	NR	NR
Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH)	mg/Kg				40	N.D.(<8)	N.R.	N.R.
Rango (C10 - C40)							N.D.(<8)	

N.R.: Parámetro no evaluado

ND: No detectable al nivel de cuantificación indicado en el paréntesis ( )

LMD: Límite de Detección del Método

Leyenda:

Mayor al ISQG



Mayor al PEL

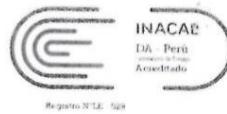
Fuente: Elaboración propia de la SDGCRH-AAA XIII MDD - ANA-2017



Informe de ensayo N° 57062-2017, reportado en el informe técnico N°015-2018-JRMP



LABORATORIO DE ENSAYO Y ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE-029



Registro N° LE-029

FDT 001 - 02

**INFORME DE ENSAYO: 57062/2017**

**RESULTADOS ANALITICOS**

Muestras del ítem: 1

Nº ALS LS	Ref. Mét.	Unidad	LD	LQ	517958/2017-1.0	517959/2017-1.0	517960/2017-1.0
Fecha de Muestreo			03/12/2017		03/12/2017	04/12/2017	
Hora de Muestreo			06:20:00		07:20:00	09:10:00	
Tipo de Muestra					Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos
Identificación					RColo1	RMadr2	LLabe1
Parámetro							
005 ANALISIS POR CROMATOGRAFIA							
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C10-C40)	15860	mg/kg	1,9	19,0	39	---	---
007 ANALISIS DE METALES - Metales Totales por ICP-OES							
Plata (Ag)	10601	mg/kg	0,6	3,0	< 0,6	< 0,6	< 0,6
Aluminio (Al)	10601	mg/kg	2	10	12661	12123	6294
Arsenico (As)	10601	mg/kg	3,5	17,5	< 3,5	< 3,5	< 3,5
Bario (Ba)	10601	mg/kg	0,3	1,5	104,8	82,4	74,7
Berilio (Be)	10601	mg/kg	0,3	1,5	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Calcio (Ca)	10601	mg/kg	0,9	4,5	2406	2142	205,7
Cadmio (Cd)	10601	mg/kg	0,5	1,0	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Cobalto (Co)	10601	mg/kg	0,8	4,0	13,7	12,0	15,1
Cromo (Cr)	10601	mg/kg	0,9	4,5	23,7	19,9	11,0
Cobre (Cu)	10601	mg/kg	0,8	4,0	29,9	39,2	6,0
Hierro (Fe)	10601	mg/kg	1,2	6,0	25977	25541	11132
Potasio (K)	10601	mg/kg	2,5	12,5	1152	1227	750,3
Magnesio (Mg)	10601	mg/kg	2	10	4214	3666	1473
Manganoso (Mn)	10601	mg/kg	1	5	502	404	168
Molibdeno (Mo)	10601	mg/kg	0,6	3,0	< 0,6	< 0,6	< 0,6
Sodio (Na)	10601	mg/kg	9	45	33	< 9	< 9
Niquel (Ni)	10601	mg/kg	1	5	21	< 1	21
Plomo (Pb)	10601	mg/kg	2	10	< 2	< 2	< 2
Antimonio (Sb)	10601	mg/kg	2,5	12,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Selenio (Se)	10601	mg/kg	1,6	8,0	< 1,6	< 1,6	< 1,6
Talio (Tl)	10601	mg/kg	3	15	< 3	< 3	< 3
Vanadio (V)	10601	mg/kg	0,5	2,5	45,7	34,6	15,7
Zinc (Zn)	10601	mg/kg	0,5	2,5	54,2	57,3	54,7
007 ANALISIS DE METALES - Mercurio Total							
Mercurio Total (Hg)	13312	mg/kg	0,01	0,10	0,04	0,04	0,02

Nº ALS LS	Ref. Mét.	Unidad	LD	LQ	517961/2017-1.0	517962/2017-1.0	517963/2017-1.0
Fecha de Muestreo			04/12/2017		04/12/2017	04/12/2017	
Hora de Muestreo			08:20:00		10:20:00	07:35:00	
Tipo de Muestra					Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos
Identificación					RMadr5	RMadr6	RMadr4
Parámetro							
005 ANALISIS POR CROMATOGRAFIA							
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C10-C40)	15860	mg/kg	1,9	19,0	---	25	25
007 ANALISIS DE METALES - Metales Totales por ICP-OES							
Plata (Ag) ✓	10601	mg/kg	0,6	3,0	< 0,6	< 0,6	< 0,6
Aluminio (Al) ✓	10601	mg/kg	2	10	13748	15513	14965
Arsenico (As) ✓	10601	mg/kg	3,5	17,5	< 3,5	20,5	< 3,5
Bario (Ba) ✓	10601	mg/kg	0,3	1,5	97,9	89,1	117,7
Berilio (Be) ✓	10601	mg/kg	0,3	1,5	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Calcio (Ca) ✓	10601	mg/kg	0,9	4,5	2867	2081	3447
Cadmio (Cd) ✓	10601	mg/kg	0,5	1,0	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Cobalto (Co) ✓	10601	mg/kg	0,8	4,0	14,0	16,2	16,0
Cromo (Cr) ✓	10601	mg/kg	0,9	4,5	22,7	23,6	24,7
Cobre (Cu) ✓	10601	mg/kg	0,8	4,0	26,1	32,0	27,9
Hierro (Fe) ✓	10601	mg/kg	1,2	6,0	29272	32904	33089
Potasio (K) ✓	10601	mg/kg	2,5	12,5	1431	1470	1690
Magnesio (Mg) ✓	10601	mg/kg	2	10	4094	4385	4423
Manganoso (Mn) ✓	10601	mg/kg	1	5	507	598	620
Molibdeno (Mo) ✓	10601	mg/kg	0,6	3,0	< 0,6	< 0,6	< 0,6

Pág. 2 de 6

Revisión:09  
Fecha de Revisión: 23/05/2016

Av. República de Argentina N° 1859, Cercado de Lima - Perú Telf: (511) 488-9500  
Av. Dolores 167, José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa - Perú Telf: (054) 424-570  
www.alsglobal.com



## INFORME DE ENSAYO: 57062/2017

FDT 001 - 02

Nº ALS LS	Ref. Mét.	Unidad	LD	LQ	517961/2017-1.0 04/12/2017 08:20:00 Sedimentos RMadr5	517962/2017-1.0 04/12/2017 10:20:00 Sedimentos RMadr6	517963/2017-1.0 04/12/2017 07:35:00 Sedimentos RMadr4
Sodio (Na)	10601	mg/kg	9	45	< 9	23	29
Níquel (Ni)	10601	mg/kg	1	5	22	22	23
Plomo (Pb)	10601	mg/kg	2	10	11	< 2	12
Antimonio (Sb)	10601	mg/kg	2,5	12,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Selenio (Se)	10601	mg/kg	1,6	8,0	< 1,6	< 1,6	< 1,6
Talio (Tl)	10601	mg/kg	3	15	< 3	< 3	< 3
Vanadio (V)	10601	mg/kg	0,5	2,5	37,9	36,2	41,3
Zinc (Zn)	10601	mg/kg	0,5	2,5	66,1	69,1	73,7
007 ANÁLISIS DE METALES – Mercurio Total							
Mercurio Total (Hg)	13312	mg/kg	0,01	0,10	0,05	0,10	0,05

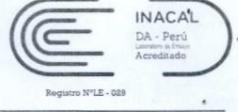
Nº ALS LS	Ref. Mét.	Unidad	LD	LQ	517964/2017-1.0 02/12/2017 05:40:00 Sedimentos RSeta1	517965/2017-1.0 02/12/2017 07:10:00 Sedimentos RHuep2	517966/2017-1.0 03/12/2017 07:00:00 Sedimentos RSata1
005 ANÁLISIS POR CROMATOGRAFÍA							
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C10-C40)	15860	mg/kg	1,9	19,0	< 1,9	32	—
007 ANÁLISIS DE METALES - Metales Totales por ICP-OES							
Plata (Ag)	10601	mg/kg	0,6	3,0	< 0,6	< 0,6	< 0,6
Aluminio (Al)	10601	mg/kg	2	10	17586	9083	16524
Arsenico (As)	10601	mg/kg	3,5	17,5	< 3,5	< 3,5	< 3,5
Bario (Ba)	10601	mg/kg	0,3	1,5	46,6	23,8	80,9
Berilio (Be)	10601	mg/kg	0,3	1,5	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Calcio (Ca)	10601	mg/kg	0,9	4,5	24,4	< 0,9	431,7
Cadmio (Cd)	10601	mg/kg	0,5	1,0	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Cobalto (Co)	10601	mg/kg	0,8	4,0	< 0,8	< 0,8	15,8
Cromo (Cr)	10601	mg/kg	0,9	4,5	24,9	20,9	21,2
Cobre (Cu)	10601	mg/kg	0,8	4,0	23,8	12,2	19,3
Hierro (Fe)	10601	mg/kg	1,2	6,0	39570	25741	28835
Potasio (K)	10601	mg/kg	2,5	12,5	1229	562,1	751,2
Magnesio (Mg)	10601	mg/kg	2	10	899	83	1245
Manganoso (Mn)	10601	mg/kg	1	5	227	66	472
Molibdeno (Mo)	10601	mg/kg	0,6	3,0	< 0,6	< 0,6	< 0,6
Sodio (Na)	10601	mg/kg	9	45	< 9	< 9	< 9
Níquel (Ni)	10601	mg/kg	1	5	< 1	< 1	< 1
Plomo (Pb)	10601	mg/kg	2	10	12	< 2	< 2
Antimonio (Sb)	10601	mg/kg	2,5	12,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Selenio (Se)	10601	mg/kg	1,6	8,0	< 1,6	< 1,6	< 1,6
Talio (Tl)	10601	mg/kg	3	15	< 3	< 3	< 3
Vanadio (V)	10601	mg/kg	0,5	2,5	70,5	35,3	68,1
Zinc (Zn)	10601	mg/kg	0,5	2,5	45,3	12,2	38,7
007 ANÁLISIS DE METALES – Mercurio Total							
Mercurio Total (Hg)	13312	mg/kg	0,01	0,10	0,08	0,10	0,08

Nº ALS LS	Ref. Mét.	Unidad	LD	LQ	517967/2017-1.0 05/12/2017 05:55:00 Sedimentos RTamb1	517968/2017-1.0 03/12/2017 05:40:00 Sedimentos RMadr1	
005 ANÁLISIS POR CROMATOGRAFÍA							
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C10-C40)	15860	mg/kg	1,9	19,0	30	52	
007 ANÁLISIS DE METALES - Metales Totales por ICP-OES							
Plata (Ag)	10601	mg/kg	0,6	3,0	< 0,6	< 0,6	
Aluminio (Al)	10601	mg/kg	2	10	12252	16871	

Informe de ensayo N° 27618-2018, reportado en el informe técnico N°025-2018-JRMP.



