

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL



Tesis para optar el Grado Académico de Maestro en Ecología y Gestión
Ambiental.

Efecto de metales traza de los Ríos afluentes (Ramis, Coata e Ilave)
sobre la calidad de agua y sedimento del Lago Titicaca.

Autor: Bach. Alfaro Jaucha Jonathan Delio

Asesor: Dr. Tam Málaga, Jorge

LIMA-PERÚ

2021

PAGINA DEL JURADO

Miembros del jurado revisor:

- Presidente: Dra. Guísela Yabar Torres.
- Miembro: Dr. Rodrigo Arce Rojas.
- Miembro: Mg. Carlos Alfredo Ugarte Alván.

Asesor:

- Dr. Tam Málaga, Jorge.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mis queridos padres, Delio Alfaro Inocente y Zenaida Jaucha León, por haberme inculcado a superarme día a día, a mis hermanos Gisela, Denis, Mabel, Kevin y Jymmy que fueron para mí un ejemplo a seguir y finalmente a mi pareja Gaby, por haber estado a mi lado y mostrarme su apoyo incondicional durante la etapa de estos estudios.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme cumplir todas mis metas y objetivos guiándome por el mejor camino y darme los mejores padres.

A mis padres, que son mi inspiración y fuerza para seguir siempre adelante, y que con su esfuerzo y sacrificio me permitieron conseguir mis logros.

A mi asesor de tesis, Dr. Jorge Tam Málaga por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, así como también por su apoyo incondicional y consejos durante el desarrollo de la tesis.

A la universidad URP, por haberme permitido ser parte de ella, así también a los docentes que me brindaron sus conocimientos y apoyo para poder terminar la maestría.

INDICE DEL CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	iv
INDICE DEL CONTENIDO	v
LISTADO DE TABLAS	ix
LISTADO DE FIGURAS	xi
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. Descripción del problema.....	2
1.2. Formulación del problema.....	4
1.2.1. Problema General.....	4
1.2.2. Problemas específicos	4
1.2.2.1. Problema de Investigación Específico N° 1	4
1.2.2.2. Problema de Investigación Específico N° 2	4
1.2.2.3. Problema de Investigación Específico N° 3	4
1.3. Importancia y justificación del estudio.	4
1.4. Delimitación del estudio.....	8
1.5. Objetivos de la Investigación:	10
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	11
2.1. Marco histórico.....	11
2.1.1. Desarrollo Sostenible	11
2.1.2. Gestión Ambiental	13
2.1.3. Ética Ambiental	13
2.1.4. Sistema de Gestión Ambiental.....	14
2.1.5. Teoría de Contaminación del agua	15

2.1.6. Marco Legal	16
2.2. Investigaciones relacionadas con el tema:.....	16
2.2.1. Investigaciones nacionales	16
2.2.2. Investigaciones internacionales	21
2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio.....	29
2.3.1. Metales traza	29
2.3.2. Geoquímica de elementos traza	31
2.3.3. Calidad ambiental del agua y sedimento	31
2.3.4. Estándar de Calidad Ambiental:	33
2.4. Definición de términos básicos	34
2.4.1. Variable independiente:	34
2.4.2. Variable dependiente:	36
2.5. Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis	37
2.6. Hipótesis.....	38
2.6.1. Hipótesis General.....	38
2.6.2. Hipótesis Específicas	38
2.7. Variables.....	39
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO	40
3.1. Tipo, método y diseño de la investigación	40
3.2. Población y muestra	40
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	43
3.4. Descripción de procedimientos de análisis	43
3.4.1. Pruebas de Hipótesis	43
3.4.2. Otros análisis.....	44
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	45
4.1. RESULTADOS	45
4.1.1. Metales traza en aguas fluviales	48

4.1.2. Metales traza en aguas lacustres	53
4.1.3. Metales traza en sedimentos lacustres	61
4.1.4. Relaciones de metales traza entre aguas y sedimentos lacustres	67
4.1.5. Relaciones de metales entre aguas fluviales y aguas lacustres	71
4.1.6. Relaciones de metales entre sedimentos fluviales y sedimentos lacustres	75
4.1.7. Comparación de metales traza entre épocas de lluvia y estiaje	79
4.1.8. Gradientes en metales traza desde ríos afluentes al Lago Titicaca	92
4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS	94
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	100
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	103
ANEXOS.....	113
Anexo 1: Declaración de Autenticidad	113
Anexo 2: Autorización de consentimiento para realizar la investigación.	114
Anexo 3: Matriz de consistencia	115
Anexo 3.1: Concentración de metales en la Bahía Interior de Puno.	116
Anexo 3.2: Concentración de metales en la Bahía de Puno.	117
Anexo 3.3: Concentración de metales en el lago Mayor.	117
Anexo 3.4: Concentración de metales en la Bahía Interior de Puno.	118
Anexo 3.6: Concentración de metales traza en el lago Mayor.	119
Anexo 3.7: Concentración de metales en la bahía Interior de Puno.	119
Anexo 3.8: Concentración de metales en la bahía de Puno.	120
Anexo 3.9: Concentración de metales en el lago Mayor.	120
Anexo 3.10: Concentración de metales en la bahía Int. de Puno.	120
Anexo 3.11: Concentración de metales en la bahía de Puno.	121
Anexo 3.12: Concentración de metales en el lago Mayor.	121
Anexo 3.13: Concentración de metales en sedimentos.	122

Anexo 3.14: Concentración de metales en sedimentos.	123
Anexo 3.15: Concentración de metales en agua de ríos afluentes.....	124
Anexo 3.16: Concentración de metales en agua de ríos afluentes.....	124
Anexo 3.17: Concentración de metales en agua de ríos afluentes.....	125
Anexo 3.18: Concentración de metales en sedimento de ríos afluentes.....	125
Anexo 3.19: Concentración de metales en sedimento de ríos afluentes.	126
Anexo 3.20: Concentración de metales en épocas de lluvia.....	126
Anexo 3.21: Concentración de metales en épocas de estiaje.....	127
Anexo 4. Protocolos o Instrumentos utilizados.....	128
Anexo 4.1 Protocolo Nacional para el Monitoreo de Calidad de Recursos Hídricos Superficiales.....	128
Anexo 5. Formato de instrumentos o protocolos utilizados.....	129
Anexo 5.1: Ficha de registro de datos.	129
Anexo 5.2: Cadena de Custodia.....	130
Anexo 5.3: Aseguramiento de la calidad de muestreo	130

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Estándares de calidad ambiental (ECA) para agua.	39
Tabla 2. Normativa para sedimento.	39
Tabla 3. Estaciones de muestreo en el lago Titicaca.	41
Tabla 4. Estaciones de muestreo en desembocaduras de ríos afluentes.	43
Tabla 5. Pruebas de Normalidad en datos de agua superficial y sedimento.	45
Tabla 6. Descriptivos de concentración de Arsénico en aguas de ríos afluentes.	48
Tabla 7. Descriptivos de concentración de Aluminio en aguas de ríos afluentes.	49
Tabla 8. Descriptivos de concentración de Bario en aguas de ríos afluentes.	49
Tabla 9. Descriptivos de concentración de Manganeso en aguas de ríos afluentes.	50
Tabla 10. Prueba de Hipótesis para metales en ríos afluentes.	50
Tabla 11. Descriptivos para concentración de metales en agua.	54
Tabla 12. Prueba de Hipótesis para metales en aguas del Lago Titicaca.	55
Tabla 13. Descriptivos para concentración de metales en sedimento.	61
Tabla 14. Prueba de Hipótesis para Metales en Sedimento del Lago Titicaca.	62
Tabla 15. Correlación de As en agua y sedimento.	67
Tabla 16. Correlación de Al en agua y sedimento.	68
Tabla 17. Correlación de Ba en agua y sedimento.	69
Tabla 18. Correlación de Mn en agua y sedimento.	70
Tabla 19. Correlación de Arsénico en agua.	71
Tabla 20. Correlación de Aluminio en agua.	72
Tabla 21. Correlación de Bario en agua.	73
Tabla 22. Correlación de Manganeso en agua.	74

Tabla 23. Correlación de Arsénico en sedimento.	75
Tabla 24. Correlación de Aluminio en sedimento.....	76
Tabla 25. Correlación de Bario en sedimento.	77
Tabla 26. Correlación de Manganeso en sedimento.	78
Tabla 27. Descriptivos de concentración de metales en sedimento para épocas de lluvia y estiaje.....	79
Tabla 28. Análisis de varianza de la concentración de As en agua lacustre para épocas de lluvia y estiaje.....	80
Tabla 29. Análisis de varianza de la concentración de As en sedimento lacustre para épocas de lluvia y estiaje.....	81
Tabla 30. Análisis de varianza de la concentración de Al en agua lacustre para épocas de lluvia y estiaje.....	83
Tabla 31. Análisis de varianza de la concentración de Al en sedimento lacustre para épocas de lluvia y estiaje.....	84
Tabla 32. Análisis de varianza de la concentración de Ba en agua lacustre para épocas de lluvia y estiaje.....	86
Tabla 33. Análisis de varianza de la concentración de Ba en sedimento lacustre para épocas de lluvia y estiaje.....	87
Tabla 34. Análisis de varianza de la concentración de Mn en agua lacustre para épocas de lluvia y estiaje.....	89
Tabla 35. Análisis de varianza de la concentración de Mn en sedimento lacustre para épocas de lluvia y estiaje.....	90
Tabla 36. Comparación de Metales en el lago Titicaca con ambientes acuáticos del Mundo (ug/L)	95

Tabla 37. Comparación de metales en el lago Titicaca con estratos profundos de diferentes Lagos.	96
Tabla 38. Zonas afectadas por metales traza en agua y sedimento lacustre.....	99

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio y batimetría en el lago Titicaca.....	9
Figura 2. Arsénico	34
Figura 3. Aluminio	35
Figura 4. Bario.....	35
Figura 5. Manganeso	36
Figura 6. Relación entre variables.....	39
Figura 7. Mapa del lago Titicaca y estaciones de muestreo (puntos azules).	41
Figura 8. Graficas de Normalidad en aguas superficiales del Lago Titicaca.....	46
Figura 9. Graficas de Normalidad en sedimentos del Lago Titicaca.	46
Figura 10. Graficas de Normalidad en aguas fluviales del Lago Titicaca.	47
Figura 11. Graficas de Normalidad en sedimentos de ríos afluentes del Lago Titicaca.....	47
Figura 12. Comportamiento de Arsénico en agua (ríos)	51
Figura 13. Comportamiento de Aluminio en agua (Ríos).....	52
Figura 14. Comportamiento de Bario en agua (Ríos).	52
Figura 15. Comportamiento de Manganeso en agua (Ríos).....	53
Figura 16. Comportamiento de Arsénico (Lago-Ríos).....	55
Figura 17. Distribución horizontal de Arsénico en agua superficial: (a) 2013; (b) 2014; (c) 2015; (d) 2016.....	56
Figura 18. Comportamiento de Aluminio en agua (Lago-Ríos).	57
Figura 19. Distribución horizontal de Aluminio en agua superficial: (a) 2013; (b) 2014; (c) 2015; (d) 2016.....	57
Figura 20. Comportamiento de Bario en agua (Lago-Ríos).....	58
Figura 21. Distribución horizontal de Bario en agua superficial: (a) 2013; (b) 2014; (c) 2015; (d) 2016.....	59

Figura 22. Comportamiento de Manganeso en agua (Lago-Ríos).	60
Figura 23. Distribución de Manganeso en agua superficial: (a) 2013; (b) 2014; (c) 2015; (d) 2016.	61
Figura 24. Comportamiento de Arsénico en sedimento (Lago-Ríos).	63
Figura 25. Distribución horizontal de Arsénico en sedimento:(a) 2013; (b) 2014.	63
Figura 26. Comportamiento de Aluminio en sedimento (Lago-Ríos).	64
Figura 27. Distribución horizontal de Aluminio en sedimento: (a) 2013; (b) 2014.	64
Figura 28. Comportamiento de Bario en sedimento (Lago-Ríos).	65
Figura 29. Distribución horizontal de Bario en sedimento: (a) 2013; (b) 2014.	65
Figura 30. Comportamiento de Manganeso en sedimento (Lago-Ríos).	66
Figura 31. Distribución horizontal de Manganeso en sedimento: (a) 2013; (b) 2014.	66
Figura 32. Dispersión de Arsénico en agua y sedimento.	67
Figura 33. Dispersión de Aluminio en agua y sedimento.	68
Figura 34. Dispersión de Bario en agua y sedimento.	69
Figura 35. Dispersión Manganeso en agua y sedimento.	70
Figura 36. Dispersión de Arsénico en ríos y agua lacustre.	71
Figura 37. Dispersión de Aluminio en agua.	72
Figura 38. Dispersión de Bario en agua.	73
Figura 39. Dispersión de Manganeso en agua.	74
Figura 40. Dispersión de Arsénico en sedimento.	75
Figura 41. Dispersión de Aluminio en sedimento.	76
Figura 42. Dispersión de Bario en sedimento.	77
Figura 43. Dispersión de Manganeso en sedimento.	78
Figura 44. Comportamiento de Arsénico en agua (épocas de lluvia-estiaje).	80
Figura 45. Distribución horizontal de Arsénico en agua: (a) lluvia; (b) estiaje.	81
Figura 46. Comportamiento de Arsénico en sedimento (épocas de lluvia-estiaje).	82
Figura 47. Distribución horizontal de Arsénico en sedimento: (a) lluvia; (b) estiaje.	82
Figura 48. Comportamiento de Aluminio en agua (épocas de lluvia-estiaje).	83
Figura 49. Distribución horizontal de Aluminio en agua: (a) lluvia; (b) estiaje.	84
Figura 50. Comportamiento de Aluminio en sedimento (épocas de lluvia - estiaje).	85

Figura 51. Distribución horizontal de Aluminio en sedimento: (a) lluvia; (b) estiaje. Fuente: Elaboración propia.	85
Figura 52. Comportamiento de Bario en agua (épocas de lluvia - estiaje).	86
Figura 53. Distribución de horizontal de Bario en agua: (a) lluvia; (b) estiaje.	87
Figura 54. Comportamiento de Bario en sedimento (épocas de lluvia-estiaje).	88
Figura 55. Distribución horizontal de Bario en sedimento: (a) lluvia;(b) estiaje. Fuente: Elaboración propia.	88
Figura 56. Comportamiento de Manganeso en agua (épocas de lluvia - estiaje)....	89
Figura 57. Distribución horizontal de Manganeso en agua: (a) lluvia; (b) estiaje. .	90
Figura 58. Comportamiento de Manganeso en sedimento (épocas de lluvia - estiaje).	91
Figura 59. Distribución horizontal de Manganeso en sedimento: (a) lluvia; (b) estiaje.....	91
Figura 60. Concentración de Arsénico en diferentes secciones del río: arriba, medio, abajo, desembocadura y lago.	92
Figura 61. Concentración de Aluminio en diferentes secciones del río: arriba, medio, abajo, desembocadura y lago.	93
Figura 62. Concentración de Bario en diferentes secciones del río: arriba, medio, abajo, desembocadura y lago.	93
Figura 63. Concentración de Manganeso en diferentes secciones del río: arriba, medio, abajo, desembocadura y lago.	94

RESUMEN

El lago Titicaca ubicada en la provincia de Puno, es un sistema acuático donde los metales traza pueden estar presente de manera natural y/o antrópica en matrices de agua y sedimento. Sin embargo, la presencia de ríos afluentes (Ramis, Coata e Ilave) que desembocan en el Lago Titicaca son un medio de transporte de estos metales traza (As, Al, Ba, Mn). El objetivo de este estudio fue evaluar si las concentraciones de metales traza en los ríos afluentes tiene un efecto negativo en la calidad ambiental de agua y sedimento dentro del lago.

Los datos de concentración de metales en matriz agua de los años 2013-2016 (Autoridad Nacional del Agua – ANA) fueron evaluados en base a los estándares de calidad ambiental (Decreto Supremo N°004-2017- Ministerio del Ambiente). Por otro lado, la concentración de metales en matriz sedimento lacustre de los años 2013-2014, se evaluó mediante la norma de calidad de sedimento lacustre emitida por la agencia de protección ambiental US EPA para matriz sedimento.

Se determinó la existencia de una relación estadísticamente significativa ($p < 0.05$) de metales traza en: agua y sedimento lacustre, agua fluvial y lacustre, y sedimento fluvial y lacustre. Asimismo, se comparó la concentración de metales traza durante el año 2014 en diferentes épocas (lluvia-estiaje) encontrándose diferencias significativas para la mayoría de los metales traza (As, Al, Mn) en matriz agua. Sin embargo, en matriz sedimento no se existió una diferencia de concentración de metales traza para dichas épocas. Finalmente se determinó la relación grafica entre los metales en agua y sedimento del lago Titicaca y las desembocaduras de los ríos afluentes.

Palabras clave: Metales traza (MT), Arsénico, Aluminio, Bario, Manganeso, Afluentes, Calidad de agua y sedimento.

ABSTRACT

Lake Titicaca located in the province to Puno, is an aquatic system where trace metals maybe present naturally and / or anthropically in water and sediment matrices. However, the presence of tributary rivers (Ramis, Coata and Ilave) that flow into Lake Titicaca are a means of transporting these trace metals (As, Al, Ba, Mn). The objective of this study is to evaluate if the concentrations of trace metals in the affluent rivers have a negative effect on the environmental quality of water and sediment within the lake.

The metal concentration data in the water matrix for the years 2013-2016 (National Water Authority - ANA) were evaluated based on environmental quality standards (Supreme Decree No. 004-2017- Ministry of the Environment). On the other hand, the concentration of metals in the lake sediment matrix for the years 2013-2014 was evaluated using the lake sediment quality standard issued by the US EPA environmental protection agency for the sediment matrix.

The existence of a statistically significant relationship ($p < 0.05$) of trace metals was determined in water and lake sediment, river and lake water, and river and lake sediment. Also, the concentration of trace metals was compared in 2014 at different times (rain-dry season), finding significant differences for most of the trace metals (As, Al, Mn) in the water matrix. However, in the sediment matrix there was no difference in the concentration of trace metals for these periods. Finally, the graphic relationship between the metals in the water and the sediment of Lake Titicaca and the mouths of the tributary rivers was determined.

Keywords: Trace of metals, Arsenic, Aluminum, Barium, Manganese, Affluent, quality waters and sediment.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población en los alrededores del área del lago Titicaca y las actividades relacionadas a ella generan incertidumbre en el comportamiento del sistema hídrico en términos de contaminación. Sin embargo, muchos de estos contaminantes pueden ser causados de manera antropógena, así como también pueden estar presentes de manera natural.

En el capítulo I, se describe las consecuencias ambientales que podría tener el lago Titicaca debido a la presencia de metales traza en sus ríos afluentes para matrices agua superficial y sedimento. Si bien es cierto que algunos metales son esenciales para los seres vivos, existe una gran probabilidad de riesgo si estos están presentes en niveles superiores (García et. al., 2012), también se describe la importancia y justificación por las cuales se llevó a cabo la investigación.

El capítulo II, menciona el marco teórico de todo el estudio, lo cual describe el marco histórico de como evolucionaron las teorías, investigaciones que fueron relacionadas con el tema en donde se abordaron estudios nacionales e internacionales relacionando la problemática de la contaminación por metales traza, la estructura teórica y científica, la definición de los términos básicos usados, y los fundamentos teóricos que sustentaron las hipótesis general y específica.

El capítulo III, explica el método, tipo y diseño que se realizó en el estudio, también se describe la población, muestra y la descripción del procedimiento de análisis que se realizaron como la metodología de análisis que se aplicó para la determinación de metales traza en muestras de agua y sedimento. Asimismo, se describe las pruebas de hipótesis que se realizaron en el capítulo IV.

Finalmente, el capítulo IV, describe los resultados y análisis estadístico de las concentraciones de metales traza contenidos en el lago Titicaca y sus ríos afluentes, en matrices agua superficial y sedimento lacustre, así como también el contraste de similitud y diferencias de estos resultados con respecto a otros autores.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

El Perú es uno de los países con más recursos hídricos, cuenta con 159 unidades hidrográficas (Pacífico 62 cuencas, Amazonas 84 cuencas y el Titicaca 134 cuencas), y con 53 unidades hidrográficas transfronterizas (ANA, 2012). Así mismo, la disminución progresiva de la calidad de agua es un problema que se va manifestando cada vez más en el país, ya que conforman un impedimento para lograr el uso óptimo de este recurso lo que comprende el abastecimiento tanto en calidad como en cantidad, y por ende la salud de las personas, las actividades pecuarias, agrícolas y la conservación del ambiente (Sevilla, 2013, p.73).

Tal es el caso de la bahía interior del lago Titicaca, es un problema que tiene más de 40 años, generado por los vertimientos de aguas residuales municipales, crudas y deficientemente tratadas en las lagunas de oxidación; así como la constante presión antropogénicas de los drenajes pluviales provenientes de la microcuenca que rodea la ciudad de Puno, cada año el periodo de lluvias arrastra sedimentos y residuos sólidos, que termina en el cuerpo de agua (ANA, 2013).

Las diferentes actividades (minería, agricultura, ganadería, la pesca artesanal, turismo, piscicultura, transporte lacustre) llevadas a cabo en los alrededores de la zona o cercanas a los ríos afluentes al lago Titicaca constituyen un factor importante de la contaminación por metales pesados. “Los desechos domésticos, agrícolas e industriales constituyen también fuentes principales de contaminación por metales pesados en los cuerpos de agua” (Castro y Valdés, 2012) citado en (María et al., 2015, p.61).

Diversos metales en concentraciones diferentes son liberados al ambiente y llegan a los sistemas acuáticos a través de descargas directas a los ríos, puesto que las plantas de tratamiento (PTAR) del departamento de Puno no tienen la capacidad depuradora eficiente para una población con una densidad aproximada de 26.01 hab./km² (Instituto Nacional de Estadística e Informática,

2017). Los ríos constituyen una de las principales vías de transporte de metales a las zonas costeras, al ser transportados en el arrastre de materiales desde la cuenca media y alta (J. Zhang et al., 1992) citado en (María et al., 2015, p.62).

Las consecuencias de la bioacumulación de metales trazan tienen un efecto significativo de manera directa o indirecta a la calidad de agua y sedimento lacustre en el lago Titicaca. La utilización del agua contaminada por metales pesados como el Arsénico puede causar cáncer y lesiones cutáneas, así como también la muerte en varias especies y microorganismos que radican dentro del Lago por ser extremadamente tóxicos. (Nordberg, 2002 p.63).

La permanencia y tendencia de acumulación de metales traza en el agua y sedimento generan un alto riesgo para la vida acuática dentro del lago Titicaca pudiendo afectar directa o indirectamente a los organismos del medio lacustre. Las fuentes contaminantes afluentes al lago Titicaca son un indicador por la cual podría existir metales traza en el medio lacustre. “Los aportes de metales traza pueden transferirse a través de la trama trófica a los peces, a otros animales piscívoros y al hombre, e involucrar por lo tanto aspectos sanitarios y de preservación ambiental” (Marshall & Mellinger, 1980, p. 37).

El costo en términos económicos sería impredecible e incalculable para una posible recuperación y accesibilidad de los recursos hídricos en un determinado tiempo una vez que se encuentren afectados o impactados (Shortle, 2013) citado en (Moreno et al., 2017). Asimismo, la recuperación de un sistema contaminado es a largo plazo y muchas veces es imprescindible el acceso a una alta tecnología con la cual no se cuenta.

La poca información y sensibilización con el medio ambiente, así como también la no formalización de algunas actividades económicas y aumento demográfico en el departamento de Puno es un factor determinante que afecta la contaminación Archundia et. al., (2017) citado en Moreno et al.,(2018) menciona que la expansión urbana descontrolada aumenta la contaminación de la cuenca del lago Titicaca afectando las aguas superficiales y sedimento lacustre.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿De qué manera la presencia de metales traza (Arsénico, Aluminio, Bario y Manganeso) en ríos afluentes afecta la calidad ambiental de agua superficial y sedimento del lago Titicaca?

1.2.2. Problemas específicos

1.2.2.1. Problema de Investigación Específico N° 1

¿Qué niveles de Arsénico, Aluminio, Bario y Manganeso presenta la calidad de agua y sedimento de los ríos afluentes (Ramis, Coata e Ilave) y el lago Titicaca?

1.2.2.2. Problema de Investigación Específico N° 2

¿Qué relaciones existen en las concentraciones de Arsénico, Aluminio, Bario y Manganeso entre las aguas y sedimentos lacustres; entre aguas fluviales y aguas lacustres; y entre sedimentos fluviales y sedimentos lacustres?

1.2.2.3. Problema de Investigación Específico N° 3

¿Qué diferencias hay entre los metales traza (Arsénico, Aluminio, Bario y Manganeso) del agua y sedimento del lago Titicaca en época de estiaje y en época de lluvia?

1.3. Importancia y justificación del estudio.

1.3.1. Importancia Científica: La evaluación de metales traza es un parámetro de calidad ambiental muy importante ya que son perjudiciales para la salud.

En diferentes matrices como agua y sedimentos involucra una necesidad muy importante ya que los últimos años la contaminación por metales pesados ha sido un fuerte problema debido a que estos presentan una elevada toxicidad, alta persistencia y rápida acumulación por los organismos vivos. (Castañé, 2013, p.8)

Asimismo, no solo existen fuentes naturales de contaminación, ya que las actividades antropogénicas también son un factor muy importante en la contaminación. “Las actividades humanas, como los desechos domésticos, agrícolas e industriales entre otros, constituyen las fuentes principales de contaminación del medio ambiente por metales pesados en los cuerpos de agua” (Castro y Valdés, 2012, p.40). La contaminación por metales también se da en diferentes matices como en sedimentos y organismos vivos por lo que la cadena alimentaria es una vía fácil por la cual estos metales suelen transmitirse de una manera simultánea a otros sistemas vivos causando problemas de toxicidad.

1.3.2. Importancia Metodológica: La metodología para la determinación de metales traza por espectrometría se dan mediante métodos de análisis implementados (EPA 200.8, 1994) lo cual determina concentraciones de estos metales a nivel traza (<1 ppm). La evaluación de los metales Arsénico (As) y Bario (Ba) se realizó mediante las normas de calidad ambiental (ECA), Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, sub categoría E1: Lagunas y lagos (MINAM, 2017); para el caso de los elementos Aluminio (Al) y Manganeseo (Mn), no existen valores referenciales en la categoría lagos y lagunas, por tal motivo se tomará como punto de referencia el ECA, categoría 1: Poblacional y Recreacional, sub categoría B1: Aguas superficiales destinadas para recreación (contacto primario).

Para el caso de sedimento lacustre, no existen normas de calidad ambiental nacional, lo cual implica un problema ya que el Perú posee diversos lagos y lagunas en todas sus regiones y por tal motivo que será necesario usar una norma internacional (US EPA).

1.3.3. Importancia empírica: Los resultados de la investigación permitirán obtener datos como línea base para abrir líneas de investigación relacionados a los diferentes metales que pudieran existir dentro del lago Titicaca y que aún somos ajenos a los peligros que estos podrían causar. Asimismo, podría elaborarse una norma nacional lo cual establezca los estándares de calidad ambiental en sedimento lacustre, ya que no existe

una norma nacional para la evaluación de sedimentos en lagos y lagunas. De superarse los ECA en aquellos parámetros asociados a las actividades productivas, extractivas y de servicios, las personas naturales y jurídicas a cargo de estas deben realizar acciones de evaluación y, de ser el caso, ejecutar acciones de remediación de sitios contaminados, con la finalidad de proteger la salud de las personas y el ambiente (D.S. N° 004-2017 - MINAM, 2017).

1.3.4. Importancia ambiental: El Lago Titicaca está incluido en la lista de humedales de importancia internacional después de la Convención de Humedales Ramsar en 1971, debido a que presenta una importante biodiversidad en flora y fauna acuática (Costantini et al. 2004) citado en (Terrazas et al., 2017). Sin embargo, la contaminación de los ecosistemas acuáticos lénticos representa uno de los principales problemas ambientales a resolver (Samantray et al. 2009) citado en (Terrazas et al., 2017) debido a que afecta la biodiversidad endémica, donde tal situación en sinergia con otras variables ambientales como las meteorológicas, pueden ocasionar efectos adversos como por ejemplo; la mortandad masiva de peces en el Lago Titicaca dado efectos de remoción de ecotoxicidad local (Pérez, 2015).

1.3.5. Importancia socioeconómica: Un buen manejo ambiental garantiza la salud de la población, el incremento del turismo, desarrollo económico sostenible etc. Al usar tecnologías más limpias se obtienen beneficios económicos para las personas y empresas que a su vez benefician al medio ambiente (Rojas, 2015). Por ello la relación del posible efecto de la carga contaminante con la base económica de miles de pobladores asentados en sus alrededores que se dedican a la pesca artesanal, fuente de forraje para ganado (totora y llachu), agricultura, fuente para agua potable, recursos turísticos van relacionados directamente con la gestión del manejo ambiental del lago Titicaca. La falta de políticas gubernamentales que favorezcan la equidad, mayor inversión en planes de economía verde y de transferencia de tecnologías más limpias, han retardado el progreso en materia de desarrollo sostenible (Rojas, 2015).

1.3.6. Justificación del estudio: El presente estudio responde a las tendencias actuales en temas ambientales de contaminación de la calidad de agua y sedimento en el lago Titicaca lo cual con lleva a un análisis de los impactos ambientales que pudieran existir a raíz de causas antropogénicas y no antropogénicas a través de sus ríos afluentes. “Las condiciones ambientales en el entorno de los sistemas de tratamiento y disposición final se encuentran en buenas condiciones: 6 (23,1 %), regular 18 (69,2 %) y malas 2 (7,7 %); el uso de tecnologías para el cumplimiento de los requerimientos y reúso son adecuadas en 13 (50 %) de sistemas de tratamiento y el restos son incapaces de tratar eficientemente, por las características y la capacidad de los sistemas de tratamiento, donde influye un diseño inapropiado” (Programa Nacional de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – Proyecto PNUMA) citado en (MINAM, 2013).

Asimismo, la magnitud y la importancia de esta investigación sobre una de las cuencas más importantes del continente es por la existencia de los problemas ambientales dentro de la región de Puno muchas veces ocasionados por malas prácticas de manejo de los recursos naturales, las actividades como minería informal, “La informalidad de la minería es uno de los problemas ambientales que enfrenta la cuenca del Lago Titicaca, la descarga descontrolada de grandes cantidades de relaves directamente a los ríos es practicada en operaciones mineras informales, cuya evacuación se realizan a los ríos de la cuenca del Lago Titicaca” (Dirección Regional de Energía y Minas DREM Puno, 2012) citado en (MINAM, 2013)

El Lago Titicaca, al ser el colector de todas las aguas provenientes de los ríos como Ramis, Ilave y Coata, las cuales son los ríos que más aportan en caudal al Lago Titicaca mencionan que en la estación lluviosa proporciona más o menos un 70% de aporte al lago a través de las lluvias anuales.(IMARPE, 2013).

La determinación de las concentraciones naturales y de los aportes de metales pesados permite evaluar el nivel en que se encuentra afectada una zona determinada. Para este propósito es indispensable analizar tanto el agua como los sedimentos (Villanueva & Botello, 1992). Por lo que con esta investigación, se pretende evaluar si la presencia de metales traza (As, Al, Ba, Mn) en ríos afluentes tiene un efecto significativo en la calidad de agua superficial y el sedimento lacustre del lago Titicaca con respecto a los estándares de calidad ambiental (ECA y US EPA) en base a sus categorías determinadas. Asimismo, se desea determinar si existe una relación de metales traza contenidos en agua y sedimento lacustre, agua fluvial y agua lacustre, y por último, sedimento de río y lacustre.

Finalmente nos permitirá conocer si existe una variación de concentración de metales traza en diferentes épocas (lluvia-estiaje) para un mismo año (2014) en matrices agua y sedimento dentro del Lago Titicaca. Esta evaluación servirá como un referente teórico, para la realización de futuras investigaciones con objetivos similares.

1.4. Delimitación del estudio

El área de estudio abarca la superficie del lago Titicaca, con una superficie de 8400 km², de los cuales el 55% corresponde a la República de Perú y el 45% a la República de Bolivia y un volumen aproximado de 930 km³, constituye uno de los cuerpos de agua dulce más importantes del altiplano peruano, así mismo es uno de los ecosistemas más frágiles desde el punto de vista ambiental, el único en el mundo por su ubicación geográfica (15°13'19"-16°35'37"S; 68°33'36"-70°02'13"W) y su altitud media de 3810 m.s.n.m., con longitud máxima de 195 km, 285 metros de profundidad máxima y una anchura media de 50 km (ANA, 2014). Está incluido en la lista de humedales de importancia internacional después de la Convención de Humedales Ramsar en 1971, pues presenta una biodiversidad tanto en flora como fauna acuática de importancia (Costantini et al., 2004).

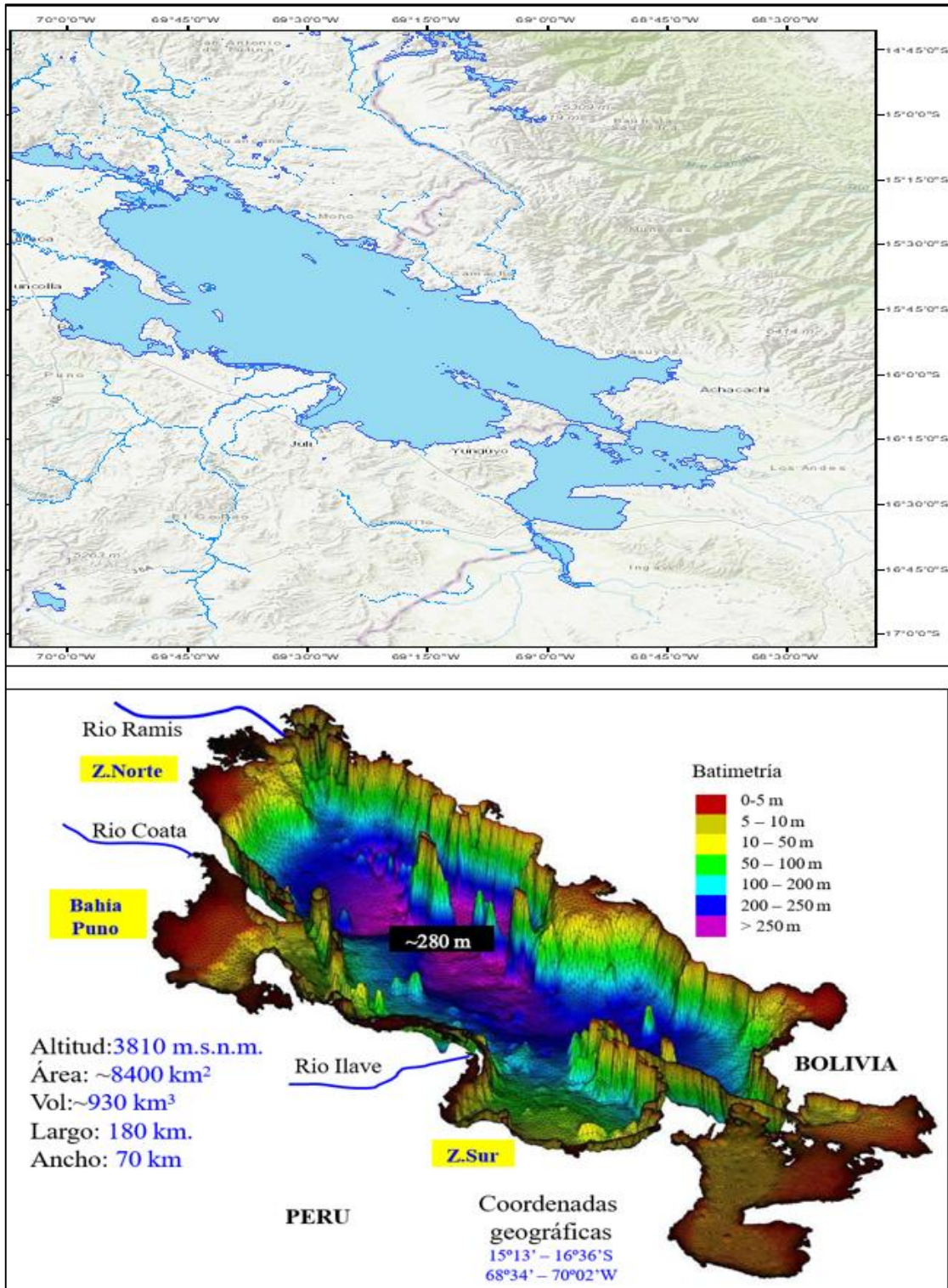


Figura 1. Área de estudio y batimetría en el lago Titicaca.

Fuente: IMARPE, 2017.

1.4.1. Alcance

- La investigación se limita al estudio de metales traza en matriz agua y sedimento dentro del lago Titicaca y de los ríos afluentes, no comprende el estudio de metales en organismos.
- De otro lado, el estudio se limita al análisis de cuatro metales a nivel traza (Arsénico, Aluminio, Bario y Manganeso).

1.5. Objetivos de la Investigación:

1.5.1. Objetivo General

Evaluar si la presencia de metales traza (Arsénico, aluminio Bario y Manganeso) en ríos afluentes tiene un efecto negativo en la calidad ambiental de las aguas superficiales y sedimentos del lago Titicaca.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Comparar la concentración de Arsénico, Aluminio, Bario y Manganeso en los ríos afluentes (Ramis, Coata e Ilave) y el lago Titicaca frente a los estándares de calidad ambiental de agua y sedimento lacustre.
- Determinar la relación de las concentraciones de Arsénico, Aluminio, Bario y Manganeso entre el agua y sedimento lacustre; entre agua fluvial y agua lacustre; y entre sedimento de río y sedimento lacustre.
- Determinar las diferencias entre las concentraciones de metales traza (As, Al, Ba, y Mn) en agua y sedimento del lago Titicaca en épocas de lluvia y estiaje.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Marco histórico

La bahía interior de Puno es una rea de contaminación por su alto contenido de materia orgánica, coliformes, presencia de residuos sólidos, derivadas de las descargas de las aguas negras de la ciudad (GOBIERNO REGIONAL PUNO, 2008). A raíz de los intentos de la industrialización la contaminación del agua surgió como resultado de los crecientes problemas ambientales y de los límites impuestos por la naturaleza a la explotación y crecimiento económico descontrolado. “Esta preocupación por el medio ambiente se agrega a un debate mucho más antiguo y siempre actual referente a la forma excluyente y concentrada, social y espacialmente, de la acumulación del capital a nivel mundial.” (Cardoso y Faletto, 1975, p.693)

Asimismo, el incremento de los bienes de consumo y sus procesos de producción requerían del uso de un gran volumen de agua para la transformación de las materias primas. A su vez, los residuos de la mayoría de dichos procesos productivos eran vertidos a manera de efluentes a los cauces naturales de agua sin ningún tipo de depuración.

2.1.1. Desarrollo Sostenible

El desarrollo como proyecto fue formulado inicialmente en Estados Unidos y Europa durante los años posteriores a la Segunda Guerra Mundial, y a partir de ello fue aceptado por los gobernantes del Tercer mundo (Rojas, 2015, p.6). Por ende, el concepto de desarrollo sostenible nació de un proceso histórico en el cual, tanto la sociedad, como los políticos, tomaron conciencia de que algo falló en la operatividad del modelo económico actual (Bustillo & Martínez, 2008), citado en (Rojas, 2015, p.11).

El desarrollo sostenible puede definirse como el desarrollo que satisface las necesidades actuales sin afectar a las futuras generaciones,

asegurando el equilibrio entre el crecimiento económico, cuidado del medio ambiente y el bienestar social (ONU, 1987).

