



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y
METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES
PESADOS EN LOS EFLUENTES LÍQUIDOS RESIDUALES EN LA
BAHÍA INTERIOR DEL LAGO TITICACA DE LA CIUDAD DE
PUNO

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. RUTH PILAR MACHACCA CONDORI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

A DIOS

El presente trabajo se la dedico a Dios como ser supremo y creador nuestro y de todo los que nos rodea, y a Jesús quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A MIS PADRES

Quienes son personas maravillosas, por darme su paciencia, amor, comprensión y esmero al trabajar diario para darme lo mejor. Mi Madre Juana Brigida Condori Ccorimayo y a mi Padre E. Samuel Machacca Hanco quienes, con sus ejemplos de vida, me enseñaron a mirar el futuro con esperanza.

A MIS HERMANOS

Quienes confiaron siempre en mí, y por darme su apoyo incondicional, a Fiorela, Susan y Jhoel, por ser motivo del el gran apoyo y ejemplo que me dieron y que siempre estuvieron presentes en cada logro.

En especial a Weliam Frede Cruz Casas por la paciencia, comprensión, amor y confiar siempre en mí y por todo el apoyo incondicional.

Ruth Pilar Machacca Condori



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano, alma mater de la Región de Puno, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, con mucha estima a mis docentes que han sabido orientarnos, guiarnos, aconsejarnos, en todos nuestros objetivos que nos hemos trazado, siendo partícipes de mi realización como profesional.

A mis familiares a mi Madre y Padre, y a mis hermanos les agradezco de corazón por todo el apoyo incondicional que me brindaron por ese amor, cariño y respeto, por el gran esfuerzo de toda una vida de arduo trabajo y sacrificio que se me brinda.

Así como toda mi estima personal a mi asesor y señores miembros del jurado calificador, por el aporte de sus experiencias y conocimientos otorgados ya que con su paciencia y valioso conocimiento se trabajó de manera efectiva en el desarrollo de la presente tesis.

Ruth Pilar Machacca Condori



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓMIMOS

RESUMEN 12

ABSTRACT..... 13

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES 14

1.2. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN..... 15

1.3. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN 17

1.4. JUSTIFICACIÓN..... 21

1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN 22

1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 22

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO 24

2.1.1. Agua 24

2.1.2. Propiedades del Agua..... 24

2.1.3. Contaminación del Agua..... 26

2.1.4. Toxicidad de los Metales 28

2.2. MARCO CONCEPTUAL 30

2.2.1. Efluentes Líquidos Residuales 30

2.2.2. Concentración De Metales 32



2.2.3.	Metales Pesados	33
2.2.4.	Calidad de Agua	52
2.2.5.	Monitoreo de Calidad de Agua	53
2.2.6.	Muestreo de Agua	53
2.2.7.	Espectroscopia de Emisión Atómica de Plasma Acoplado por Inducción	55
2.3.	MARCO LEGAL	55
2.3.1.	Ley de los Recursos Hídricos.....	55
2.3.2.	Ley General del Ambiente	56
2.3.3.	Ley General de Salud	61
2.3.4.	Ley General de Aguas	62

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	63
3.2.	DEFINICION DE VARIABLES E INDICADORES	63
3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN.....	64
3.4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	65
3.5.	METODOLOGÍA.....	66
3.6.	PROCEDIMIENTO Y RECOLECCIÓN DE MUESTRAS	66

CAPITULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

4.1.	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DEL PROYECTO.....	70
4.1.1.	Localización y Ubicación.....	70
4.1.2.	Accesibilidad.....	70
4.1.3.	Clima	70
4.1.4.	Precipitaciones	71
4.1.5.	Hidrología	71