LABORATORIO DE ENSAYO Y ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE-029



INACAL  
DA - Perú  
Laboratorio de Ensayo  
Acreditado

FDT 001 - 02

**INFORME DE ENSAYO: 27618/2018**

**RESULTADOS ANALITICOS**

Muestras del ítem: 1

Parámetro	Ref. Mét.	Unidad	LD	LQ	250155/2018-1.0	250156/2018-1.0	250157/2018-1.0
<b>005 ENSAYOS POR CROMATOGRAFIA</b>							
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C10-C40)	15860	mg/kg	1,9	19,0	23	< 1,9	< 1,9
<b>007 ENSAYOS DE METALES - Metales Totales por ICP-OES</b>							
Plata (Ag)	10601	mg/kg	0,6	3,0	< 0,6	< 0,6	< 0,6
Aluminio (Al)	10601	mg/kg	2	10	6897	4245	13518
Arsenico (As)	10601	mg/kg	3,5	17,5	< 3,5	< 3,5	< 3,5
Bario (Ba)	10601	mg/kg	0,3	1,5	48,2	22,2	89,4
Berilio (Be)	10601	mg/kg	0,3	1,5	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Calcio (Ca)	10601	mg/kg	0,9	4,5	500,3	25,5	3258
Cadmio (Cd)	10601	mg/kg	0,5	1,0	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Cobalto (Co)	10601	mg/kg	0,8	4,0	< 0,8	< 0,8	11,4
Cromo (Cr)	10601	mg/kg	0,9	4,5	13,4	9,5	21,1
Cobre (Cu)	10601	mg/kg	0,8	4,0	11,0	5,9	22,7
Hierro (Fe)	10601	mg/kg	1,2	6,0	18845	10674	29772
Potasio (K)	10601	mg/kg	2,5	12,5	738,6	397,2	1485
Magnesio (Mg)	10601	mg/kg	2	10	1495	92	4631
Manganoso (Mn)	10601	mg/kg	1	5	274	43	443
Molibdeno (Mo)	10601	mg/kg	0,6	3,0	< 0,6	< 0,6	< 0,6
Sodio (Na)	10601	mg/kg	9	45	48	22	91
Niquel (Ni)	10601	mg/kg	1	5	7	< 1	20
Plomo (Pb)	10601	mg/kg	2	10	< 2	< 2	14
Antimonio (Sb)	10601	mg/kg	2,5	12,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Selenio (Se)	10601	mg/kg	1,6	8,0	< 1,6	< 1,6	< 1,6
Talio (Tl)	10601	mg/kg	3	15	< 3	< 3	< 3
Vanadio (V)	10601	mg/kg	0,5	2,5	21,5	16,7	32,3
Zinc (Zn)	10601	mg/kg	0,5	2,5	34,0	7,7	71,2
<b>007 ENSAYOS DE METALES - Mercurio Total</b>							
Mercurio Total (Hg)	13312	mg/kg	0,01	0,10	0,03	0,03	0,02

Parámetro	Ref. Mét.	Unidad	LD	LQ	250158/2018-1.0	250159/2018-1.0	250160/2018-1.0
<b>005 ENSAYOS POR CROMATOGRAFIA</b>							
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C10-C40)	15860	mg/kg	1,9	19,0	24	34	31,5
<b>007 ENSAYOS DE METALES - Metales Totales por ICP-OES</b>							
Plata (Ag)	10601	mg/kg	0,6	3,0	< 0,6	< 0,6	< 0,6
Aluminio (Al)	10601	mg/kg	2	10	12819	19145	15554
Arsenico (As)	10601	mg/kg	3,5	17,5	< 3,5	< 3,5	< 3,5
Bario (Ba)	10601	mg/kg	0,3	1,5	93,5	124,1	83,8
Berilio (Be)	10601	mg/kg	0,3	1,5	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Calcio (Ca)	10601	mg/kg	0,9	4,5	1847	3876	1973
Cadmio (Cd)	10601	mg/kg	0,5	1,0	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Cobalto (Co)	10601	mg/kg	0,8	4,0	10,5	14,9	12,2
Cromo (Cr)	10601	mg/kg	0,9	4,5	24,9	28,7	24,1
Cobre (Cu)	10601	mg/kg	0,8	4,0	32,4	32,3	26,7
Hierro (Fe)	10601	mg/kg	1,2	6,0	27424	37047	31158
Potasio (K)	10601	mg/kg	2,5	12,5	1124	2034	1581
Magnesio (Mg)	10601	mg/kg	2	10	4176	5505	4378
Manganoso (Mn)	10601	mg/kg	1	5	403	715	563
Molibdeno (Mo)	10601	mg/kg	0,6	3,0	< 0,6	< 0,6	< 0,6

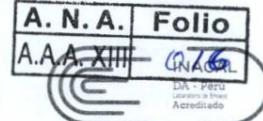
Pág. 2 de 7

Revisión:09  
Fecha de Revisión: 23/05/2018

Av. República de Argentina N° 1859, Cercado de Lima - Perú Telf: (511) 488-9500  
Av. Dolores 167, José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa - Perú Telf: (054) 424-570



LABORATORIO DE ENSAYO Y ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE-029



Registro N° LE - 029

FDT 001 - 02

## INFORME DE ENSAYO: 27618/2018

Nº ALS LS	Ref. Mét.	Unidad	LD	LQ	250162/2018-1.0	250163/2018-1.0	250164/2018-1.0
Fecha de Muestreo			23/05/2018		24/05/2018	25/05/2018	
Hora de Muestreo			08:20:00		07:20:00	10:00:00	
Tipo de Muestra			Sedimentos		Sedimentos	Sedimentos	
Identificación			RMadr2		QSat1	RMadr5	
Parámetro							
007 ENSAYOS DE METALES - Metales Totales por ICP-OES							
Plata (Ag)	10601	mg/kg	0,6	3,0	< 0,6	< 0,6	< 0,6
Aluminio (Al)	10601	mg/kg	2	10	12911	17562	21801
Arsenico (As)	10601	mg/kg	3,5	17,5	< 3,5	< 3,5	< 3,5
Bario (Ba)	10601	mg/kg	0,3	1,5	81,8	53,6	146,1
Berilio (Be)	10601	mg/kg	0,3	1,5	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Calcio (Ca)	10601	mg/kg	0,9	4,5	2167	324,7	4441
Cadmio (Cd)	10601	mg/kg	0,5	1,0	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Cobalto (Co)	10601	mg/kg	0,8	4,0	9,2	8,2	16,6
Cromo (Cr)	10601	mg/kg	0,9	4,5	21,1	22,7	33,3
Cobre (Cu)	10601	mg/kg	0,8	4,0	22,9	17,9	42,6
Hierro (Fe)	10601	mg/kg	1,2	6,0	26880	24164	40985
Potasio (K)	10601	mg/kg	2,5	12,5	1312	889,6	2076
Magnesio (Mg)	10601	mg/kg	2	10	4088	1350	6287
Manganoso (Mn)	10601	mg/kg	1	5	413	235	966
Molibdeno (Mo)	10601	mg/kg	0,6	3,0	< 0,6	< 0,6	< 0,6
Sodio (Na)	10601	mg/kg	9	45	100	41	126
Niquel (Ni)	10601	mg/kg	1	5	20	12	33
Plomo (Pb)	10601	mg/kg	2	10	9	8	14
Antimonio (Sb)	10601	mg/kg	2,5	12,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Selenio (Se)	10601	mg/kg	1,6	8,0	< 1,6	< 1,6	< 1,6
Talio (Tl)	10601	mg/kg	3	15	< 3	< 3	< 3
Vanadio (V)	10601	mg/kg	0,5	2,5	34,2	54,9	57,0
Zinc (Zn)	10601	mg/kg	0,5	2,5	60,3	40,6	94,8
007 ENSAYOS DE METALES - Mercurio Total							
Mercurio Total (Hg)	13312	mg/kg	0,01	0,10	0,02	0,04	0,04

Nº ALS LS	Ref. Mét.	Unidad	LD	LQ	250165/2018-1.0	25/05/2018
Fecha de Muestreo					12:22:00	
Hora de Muestreo					Sedimentos	
Tipo de Muestra					LLabe1	
Identificación						
Parámetro						
007 ENSAYOS DE METALES - Metales Totales por ICP-OES						
Plata (Ag)	10601	mg/kg	0,6	3,0	< 0,6	
Aluminio (Al)	10601	mg/kg	2	10	23738	
Arsenico (As)	10601	mg/kg	3,5	17,5	< 3,5	
Bario (Ba)	10601	mg/kg	0,3	1,5	118,7	
Berilio (Be)	10601	mg/kg	0,3	1,5	< 0,3	
Calcio (Ca)	10601	mg/kg	0,9	4,5	1560	
Cadmio (Cd)	10601	mg/kg	0,5	1,0	< 0,5	
Cobalto (Co)	10601	mg/kg	0,8	4,0	13,2	
Cromo (Cr)	10601	mg/kg	0,9	4,5	29,3	
Cobre (Cu)	10601	mg/kg	0,8	4,0	30,6	
Hierro (Fe)	10601	mg/kg	1,2	6,0	39367	
Potasio (K)	10601	mg/kg	2,5	12,5	2226	
Magnesio (Mg)	10601	mg/kg	2	10	6297	
Manganoso (Mn)	10601	mg/kg	1	5	679	
Molibdeno (Mo)	10601	mg/kg	0,6	3,0	< 0,6	
Sodio (Na)	10601	mg/kg	9	45	211	
Niquel (Ni)	10601	mg/kg	1	5	26	
Plomo (Pb)	10601	mg/kg	2	10	17	
Antimonio (Sb)	10601	mg/kg	2,5	12,5	< 2,5	
Selenio (Se)	10601	mg/kg	1,6	8,0	< 1,6	
Talio (Tl)	10601	mg/kg	3	15	< 3	
Vanadio (V)	10601	mg/kg	0,5	2,5	39,2	
Zinc (Zn)	10601	mg/kg	0,5	2,5	92,0	

Pág. 4 de 7

Informe de ensayo N° 69719-2018, reportado en el informe técnico N°060-2019-ANA-AAA.MDD-AT/HLH.



LABORATORIO DE ENSAYO Y ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE-029



Registro N° LE-029

FDT 001 - 02

**INFORME DE ENSAYO: 69719/2018**

Nº ALS LS	Ref. Mét.	Unidad	LD	LQ	605666/2018-1.0	605667/2018-1.0	605668/2018-1.0
Fecha de Muestreo			29/11/2018	09:30:00	29/11/2018	10:20:00	29/11/2018
Hora de Muestreo					Sedimentos	Sedimentos	11:00:00
Tipo de Muestra					RMadr 1	RColo 1	RMadr 2
Identificación							
Parámetro	Ref. Mét.	Unidad	LD	LQ			
Sodio (Na)	10601	mg/kg	9	45	72	62	119
Níquel (Ni)	10601	mg/kg	1	5	21	13	25
Plomo (Pb)	10601	mg/kg	2	10	11	< 2	11
Antimonio (Sb)	10601	mg/kg	2,5	12,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Selenio (Se)	10601	mg/kg	1,6	8,0	< 1,6	< 1,6	< 1,6
Talio (Tl)	10601	mg/kg	3	15	< 3	< 3	< 3
Vanadio (V)	10601	mg/kg	0,5	2,5	31,1	35,3	47,3
Zinc (Zn)	10601	mg/kg	0,5	2,5	65,6	43,0	87,8
007 ENSAYOS DE METALES – Mercurio Total							
Mercurio Total (Hg)	13312	mg/kg	0,01	0,10	0,02	0,03	0,07