Los objetivos a nivel mundial realizados por las naciones unidas para un desarrollo sostenible se basan en resolver los grandes desafíos a los que se enfrenta la humanidad y garantizar que todas las personas tengan las mismas oportunidades y puedan llevar una vida mejor sin comprometer nuestro planeta “ Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) ofrecen una visión de un mundo más justo, más próspero, pacífico y sostenible, en el que nadie es dejado atrás” (FAO, 2018).

Respecto a todos estos aspectos se produjo un cambio de manera determinada a nivel internacional. La primera cumbre de la tierra, llevada a cabo en Rio de Janeiro, Brasil 1992, que tuvo como objetivo dar a conocer el concepto de desarrollo sostenible y dio paso a un conjunto de acuerdos internacionales llamados a enfrentar varios de los problemas ambientales.

El desarrollo sostenible tiene diferentes enfoques e interpretaciones, “...dentro de las interpretaciones incorrectas se encuentran quienes consideran que sostenible significa que se puede mantener ilimitadamente un crecimiento económico en el tiempo.”(Lutz, Zieschank, & Drosdowski, 2017, p.5)

Algunos mantienen el hecho de que los recursos naturales como el suelo y agua van a permanecer de forma limitada en un país o una región específica y piensan que la tecnología puede superar estos obstáculos. Rojas (2015) afirma:

La economía verde o economía ecológica plantea que el camino que conduce al desarrollo sostenible es mediante nuevas estrategias y acciones las cuales permitan preservar las condiciones medioambientales más favorables para esta y las futuras generaciones, garantizando también la satisfacción de las necesidades indispensables para la continuidad de la vida de los humanos, tales como el suministro constante de alimentos, agua potable y energía más limpia. (p.12)

Sin embargo, se necesitan que estas mismas tecnologías sean limpias y ayuden a conservar el medio ambiente mediante el uso óptimo y canalización de sus recursos.

2.1.2. Gestión Ambiental

La gestión ambiental puede conceptualizarse como el manejo óptimo de las actividades humanas relacionadas al medio ambiente en base a la prevención, mitigación y solución de los problemas ambientales. Asimismo, la participación intensa de las instituciones del estado y la población determinarían una alta eficiencia en la gestión.

Todos los sistemas de producción, procesos o servicios poseen un ciclo de vida (...), este ciclo de vida, que está compuesto por varios subsistemas conectados entre sí en forma de flujo progresivo; se inicia con la adquisición de las materias primas, pasando por otros subprocesos intermedios, hasta llegar al final de su vida útil cuando son llevados a vertedero. (Moreno & Espí, 2008, p. 15)

Un manejo adecuado de materias primas al inicio y al final de su vida útil dentro de cualquier tipo de procesos en diversos sectores económicos implica que exista una coordinación y compromiso entre la sociedad y las instituciones del estado lo cual en efecto permitirá obtener una buena gestión ambiental. Corwin & Bradford, (2008) refiere que las preocupaciones para muchas de las sociedades implican conocer el costo ambiental que podría causar la contaminación de los recursos hídricos, ya que la calidad no solo es referida a la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos sino también otros parámetros como los de metales traza.

2.1.3. Ética Ambiental

La ética ambiental vista desde el punto filosófico considera la relación humana y medioambiente en el cual se encarga especialmente de equilibrar que las acciones antropogénicas no afecten de manera

significativa el desarrollo del medio ambiente. “La ética medioambiental es una ética aplicada que reflexiona sobre los fundamentos de los deberes y responsabilidades del ser humano con la naturaleza, los seres vivos y las generaciones futuras”(L. Urzúa, 2013, p.177).

El no tener una adecuada responsabilidad y concientización sobre el uso óptimo y adecuado del medio ambiente despliega un accionar de no respeto por el medio ambiente generando muchos problemas ambientales de contaminación.

Lecaros Urzúa (2013) afirma: Pasar de una sociedad que solo comprende los intereses presentes a una sociedad planetaria que comprende los intereses de los seres humanos futuros, esto es, orientada hacia una justicia intergeneracional basada en el principio de responsabilidad por las generaciones futuras. (p.187)

La educación y orientación a las sociedades sobre el uso adecuado y óptimo de los recursos naturales y el buen manejo del medio ambiente conlleva a una sociedad más consiente con el medio ambiente, lo cual, ello implica pensar en las generaciones futuras que garantiza proteger el planeta mediante el equilibrio entre el crecimiento económico, el cuidado del medio ambiente y el bienestar social.

2.1.4. Sistema de Gestión Ambiental

Los Sistemas de Gestión Ambiental se ha definido como un conjunto de elementos interrelacionados entre sí que funcionan juntos para lograr el objetivo de administrar efectiva y eficientemente aquellas actividades, productos y servicios de una organización, los cuales, tienen y/o pueden tener un impacto sobre el ambiente (Constanza, 2009, p.69).

Según Boada (2003) citado en (Constanza, 2009, p.69) una definición de mejor aproximación de lo que es un sistema de gestión ambiental implica un proceso sistemático que tiene como objetivo general, la mejora continua de la actuación ambiental empresarial, la cual deberá basarse en la aplicación y cumplimiento de una política y unos objetivos

ambientales, teniendo como base el cumplimiento de la legislación local vigente..

Las normas de gestión de la calidad son preparadas por los cuerpos de estandarización a nivel nacional e internacional, como el British Standard Institution (BSI) en el Reino Unido, European Comité for standardization (CEN), Internacional Electrotechnical comisión (IEC), Internacional Telecommunications Union (ITU); Internacional Organization for Standardization (ISO), entre otros (Constanza, 2009, p.69).

El ente rector y máxima autoridad técnico y normativa del sistema nacional para la calidad es el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) el cual es un organismo público técnico especializado adscrito al Ministerio de la Producción.

2.1.5. Teoría de Contaminación del agua

La contaminación del agua consiste en la alteración de las propiedades de la calidad de agua, muchas veces provocada por el hombre (actividades antropogénicas) haciéndola impropia o dañina para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca y las actividades recreativas, así como para los animales domésticos y la vida natural. Tulonen, Pihlström, Arvola, & Rask (2006) precisan:

Las prácticas agrícolas entre otros pueden incrementar la carga de metales pesados en los ecosistemas acuáticos o alterar sus ciclos naturales al producir concentraciones elevadas en algún compartimento particular (...), por ejemplo, el arsénico puede constituirse en un serio riesgo para la salud en aquellos sistemas donde se recicla el agua. (p.11)

Muchas de estas actividades no se manejan de una manera adecuada y controlada lo cual hace que la población indirectamente contamine su medio de vida, también se debe de tener en cuenta que algunos lugares en la región del lago Titicaca de por si son zonas mineralógicas lo cual los metales pueden estar presentes de manera natural o por erosión.

2.1.6. Marco Legal

Ley N° 28611, Ley General Del Ambiente aprobado con D.S N°004-2017-MINAM define como Estándar de Calidad Ambiental (ECA) a la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente

Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos (2009). En su texto normativo, contiene mandatos sobre la gestión integrada de recursos hídricos y menciona los siguientes principios:

Principio de valoración del agua y de gestión integrada del agua, prescribe la valoración del agua y de gestión integral del agua, enunciando que, el agua tiene valor sociocultural, valor económico y valor ambiental, por lo que su uso debe basarse en la gestión integrada y en el equilibrio entre éstos. El agua es parte integrante de los ecosistemas y renovable a través del ciclo hidrológico.

Principio de prioridad en el acceso al agua: El acceso al agua para la satisfacción de las necesidades primarias de la persona humana, es prioritario por ser un derecho fundamental sobre cualquier uso, inclusive en épocas de escasez.

2.2. Investigaciones relacionadas con el tema:

2.2.1. Investigaciones nacionales

Flores, (2016) explica en su estudio la presencia de metales pesados en las aguas del río Grande- Cajamarca. Se evaluó ocho metales pesados en ocho puntos predeterminados en el cauce del río Grande y algunos de sus tributarios, las evaluaciones se hicieron cada 30 días, tanto en la estación seca como en la estación lluviosa.

Si bien los resultados demuestran que en todos los puntos de monitoreo existen metales pesados, no se puede concluir que sea debido a la actividad minera. El plomo fue el único metal que en cinco puntos de

monitoreo sobrepasó los Estándares de Calidad Ambiental para agua, donde superó en 392% al ECA.

Esto nos indica que no siempre la presencia de metales puede ser de origen antropógena, sino que pueden estar presente de manera natural. Las similitudes con esta investigación es que el análisis se realizó en temporada de lluvia y verano; respecto a las diferencias encontradas es que no hay un análisis de los mismos elementos metálicos en sedimentos.

Moreno et al., (2018) cuantificaron metales en sedimentos superficiales de la bahía interior de Puno, Lago Titicaca-Perú. De enero a noviembre del 2016 fueron analizadas las concentraciones de Cu, Zn, Pb, Cd, As y Hg en los sedimentos superficiales de seis estaciones de muestreo ambiental seleccionadas mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia.

Al comparar los resultados con la norma ambiental seleccionada (Interim Sediment Quality Guidelin, Canadá), todos los elementos presentaron concentraciones en los rangos recomendados, aunque existió entre las estaciones, diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Se concluyó que, los sedimentos superficiales de la bahía interior de Puno no representan riesgo por exposición a metales totales, ya que sus concentraciones se encontraron en el rango de los valores permisibles.

Las similitudes con esta investigación es que también se realizó el estudio en sedimentos del lago Titicaca en diferentes temporadas, mientras que las diferencias con esta investigación es que no existió una cuantificación de metales en matriz agua dentro de la bahía interior del lago Titicaca.

Arteaga, (2013) Identificó los niveles de contaminación por metales mediante el análisis químico de aguas del río Ramis en la cual identificó que en tres de los cinco puntos de muestreo existe presencia de cadmio por encima de los estándares de calidad ambiental categoría 4 demostrando que hay presencia de metales en agua del área de estudio.

Además, el modelamiento de flujo en ríos (HEC Ras) permitió conocer la sección transversal del río en los cinco puntos de monitoreo la pendiente, velocidad, área de flujo y el ancho del río mediante el modelo matemático aplicado permitiendo conocer que el área puede generar turbulencia en épocas de lluvia y transportar metales aguas abajo.

En cuanto a las similitudes esta investigación aplica la norma ECA para evaluar la calidad de agua en el río Ramis que también es objeto de estudio de la presente investigación y con respecto a las diferencias esta investigación no presenta análisis de muestras en sedimentos ni tampoco un análisis en la desembocadura al lago Titicaca.

Izquierdo y Verástegui, (2017) determinaron la concentración de metales pesados As, Cd, Cr, Hg y Pb en el agua de la cuenca baja del Río Jequetepeque. Esta investigación se propuso como hipótesis que la concentración de los metales pesados As, Cd, Cr, Hg y Pb en el agua de la cuenca baja del río Jequetepeque, supera a los estándares de calidad del agua - categoría 3.

El método de investigación aplicada es de carácter descriptivo y comparativo. Se tomó como muestra un litro por cada una de las 6 estaciones de monitoreo en época de lluvia, así como en época de estiaje (12 muestras). Los resultados fueron concentraciones menores a los estándares establecidos por el D.S. N°015-2015-MINAM para aguas superficiales categoría 3 (D1: Riego de cultivos de tallo alto y bajo y D2: bebida de animales) y solo fue detectada la presencia de arsénico, cadmio y plomo.

En cuanto a las similitudes esta investigación aplica la norma ECA para evaluar la calidad de agua y con respecto a las diferencias esta investigación no presenta análisis de muestras en sedimentos ni tampoco un análisis en diferentes épocas del año.

Mejía, (2016) presentó en su trabajo de investigación: La evaluación de los metales pesados Cianuro (CN), Arsénico (As), Cromo (Cr), Cadmio (Cd) y Mercurio (Hg) en su forma libre, en aguas superficiales del río Zaña, en el periodo noviembre 2014 a enero 2015, bajo condiciones de

nula precipitación pluvial en el ámbito de la cuenca baja Zaña, en el tramo correspondiente al departamento de Lambayeque, con el propósito de determinar el grado de contaminación del medio agua.

Se concluye que no existe contaminación en las aguas superficiales de la cuenca en estas condiciones ambientales, sin embargo, estos contaminantes podrían ubicarse en el suelo (sedimentos del río y otros) y que además los factores físicos y la vegetación estarían cumpliendo su función depuradora (atenuante).

Las similitudes con esta investigación es que el monitoreo se realizó en diferentes temporadas, mientras que las diferencias con esta investigación es que no realizó el muestreo para su análisis de metales en sedimentos.

Izzo et al., (2010) presento en su trabajo su trabajo los resultados más relevantes con relación a los niveles de metales pesados existentes en diferentes compartimentos de lagos del noroeste de Patagonia. Los estudios realizados determinaron concentraciones de elementos traza en testigos sedimentarios, sedimentos suspendidos, agua, plancton, macroinvertebrados, músculo e hígado de peces.

En términos generales, los niveles de metales pesados en los distintos compartimentos fueron similares a los valores medidos en otros ambientes de agua dulce.

Esta revisión permitió identificar niveles de referencia y evaluar la tendencia del impacto antrópico, aportando información de base para futuros monitoreos de los ambientes lacustres de su región. En cuanto a las similitudes esta investigación también hace el estudio de metales dentro de un lago y las diferencias encontradas es que la investigación amplió su estudio de metales en el plancton y organismos.

Coila, (2017) Evaluó la concentración de los metales pesados en las aguas superficiales del río Coata de la cuenca hidrográfica del lago Titicaca en la cual explica que los metales pesados depositados sobre el lecho del río y distribuidos a lo largo del cauce hasta el vertimiento de sus aguas al lago Titicaca son una fuente de contaminación, para el

poblador que consume estas aguas y vive en las riberas del río en la parte baja de la cuenca.

Según sus resultados obtenidos concluyen que si existe presencia de concentraciones de los metales pesados en las aguas superficiales de la parte baja de la cuenca del río Coata y que los metales pesados como el aluminio, hierro y manganeso se encuentran por encima de los estándares de calidad ambiental.

Las similitudes con esta investigación es que también se realizó la evaluación de metales en las aguas del río Coata la cual desemboca en el lago Titicaca, mientras que las diferencias con esta investigación es que no existió una evaluación en cuanto a los sedimentos del río Coata.

Solís y Astudillo (2013) evaluó la concentración de metales pesados en agua y mercurio en sedimentos del río Nanay, el muestreo se realizó desde el caserío Libertad, hasta su desembocadura en el río Amazonas, en las épocas de creciente y vaciante del año 2011. La cuenca del río Nanay comprende 340 km² y alberga a cuatro comunidades nativas y ocho campesinas y además tiene influencia sobre los distritos de San Juan, Iquitos y Punchana, además de ser la fuente de agua potable para la población de estos distritos.

Según los resultados de análisis de agua, el plomo y mercurio se encuentran presentes en concentraciones mayores que lo indicado por las normas nacionales. El plomo tanto en creciente es en promedio de 0,111 ppm y 0,053 ppm respectivamente y el mercurio en vaciante se encuentra en 0,008 ppm. Del mismo modo la presencia de mercurio es alta en los sedimentos que acompañan a este río con 1,636 ppm en creciente y 3,03 ppm en vaciante.

En cuanto a las similitudes esta investigación realizó el estudio en dos épocas diferentes (creciente y vaciante). Y con respecto a las diferencias encontradas esta investigación hace mención solo a metales como el plomo y mercurio omitiendo otros de interés.

Quecaño, (2018) determinó los metales tóxicos en el río Crucero – San Antón que tuvo como fuente contaminante a las mineras que

desembocan sus aguas residuales al cauce del río. Siendo el Fierro (Fe) el metal que supera los estándares de calidad ambiental en épocas de estiaje y precipitación.

Se concluye que se encontró metales como el As, Cd, Cr, Pb, Cu y Zn y que las concentraciones de estos están por debajo de los niveles máximo-permisibles para la descarga de efluentes líquidos de las actividades minero – metalúrgicos.

Las similitudes con esta investigación es que se realizó una evaluación de metales en épocas diferentes para ver la influencia de las condiciones climatológicas, mientras que las diferencias con esta investigación es que los metales estudiados fueron diferentes a las que se realiza en la presente investigación.

2.2.2. Investigaciones internacionales

Monroy et al., (2014) determinó la concentración de metales en agua, sedimentos y cuatro especies de peces en el lago Titicaca en la cual estos metales excedieron los umbrales establecidos por la legislación internacional. A medida que la contaminación por metales se extendió por el área de estudio se detectaron altas concentraciones de metales.

Este estudio demostró patrones de bioacumulación de metales constantes en agua, sedimentos y peces, lo que sugiere precaución por el riesgo que representa la contaminación de metales basándose en el análisis de un solo compartimiento del ecosistema.

En cuanto a las similitudes, esta investigación realiza el estudio de metales pesados en agua y sedimentos dentro del lago Titicaca evidenciando las altas concentraciones de algunos metales. Mientras que las diferencias encontradas es que esta investigación hace el estudio en peces lo cual es el efecto secundario que produce la presencia de metales dentro del lago Titicaca.

Huang et al. (2010) en su estudio de metales en aguas subterráneas en un área de la provincia de China, habla sobre la investigación que revela la

distribución y correlación de metales pesados en las aguas subterráneas del área de riego de aguas residuales en la provincia de Guangdong.

El resultado muestra que el agua subterránea del área de riego de aguas residuales ha sido contaminada con As y Ni, mientras que las concentraciones de otros metales pesados (Pb, Zn, Cu, Cr, Cd, Se) en el agua subterránea no alcanzaron el límite superior para el agua potable en China.

Respecto a las similitudes encontradas con esta investigación es el análisis de Arsénico por espectrometría, y en cuanto a las diferencias esta investigación hace un estudio en aguas subterráneas y no en aguas superficiales.

Mendez, Ramírez, Gutiérrez, & Garcia (2008) explican en su estudio “Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua” que los altos niveles de metales pesados como plomo, níquel, cadmio y manganeso, presentes en suelos y agua negra, utilizada para riego agrícola, pueden ser acumulados en estos sistemas de suma importancia para la agricultura.

Estos metales por su característica no biodegradable, la toxicidad que ejercen sobre los diferentes cultivos y su biodisponibilidad, puede resultar peligrosos y su estudio resalta y destaca la sensibilidad relativa de algunas plantas a la presencia de los metales pesados y la tendencia a acumular los mismos, haciendo énfasis en los aspectos de relación con algunas de las características fisicoquímica de los suelos y la fitotoxicidad por metales.

En cuanto a las similitudes, esta investigación realiza el estudio de metales pesados en suelos y agua. Mientras que las diferencias encontradas es que esta investigación hace el estudio en suelos agrícolas y no en suelos lacustre.

Tabari, Saravi, Bandany, Dehghan, & Shokrzadeh (2010) determinaron las concentraciones de metales pesados en muestras de peces y sedimentos en Iran, en la cual explica que la contaminación ambiental es un problema mundial, los metales pesados pertenecen a los

contaminantes más importantes. Explica que el progreso de las industrias ha llevado a un aumento de la emisión de contaminantes en los ecosistemas.

Concluyen que los metales tienden a acumularse en el agua y ascender a través de la cadena alimentaria. Por lo tanto, son necesarios estudios para determinar el nivel de metales pesados en el medio ambiente y determinar niveles potencialmente peligrosos para humanos.

En cuanto a las similitudes encontradas con esta investigación es el estudio de metales en el agua de mar por efluentes y descargas directas y en cuanto a la diferencia esta investigación hace el estudio en sedimento marino y no sedimento lacustre.

Zhang, Appel, & Qiao (2013) explican en su teoría la presencia de metales pesados (HM) en el medio ambiente es una amenaza importante para los seres humanos. Los proxies magnéticos proporcionan un método rápido para evaluar el grado de contaminación de metales pesados en el medio ambiente.

Mencionan el estudio del suelo con agua de río contaminada cerca de una planta de acero en la ciudad de Loudi (provincia de Hunan, China) para probar la eficiencia de los métodos magnéticos con el fin de detectar el grado de contaminación de metales pesados. Se utilizaron métodos tanto magnéticos como no magnéticos (microscópicos, químicos y estadísticos) para caracterizar estos suelos agrícolas.

Respecto a las similitudes encontradas con esta investigación es el estudio de agua de río contaminada, en cuanto las diferencias esta investigación usa métodos magnéticos y no magnéticos, no el método instrumental.

Parsafar & Marofi (2014) estimaron resultados en un experimento diseñado con cinco regímenes de riego de la siguiente manera: aguas residuales sin tratar (T1), aguas residuales tratadas (T2), una combinación de 50% de aguas residuales sin tratar y 50% de agua dulce (T3), una combinación de 50% de aguas residuales tratadas y 50% de agua fresca Agua (T4), y agua dulce (T5).

Los resultados muestran que los valores promedio de Mn, Fe, Cu y Zn en el agua drenada fueron menores que el agua de entrada. El efecto del riego en la concentración de metales pesados del agua de drenaje fue estadísticamente significativo. El análisis temporal mostró tendencias crecientes para los metales pesados de T1 a T5.

Las similitudes con esta investigación es el análisis químico de aguas superficiales basado en la acumulación del tiempo, mientras que las diferencias es que en esta investigación no se realizó el análisis en periodos estacionales diferentes y además incluye el análisis de metales en tubérculos.

Tuohy et al., (2015) mencionan sobre las emisiones y el transporte a largo plazo de metales tóxicos y metaloides representan una amenaza mundial para los ecosistemas y la salud humana, en su estudio explican que la industrialización global que se produjo a partir de finales del siglo XIX libera grandes cantidades de contaminantes en la atmósfera terrestre. A pesar de los esfuerzos internacionales para mitigar las emisiones, la acumulación de metales aún se observa en las regiones más remotas del planeta.

Asimismo, investigaron la sensibilidad y la representación de las concentraciones atmosféricas de metales pesados en el hemisferio sur (Fe, Al, Mn, Pb, Tl y As) en el núcleo de hielo de la Evolución del Clima de la Isla Roosevelt (RICE, por sus siglas en inglés), un nuevo centro de hielo antártico costero.

Concluyen que los metales pesados de las fosas de nieve alcanzan su punto máximo en verano y también muestran picos variables. El modelado de la masa de aire estacional basado en los datos de reanálisis provisional de ERA indica un cambio sinóptico durante los meses de primavera y verano.

La similitud encontrada con esta investigación es el análisis de metales pesados en dos periodos estacionales (primavera y verano), en cuanto a las diferencias esta investigación se basa en el análisis de nieve.

Rathgeb, Causon, Krachler, & Hann (2016) explican que el hierro es un micronutriente esencial para todos los organismos marinos, pero también es un factor limitante del crecimiento en su estudio ya que las concentraciones de hierro en el océano abierto están por debajo de 1 nmol / L en el agua de mar. El hierro está casi completamente unido a ligandos orgánicos de la fracción de materia orgánica disuelta, que son en su mayoría de estructura desconocida.

Se desarrolló un método basado en la cromatografía de exclusión por tamaño (SEC) con detección secuencial de UV / VIS y ICP-MS e indican que solo son posibles las comparaciones relativas con este enfoque, y que la composición de la matriz de la muestra influye fuertemente en los resultados obtenidos.

Respecto a las similitudes encontradas con esta investigación es el uso de los métodos instrumentales como el ICP-MS, y la diferencia es que este estudio solo hace mención a un elemento que es el hierro y no otros metales.

Banerjee, Maiti, & Kumar (2015) esta investigación explica que el río Subarnarekha es un río peninsular alimentado por la lluvia que pasa por la ciudad industrial Jamshedpur, un importante centro industrial de Jharkhand, India. Las concentraciones de metales pesados como Zn, Pb, Cr, Cd, Ni y Cu en agua, sedimento y en diferentes redes alimenticias se determinaron mediante el uso de un espectrofotómetro de masa de plasma acoplado por inducción para dos sitios de muestreo que se encuentran estresados con alta contaminación debido a la urbanización y actividades antropogénicas.

Las similitudes con esta investigación es que el estudio se centra en la concentración de metales en el agua y sedimentos, en cuanto a las diferencias es que este estudio incluye el 25 análisis de metales en plancton con factor de bioacumulación (BAF) en partes del cuerpo de moluscos y peces.

Xu et al. (2018) explican que dos núcleos de sedimentos (núcleos X1 y X2) recolectados de la plataforma continental frente a la isla de Hainan

en el norte del Mar de China Meridional. Combinados con composiciones geoquímicas (Al, Ni, Cu, Zn, Cd y Pb), isótopos Sr-Nd, tamaño de grano y edades AMS ^{14}C , nuestros resultados mostraron que Cd y Cu en el núcleo X1 y Cd y Pb en el núcleo X2 ha sido influenciado principalmente por actividades antropogénicas.

Estos resultados proporcionan nuevos conocimientos sobre la historia de las actividades humanas en la isla de Hainan e indican que las composiciones geoquímicas de los sedimentos de la plataforma continental tienen el potencial de ampliar nuestro conocimiento de las actividades humanas y el desarrollo cultural en las áreas tropicales.

En cuanto a las similitudes encontradas con esta investigación es el estudio de metales traza por su composición y actividades antropogénicas ya que estos tienden a acumularse a través del tiempo. Y respecto a las diferencias este estudio no hace un estudio por periodos estacionales.

Bhavsar, Hurston, Prabhu, & Joseph (2017) mencionan que la contaminación por iones de metales pesados emerge como una amenaza potencial para la humanidad y el ecosistema debido a su mayor propagación al medio ambiente en su estudio.

Explican que la detección de iones de metales pesados altamente tóxicos requiere métodos de detección rápidos, simples, sensibles y selectivos en entornos acuáticos.

Los sensores de fibra óptica facilitan la detección remota, continua e in situ debida a sus propiedades inherentes. En este documento, informamos sobre un sensor de fibra óptica basado en la absorción de ondas evanescentes para detectar iones de metales pesados en entornos acuáticos. La selectividad de los iones de mercurio, cobre y cromo que utilizan ditizona se ha ilustrado utilizando un método de detección basado en espectroscopia.

En cuanto a las similitudes esta investigación hace mención a los sensores de alta gama para la detección de metales traza que están dentro de los fundamentos de espectroscopia. Y respecto a las diferencias, esta

investigación no hace un estudio específico de matrices como aguas superficiales, sedimento u organismos.

Saygı & Yiğit (2011) determinaron la distribución y acumulación de metales pesados (Al, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd, Sn, Ba, Pb) en agua, sedimentos, plancton del lago Yeniçaga, y sus potenciales fuentes (arroyos, aguas residuales, pozo artesiano, suelo).

Los análisis de elementos fueron realizados por ICP - MS. Los resultados mostraron que la traza y concentración de elementos tóxicos (Al, As, Mn, Pb, Fe) en el agua del lago y / o sus fuentes de alimentación Estaban por encima de los estándares de agua recomendados.

En cuanto a las similitudes con esta investigación es el análisis de metales traza por ICP-MS en agua superficial y sedimento lacustre y las diferencias encontradas fue que esta investigación no incluye el análisis en dos periodos estacionales.

Haydar et al., (2014) en su investigación en el reservorio más grande del Líbano, que se encuentra a lo largo del río Litani evaluaron los niveles de concentración de metales pesados y sus fuentes en los sedimentos del lago Qaraaoun en tres sitios representativos durante la estación seca.

Los resultados de su estudio proporcionan información valiosa sobre los contenidos de metales pesados y las características físicas de los sedimentos de diferentes estadios de muestreo del lago Qaraaoun y las correlaciones entre los metales indican que la misma fuente de contaminación es antropogénica (actividades humanas y agrícolas). Según USEPA: todos los sitios están moderados o muy contaminados por Pb y Zn, altamente contaminados por Cr y Ni y moderadamente contaminados por Cu.

En cuanto a las similitudes, esta investigación evaluó los metales pesados en sedimentos en época de poca lluvia mediante la norma US EPA que da un panorama de la gravedad de contaminación de un suelo o sedimento; en cuanto a las diferencias esta investigación solo hace un estudio en épocas de sequía, mas no en épocas de lluvia.

Barakat, Baghdadi, Rais, & Nadem (2012) explican que el río Day recibe aguas residuales no tratadas domésticas e industriales de la ciudad de Beni-Mellal y las aldeas circundantes durante las últimas décadas. Su estudio tuvo como objetivo obtener una evaluación preliminar sobre el nivel y la distribución de seis metales pesados (Cd, Cr, Cu, Pb, Zn y Fe) en sus sedimentos superficiales recolectados de 13 estaciones.

Se observó una variación espacial significativa en las concentraciones para todos los metales.

Finalmente concluyen que el índice de carga de contaminación y las pautas de calidad de los sedimentos mostraron que los niveles de metales superan las concentraciones de fondo locales y regionales, lo que indica que la contaminación es lo suficientemente alta como para ser peligrosa para la salud humana y el ecosistema.

Respecto a las similitudes, esta investigación se basa en un enfoque de acumulación de metales a través del tiempo debido a descargas residuales de contaminantes, asimismo las diferencias encontradas es que esta investigación no hace un estudio de metales traza en aguas superficiales.

Alushllari & Mico (2016) determinaron la contaminación por metales pesados en aguas superficiales, durante su muestreo se recogieron un total de 16 muestras de agua superficial y se realizaron el análisis de cuatro pesados, cadmio, cromo, cobre y plomo. El análisis químico se llevó cabo en las instalaciones del instituto aplicado de Física nuclear, Universidad de Tirana, utilizando espectrometría de absorción atómica de horno de grafito.

De los resultados obtenidos, ninguna de las muestras analizadas contenía concentraciones de metales pesados por encima del máximo permisible determinado a partir de EPA.

Las similitudes encontradas con esta investigación es que el foco de estudio es dentro de un lago y las diferencias son el tipo de análisis ya que este estudio el análisis de metales se realizó por absorción atómica y no por espectrometría.

Haxhibeqiri, Alikaj, & Brahusi (2015) determinaron la presencia de metales pesados en los ecosistemas acuáticos y como los sedimentos pueden afectar la vida humana, debido a su posible transferencia a la cadena alimentaria y sus efectos adversos. Explican además que es crucial la evaluación del estado de los metales pesados en el agua y los sedimentos para evaluar la calidad del agua y sus impactos ambientales. Según los datos obtenidos de la concentración de metales pesados en el agua, los valores de hierro y arsénico superaron los valores aceptables de las directivas de la CE. Los cálculos del factor de enriquecimiento (Ef) mostraron que los sedimentos tienen un enriquecimiento moderado y severo para Cd y Ni, un enriquecimiento mínimo para Cu, Cr y Pb, mientras que no hay enriquecimiento para Fe, Mn y Zn. Las similitudes encontradas con esta investigación es la evaluación del impacto ambiental en aguas superficiales y sedimento a raíz de la presencia de metales pesados, en cuanto a la diferencia esta investigación usa un factor de enriquecimiento para determinar la cantidad de metales.

2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

2.3.1. Metales traza

Los metales traza son cantidades extremadamente pequeñas, casi a un nivel molecular que pueden estar presentes en el agua sedimentos u organismos vivos ya sea de manera natural o antropogénicas.

La presencia de metales traza aportan significativamente a la contaminación ambiental, la cantidad de metales disponibles en el suelo está en función del pH, el contenido de arcillas, contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y otras propiedades que las hacen únicas en términos de manejo de la contaminación. (Sauvé, Hendershot, & Allen, 2000, p.37)

Los metales traza podrían quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la fase acuosa u ocupando sitios de intercambio en su medio, también podrían ser adsorbidos sobre constituyentes inorgánicos del suelo así

como también asociarse con la materia orgánica. Rosas (2001) explica: “Sus efectos tóxicos de los metales pesados no se detectan fácilmente a corto plazo, aunque si puede haber una incidencia muy importante a medio y largo plazo, los metales pesados son difíciles de eliminar del medio, puesto que los propios organismos los incorporan a sus tejidos y de estos a sus depredadores, en los que se acaban manifestando” (p.7).

La persistencia de contaminantes disueltos y/o acumulados, pudieran indicar en algunos casos, un estado irreversible para su valor de uso quizás como consecuencia de una mala interpretación sobre el Derecho Ambiental de ciertas generaciones en cuanto al manejo de este recurso. “La exposición a metales en los ecosistemas acuáticos, constituyen un serio problema ambiental, donde la comunidad científica dedica diversos esfuerzos e intereses, ya que no son biodegradables” (Qadir & Malik, 2011, p. 143).

Los seres vivos necesitan pequeñas cantidades de metales que son vitales para la vida, pero al superar ciertos niveles estos metales se vuelven tóxicos y peligrosos para cualquier organismo y estos a su vez se transmiten por medio de la cadena alimenticia. Banat, Howari, & Al-Hamad (2005) afirma:

El comportamiento de los metales pesados en los suelos (...), para prevenir los riesgos tóxicos potenciales es necesario la evaluación de la disponibilidad y dinámica de los mismos. (p.97)

Los monitoreos de calidad ambiental en diferentes matrices como agua, aire, suelo y organismos en las zonas que pudieran estar siendo afectadas por las diferentes actividades antropogénicas deben ser periódicas, así se podría evaluar la presencia y el comportamiento de metales traza.

Los metales tienden a tener diferentes comportamientos por las propiedades características de cada una, por tal motivo algunos son más dinámicos que otros, así como también el grado de reactividad en diferentes medios son variables. Abollino et al., (2002) afirman: “La toxicidad de los metales depende no sólo de su concentración, sino también de su movilidad y reactividad con otros componentes del

ecosistema” (p.119). Por lo que cuando existen corrientes dentro de las aguas superficiales, estos metales tienen a movilizarse.

2.3.2. Geoquímica de elementos traza

La tabla periódica incluye unos 70 elementos metálicos, y de ellos 59 pueden ser considerados “metales pesados”, que son aquellos con peso atómico mayor que el del hierro (55,85 g/mol). Con esta precisión se excluirían metales con pesos atómicos menores que el del Fe y que con frecuencia pueden ser metales contaminantes, como el V (50,95), Mn (54,44), Cr (52,01) y a otros que realmente no son metales como Arsénico, Flúor y Fosforo (Huertos y Romero, 2008, p.48).

Rodamilans & Bachs, (1999) mencionan que los elementos traza, también denominados oligoelementos, microelementos y microconstituyentes, se encuentran en nuestro organismo a pequeñas concentraciones; en unos niveles que pueden oscilar ampliamente entre algunos ppm (partes por millón) y escasos ppb (partes por billón) según nuestro conocimiento y desarrollo tecnológico actual.

Plant et al. (2001) afirma: En general todos los elementos traza son tóxicos si se ingieren o inhalan en cantidades suficientemente altas y durante largos períodos de tiempo. Selenio, flúor y molibdeno son ejemplos de elementos que presentan un estrecho margen (del orden de una poca ppm) entre los niveles de deficiencia y los tóxicos. (p.16)

Existen aún pocos estudios sobre la toxicidad de algunos elementos poco abundantes en la naturaleza y que podrían estar presentes en el medio por razones de meteorización de forma natural o también por actividades antropogénicas y podrían ser potencialmente tóxicos si se llegan a ingerir.

2.3.3. Calidad ambiental del agua y sedimento

La calidad ambiental tanto para agua y sedimento compara, evalúa y pronostica en base a los valores de consenso la concentración para

diferentes parámetros fisicoquímicos y biológicos que estén dentro de los criterios de aceptación de alguna norma lo cual indica que una zona este o no impactada y a raíz de esto genere algún tipo de efecto nocivo para el medio ambiente los cuales depende de factores naturales y de la acción humana.

Valdes & Castillo (2014) afirman: “Los sedimentos marinos son el depósito final de las sustancias producidas en las aguas superficiales y de aquellas introducidas al mar por procesos naturales y antrópicos, (...), estas sustancias se encuentran los compuestos orgánicos persistentes, nutrientes, combustibles, radionúclidos, patógenos y metales pesados” (p. 497).

La calidad de agua sin duda es muy importante para el desarrollo sostenible dentro de las sociedades. Si no se tienen en cuenta las normas que ayudan a la regulación de esta, podrían afectar significativamente el medio ambiente y en consecuencia la salud de las personas. Villena Chávez (2018) menciona:

La calidad del agua potable en el Perú está muy asociada a la calidad del agua de las fuentes, las mismas que en su gran mayoría están expuestas a los metales de origen natural y antropogénicas, y a la dificultad tecnológica y económica de las empresas de saneamiento de llevar a cabo procesos para depurar la presencia de metales, para garantizar el tratamiento de agua y prestar servicios de saneamiento a través de sistemas seguros y sostenibles. (p.308)

A través del tiempo las actividades antropogénicas han alterado de alguna forma u otra el medio natural conllevándola a repercutir cambios en su estado y de esta manera alterando sus propiedades iniciales.

Altındağ & Yiğit (2005) precisan:

Los sedimentos pueden incorporar y acumular los metales que llegan al ambiente lacustre a través de un tiempo determinado; asimismo, producir cambios en sus diferentes características y condiciones fisicoquímicas que a futuro pueden remover y liberar los metales en una columna de agua. (p.60)

Sin lugar a duda el suelo cumple diferentes funciones ya sean ecológicas, agronómicas, económicas, culturales, arqueológicas y recreacionales en función de sus características físicas, químicas y biológicas que le permiten una capacidad de sustentar un potencial ecosistémico natural y antropogénicas, consecuentemente la alteración en su composición también puede ser por causas naturales o actividades humanas. Las directrices para la evaluación de sedimentos de grandes lagos fueron desarrollados en los Estados Unidos por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) con la finalidad de tomar decisiones inmediatas con respecto al material degradado que tienen algún efecto a los sedimentos dentro de los grandes lagos (U.S. EPA, 1977)

A nivel nacional no existe una normativa para poder regular y evaluar los sedimentos de los lagos en el Perú, por tal motivo es necesario utilizar las normativas internacionales, cabe precisar que las condiciones fisicoquímicas como la composición, presión, temperatura y otros parámetros que pudieran existir en lagos de otros países son muy diferentes a los nacionales por tal motivo es necesario contar con una normativa nacional para la evaluación de metales traza en sedimentos lacustres.

2.3.4. Estándar de Calidad Ambiental:

Los estándares de calidad ambiental es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos (MINAM, 2016).

La Ley General Del Ambiente, N°28611(2005) refiere que la medida que establece el nivel de concentración de elementos, sustancias o parámetros fisicoquímicos y biológicos presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa

necesariamente un riesgo significativo para la salud de las personas ni del ambiente.

Los estándares de calidad ambiental son aplicables solo a nivel nacional por ser normas nacionales. Asimismo, no existe una norma nacional lo cual permita evaluar la calidad ambiental en sedimento lacustre (lagos y lagunas) por tal motivo para la evaluación de esta matriz es necesario tomar como referencia las normas internacionales de sedimento lacustre (U.S EPA) lo cual mediante sus valores de consenso permite evaluar una determinada zona con respecto a los parámetros fisicoquímicos contenidos dentro de la norma.

2.4. Definición de términos básicos

2.4.1. Variable independiente:

Concentración de metales traza: “Son elementos que están presentes relativamente en bajas concentraciones (mg.kg^{-1}) en la corteza de la tierra, suelos y plantas, (...), pueden ser tóxicos si superan ciertos umbrales”.(Gal & Baena, 2008, p.49)

Arsénico: El arsénico se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza y principalmente en los minerales sulfurosos. “El arsénico es un toxico que produce diferentes enfermedades, (...), la anemia aplásica es el trastorno hematopoyético más común”(Nordberg, 2002, p. 63.6).



Figura 2. Arsénico

Fuente: <https://n9.cl/678c>

Aluminio: El aluminio es el metal más abundante en la corteza terrestre, donde se encuentra combinado con oxígeno, flúor, sílice, etc., pero nunca en estado metálico. “El Aluminio es un riesgo para ciertos ambientes de trabajo, como son las minas, causando daños en el sistema nervioso central” (Nordberg, 2002, p. 63.2).