4.1.6. Geología	72
4.1.7. Descarga de Efluentes Líquidos Residuales	76
4.2. PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	77
CAPITULO V	
RESULTADOS Y DISCUSIONES	
5.1. CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN LOS EFLUENTES LÍQUIDOS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE PUNO.....	79
5.1.1. Resultados Obtenidos de la Muestra 1	79
5.1.2. Resultados Obtenidos de la Muestra 2	80
5.1.3. Resultados Obtenidos de la Muestra 3	81
5.1.4. Resultados Obtenidos de la Muestra 4	81
5.1.5. Resultados Obtenidos de la Muestra 5	82
5.2. GRADO DE CONTAMINACIÓN DE METALES PESADOS ACORDE A LOS DECRETOS	83
5.2.1. Resultados Obtenidos del Metal Pesado Arsénico.....	83
5.2.2. Resultados Obtenidos del Metal Pesado Cadmio.....	85
5.2.3. Resultados Obtenidos del Metal Pesado Cobre	86
5.2.4. Resultados Obtenidos del Metal Pesado Mercurio	87
5.2.5. Resultados Obtenidos del Metal Pesado Plomo.....	88
VI. CONCLUSIONES	96
VII. RECOMENDACIONES	97
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
ANEXOS.....	106

Área: Seguridad y Medio Ambiente

Tema: Metales pesados

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 11 de febrero de 2022.



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Descarga de Efluentes Líquidos Residuales de la ciudad de Puno.	77
Figura 2.	Resultados de la comparación de las muestras de arsénico, según las ECA 84	
Figura 3.	Resultados de la comparación de las muestras de cadmio y las ECA	86
Figura 4.	Resultados de las muestras de Cobre y las ECA.....	87
Figura 5.	Resultados de las muestras de Mercurio y las ECA	88
Figura 6.	Resultados de la comparación de las muestras de Plomo y las ECA.....	90
Figura 7.	Comparación de los metales Arsénico, Cadmio y Cobre	92
Figura 8.	Representación gráfica de las muestras pH	94
Figura 9.	Representación gráfica de las muestras de Conductividad Eléctrica.....	95
Figura 10.	Materiales para el muestreo correspondiente.....	106
Figura 11.	Desembocaduras de los efluentes líquidos residuales de la muestra 1, a los alrededores de la UNAP. La figura a. muestra la salida del efluente líquido residual y la figura b. se muestra la toma de muestra y en la figura c. muestra la toma de muestra.	106
Figura 12.	Desembocaduras de los efluentes líquidos residuales de la muestra 2, parte del centro de la ciudad de Puno y el área del Malecón Turístico. La figura a. muestra la toma de muestra al igual que la figura b.	107
Figura 13.	Desembocaduras de los efluentes líquidos residuales de la muestra 3, centro de la ciudad de Puno. La figura a. muestra la desembocadura y la figura b. muestra la toma de muestra.....	108
Figura 14.	Desembocaduras de los efluentes líquidos residuales de la muestra 4, parte del centro de la ciudad de Puno y del Hospital Regional Manuel Núñez Butrón. La figura a. muestra la salida de la desembocadura y la figura b. muestra la continuidad del efluente líquido residual.	108



Figura 15. Desembocaduras de los efluentes líquidos residuales de la muestra 5, a los alrededores del Puerto Banhero Rossi. La figura a. y b. muestran la salida de la desembocadura.....	109
Figura 16. Equipo de análisis de metales del laboratorio de calidad ambiental de la Universidad Mayor de San Andrés Bolivia.	109