Nº ALS LS	Ref. Mét.	Unidad	LD	LQ	605669/2018-1.0	605670/2018-1.0	605671/2018-1.0
Fecha de Muestreo			30/11/2018	10:40:00	30/11/2018	07:40:00	30/11/2018
Hora de Muestreo					Sedimentos	Sedimentos	09:10:00
Tipo de Muestra					LLabe 1	RMadr 4	RMadr 5
Identificación							
Parámetro	Ref. Mét.	Unidad	LD	LQ			
005 ENSAYOS POR CROMATOGRAFÍA							
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C10-C40)	15860	mg/kg	1,9	13,3	---	< 1,9	---
007 ENSAYOS DE METALES - Metales Totales por ICP-OES							
Plata (Ag)	10601	mg/kg	0,6	3,0	< 0,6	< 0,6	< 0,6
Aluminio (Al)	10601	mg/kg	2	10	17017	11343	13700
Arsenico (As)	10601	mg/kg	3,5	17,5	15,3	< 3,5	< 3,5
Bario (Ba)	10601	mg/kg	0,3	1,5	92,3	70,9	84,8
Berilio (Be)	10601	mg/kg	0,3	1,5	< 0,3	< 0,3	< 0,3
Calcio (Ca)	10601	mg/kg	0,9	4,5	1604	1705	1711
Cadmio (Cd)	10601	mg/kg	0,5	1,0	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Cobalto (Co)	10601	mg/kg	0,8	4,0	13,7	9,5	10,3
Cromo (Cr)	10601	mg/kg	0,9	4,5	24,8	19,4	20,6
Cobre (Cu)	10601	mg/kg	0,8	4,0	40,2	23,8	27,7
Hierro (Fe)	10601	mg/kg	1,2	6,0	30631	22678	24812
Potasio (K)	10601	mg/kg	2,5	12,5	1977	1356	1743
Magnesio (Mg)	10601	mg/kg	2	10	5482	3711	3887
Manganoso (Mn)	10601	mg/kg	1	5	455	303	379
Molibdeno (Mo)	10601	mg/kg	0,6	3,0	< 0,6	< 0,6	< 0,6
Sodio (Na)	10601	mg/kg	9	45	117	63	88
Níquel (Ni)	10601	mg/kg	1	5	28	16	21
Plomo (Pb)	10601	mg/kg	2	10	17	< 2	11
Antimonio (Sb)	10601	mg/kg	2,5	12,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5
Selenio (Se)	10601	mg/kg	1,6	8,0	< 1,6	< 1,6	< 1,6
Talio (Tl)	10601	mg/kg	3	15	< 3	< 3	< 3
Vanadio (V)	10601	mg/kg	0,5	2,5	36,5	31,7	33,9
Zinc (Zn)	10601	mg/kg	0,5	2,5	82,2	55,2	59,8
007 ENSAYOS DE METALES – Mercurio Total							
Mercurio Total (Hg)	13312	mg/kg	0,01	0,10	0,07	0,03	0,05

Nº ALS LS	Ref. Mét.	Unidad	LD	LQ	605672/2018-1.0	605673/2018-1.0
Fecha de Muestreo			30/11/2018	11:30:00	02/12/2018	06:45:00
Hora de Muestreo					Sedimentos	Sedimentos
Tipo de Muestra					RMadr 6	RTamb 1
Identificación						
Parámetro	Ref. Mét.	Unidad	LD	LQ		
005 ENSAYOS POR CROMATOGRAFÍA						
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C10-C40)	15860	mg/kg	1,9	13,3	< 1,9	26,0
007 ENSAYOS DE METALES - Metales Totales por ICP-OES						
Plata (Ag)	10601	mg/kg	0,6	3,0	< 0,6	< 0,6
Aluminio (Al)	10601	mg/kg	2	10	17010	8025



LABORATORIO DE ENSAYO Y ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE-029



Registro N° LE - 029

FDT 001 - 02

## INFORME DE ENSAYO: 69719/2018

Nº ALS LS

Fecha de Muestreo

Hora de Muestreo

Tipo de Muestra

Identificación

Parámetro

605672/2018-1.0 605673/2018-1.0

30/11/2018 02/12/2018

11:30:00 06:45:00

Sedimentos Sedimentos

RMadr 6 RTamb 1

Parámetro	Ref. Mét.	Unidad	LD	LOQ		
Arsenico (As)	10601	mg/kg	3,5	17,5	18,0	< 3,5
Bario (Ba)	10601	mg/kg	0,3	1,5	101,9	67,7
Berilio (Be)	10601	mg/kg	0,3	1,5	< 0,3	< 0,3
Calcio (Ca)	10601	mg/kg	0,9	4,5	1464	760,4
Cadmio (Cd)	10601	mg/kg	0,5	1,0	< 0,5	< 0,5
Cobalto (Co)	10601	mg/kg	0,8	4,0	13,0	8,3
Cromo (Cr)	10601	mg/kg	0,9	4,5	23,3	12,4
Cobre (Cu)	10601	mg/kg	0,8	4,0	34,5	13,8
Hierro (Fe)	10601	mg/kg	1,2	6,0	28874	20091
Potasio (K)	10601	mg/kg	2,5	12,5	1970	1294
Magnesio (Mg)	10601	mg/kg	2	10	4304	2101
Manganoso (Mn)	10601	mg/kg	1	5	480	380
Molibdeno (Mo)	10601	mg/kg	0,6	3,0	< 0,6	< 0,6
Sodio (Na)	10601	mg/kg	9	45	93	37
Niquel (Ni)	10601	mg/kg	1	5	22	12
Plomo (Pb)	10601	mg/kg	2	10	14	9
Antimonio (Sb)	10601	mg/kg	2,5	12,5	< 2,5	< 2,5
Selenio (Se)	10601	mg/kg	1,6	8,0	< 1,6	< 1,6
Talio (Tl)	10601	mg/kg	3	15	< 3	< 3
Vanadio (V)	10601	mg/kg	0,5	2,5	36,8	16,8
Zinc (Zn)	10601	mg/kg	0,5	2,5	75,0	49,0
007 ENSAYOS DE METALES – Mercurio Total						
Mercurio Total (Hg)	13312	mg/kg	0,01	0,10	0,07	0,04

### Observaciones

LD: Límite de detección.

Los resultados de suelos, Lodos y sedimentos se expresan en base seca.

Informe de ensayo N° 76069-2019, reportado en el informe técnico N° 074-2019-ANA-AAA.MDD-AT/HLH.

A.A.A. XIII 008

**INFORME DE ENSAYO: 76069/2019**

Nº ALS LS	659473/2019-1.0					
Fecha de Muestreo	15/11/2019					
Hora de Muestreo	09:00:00					
Tipo de Muestra	Sedimentos					
Identificación	RMadr 2					
Parámetro	Ref. Mét.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado
Plomo (Pb)	10601	23/11/2019	mg/kg	3,0	5,0	9
Antimonio (Sb)	10601	23/11/2019	mg/kg	4,0	10,0	<4,0
Selenio (Se)	10601	23/11/2019	mg/kg	2,2	10,0	<2,2
Talio (Tl)	10601	23/11/2019	mg/kg	4,0	9,0	<4,0
Vanadio (V)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,7	2,0	35
Zinc (Zn)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,6	2,0	50
007 ENSAYOS DE METALES – Mercurio Total						
Mercurio Total (Hg)	13312	23/11/2019	mg/kg	0,01	0,10	0,03

Nº ALS LS	659474/2019-1.0					
Fecha de Muestreo	16/11/2019					
Hora de Muestreo	09:30:00					
Tipo de Muestra	Sedimentos					
Identificación	RMadr 5					
Parámetro	Ref. Mét.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado
007 ENSAYOS DE METALES - Metales Totales por ICP-OES						
Plata (Ag)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,9	1,7	<0,9
Aluminio (Al)	10601	23/11/2019	mg/kg	3,0	10,0	15411
Arsenico (As)	10601	23/11/2019	mg/kg	3,6	5,5	<3,6
Bario (Ba)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,3	1,0	87
Berilio (Be)	10601	23/11/2019	mg/kg	1,0	2,0	<1,0
Calcio (Ca)	10601	23/11/2019	mg/kg	1,5	2,5	2096
Cadmio (Cd)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,3	0,5	<0,3
Cobalto (Co)	10601	23/11/2019	mg/kg	1,0	2,0	14
Cromo (Cr)	10601	23/11/2019	mg/kg	1,0	2,0	22
Cobre (Cu)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,8	2,5	30
Hierro (Fe)	10601	23/11/2019	mg/kg	2,5	6,0	28739
Potasio (K)	10601	23/11/2019	mg/kg	3,5	10,0	1535
Magnesio (Mg)	10601	23/11/2019	mg/kg	3,0	17,0	4635
Manganese (Mn)	10601	23/11/2019	mg/kg	2,0	10,0	442
Molibdeno (Mo)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,6	3,0	<0,6
Sodio (Na)	10601	23/11/2019	mg/kg	12,0	20,0	72
Niquel (Ni)	10601	23/11/2019	mg/kg	1,0	2,0	22
Plomo (Pb)	10601	23/11/2019	mg/kg	3,0	5,0	9
Antimonio (Sb)	10601	23/11/2019	mg/kg	4,0	10,0	<4,0
Selenio (Se)	10601	23/11/2019	mg/kg	2,2	10,0	<2,2
Talio (Tl)	10601	23/11/2019	mg/kg	4,0	9,0	<4,0
Vanadio (V)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,7	2,0	36
Zinc (Zn)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,6	2,0	62
007 ENSAYOS DE METALES – Mercurio Total						
Mercurio Total (Hg)	13312	23/11/2019	mg/kg	0,01	0,10	0,05

Muestras del ítem: 2

Nº ALS LS	659475/2019-1.0					
Fecha de Muestreo	13/11/2019					
Hora de Muestreo	06:40:00					
Tipo de Muestra	Sedimentos					
Identificación	RSeta 1					
Parámetro	Ref. Mét.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado
005 ENSAYOS POR CROMATOGRAFÍA						
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C10-C40)	15860	21/11/2019	mg/kg	1,9	13,3	<1,9
007 ENSAYOS DE METALES - Metales Totales por ICP-OES						
Plata (Ag)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,9	1,7	<0,9
Aluminio (Al)	10601	23/11/2019	mg/kg	3,0	10,0	10753

## INFORME DE ENSAYO: 76069/2019

Nº ALS LS  
 Fecha de Muestreo  
 Hora de Muestreo  
 Tipo de Muestra  
 Identificación

659478/2019-1.0  
 15/11/2019  
 08:00:00  
 Sedimentos  
 RColo 1

Parámetro	Ref. Mét.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado
Cadmio (Cd)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,3	0,5	< 0,3
Cobalto (Co)	10601	23/11/2019	mg/kg	1,0	2,0	11
Cromo (Cr)	10601	23/11/2019	mg/kg	1,0	2,0	21
Cobre (Cu)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,8	2,5	23
Hierro (Fe)	10601	23/11/2019	mg/kg	2,5	6,0	20886
Potasio (K)	10601	23/11/2019	mg/kg	3,5	10,0	987
Magnesio (Mg)	10601	23/11/2019	mg/kg	3,0	17,0	3599
Manganoso (Mn)	10601	23/11/2019	mg/kg	2,0	10,0	313
Molibdeno (Mo)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,6	3,0	< 0,6
Sodio (Na)	10601	23/11/2019	mg/kg	12,0	20,0	61
Níquel (Ni)	10601	23/11/2019	mg/kg	1,0	2,0	17
Plomo (Pb)	10601	23/11/2019	mg/kg	3,0	5,0	6
Antimonio (Sb)	10601	23/11/2019	mg/kg	4,0	10,0	< 4,0
Selenio (Se)	10601	23/11/2019	mg/kg	2,2	10,0	< 2,2
Talio (Tl)	10601	23/11/2019	mg/kg	4,0	9,0	< 4,0
Vanadio (V)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,7	2,0	40
Zinc (Zn)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,6	2,0	41
007 ENSAYOS DE METALES – Mercurio Total						
Mercurio Total (Hg)	13312	23/11/2019	mg/kg	0,01	0,10	0,02