Figura 3. Aluminio

Fuente: <https://n9.cl/rxu5i>

Bario: El bario metal tiene un uso limitado y presenta riesgo de explosión. Los compuestos solubles de bario (cloruro, nitrato, hidróxido) son sumamente tóxicos.



Figura 4. Bario

Fuente: <https://n9.cl/n1ajo>

Manganeso: El manganeso (Mn) es uno de los elementos más abundantes de la corteza terrestre. Se encuentra en la tierra, los

sedimentos, las rocas, el agua y los productos biológicos, sus altos contenidos de este metal pueden dificultar la síntesis de la hemoglobina.



Figura 5. Manganeso

Fuente: <https://n9.cl/z86g>

2.4.2. Variable dependiente:

Calidad ambiental: La calidad ambiental se puede definir como las características que determinan el estado de los componentes de la naturaleza (MINAM, 2017).

La variación o alteración del estado o disponibilidad de cualquiera de los componentes en el ambiente ya sea en agua, sedimento o aire, va a ser un factor determinante e influyente en la calidad ambiental lo cual puede ser perjudicial para la biodiversidad y también para la salud de las personas.

Calidad de agua superficial: La calidad de agua se puede definir como el conjunto de características fisicoquímicas, biológicas y radiológicas del agua con relación a los requisitos de una o más especies bióticas o necesidad humana los cuales se puede referenciar y evaluarse mediante una serie de normas. “La calidad del agua es un valor ecológico esencial para la salud y para el crecimiento económico” (Villena Chávez, 2018, p.304).

Calidad de Sedimento: La calidad de sedimentos también se puede definir como el conjunto de características fisicoquímicas, biológicas y radiológicas contenida en su matriz de composición. Los sedimentos que se encuentran en el fondo de un cuerpo de agua permiten el estudio del

ecosistema lacustre o submarino, debido a que conservan el registro histórico de lo acontecido en un lugar determinado ya sea por sustancias tóxicas vertidas al agua, por remoción de minerales, desecho de basuras etc.

Época de lluvia (Avenida): “Elevación, generalmente rápida, en el nivel de las aguas de un curso, hasta un máximo a partir del cual dicho nivel desciende a una velocidad menor, que generalmente se presenta entre los meses de diciembre y abril” (Vera, 2000, p. 37).

Época de estiaje: “nivel más bajo que tiene las aguas de un río” (Vera, 2000, p.37).

2.5. Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis

La contaminación del agua consiste en la alteración de las propiedades de la calidad de agua, muchas veces provocada por el hombre (actividades antropogénicas) haciéndola impropia o dañina para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca y las actividades recreativas, así como para los animales domésticos y la vida natural.

Tulonen, Pihlström, Arvola, & Rask (2006) precisan: Las prácticas agrícolas entre otros pueden incrementar la carga de metales pesados en los ecosistemas acuáticos o alterar sus ciclos naturales al producir concentraciones elevadas en algún compartimento particular debido a que las aguas de desecho contienen muchas veces compuestos de metales traza y estos se incorporan al sistema de drenaje urbano y a que la mayoría de las plantas de tratamiento no separan estos metales. (p.11).

En las diferentes épocas del año (lluvia y estiaje), los caudales de los ríos son variables y estos pueden ser un factor importante que implica un mayor o menor transporte de residuos sólidos los cuales muchos de ellos pueden contener metales. Además, en épocas de lluvias se forman escorrentías y estos también son fuentes de aporte de metales ya que llegan a desembocar en los lagos y lagunas o en el cauce de los ríos.

Moreno et al., (2017) explica que la concentración de metales son permanentes durante todo el período del año, pudiendo traer consecuencias negativas no solo para el ecosistema, sino además a la propia salud humana dada actividades de beneficio comunitario que se desarrolla en este espacio geográfico (p.131).

2.6. Hipótesis

Diversos estudios han demostrado que diferentes actividades antropogénicas están asociados a la producción de la contaminación. Considerando que el lago Titicaca, lugar de asentamiento de muchas de estas actividades, se ha visto afectada en forma significativa, existiendo una adición de diversas sustancias contaminantes a los ríos afluentes para finalmente descargar en el lago Titicaca como único cuerpo receptor. Dicho impacto se verá reflejado en la concentración de metales traza que estarían siendo absorbidos tanto en el agua y sedimento. Por consecuencia se plantean las siguientes hipótesis de trabajo

2.6.1. Hipótesis General

La presencia de metales traza (As, Al, Ba, Mn) en los ríos afluentes (Ramis, Coata e Ilave) al Lago Titicaca no tiene un efecto negativo en la calidad ambiental de agua superficial, pero si en la calidad del sedimento lacustre.

2.6.2. Hipótesis Específicas

- La concentración de Metales Traza (As, Al, Ba, Mn) en aguas fluviales (ríos afluentes Ramis, Coata e Ilave) y aguas superficiales no superan los ECA agua, mientras que los MT contenidos en sedimento lacustre si superan la norma U.S EPA.
- Existen relaciones directas de las concentraciones de As, Al, Ba y Mn entre agua y sedimento lacustre; entre aguas fluviales y aguas lacustres; y entre sedimentos fluviales y sedimentos lacustres.
- Las concentraciones de Arsénico, Aluminio, Bario y Manganeso en agua y sedimentos del lago Titicaca en época de estiaje son mayores que en época de lluvia.

2.7. Variables

Las variables que se presentan en la fig. (6) se comparará con sus puntos de referencia (ECA, U.S EPA).

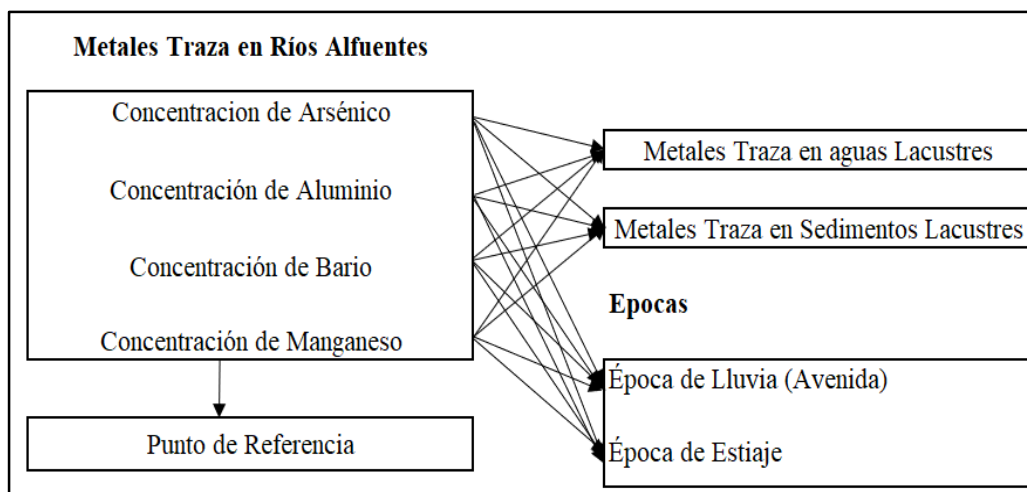


Figura 6. Relación entre variables.

Fuente: Elaboración Propia.

Las tablas 1 y 2 muestran los valores referenciales para matriz agua y sedimento.

Tabla 1. Estándares de calidad ambiental (ECA) para agua.

Parámetros Inorgánicos	Unidad	Categoría	Sub Categoría	Valor referencial
Arsénico	mg/L	C4: Conservación del ambiente acuático	E1: Lagunas y lagos	0.15
Bario	mg/L			0.7
Aluminio	mg/L	C1: Poblacional y recreacional	B1: Contacto primario	0.2
Manganeso	mg/L			0.1

Fuente: D.S. N°004-2017 MINAM.

Tabla 2. Normativa para sedimento.

Parámetros Inorgánicos	Unidad	Norma	Valor referencial
Arsénico	mg/kg	U.S EPA	8
Bario	mg/kg	U.S EPA	60
Aluminio	mg/kg	NGR	10000
Manganeso	mg/kg	U.S EPA	500

Fuente: *Guidelines for Pollution of great Lakes Harbor Sediments.*

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo, método y diseño de la investigación

- **Tipo de Investigación:**

La investigación es de tipo Aplicada porque tiene como finalidad la obtención y recopilación de información para ir construyendo una base de conocimiento que se agrega a la información previa existente.

- **Método de Investigación:**

El método de la investigación es no experimental.

- **Diseño de investigación**

Escala espacial: Lago Titicaca (Fig. 7).

Escala temporal: 2013-2016.

3.2. Población y muestra

La población objeto de estudio está constituida por aguas superficiales y sedimento lacustre del lago Titicaca y de los ríos afluentes comprendida en la provincia y departamento de Puno al sur del Perú en épocas de lluvia y estiaje en cuatro años consecutivos.

La muestra está constituida por el agua (500 mL aprox.) y sedimento lacustre (200 g. Aprox.) colectadas en 30 estaciones de muestreo dentro del Lago Titicaca entre los años 2013 y 2016.

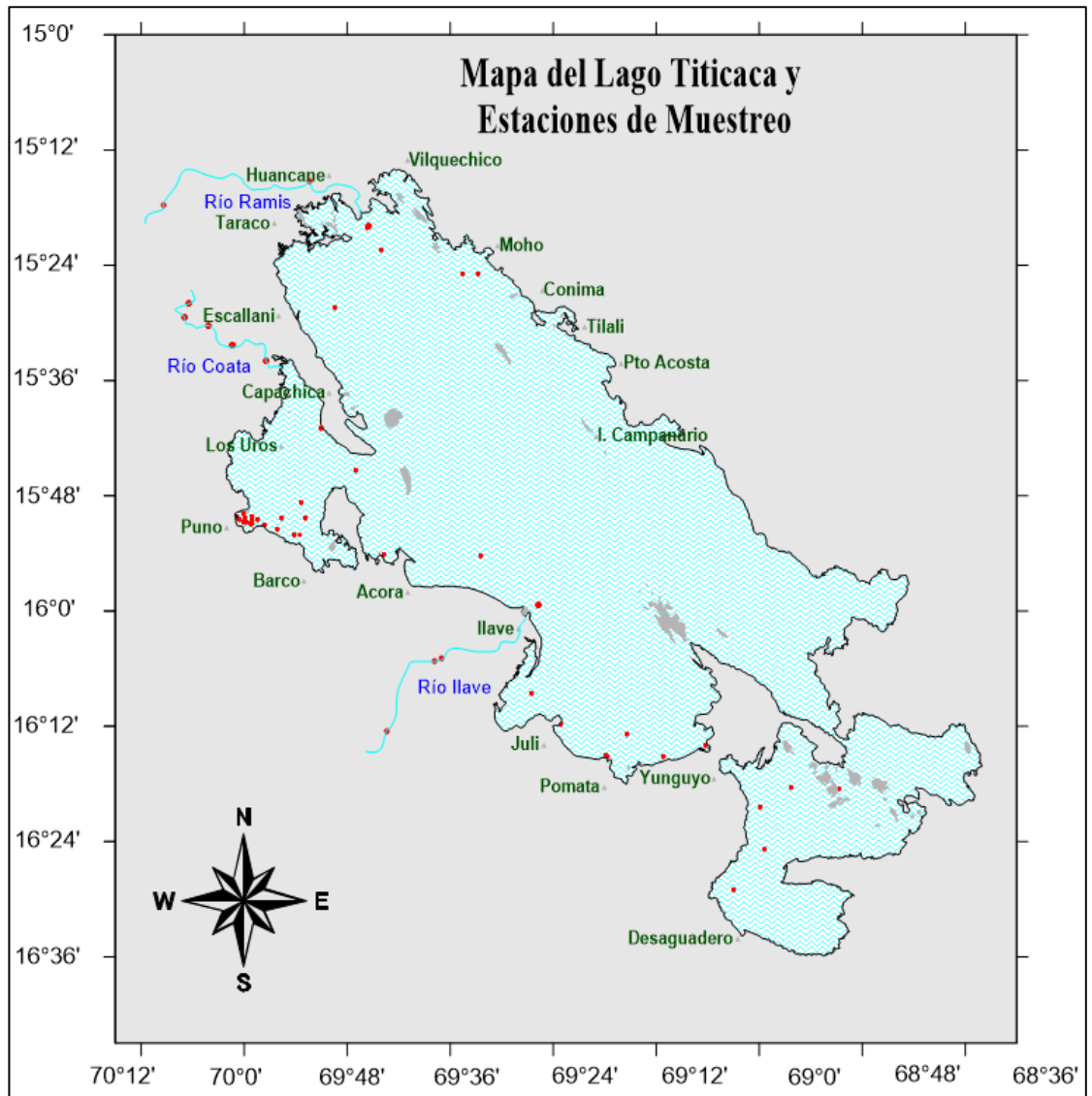


Figura 7. Mapa del lago Titicaca y estaciones de muestreo (puntos azules).
 Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3. Estaciones de muestreo en el lago Titicaca.

N°	Estación	Bahía interior de Puno	Zona	Longitud	Latitud
1	BInte01	Bahía interior de Puno	19	-70.01410	-15.83518
2	BInte02	Bahía interior de Puno	19	-70.00237	-15.83043
3	BInte03	Bahía interior de Puno	19	-69.99903	-15.83836
4	BInte04	Bahía interior de Puno	19	-70.00817	-15.84052
5	BInte05	Bahía interior de Puno	19	-70.00194	-15.84638
6	BInte06	Bahía interior de Puno	19	-69.98539	-15.83495
7	BInte07	Bahía interior de Puno	19	-69.98406	-15.84269
8	BInte08	Bahía interior de Puno	19	-69.98867	-15.84788
Bahía de puno					
1	BPuno01	R. frente a la captación Chimú	19	-69.96087	-15.85027
2	R- wili	Rio Willy (Coata)	19	-69.97061	-15.81928
3	BPuno02	Bahía Puno, zona Ichupampa	19	-69.93504	-15.85883
4	Bpuno03	Bahía Puno, zona Ichupampa	19	-69.92716	-15.83811
5	BPuno04	Bahía Puno, zona de Chucuito	19	-69.90419	-15.86783
6	BPuno05	Bahía Puno, zona de Chucuito	19	-69.88142	-15.83915
7	BPuno06	Bahía Puno, zona de Chucuito	19	-69.88916	-15.81057
8	BPuno07	Bahía Puno, punto Blanco	19	-69.78164	-15.75449
9	BPuno08	Bahía Puno, zona Tangra	19	-69.85226	-15.68156
Lago mayor - sector peruano					
1	Ltiti02	A 5.6 km frente a la desembocadura del río Ramis	19	-69.73385	-15.37279
2	Ltiti03	A 700m de la desembocadura del río Ramis	19	-69.76171	-15.33440
3	Drami01	Desembocadura del río Ramis	19	-69.75831	-15.33224
4	LTiti07	Al nor este de la zona de influencia del sistema de jaula de Piscifactoría Los Andes	19	-69.72881	-15.90244
5	LTiti08	A 1.6 km frente a la desembocadura del río Ilave	19	-69.42872	-15.99016
6	LTiti09	En la ensenada de la Bahía del distrito Juli	19	-69.44156	-16.14405
7	JChoc01	Jaulas artesanales de chucasuyo	19	-69.38555	-16.19609
8	LTiti10	Al nor oeste de la zona de influencia directa de las jaulas de truchas de Pomata	19	-69.29842	-16.24956
9	LTiti12	A 530m frente al afluente de aguas residuales municipales de Yunguyo	19	-69.10389	-16.23414

Fuente: Autoridad Nacional del Agua-2013

Elaboración: Propia.

Tabla 4. Estaciones de muestreo en desembocaduras de ríos afluentes.

N°	Estación	Cuenca del Rio Ramis	Zona	Longitud	Latitud
1	RAzan 1	Rio Azángaro, aguas arriba del puente colgante Azángaro	19	-70.19089	-14.89826
2	RAzan 2	Rio Azángaro, aguas abajo del vertimiento poblacional de Azángaro	19	-70.18399	-14.93785
3	RRami1	Rio Ramis, aguas debajo de la confluencia de los ríos Pucara y Azángaro	19	-70.15666	-15.29552
4	RRami2	Rio Ramis, aguas arriba del puente Ramis	19	-69.87389	-15.25496
Rio Coata					
1	RCoat1	Rio Coata, 10 metros aguas abajo del puente Independencia	19	-70.10615	-15.46479
2	Rcoat	Rio Coata, a la altura del puente Suches	19	-70.02190	-15.54018
3	RCoat2	Rio Coata, a la altura del puente Coata	19	-69.95651	-15.56541
4	RToro1	Rio Torococha, sector Totoral -Juliaca	19	-70.11661	-15.49067
5	RToro2	Aguas residuales de la población de Juliaca, que fluye por el riachuelo Torococha, al rio Coata	19	-70.07041	-15.50575
Rio Ilave					
1	RIlav1	Rio Ilave, después de la confluencia con el rio grande y rio Huenque	19	-69.72379	-16.20917
2	RIlav2	Rio Ilave, abajo del puente antiguo	19	-69.63169	-16.08769
3	RIlav3	Rio Ilave, aguas abajo del camal Municipal	19	-69.61669	-16.08278

Fuente: Autoridad Nacional del Agua-2013

Elaboración: Propia.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica de recolección de datos que se utilizó fue el análisis documental por lo que se obtuvieron los datos a partir de los informes realizados por el ANA (2013-2016) para lo cual se utilizó una ficha de registro de datos (Anexo 5.1).

3.4. Descripción de procedimientos de análisis

3.4.1. Pruebas de Hipótesis

Para probar la primera hipótesis se realizaron las pruebas unilaterales de estimación entre cada metal y sus respectivas normas de referencia (ECA, U.S EPA, NGR), con un nivel de significancia de 95.0 %.

Para probar la segunda hipótesis, se usaron pruebas bilaterales de correlación de Pearson (datos con distribución normal) que demostró el grado de asociación entre metales en agua y sedimento lacustre; aguas de río y lacustre; y sedimentos de río y lacustre con un nivel de confianza de 95.0 %.

Para probar la tercera hipótesis, se realizó el análisis de varianza (ANOVA) para comparar el comportamiento de las concentraciones de metales traza durante las épocas de lluvia y estiaje con un nivel de confianza del 95.0 %.

3.4.2. Otros análisis

Los datos obtenidos en el estudio se analizaron mediante cálculos estadísticos asistidos utilizando SPSS, *Statgraphics* y *Microsoft Excel* 2013.

Asimismo, se elaboraron mapas con isolíneas de modelamiento y visualización de superficies en base a los datos de concentración de metales traza, lo cual permitió la visualización de la distribución horizontal de concentración y la tendencia del incremento de estos metales por zonas dentro del lago Titicaca utilizando el programa *Surfer 12*.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. RESULTADOS

Los datos de concentración de metales en aguas superficiales y sedimentos del Lago Titicaca y sus ríos afluentes fueron evaluadas estadísticamente mediante pruebas de normalidad tal como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Pruebas de Normalidad en datos de agua superficial y sedimento.

Pruebas de normalidad en aguas superficiales-Lago	Kolmogorov-Smirnov Sig.
Concentración de Arsénico en agua (mg/L)	.294
Concentración de Aluminio en agua (mg/L)	.000
Concentración de Bario en agua(mg/L)	.000
Concentración de Manganeso en agua(mg/L)	.000
Pruebas de normalidad en sedimento-Lago	Kolmogorov-Smirnov Sig.
Concentración de Arsénico en sedimento (mg/kg)	.583
Concentración de Aluminio en sedimento (mg/kg)	.776
Concentración de Bario en sedimento (mg/kg)	.987
Concentración de Manganeso en sedimento (mg/kg)	.419
Pruebas de normalidad en Sedimento-Rios afluentes	Shapiro-Wilk Sig.
Concentración de Arsénico en sedimento (mg/kg)	.000
Concentración de Aluminio en sedimento (mg/kg)	.006
Concentración de Bario en sedimento (mg/kg)	.107
Concentración de Manganeso en sedimento (mg/kg)	.000
Pruebas de normalidad en aguas superficiales-Rios afluentes	Kolmogorov-Smirnov Sig.
Concentración de Arsénico en agua (mg/L)	.131
Concentración de Aluminio en agua (mg/L)	.002
Concentración de Bario en agua(mg/L)	.196
Concentración de Manganeso en agua(mg/L)	.006

Fuente: Elaboración Propia.

Asimismo, la distribución estadística para cada uno de los datos de metales (As, Al, Ba, Mn) analizados en las matrices aguas superficiales y sedimento tanto para el Lago Titicaca y sus ríos afluentes (Ramis, Ilave y Coata) se muestran en las figuras 8, 9, 10 y 11.

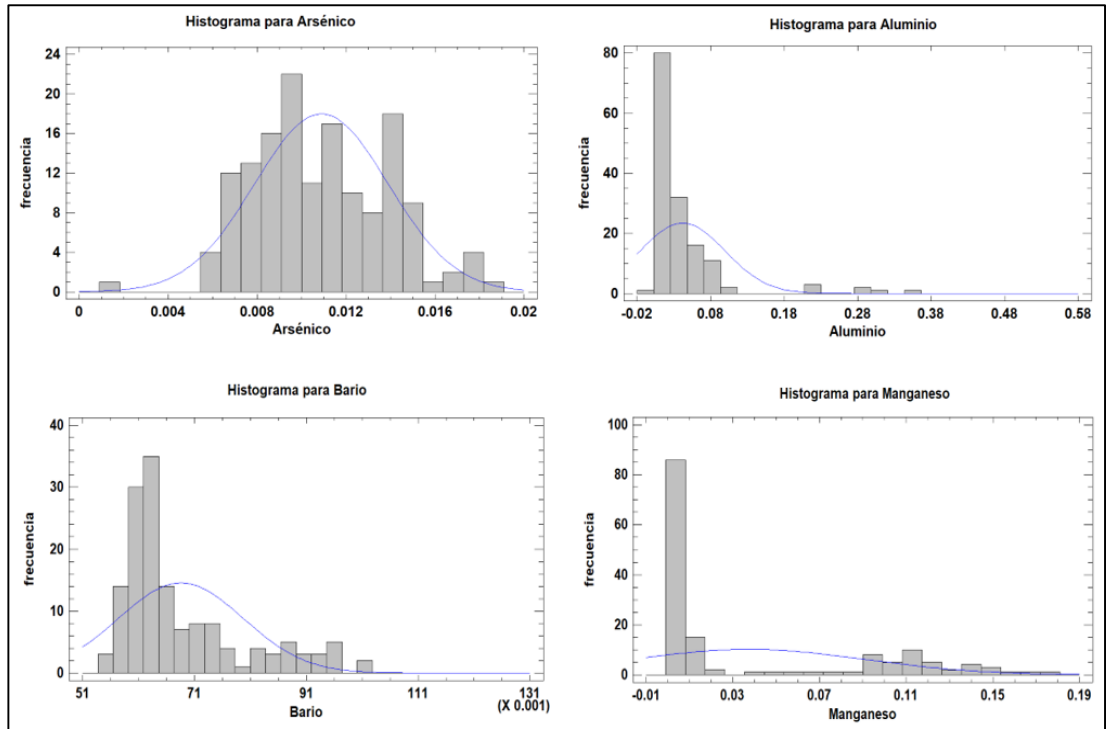


Figura 8. Graficas de Normalidad en aguas superficiales del Lago Titicaca.

Fuente: Elaboración Propia.

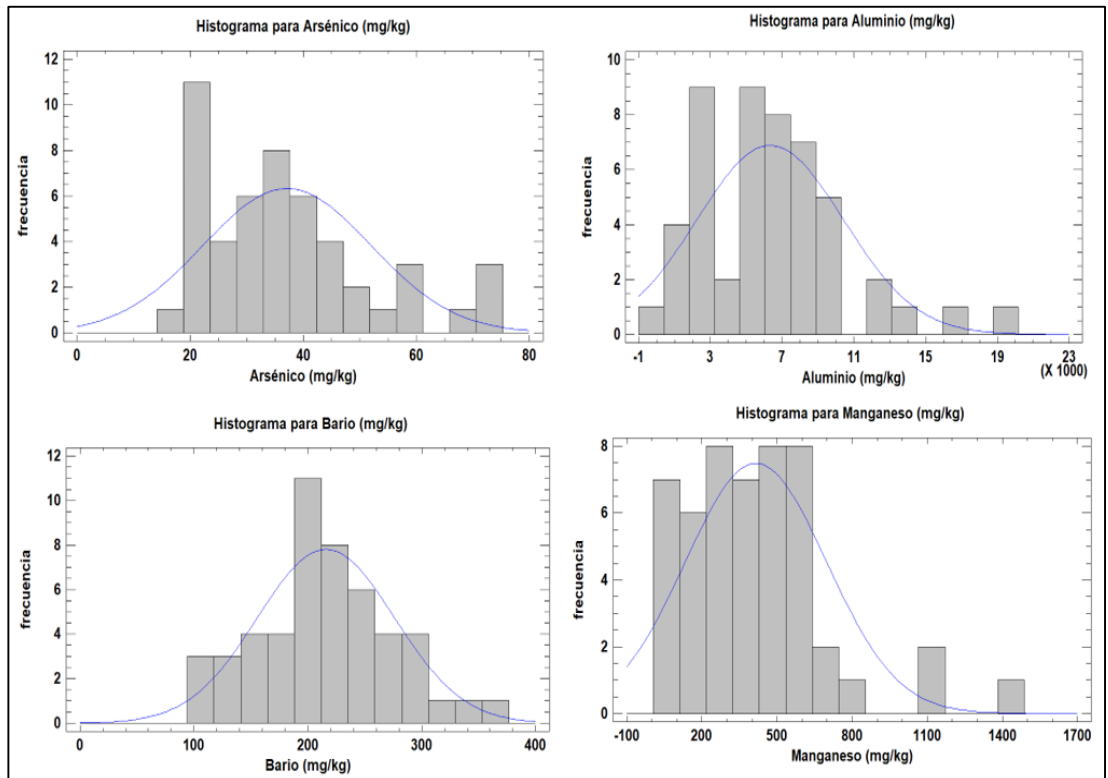


Figura 9. Graficas de Normalidad en sedimentos del Lago Titicaca.

Fuente: Elaboración Propia.

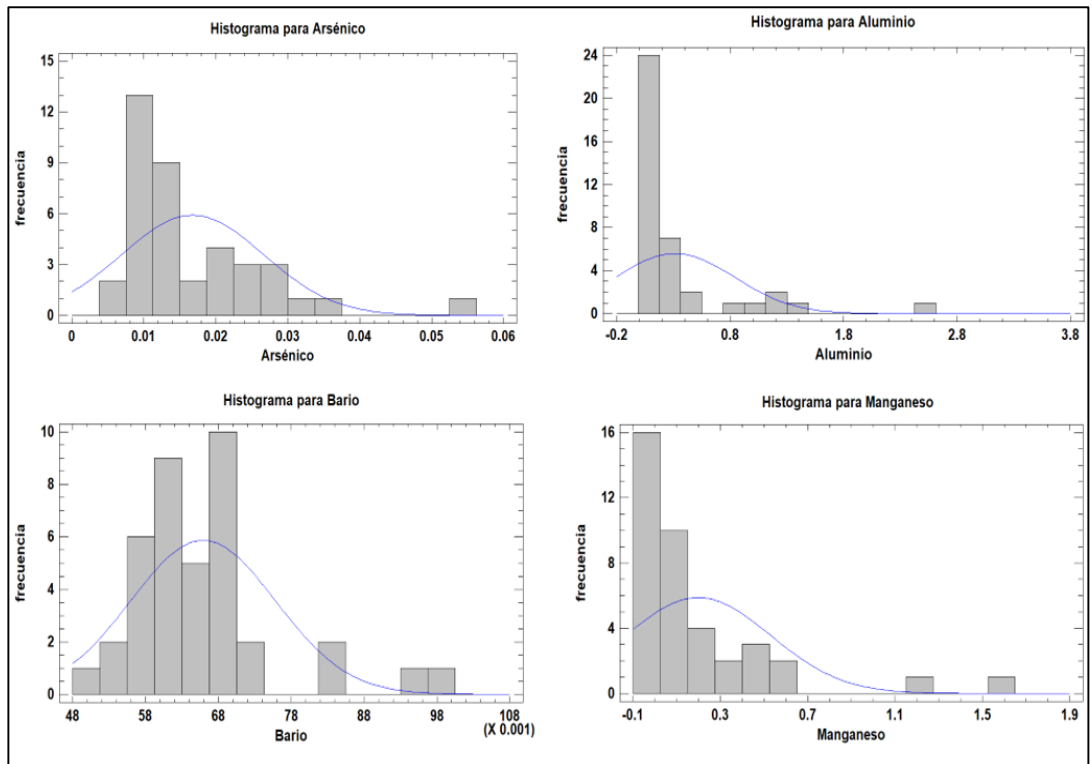


Figura 10. Graficas de Normalidad en aguas fluviales del Lago Titicaca.

Fuente: Elaboración Propia.

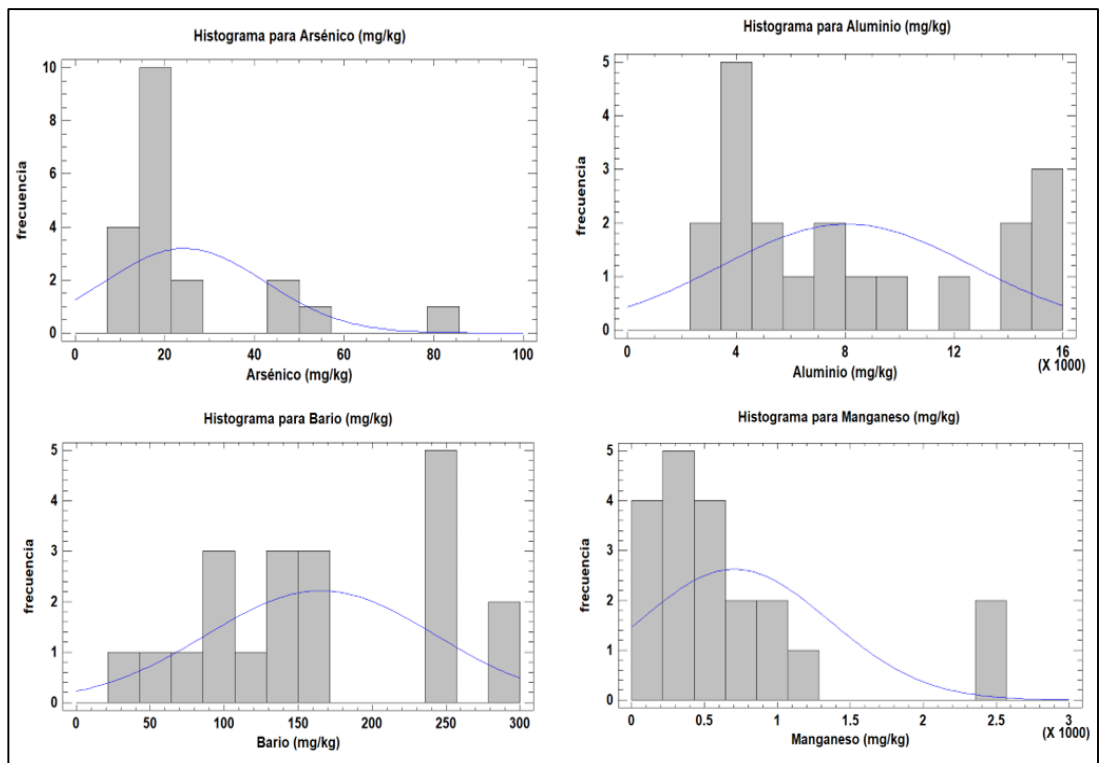


Figura 11. Graficas de Normalidad en sedimentos de ríos afluentes del Lago Titicaca.

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.1. Metales traza en aguas fluviales

Siendo los ríos un factor importante dentro de un sistema como las cuencas, se consideró a los tres principales ríos afluentes dentro de la cuenca del Titicaca: Ramis, Coata e Ilave.

La concentración de metales traza en los ríos afluentes se compararon con respecto a los ECA según decreto supremo publicado por el Ministerio Del Ambiente (MINAM) el cual indica y clasifica los valores de referencia en términos de concentración para metales en agua de acuerdo con su categoría y subcategoría respectivamente.

En la Tabs. 6, 7, 8, 9 y 10 se muestran los análisis estadísticos descriptivos y las pruebas unilaterales de estimación en la cual se comparó la media de metales traza en agua respecto a los estándares de calidad ambiental (ECA).

Tabla 6. Descriptivos de concentración de Arsénico en aguas de ríos afluentes.

Zona		Estadístico		
Concentración de Arsénico en agua (mg/L)	Río Ramis	Media	,0109471	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	,0067456
			Límite superior	,0151487
		Media recortada al 5%	,0108968	
		Mediana	,0100000	
		Varianza	,000	
		Desv. Desviación	,00454293	
	Río Coata	Media	,0205879	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	,0160975
			Límite superior	,0250783
		Media recortada al 5%	,0195329	
		Mediana	,0190000	
		Varianza	,000	
		Desv. Desviación	,01063409	
	Río Ilave	Media	,0104475	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	,0078687
			Límite superior	,0130263
		Media recortada al 5%	,0103861	
		Mediana	,0096500	
		Varianza	,000	
		Desv. Desviación	,00308467	
Máximo		,05400		
Rango		,04500		
Rango intercuartil		,01462		
Asimetría	1,445			
Curtosis	2,929			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Descriptivos de concentración de Aluminio en aguas de ríos afluentes.

Concentración de Aluminio en agua (mg/L)	Río Ramis	Media		,2394714
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	
		Límite superior		,4635928
		Media recortada al 5%		,2218071
		Mediana		,1494000
		Varianza		,059
		Desv. Desviación		,24233380
	Río Coata	Media		,4025858
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	,1349173
			Límite superior	,6702544
		Media recortada al 5%		,3143741
		Mediana		,1130000
		Varianza		,402
		Desv. Desviación		,63389058
	Río ilave	Media		,1067125
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	-,0292240
			Límite superior	,2426490
		Media recortada al 5%		,0919028
		Mediana		,0190000
		Varianza		,026
		Desv. Desviación		,16259943

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Descriptivos de concentración de Bario en aguas de ríos afluentes.

Concentración de Bario en agua (mg/L)	Río Ramis	Media		,0634500
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	
		Límite superior		,0668298
		Media recortada al 5%		,0634500
		Mediana		,0638000
		Varianza		,000
		Desv. Desviación		,00365439
	Río Coata	Media		,0672179
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	,0621148
			Límite superior	,0723210
		Media recortada al 5%		,0663394
		Mediana		,0645000
		Varianza		,000
		Desv. Desviación		,01208506
	Río ilave	Media		,0640913
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	,0595313
			Límite superior	,0686512
		Media recortada al 5%		,0642403
		Mediana		,0650000
		Varianza		,000
		Desv. Desviación		,00545433

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Descriptivos de concentración de Manganeso en aguas de ríos afluentes.

Concentración de Manganeso en agua (mg/L)	Río Ramis	Media		,0262571
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	Límite superior
				,0513606
		Media recortada al 5%		,0235913
		Mediana		,0168000
		Varianza		,001
		Desv. Desviación		,02714338
	Río Coata	Media		,2994508
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	Límite superior	,1349340
				,4639676
		Media recortada al 5%		,2465639
		Mediana		,1924000
		Varianza		,152
		Desv. Desviación		,38960746
	Río Ilave	Media		,0460875
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	Límite superior	-,0041801
				,0963551
		Media recortada al 5%		,0430417
		Mediana		,0179000
		Varianza		,004
		Desv. Desviación		,06012716

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Prueba de Hipótesis para metales en ríos afluentes.

Pruebas de Hipótesis				
Hipótesis Nula:	media = 0,15	media = 0,2	media = 0,7	media = 0,1
Alternativa:	menor que	menor que	menor que	menor que
	Arsénico (As)	Aluminio (Al)	Bario (Ba)	Manganeso (Mn)
R. Ramis	Estadístico t : -80,9828	0,430941	-460,857	-7,18795
	Valor-P : 0,0	0,659219	0,0	0,000183324
	Conclusión: Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05,	No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05,	Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05,	Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05,
R. Coata	Estadístico t : -59,6184	1,56567	-256,514	2,50792
	Valor-P : 0,0	0,934459	0,0	0,990176
	Conclusión: Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05,	No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05,	Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05,	No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05,
R. Ilave	Estadístico t : -127,96	-1,62274	-329,76	-2,53608
	Valor-P : 0,0	0,0743372	0,0	0,0194431
	Conclusión: Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05,	No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05,	Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05,	Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05,

Fuente: Elaboración propia.

- **Arsénico:** Según las Tabs. 6 y 10, las concentraciones medias de Arsénico obtenidas en los ríos Ramis, Coata e Ilave, en relación con los diferentes puntos de muestreo, indicó que estas concentraciones no superaron estadísticamente los valores referenciales establecidos por la norma ECA ($p < 0.05$).

Asimismo, la concentración media de As en el río Coata, fue superior con respecto a los ríos Ramis e Ilave, tal como se muestra en la Fig. 12.

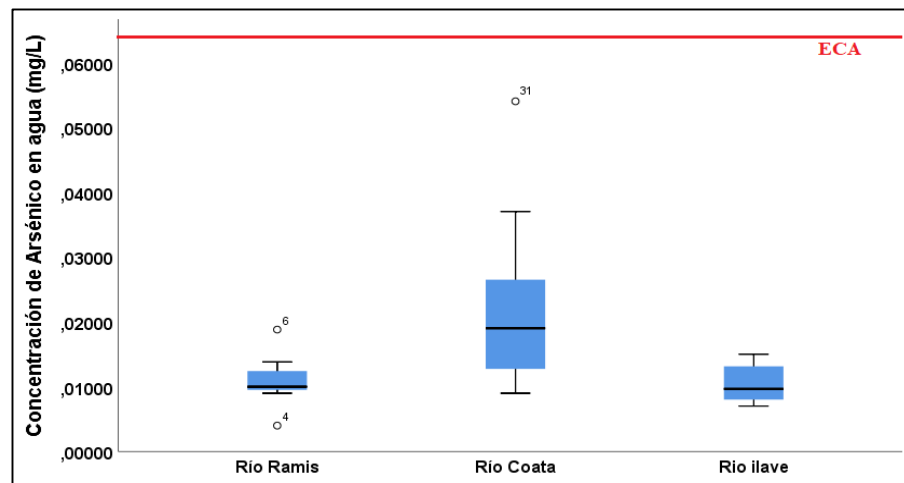


Figura 12. Comportamiento de Arsénico en agua (ríos).

Fuente: Elaboración propia.

- **Aluminio:** Según las Tabs. 7 y 10, las concentraciones medias de Aluminio obtenidas en los ríos Ramis, Coata e Ilave, en relación con los diferentes puntos de muestreo, indicó que estas concentraciones superaron estadísticamente los valores referenciales establecidos por la norma ECA ($p > 0.05$).

Sin embargo, algunas estaciones de muestreo, sobre todo en el río Coata, superaron dichos valores referenciales, tal como se muestra en la Fig. 13.

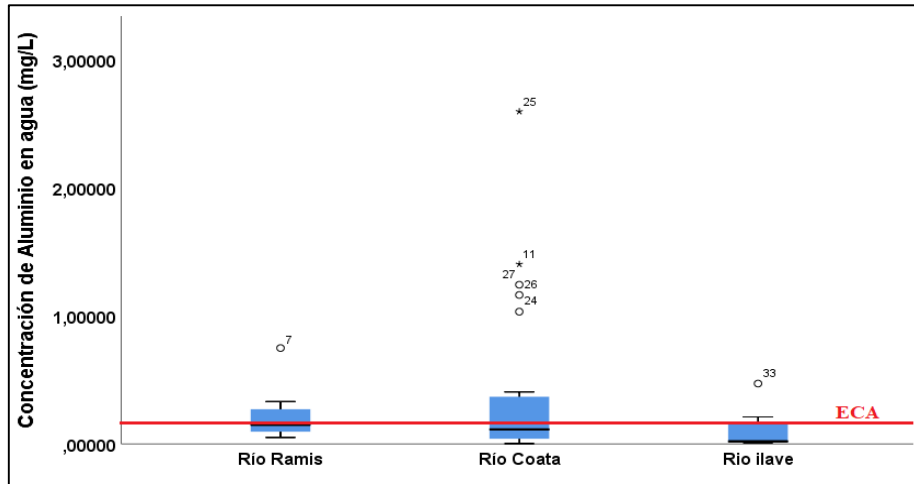


Figura 13. Comportamiento de Aluminio en agua (Ríos).