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Principales actividades industriales generadoras de metales pesados.	29
Tabla 2.	Síntomas de la intoxicación típicos y los niveles de contaminación máximos (NCM) establecidos por (USEPA) y por la legislación colombiana (Adaptado de la Secretaria Distrital de Ambiente Bogotá (SDAB).	30
Tabla 3.	Estándares de calidad ambiental para aguas del ministerio de ambiente categoría 1; población y recreacional.	59
Tabla 4.	Estándares de calidad ambiental para aguas del ministerio de ambiente categoría 4; conservación del ambiente acuático.	60
Tabla 5.	Límites Máximos Permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.	61
Tabla 6.	Operacionalización de variables	63
Tabla 7.	Ubicación en coordenadas de los puntos de muestreo.....	68
Tabla 8.	Accesibilidad hacia la zona de estudio.	70
Tabla 9.	Resultados obtenidos de la muestra 1	80
Tabla 10.	Resultados obtenidos de la muestra 2	80
Tabla 11.	Resultados obtenidos de la muestra 3	81
Tabla 12.	Resultados obtenidos de la muestra 4	82
Tabla 13.	Resultados obtenidos de la muestra 5	82
Tabla 14.	Resultados obtenidos del metal pesado arsénico	83
Tabla 15.	Resultados obtenidos del metal pesado Cadmio.....	85
Tabla 16.	Resultados obtenidos del metal pesado Cobre.....	86
Tabla 17.	Resultados obtenidos del metal pesado Mercurio.....	87
Tabla 18.	Resultados obtenidos del metal pesado Plomo	88
Tabla 19.	Nivel de toxicidad	90



Tabla 20.	Comparación de los resultados obtenidos con las ECA.....	91
Tabla 21.	Resultados de pH en las muestras	93
Tabla 22.	Resultados de la Conductividad Eléctrica en las muestras	95



ÍNDICE DE ACRÓMIMOS

(Hg)	: Mercurio
(As)	: Arsénico
(Cd)	: Cadmio
(Cu)	: Cobre
(Pb)	: Plomo
(CE)	: Conductividad Eléctrica
(pH)	: Potencial de Hidrogeno
(D.S)	: Decreto Supremo
(LMP)	: Límite Máximo Permisible
(ECA)	: Estándares de Calidad Ambiental
(LGA)	: Ley General de Aguas
(MINAM)	: Ministerio del Ambiente
(UTM)	: Universal Transversal Mercator
(WGS84)	: Sistema Geodésico Mundial 1984
(LCA)	: Laboratorio de Calidad Ambiental
(EPA)	: Espectroscopia de Emisión Atómica
(SM)	: Standard Methods (For the Examination Water and Wastewater)
(USEPA)	: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
(NCM)	: Niveles de Contaminación Máximos
(SDAB)	: Adaptado de la Secretaria Distrital de Ambiente Bogotá
(UMSA)	: Universidad Mayor de San Andrés
(OMS)	: Organización Mundial de la Salud



RESUMEN

El presente trabajo de investigación se ubica en la Bahía interior de la ciudad de Puno, el Lago Titicaca está siendo contaminada por los efluentes líquidos residuales que son vertidas a diario por los habitantes. La concentración de los metales pesados es un factor de impacto negativo que causa al medio ambiente en la bahía interior del Lago Titicaca. Por el cual como objetivo principal es evaluar la concentración y el grado de contaminación de metales pesados como; arsénico, mercurio, cadmio, plomo y cobre en cinco desembocaduras de efluentes líquidos residuales provenientes de la contaminación antrópica de la ciudad de Puno. Se tomaron cinco muestras para el análisis, a partir del Puerto Luis Banchero Rossi hasta llegar a la Universidad Nacional del Altiplano. Siendo la metodología descriptivo, analítico y cuantitativo; las muestras fueron analizadas en el laboratorio de calidad ambiental de la Universidad Mayor de San Andrés de la Paz en Bolivia, con el equipo de Espectroscopia de Emisión Atómica (EPA). El resultado mínimo de todas las muestras fue 0.001 mg/l de arsénico en la muestra 1 y el máximo fue 0.023 mg/l de plomo en la muestra 5. En efecto los metales; arsénico, cadmio y plomo se encuentran por encima de las ECA y el cobre y mercurio no se lograron analizar por el equipo (EPA), las cuales no se lograron comparar con las ECA. La temperatura es 13°C a 16°C, se considera temperatura ambiente, el pH se encuentra dentro de los ECA, la conductividad eléctrica se encuentra por encima de los ECA a excepción de la muestra 5 que se encuentra por debajo de los ECA.

Palabras claves: Concentración, Efluentes líquidos residuales, Metales pesados.