Nº ALS LS  
 Fecha de Muestreo  
 Hora de Muestreo  
 Tipo de Muestra  
 Identificación

659479/2019-1.0  
 16/11/2019  
 08:30:00  
 Sedimentos  
 RMadr 4

Parámetro	Ref. Mét.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado
005 ENSAYOS POR CROMATOGRAFÍA						
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C10-C40)	15860	21/11/2019	mg/kg	1,9	13,3	< 1,9
007 ENSAYOS DE METALES - Metales Totales por ICP-OES						
Plata (Ag)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,9	1,7	< 0,9
Aluminio (Al)	10601	23/11/2019	mg/kg	3,0	10,0	18413
Arsenico (As)	10601	23/11/2019	mg/kg	3,6	5,5	< 3,6
Bario (Ba)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,3	1,0	120
Berilio (Be)	10601	23/11/2019	mg/kg	1,0	2,0	< 1,0
Calcio (Ca)	10601	23/11/2019	mg/kg	1,5	2,5	3163
Cadmio (Cd)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,3	0,5	< 0,3
Cobalto (Co)	10601	23/11/2019	mg/kg	1,0	2,0	17
Cromo (Cr)	10601	23/11/2019	mg/kg	1,0	2,0	29
Cobre (Cu)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,8	2,5	34
Hierro (Fe)	10601	23/11/2019	mg/kg	2,5	6,0	34119
Potasio (K)	10601	23/11/2019	mg/kg	3,5	10,0	1958
Magnesio (Mg)	10601	23/11/2019	mg/kg	3,0	17,0	5533
Manganoso (Mn)	10601	23/11/2019	mg/kg	2,0	10,0	574
Molibdeno (Mo)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,6	3,0	< 0,6
Sodio (Na)	10601	23/11/2019	mg/kg	12,0	20,0	99
Níquel (Ni)	10601	23/11/2019	mg/kg	1,0	2,0	28
Plomo (Pb)	10601	23/11/2019	mg/kg	3,0	5,0	12
Antimonio (Sb)	10601	23/11/2019	mg/kg	4,0	10,0	< 4,0
Selenio (Se)	10601	23/11/2019	mg/kg	2,2	10,0	< 2,2
Talio (Tl)	10601	23/11/2019	mg/kg	4,0	9,0	< 4,0
Vanadio (V)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,7	2,0	49
Zinc (Zn)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,6	2,0	74
007 ENSAYOS DE METALES – Mercurio Total						
Mercurio Total (Hg)	13312	23/11/2019	mg/kg	0,01	0,10	0,03

A.A.A. XIII | 006

## INFORME DE ENSAYO: 76069/2019

Nº ALS LS	659480/2019-1.0					
Fecha de Muestreo	16/11/2019					
Hora de Muestreo	11:20:00					
Tipo de Muestra	Sedimentos					
Identificación	RMadr 6					
Parámetro	Ref. Mét.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado
005 ENSAYOS POR CROMATOGRAFIA						
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C10-C40)	15860	21/11/2019	mg/kg	1,9	13,3	< 1,9
007 ENSAYOS DE METALES - Metales Totales por ICP-OES						
Plata (Ag)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,9	1,7	< 0,9
Aluminio (Al)	10601	23/11/2019	mg/kg	3,0	10,0	11867
Arsenico (As)	10601	23/11/2019	mg/kg	3,6	5,5	< 3,6
Bario (Ba)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,3	1,0	59
Berilio (Be)	10601	23/11/2019	mg/kg	1,0	2,0	< 1,0
Calcio (Ca)	10601	23/11/2019	mg/kg	1,5	2,5	1429
Cadmio (Cd)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,3	0,5	< 0,3
Cobalto (Co)	10601	23/11/2019	mg/kg	1,0	2,0	11
Cromo (Cr)	10601	23/11/2019	mg/kg	1,0	2,0	19
Cobre (Cu)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,8	2,5	20
Hierro (Fe)	10601	23/11/2019	mg/kg	2,5	6,0	24826
Potasio (K)	10601	23/11/2019	mg/kg	3,5	10,0	1218
Magnesio (Mg)	10601	23/11/2019	mg/kg	3,0	17,0	3907
Manganese (Mn)	10601	23/11/2019	mg/kg	2,0	10,0	291
Molibdeno (Mo)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,6	3,0	< 0,6
Sodio (Na)	10601	23/11/2019	mg/kg	12,0	20,0	54
Níquel (Ni)	10601	23/11/2019	mg/kg	1,0	2,0	18
Plomo (Pb)	10601	23/11/2019	mg/kg	3,0	5,0	7
Antimonio (Sb)	10601	23/11/2019	mg/kg	4,0	10,0	< 4,0
Selenio (Se)	10601	23/11/2019	mg/kg	2,2	10,0	< 2,2
Talio (Tl)	10601	23/11/2019	mg/kg	4,0	9,0	< 4,0
Vanadio (V)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,7	2,0	30
Zinc (Zn)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,6	2,0	52
007 ENSAYOS DE METALES - Mercurio Total						
Mercurio Total (Hg)	13312	23/11/2019	mg/kg	0,01	0,10	0,02

Nº ALS LS	659481/2019-1.0					
Fecha de Muestreo	18/11/2019					
Hora de Muestreo	07:40:00					
Tipo de Muestra	Sedimentos					
Identificación	RTamb 1					
Parámetro	Ref. Mét.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado
005 ENSAYOS POR CROMATOGRAFIA						
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C10-C40)	15860	21/11/2019	mg/kg	1,9	13,3	< 1,9
007 ENSAYOS DE METALES - Metales Totales por ICP-OES						
Plata (Ag)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,9	1,7	< 0,9
Aluminio (Al)	10601	23/11/2019	mg/kg	3,0	10,0	13153
Arsenico (As)	10601	23/11/2019	mg/kg	3,6	5,5	< 3,6
Bario (Ba)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,3	1,0	111
Berilio (Be)	10601	23/11/2019	mg/kg	1,0	2,0	< 1,0
Calcio (Ca)	10601	23/11/2019	mg/kg	1,5	2,5	1260
Cadmio (Cd)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,3	0,5	< 0,3
Cobalto (Co)	10601	23/11/2019	mg/kg	1,0	2,0	14
Cromo (Cr)	10601	23/11/2019	mg/kg	1,0	2,0	16
Cobre (Cu)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,8	2,5	20
Hierro (Fe)	10601	23/11/2019	mg/kg	2,5	6,0	30689
Potasio (K)	10601	23/11/2019	mg/kg	3,5	10,0	1897
Magnesio (Mg)	10601	23/11/2019	mg/kg	3,0	17,0	3377
Manganese (Mn)	10601	23/11/2019	mg/kg	2,0	10,0	537
Molibdeno (Mo)	10601	23/11/2019	mg/kg	0,6	3,0	< 0,6
Sodio (Na)	10601	23/11/2019	mg/kg	12,0	20,0	47
Níquel (Ni)	10601	23/11/2019	mg/kg	1,0	2,0	23

Informe de ensayo N° 54497-2019, reportado en el informe técnico N°071-2020-ANA-AAA.MDD-AT/HLH.

A.A.A. 005  
MADRE DE DIOS

## INFORME DE ENSAYO: 54497/2020

Nº ALS LS  
Fecha de Muestreo  
Hora de Muestreo  
Tipo de Muestra  
Identificación

Parámetro Ref. Mét. Fecha de Ensayo Unidad LD LQ Resultado

007 ENSAYOS DE METALES						
Mercurio Total (Hg)	13312	04/11/2020	mg/kg	0,01	0,02	0,04
007 ENSAYOS DE METALES - Metales por ICP OES						
Plata (Ag)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,9	1,7	<0,9
Aluminio (Al)	10601	11/10/2020	mg/kg	3,0	10,0	10594
Arsenico (As)	10601	11/10/2020	mg/kg	3,6	5,5	<3,6
Bario (Ba)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,3	1,0	93,7
Berilio (Be)	10601	11/10/2020	mg/kg	1,0	2,0	<1,0
Calcio (Ca)	10601	11/10/2020	mg/kg	1,5	2,5	4822
Cadmio (Cd)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,3	0,5	<0,3
Cobalto (Co)	10601	11/10/2020	mg/kg	1,0	2,0	14,9
Cromo (Cr)	10601	11/10/2020	mg/kg	1,0	2,0	22,9
Cobre (Cu)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,8	2,5	23,6
Hierro (Fe)	10601	11/10/2020	mg/kg	2,5	6,0	33238
Potasio (K)	10601	11/10/2020	mg/kg	3,5	10,0	808,7
Magnesio (Mg)	10601	11/10/2020	mg/kg	3,0	17,0	3492
Manganoso (Mn)	10601	11/10/2020	mg/kg	2,0	10,0	756,9
Molibdeno (Mo)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,6	3,0	<0,6
Sodio (Na)	10601	11/10/2020	mg/kg	12,0	20,0	126,3
Niquel (Ni)	10601	11/10/2020	mg/kg	1,0	2,0	19,6
Plomo (Pb)	10601	11/10/2020	mg/kg	3,0	5,0	10,1
Antimonio (Sb)	10601	11/10/2020	mg/kg	4,0	10,0	<4,0
Selenio (Se)	10601	11/10/2020	mg/kg	2,2	10,0	<2,2
Talio (Tl)	10601	11/10/2020	mg/kg	4,0	9,0	<4,0
Vanadio (V)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,7	2,0	41,5
Zinc (Zn)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,6	2,0	59,6

Nº ALS LS  
Fecha de Muestreo  
Hora de Muestreo  
Tipo de Muestra  
Identificación

Parámetro Ref. Mét. Fecha de Ensayo Unidad LD LQ Resultado

007 ENSAYOS DE METALES						
Mercurio Total (Hg)	13312	04/11/2020	mg/kg	0,01	0,02	0,04
007 ENSAYOS DE METALES - Metales por ICP OES						
Plata (Ag)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,9	1,7	<0,9
Aluminio (Al)	10601	11/10/2020	mg/kg	3,0	10,0	11337
Arsenico (As)	10601	11/10/2020	mg/kg	3,6	5,5	<3,6
Bario (Ba)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,3	1,0	87,0
Berilio (Be)	10601	11/10/2020	mg/kg	1,0	2,0	<1,0
Calcio (Ca)	10601	11/10/2020	mg/kg	1,5	2,5	3167
Cadmio (Cd)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,3	0,5	<0,3
Cobalto (Co)	10601	11/10/2020	mg/kg	1,0	2,0	15,0
Cromo (Cr)	10601	11/10/2020	mg/kg	1,0	2,0	22,9
Cobre (Cu)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,8	2,5	21,3
Hierro (Fe)	10601	11/10/2020	mg/kg	2,5	6,0	33169
Potasio (K)	10601	11/10/2020	mg/kg	3,5	10,0	819,4
Magnesio (Mg)	10601	11/10/2020	mg/kg	3,0	17,0	3126
Manganoso (Mn)	10601	11/10/2020	mg/kg	2,0	10,0	587,6
Molibdeno (Mo)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,6	3,0	<0,6
Sodio (Na)	10601	11/10/2020	mg/kg	12,0	20,0	141,7
Niquel (Ni)	10601	11/10/2020	mg/kg	1,0	2,0	18,9
Plomo (Pb)	10601	11/10/2020	mg/kg	3,0	5,0	10,2
Antimonio (Sb)	10601	11/10/2020	mg/kg	4,0	10,0	<4,0