Fuente: Elaboración propia.

- Bario:** Según Tabs. 8 y 10, las concentraciones medias de Bario obtenidas en los ríos Ramis, Coata e Ilave, con relación a los diferentes puntos de muestreo, indicó que estas concentraciones no superaron estadísticamente los valores referenciales establecidos por la norma ECA ($p < 0.05$).

Asimismo, las concentraciones medias fueron similares para los tres ríos, tal como se muestra en la Fig. 14.

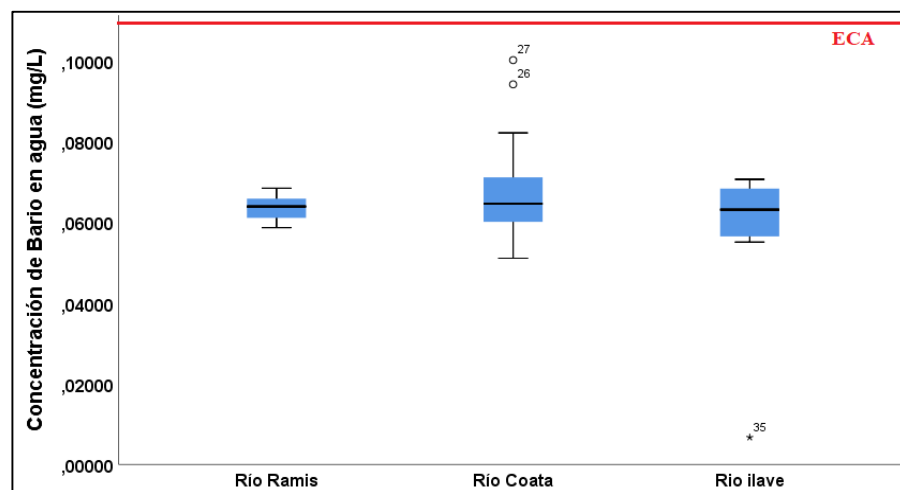


Figura 14. Comportamiento de Bario en agua (Ríos).

Fuente: Elaboración propia.

- **Manganeso:** Según Tabs. 9 y 10, las concentraciones medias de Manganeso obtenidas en los ríos Ramis, Coata e Ilave, en relación con los diferentes puntos de muestreo, indicó que estas concentraciones superaron estadísticamente los valores referenciales establecidos por la norma ECA ($p > 0.05$).

Asimismo, la Fig. 15 muestra que la concentración media de Mn contenidas en el río Coata fue mayor que en los ríos Ramis e Ilave.

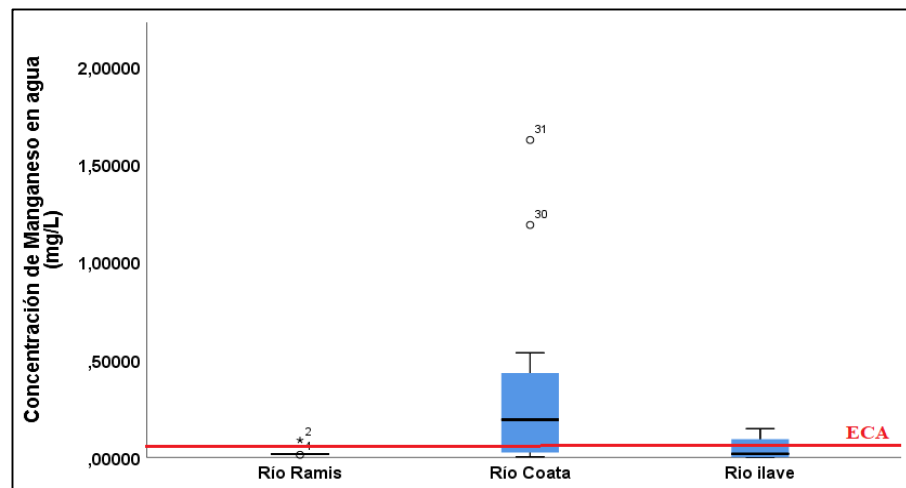


Figura 15. Comportamiento de Manganeso en agua (Ríos).

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Metales traza en aguas lacustres

En la tabla 11 se muestra la media de las concentraciones de metales traza (As, Al, Ba, Mn) en agua para el lago Titicaca y ríos afluentes.

Tabla 11. Descriptivos para concentración de metales en agua.

	Zona			Estadístico
Concentración de Arsénico en agua (mg/L)	Lago	Media		,01088968
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	,01040351
			Límite superior	,01137586
		Media recortada al 5%		,01082143
		Mediana		,01050000
		Varianza		,000
	Desv. Desviación		,003003117	
	rios	Media		,01677744
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	,01357947
			Límite superior	,01997540
		Media recortada al 5%		,01579829
		Mediana		,01428000
		Varianza		,000
		Desv. Desviación		,009865319
Concentración de Aluminio en agua (mg/L)		Lago	Media	
	95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	,03246546
			Límite superior	,05111521
	Media recortada al 5%			,03131846
	Mediana			,02190000
	Varianza			,003
	Desv. Desviación		,057599965	
	rios	Media		,31261692
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	,14343907
			Límite superior	,48179477
		Media recortada al 5%		,23558561
		Mediana		,10000000
		Varianza		,272
		Desv. Desviación		,521892103
Concentración de Bario en agua (mg/L)		Lago	Media	
	95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	,06676809
			Límite superior	,07037701
	Media recortada al 5%			,06767033
	Mediana			,06400000
	Varianza			,000
	Desv. Desviación		,011146180	
	rios	Media		,06541308
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	,06191252
			Límite superior	,06891364
		Media recortada al 5%		,06482507
		Mediana		,06400000
		Varianza		,000
		Desv. Desviación		,010798784
Concentración de Manganeso en agua (mg/L)		Lago	Media	
	95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	,02873898
			Límite superior	,04591759
	Media recortada al 5%			,03273665
	Mediana			,00540000
	Varianza			,003
	Desv. Desviación		,053056342	
	rios	Media		,19844410
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	,09120089
			Límite superior	,30568732
		Media recortada al 5%		,14216211
		Mediana		,05740000
		Varianza		,109
		Desv. Desviación		,330831655

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 12 muestra las pruebas unilaterales de estimación entre cada metal y sus respectivas normas de referencia con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 12. Prueba de Hipótesis para metales en aguas del Lago Titicaca.

Pruebas de Hipótesis				
Hipótesis Nula:	media = 0,15	media = 0,2	media = 0,7	media = 0,1
Alternativa:	menor que	menor que	menor que	menor que
	Arsénico (As)	Aluminio (Al)	Bario (Ba)	Manganeso (Mn)
Estadístico t :	-565,432	-335277	-691,497	-14,4187
Valor-P :	0,0	0,0	0,0	0,0
Conclusión	Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05,	Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05,	Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05,	Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05,

Fuente: Elaboración propia.

- **Arsénico:** La concentración media de As en el lago Titicaca (0.01089 mg/L) fue menor que en sus ríos afluentes (0.01678 mg/L) como se muestra en la tabla 11 y Fig. 16. Además, según la tabla 12 estas concentraciones medias no superaron estadísticamente los valores establecidos por la norma ECA ($p < 0.05$).

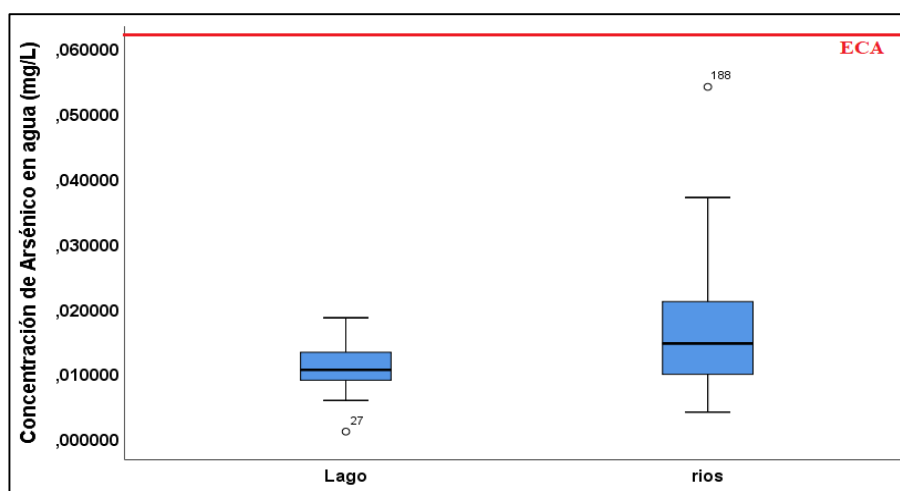


Figura 16. Comportamiento de Arsénico (Lago-Ríos).

Fuente: Elaboración propia.

En la Fig. 17, se muestra la distribución horizontal de As dentro del Lago Titicaca, en la cual se observa una tendencia del incremento de este metal cerca a la desembocadura de los ríos afluentes en los años 2013-2016.

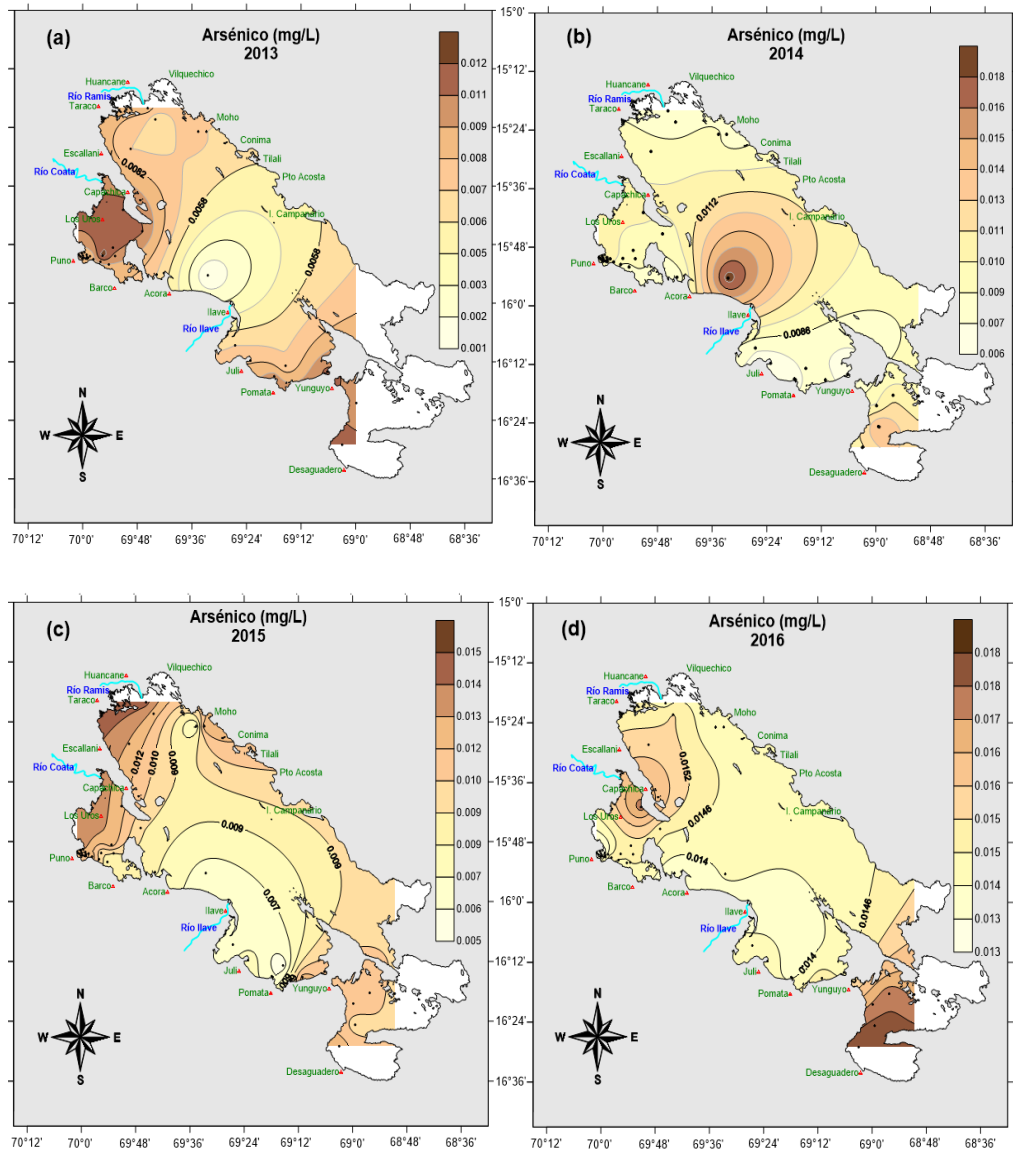


Figura 17. Distribución de Arsénico en agua: (a) 2013; (b) 2014; (c) 2015; (d) 2016.

Fuente: Elaboración propia.

- Aluminio:** La concentración media de Al en el lago Titicaca (0.04179 mg/L) fue ligeramente mayor que en sus ríos afluentes (0.03126 mg/L) como se muestra en la tabla 11 y Fig. 18. Además, según la tabla 12 estas concentraciones medias contenidas en el lago Titicaca, no superaron estadísticamente los valores establecidos por la norma ECA ($p < 0.05$) excepto por algunas estaciones de muestreo en los ríos afluentes.

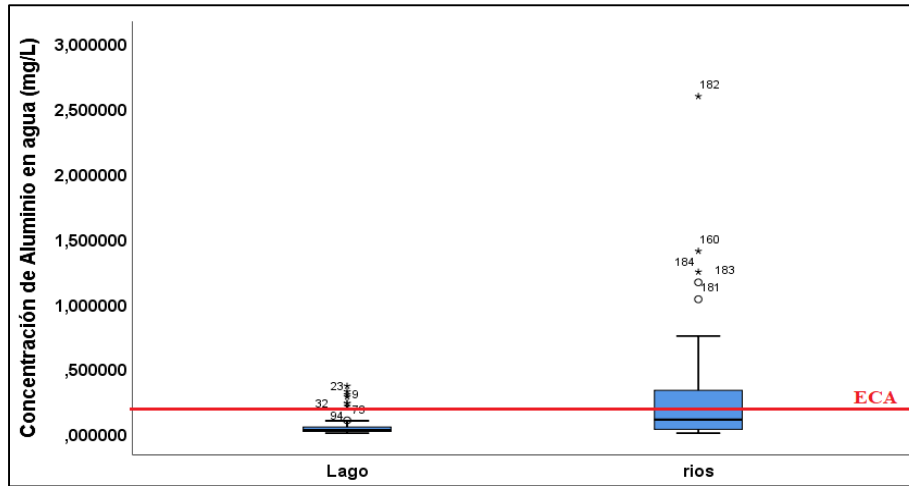


Figura 18. Comportamiento de Aluminio en agua (Lago-Ríos).

Fuente: Elaboración propia.

En la Fig. 19, se muestra la distribución horizontal de Al dentro del Lago Titicaca, en la cual se observa una tendencia del incremento de este metal cerca de la zona de Huancané para los años 2013-2016.

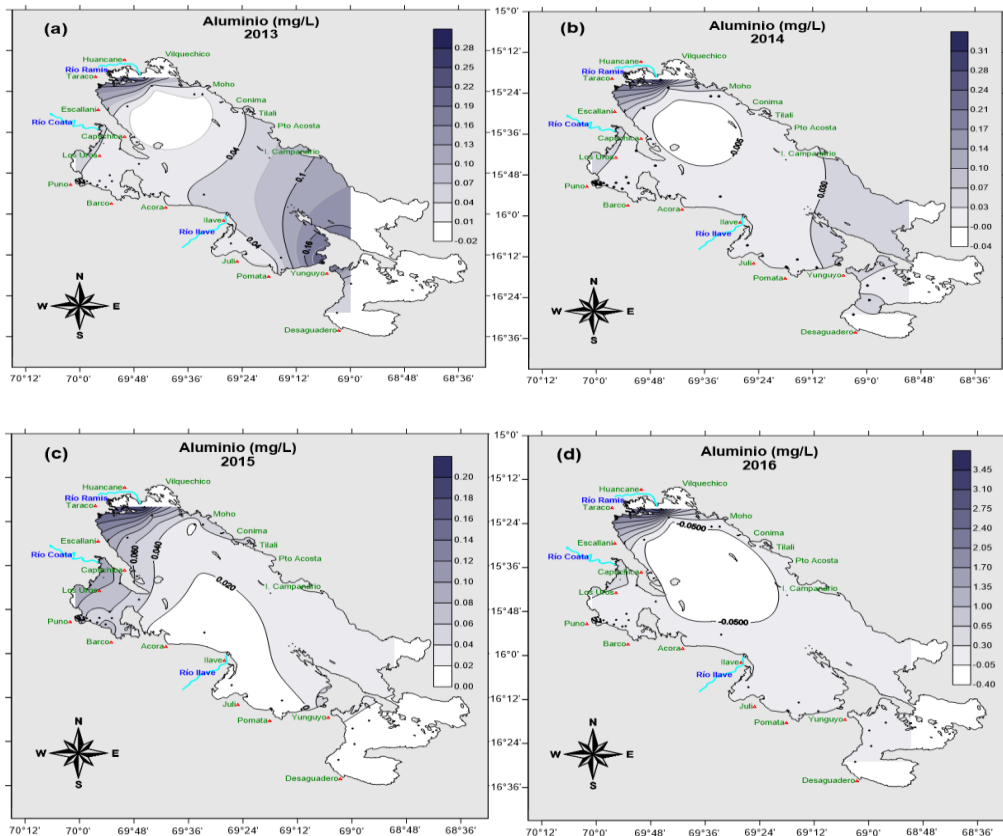


Figura 19. Distribución de Aluminio en agua: (a) 2013; (b) 2014; (c) 2015; (d) 2016.

Fuente: Elaboración propia.

- **Bario:** La concentración media de Ba en el lago Titicaca (0.06857 mg/L) fue ligeramente mayor a sus ríos afluentes (0.06387 mg/L) como se muestra en la tabla 11 y Fig. 20. Además, según la tabla 12 estas concentraciones medias contenidas en el lago Titicaca, no superaron los valores establecidos por la norma ECA ($p < 0.05$).

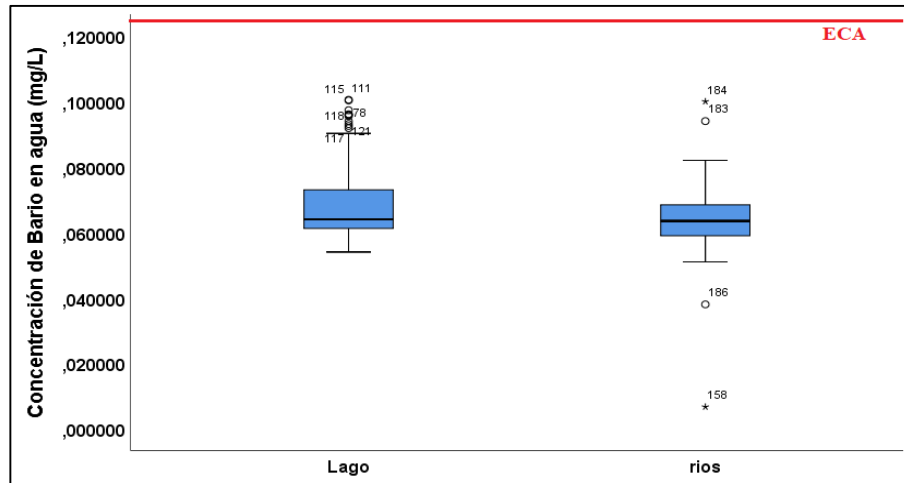


Figura 20. Comportamiento de Bario en agua (Lago-Ríos).

Fuente: Elaboración propia.

En la Fig. 21, se muestra la distribución horizontal de Ba dentro del Lago Titicaca, en la cual se observa una tendencia del incremento de este metal en la zona de Ilave y la Bahía interior de Puno para los años 2013-2016.

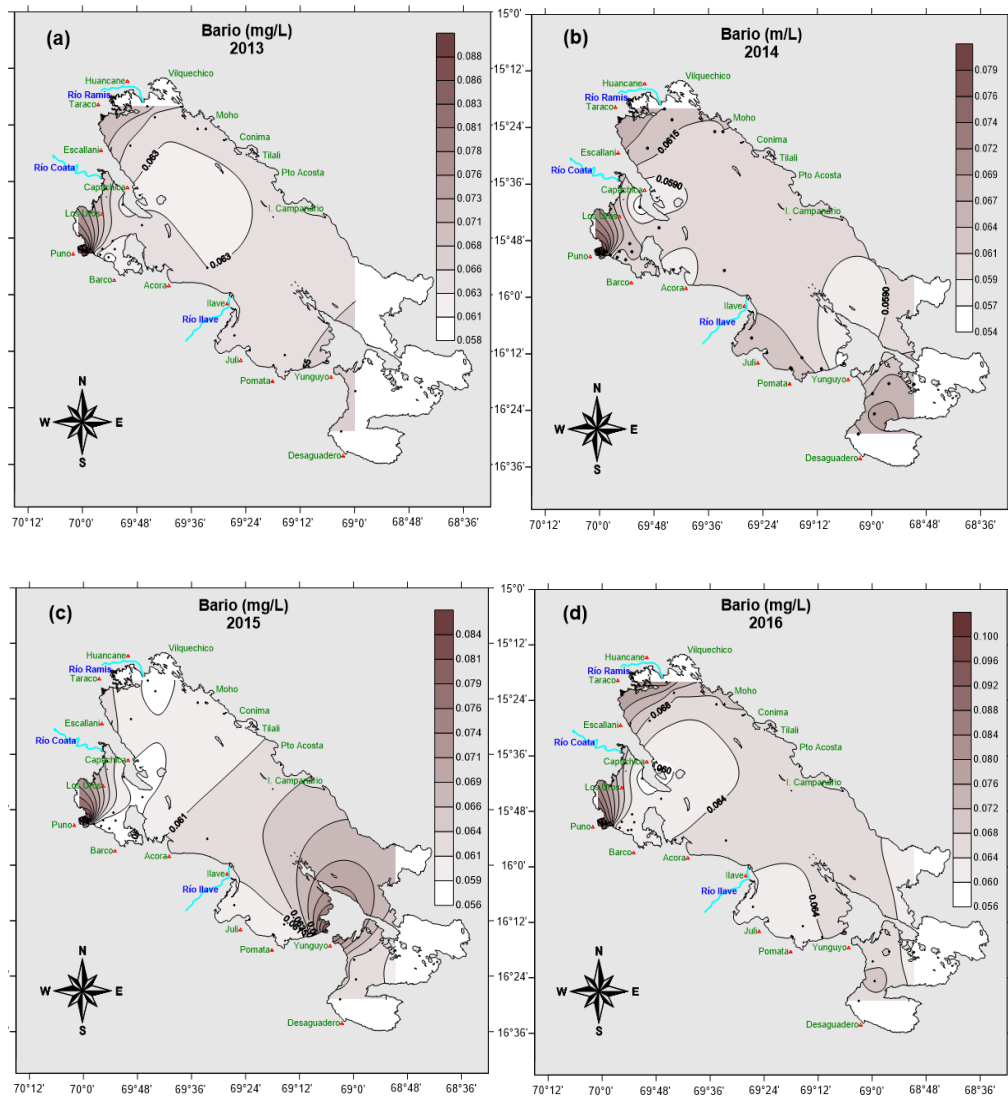


Figura 21. Distribución de Bario en agua: (a) 2013; (b) 2014; (c) 2015; (d) 2016.

Fuente: Elaboración propia.

- Manganeso:** La concentración media de Mn en el lago Titicaca (0.03733 mg/L) fue menor que en sus ríos afluentes (0.1984 mg/L) como se muestra en la Tab. 11 y Fig. 22. Además, la tabla 12 estas concentraciones medias contenidas en el lago Titicaca, no superaron estadísticamente los valores establecidos por la norma ECA ($p < 0.05$) excepto por algunas estaciones de muestreo en los ríos afluentes.

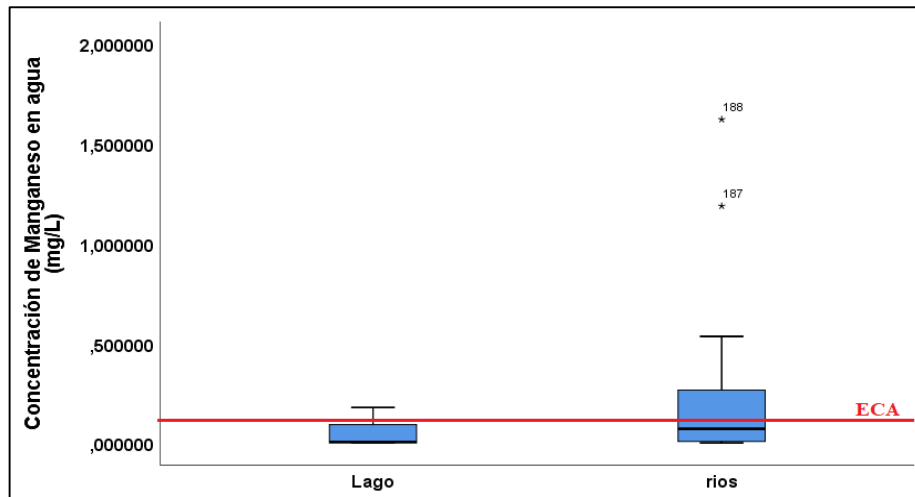


Figura 22. Comportamiento de Manganeso en agua (Lago-Ríos).

Fuente: Elaboración propia.

En la Fig. 23, se muestra la distribución horizontal de Mn dentro del Lago Titicaca, por lo que se desprende, que hay una tendencia de un incremento significativo en la Bahía interior en la cual se observa una tendencia del incremento de este metal en la Bahía interior de Puno para los años cuatro años consecutivos 2013-2016.

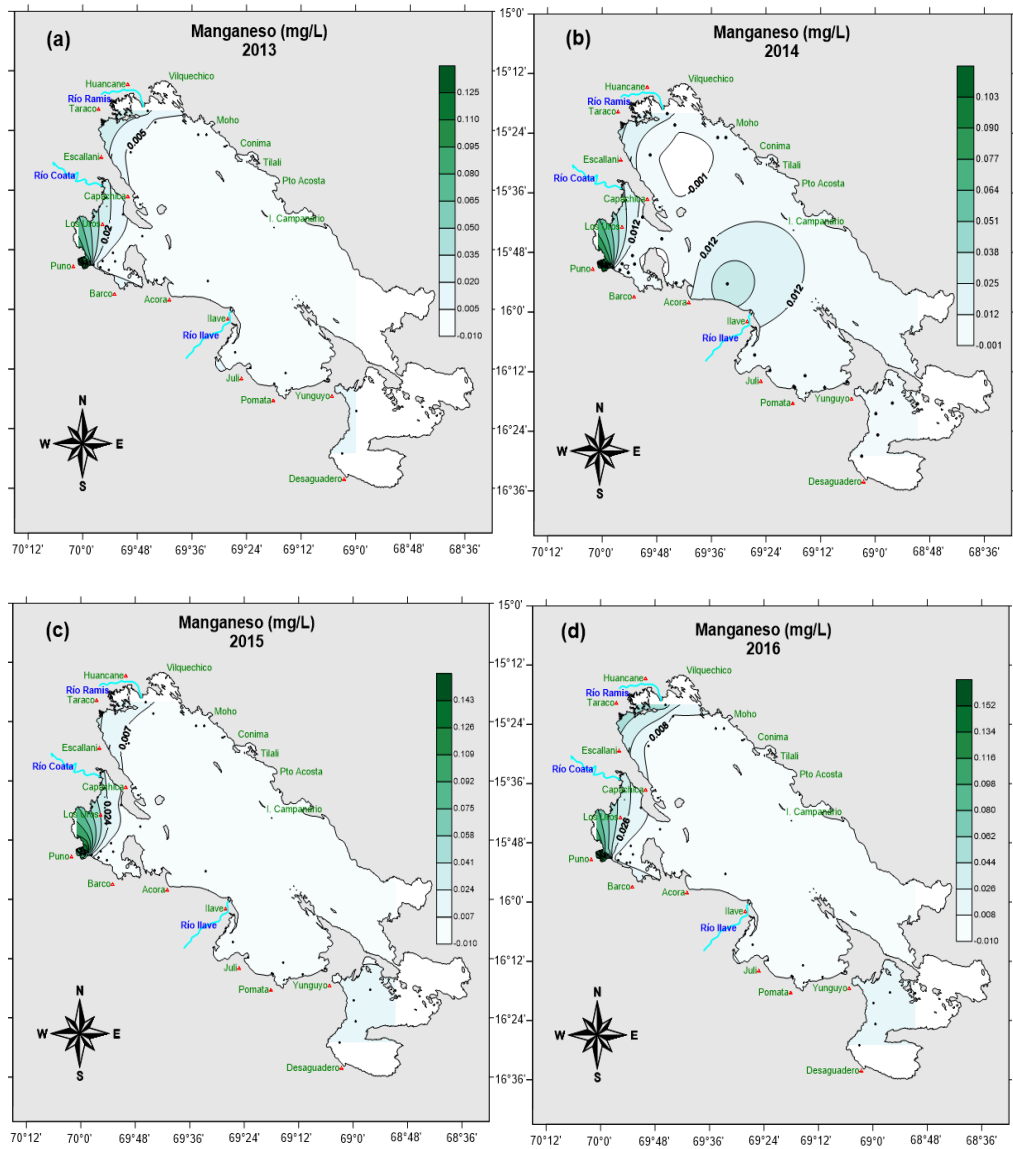


Figura 23. Distribución de Manganeso en agua: (a) 2013; (b) 2014; (c) 2015; (d) 2016.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Metales traza en sedimentos lacustres

En la tabla 13 se muestra la media de las concentraciones de metales traza (As, Al, Ba, Mn) en sedimento para el lago Titicaca y ríos afluentes.

Tabla 13. Descriptivos para concentración de metales en sedimento.

	zona		Estadístico	
Concentración de Arsénico en Sed. (mg/kg)	Lago	Media	37,1280	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	32,9103
			Límite superior	41,3457
		Varianza	220,248	
		Desv. Desviación	14,84076	
	Ríos	Media	34,2814	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	21,0913
			Límite superior	47,4716
		Varianza	521,884	
		Desv. Desviación	22,84477	
Concentración de Aluminio en Sed. (mg/kg)	Lago	Media	6333,2400	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	5171,1128
			Límite superior	7495,3672
		Varianza	16721251,80	
		Desv. Desviación	4089,16273	
	Ríos	Media	6873,3707	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	4430,8684
			Límite superior	9315,8730
		Varianza	17895434,79	
		Desv. Desviación	4230,29961	
Concentración de Bario en Sed. (mg/kg)	Lago	Media	215,8800	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	198,7900
			Límite superior	232,9700
		Varianza	3616,142	
		Desv. Desviación	60,13437	
	Ríos	Media	135,8593	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	95,1455
			Límite superior	176,5731
		Varianza	4972,279	
		Desv. Desviación	70,51439	
Concentración de Manganeso en Sed. (mg/kg)	Lago	Media	415,5940	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	335,4105
			Límite superior	495,7775
		Varianza	79603,428	
		Desv. Desviación	280,348	
	Ríos	Media	716,6971	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	276,7242
			Límite superior	1156,6701
		Varianza	580663,113	
		Desv. Desviación	762,01254	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Prueba de Hipótesis para Metales en Sedimento del Lago Titicaca.

Pruebas de Hipótesis				
Hipótesis Nula:	media = 8,0	media = 10000	media = 60	media = 500
Alternativa:	menor que	menor que	menor que	menor que
	Arsénico (As)	Aluminio (Al)	Bario (Ba)	Manganeso (Mn)
Estadístico t :	13,8784	-6,34064	18,3706	-2,1154
Valor-P :	0,0	1,0	0,0	0,980248
Conclusión	Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05,	No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05,	Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05,	No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05,

Fuente: Elaboración propia.

- **Arsénico:** Las concentraciones medias de As contenidos en el sedimento del lago Titicaca y ríos afluentes fueron 37.1 y 34.3 mg/kg como se muestra en la tabla 13 y Fig. 24. Asimismo, la tabla 14, muestra que estas

concentraciones superaron estadísticamente los valores establecidos por la norma U.S EPA ($p < 0.05$).

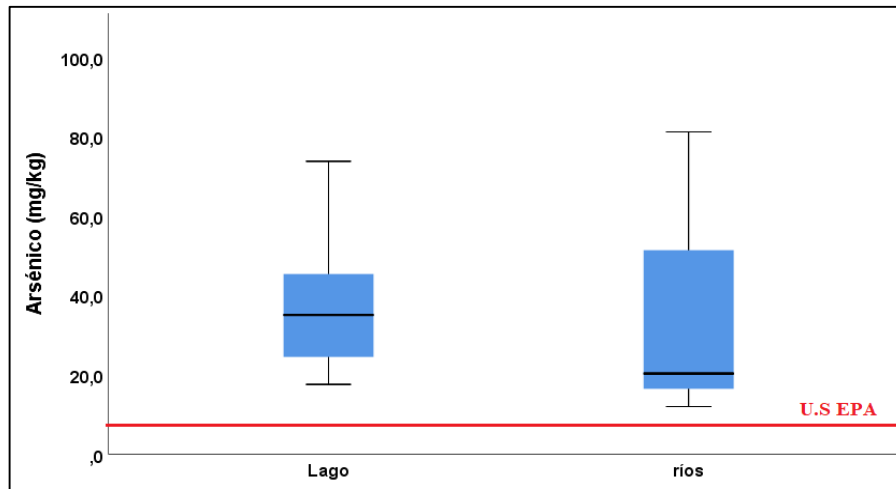


Figura 24. Comportamiento de Arsénico en sedimento (Lago-Ríos).

Fuente: Elaboración propia.

En la Fig. 25, se muestra la distribución horizontal de As en el sedimento lacustre, en la cual se observa una tendencia del incremento de este metal en la provincia de Capachica y el río Coata, para los años 2013-2014.

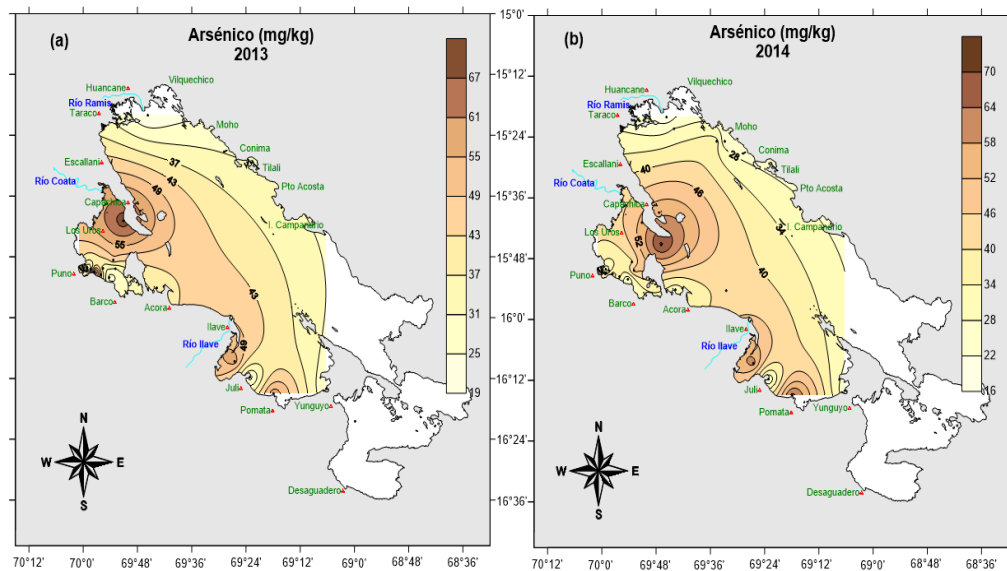


Figura 25. Distribución de Arsénico en sedimento:(a) 2013; (b) 2014.

Fuente: Elaboración propia.

- Aluminio:** Las concentraciones medias de Al contenido en el sedimento del lago Titicaca y ríos afluentes fueron 6333.3 y 6873.4 mg/kg como se muestra en la tabla 13 y Fig. 26 respectivamente. Asimismo, la tabla 14, muestra que estas concentraciones no superaron estadísticamente los valores establecidos por la norma NGR ($p > 0.05$), a excepción de algunas estaciones de muestreo.

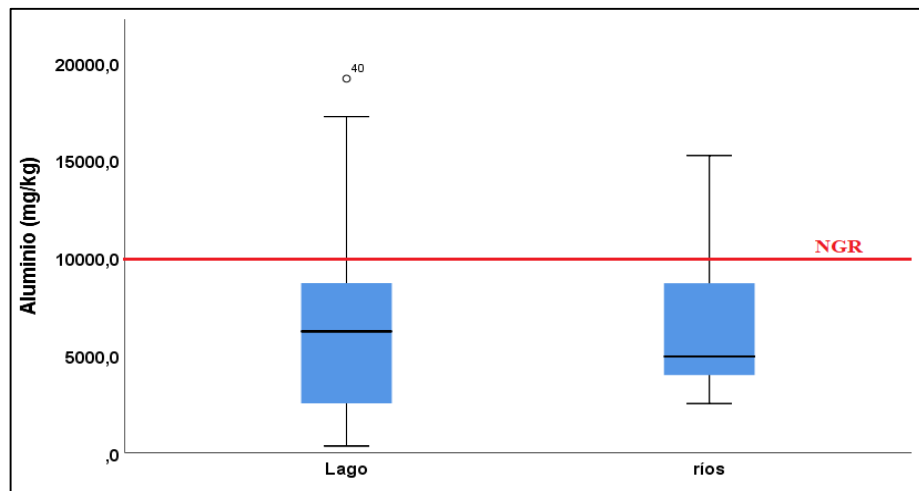


Figura 26. Comportamiento de Aluminio en sedimento (Lago-Ríos).

Fuente: Elaboración propia.

En la Fig.27, se muestra la distribución horizontal de Al en el sedimento lacustre, en la cual se observa una tendencia del incremento de este metal en la provincia de Ilave, Juli y Escallani, para los años 2013-2014.

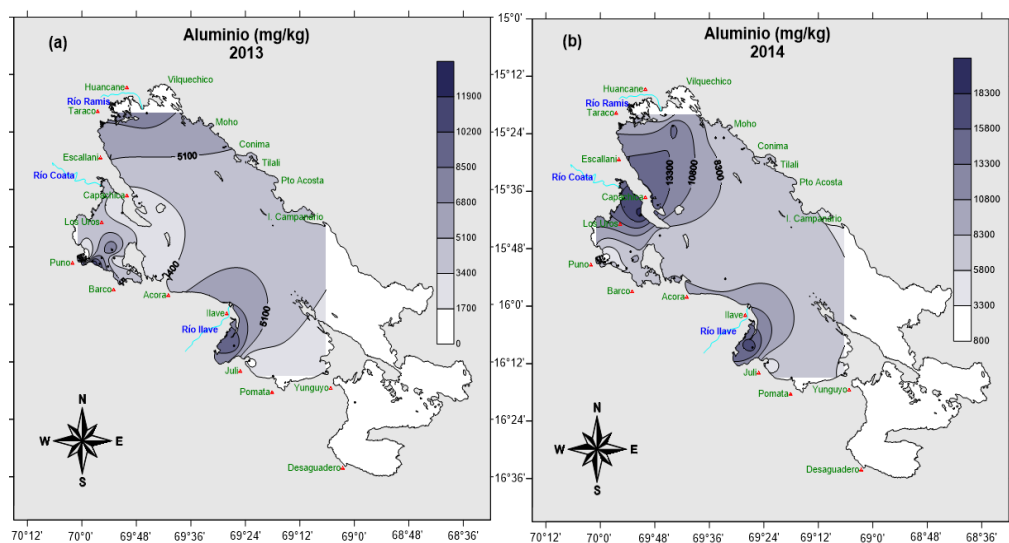


Figura 27. Distribución de Aluminio en sedimento: (a) 2013; (b) 2014.