ABSTRACT

The present research work is located in the inner bay of the city of Puno, Lake Titicaca is being polluted by residual liquid effluents that are discharged daily by the inhabitants. The concentration of heavy metals is a negative impact factor that it causes to the environment in the interior bay of Lake Titicaca. For which the main objective is to evaluate the concentration and degree of contamination of heavy metals such as; arsenic, mercury, cadmium, lead and copper in five outlets of residual liquid effluents from human pollution in the city of Puno. Five samples were taken for analysis, from Puerto Luis Banchemo Rossi to the Universidad Nacional del Altiplano. Being the descriptive, analytical and quantitative methodology; The samples were analyzed in the environmental quality laboratory of the Universidad Mayor de San Andrés de la Paz in Bolivia, with the Atomic Emission Spectrometry (EPA) team. The minimum result of all the samples was 0.001 mg/l of arsenic in sample 1 and the maximum was 0.023 mg/l of lead in sample 5. In effect, the metals Arsenic, Cadmium and Lead are above the ECA and the Copper and Mercury could not be analyzed by the team (EPA), which could not be compared with the ECAs. The temperature is 13°C to 16°C, it is considered room temperature, the pH is within the ECA, the electrical conductivity is above the ECA except for sample 5, which is below the ECA.

Keywords: Concentration, Heavy metals, Residual liquid effluent



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

El agua es un recurso natural que está siendo contaminado por la actividad humana, sobre todo donde existen ciudades cercanas a los ríos y lagos, estos son contaminados por la población que bota sus desechos al agua y una de las maneras en la que es contaminada son las descargas de los efluentes líquidos residuales de la ciudad, (Miller, de León Rodríguez, & Velázquez, 1994).

El agua es el elemento más abundante del planeta, los océanos y mares representan el 97% del agua y el restante que es el 3% se reparten en lagos y ríos. Esta cantidad de agua dulce es muy pequeña y fundamental para la vida animal y vegetal, además el agua es indispensable para la supervivencia de todos los organismos vivos del planeta y cada vez más es apreciado, tanto para su uso doméstico, industrial y agrícola. Su escasez sobre todo en las ciudades, la sitúan como prioridad vital para el desarrollo de las poblaciones, (Miller *et al.*, 1994).

La actividad humana genera grandes cantidades de desechos tóxicos que son liberados al ambiente, ingresando a los diferentes compartimentos de los ecosistemas, ya sea aire, agua, suelo o biota, dependiendo su destino de las propiedades fisicoquímicas, movilidad y persistencia de los compuestos que la integran, (Shaw & Chadwick, 2018).

En la bahía interior de Puno principalmente desembocan las aguas residuales generados por la población de la ciudad de Puno, a causa del crecimiento poblacional y el desarrollo industrial que han dado lugar a que aparezcan desechos más complejos, difíciles de tratarlos y controlarlos, e inclusive de identificar su presencia en el agua. Lo cual genera



muchos problemas de salud y contaminación ambiental de la flora y fauna, que se agrava cada día más y más.

1.2. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

Identificación del Problema

Como se sabe, en la actualidad uno de los principales problemas que enfrenta la población de Puno y en forma específica la bahía interior del Lago Titicaca, es que en los últimos años con el creciente desarrollo urbanístico está deteriorando y poniendo en peligro de extinción tanto a la flora y la fauna silvestre del Lago, esto debido a la carencia de un plan de desarrollo, por falta de programas de tratamiento de aguas servidas y residuales, la acumulación de metales pesados que afectan la salud de la población.

Así mismo la disposición de la basura de la población, que como consecuencia traen efectos negativos para la biodiversidad del Lago y la salud, perjudicando principalmente a la flora y fauna silvestre, siendo por tanto de suma importancia la participación activa de la juventud y la población en actividades que ayuden a entender y poner en práctica acciones para preservar el Lago y por ende la Región Puno enfrenta un problema muy grave que puede repercutir en un futuro no muy lejano.