## INFORME DE ENSAYO: 54497/2020

Nº ALS LS						460792/2020-1.0
Fecha de Muestreo						28/10/2020
Hora de Muestreo						14:50:00
Tipo de Muestra						Sedimentos
Identificación						RMdio3
Parámetro	Ref. Mét.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado
Selenio (Se)	10601	11/10/2020	mg/kg	2,2	10,0	<2,2
Talio (Tl)	10601	11/10/2020	mg/kg	4,0	9,0	<4,0
Vanadio (V)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,7	2,0	40,6
Zinc (Zn)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,6	2,0	63,3

Nº ALS LS						460793/2020-1.0
Fecha de Muestreo						28/10/2020
Hora de Muestreo						15:45:00
Tipo de Muestra						Sedimentos
Identificación						RMdio4
Parámetro	Ref. Mét.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado
<b>007 ENSAYOS DE METALES</b>						
Mercúrio Total (Hg)	13312	04/11/2020	mg/kg	0,01	0,02	0,07
<b>007 ENSAYOS DE METALES - Metales por ICP OES</b>						
Plata (Ag)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,9	1,7	<0,9
Aluminio (Al)	10601	11/10/2020	mg/kg	3,0	10,0	16555
Arsenico (As)	10601	11/10/2020	mg/kg	3,6	5,5	21,8
Bario (Ba)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,3	1,0	87,9
Berilio (Be)	10601	11/10/2020	mg/kg	1,0	2,0	<1,0
Calcio (Ca)	10601	11/10/2020	mg/kg	1,5	2,5	1659
Cadmio (Cd)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,3	0,5	<0,3
Cobalto (Co)	10601	11/10/2020	mg/kg	1,0	2,0	21,9
Cromo (Cr)	10601	11/10/2020	mg/kg	1,0	2,0	29,9
Cobre (Cu)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,8	2,5	36,9
Hierro (Fe)	10601	11/10/2020	mg/kg	2,5	6,0	39865
Potasio (K)	10601	11/10/2020	mg/kg	3,5	10,0	1230
Magnesio (Mg)	10601	11/10/2020	mg/kg	3,0	17,0	4012
Manganoso (Mn)	10601	11/10/2020	mg/kg	2,0	10,0	599,2
Molibdeno (Mo)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,6	3,0	1,2
Sodio (Na)	10601	11/10/2020	mg/kg	12,0	20,0	150,5
Níquel (Ni)	10601	11/10/2020	mg/kg	1,0	2,0	23,0
Plomo (Pb)	10601	11/10/2020	mg/kg	3,0	5,0	10,9
Antimonio (Sb)	10601	11/10/2020	mg/kg	4,0	10,0	<4,0
Selenio (Se)	10601	11/10/2020	mg/kg	2,2	10,0	<2,2
Talio (Tl)	10601	11/10/2020	mg/kg	4,0	9,0	<4,0
Vanadio (V)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,7	2,0	54,4
Zinc (Zn)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,6	2,0	78,4

Nº ALS LS						460794/2020-1.0
Fecha de Muestreo						28/10/2020
Hora de Muestreo						17:30:00
Tipo de Muestra						Sedimentos
Identificación						RMdio5
Parámetro	Ref. Mét.	Fecha de Ensayo	Unidad	LD	LQ	Resultado
<b>007 ENSAYOS DE METALES</b>						
Mercúrio Total (Hg)	13312	04/11/2020	mg/kg	0,01	0,02	0,02
<b>007 ENSAYOS DE METALES - Metales por ICP OES</b>						
Plata (Ag)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,9	1,7	<0,9
Aluminio (Al)	10601	11/10/2020	mg/kg	3,0	10,0	13061
Arsenico (As)	10601	11/10/2020	mg/kg	3,6	5,5	<3,6
Bario (Ba)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,3	1,0	65,1
Berilio (Be)	10601	11/10/2020	mg/kg	1,0	2,0	<1,0
Calcio (Ca)	10601	11/10/2020	mg/kg	1,5	2,5	572,3
Cadmio (Cd)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,3	0,5	<0,3

## INFORME DE ENSAYO: 54497/2020

Nº ALS LS

Fecha de Muestreo

Hora de Muestreo

Tipo de Muestra

Identificación

460794/2020-1.0

28/10/2020

17:30:00

Sedimentos

RMdlo5

Parámetro

Ref. Mét.

Fecha de  
Ensaya

Unidad

LD

LQ

Resultado

Cobalto (Co)	10601	11/10/2020	mg/kg	1,0	2,0	16,9
Cromo (Cr)	10601	11/10/2020	mg/kg	1,0	2,0	25,9
Cobre (Cu)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,8	2,5	23,2
Hierro (Fe)	10601	11/10/2020	mg/kg	2,5	6,0	32831
Potasio (K)	10601	11/10/2020	mg/kg	3,5	10,0	749,0
Magnesio (Mg)	10601	11/10/2020	mg/kg	3,0	17,0	4607
Manganese (Mn)	10601	11/10/2020	mg/kg	2,0	10,0	468,3
Molibdeno (Mo)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,6	3,0	<0,6
Sodio (Na)	10601	11/10/2020	mg/kg	12,0	20,0	196,3
Níquel (Ni)	10601	11/10/2020	mg/kg	1,0	2,0	21,3
Plomo (Pb)	10601	11/10/2020	mg/kg	3,0	5,0	10,9
Antimoni (Sb)	10601	11/10/2020	mg/kg	4,0	10,0	<4,0
Selenio (Se)	10601	11/10/2020	mg/kg	2,2	10,0	<2,2
Talio (Tl)	10601	11/10/2020	mg/kg	4,0	9,0	<4,0
Vanadio (V)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,7	2,0	46,8
Zinc (Zn)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,6	2,0	70,2

Nº ALS LS

Fecha de Muestreo

Hora de Muestreo

Tipo de Muestra

Identificación

460795/2020-1.0

28/10/2020

17:00:00

Sedimentos

RTamb12

Parámetro

Ref. Mét.

Fecha de  
Ensaya

Unidad

LD

LQ

Resultado

007 ENSAYOS DE METALES						
Mercurio Total (Hg)	13312	04/11/2020	mg/kg	0,01	0,02	0,04
007 ENSAYOS DE METALES - Metales por ICP OES						
Plata (Ag)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,9	1,7	<0,9
Aluminio (Al)	10601	11/10/2020	mg/kg	3,0	10,0	10183
Arsenico (As)	10601	11/10/2020	mg/kg	3,6	5,5	<3,6
Bario (Ba)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,3	1,0	82,9
Berilio (Be)	10601	11/10/2020	mg/kg	1,0	2,0	<1,0
Calcio (Ca)	10601	11/10/2020	mg/kg	1,5	2,5	1565
Cadmio (Cd)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,3	0,5	<0,3
Cobalto (Co)	10601	11/10/2020	mg/kg	1,0	2,0	17,9
Cromo (Cr)	10601	11/10/2020	mg/kg	1,0	2,0	16,9
Cobre (Cu)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,8	2,5	19,4
Hierro (Fe)	10601	11/10/2020	mg/kg	2,5	6,0	35825
Potasio (K)	10601	11/10/2020	mg/kg	3,5	10,0	1099
Magnesio (Mg)	10601	11/10/2020	mg/kg	3,0	17,0	3139
Manganese (Mn)	10601	11/10/2020	mg/kg	2,0	10,0	681,3
Molibdeno (Mo)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,6	3,0	1,7
Sodio (Na)	10601	11/10/2020	mg/kg	12,0	20,0	151,4
Níquel (Ni)	10601	11/10/2020	mg/kg	1,0	2,0	23,8
Plomo (Pb)	10601	11/10/2020	mg/kg	3,0	5,0	15,6
Antimoni (Sb)	10601	11/10/2020	mg/kg	4,0	10,0	<4,0
Selenio (Se)	10601	11/10/2020	mg/kg	2,2	10,0	<2,2
Talio (Tl)	10601	11/10/2020	mg/kg	4,0	9,0	<4,0
Vanadio (V)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,7	2,0	22,5
Zinc (Zn)	10601	11/10/2020	mg/kg	0,6	2,0	84,1

#### Anexo 4: Resultados del nivel fondo y nivel de referencia (Software PRO UCL 5.2)

NIVEL DE FONDO (UCL 95)												
1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Nonparametric UCL Statistics for Uncensored Full Data Sets												
User Selected Options												
Date/Time of Computation ProUCL 5.2 17/11/2023 22:43:00												
From File Metales y metaloide_b.xls												
Full Precision OFF												
Confidence Coefficient 95%												
Number of Bootstrap Operations 2000												
Arsenico												
General Statistics												
Total Number of Observations 10												
Number of Distinct Observations 6												
Number of Missing Observations 0												
Minimum 4												
Mean 7.1												
Maximum 16												
Median 6.5												
SD 3.446												
Std. Error of Mean 1.09												
Coefficient of Variation 0.485												
Skewness 2.154												
Mean of logged Data 1.879												
SD of logged Data 0.403												
Nonparametric Distribution Free UCL Statistics												
Data appear Approximate Normal Distributed at 1% Significance Level												
Assuming Normal Distribution												
95% Normal UCL												
95% Student's-t UCL 9.098												
95% Adjusted-CLT UCL (Chen-1995) 9.686												
95% Modified-t UCL (Johnson-1978) 9.222												
Nonparametric Distribution Free UCLs												
95% CLT UCL 8.893												
95% Standard Bootstrap UCL 8.789												
95% Hall's Bootstrap UCL 16.9												
90% Chebyshev(Mean, Sd) UCL 10.37												
97.5% Chebyshev(Mean, Sd) UCL 13.91												
95% BCA Bootstrap UCL 9.5												
95% Bootstrap-t UCL 10.72												
95% Percentile Bootstrap UCL 8.9												
95% Chebyshev(Mean, Sd) UCL 11.85												
99% Chebyshev(Mean, Sd) UCL 17.94												
Suggested UCL to Use												
Data appear Normal, May want to try Normal Distribution												
Note: Suggestions regarding the selection of a 95% UCL are provided to help the user to select the most appropriate 95% UCL.												
Recommendations are based upon data size, data distribution, and skewness using results from simulation studies.												
However, simulations results will not cover all Real World data sets; for additional insight the user may want to consult a statistician.												
Cadmio												
General Statistics												
Total Number of Observations 10												
Number of Distinct Observations 10												
Number of Missing Observations 0												
Minimum 0.9												
Mean 1.69												
Maximum 2.3												
Median 1.8												
SD 0.504												
Std. Error of Mean 0.159												
Skewness -0.511												
Mean of logged Data 0.478												
SD of logged Data 0.337												
Nonparametric Distribution Free UCL Statistics												
Data appear Normal Distributed at 1% Significance Level												
Assuming Normal Distribution												
95% Normal UCL												
95% Student's-t UCL 1.982												
95% Adjusted-CLT UCL (Chen-1995) 1.925												
95% Modified-t UCL (Johnson-1978) 1.978												
Nonparametric Distribution Free UCLs												
95% CLT UCL 1.952												
95% Standard Bootstrap UCL 1.937												
95% Hall's Bootstrap UCL 1.907												
95% BCA Bootstrap UCL 1.91												
95% Bootstrap-t UCL 1.946												
95% Percentile Bootstrap UCL 1.93												