Fuente: Elaboración propia.

- **Bario:** Las concentraciones medias de Ba contenidos en el sedimento del lago Titicaca y ríos afluentes fueron 215.9 y 135.9 mg/kg como se muestran en la tabla 13 y Fig. 28 respectivamente. Asimismo, la tabla 14, muestra que estas concentraciones medias superaron estadísticamente los valores establecidos por la norma U.S EPA ($p < 0.05$).

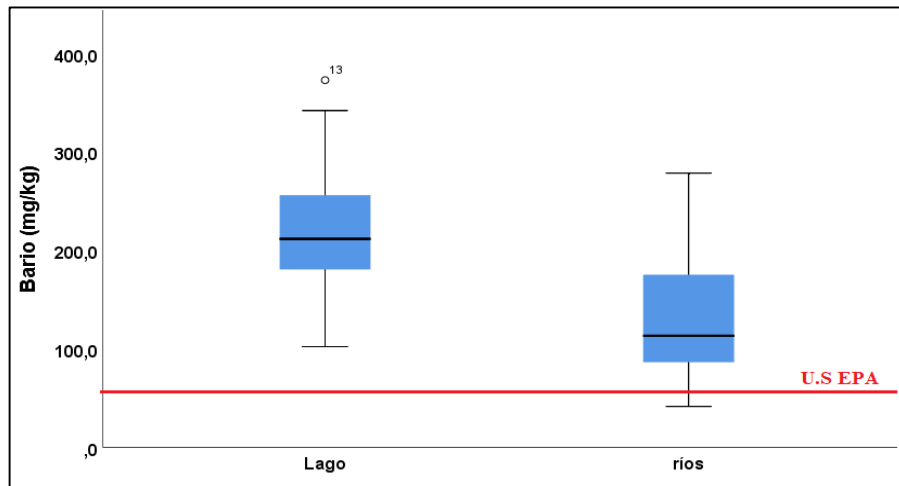


Figura 28. Comportamiento de Bario en sedimento (Lago-Ríos).

Fuente: Elaboración propia.

En la Fig. 29, se muestra la distribución horizontal de Ba en el sedimento lacustre, en la cual se observa una tendencia del incremento de este metal en la Bahía Interior de la provincia de Puno para los años 2013-2014.

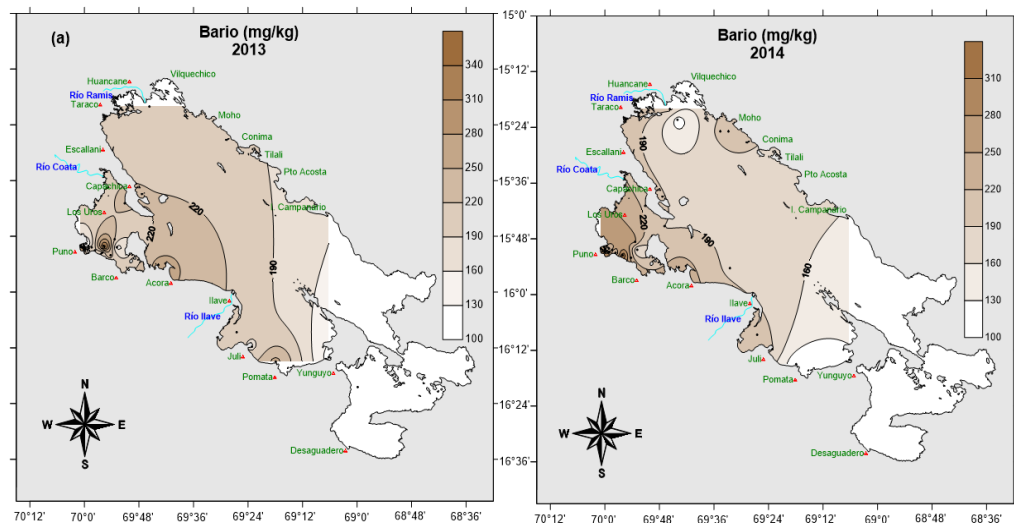


Figura 29. Distribución de Bario en sedimento: (a) 2013; (b) 2014.

Fuente: Elaboración propia.

- Manganeso:** Las concentraciones medias de Mn contenidos en el sedimento del lago Titicaca y ríos afluentes fueron 415.6 y 716.7 mg/kg como se muestra en la tabla 13 y Fig. 30 respectivamente. Asimismo, la tabla 14, muestra que estas concentraciones no superaron estadísticamente los valores establecidos por la norma U.S EPA ($p > 0.05$), a excepción de algunas estaciones de muestreo.

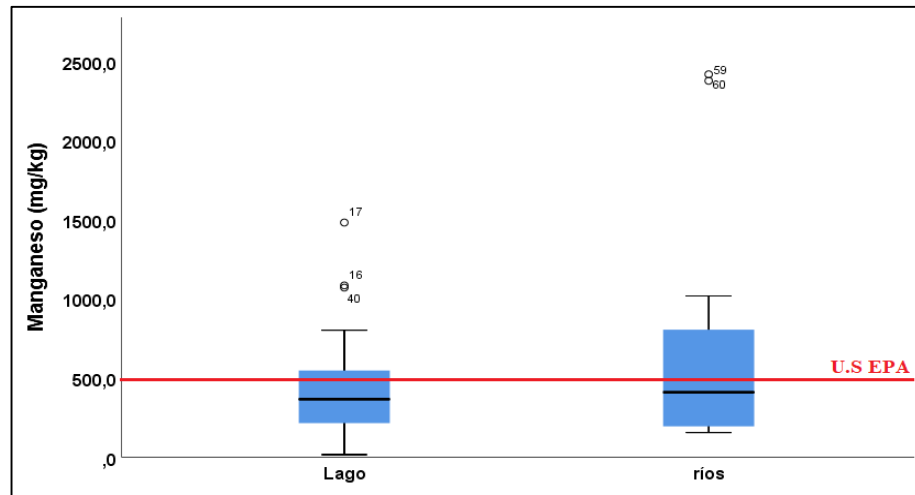


Figura 30. Comportamiento de Manganeso en sedimento (Lago-Ríos).

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, las zonas de Capachica y Escallani, presentaron una tendencia de Manganeso para los años 2013-2014, tal como se muestra en la Fig. 31.

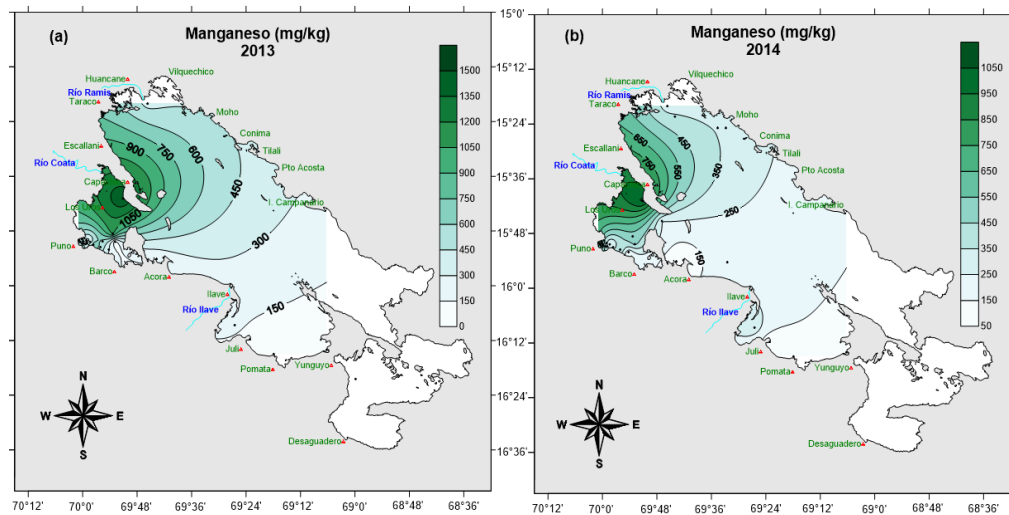


Figura 31. Distribución de Manganeso en sedimento: (a) 2013; (b) 2014.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4. Relaciones de metales traza entre aguas y sedimentos lacustres

- **Arsénico:** El coeficiente de correlación de Pearson entre las concentraciones de As en agua y sedimento del lago Titicaca fue 0.915 lo cual indica que el grado de asociación entre estas variables fue alta ($p < 0.05$), tal como se muestra en la tabla 15.

Tabla 15. Correlación de As en agua y sedimento.

		Conc. de As en agua	Conc. de As en Sedimento
Conc. de As en agua	Correlación de Pearson	1	,915**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	24	24
Conc. de As en Sedimento	Correlación de Pearson	,915**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	24	24

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, el diagrama de dispersión simple con ajuste de línea ($R^2 = 0.838$) determinó que el 83.8%, se encuentra explicada por el modelo de regresión, según Fig. 32.

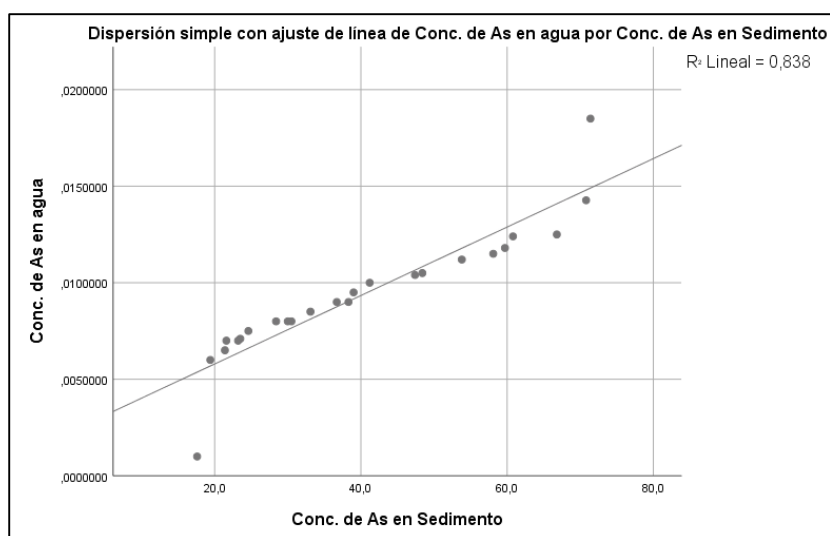


Figura 32. Dispersión de Arsénico en agua y sedimento.

Fuente: Elaboración propia.

- **Aluminio:** El coeficiente de correlación de Pearson entre las concentraciones de Al en agua y sedimento del lago Titicaca fue 0.785 lo cual indica que el grado de asociación entre estas variables fue alta ($p < 0.05$) tal como se muestra en la tabla 16.

Tabla 16. Correlación de Al en agua y sedimento.

		Conc. de Al en agua	Conc. de Al en Sedimento
Conc. de Al en agua	Correlación de Pearson	1	,785**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	24	24
Conc. de Al en Sedimento	Correlación de Pearson	,785**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	24	24

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, el diagrama de dispersión simple con ajuste de línea ($R^2 = 0.838$) determinó que el 83.8%, se encuentra explicada por el modelo de regresión, según Fig. 33.

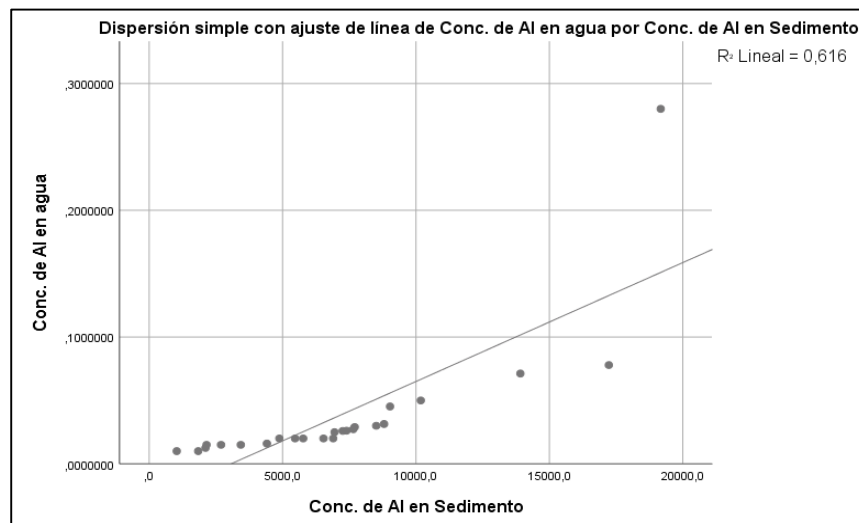


Figura 33. Dispersión de Aluminio en agua y sedimento.

Fuente: Elaboración propia.

- **Bario:** El coeficiente de correlación de Pearson entre las concentraciones de Ba en agua y sedimento del lago Titicaca fue 0.961 lo cual indica que el grado de asociación entre estas variables fue alta ($p < 0.05$), tal como se muestra en la tabla 17.

Tabla 17. Correlación de Ba en agua y sedimento.

		Conc. de Ba en agua	Conc. de Ba en Sedimento
Conc. de Ba en agua	Correlación de Pearson	1	,961**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	24	24
Conc. de Ba en Sedimento	Correlación de Pearson	,961**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	24	24

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, el diagrama de dispersión simple con ajuste de línea ($R^2 = 0.838$) determinó que el 83.8%, se encuentra explicada por el modelo de regresión, según Fig. 34.

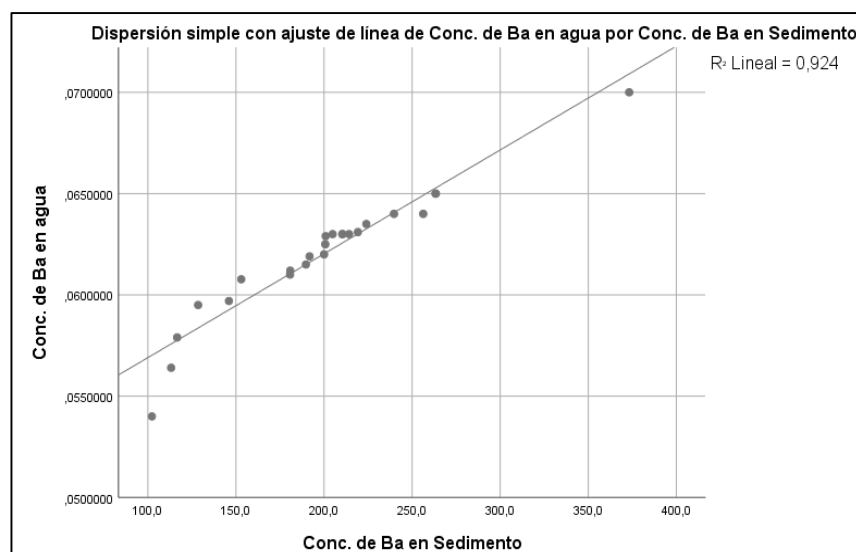


Figura 34. Dispersión de Bario en agua y sedimento.

Fuente: Elaboración propia.

- **Manganeso:** El coeficiente de correlación de Pearson entre las concentraciones de Mn en agua y sedimento del lago Titicaca fue 0.901 lo cual indica que el grado de asociación entre estas variables fue alta ($p < 0.05$) tal como se muestra en la tabla 18.

Tabla 18. Correlación de Mn en agua y sedimento.

		Concentraciones de Mn	
		en agua	en Sedimento
Conc. de Mn en agua	Correlación de Pearson	1	,901**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	24	24
Conc. de Mn en Sedimento	Correlación de Pearson	,901**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	24	24

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, el diagrama de dispersión simple con ajuste de línea ($R^2 = 0.811$) determinó que el 81.1%, se encuentra explicada por el modelo de regresión, según Fig. 35.

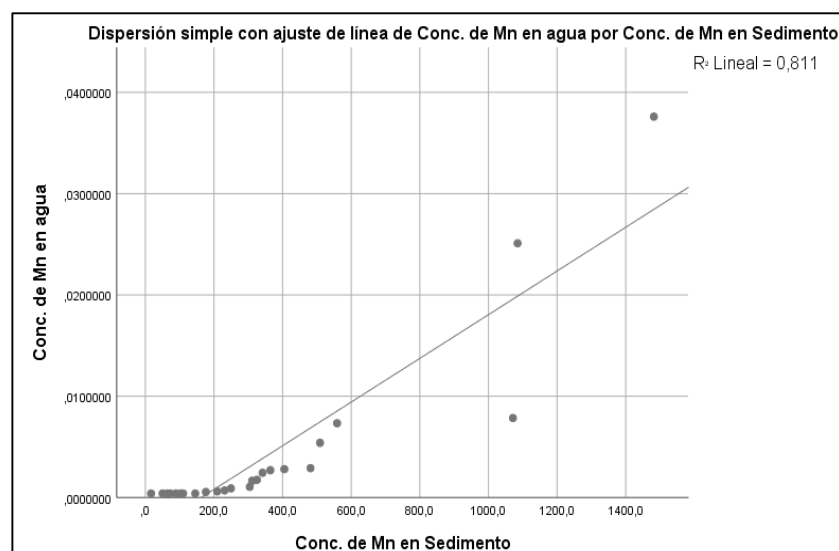


Figura 35. Dispersión Manganeso en agua y sedimento.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5. Relaciones de metales entre aguas fluviales y aguas lacustres

- **Arsénico:** El coeficiente de correlación de Pearson entre las concentraciones de As en aguas del lago Titicaca y sus ríos afluentes fue 0.934, por lo tanto, el grado de asociación entre estas variables fue alta ($p < 0.05$), tal como se muestra en la tabla 19.

Tabla 19. Correlación de Arsénico en agua.

		Conc. de As en Lago	Conc. de As en Río
Conc. de As en Lago	Correlación de Pearson	1	,943**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	39	39
Conc. de As en Río	Correlación de Pearson	,943**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	39	39

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, el diagrama de dispersión con ajuste de línea de regresión ($R^2 = 0.890$) determinó que el 89.0% de la concentración de Arsénico en el lago es causada por los ríos afluentes en aguas superficiales (Fig. 36).

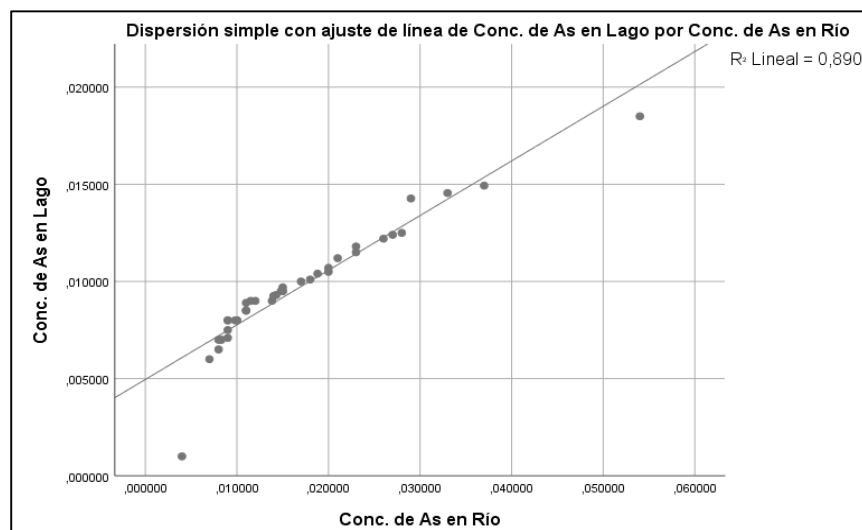


Figura 36. Dispersión de Arsénico en ríos y agua lacustre.

Fuente: Elaboración propia.

- **Aluminio:** El coeficiente de correlación de Pearson entre las concentraciones de Al en aguas del lago Titicaca y sus ríos afluentes fue 0.911, por lo tanto, el grado de asociación entre estas variables fue alta ($p < 0.05$), tal como se muestra en la tabla 20.

Tabla 20. Correlación de Aluminio en agua.

Correlaciones			
		Conc. de Al en Lago	Conc. de Al en Río
Conc. de Al en Lago	Correlación de Pearson	1	,911**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	39	39
Conc. de Al en Río	Correlación de Pearson	,911**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	39	39

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, el diagrama de dispersión con ajuste de línea de regresión ($R^2 = 0.829$) determinó que el 82.9% de la concentración de Aluminio en el lago es causada por los ríos afluentes en aguas superficiales (Fig. 37).

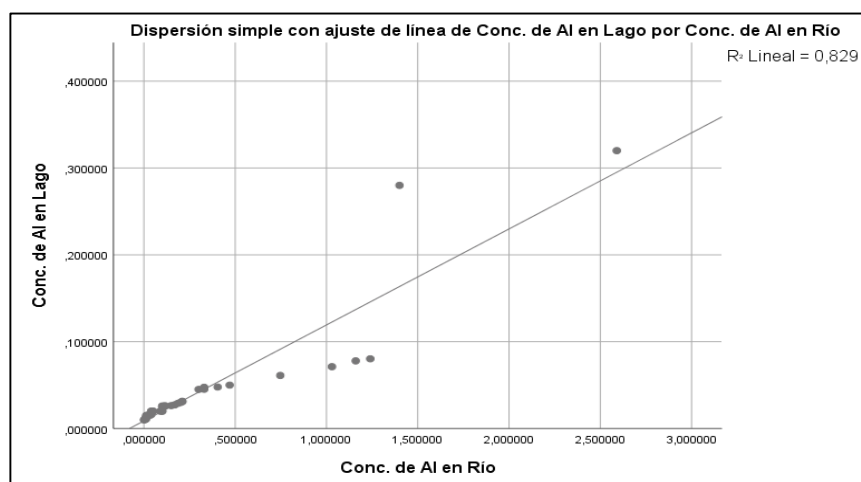


Figura 37. Dispersión de Aluminio en agua.

Fuente: Elaboración propia.

- **Bario:** El coeficiente de correlación de Pearson entre las concentraciones de Ba en aguas del lago Titicaca y sus ríos afluentes fue 0.902 por lo tanto el grado de asociación entre estas variables fue alta ($p < 0.05$), tal como se muestra en la tabla 21.

Tabla 21. Correlación de Bario en agua.

Correlaciones			
		Conc. de Ba en Lago	Conc. de Ba en Río
Conc. de Ba en Lago	Correlación de Pearson	1	,902**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	39	39
Conc. de Ba en Río	Correlación de Pearson	,902**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	39	39

**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, el diagrama de dispersión con ajuste de línea de regresión ($R^2 = 0.814$) determinó que el 81.4% de la concentración de Bario en el lago es causada por los ríos afluentes en aguas superficiales (Fig. 38).

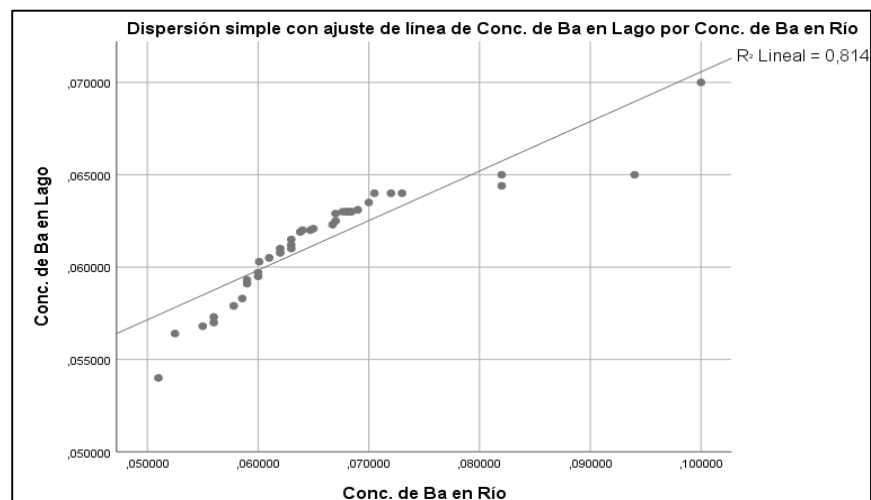


Figura 38. Dispersión de Bario en agua.

Fuente: Elaboración propia.

- **Manganeso:** El coeficiente de correlación de Pearson entre las concentraciones de Mn en aguas del lago Titicaca y sus ríos afluentes fue 0.963, por lo tanto, el grado de asociación entre estas variables fue alta ($p < 0.05$), tal como se muestra en la tabla 22.

Tabla 22. Correlación de Manganeso en agua.

		Conc. de Mn en Lago	Conc. de Mn en Río
Conc. de Mn en Lago	Correlación de Pearson	1	,963**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	39	39
Conc. de Mn en Río	Correlación de Pearson	,963**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	39	39

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, el diagrama de dispersión con ajuste de línea de regresión ($R^2 = 0.928$) determinó que el 92.8% de la concentración de Manganeso en el lago es causada por los ríos afluentes en aguas superficiales (Fig. 39).

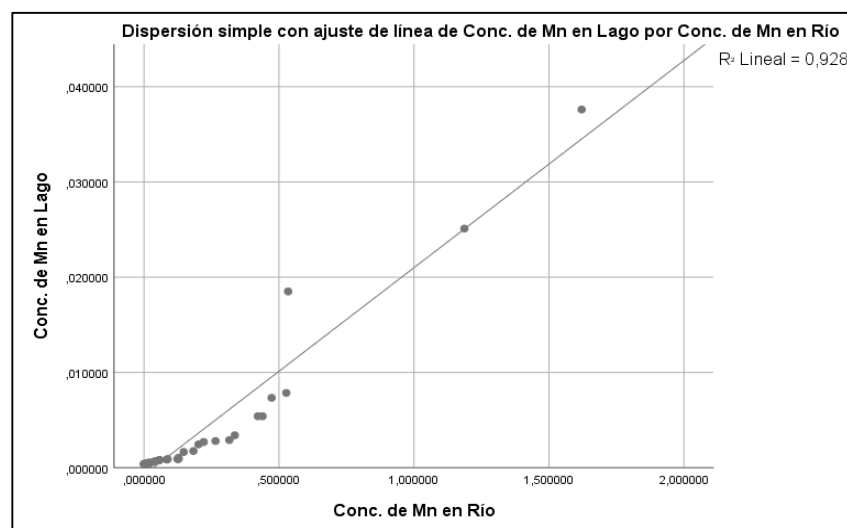


Figura 39. Dispersión de Manganeso en agua

Fuente: Elaboración propia.

4.1.6. Relación de metales entre sedimentos fluviales y lacustres

- **Arsénico:** El coeficiente de correlación de Pearson entre las concentraciones de As en sedimento del lago Titicaca y sus ríos afluentes fue 0.865, por lo tanto, el grado de asociación entre estas variables fue alta ($p < 0.05$), tal como se muestra en la tabla 23.

Tabla 23. Correlación de Arsénico en sedimento.

		Conc. de As en Lago	Conc. de As en Río
Conc. de As en Lago	Correlación de Pearson	1	,865**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	20	20
Conc. de As en Río	Correlación de Pearson	,865**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	20	20

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, el diagrama de dispersión con ajuste de línea de regresión ($R^2 = 0.749$) determinó que el 74.9% de la concentración de Arsénico en el sedimento del lago es causado por los ríos afluentes (Fig. 40).

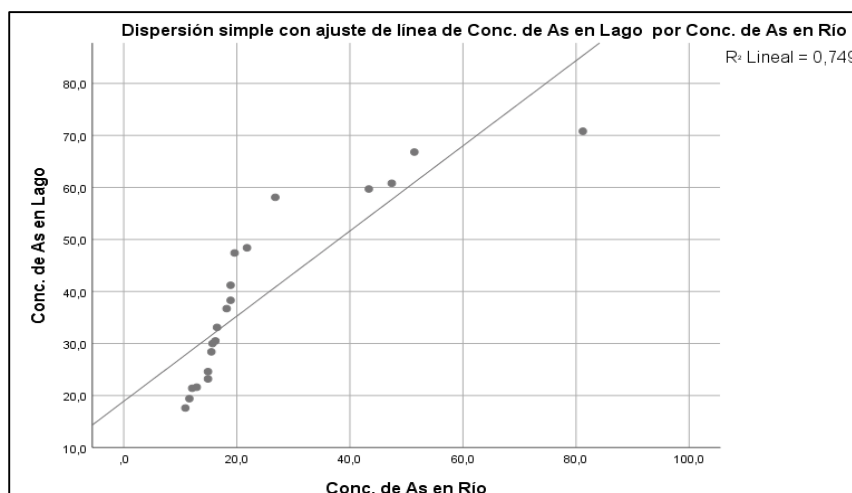


Figura 40. Dispersión de Arsénico en sedimento.

Fuente: Elaboración propia.

- **Aluminio:** El coeficiente de correlación de Pearson entre las concentraciones de Al en sedimento del lago Titicaca y sus ríos afluentes fue 0.698, por lo tanto, el grado de asociación entre estas variables fue alta ($p < 0.05$), tal como se muestra en la tabla 24.

Tabla 24. Correlación de Aluminio en sedimento.

Correlaciones			
		Conc. de Al en Lago	Conc. de Al en Río
Conc. de Al en Lago	Correlación de Pearson	1	,698**
	Sig. (bilateral)		,001
	N	20	20
Conc. de Al en Río	Correlación de Pearson	,698**	1
	Sig. (bilateral)	,001	
	N	20	20

**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, el diagrama de dispersión con ajuste de línea de regresión ($R^2 = 0.487$) determinó que el 48.7% de la concentración de Aluminio en el sedimento del lago es causado por los ríos afluentes (Fig. 41).

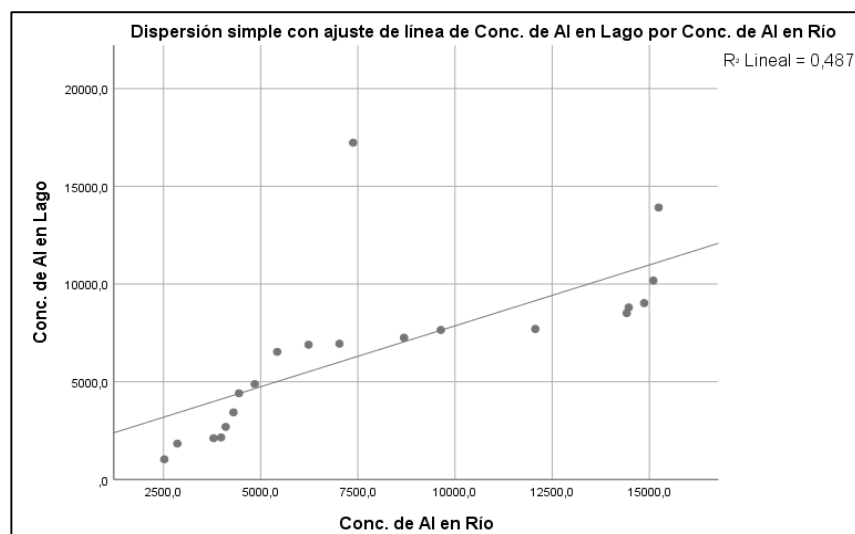


Figura 41. Dispersión de Aluminio en sedimento.

Fuente: Elaboración propia.

- **Bario:** El coeficiente de correlación de Pearson entre las concentraciones de Ba en sedimento del lago Titicaca y sus ríos afluentes fue 0.883, por lo tanto, el grado de asociación entre estas variables fue alta ($p < 0.05$), tal como se muestra en la tabla 25.

Tabla 25. Correlación de Bario en sedimento.

		Conc. de Ba en Lago	Conc. de Ba en Río
Conc. de Ba en Lago	Correlación de Pearson	1	,883**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	20	20
Conc. de Ba en Río	Correlación de Pearson	,883**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	20	20

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, el diagrama de dispersión con ajuste de línea de regresión ($R^2 = 0.779$) determinó que el 77.9% de la concentración de Bario en el sedimento del lago es causado por los ríos afluentes (Fig., 42).

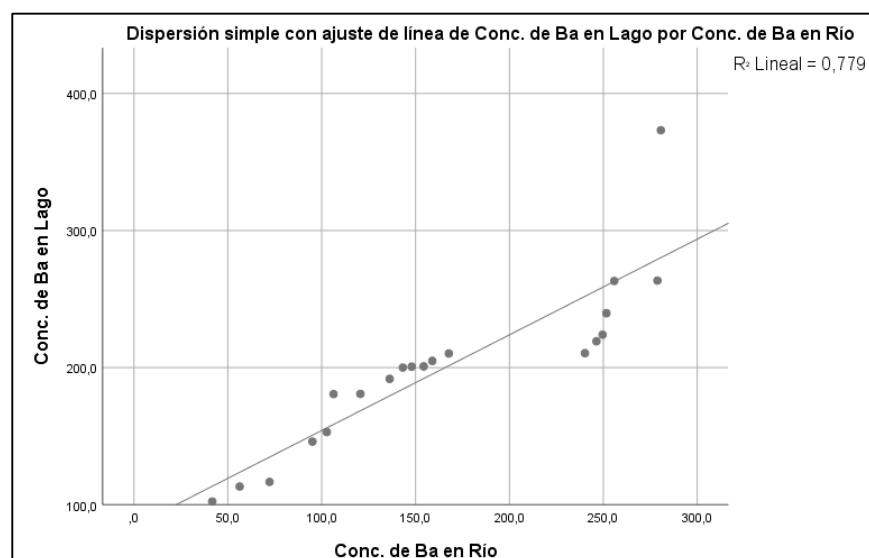


Figura 42. Dispersión de Bario en sedimento.

Fuente: Elaboración propia.

- **Manganeso:** El coeficiente de correlación de Pearson entre las concentraciones de Mn en sedimento del lago Titicaca y sus ríos afluentes fue 0.980 por lo tanto el grado de asociación entre estas variables fue alta ($p < 0.05$) tal como se muestra en la tabla 26.

Tabla 26. Correlación de Manganeso en sedimento.

		Conc. de Mn en Lago	Conc. de Mn en Río
Conc. de Mn en Lago	Correlación de Pearson	1	,980**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	20	20
Conc. de Mn en Río	Correlación de Pearson	,980**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	20	20

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, el diagrama de dispersión con ajuste de línea de regresión ($R^2 = 0.961$) determinó que el 96.1% de la concentración de Manganeso en el sedimento del lago causado por los ríos afluentes (Fig. 43).

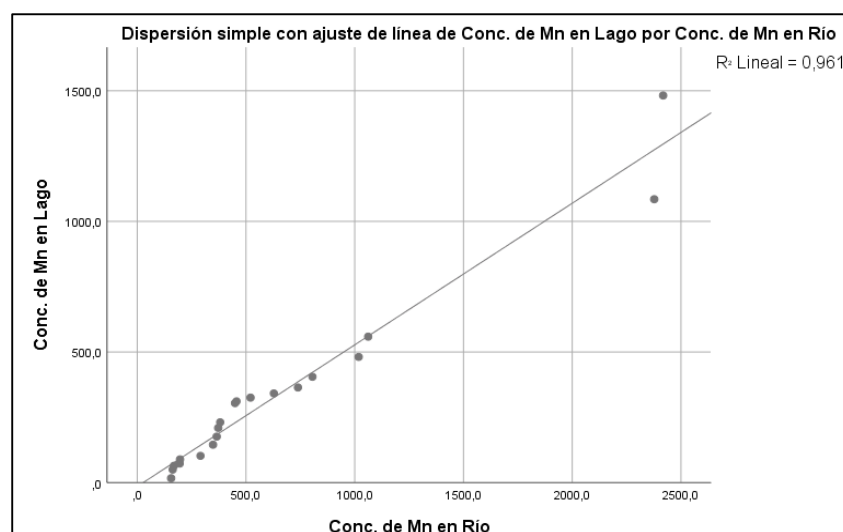


Figura 43. Dispersión de Manganeso en sedimento.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.7. Comparación de metales traza entre épocas de lluvia y estiaje

La tabla 27, muestra los estadísticos descriptivos de metales traza para diferentes épocas (lluvia-estiaje) en agua y sedimento lacustre.

Tabla 27. Descriptivos de concentración de metales en sedimento para épocas de lluvia y estiaje.

		Descriptivos					
		N	Media	Desv. Desviación	95% del intervalo de confianza para la media		
					Desv. Error	Mínimo	Máximo
concentracion de Arsénico en agua (mg/L)	Lluvia	20	,008150	,0020844	,0004661	,0040	,0110
	Estiaje	20	,009600	,0011425	,0002555	,0070	,0120
	Total	40	,008875	,0018143	,0002869	,0040	,0120
concentracion de Arsénico en sedimento (mg/kg)	Lluvia	20	34,4000	15,21284	3,40169	12,00	69,90
	Estiaje	20	29,7350	11,34086	2,53589	10,50	47,40
	Total	40	32,0675	13,45314	2,12713	10,50	69,90
concentracion de Aluminio en agua (mg/L)	Lluvia	20	,060500	,1141778	,0255309	,0100	,4400
	Estiaje	20	,030574	,0451660	,0100994	,0100	,2000
	Total	40	,045537	,0870323	,0137610	,0100	,4400
concentracion de Aluminio en sedimento (mg/kg)	Lluvia	20	7489,7950	4049,50584	905,49703	716,20	17297,00
	Estiaje	20	7670,5050	4698,31522	1050,57522	1174,70	21048,40
	Total	40	7580,1500	4330,29627	684,67996	716,20	21048,40
concentracion de Bario en agua (mg/L)	Lluvia	20	,065450	,0077424	,0017313	,0490	,0780
	Estiaje	20	,065500	,0098435	,0022011	,0530	,0930
	Total	40	,065475	,0087413	,0013821	,0490	,0930
concentracion de Bario en sedimento (mg/kg)	Lluvia	20	199,9400	50,28678	11,24447	72,20	282,10
	Estiaje	20	226,8100	59,68681	13,34638	63,90	342,30
	Total	40	213,3750	56,14866	8,87788	63,90	342,30
concentracion de Manganeso en agua (mg/L)	Lluvia	20	,041725	,0577331	,0129095	,0004	,1471
	Estiaje	20	,030741	,0388512	,0086874	,0004	,0910
	Total	40	,036233	,0488888	,0077300	,0004	,1471
concentracion de Manganeso en sedimento (mg/kg)	Lluvia	20	441,1860	257,57809	57,59621	43,75	1073,24
	Estiaje	20	400,9160	255,12761	57,04827	78,67	1068,89
	Total	40	421,0510	253,86810	40,14007	43,75	1073,24

Fuente: Elaboración propia.

- **Arsénico:** La concentración media de As en aguas superficiales para épocas de lluvia y estiaje fueron 0.00815 y 0.00960 mg/L como se muestra en la tabla 27. Además, en la tabla 28 (ANOVA) y Fig. 44, se muestra que no existió una diferencia estadísticamente significativa de As para dichas épocas ($p > 0.05$) con un nivel de confianza del 95.0%.

Tabla 28. Análisis de varianza de la concentración de As en agua lacustre para épocas de lluvia y estiaje.

Fuente	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	Coefficiente F	Valor-P
Entre grupos	0.0000085	1	0.00000850	3.48	0.0714
Intra grupos	0.000078235	32	0.00000244485		
Total (Corr.)	0.000086735	33			

Fuente: Elaboración propia.