Los desechos tóxicos que son vertidos a los efluentes líquidos residuales de manera inconsciente por los habitantes y que llegan a la Bahía interior del Lago Titicaca, causando la acumulación de los metales pesados como arsénico, mercurio, cadmio, plomo y cobre, que contaminan y dañan al Lago Titicaca.

Este fenómeno también es evidente en la bahía interior de Puno, donde se observa que la contaminación del agua, comienza del vertimiento de aguas residuales provenientes de la aglomeración urbana, desagües domésticos, comerciales, industriales, agrícolas y ganaderas, como también de los desechos orgánicos, material de erosión de



las microcuencas; y que a consecuencia de esto se inicia el crecimiento descontrolado de lenteja de agua, que absorbe a los nutrientes y que impiden el paso de la luz solar al fondo de las aguas y que a través de éste se deteriora la calidad del agua, como también la pérdida de la fauna y la flora acuática, aspectos que empeoran las condiciones de vida de las especies que habitan, así como su valor estético y su preservación.

Así mismo, cabe indicar que, también, el problema se agrava en las temporadas de lluvias, cuando la basura de la ciudad es arrastrada hacia las aguas de la bahía, debido al inadecuado sistema de drenaje pluvial, y hay que considerar también que las algas no son el único problema ecológico en el Lago Titicaca, pues en otras zonas de esta gigantesca masa de agua de 8,400 km, las empresas mineras arrojan relaves (escoria y desechos) que contribuyen al deterioro de la calidad del agua y que matan la flora y fauna del Lago Titicaca. Al concluir la presente investigación, me permitiré a responder la siguiente interrogante:

Valoración del Problema

La contaminación y la concentración de los metales pesados que son provenientes de los efluentes líquidos residuales de la ciudad de Puno afectan causando un daño al medio ambiente de la Bahía interior del Lago Titicaca, que es primordial en el desarrollo del proyecto.

Formulación del Problema

- *Problema General*

¿Cuál será la concentración de los metales pesados en los efluentes líquidos residuales de la Bahía interior de Lago Titicaca de la ciudad de Puno?

- *Problemas Específicos*



1: ¿Cuál de los metales pesados como arsénico, cadmio, mercurio, cobre y plomo estarán presentes en los efluentes líquidos residuales de la Bahía interior de Lago Titicaca de la ciudad de Puno?

2: ¿Qué metal pesado presentará mayor grado de contaminación al comparar con los estándares de calidad ambiental en los efluentes líquidos residuales de la Bahía interior de Lago Titicaca de la ciudad de Puno?

1.3. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Choque Yucra (2017), evaluó la capacidad de remoción de los iones Cadmio (II) Plomo (II) y Níquel (II), se extrajeron muestras de lodos de la parte norte de la planta de estabilización de aguas residuales, se llevaron al laboratorio de Corporación de Laboratorios de Arequipa, Megalaboratorio ambiental de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, para su obtención de resultados de metales pesados, se analizaron mediante el Mass. Spectrometer (ICP-MS). Para la remoción a los contenidos de metales pesados se aplicaron la solución acuosa de la semilla de tarwi por bioprecipitación para extraer los metales pesados. La humedad de lodos fue 81.52 %, el pH de la solución acuoso inicial fue de 9.3 y después de cinco días el pH fue de 5.3; para remoción de Cadmio (II) inicial, 6,05 mg/kg, después de absorción bajo a 1,0 mg/kg, el porcentaje de remoción fue 83,47 %. Para Ni inicial de 6,8 mg/kg bajo a 6,2 mg/kg resulto una disminución bajo de los otros su porcentaje de remoción fue 8,82 %, Plomo inicial de 342.3 mg/kg, la capacidad de adsorción fue 85,45 mg/kg, con un porcentaje de remoción es 75,02 %. La cinética de adsorción fue bastante rápida mediante la bioprecipitación orgánica de alcaloides de tarwi. Por tanto, es necesario ampliar la investigación a pH <5.5 y el tiempo de sorción mediante un proceso abierto de tratamiento de sedimentos.