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L											
68		90% Chebyshev(Mean, Sd) UCL		2.168			95% Chebyshev(Mean, Sd) UCL		2.385													
69		97.5% Chebyshev(Mean, Sd) UCL		2.686			99% Chebyshev(Mean, Sd) UCL		3.277													
70																						
71	<b>Suggested UCL to Use</b>																					
72	Data appear Normal, May want to try Normal Distribution																					
73																						
74	Note: Suggestions regarding the selection of a 95% UCL are provided to help the user to select the most appropriate 95% UCL.																					
75	Recommendations are based upon data size, data distribution, and skewness using results from simulation studies.																					
76	However, simulations results will not cover all Real World data sets; for additional insight the user may want to consult a statistician.																					
77																						
78	Note: For highly negatively-skewed data, confidence limits (e.g., Chen, Johnson, Lognormal, and Gamma) may not be reliable. Chen's and Johnson's methods provide adjustments for positively skewed data sets.																					
79																						
80																						
81																						
82	Cobre																					
83																						
84	<b>General Statistics</b>																					
85	Total Number of Observations		10	Number of Distinct Observations		9			Number of Missing Observations	0												
86																						
87	Minimum		7.5	Mean		16																
88	Maximum		24.4	Median		15.8																
89	SD		5.724	Std. Error of Mean		1.81																
90	Coefficient of Variation		0.358	Skewness		-0.218																
91	Mean of logged Data		2.704	SD of logged Data		0.412																
92																						
93	<b>Nonparametric Distribution Free UCL Statistics</b>																					
94	Data appear Normal Distributed at 1% Significance Level																					
95																						
96	Assuming Normal Distribution																					
97	<b>95% Normal UCL</b>			<b>95% UCLs (Adjusted for Skewness)</b>																		
98	95% Student's-t UCL			19.32	95% Adjusted-CLT UCL (Chen-1995)																	
99					95% Modified-t UCL (Johnson-1978)																	
100																						
101	<b>Nonparametric Distribution Free UCLs</b>																					
102	95% CLT UCL		18.98	95% BCA Bootstrap UCL		18.58																
103	95% Standard Bootstrap UCL		18.81	95% Bootstrap-t UCL		19.1																
104	95% Hall's Bootstrap UCL		18.88	95% Percentile Bootstrap UCL		18.7																
105	90% Chebyshev(Mean, Sd) UCL		21.43	95% Chebyshev(Mean, Sd) UCL		23.89																
106	97.5% Chebyshev(Mean, Sd) UCL		27.3	99% Chebyshev(Mean, Sd) UCL		34.01																
107																						
108	<b>Suggested UCL to Use</b>																					
109	Data appear Normal, May want to try Normal Distribution																					
110																						
111	Note: Suggestions regarding the selection of a 95% UCL are provided to help the user to select the most appropriate 95% UCL.																					
112	Recommendations are based upon data size, data distribution, and skewness using results from simulation studies.																					
113	However, simulations results will not cover all Real World data sets; for additional insight the user may want to consult a statistician.																					
114																						
115	Note: For highly negatively-skewed data, confidence limits (e.g., Chen, Johnson, Lognormal, and Gamma) may not be reliable. Chen's and Johnson's methods provide adjustments for positively skewed data sets.																					
116																						
117																						
118																						
119	Cromo																					
120																						
121	<b>General Statistics</b>																					
122	Total Number of Observations		10	Number of Distinct Observations		10																
123				Number of Missing Observations		0																
124	Minimum		7.5	Mean		15.09																
125	Maximum		23.7	Median		15																
126	SD		5.006	Std. Error of Mean		1.583																
127	Coefficient of Variation		0.332	Skewness		0.223																
128	Mean of logged Data		2.661	SD of logged Data		0.353																
129																						
130	<b>Nonparametric Distribution Free UCL Statistics</b>																					
131	Data appear Normal Distributed at 1% Significance Level																					
132																						
133	Assuming Normal Distribution																					
134	<b>95% Normal UCL</b>			<b>95% UCLs (Adjusted for Skewness)</b>																		

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L				
135				95% Student's-t UCL	17.99			95% Adjusted-CLT UCL (Chen-1995)	17.82						
136								95% Modified-t UCL (Johnson-1978)	18.01						
137	<b>Nonparametric Distribution Free UCLs</b>														
138															
139				95% CLT UCL	17.7			95% BCA Bootstrap UCL	17.57						
140				95% Standard Bootstrap UCL	17.54			95% Bootstrap-t UCL	18.08						
141				95% Hall's Bootstrap UCL	17.95			95% Percentile Bootstrap UCL	17.56						
142				90% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	19.84			95% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	21.99						
143				97.5% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	24.98			99% Chebyshev(Mean, Sd) UCL	30.84						
144	<b>Suggested UCL to Use</b>														
145															
146	<b>Data appear Normal, May want to try Normal Distribution</b>														
147															
148	Note: Suggestions regarding the selection of a 95% UCL are provided to help the user to select the most appropriate 95% UCL.														
149	Recommendations are based upon data size, data distribution, and skewness using results from simulation studies.														
150	However, simulations results will not cover all Real World data sets; for additional insight the user may want to consult a statistician.														
151															
152															
153	<b>Mercurio</b>														
154															
155	<b>General Statistics</b>														
156															
157	Total Number of Observations				10	Number of Distinct Observations				10					
158						Number of Missing Observations				0					
159						Mean				0.0186					
160						Median				0.017					
161						SD				0.00189					
162						Std. Error of Mean									
163						Skewness				0.645					
164	<b>Nonparametric Distribution Free UCL Statistics</b>														
165															
166	<b>Assuming Normal Distribution</b>														
167															
168	<b>95% Normal UCL</b>					<b>95% UCLs (Adjusted for Skewness)</b>									
169	95% Student's-t UCL				0.0221	95% Adjusted-CLT UCL (Chen-1995)				0.0221					
170						95% Modified-t UCL (Johnson-1978)				0.0221					
171	<b>Nonparametric Distribution Free UCLs</b>														
172															
173	95% CLT UCL				0.0217	95% BCA Bootstrap UCL				0.022					
174	95% Standard Bootstrap UCL				0.0215	95% Bootstrap-t UCL				0.0227					
175	95% Hall's Bootstrap UCL				0.0221	95% Percentile Bootstrap UCL				0.0216					
176	90% Chebyshev(Mean, Sd) UCL				0.0243	95% Chebyshev(Mean, Sd) UCL				0.0268					
177	97.5% Chebyshev(Mean, Sd) UCL				0.0304	99% Chebyshev(Mean, Sd) UCL				0.0374					
178	<b>Suggested UCL to Use</b>														
179															
180	<b>Data appear Normal, May want to try Normal Distribution</b>														
181															
182	Note: Suggestions regarding the selection of a 95% UCL are provided to help the user to select the most appropriate 95% UCL.														
183	Recommendations are based upon data size, data distribution, and skewness using results from simulation studies.														
184	However, simulations results will not cover all Real World data sets; for additional insight the user may want to consult a statistician.														
185															
186															
187	<b>Plomo</b>														
188															
189	<b>General Statistics</b>														
190	Total Number of Observations				10	Number of Distinct Observations				7					
191						Number of Missing Observations				0					
192						Mean				11.8					
193						Median				11.5					
194						SD				0.854					
195						Std. Error of Mean									
196						Skewness				0.645					
197	<b>Nonparametric Distribution Free UCL Statistics</b>														
198															
199	<b>Data appear Normal Distributed at 1% Significance Level</b>														
200															
201	<b>Assuming Normal Distribution</b>														

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L																						
202	95% Normal UCL						95% UCLs (Adjusted for Skewness)																										
203	95% Student's-t UCL		13.37		95% Adjusted-CLT UCL (Chen-1995)		13.39		95% Modified-t UCL (Johnson-1978)		13.39																						
204																																	
205																																	
206	Nonparametric Distribution Free UCLs																																
207	95% CLT UCL		13.2		95% BCA Bootstrap UCL		13.2																										
208	95% Standard Bootstrap UCL		13.14		95% Bootstrap-t UCL		13.69																										
209	95% Hall's Bootstrap UCL		13.45		95% Percentile Bootstrap UCL		13.2																										
210	90% Chebyshev(Mean, Sd) UCL		14.36		95% Chebyshev(Mean, Sd) UCL		15.52																										
211	97.5% Chebyshev(Mean, Sd) UCL		17.13		99% Chebyshev(Mean, Sd) UCL		20.29																										
212																																	
213	Suggested UCL to Use																																
214	Data appear Normal, May want to try Normal Distribution																																
215																																	
216	Note: Suggestions regarding the selection of a 95% UCL are provided to help the user to select the most appropriate 95% UCL.																																
217	Recommendations are based upon data size, data distribution, and skewness using results from simulation studies.																																
218	However, simulations results will not cover all Real World data sets; for additional insight the user may want to consult a statistician.																																
219																																	
220																																	
221	Zinc																																
222																																	
223	General Statistics																																
224	Total Number of Observations			10		Number of Distinct Observations		10																									
225						Number of Missing Observations		0																									
226	Minimum			28		Mean		52.9																									
227	Maximum			69		Median		55																									
228	SD			12.85		Std. Error of Mean		4.065																									
229	Coefficient of Variation			0.243		Skewness		-0.731																									
230	Mean of logged Data			3.937		SD of logged Data		0.277																									
231																																	
232	Nonparametric Distribution Free UCL Statistics																																
233	Data appear Normal Distributed at 1% Significance Level																																
234																																	
235	Assuming Normal Distribution																																
236	95% Normal UCL			95% UCLs (Adjusted for Skewness)																													
237	95% Student's-t UCL			60.35		95% Adjusted-CLT UCL (Chen-1995)		58.58																									
238						95% Modified-t UCL (Johnson-1978)		60.19																									
239																																	
240	Nonparametric Distribution Free UCLs																																
241	95% CLT UCL		59.59		95% BCA Bootstrap UCL		58.7																										
242	95% Standard Bootstrap UCL		59.19		95% Bootstrap-t UCL		59.19																										
243	95% Hall's Bootstrap UCL		58.6		95% Percentile Bootstrap UCL		59																										
244	90% Chebyshev(Mean, Sd) UCL		65.09		95% Chebyshev(Mean, Sd) UCL		70.62																										
245	97.5% Chebyshev(Mean, Sd) UCL		78.28		99% Chebyshev(Mean, Sd) UCL		93.34																										
246																																	
247	Suggested UCL to Use																																
248	Data appear Normal, May want to try Normal Distribution																																
249																																	
250	Note: Suggestions regarding the selection of a 95% UCL are provided to help the user to select the most appropriate 95% UCL.																																
251	Recommendations are based upon data size, data distribution, and skewness using results from simulation studies.																																
252	However, simulations results will not cover all Real World data sets; for additional insight the user may want to consult a statistician.																																
253																																	
254	Note: For highly negatively-skewed data, confidence limits (e.g., Chen, Johnson, Lognormal, and Gamma) may not be reliable. Chen's and Johnson's methods provide adjustments for positively skewed data sets.																																
255																																	
256																																	
257																																	
258	Aluminio																																
259																																	
260	General Statistics																																
261	Total Number of Observations			10		Number of Distinct Observations		10																									
262						Number of Missing Observations		0																									
263	Minimum			4256		Mean		7990																									
264	Maximum			12350		Median		8218																									
265	SD			2410		Std. Error of Mean		762.1																									
266	Coefficient of Variation			0.302		Skewness		0.231																									
267	Mean of logged Data			8.942		SD of logged Data		0.318																									
268																																	