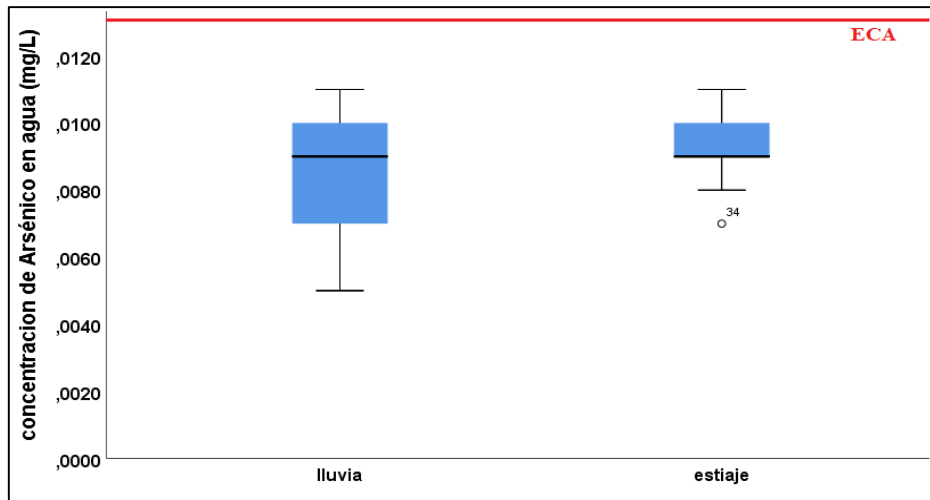


Figura 44. Comportamiento de Arsénico en agua (épocas de lluvia-estiaje).

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, en la Fig. 45 se muestra la distribución horizontal de As en aguas superficiales del lago Titicaca, en la cual se observa una tendencia del incremento de este metal frente a las provincias de Puno, los Uros, Capachica y Escallani, las cuales están más próximas a la desembocadura del río Coata.

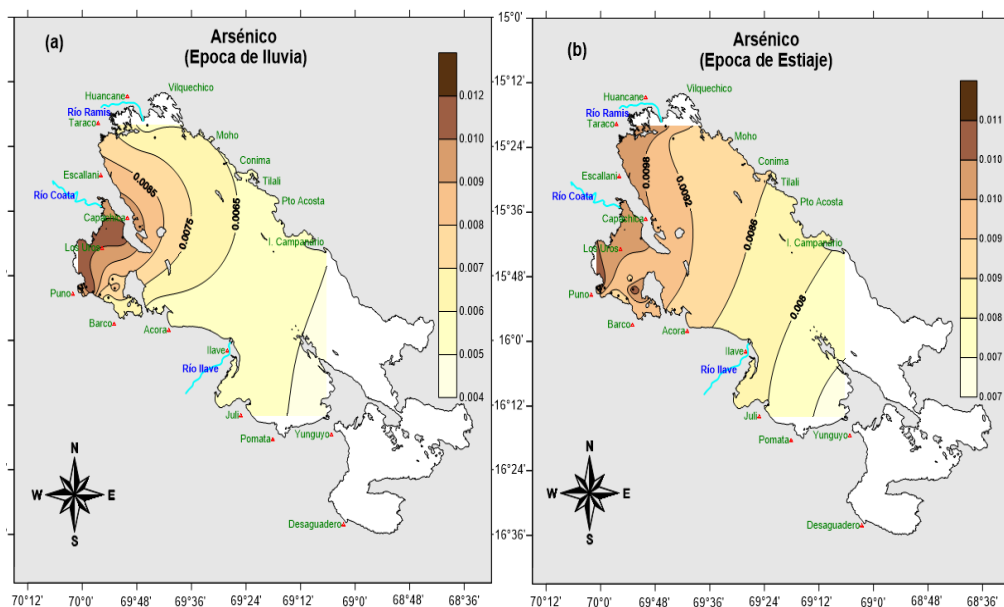


Figura 45. Distribución horizontal de Arsénico en agua: (a) lluvia; (b) estiaje.

Fuente: Elaboración propia.

La concentración media de As en sedimento lacustre para épocas de lluvia y estiaje fueron 34.4 y 29.7 mg/kg como se muestra en la tabla 27. Asimismo, la tabla 29 (ANOVA) y Fig. 46, muestra que no existió una diferencia estadísticamente significativa de As en sedimento para dichas épocas ($p > 0.05$) con un nivel de confianza del 95.0%.

Tabla 29. Análisis de varianza de la concentración de As en sedimento lacustre para épocas de lluvia y estiaje.

Fuente	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	Coefficiente F	Valor-P
Entre grupos	239.826	1	239.826	1.58	0.2173
Intra grupos	4846	32	151.438		
Total (Corr.)	5085.83	33			

Fuente: Elaboración propia.

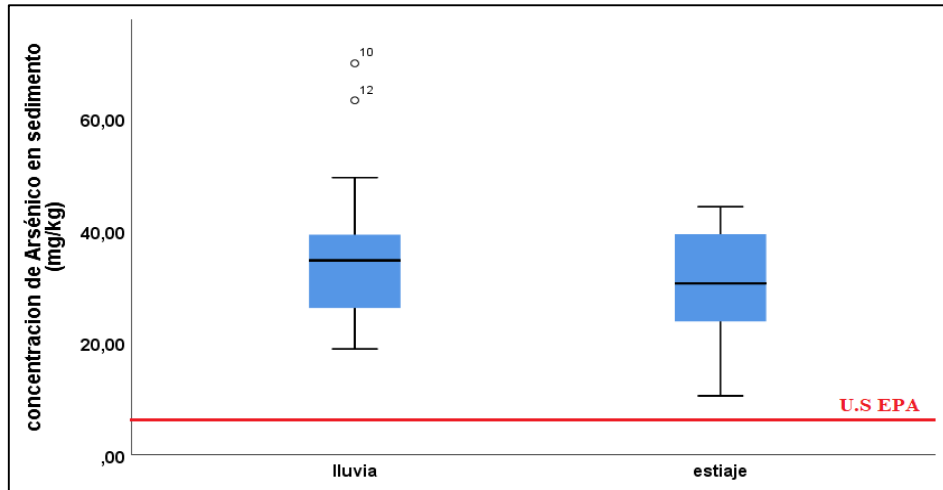


Figura 46. Comportamiento de Arsénico en sedimento (épocas de lluvia-estiaje).

Fuente: Elaboración propia.

La Fig. 47, muestra la distribución horizontal de As en el sedimento lacustre del lago Titicaca, en la cual se observa una tendencia de incremento en la zona de Capachica, frente a la desembocadura del río Coata sobre todo en épocas de estiaje.

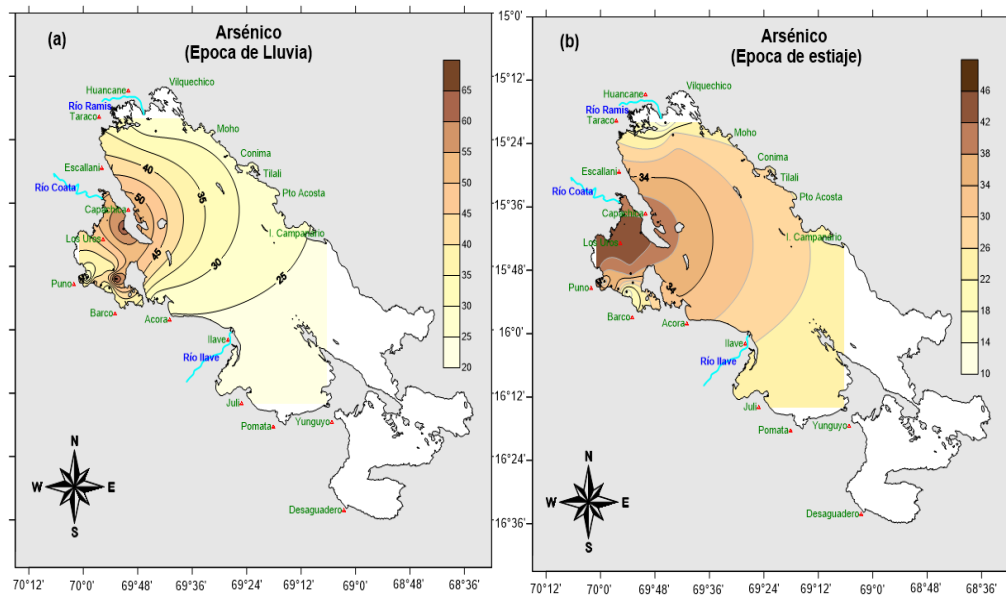


Figura 47. Distribución horizontal de Arsénico en sedimento: (a) lluvia; (b) estiaje.

Fuente: Elaboración propia.

- **Aluminio:** La concentración media de Al en aguas superficiales para épocas de lluvia y estiaje fueron 0.06050 y 0.03057 mg/L como se muestra en la tabla 27. Además, en la tabla 30 (ANOVA) y Fig. 48, se muestra que no existió una diferencia estadísticamente significativa de Al para dichas épocas ($p > 0.05$) con un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla 30. Análisis de varianza de la concentración de Al en agua lacustre para épocas de lluvia y estiaje.

Fuente	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	Coefficiente F	Valor-P
Entre grupos	0.00405001	1	0.00405001	0.64	0.4284
Intra grupos	0.20143	32	0.00629468		
Total (Corr.)	0.20548	33			

Fuente: Elaboración propia.

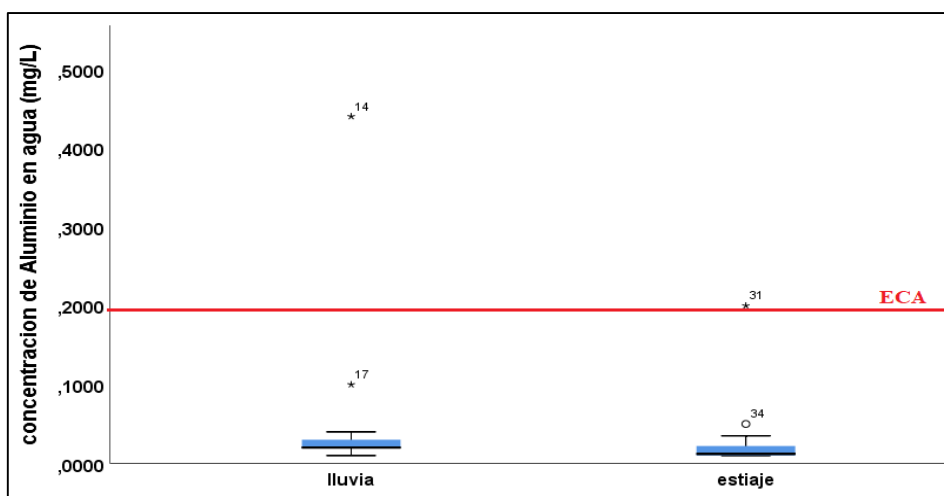


Figura 48. Comportamiento de Aluminio en agua (épocas de lluvia-estiaje).

Fuente: Elaboración propia.

La Fig. 49, muestra la distribución horizontal de Al en agua superficial del lago Titicaca, en la cual se observa una tendencia de incremento hacia la zona norte frente a la provincia de Huancané y frente a la desembocadura del río Ramis.

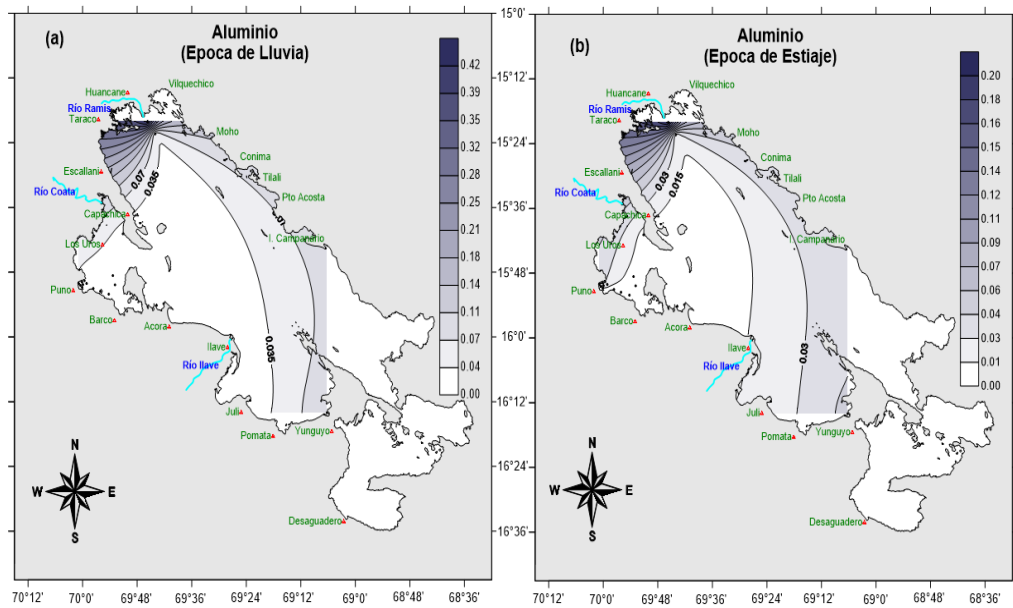


Figura 49. Distribución horizontal de Aluminio en agua: (a) lluvia; (b) estiaje.

Fuente: Elaboración propia.

La concentración media de Al en sedimento lacustre para épocas de lluvia y estiaje fueron 7489.8 y 7670.5 mg/kg tal como se muestra en la tabla 27. Asimismo, la tabla 31 (ANOVA) y Fig. 50, muestra que no existió una diferencia estadísticamente significativa de Al en sedimento para dichas épocas ($p > 0.05$) con un nivel de confianza del 95.0%.

Tabla 31. Análisis de varianza de la concentración de Al en sedimento lacustre para épocas de lluvia y estiaje.

Fuente	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	Coefficiente F	Valor-P
Entre grupos	257155	1	257155	0.01	0.9067
Intra grupos	589218000	32	18413100		
Total (Corr.)	589475000	33			

Fuente: Elaboración propia.

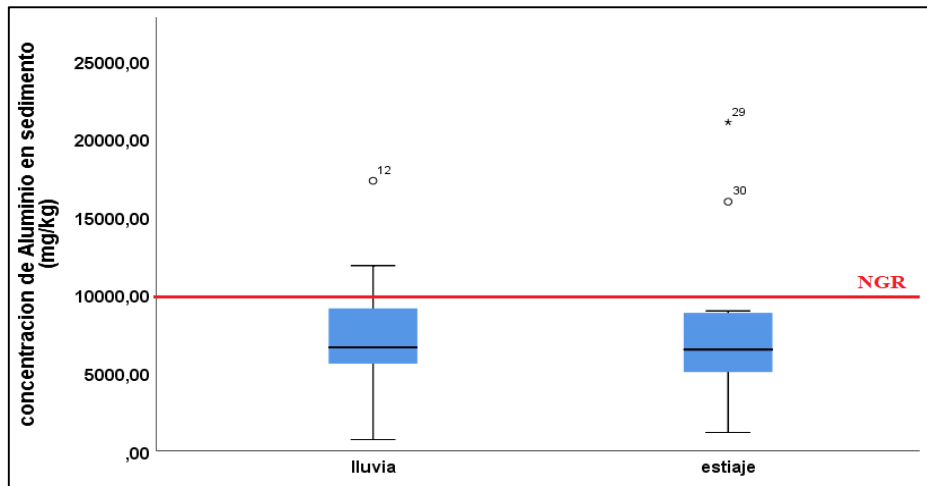


Figura 50. Comportamiento de Aluminio en sedimento (épocas de lluvia - estiaje).
Fuente: Elaboración propia.

La Fig. 51, muestra la distribución horizontal de Al en el sedimento lacustre del lago Titicaca, en la cual se observa una tendencia de incremento cerca a la desembocadura del río Coata, entre las zonas de Capachica y Escallani, esta distribución es similar tanto en épocas de lluvia y estiaje.

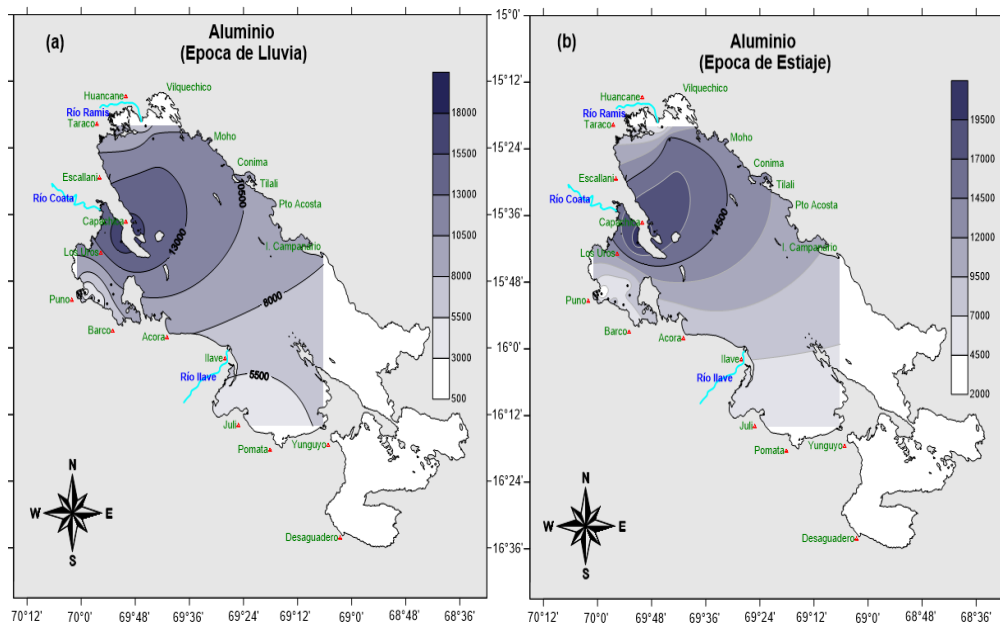


Figura 51. Distribución horizontal de Aluminio en sedimento: (a) lluvia; (b) estiaje.
Fuente: Elaboración propia.

- **Bario:** La concentración media de Ba en aguas superficiales para épocas de lluvia y estiaje fueron 0.06545 y 0.06550 mg/L como se muestra en la tabla 27. Además, en la tabla 32 (ANOVA) y Fig. 52, se muestra que no existió una diferencia estadísticamente significativa de Ba para dichas épocas ($p > 0.05$) con un nivel de confianza del 95.0%.

Tabla 32. Análisis de varianza de la concentración de Ba en agua lacustre para épocas de lluvia y estiaje.

Fuente	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	Coefficiente F	Valor-P
Entre grupos	0.00000424	1	0.00000424	0.05	0.827
Intra grupos	0.00279129	32	0.00008723		
Total (Corr.)	0.00279553	33			

Fuente: Elaboración propia.

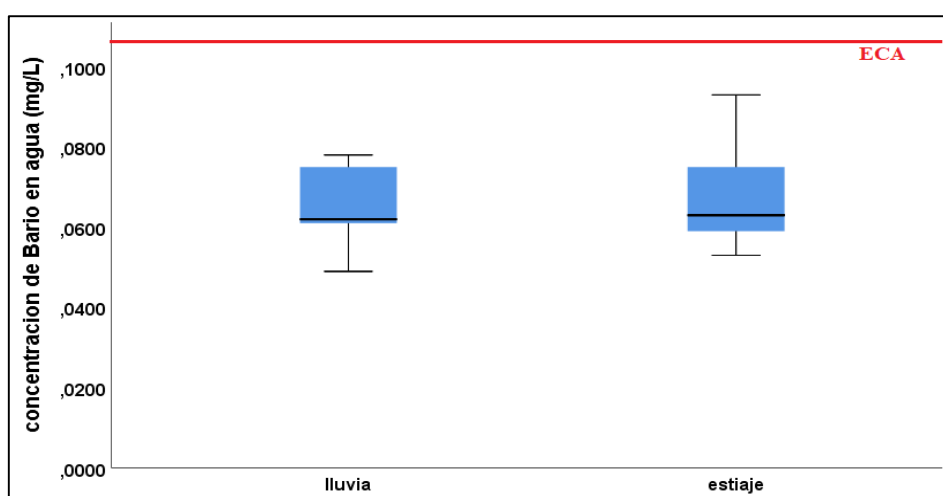


Figura 52. Comportamiento de Bario en agua (épocas de lluvia - estiaje).

Fuente: Elaboración propia.

La Fig. 53, muestra la distribución horizontal de Ba en agua superficial del lago Titicaca, en la cual se observa una tendencia de incremento hacia la zona de la provincia de Puno tanto en épocas de lluvia y estiaje.

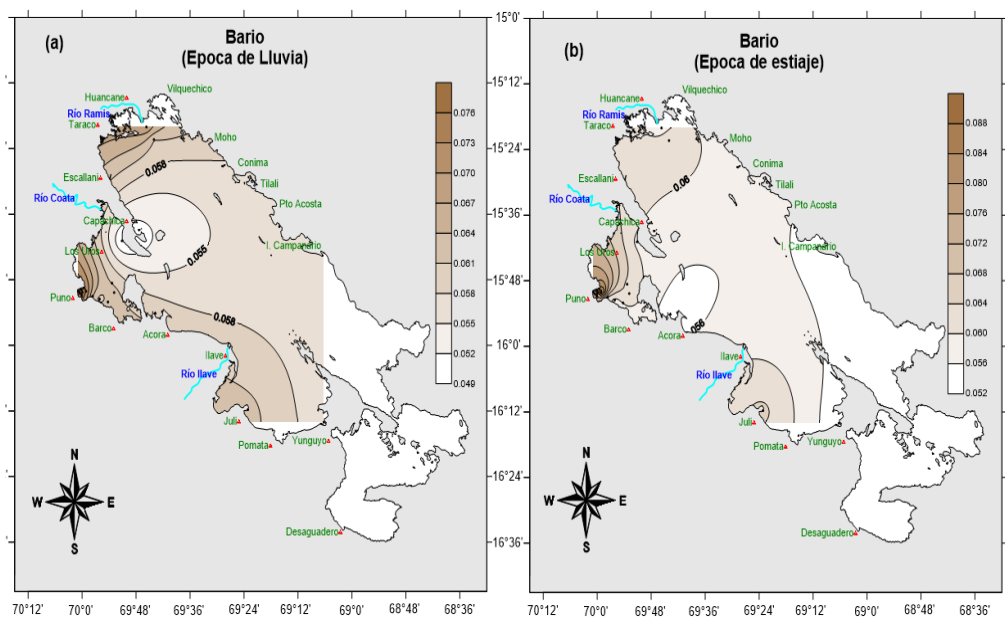


Figura 53. Distribución de horizontal de Bario en agua: (a) lluvia; (b) estiaje.

Fuente: Elaboración propia.

La concentración media de Ba en sedimento lacustre para épocas de lluvia y estiaje fueron 199.9 y 226.8 mg/kg como se muestra en la tabla 27. Asimismo, la tabla 33 (ANOVA) y Fig. 54, muestra que no existió una diferencia estadísticamente significativa de Ba en sedimento para dichas épocas ($p > 0.05$) con un nivel de confianza del 95,0%.

Tabla 33. Análisis de varianza de la concentración de Ba en sedimento lacustre para épocas de lluvia y estiaje.

Fuente	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	Coefficiente F	Valor-P
Entre grupos	4939.3	1	4939.3	1.85	0.1835
Intra grupos	85526.4	32	2672.7		
Total (Corr.)	90465.7	33			

Fuente: Elaboración propia.

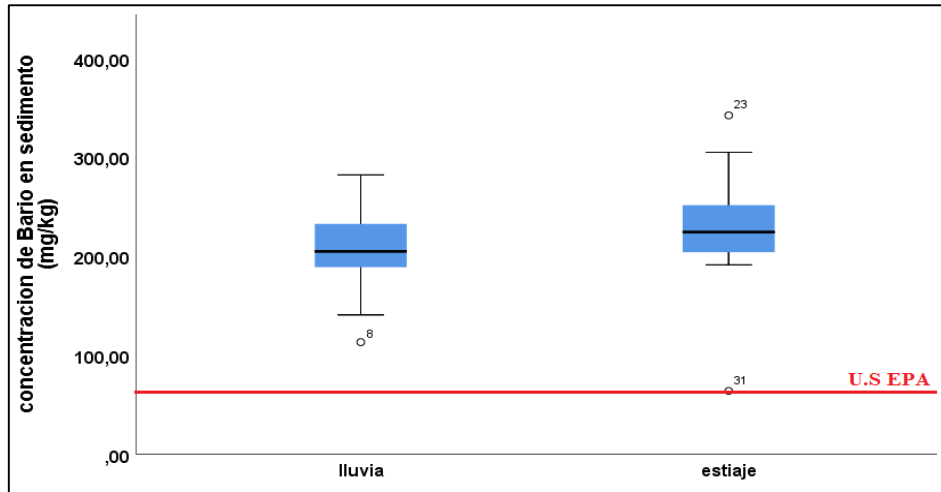


Figura 54. Comportamiento de Bario en sedimento (épocas de lluvia-estiaje).
Fuente: Elaboración propia.

La Fig. 55, muestra la distribución horizontal de Ba en el sedimento lacustre del lago Titicaca, en la cual se observa una tendencia de incremento en las provincias de Puno y Yunguyo para ambas épocas (lluvia y estiaje).

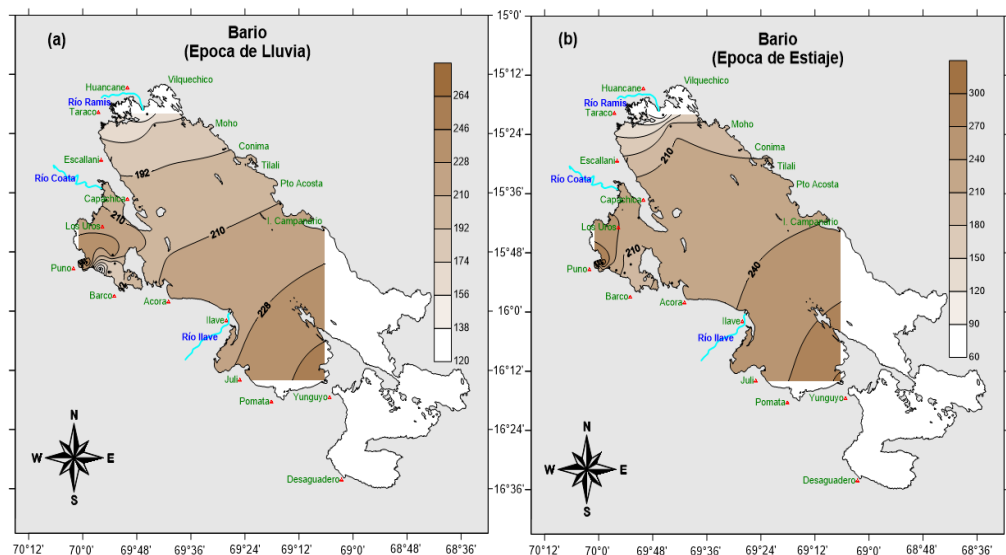


Figura 55. Distribución horizontal de Bario en sedimento: (a) lluvia;(b) estiaje. Fuente: Elaboración propia.

- **Manganeso:** La concentración media de Mn en aguas superficiales para épocas de lluvia y estiaje fueron 0.041725 y 0.030741 mg/L como se

muestra en la tabla 27. Además, en la tabla 34 (ANOVA) y Fig. 56, se muestra que no existió una diferencia estadísticamente significativa de Mn para dichas épocas ($p > 0.05$) con un nivel de confianza del 95.0%.

Tabla 34. Análisis de varianza de la concentración de Mn en agua lacustre para épocas de lluvia y estiaje.

Fuente	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	Coefficiente F	Valor-P
Entre grupos	0.00186776	1	0.00186776	0.69	0.4122
Intra grupos	0.0865589	32	0.00270497		
Total (Corr.)	0.0884267	33			

Fuente: Elaboración propia.

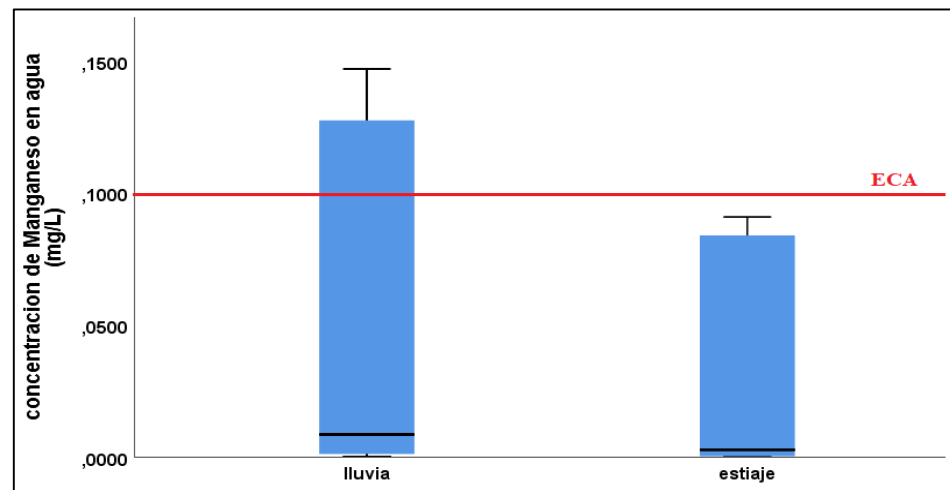


Figura 56. Comportamiento de Manganeso en agua (épocas de lluvia - estiaje).

Fuente: Elaboración propia.

La Fig. 57, muestra la distribución horizontal de Mn en agua superficial del lago Titicaca, en la cual se observa una tendencia de incremento hacia la zona de la provincia de Puno para ambas épocas.

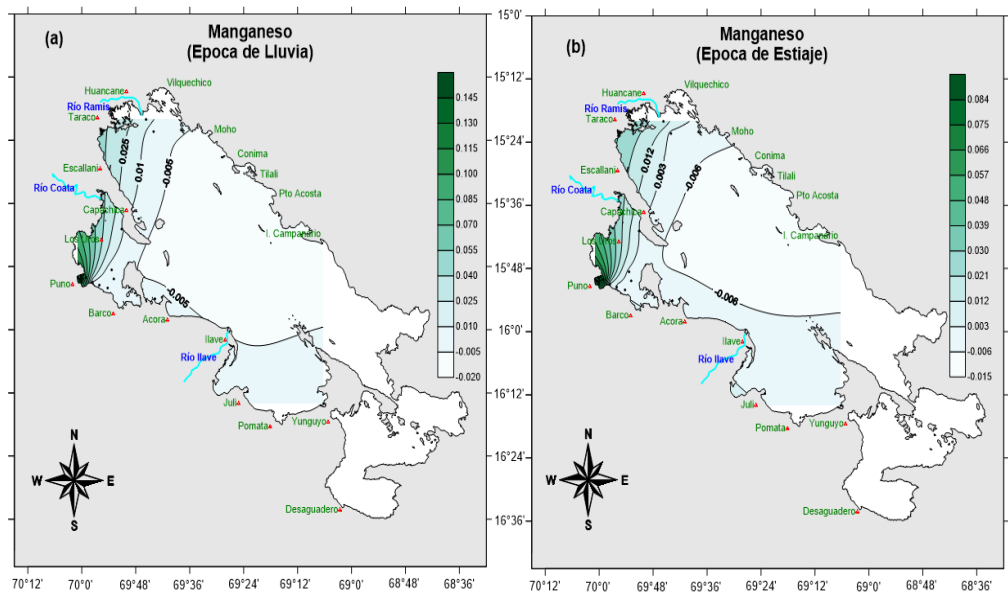


Figura 57. Distribución horizontal de Manganeso en agua: (a) lluvia; (b) estiaje.

Fuente: Elaboración propia.

La concentración media de Mn en sedimento lacustre para épocas de lluvia y estiaje fueron 441.2 y 400.9 mg/kg como se muestra en la tabla 27. Asimismo, la tabla 35 y Fig. 58, muestra que no existió una diferencia estadísticamente significativa de Mn en sedimento para dichas épocas ($p > 0.05$) con un nivel de confianza del 95.0%.

Tabla 35. Análisis de varianza de la concentración de Mn en sedimento lacustre para épocas de lluvia y estiaje.

Fuente	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	Coefficiente F	Valor-P
Entre grupos	12464.4	1	12464.4	0.18	0.6757
Intra grupos	2236990	32	69906		
Total (Corr.)	2249460	33			

Fuente: Elaboración propia.

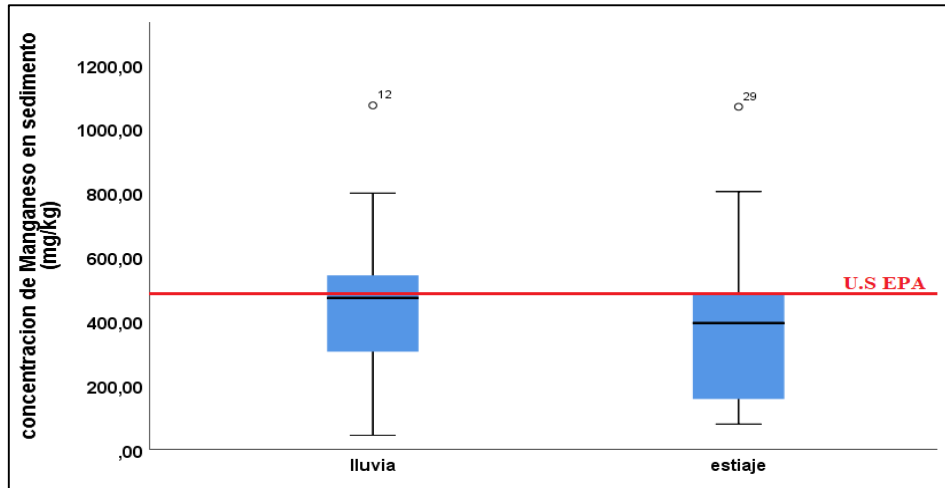


Figura 58. Comportamiento de Manganeso en sedimento (épocas de Lluvia - estiaje).
Fuente: Elaboración propia.

La Fig. 59, muestra la distribución horizontal de Mn en el sedimento lacustre del lago Titicaca, en la cual se observa una tendencia de incremento en las zonas de las provincias de Puno, Los Uros y Capachica para ambas épocas del año.

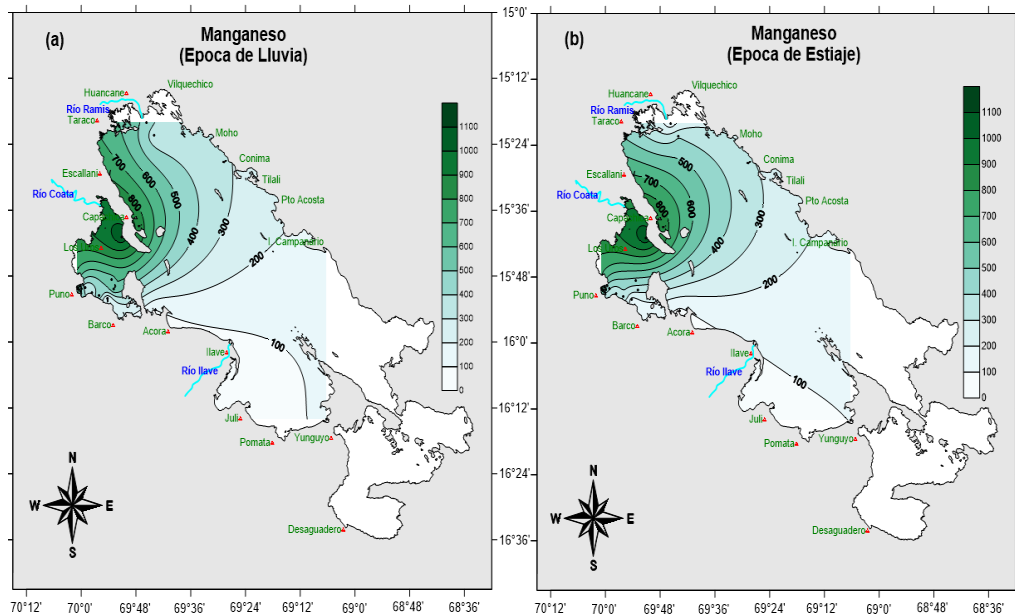


Figura 59. Distribución horizontal de Manganeso en sedimento: (a) lluvia; (b) estiaje.
Fuente: Elaboración propia.

4.1.8. Gradientes en metales traza desde ríos afluentes al Lago Titicaca

En la Fig. 60, se observa que el aporte de Arsénico se encuentra en la desembocadura del río Coata, ya que en las zonas aguas arriba, medio y bajo tienen una concentración menor. Respecto a los ríos Ramis e Ilave las concentraciones de Arsénico son relativamente homogéneas en casi todo su trayecto.

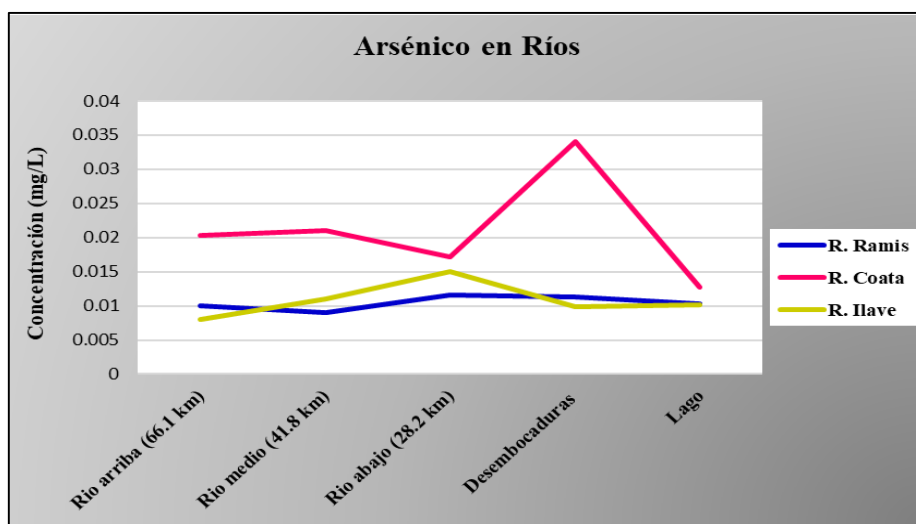


Figura 60. Concentración de Arsénico en diferentes secciones del río: arriba, medio, abajo, desembocadura y lago.

Fuente: Elaboración propia.

En la Fig. 61, se observó que el principal aporte de Aluminio se encuentra en la parte media y desembocadura del río Coata. El río Ilave tiene una mayor concentración en la parte inicial (río arriba) generando un gradiente de contaminación que va disminuyendo hasta llegar a su desembocadura, mientras que para el río Ramis, la concentración de aluminio tuvo un descenso en la zona media y parte de su desembocadura.

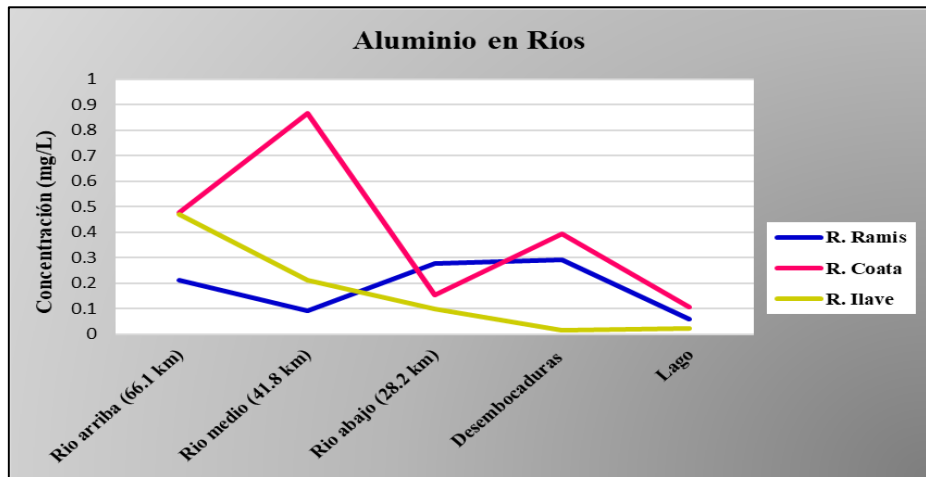


Figura 61. Concentración de Aluminio en diferentes secciones del río: arriba, medio, abajo, desembocadura y lago.

Fuente: Elaboración propia.

En la Fig. 62, se observa que la concentración de Bario fue homogénea desde la zona de aguas arriba hasta las desembocaduras para los tres ríos afluentes respectivamente, habiendo únicamente un ligero incremento de concentración en la desembocadura del río Coata.

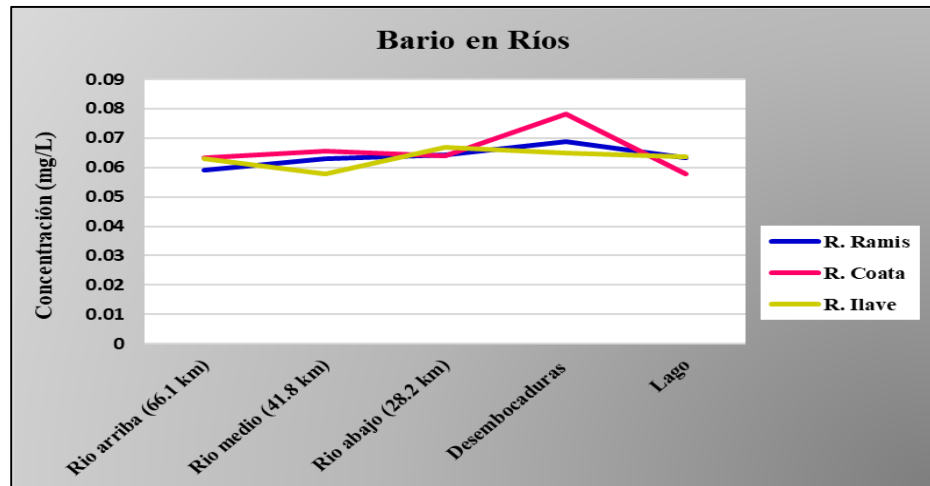


Figura 62. Concentración de Bario en diferentes secciones del río: arriba, medio, abajo, desembocadura y lago.

Fuente: Elaboración propia.

En la Fig. 63, se observó que el principal aporte de Manganeseo fue en la desembocadura del río Coata. Respecto a los ríos Ramis y Coata, las concentraciones de Manganeseo fueron relativamente homogéneas con respecto a todas las zonas (río arriba, medio, bajo y desembocaduras).

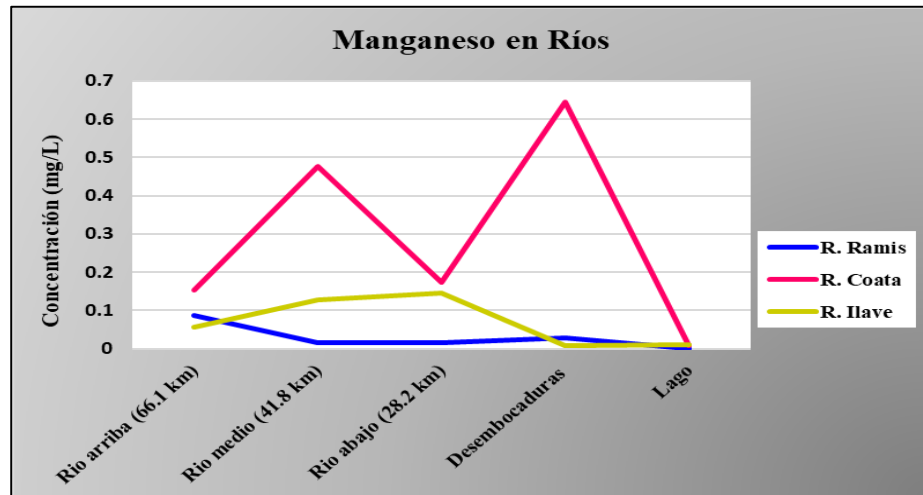


Figura 63. Concentración de Manganeseo en diferentes secciones del río: arriba, medio, abajo, desembocadura y lago.

Fuente: Elaboración propia.

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Según el D.S N° 004-2017 MINAM los Estándares de Calidad Ambiental en agua (ECA) establecen valores máximos referenciales de concentración en parámetros inorgánicos (As = 0.15 mg/L, Al = 0.2 mg/L, Ba = 0.7 mg/L y Mn = 0.1mg/L) por lo que se determinó que las concentraciones medias de estos metales (As, Al, Ba, Mn) en aguas lacustres no superaron los valores referenciales establecidos por el ECA ($p < 0.05$). Asimismo, la normativa internacional U.S EPA especifica los valores máximos permisibles de concentración de metales en sedimentos lacustres (As = 8 mg/kg, Al = 10 000 mg/kg, Ba = 60 mg/kg, Mn = 500 mg/kg) en el cual el Arsénico y Bario contenidos en el sedimento del Lago Titicaca superaron el rango establecido por esta norma ($p < 0.05$); respecto a las concentraciones medias de Aluminio y Manganeseo (Tab. 14) no superaron dichos valores referenciales de la norma

en mención ($p > 0.05$), lo que apoya parcialmente la primera hipótesis específica.

Las relaciones directas de las concentraciones de metales traza contenidas entre el lago Titicaca y los ríos afluentes fueron estadísticamente significativas tanto en las matrices de agua y sedimento (Tab. 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 y 26), lo que apoya totalmente la segunda hipótesis específica.

Estos resultados coinciden con el estudio de Monroy (2014), quién menciona que la principal fuente de contaminación por metales en el lago Titicaca fue el río Ramis, además, los metales contenidos en este río excedieron los umbrales de los límites permisibles de seguridad establecidos por la legislación Norteamericana (p.237).

Por otro lado, el estudio realizado por Rizzo et al. (2010) menciona que la mayoría de los metales pesados liberados al ambiente hídrico, llegan a los sistemas acuáticos a través de descargas directas, precipitación húmeda o seca, y erosión, adicionando concentración de metales (p.156).

Las concentraciones medias de Arsénico y Manganeseo en aguas del Lago Titicaca fueron mucho más elevadas con respecto a los valores referenciales en otros lagos de agua dulce en varias regiones del mundo tal como se muestra en la tabla 36.

Tabla 36. Comparación de Metales en el lago Titicaca con ambientes acuáticos del Mundo (ug/L)

Referencia	Arsénico (ug/L)	Manganeseo (ug/L)
<i>Lago Titicaca (Perú)</i>	10.4	37.3
Patagonian Lakes (Argentina)	<1.2	<1-<4
Reference freshwater	0.5	5
freshwater world average	1.7-3.0	
Jack of clubs Lake (Canada)	0.2-0.41	35
20 lakes NE USA(EE.UU)	0.0-0.587	
Lake Uluabat (Turquia)	0-0.5	

Fuente: Rizzo et al., 2010, p.159

Asimismo, según el estudio descrito en el párrafo anterior, las concentraciones de metales en sedimentos lacustres para diferentes lagos de la Patagonia: Lago Traful (TRA), Bahía López (BL), Bariloche (BRC), Puerto Cisnes (PC), Bahía Llao-Llao (LLAO), Punto Panorámico (PP), Lago Escondido (ESC) y Lago Morenito (MITO), tienen diferencias con respecto al sedimento del lago Titicaca. La concentración de As en el lago Titicaca fue mucho mayor con respecto a los valores de concentración de los lagos de la Patagonia, sin embargo, para el caso del Ba y Mn fue todo lo contrario, tal como se muestra en la Tab. 37.

Tabla 37. Comparación de metales en el lago Titicaca con estratos profundos de diferentes Lagos.

Sitio	As (mg/kg)	Ba (mg/kg)	Mn (mg/kg)
<i>Lago Titicaca</i>	37.12	215	415
TRA(Argentina)	10.14	345	918
BL (Argentina)	6.57	204	931
BRC (Argentina)	5.94		
PC (Chile)	10.95		
LLAO (Argentina)	9.5	333	931
PP (Argentina)	24.5	348	2760
ESC (Argentina)	4.77	159	1992
MITO (Argentina)	4.73	160	

Fuente: Rizzo et al., 2010, p.159

La concentración media de As y Ba en las aguas de los ríos afluentes al lago Titicaca (tablas 6 y 8) no superaron estadísticamente los valores referenciales establecidos por la norma ECA ($p < 0.05$), sin embargo, las concentraciones medias de Al y Mn (tablas 7 y 9) sí lograron superar dichos valores referenciales ($p < 0.05$), lo cual coincide con lo descrito por Coila (2017) quien menciona en su estudio que las concentraciones de Al (1.42 mg/L) y Mn (0.45 mg/L) en las aguas superficiales de la cuenca baja del río Coata también superaron los estándares de calidad ambiental (p.61).

En otro estudio realizado por Arteaga (2013) se menciona que la existencia de otros metales presentes en el río Ramis tales como Cd, Cr y Pb, entre los cuales las concentraciones de cadmio superaron los ECA, mientras que el Cr

y Pb estuvieron por debajo de estos valores referenciales. Sin embargo, en el mediano o largo plazo se podrían obtener alteraciones debido a que en la cabecera de la cuenca existe actividad minera (p.43).

Existe una fuerte relación entre las concentraciones de metales traza contenidos en aguas y sedimentos lacustres (Tabs. 15, 16, 17 y 18), por lo cual se deduce que los metales contenidos en el agua son un factor determinante para la acumulación de estos mismos en el sedimento a través del tiempo, lo cual coincide con Varol & Şen (2012) citado en Edmundo et al. (2017) que menciona que los metales se adsorben fácilmente en los sedimentos donde estos actúan como sumidero y fuente secundaria de contaminación en las propias aguas y la biota acuática cuando resuspenden (p.131).

Mientras que otro estudio realizado por Botello (2005) menciona que para la mayoría de metales, la fuente dominante hacia el medio lacustre son las aguas de escurrimiento (incluido ríos), siendo la excepción el caso de algunos elementos como el mercurio y plomo (p.331).

Asimismo, Forstner (1981 citado en Botello & Rendon 2005), afirma que de manera general las aguas de desecho doméstico constituyen la fuente más grande de metales en los ríos y lagos, estos afluentes consisten de (1) aguas no-tratadas; (2) sustancias con tratamiento biológico; y (3) sustancias que son servidas mediante un emisor y que descargan en la orilla o aguas adentro (p.334).

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones de As, Al, Ba y Mn contenidos en el agua y sedimento lacustre del lago Titicaca entre épocas de lluvia y estiaje, lo cual indicó que el comportamiento de estos metales son similares en ambos periodos y que el efecto de la remoción ambiental para estos cuatro metales es prácticamente nulo ya que el proceso de transporte de metales del agua hacia el sedimento puede ser lenta, lo que apoya totalmente la tercera hipótesis específica.

Según lo descrito por Moreno et al., (2018) menciona que los metales presentes en la Bahía de Puno pueden movilizarse hacia los sedimentos

debido a las corrientes de agua y su propio peso (p.10), lo que coincide con lo descrito en el párrafo anterior.

Los metales llegan a las cuencas y fuentes de aguas naturales a través de la disolución de las rocas y depósitos naturales en el suelo y minerales provenientes de afluentes industriales y por deposición atmosférica. Lo cual explica que muchas veces las concentraciones obtenidas en épocas de lluvia y estiaje pueden ser diferentes entre sí, tal como lo explica Trelles (2013) citado por Izquierdo & Verástegui (2017, p.121)

Mientras que en otro estudio realizado por Moreno et al., (2017), afirma que no existieron diferencias de concentración de metales (Cu, Zn, Pb, Cd, As, Hg) entre las épocas de lluvia (enero-febrero-marzo) y estiaje (setiembre-octubre-noviembre) en el lago Titicaca; y los mayores niveles de concentración correspondieron a la época de estiaje (p.125).

En general, del presente trabajo se desprenden los siguientes aportes:

- Se contribuyó con el estudio y enfoque de la contaminación de un espejo de agua a causa de sus ríos afluentes, ya que los ríos son la principal fuente de contaminación de lagos, lagunas y océanos.
- Se evaluó el grado de contaminación en aguas y sedimentos fluviales y lacustres por metales como el Arsénico, Aluminio, Bario y Manganeso, ya que podrían tener consecuencias medioambientales irreversibles a futuro al no ser evaluados con frecuencia.
- Los resultados obtenidos en este estudio permitirán tomar las acciones correctivas correspondientes tales como coordinar planes y programas interinstitucionales de control, fiscalización de la calidad del agua de los recursos hídricos en la cuenca del Titicaca, implementar programas periódicos de vigilancia de la calidad de agua y sedimento lacustre para los metales que sobrepasaron sus valores referenciales establecidos por su norma de referencia.
- Se identificó las zonas más afectados por la existencia de metales traza mediante la elaboración de mapas con isolíneas de modelamiento y visualización de superficies (figs. 17,19,21 y 23) las cuales se resumen en la tabla 38:

Tabla 38. Zonas afectadas por metales traza en agua y sedimento lacustre.

		Zonas afectadas				
Agua lacustre	Arsénico	<i>Puno</i>	<i>Los Uros</i>	<i>Capachica</i>	<i>Ilave</i>	<i>Yunguyo</i>
	Aluminio	<i>Huancane</i>				
	Bario	<i>Ilave</i>		<i>Puno</i>		
	Manganeso	<i>Puno</i>				
Sedimento lacustre	Arsénico	<i>Capachica</i>				
	Aluminio	<i>Ilave</i>	<i>Juli</i>	<i>Escallani</i>		
	Bario	<i>Puno</i>				
	Manganeso	<i>Capachica</i>	<i>Escallani</i>			

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Primera Conclusión: Las concentraciones medias de los metales traza As, Al, Ba y Mn en aguas superficiales del Lago Titicaca no superaron ($p < 0.05$) los valores establecidos por los ECA del D.S. N° 004-2017- MINAM.

Asimismo, las concentraciones medias de Al y Mn en sedimentos del lago Titicaca no superaron los estándares de calidad ambiental ($p > 0.05$) de las normas de referencia NGR y U.S EPA. Sin embargo, las concentraciones medias para el caso del As y Ba sí lograron superar los valores establecidos por dichas normas de referencia ($p < 0.05$).

Las concentraciones medias de As y Ba en las aguas de los ríos afluentes al lago Titicaca no superaron los ECA ($p < 0.05$), sin embargo, las concentraciones medias de Al y Mn si lograron superar dichos valores referenciales ($p > 0.05$).

Por lo tanto, se concluye que la primera hipótesis es parcialmente verdadera, ya que para el caso de las aguas superficiales la mayoría de los metales no superaron los ECA a excepción del Al y Mn en aguas de ríos afluentes, y para el caso de sedimentos lacustres, sólo el As y Ba superaron los valores establecidos por las normas NGR y U.S EPA.

Segunda Conclusión: Se encontraron relaciones directas significativas ($p < 0.05$) en las concentraciones de As, Al, Ba y Mn entre aguas y sedimentos lacustres.

Se encontraron relaciones directas significativas ($p < 0.05$) en las concentraciones de As, Al, Ba y Mn entre aguas fluviales y aguas lacustres.

Se encontraron relaciones directas significativas ($p < 0.05$) en las concentraciones de As, Al, Ba y Mn entre sedimentos fluviales y sedimentos lacustres.

Por lo tanto, se concluye que la segunda hipótesis es verdadera, ya que existen relaciones directas significativas en las concentraciones de metales traza entre aguas y

sedimentos lacustres; entre aguas fluviales y aguas lacustres; y entre sedimentos fluviales y sedimentos lacustres.

Tercera Conclusión: No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones de As, Al, Ba y Mn contenidos en agua y sedimento lacustres entre la época de lluvia y estiaje ($p > 0.05$).

Por lo tanto, se concluye que la tercera hipótesis fue falsa al confirmarse que no hubo diferencias estadísticamente significativa entre las concentraciones de metales (As, Al, Ba y Mn) para las épocas de lluvia y estiaje, lo cual significa que hay una permanencia de estos metales en el agua y sedimento del lago Titicaca en todo el año, y que el efecto de dilución por las lluvias no es significativo.

Recomendaciones

- Se recomienda y se propone aplicar métodos de biorremediación en zonas del lago Titicaca donde la concentración de metales fueron significativas, estos métodos presentan un gran potencial debido a su compatibilidad con el medio ambiente y su rentabilidad. La actividad microbiana puede remover, movilizar y contener los metales a través de la absorción, biometilación/ dimetilación, coprecipitación y procesos de oxidación/reducción.
- Se sugiere extender el estudio a otros metales (Pb, Cd, Hg, Be, Sb, Cr, Co, etc.).
- Se propone implementar un programa de gestión de riesgos asociados a la presencia de metales traza en el lago Titicaca y ríos afluentes enfocado en la protección y cuidado del ambiente lacustre.
- Se recomienda realizar estudios de bioacumulación de estos metales en peces de diferentes especies dentro del lago Titicaca y evaluar el grado de toxicidad de estos metales en especies nativas.
- Se propone hacer estudios de evaluación de capacidad asimilativa de metales considerando los flujos de entrada y salida (ríos afluentes y efluentes).
- Se plantea establecer Estándares de Calidad Ambiental para sedimentos en lagos y lagunas, ya que el Perú cuenta con una gran cantidad de estos cuerpos de agua donde se llevan a cabo actividades como la piscicultura en pequeña, mediana y gran escala y no se tiene ninguna norma regulatoria para la evaluación de la calidad de sedimentos lacustres.
- Implementar el ordenamiento territorial para una mejor toma de decisiones concertadas con los actores sociales, económicos políticos y técnicos en la ocupación ordenada y uso sostenible de las zonas aledañas al lago Titicaca.
- Se plantea que en los lugares donde se ha detectado existencia de contaminación por metales traza, identificar si su origen es antropogénico o si depende de las características geológicas de los suelos de influencia por medio de técnicas radioanalíticas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abollino, O., Aceto, M., Malandrino, M., Mentasti, E., Sarzanini, C., & Barberis, R. (2002). Distribution and mobility of metals in contaminated sites. chemometric investigation of pollutant profiles. *Environmental Pollution (Barking, Essex : 1987)*, 119(2), 177–193. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12152825>
- Altındağ, A., & Yiğit, S. (2005). Assessment of heavy metal concentrations in the food web of lake Beyşehir, Turkey. *Chemosphere*, 60(4), 552–556. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.01.009>
- Alushllari, M., & Mico, S. (2016). Analyses of heavy metals in the superficial water of lakes. *Zastita Materijala*, 56(4), 492–495. <https://doi.org/10.5937/zasmat1504492a>
- ANA. (2012). Política y estrategia nacional de recursos hídricos.
- ANA. (2013). INFORME TÉCNICO N°007 - 2013-ANA-DGCRH/JJOS. ANA (Autoridad Nacional Del Agua).
- ANA. (2014). Evaluacion de la calidad del agua del lago Titicaca Perú - Bolivia. Informe de Monitoreo mes de octubre 2014(Informe técnico N° 039-2014-ANA-DGCRH-GOCRH). Direccion de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos - Autoridad Nacional del agua.
- Argota Pérez, G. (2015). *Aplicación gecotoxic para predicción de riesgo ambiental: caso estudio sobre mortandad de peces en la bahía interior del lago Titicaca-Puno, Perú*. *Revista Campus* (Vol. 20). Retrieved from <https://www.aulavirtualusmp.pe/ojs/index.php/rc/article/view/1125>
- Arteaga, R. (2013). EVALUACIÓN DE METALES PESADOS EN AGUA DEL RÍO RAMIS SECTOR CRUCERO - SAN ANTON Y SU INTERPRETACIÓN EN SOFTWARE, 1–13. Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8864?show=full>
- Banat, K. M., Howari, F. M., & Al-Hamad, A. A. (2005). Heavy metals in urban soils of central Jordan: Should we worry about their environmental risks? *Environmental Research*, 97(3), 258–273.

<https://doi.org/10.1016/j.envres.2004.07.002>

- Banerjee, S., Maiti, S. K., & Kumar, A. (2015). Metal contamination in water and bioaccumulation of metals in the planktons, molluscs and fishes in Jamshedpur stretch of Subarnarekha River of Chotanagpur plateau, India. *Water and Environment Journal*, 29(2), 207–213. <https://doi.org/10.1111/wej.12108>
- Barakat, A., Baghdadi, M. El, Rais, J., & Nadem, S. (2012). Assessment of Heavy Metal in Surface Sediments of Day River at Beni-Mellal Region, Morocco. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, 4(8), 797–806.
- Bhavsar, K., Hurston, E., Prabhu, R., & Joseph, G. P. (2017). Fibre optic sensor to detect heavy metal pollutants in water environments. In *OCEANS 2017 - Aberdeen* (pp. 1–4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/OCEANSE.2017.8084982>
- Botello, A. V., & Rendon, J. (2005). *Golfo de México, Contaminación e Impacto ambiental: Diagnóstico y Tendencias* (Segunda Ed). México.
- Cardoso, F., & Faletto, E. (1975). *Cepal 50 Anos Volume 2*.
- Castañé, M., Eissa, B., & Ossana, N. (2013). Respuesta de biomarcadores bioquímicos, morfológicos y comportamentales de la carpa común, *Cyprinus carpio*, por exposición a muestras ambientales. *Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology*, 8(1), 41–47. <https://doi.org/10.5132/eec.2013.01.006>
- Castro, G., & Valdés, J. (2012). *Latin American journal of aquatic research. Latin American journal of aquatic research* (Vol. 40). Escuela de Ciencias del Mar, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Retrieved from https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0718-560X2012000200003&lng=es&nrm=iso
- Coila, J. (2017). EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN LAS AGUAS SUPERFICIALES DEL RIO COATA. Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6639>
- Constanza, S. (2009). Realidad de los sistemas de gestión ambiental. *Sotavento MBA*, 0(13), 68–79.
- Corwin, D. L., & Bradford, S. A. (2008). Environmental Impacts and Sustainability of Degraded Water Reuse. *Journal of Environment Quality*, 37(5_Supplement), S-

1. <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0210>
- Costantini, M. L., Sabetta, L., Mancinelli, G., & Rossi, L. (2004). Spatial variability of the decomposition rate of *Schoenoplectus tatora* in a polluted area of Lake Titicaca. *Journal of Tropical Ecology*, 20(3), 325–335.
<https://doi.org/10.1017/S0266467403001214>
- D.S. N° 004-2017 - MINAM. (2017). ESTANDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA). *El Peruano*, 10. Retrieved from <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Edmundo Moreno Terrazas , George Argota Pérez , René Alfaro Tapia, M. A. S., 1 1, & Sabino Atencio Limachi, G. G. C. (2017). Determinación interactiva de metales totales en las aguas de la bahía interior del Lago Titicaca- Puno Perú. *Rev. Investig. Altoandin*, 19(2), 125–134. Retrieved from [file:///C:/Users/Karen/Downloads/271-431-1-PB \(1\).pdf](file:///C:/Users/Karen/Downloads/271-431-1-PB%20(1).pdf)
- EPA 200.8. (1994). DETERMINATION OF TRACE ELEMENTS IN WATERS AND WASTES BY INDUCTIVELY COUPLED PLASMA - MASS SPECTROMETRY, 4.
- FAO. (2018). La FAO y los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible. “Patrimonio”: *Economía Cultural Y Educación Para La Paz (Mec-Edupaz)*, 2(14), 100–117. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i4997s.pdf>
- Flores Lozano, H. H. (2016). Evaluación de la concentración de metales pesados en las aguas del rio grande y su relación con la actividad minera. *Universidad Nacional de Cajamarca*. Retrieved from [http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1299/TESIS HERNAN post privada 2 final.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1299/TESIS%20HERNAN%20post%20privada%202%20final.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Forstner. (1981). Metal Pollution in the Aquatic Environment, 486 S., 102 Abb., 94 Tab., Berlin-Heidelberg-New York 1979. Springer-Verlag. DM 98.00. *Zeitschrift Für Allgemeine Mikrobiologie*, 21(7), 564–564.
<https://doi.org/10.1002/jobm.19810210712>
- Garcia, N., Pedraza, J., Montalvo, J., & Martinez, M. (2012). *EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS PARA LA SALUD HUMANA POR METALES*

PESADOS EN LAS BAHIAS DE BUENAVISTA Y SAN JUAN DE LOS REMEDIOS, VILLA CLARA, CUBA (Vol. XXIV). Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/4435/443543726004.pdf>

GOBIERNO REGIONAL PUNO. (2008). PLAN DE DESARROLLO REGIONAL CONCERTADO AL 2021. Retrieved from <http://medical-dictionary.thefreedictionary.com/Psychotic+illness>

Haxhibeqiri, B., Alikaj, M., & Brahushi, F. (2015). Occurrence of Heavy Metals in Drini Bardhë River. *Anglisticum Journal (IJLLIS)*, 4(2), 200–204.

Haydar, C. M., Nehme, N., Awad, S., Koubaissy, B., Fakhri, M., Yaacoub, A., ... Hamieh, T. (2014). Assessing Contamination Level of Heavy Metals in the Lake of Qaraaoun. Lebanon. *Physics Procedia*, 55, 285–290. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2014.07.041>

Huang, G., Sun, J., Liu, J., Jing, J., Zhang, Y., Chen, X., & Wang, J. (2010). Distribution of Heavy Metals in Groundwater of Sewage Irrigation Area in Guangdong Province, China. In *2010 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering* (pp. 1–4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICBBE.2010.5514978>

Huertos, E., & Romero, A. (2008). Contaminación de Suelos por Metales Pesados. *Revista de La Sociedad Española de Mineralogía*, 10, 48–60. Retrieved from http://www.ehu.es/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf

IMARPE. (2013). EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS POR ACTIVIDADES PRODUCTIVAS EN EL LAGO TITICACA Y ZONAS DE INFLUENCIA.

IMARPE. (2017). Lago Titicaca: Importancia, Estado de Conservación y Amenazas.

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). Compendio Estadístico Puno 2017, 464. Retrieved from https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1506/libro.pdf

Izquierdo, J., & Verástegui, S. (2017). CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS (As, Cd, Cr, Hg y Pb) EN EL AGUA DE LA CUENCA BAJA DEL

RÍO JEQUETEPEQUE, EN RELACIÓN A LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL AGUA - CATEGORÍA 3, CAJAMARCA - 2016. Retrieved from <http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/213/TESIS100%25.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Izzo, A., Daga, R., Arcagni, M., Perez, S., Debora, B., & Sanchez, R. (2010). Concentraciones de metales pesados en distintos compartimentos de lagos andinos de Patagonia Norte, (8400), 155–171. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/235945641_Concentraciones_de_metales_pesados_en_distintos_compartimentos_de_lagos_andinos_de_Patagonia_Norte
- Lecaros Urzúa, J. A. (2013). La ética medio ambiental: Principios y valores para una ciudadanía responsable en la sociedad global. *Acta Bioethica*, 19(2), 177–188.
- LEYN°28611. (n.d.). Ley General Del Ambiente.
- Lutz, C., Zieschank, R., & Drosdowski, T. (2017). Measuring Germany's Transition to a Green Economy. *Low Carbon Economy*, 08(01), 1–19. <https://doi.org/10.4236/lce.2017.81001>
- María, R., Bello Mendoza, R., González Espinosa, M., Ramírez Marcial, N., Jiménez Otárola, F., & Musálem Castillejos, K. (2015). Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, frontera México-Guatemala. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 6(4), 61–74.
- Marshall, J. S., & Mellinger, D. L. (1980). Dynamics of Cadmium-Stressed Plankton Communities. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(3), 403–414. <https://doi.org/10.1139/f80-054>
- Mejía, O. (2016). Contaminación de agua por metales producto de la actividad minera metálica en el río Zaña, Chiclayo- Lambayeque – Junio 2014- Abril 2015. *Universidad de Lambayeque*. Retrieved from https://repositorio.udl.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/UDL/76/T107_47399360T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Mendez, J. P., Ramírez, C. A. G., Gutiérrez, A. D. R., & Garcia, F. P. (2008). Plant Contamination and Phytotoxicity Due To Heavy Metals From Soil and Water.

Tropical and Subtropical Agroecosystems, 10(1), 19–44. <https://doi.org/1870-0462>

MINAM. (2013). LÍNEA BASE AMBIENTAL DE LA CUENCA DEL LAGO TITICACA.

MINAM. (2016). Glosario de Términos. Sitios Contaminados, 1–17. <https://doi.org/10.1063/1.4756353>

MINAM. (2017). Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA). *El Peruano*, 6–9. Retrieved from <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>

Monroy, M., Maceda, A., & Sostoa, A. (2014). Metal concentration in water, sediment and four fish species from Lake Titicaca reveals a large-scale environmental concern. *Science of the Total Environment*, 487, 233–244. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.03.134>

Moreno, S. A., & Espí, J. A. (2008). Introducción al uso de las herramientas de gestión ambiental aplicadas a los recursos naturales no renovables, 241. Retrieved from https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250504/2014/Libro Herramientas. ALFA-DESIR - copia.pdf

Moreno Terrazas, E., Argota Pérez, G., Alfaro Tapia, R., Aparicio Saavedra, M., Atencio Limachi, S., & Goyzueta Camacho, G. (2017). Determinación interactiva de metales totales en las aguas de la bahía interior del Lago Titicaca-Puno Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 19(2), 125–134. <https://doi.org/10.18271/ria.2017.271>

Moreno Terrazas, E., Argota Pérez, G., Alfaro Tapia, R., Aparicio Saavedra, M., Atencio Limachi, S., & Goyzueta Camacho, G. (2018). Cuantificación de metales en sedimentos superficiales de la bahía interior, lago Titicaca-Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 20(1), 09-18. <https://doi.org/10.18271/ria.2018.326>

Nordberg, G. (2002). Metales: Propiedades Químicas Y Toxicidad. *Enciclopedia De Salud Y Seguridad En El Trabajo*, 76. Retrieved from <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/Enciclo>

pediaOIT/tomo2/63.pdf

- ONU. (1987). Concepto de Desarrollo Sostenible, 1987.
[https://doi.org/10.1016/S0022-3093\(01\)00796-7](https://doi.org/10.1016/S0022-3093(01)00796-7)
- Parsafar, N., & Marofi, S. (2014). HEAVY METAL CONCENTRATION IN POTATO AND IN THE SOIL VIA DRAINAGE WATER IRRIGATED WITH WASTEWATER. *Irrigation and Drainage*, 63(5), 682–691.
<https://doi.org/10.1002/ird.1859>
- Plant, J., Smith, D., Smith, B., & Williams, L. (2001). Environmental geochemistry at the global scale. *Applied Geochemistry*, 16(11–12), 1291–1308.
[https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(01\)00036-1](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(01)00036-1)
- Qadir, A., & Malik, R. N. (2011). Heavy Metals in Eight Edible Fish Species from Two Polluted Tributaries (Aik and Palkhu) of the River Chenab, Pakistan. *Biological Trace Element Research*, 143(3), 1524–1540.
<https://doi.org/10.1007/s12011-011-9011-3>
- Quecaño, N. (2018). DETERMINACIÓN DE METALES TÓXICOS EN EL RÍO CRUCERO – PUNO. *Tesis*, 105. Retrieved from
http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7829/Quecaño_Mamani_Nerio_Cosme.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rathgeb, A., Causon, T., Krachler, R., & Hann, S. (2016). Determination of size-dependent metal distribution in dissolved organic matter by SEC-UV/VIS-ICP-MS with special focus on changes in seawater. *ELECTROPHORESIS*, 37(7–8), 1063–1071. <https://doi.org/10.1002/elps.201500538>
- Rizzo, A., Daga, R., Arcagni, M., Catán, S. P., Bubach, D., Sánchez, R., ... Arribére, M. A. (2010). Concentraciones de metales pesados en distintos compartimentos de lagos andinos de Patagonia Norte. *Ecologia Austral*.
- Rodamilans, M., & Bachs, M. (1999). Elementos Traza. *Tratado de Nutrición*, 3(I), 229–247. Retrieved from
[https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:pFPJN3YVQJ4J:https://www.seqc.es/download/revista/719/1723/1603239663/1024/cms/Qumica%2520Clnica%25201984%3B3%2520\(1\)%252033-36.pdf/+&cd=19&hl=es-](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:pFPJN3YVQJ4J:https://www.seqc.es/download/revista/719/1723/1603239663/1024/cms/Qumica%2520Clnica%25201984%3B3%2520(1)%252033-36.pdf/+&cd=19&hl=es-)

- Rojas, J. (2015). DESARROLLO SOSTENIBLE : ORIGEN, EVOLUCIÓN Y ENFOQUES.
- Rosas Rodríguez, H. (2001). *Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat. TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*. Universitat Politècnica de Catalunya. Retrieved from <https://www.tesisenred.net/handle/10803/6978>
- Samantray, P., Mishra, B. K., Panda, C. R., & Rout, S. P. (2009). Assessment of Water Quality Index in Mahanadi and Atharabanki Rivers and Taldanda Canal in Paradip Area, India. *Journal of Human Ecology*, 26(3), 153–161. <https://doi.org/10.1080/09709274.2009.11906177>
- Sauvé, S., Hendershot, W., & Allen, H. E. (2000). Solid-Solution Partitioning of Metals in Contaminated Soils: Dependence on pH, Total Metal Burden, and Organic Matter. *Environmental Science & Technology*, 34(7), 1125–1131. <https://doi.org/10.1021/es9907764>
- Saygı, Y., & Yiğit, S. A. (2011). Heavy metals in Yeniçağa Lake and its potential sources: soil, water, sediment, and plankton. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(3), 1379–1389. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2048-0>
- Sevilla, J. sf. (2013). Plan Nacional De Recurso Hídricos - Memoria Final-ANA.
- Shortle, J. (2013). Economics and Environmental Markets: Lessons from Water-Quality Trading. *Agricultural and Resource Economics Review*, 42(01), 57–74. <https://doi.org/10.1017/S1068280500007619>
- Sotero Solís, V., & Alva Astudillo, M. (2013). Contenido de metales pesados en agua y sedimento en el bajo Nanay. *Ciencia Amazónica (Iquitos)*, 3(1), 24. <https://doi.org/10.22386/ca.v3i1.49>
- Tabari, S., Saravi, S. S. S., Bandany, G. A., Dehghan, A., & Shokrzadeh, M. (2010). Heavy metals (Zn, Pb, Cd and Cr) in fish, water and sediments sampled form Southern Caspian Sea, Iran. *Toxicology and Industrial Health*, 26(10), 649–656. <https://doi.org/10.1177/0748233710377777>
- Trelles, J. (2013). Descripción: Biosorción de arsénico en medio acuoso empleando biomasas vegetales inertes. Retrieved May 25, 2020, from

https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_455d6db9709379a2dfba3a2f62e9df0a

- Tulonen, T., Pihlström, M., Arvola, L., & Rask, M. (2006). Concentrations of heavy metals in food web components of small, boreal lakes. *Boreal Environment Research*, *11*(3), 185–194.
- Tuohy, A., Bertler, N., Neff, P., Edwards, R., Emanuelsson, D., Beers, T., & Mayewski, P. (2015). Transport and deposition of heavy metals in the Ross Sea Region, Antarctica. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *120*(20), 10,996–11,011. <https://doi.org/10.1002/2015JD023293>
- U.S. EPA. (1977). Guidelines for the pollutional classification of great lakes harbor sediments.
- Valdes, J., & Castillo, A. (2014). Evaluacion de la calidad ambiental de los sedimentos marinos en el sistema de bahias de Caldera (27 S), Chile. *Latin American Journal of Aquatic Research*, *42*(3), 497–513. <https://doi.org/10.3856/vol42-issue3-fulltext-10>
- Varol, M., & Şen, B. (2012). Assessment of nutrient and heavy metal contamination in surface water and sediments of the upper Tigris River, Turkey. *Catena*, *92*, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.11.011>
- Vera L. (2000). Análisis de aforo de la estacion hidrometrica Obrajillo - periodo 2000 - 2001, 34. Retrieved from http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/ingenie/vera_h_1/cap3.pdf
- Villena Chávez, J. A. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, *35*(2), 304. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3719>
- Xu, F., Hu, B., Dou, Y., Song, Z., Liu, X., Yuan, S., ... Yin, X. (2018). Prehistoric heavy metal pollution on the continental shelf off Hainan Island, South China Sea: From natural to anthropogenic impacts around 4.0 kyr BP. *The Holocene*, *28*(3), 455–463. <https://doi.org/10.1177/0959683617729445>
- Zhang, C., Appel, E., & Qiao, Q. (2013). Heavy metal pollution in farmland irrigated with river water near a steel plant—magnetic and geochemical signature.

Geophysical Journal International, 192(3), 963–974.

<https://doi.org/10.1093/gji/ggs079>

Zhang, J., Huang, W. W., Liu, S. M., Liu, M. G., Yu, Q., & Wang, J. H. (1992).

Transport of particulate heavy metals towards the China Sea: a preliminary study and comparison. *Marine Chemistry*, 40(3–4), 161–178.

[https://doi.org/10.1016/0304-4203\(92\)90021-2](https://doi.org/10.1016/0304-4203(92)90021-2)

ANEXOS

Anexo 1: Declaración de Autenticidad



Universidad
Ricardo Palma

Escuela de Posgrado

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y NO PLAGIO

DECLARACIÓN DEL GRADUANDO

Por el presente, el graduando: *(Apellidos y nombres)*

ALFARO JAUCHA JONATHAN DELIO

en condición de egresado del Programa de Posgrado:

MAESTRIA EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL

deja constancia que ha elaborado la tesis intitulada:

Efecto de metales traza de los Ríos afluentes (Ramis, Coata e llave) sobre la calidad de agua y sedimento del Lago Titicaca.

Declara que el presente trabajo de tesis ha sido elaborado por el mismo y no existe plagio/copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso o similar) presentado por cualquier persona natural o jurídica ante cualquier institución académica, de investigación, profesional o similar.

Deja constancia que la cita de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no ha asumido como suyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o de la Internet.

Asimismo, ratifica que esplenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asume la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento y esconsciente de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, el graduando se somete a lo dispuesto en las normas de la Universidad Ricardo Palma y los dispositivos legales vigentes.

Firma del graduando

09/08/2020

Fecha

Anexo 2: Autorización de consentimiento para realizar la investigación.



Escuela de Posgrado

AUTORIZACIÓN PARA REALIZAR LA INVESTIGACIÓN

**DECLARACIÓN DEL RESPONSABLE DEL AREA O DEPENDENCIA
DONDE SE REALIZARA LA INVESTIGACIÓN**

Dejo constancia que el área o dependencia que dirijo, ha tomado conocimiento del proyecto de tesis titulado:

Efecto de metales traza de los Ríos afluentes (Ramis, Coata e llave) sobre la calidad de agua y sedimento del Lago Titicaca.

el mismo que es realizado por el Sr./Srta. Estudiante (Apellidos y nombres):

ALFARO JAUCHA JONATHAN DELIO

, en condición de estudiante - investigador del Programa de:

MAESTRÍA EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL

Así mismo señalamos, que según nuestra normativa interna procederemos con el apoyo al desarrollo del proyecto de investigación, dando las facilidades del caso para aplicación de los instrumentos de recolección de datos.