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L								
269	Nonparametric Distribution Free UCL Statistics																		
270	Data appear Normal Distributed at 1% Significance Level																		
271	Assuming Normal Distribution																		
272	95% Normal UCL																		
273	95% Student's-t UCL			95% UCLs (Adjusted for Skewness)															
274	95% CLT UCL			95% Adjusted-CLT UCL (Chen-1995)			9303												
275	95% Standard Bootstrap UCL			95% Modified-t UCL (Johnson-1978)			9396												
276	Nonparametric Distribution Free UCLs																		
277	95% Hall's Bootstrap UCL			95% BCA Bootstrap UCL			9234												
278	95% Percentile Bootstrap UCL			95% Bootstrap-t UCL			9424												
279	95% Chebyshev(Mean, Sd) UCL			95% Chebyshev(Mean, Sd) UCL			9205												
280	90% Chebyshev(Mean, Sd) UCL			99% Chebyshev(Mean, Sd) UCL			11312												
281	97.5% Chebyshev(Mean, Sd) UCL			99% Chebyshev(Mean, Sd) UCL			15573												
282	Suggested UCL to Use																		
283	Data appear Normal, May want to try Normal Distribution																		
284	Note: Suggestions regarding the selection of a 95% UCL are provided to help the user to select the most appropriate 95% UCL.																		
285	Recommendations are based upon data size, data distribution, and skewness using results from simulation studies.																		
286	However, simulations results will not cover all Real World data sets; for additional insight the user may want to consult a statistician.																		
287	Hierro																		
288	General Statistics																		
289	Total Number of Observations			10			Number of Distinct Observations			10									
290							Number of Missing Observations			0									
291	Minimum			8593			Mean			19640									
292	Maximum			29970			Median			21205									
293	SD			6427			Std. Error of Mean			2032									
294	Coefficient of Variation			0.327			Skewness			-0.3									
295	Mean of logged Data			9.827			SD of logged Data			0.378									
296	Nonparametric Distribution Free UCL Statistics																		
297	Data appear Normal Distributed at 1% Significance Level																		
298	Assuming Normal Distribution																		
299	95% Normal UCL			95% UCLs (Adjusted for Skewness)															
300	95% Student's-t UCL			23366			95% Adjusted-CLT UCL (Chen-1995)			22777									
301							95% Modified-t UCL (Johnson-1978)			23334									
302	Nonparametric Distribution Free UCLs																		
303	95% CLT UCL			22983			95% BCA Bootstrap UCL			22573									
304	95% Standard Bootstrap UCL			22809			95% Bootstrap-t UCL			22993									
305	95% Hall's Bootstrap UCL			22779			95% Percentile Bootstrap UCL			22734									
306	90% Chebyshev(Mean, Sd) UCL			25738			95% Chebyshev(Mean, Sd) UCL			28499									
307	97.5% Chebyshev(Mean, Sd) UCL			32333			99% Chebyshev(Mean, Sd) UCL			39863									
308	Suggested UCL to Use																		
309	Data appear Normal, May want to try Normal Distribution																		
310	Note: Suggestions regarding the selection of a 95% UCL are provided to help the user to select the most appropriate 95% UCL.																		
311	Recommendations are based upon data size, data distribution, and skewness using results from simulation studies.																		
312	However, simulations results will not cover all Real World data sets; for additional insight the user may want to consult a statistician.																		
313	Note: For highly negatively-skewed data, confidence limits (e.g., Chen, Johnson, Lognormal, and Gamma) may not be reliable. Chen's and Johnson's methods provide adjustments for positively skewed data sets.																		
314	324																		
315	325																		
316	326																		
317	327																		

## NIVEL DE REFERENCIA

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												
32												
33												
34												
35												
36												
37												
38												
39												
40												
41												
42												
43												
44												
45												
46												
47												
48												
49												
50												
51												
52												
53												
54												
55												
56												
57												
58												
59												
60												
61												
62												
63												
64												
65												
66												
67												

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L						
68				95% USL	2.3												
69	<p>Note: The use of USL tends to yield a conservative estimate of BTV, especially when the sample size starts exceeding 20. Therefore, one may use USL to estimate a BTV only when the data set represents a background data set free of outliers and consists of observations collected from clean unimpacted locations.</p>																
70	<p>The use of USL tends to provide a balance between false positives and false negatives provided the data represents a background data set and when many onsite observations need to be compared with the BTV.</p>																
71																	
72																	
73																	
74																	
75																	
76	<b>Cobre</b>																
77																	
78	<b>General Statistics</b>																
79																	
80	Total Number of Observations			10	Number of Distinct Observations			9									
81	Minimum			7.5	First Quartile			13.38									
82	Second Largest			22.5	Median			15.8									
83	Maximum			24.4	Third Quartile			19.9									
84	Mean			16	SD			5.724									
85	Coefficient of Variation			0.358	Skewness			-0.218									
86	Mean of logged Data			2.704	SD of logged Data			0.412									
87	<b>Critical Values for Background Threshold Values (BTVs)</b>																
88	Tolerance Factor K (For UTL)			2.911	d2max (for USL)			2.176									
89																	
90	<b>Nonparametric Distribution Free Background Statistics</b>																
91	Data appear Normal at 1% Significance Level																
92																	
93	<b>Nonparametric Upper Limits for Background Threshold Values</b>																
94	Order of Statistic, r			10	95% UTL with 95% Coverage			24.4									
95	Approx, f used to compute achieved CC			0.526	Approximate Actual Confidence Coefficient achieved by UTL			0.401									
96	Approximate Sample Size needed to achieve specified CC							59									
97	95% Percentile Bootstrap UTL with 95% Coverage			24.4	95% BCA Bootstrap UTL with 95% Coverage			24.4									
98	95% UPL			24.4	90% Percentile			22.69									
99	90% Chebyshev UPL			34.01	95% Percentile			23.55									
100	95% Chebyshev UPL			42.17	99% Percentile			24.23									
101	95% USL			24.4													
102																	
103	Note: The use of USL tends to yield a conservative estimate of BTV, especially when the sample size starts exceeding 20.																
104	Therefore, one may use USL to estimate a BTV only when the data set represents a background data set free of outliers																
105	and consists of observations collected from clean unimpacted locations.																
106	The use of USL tends to provide a balance between false positives and false negatives provided the data																
107	represents a background data set and when many onsite observations need to be compared with the BTV.																
108																	
109	<b>Cromo</b>																
110																	
111	<b>General Statistics</b>																
112	Total Number of Observations			10	Number of Distinct Observations			10									
113	Minimum			7.5	First Quartile			12.08									
114	Second Largest			20.8	Median			15									
115	Maximum			23.7	Third Quartile			17.88									
116	Mean			15.09	SD			5.006									
117	Coefficient of Variation			0.332	Skewness			0.223									
118	Mean of logged Data			2.661	SD of logged Data			0.353									
119																	
120	<b>Critical Values for Background Threshold Values (BTVs)</b>																
121	Tolerance Factor K (For UTL)			2.911	d2max (for USL)			2.176									
122																	
123	<b>Nonparametric Distribution Free Background Statistics</b>																
124	Data appear Normal at 1% Significance Level																
125																	
126	<b>Nonparametric Upper Limits for Background Threshold Values</b>																
127	Order of Statistic, r			10	95% UTL with 95% Coverage			23.7									
128	Approx, f used to compute achieved CC			0.526	Approximate Actual Confidence Coefficient achieved by UTL			0.401									
129	Approximate Sample Size needed to achieve specified CC							59									
130	95% Percentile Bootstrap UTL with 95% Coverage			23.7	95% BCA Bootstrap UTL with 95% Coverage			23.7									
131	95% UPL			23.7	90% Percentile			21.09									
132	90% Chebyshev UPL			30.84	95% Percentile			22.4									
133	95% Chebyshev UPL			37.98	99% Percentile			23.44									
134	95% USL			23.7													

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L																																
135	Note: The use of USL tends to yield a conservative estimate of BTV, especially when the sample size starts exceeding 20.																																										
136	Therefore, one may use USL to estimate a BTV only when the data set represents a background data set free of outliers																																										
137	and consists of observations collected from clean unimpacted locations.																																										
138	The use of USL tends to provide a balance between false positives and false negatives provided the data																																										
139	represents a background data set and when many onsite observations need to be compared with the BTV.																																										
140																																											
141																																											
142	<b>Mercurio</b>																																										
143																																											
144	<b>General Statistics</b>																																										
145	<table border="1"> <tr> <td>Total Number of Observations</td> <td>10</td> <td>Number of Distinct Observations</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Minimum</td> <td>0.011</td> <td>First Quartile</td> <td>0.0143</td> </tr> <tr> <td>Second Largest</td> <td>0.024</td> <td>Median</td> <td>0.017</td> </tr> <tr> <td>Maximum</td> <td>0.03</td> <td>Third Quartile</td> <td>0.0228</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>0.0186</td> <td>SD</td> <td>0.00597</td> </tr> <tr> <td>Coefficient of Variation</td> <td>0.321</td> <td>Skewness</td> <td>0.645</td> </tr> <tr> <td>Mean of logged Data</td> <td>-4.03</td> <td>SD of logged Data</td> <td>0.316</td> </tr> </table>											Total Number of Observations	10	Number of Distinct Observations	10	Minimum	0.011	First Quartile	0.0143	Second Largest	0.024	Median	0.017	Maximum	0.03	Third Quartile	0.0228	Mean	0.0186	SD	0.00597	Coefficient of Variation	0.321	Skewness	0.645	Mean of logged Data	-4.03	SD of logged Data	0.316				
Total Number of Observations	10	Number of Distinct Observations	10																																								
Minimum	0.011	First Quartile	0.0143																																								
Second Largest	0.024	Median	0.017																																								
Maximum	0.03	Third Quartile	0.0228																																								
Mean	0.0186	SD	0.00597																																								
Coefficient of Variation	0.321	Skewness	0.645																																								
Mean of logged Data	-4.03	SD of logged Data	0.316																																								
152																																											
153	<b>Critical Values for Background Threshold Values (BTVs)</b>																																										
154	<table border="1"> <tr> <td>Tolerance Factor K (For UTL)</td> <td>2.911</td> <td>d2max (for USL)</td> <td>2.176</td> </tr> </table>											Tolerance Factor K (For UTL)	2.911	d2max (for USL)	2.176																												
Tolerance Factor K (For UTL)	2.911	d2max (for USL)	2.176																																								
155																																											
156	<b>Nonparametric Distribution Free Background Statistics</b>																																										
157	Data appear Normal at 1% Significance Level																																										
158																																											
159	<b>Nonparametric Upper Limits for Background Threshold Values</b>																																										
160	<table border="1"> <tr> <td>Order of Statistic, r</td> <td>10</td> <td>95% UTL with 95% Coverage</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <td>Approx, f used to compute achieved CC</td> <td>0.526</td> <td>Approximate Actual Confidence Coefficient achieved by UTL</td> <td>0.401</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Approximate Sample Size needed to achieve specified CC</td> <td>59</td> </tr> <tr> <td>95% Percentile Bootstrap UTL with 95% Coverage</td> <td>0.03</td> <td>95% BCA Bootstrap UTL with 95% Coverage</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <td>95% UPL</td> <td>0.03</td> <td>90% Percentile</td> <td>0.0246</td> </tr> <tr> <td>90% Chebyshev UPL</td> <td>0.0374</td> <td>95% Percentile</td> <td>0.0273</td> </tr> <tr> <td>95% Chebyshev UPL</td> <td>0.0459</td> <td>99% Percentile</td> <td>0.0295</td> </tr> <tr> <td>95% USL</td> <td>0.03</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>											Order of Statistic, r	10	95% UTL with 95% Coverage	0.03	Approx, f used to compute achieved CC	0.526	Approximate Actual Confidence Coefficient achieved by UTL	0.401			Approximate Sample Size needed to achieve specified CC	59	95% Percentile Bootstrap UTL with 95% Coverage	0.03	95% BCA Bootstrap UTL with 95% Coverage	0.03	95% UPL	0.03	90% Percentile	0.0246	90% Chebyshev UPL	0.0374	95% Percentile	0.0273	95% Chebyshev UPL	0.0459	99% Percentile	0.0295	95% USL	0.03		
Order of Statistic, r	10	95% UTL with 95% Coverage	0.03																																								
Approx, f used to compute achieved CC	0.526	Approximate Actual Confidence Coefficient achieved by UTL	0.401																																								
		Approximate Sample Size needed to achieve specified CC	59																																								
95% Percentile Bootstrap UTL with 95% Coverage	0.03	95% BCA Bootstrap UTL with 95% Coverage	0.03																																								
95% UPL	0.03	90% Percentile	0.0246																																								
90% Chebyshev UPL	0.0374	95% Percentile	0.0273																																								
95% Chebyshev UPL	0.0459	99% Percentile	0.0295																																								
95% USL	0.03																																										
168																																											
169	Note: The use of USL tends to yield a conservative estimate of BTV, especially when the sample size starts exceeding 20.																																										
170	Therefore, one may use USL to estimate a BTV only when the data set represents a background data set free of outliers																																										
171	and consists of observations collected from clean unimpacted locations.																																										
172	The use of USL tends to provide a balance between false positives and false negatives provided the data																																										
173	represents a background data set and when many onsite observations need to be compared with the BTV.																																										
174																																											
175	<b>Plomo</b>																																										
176																																											
177	<b>General Statistics</b>																																										
178	<table border="1"> <tr> <td>Total Number of Observations</td> <td>10</td> <td>Number of Distinct Observations</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>Minimum</td> <td>9</td> <td>First Quartile</td> <td>9.25</td> </tr> <tr> <td>Second Largest</td> <td>14</td> <td>Median</td> <td>11.5</td> </tr> <tr> <td>Maximum</td> <td>17</td> <td>Third Quartile</td> <td>13.75</td> </tr> <tr> <td>Mean</td> <td>11.8</td> <td>SD</td> <td>2.7</td> </tr> <tr> <td>Coefficient of Variation</td> <td>0.229</td> <td>Skewness</td> <td>0.645</td> </tr> <tr> <td>Mean of logged Data</td> <td>2.445</td> <td>SD of logged Data</td> <td>0.223</td> </tr> </table>											Total Number of Observations	10	Number of Distinct Observations	7	Minimum	9	First Quartile	9.25	Second Largest	14	Median	11.5	Maximum	17	Third Quartile	13.75	Mean	11.8	SD	2.7	Coefficient of Variation	0.229	Skewness	0.645	Mean of logged Data	2.445	SD of logged Data	0.223				
Total Number of Observations	10	Number of Distinct Observations	7																																								
Minimum	9	First Quartile	9.25																																								
Second Largest	14	Median	11.5																																								
Maximum	17	Third Quartile	13.75																																								
Mean	11.8	SD	2.7																																								
Coefficient of Variation	0.229	Skewness	0.645																																								
Mean of logged Data	2.445	SD of logged Data	0.223																																								
185																																											
186	<b>Critical Values for Background Threshold Values (BTVs)</b>																																										
187	<table border="1"> <tr> <td>Tolerance Factor K (For UTL)</td> <td>2.911</td> <td>d2max (for USL)</td> <td>2.176</td> </tr> </table>											Tolerance Factor K (For UTL)	2.911	d2max (for USL)	2.176																												
Tolerance Factor K (For UTL)	2.911	d2max (for USL)	2.176																																								
188																																											
189	<b>Nonparametric Distribution Free Background Statistics</b>																																										
190	Data appear Normal at 1% Significance Level																																										
191																																											
192	<b>Nonparametric Upper Limits for Background Threshold Values</b>																																										
193	<table border="1"> <tr> <td>Order of Statistic, r</td> <td>10</td> <td>95% UTL with 95% Coverage</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td>Approx, f used to compute achieved CC</td> <td>0.526</td> <td>Approximate Actual Confidence Coefficient achieved by UTL</td> <td>0.401</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Approximate Sample Size needed to achieve specified CC</td> <td>59</td> </tr> <tr> <td>95% Percentile Bootstrap UTL with 95% Coverage</td> <td>17</td> <td>95% BCA Bootstrap UTL with 95% Coverage</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td>95% UPL</td> <td>17</td> <td>90% Percentile</td> <td>14.3</td> </tr> <tr> <td>90% Chebyshev UPL</td> <td>20.29</td> <td>95% Percentile</td> <td>15.65</td> </tr> <tr> <td>95% Chebyshev UPL</td> <td>24.14</td> <td>99% Percentile</td> <td>16.73</td> </tr> <tr> <td>95% USL</td> <td>17</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>											Order of Statistic, r	10	95% UTL with 95% Coverage	17	Approx, f used to compute achieved CC	0.526	Approximate Actual Confidence Coefficient achieved by UTL	0.401			Approximate Sample Size needed to achieve specified CC	59	95% Percentile Bootstrap UTL with 95% Coverage	17	95% BCA Bootstrap UTL with 95% Coverage	17	95% UPL	17	90% Percentile	14.3	90% Chebyshev UPL	20.29	95% Percentile	15.65	95% Chebyshev UPL	24.14	99% Percentile	16.73	95% USL	17		
Order of Statistic, r	10	95% UTL with 95% Coverage	17																																								
Approx, f used to compute achieved CC	0.526	Approximate Actual Confidence Coefficient achieved by UTL	0.401																																								
		Approximate Sample Size needed to achieve specified CC	59																																								
95% Percentile Bootstrap UTL with 95% Coverage	17	95% BCA Bootstrap UTL with 95% Coverage	17																																								
95% UPL	17	90% Percentile	14.3																																								
90% Chebyshev UPL	20.29	95% Percentile	15.65																																								
95% Chebyshev UPL	24.14	99% Percentile	16.73																																								
95% USL	17																																										
201																																											

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
202	Note: The use of USL tends to yield a conservative estimate of BTV, especially when the sample size starts exceeding 20.										
203	Therefore, one may use USL to estimate a BTV only when the data set represents a background data set free of outliers										
204	and consists of observations collected from clean unimpacted locations.										
205	The use of USL tends to provide a balance between false positives and false negatives provided the data										
206	represents a background data set and when many onsite observations need to be compared with the BTV.										
207											
208	Zinc										
209											
210	General Statistics										
211	Total Number of Observations										
212	Minimum										
213	Second Largest										
214	Maximum										
215	Mean										
216	Coefficient of Variation										
217	Mean of logged Data										
218											
219	Critical Values for Background Threshold Values (BTVs)										
220	Tolerance Factor K (For UTL)										
221	d2max (for USL)										
222	Nonparametric Distribution Free Background Statistics										
223	Data appear Normal at 1% Significance Level										
224											
225	Nonparametric Upper Limits for Background Threshold Values										
226	Order of Statistic, r										
227	95% UTL with 95% Coverage										
228	Approx, f used to compute achieved CC										
229	Approximate Actual Confidence Coefficient achieved by UTL										
230	Approximate Sample Size needed to achieve specified CC										
231	95% Percentile Bootstrap UTL with 95% Coverage										
232	95% UPL										
233	90% Chebyshev UPL										
234	95% Chebyshev UPL										
235	99% Chebyshev UPL										
236	95% USL										
237											
238	Note: The use of USL tends to yield a conservative estimate of BTV, especially when the sample size starts exceeding 20.										
239	Therefore, one may use USL to estimate a BTV only when the data set represents a background data set free of outliers										
240	and consists of observations collected from clean unimpacted locations.										
241	The use of USL tends to provide a balance between false positives and false negatives provided the data										
242	represents a background data set and when many onsite observations need to be compared with the BTV.										
243	Aluminio										
244	General Statistics										
245	Total Number of Observations										
246	Minimum										
247	Second Largest										
248	Maximum										
249	Mean										
250	Coefficient of Variation										
251	Mean of logged Data										
252											
253	Critical Values for Background Threshold Values (BTVs)										
254	Tolerance Factor K (For UTL)										
255	d2max (for USL)										
256											
257	Nonparametric Distribution Free Background Statistics										
258	Data appear Normal at 1% Significance Level										
259											
260	Nonparametric Upper Limits for Background Threshold Values										
261	Order of Statistic, r										
262	95% UPL										
263	95% BCA Bootstrap UTL with 95% Coverage										
264	90% Chebyshev UPL										
265	95% Chebyshev UPL										
266	99% Chebyshev UPL										
267	95% USL										
268											
	Note: The use of USL tends to yield a conservative estimate of BTV, especially when the sample size starts exceeding 20.										

269	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L							
Therefore, one may use USL to estimate a BTV only when the data set represents a background data set free of outliers																			
and consists of observations collected from clean unimpacted locations.																			
The use of USL tends to provide a balance between false positives and false negatives provided the data																			
represents a background data set and when many onsite observations need to be compared with the BTV.																			
273																			
274	Hierro																		
275																			
276	<b>General Statistics</b>																		
277	Total Number of Observations			10	Number of Distinct Observations			10											
278	Minimum			8593	First Quartile			15743											
279	Second Largest			25370	Median			21205											
280	Maximum			29970	Third Quartile			22708											
281	Mean			19640	SD			6427											
282	Coefficient of Variation			0.327	Skewness			-0.3											
283	Mean of logged Data			9.827	SD of logged Data			0.378											
284																			
285	<b>Critical Values for Background Threshold Values (BTVs)</b>																		
286	Tolerance Factor K (For UTL)			2.911	d2max (for USL)			2.176											
287																			
288	<b>Nonparametric Distribution Free Background Statistics</b>																		
289	Data appear Normal at 1% Significance Level																		
290																			
291	<b>Nonparametric Upper Limits for Background Threshold Values</b>																		
292	Order of Statistic, r			10	95% UTL with 95% Coverage			29970											
293	Approx, f used to compute achieved CC			0.526	Approximate Actual Confidence Coefficient achieved by UTL			0.401											
294					Approximate Sample Size needed to achieve specified CC			59											
295	95% Percentile Bootstrap UTL with 95% Coverage			29970	95% BCA Bootstrap UTL with 95% Coverage			29970											
296	95% UPL			29970	90% Percentile			25830											
297	90% Chebyshev UPL			39863	95% Percentile			27900											
298	95% Chebyshev UPL			49023	99% Percentile			29556											
299	95% USL			29970															
300																			
301	Note: The use of USL tends to yield a conservative estimate of BTV, especially when the sample size starts exceeding 20.																		
302	Therefore, one may use USL to estimate a BTV only when the data set represents a background data set free of outliers																		
303	and consists of observations collected from clean unimpacted locations.																		
304	The use of USL tends to provide a balance between false positives and false negatives provided the data																		
305	represents a background data set and when many onsite observations need to be compared with the BTV.																		
306																			