En razón de lo expresado doy mi consentimiento para el uso de la información y/o la aplicación de los instrumentos de recolección de datos:

Nombre de la empresa: INSTITUTO DEL MAR DEL PERU	Autorización para el uso del nombre de la Empresa en el Informe Final	<input checked="" type="checkbox"/> NO
--	---	---

Apellidos y Nombres del Jefe/Responsable del área: Jorge Tam	Cargo del Jefe/Responsable del área: Responsable del Laboratorio
--	--


Teléfono fijo (incluyendo anexo) y/o celular: 2088667	Correo electrónico de la empresa: jtam@imarpe.gob.pe
---	--

Firma

09/08/20

Fecha

Anexo 3: Matriz de consistencia

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES	MUESTRA	DISEÑO	INSTRUMENTO ESTADISTICA
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable 1	Población	Tipo de investigación	
¿De qué manera la presencia de traza de metales (Arsénico, Aluminio, Bario y Manganeso) en ríos afluentes afecta la calidad ambiental de agua superficial y sedimento del lago Titicaca?	Evaluar si la presencia de metales traza (Arsénico, aluminio Bario y Manganeso) en ríos afluentes tiene un efecto negativo en la calidad ambiental de las aguas superficiales y sedimentos del lago Titicaca.	La presencia de metales traza (As, Al, Ba, Mn) en los ríos afluentes (Ramis, Coata e Ilave) al Lago Titicaca no tiene un efecto negativo en la calidad ambiental de agua superficial, pero si en la calidad del sedimento lacustre.	Concentración traza de metales en ríos (agua superficial y sedimento) Indicadores Arsénico (mg/L ; ug/kg) Aluminio (mg/L ; ug/kg) Bario (mg/L ; ug/kg) Manganeso (mg/L ; ug/kg)	Aguas Superficiales y Sedimento Lacustre del lago Titicaca y de los ríos afluentes comprendida en la provincia y departamento de Puno al sur del Perú en épocas de lluvia y estiaje en cuatro años consecutivos.	Aplicada	Pruebas unilaterales de estimación
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variable 2	Muestra	Método de Investigación	
¿Qué niveles de Arsénico, Aluminio, Bario y Manganeso presenta la calidad de agua y sedimento de los ríos afluentes (Ramis, Coata e Ilave) y el lago Titicaca?	Comparar la concentración de Arsénico, Aluminio, Bario y Manganeso en los ríos afluentes (Ramis, Coata e Ilave) y el lago Titicaca frente a los estándares de calidad ambiental de agua y sedimento lacustre.	La concentración de Metales Traza (As, Al, Ba, Mn) en aguas fluviales (ríos afluentes Ramis, Coata e Ilave) y aguas superficiales no superan los ECA agua, mientras que los MT contenidos en sedimento lacustre si superan la norma U.S EPA	Calidad ambiental de agua superficial en el lago Titicaca Calidad ambiental de sedimento lacustre Indicadores			correlacion de Pearson
¿Qué relaciones existen en las concentraciones de Arsénico, Aluminio, Bario y Manganeso entre las aguas y sedimentos lacustres; entre aguas fluviales y aguas lacustres; y entre sedimentos fluviales y sedimentos lacustres?	Determinar la relación de las concentraciones de Arsénico, Aluminio, Bario y Manganeso entre el agua y sedimento lacustre; entre agua fluvial y agua lacustre; y entre sedimento de río y sedimento lacustre.	Existen relaciones directas de las concentraciones de As, Al, Ba y Mn entre aguas y sedimentos lacustres; entre aguas fluviales y aguas lacustres; y entre sedimentos fluviales y sedimentos lacustres.	ECA - C4, Sub.C E1 0,15 ECA - C4, sub.C E1 0,7 ECA - C1, Sub. C B1 0,2 ECA - C1, Sub. C B1 0,1	Agua (500 mL aprox.) y sedimento lacustre (200 g. Aprox.)	No experimental	ANOVA
¿Qué diferencias hay entre los metales traza (Arsénico, Aluminio, Bario y Manganeso) del agua y sedimento del lago Titicaca en época de estiaje y en época de lluvia?	Determinar las diferencias entre las concentraciones de metales traza (As, Al, Ba, y Mn) en agua y sedimento del lago Titicaca en épocas de estiaje es mayor que épocas de lluvia.	Las concentraciones de Arsénico, Aluminio, Bario y Manganeso en agua y sedimentos del lago Titicaca en época de estiaje son mayores que en época de lluvia.	U.S EPA 8 U.S EPA 60 NGR 10000 U.S EPA 500	colectadas en 30 estaciones de muestreo dentro del Lago Titicaca entre los años 2013 y 2016.		

Anexo 3.1: Concentración de metales en la Bahía Interior de Puno.

Fecha	Estación	Arsénico (mg/L)	Aluminio (mg/L)	Bario (mg/L)	Manganeso (mg/L)
Mar-13	BInte01	0.01210	0.04540	0.08640	0.14620
Mar-13	BInte03	0.01040	0.03910	0.09000	0.15180
Mar-13	BInte04	0.01000	0.06120	0.09050	0.15880
Mar-13	BInte05	0.01040	0.04180	0.08810	0.14530
Mar-13	BInte06	0.01010	0.02940	0.08570	0.13590
Mar-13	BInte07	0.00860	0.02300	0.09210	0.12880
Mar-13	BInte08	0.01120	0.03660	0.09250	0.18400
Mar-13	BInte09	0.01090	0.42000	0.09120	0.15880
Mar-13	BInte10	0.00840	0.02720	0.08960	0.14870
Mar-13	BInte11	0.00910	0.01900	0.07260	0.05130
Oct-13	BInte01	0.01000	0.11000	0.08100	0.12150
Oct-13	BInte02	0.00800	0.04000	0.08700	0.08970
Oct-13	BInte03	0.00900	0.04000	0.08700	0.08960
Oct-13	BInte04	0.00800	0.04000	0.08500	0.08460
Oct-13	BInte05	0.00700	0.04000	0.08700	0.08590
Oct-13	BInte06	0.00800	0.03000	0.08600	0.07210
Oct-13	BInte07	0.00800	0.02000	0.07700	0.05440
Oct-13	BInte08	0.00900	0.04000	0.08800	0.10410
Oct-13	BInte09	0.00700	0.04000	0.08800	0.09570
Oct-13	BInte10	0.00800	0.01200	0.08600	0.09790
Oct-13	BInte11	0.00700	0.03000	0.08600	0.10690

Fuente: ANA (2013).

Anexo 3.2: Concentración de metales en la Bahía de Puno.

Fecha	Estación	Arsénico (mg/L)	Aluminio (mg/L)	Bario (mg/L)	Manganeso (mg/L)
Mar-13	BPuno01	0.01040	0.00190	0.06250	0.00750
Mar-13	BPuno02	0.01300	0.00280	0.06440	0.00260
Mar-13	Bpuno03	0.01400	0.00190	0.06200	0.00140
Mar-13	BPuno04	0.01250	0.00190	0.06120	0.00130
Mar-13	BPuno05	0.01220	0.00270	0.06060	0.00120
Mar-13	BPuno06	0.01340	0.00230	0.06180	0.00080
Mar-13	BPuno07	0.01240	0.00190	0.06380	0.00030
Mar-13	BPuno08	0.01400	0.00450	0.06080	0.01340
Oct-13	BPuno01	0.00800	0.07000	0.06800	0.00680
Oct-13	BPuno02	0.00600	0.06000	0.05800	0.00090
Oct-13	Bpuno03	0.01100	0.05000	0.06600	0.00190
Oct-13	BPuno04	0.00600	0.06000	0.05700	0.00040
Oct-13	BPuno05	0.00800	0.05000	0.06400	0.00060
Oct-13	BPuno06	0.00900	0.05000	0.06400	0.00040
Oct-13	BPuno07	0.00900	0.05000	0.06500	0.00040
Oct-13	BPuno08	0.00900	0.05000	0.06300	0.00230
Oct-13	JChoc01	0.00800	0.02000	0.06300	0.00040

Fuente: ANA (2013).

Anexo 3.3: Concentración de metales en el lago Mayor.

Fecha	Estación	Arsénico (mg/L)	Aluminio (mg/L)	Bario (mg/L)	Manganeso (mg/L)
Oct-13	Ltiti01	0.00700	0.02000	0.06500	0.00040
Oct-13	Ltiti02	0.00600	0.02000	0.06400	0.00040
Oct-13	Ltiti03	0.00900	0.28000	0.07000	0.02510
Oct-13	LTiti04	0.00700	0.01000	0.06400	0.00040
Oct-13	LTiti05	0.00800	0.02000	0.06400	0.00060
Oct-13	LTiti07	0.00700	0.03000	0.06400	0.00080
Oct-13	LTiti06	0.00100	0.05000	0.06300	0.00270
Oct-13	LTiti09	0.00700	0.02000	0.06500	0.00040
Oct-13	LTiti10	0.01000	0.01000	0.06400	0.00040
Oct-13	Ltiti11	0.00700	0.07000	0.06500	0.00040
Oct-13	LTiti12	0.01100	0.23000	0.06600	0.00490
Oct-13	LTiti14	0.01100	0.05000	0.06600	0.01110
Oct-13	LTiti13	0.01000	0.06000	0.06800	0.00690

Fuente: ANA (2013).

Anexo 3.4: Concentración de metales en la Bahía Interior de Puno.

Fecha	Estación	Arsénico (mg/L)	Aluminio (mg/L)	Bario (mg/L)	Manganeso (mg/L)
Mar-14	BInte01	0.01000	0.03000	0.07800	0.14710
Mar-14	BInte02	0.01000	0.02000	0.07500	0.12760
Mar-14	BInte03	0.01000	0.02000	0.07500	0.12940
Mar-14	BInte04	0.00900	0.02000	0.07500	0.12960
Mar-14	BInte05	0.00900	0.03000	0.07500	0.12800
Mar-14	BInte06	0.01100	0.01000	0.07300	0.09720
Mar-14	BInte07	0.01200	0.02000	0.07300	0.11240
Mar-14	BInte08	0.01000	0.03000	0.07500	0.13970
Mar-14	BInte09	0.01000	0.02000	0.07300	0.13060
Mar-14	BInte10	0.01100	0.01000	0.07500	0.14010
Mar-14	BInte11	0.01000	0.01000	0.07500	0.13400
Oct-14	BInte01	0.01000	0.02900	0.07500	0.08600
Oct-14	BInte02	0.01100	0.03500	0.07700	0.08400
Oct-14	BInte03	0.01000	0.02200	0.07500	0.09100
Oct-14	BInte04	0.00900	0.01000	0.07400	0.08800
Oct-14	BInte05	0.01000	0.01200	0.07500	0.09000
Oct-14	BInte06	0.01000	0.01900	0.09300	0.08400
Oct-14	BInte07	0.01000	0.01800	0.07500	0.07700
Oct-14	BInte08	0.01000	0.01000	0.07300	0.08700
Oct-14	BInte09	0.01000	0.01000	0.06900	0.09200
Oct-14	BInte10	0.01000	0.01000	0.06600	0.09600
Oct-14	BInte11	0.01100	0.01800	0.07100	0.07800

Fuente: ANA (2014)

Anexo 3.5: Concentración de metales en la Bahía de Puno.

Fecha	Estación	Arsénico (mg/L)	Aluminio (mg/L)	Bario (mg/L)	Manganeso (mg/L)
Mar-14	BPuno01	0.01100	0.01000	0.06400	0.00750
Mar-14	BPuno02	0.00800	0.04000	0.06000	0.00320
Mar-14	Bpuno03	0.01000	0.03000	0.06100	0.00060
Mar-14	BPuno04	0.00700	0.02000	0.06200	0.00120
Mar-14	BPuno05	0.00900	0.02000	0.06200	0.00170
Mar-14	BPuno06	0.00800	0.02000	0.06100	0.00040
Mar-14	BPuno07	0.00800	0.01000	0.06100	0.00040
Mar-14	BPuno08	0.01100	0.02000	0.04900	0.01190
Mar-14	JChoc01	0.00600	0.01000	0.06200	0.00040
Oct-14	BPuno01	0.00900	0.01000	0.06300	0.01014
Oct-14	BPuno02	0.00900	0.01000	0.05900	0.00169
Oct-14	Bpuno03	0.00900	0.01000	0.06000	0.00040
Oct-14	BPuno04	0.00900	0.01000	0.06000	0.00040
Oct-14	BPuno05	0.01100	0.01192	0.06400	0.00040
Oct-14	BPuno06	0.00900	0.01000	0.06300	0.00040
Oct-14	BPuno07	0.01000	0.01000	0.06200	0.00040
Oct-14	BPuno08	0.01000	0.01000	0.05900	0.00277
Oct-14	JChoc01	0.00700	0.02000	0.06500	0.00140

Fuente: ANA (2014)

Anexo 3.6: Concentración de metales traza en el lago Mayor.

Fecha	Estación	Arsénico (mg/L)	Aluminio (mg/L)	Bario (mg/L)	Manganeso (mg/L)
Mar-14	Ltiti01	0.00900	0.03000	0.06200	0.00120
Mar-14	Ltiti02	0.00700	0.04000	0.06100	0.00070
Mar-14	Ltiti03	0.00600	0.44000	0.07000	0.01850
Mar-14	LTiti04	0.00600	0.01000	0.06000	0.00040
Mar-14	LTiti05	0.00600	0.02000	0.06000	0.00040
Mar-14	LTiti07	0.00600	0.01000	0.06000	0.00040
Mar-14	LTiti06	0.00700	0.01000	0.06200	0.00040
Mar-14	LTiti09	0.00600	0.01000	0.06200	0.00040
Mar-14	LTiti10	0.00600	0.01000	0.06300	0.00040
Mar-14	Ltiti11	0.00700	0.01000	0.06200	0.00040
Mar-14	LTiti12	0.00500	0.10000	0.05600	0.00860
Mar-14	LTiti14	0.00900	0.02000	0.06000	0.01070
Mar-14	LTiti13	0.00900	0.02000	0.06200	0.01160
Oct-14	Ltiti01	0.00900	0.01000	0.06400	0.00040
Oct-14	Ltiti02	0.00900	0.02000	0.06300	0.00040
Oct-14	Ltiti03	0.01000	0.20000	0.05800	0.01850
Oct-14	LTiti04	0.00900	0.01000	0.06300	0.00040
Oct-14	LTiti05	0.00900	0.01000	0.06100	0.00040
Oct-14	LTiti07	0.00900	0.01000	0.05400	0.00040
Oct-14	LTiti06	0.03000	0.01000	0.06000	0.07480
Oct-14	LTiti09	0.00900	0.02000	0.06300	0.00540
Oct-14	LTiti10	0.00800	0.01000	0.06200	0.00040
Oct-14	Ltiti11	0.00800	0.01000	0.06100	0.00040
Oct-14	LTiti12	0.00700	0.05000	0.05300	0.00190
Oct-14	LTiti14	0.01300	0.03100	0.06700	0.00865
Oct-14	LTiti13	0.01100	0.02000	0.06600	0.00610

Fuente: ANA (2014).

Anexo 3.7: Concentración de metales en la bahía Interior de Puno.

Fecha	Estación	Arsénico (mg/L)	Aluminio (mg/L)	Bario (mg/L)	Manganeso (mg/L)
Oct-15	BInte01	0.01190	0.09890	0.07730	0.11570
Oct-15	BInte02	0.01280	0.06360	0.07310	0.09220
Oct-15	BInte03	0.01000	0.08020	0.07030	0.09300
Oct-15	BInte04	0.01080	0.07660	0.07570	0.09680
Oct-15	BInte05	0.01100	0.08270	0.07100	0.09690
Oct-15	BInte06	0.01220	0.07090	0.09310	0.17840
Oct-15	BInte07	0.01100	0.05950	0.06650	0.06700
Oct-15	BInte08	0.01000	0.08630	0.07320	0.09820
Oct-15	BInte09	0.01100	0.07910	0.07110	0.10070
Oct-15	BInte10	0.01170	0.06100	0.07270	0.11510
Oct-15	BInte11	0.01110	0.05320	0.07120	0.09990

Fuente: ANA (2015).

Anexo 3.8: Concentración de metales en la bahía de Puno.

Fecha	Estación	Arsénico (mg/L)	Aluminio (mg/L)	Bario (mg/L)	Manganeso (mg/L)
Oct-15	BPuno01	0.01220	0.05290	0.05740	0.00870
Oct-15	BPuno02	0.01040	0.04520	0.05640	0.00070
Oct-15	Bpuno03	0.00950	0.04510	0.05730	0.00040
Oct-15	BPuno04	0.00890	0.08030	0.05680	0.00040
Oct-15	BPuno05	0.00930	0.04780	0.05700	0.00040
Oct-15	BPuno06	0.01220	0.06110	0.05930	0.00090
Oct-15	BPuno07	0.00970	0.04750	0.05830	0.00040
Oct-15	BPuno08	0.01180	0.07790	0.05790	0.00280
Oct-15	JChoc01	0.00830	0.01460	0.05950	0.00040

Fuente: ANA (2015).

Anexo 3.9: Concentración de metales en el lago Mayor.

Fecha	Estación	Arsénico (mg/L)	Aluminio (mg/L)	Bario (mg/L)	Manganeso (mg/L)
Oct-15	Ltiti01	0.01240	0.07120	0.05970	0.00040
Oct-15	Ltiti02	0.01200	0.08540	0.05770	0.00110
Oct-15	Ltiti03	0.01390	0.20740	0.05810	0.01110
Oct-15	LTiti04	0.01250	0.05020	0.05840	0.00040
Oct-15	LTiti05	0.00720	0.01270	0.06020	0.00040
Oct-15	LTiti07	0.00860	0.01250	0.06090	0.00040
Oct-15	LTiti06	0.00710	0.01250	0.06310	0.00040
Oct-15	LTiti09	0.00660	0.01700	0.05910	0.00040
Oct-15	LTiti10	0.00690	0.01360	0.05970	0.00040
Oct-15	Ltiti11	0.00580	0.01210	0.05960	0.00040
Oct-15	LTiti12	0.01100	0.05410	0.08110	0.00510
Oct-15	LTiti14	0.01220	0.00900	0.06320	0.00930
Oct-15	LTiti13	0.01120	0.00900	0.06250	0.00900

Fuente: ANA (2015).

Anexo 3.10: Concentración de metales en la bahía Int. de Puno.

Fecha	Estación	Arsénico (mg/L)	Aluminio (mg/L)	Bario (mg/L)	Manganeso (mg/L)
Abr-16	BInte01	0.01311	0.06380	0.10032	0.15190
Abr-16	BInte02	0.01301	0.04410	0.09733	0.15090
Abr-16	BInte03	0.01288	0.05200	0.09556	0.14300
Abr-16	BInte04	0.01319	0.04320	0.09598	0.14150
Abr-16	BInte05	0.01337	0.04590	0.10053	0.15270
Abr-16	BInte06	0.01299	0.01400	0.08598	0.05360
Abr-16	BInte07	0.01366	0.02740	0.09185	0.11460
Abr-16	BInte08	0.01388	0.02420	0.09249	0.14080
Abr-16	BInte09	0.01383	0.03150	0.09610	0.15550
Abr-16	BInte10	0.01448	0.03350	0.09580	0.17120
Abr-16	BInte11	0.01446	0.01410	0.09396	0.11850

Anexo 3.11: Concentración de metales en la bahía de Puno.

Fecha	Estación	Arsénico (mg/L)	Aluminio (mg/L)	Bario (mg/L)	Manganeso (mg/L)
Abr-16	BPuno01	0.01473	0.00040	0.06623	0.00690
Abr-16	BPuno02	0.01455	0.01080	0.06029	0.00540
Abr-16	Bpuno03	0.01493	0.01080	0.06208	0.00340
Abr-16	BPuno04	0.01427	0.02900	0.06077	0.00540
Abr-16	BPuno05	0.01503	0.01200	0.06104	0.00220
Abr-16	BPuno06	0.01490	0.02270	0.06153	0.00200
Abr-16	BPuno07	0.01481	0.01750	0.06180	0.00280
Abr-16	BPuno08	0.01731	0.29610	0.05737	0.01420
Abr-16	JChoc01	0.01440	0.01200	0.06307	0.00140

Fuente: ANA (2016).

Anexo 3.12: Concentración de metales en el lago Mayor.

Fecha	Estación	Arsénico (mg/L)	Aluminio (mg/L)	Bario (mg/L)	Manganeso (mg/L)
Abr-16	Ltiti01	0.01552	0.02190	0.06702	0.00310
Abr-16	Ltiti02	0.01526	0.09540	0.06900	0.00480
Abr-16	Ltiti03	0.01435	3.62900	0.08271	0.05510
Abr-16	LTiti04	0.01432	0.01020	0.06856	0.00150
Abr-16	LTiti05	0.01395	0.03930	0.06613	0.00080
Abr-16	LTiti07	0.01357	0.01450	0.06429	0.00210
Abr-16	LTiti06	0.01404	0.02120	0.06720	0.00110
Abr-16	LTiti09	0.01408	0.01300	0.06149	0.00140
Abr-16	LTiti10	0.13770	0.01670	0.06161	0.00130
Abr-16	Ltiti11	0.01378	0.01730	0.06269	0.00360
Abr-16	LTiti12	0.14210	0.03030	0.06833	0.00730
Abr-16	LTiti14	0.18160	0.00960	0.06472	0.00930
Abr-16	LTiti13	0.01709	0.02140	0.06673	0.01390

Fuente: ANA (2016).

Anexo 3.13: Concentración de metales en sedimentos.

Fecha	Estación	Arsénico (mg/kg)	Aluminio (mg/kg)	Bario (mg/kg)	Manganeso (mg/kg)
Mar-13	BInte01	46.06	13380.74	305.93	916.44
Mar-13	BInte03	45.90	11825.35	175.90	765.76
Mar-13	BInte04	19.78	2036.03	309.70	571.50
Mar-13	BInte05	35.19	20642.09	435.09	659.33
Mar-13	BInte07	19.93	1114.21	262.07	542.17
Mar-13	BInte09	32.52	8881.61	222.17	608.14
Mar-13	BInte11	27.36	3265.49	207.33	324.28
Mar-13	BPuno01	73.77	17078.67	217.33	561.49
Mar-13	BPuno02	45.35	9222.65	182.42	562.83
Mar-13	Bpuno03	33.05	10605.13	373.17	807.19
Mar-13	BPuno04	22.10	5209.35	247.87	172.41
Mar-13	BPuno06	47.37	9026.51	219.18	1084.82
Mar-13	BPuno08	70.82	2149.74	223.95	1481.88
Oct-13	BInte01	-	6116.00	151.90	411.00
Oct-13	BInte02	-	463.30	127.80	484.00
Oct-13	BInte03	-	1528.00	126.40	287.70
Oct-13	BInte05	-	4061.00	147.80	344.00
Oct-13	BInte06	-	345.80	152.10	199.50
Oct-13	BInte08	-	2267.00	123.70	261.50
Oct-13	BInte11	-	644.90	179.60	244.80
Oct-13	BPuno01	-	6341.00	209.10	908.30
Oct-13	Bpuno03	-	3287.00	-	310.20
Oct-13	BPuno04	-	6770.00	220.50	459.10
Oct-13	BPuno05	-	1836.00	146.00	72.82
Oct-13	Ltiti03	-	7701.41	148.80	405.11
Oct-13	LTiti07	-	2692.54	116.60	176.34
Oct-13	LTiti09	-	10179.01	161.10	231.12
Oct-13	JChoc01	-	1031.70	127.60	16.66
Oct-13	LTiti10	-	3433.75	115.70	102.50
Oct-13	LTiti12	-	2109.44	174.20	50.12

Fuente: ANA (2013).

Anexo 3.14: Concentración de metales en sedimentos.

Fecha	Estación	Arsénico (mg/kg)	Aluminio (mg/kg)	Bario (mg/kg)	Manganeso (mg/kg)
Mar-14	BInte01	40.70	10404.10	239.60	799.43
Mar-14	BInte02	34.70	5584.10	192.50	452.78
Mar-14	BInte03	27.70	5564.80	223.80	525.68
Mar-14	BInte04	38.20	6127.60	204.80	543.08
Mar-14	BInte05	37.60	7109.30	232.70	530.52
Mar-14	BInte06	18.90	716.20	282.10	332.20
Mar-14	BPuno01	49.50	7274.40	188.90	304.70
Mar-14	BPuno02	39.30	2760.30	113.20	494.78
Mar-14	BPuno04	28.90	6627.30	197.20	172.75
Mar-14	BPuno05	69.90	8772.30	172.70	621.56
Mar-14	BPuno06	37.30	9709.00	239.70	552.17
Mar-14	BPuno07	71.40	5770.70	123.70	249.66
Mar-14	BPuno08	63.30	17297.00	204.90	1073.24
Mar-14	Ltiti02	28.50	11867.30	179.50	334.74
Mar-14	Ltiti03	24.60	6185.50	140.70	472.42
Mar-14	LTiti07	26.20	9124.60	209.60	99.11
Mar-14	LTiti09	60.80	17228.90	236.10	311.23
Mar-14	JChoc01	20.70	3780.30	230.90	43.75
Mar-14	LTiti10	66.80	7649.20	148.20	145.31
Mar-14	LTiti12	23.10	5771.70	256.50	119.68
Oct-14	BInte01	43.30	8962.10	301.70	804.70
Oct-14	BInte02	40.00	6356.80	224.40	485.50
Oct-14	BInte03	21.20	3739.50	250.30	569.30
Oct-14	BInte04	35.90	6766.70	269.70	634.40
Oct-14	BInte05	38.50	8922.00	209.70	380.00
Oct-14	BInte06	25.20	1174.70	342.30	406.10
Oct-14	BPuno01	39.40	6488.00	214.20	295.74
Oct-14	BPuno02	30.60	8038.10	228.30	419.36
Oct-14	BPuno04	14.70	4579.40	200.70	156.97
Oct-14	BPuno05	26.80	8834.20	202.80	340.81
Oct-14	BPuno06	40.70	5087.70	191.30	465.87
Oct-14	BPuno08	44.30	21048.40	237.90	1068.89
Oct-14	Ltiti02	28.20	15958.20	204.10	393.88
Oct-14	Ltiti03	10.50	3573.30	63.90	135.93
Oct-14	LTiti07	33.70	7895.50	221.20	78.67
Oct-14	JChoc01	22.00	5043.20	251.60	84.93
Oct-14	LTiti12	23.80	5164.90	305.00	100.55

Fuente: ANA (2014).

Anexo 3.15: Concentración de metales en agua de ríos afluentes.

fecha	lugar	Arsénico	Aluminio	Bario	Manganeso
		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
Oct-13	Drami01	0.01	0.05	0.0638	0.0177
Oct-13	LTiti08	0.008	0.02	0.06843	0.0004
Mar-13	R- Coata	0.0115	0.0019	0.0525	0.0062
Oct-13	R- Coata	0.009	0.04	0.06763	0.0031
Oct-13	RRami1	0.01	0.21	0.059	0.0877
Oct-13	RRami2	0.009	0.09	0.063	0.0151
Oct-13	Rllav1	0.008	0.47	0.063	0.0574
Oct-13	Rllav2	0.011	0.21	0.0578	0.1277
Oct-13	Rllav3	0.015	0.1	0.0067	0.1466
Oct-13	RCoat1	0.023	0.3	0.067	0.2647
Oct-13	RToro1	0.015	1.4	0.069	0.4218
Oct-13	RToro2	0.021	0.1	0.082	0.4727
Oct-13	Rcoat	0.026	0.04	0.059	0.3363
Oct-13	RCoat2	0.029	0.03	0.072	0.202

Fuente: ANA (2013).

Anexo 3.16: Concentración de metales en agua de ríos afluentes.

fecha	lugar	Arsénico	Aluminio	Bario	Manganeso
		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
Mar-14	Drami01	0.004	0.33	0.06833	0.0128
Oct-14	Drami01	0.011	0.1	0.06472	0.0166
Mar-14	LTiti08	0.007	0.01	0.0705	0.0004
Oct-14	LTiti08	0.012	0.01	0.063	0.0347
Mar-14	R- Coata	0.009	0.01	0.064	0.0079
Oct-14	R- Coata	0.009	0.01256	0.06	0.00212
Oct-14	RCoat1	0.023	0.169	0.056	0.0843
Oct-14	RToro1	0.027	0.33	0.062	0.5338
Oct-14	RToro2	0.017	0.11	0.051	0.5269
Oct-14	Rcoat	0.028	0.05	-	0.124
Oct-14	RCoat2	0.033	0.1	0.068	0.1828

Fuente: ANA (2014).

Anexo 3.17: Concentración de metales en agua de ríos afluentes.

fecha	lugar	Arsénico	Aluminio	Bario	Manganeso
		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
Oct-15	Drami01	0.0188	0.1494	0.06673	0.0171
Oct-15	LTiti08	0.0083	0.0157	0.068	0.0004
Oct-15	R- Coata	0.0098	0.0414	0.062	0.0026
Abr-16	Drami01	0.01383	0.7469	0.05857	0.0168
Abr-16	LTiti08	0.01428	0.018	0.055	0.0011
Abr-16	R- Coata	0.01481	0.0012	0.0601	0.0046
Abr-16	RCoat1	0.015	1.03	0.07	0.042
Abr-16	RToro1	-	-	0.064	-
Abr-16	RToro2	0.014	2.59	0.082	439
Abr-16	Rcoat	0.018	1.16	0.094	0.057
Abr-16	RCoat2	0.02	1.24	0.1	0.128
Set-16	RCoat1	0.02	0.404	0.06	0.221
Set-16	RToro1	-	-	0.038	-
Set-16	RToro2	0.011	0.116	0.061	0.316
Set-16	Rcoat	0.037	0.186	-	1.187
Set-16	RCoat2	0.054	0.2	0.073	1.621

Fuente: ANA (2015-2016).

Anexo 3.18: Concentración de metales en sedimento de ríos afluentes.

fecha	lugar	Arsénico (mg/kg)	Aluminio (mg/kg)	Bario (mg/kg)	Manganeso (mg/kg)
Mar-13	R- Coata	43.34	8687.8	-	805.44
Oct-13	Drami01	19.4	2521.89	210.3	168.44
Oct-13	R- Coata	-	-	-	-
Oct-13	RRami1	23.5	4101	254.6	2377
Oct-13	RRami2	26.7	3788	249.6	2418
Oct-13	Rllav1	-	-	278.8	-
Oct-13	Rllav3	21.1	4300	-	155.6
Oct-13	RCoat1	-	-	185.8	-
Oct-13	RToro2	-	-	102.7	-
Oct-13	Rcoat	53.8	5425	95.04	348.3

Fuente: ANA (2013).

Anexo 3.19: Concentración de metales en sedimento de ríos afluentes.

fecha	lugar	Arsénico (mg/kg)	Aluminio (mg/kg)	Bario (mg/kg)	Manganeso (mg/kg)
Mar-14	Drami01	12	2856.5	200.7	162.76
Mar-14	LTiti08	15.5	15237	-	449.54
Mar-14	R- Coata	51.4	7026.6	-	738.83
Oct-14	Drami01	12	3981.9	236.8	196.66
Oct-14	LTiti08	16.5	14416.4	41.68	372.15
Oct-14	R- Coata	47.4	7379,1	167.7	627.91
Oct-14	RCoat1	18.9	4441.3	-	195.12
Oct-14	RToro1	21.8	12064.7	-	1018.01
Oct-14	RToro2	18.2	9635.3	-	520.87
Oct-14	Rcoat	18.9	4848.2	-	290.64
Oct-14	RCoat2	81.2	14468.6	-	1061.61
Oct-15	LTiti08	-	-	72.2	-
Oct-15	R- Coata	-	-	175.5	-
Abr-16	LTiti08	-	-	162.8	-
Abr-16	RToro1	-	-	56.84	-
Set-16	RCoat1	-	-	106.5	-

Fuente: ANA (2014).

Anexo 3.20: Concentración de metales en épocas de lluvia.

Fecha	Lugar	Arsénico		Aluminio		Bario		Manganeso	
		agua (mg/L)	sedimento (mg/Kg)	agua (mg/L)	sedimento (mg/Kg)	agua (mg/L)	sedimento (mg/Kg)	agua (mg/L)	sedimento (mg/Kg)
Mar-14	BInte01	0.01	40.7	0.03	10404.1	0.078	239.6	0.1471	799.43
Mar-14	BInte02	0.01	34.7	0.02	5584.1	0.075	192.5	0.1276	452.78
Mar-14	BInte03	0.01	27.7	0.02	5564.8	0.075	223.8	0.1294	525.68
Mar-14	BInte04	0.009	38.2	0.02	6127.6	0.075	204.8	0.1296	543.08
Mar-14	BInte05	0.009	37.6	0.03	7109.3	0.075	232.7	0.128	530.52
Mar-14	BInte06	0.011	18.9	0.01	716.2	0.073	282.1	0.0972	332.2
Mar-14	BPuno01	0.011	49.5	0.01	7274.4	0.064	188.9	0.0075	304.7
Mar-14	BPuno02	0.008	39.3	0.04	2760.3	0.06	113.2	0.0032	494.78
Mar-14	BPuno04	0.007	28.9	0.02	6627.3	0.062	197.2	0.0012	172.75
Mar-14	BPuno05	0.009	69.9	0.02	8772.3	0.062	172.7	0.0017	621.56
Mar-14	BPuno06	0.008	37.3	0.02	9709	0.061	239.7	0.0004	552.17
Mar-14	BPuno08	0.011	63.3	0.02	17297	0.049	204.9	0.0119	1073.24
Mar-14	Ltiti02	0.007	28.5	0.04	11867.3	0.061	179.5	0.0007	334.74
Mar-14	Ltiti03	0.006	24.6	0.44	6185.5	0.07	140.7	0.0185	472.42
Mar-14	LTiti07	0.006	26.2	0.01	9124.6	0.06	209.6	0.0004	99.11
Mar-14	JChoc01	0.006	20.7	0.01	3780.3	0.062	230.9	0.0004	43.75
Mar-14	LTiti12	0.005	23.1	0.1	5771.7	0.056	256.5	0.0086	119.68
Mar-14	Drami01	0.004	12	0.33	2856.5	0.068	72.2	0.0128	162.76
Mar-14	LTiti08	0.007	15.5	0.01	15237	0.06	167.7	0.0004	449.54
Mar-14	R- Coata	0.009	51.4	0.01	7026.6	0.063	249.6	0.0079	738.83

Fuente: ANA (2014).

Anexo 3.21: Concentración de metales en épocas de estiaje.

Fecha	Lugar	Arsénico		Aluminio		Bario		Manganeso	
		agua (mg/L)	sedimento (mg/Kg)	agua (mg/L)	sedimento (mg/Kg)	agua (mg/L)	sedimento (mg/Kg)	agua (mg/L)	sedimento (mg/Kg)
Oct-14	BInte01	0.01	43.3	0.029	8962.1	0.075	301.7	0.086	804.7
Oct-14	BInte02	0.011	40	0.035	6356.8	0.077	224.4	0.084	485.5
Oct-14	BInte03	0.01	21.2	0.022	3739.5	0.075	250.3	0.091	569.3
Oct-14	BInte04	0.009	35.9	0.01	6766.7	0.074	269.7	0.088	634.4
Oct-14	BInte05	0.01	38.5	0.012	8922	0.075	209.7	0.09	380
Oct-14	BInte06	0.01	25.2	0.019	1174.7	0.093	342.3	0.084	406.1
Oct-14	BPuno01	0.009	39.4	0.01	6488	0.063	214.2	0.01014	295.74
Oct-14	BPuno02	0.009	30.6	0.01	8038.1	0.059	228.3	0.00169	419.36
Oct-14	BPuno04	0.009	14.7	0.01	4579.4	0.06	200.7	0.0004	156.97
Oct-14	BPuno05	0.011	26.8	0.01	8834.2	0.064	202.8	0.0004	340.81
Oct-14	BPuno06	0.009	40.7	0.01	5087.7	0.063	191.3	0.0004	465.87
Oct-14	BPuno08	0.01	44.3	0.01	21048.4	0.059	237.9	0.00277	1068.89
Oct-14	Ltiti02	0.009	28.2	0.02	15958.2	0.063	204.1	0.0004	393.88
Oct-14	Ltiti03	0.01	10.5	0.2	3573.3	0.058	63.9	0.0185	135.93
Oct-14	LTiti07	0.009	33.7	0.01	7895.5	0.054	221.2	0.0004	78.67
Oct-14	JChoc01	0.008	22	0.02	5043.2	0.065	251.6	0.0014	84.93
Oct-14	LTiti12	0.007	23.8	0.05	5164.9	0.053	305	0.0019	100.55
Oct-14	Drami01	0.011	12	0.1	3981.9	0.055	162.8	0.0166	196.66
Oct-14	LTiti08	0.012	16.5	0.01	14416.4	0.062	175.5	0.0347	372.15
Oct-14	R- Coata	0.009	47.4	0.012	7379,1	0.063	278.8	0.00212	627.91

Fuente: ANA (2014).

Anexo 4. Protocolos o Instrumentos utilizados

Anexo 4.1 Protocolo Nacional para el Monitoreo de Calidad de Recursos Hídricos Superficiales



Fuente: Resolución N° 010-2016 ANA

Anexo 5. Formato de instrumentos o protocolos utilizados

Anexo 5.1: Ficha de registro de datos.

Institución	ANA (Autoridad Nacional del Agua)
Título	EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA BAHIA INTERIOR DE PUNO Y BAHIA DE PUNO-LAGO TITICACA
Informe Técnico	N° 007 - 2013 - ANA - DGCRH/JJOS
Mes	abril
Año	2013

Institución	ANA (Autoridad Nacional del Agua)
Título	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA CUENCA DEL LAGO TITICACA-SECTOR PERUANO
Informe Técnico	N° 061 - 2014 - ANA/VIG
Mes	octubre
Año	2013

Institución	ANA (Autoridad Nacional del Agua)
Título	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL LAGO TITICACA PERÚ-BOLIVIA
Informe Técnico	N° 018 - 2014 - ANA - DGCRG - GOCRH
Mes	marzo
Año	2014

Institución	ANA (Autoridad Nacional del Agua)
Título	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL LAGO TITICACA PERÚ-BOLIVIA
Informe Técnico	N° 039 - 2014 - ANA DGCRH - GOCRH
Mes	octubre
Año	2014

Institución	ANA (Autoridad Nacional del Agua)
Título	MONITOREO BINACIONAL (PERÚ – BOLIVIA) DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL LAGO TITICACA
Informe Técnico	N° 06 - 2016 - ANA - AAA.SDGCRH.TIT
Mes	octubre
Año	2015

Institución	ANA (Autoridad Nacional del Agua)
Título	MONITOREO BINACIONAL DE LA CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL DEL LAGO TITICACA, PERÚ - BOLIVIA
Informe Técnico	N° 132 - 2016 - ANA - AAA.SDGCRH.TIT
Mes	abril
Año	2016

Anexo 5.2: Cadena de Custodia

Nombre de la institución que realiza el monitoreo	
Nombre de la persona, correo electrónico, número telefónico del responsable de toma de muestras	
Nombre del Proyecto	
Código del punto de monitoreo	
Clasificación de la matriz del agua	
Fecha y hora del muestreo	
Número y tipos de envases por punto de muestreo	
Preservación de la muestra	
Lista de parámetros a analizar por cada muestra	
Firma de la persona responsable del monitoreo	
Observaciones en campo, como condiciones climáticas, anomalías organolépticas del agua, actividades o condiciones insólitas en el lugar de monitoreo	

Fuente: Resolución N° 010-2016 ANA

Anexo 5.3: Aseguramiento de la calidad de muestreo

Tipo de control	Contaminación evaluada	revisión
Blanco de viaje (B)	Contaminación durante el transporte	
Blanco de campo (C)	Contaminación en alguna parte del monitoreo	
Blanco de frasco (D)	Contaminación en los frascos	
Blanco de equipos (E)	Contaminación cruzada	
Duplicado de campo	Precisión y repetitividad	
Matrices adicionales	Estimación del error total sistemático	

Fuente: Resolución N° 010-2016 ANA