Capacoila Coila (2017), analizó la presencia y el grado de contaminación de las concentraciones de los metales pesados (Al, Cd, Cr, Fe, Mn, y Hg) en las aguas superficiales, se realizaron muestreos en dos épocas (avenida y estiaje) con cinco puntos estratégicos, analizándose la concentración de los metales en mención en cada punto por el método de Espectroscopia por emisión atómica. Los resultados fueron que los metales pesados Aluminio, Hierro y Manganeso se encontraron por encima de los límites máximos permisibles, los cuales son tóxicos para el agua, mientras que los metales pesados Cadmio, Cromo y Mercurio se encuentran dentro de los límites máximos permisibles de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua.

Callata Tapia (2015), argumenta sobre el estado actual de la calidad ambiental del cuerpo de agua de la bahía interior de Puno, mediante las características físico y químicas (temperatura, transparencia, pH, conductividad eléctrica, turbiedad, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales, DBO5, DQO, fosfatos y nitratos), como también mediante las características microbiológicas (coliformes fecales, coliformes totales y coliformes termotolerantes). Se realizó en 07 estaciones de muestreo de modo que se cubrió toda el área de estudio. Los parámetros de temperatura, transparencia, conductividad eléctrica y pH, fueron determinados a nivel superficial de la columna de agua en forma directa mediante instrumentos de campo y como también en el laboratorio, mientras que los análisis de OD, STD, DBO5, DQO, fosfatos, nitritos, coliformes fecales, coliformes totales y coliformes termotolerantes, se realizaron por métodos estándar en el laboratorio. Se llegó a un resultado de que, la temperatura del agua tuvo valores entre 13 y 15.60 °C, la transparencia llegó hasta 0.81 m, el pH del agua en la superficie tuvo valores entre 8.86 a 9.63 unidades de pH, la conductividad eléctrica 1901 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la turbiedad 43 NTU, el oxígeno disuelto presentó valores de 2.10 a 3.28 mg/l, los sólidos disueltos totales 953 mg/l, la DBO5 205 mg/l, DQO hasta 514 mg/l, para nitratos 2.085 mg/l y fosfatos 0.333



mg/l. Para los parámetros bacteriológicos de coliformes fecales 2900 NMP/100 ml, coliformes totales 11000 NMP/100 ml y coliformes termotolerantes 1900 NMP/100 ml. De los resultados obtenidos para los parámetros indicadores de contaminación (OD, pH, Sólidos disueltos totales, DBO5, y coliformes fecales y totales) al ser comparados con los estándares nacionales de calidad ambiental para agua; excedieron grandemente lo recomendado, y también se ha identificado mediante los mapas temáticos que la zona más crítica en la bahía interior de Puno, corresponde zonas cercanas a la isla Espinar y Muelle de Puno.

Carpio Vasquez (2016), determinó y evaluó los parámetros físicos y químicos del medio acuático, estableció la biomasa de las macrófitas (*Elodea potamogeton*, *Myriophyllum elatinoides* y *Potamogeton strictus*) y cuantificó los metales pesados de Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, Al, As, Ba y Hg presentes en las macrófitas acuáticas de la zona de estudio. Su metodología inició con la fase de campo para la recolección de macrófitas, a ellas se les evaluaron la materia húmeda y seca mediante el método de la estufa, y el contenido de metales pesados mediante la espectrofotometría (ICPAES), en el Megalaboratorio de la UNA – Puno. Los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis factorial y pruebas de contraste de rango múltiple. Los resultados fueron: Las aguas de los tributarios presentaron una temperatura entre 11,4 y 13,1 °C, la conductividad eléctrica entre 1738,4 y 1742 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el pH entre 7,12 y 8,14 unidades, la turbidez entre leve y elevada, el oxígeno disuelto entre 5,6 y 5,7 mg/l, el color del agua fue aparente en un 80% de las muestras, el olor fue de leve a fétido en mayor porcentaje. En ambas épocas, la biomasa de las macrófitas evaluadas (*E. potamogeton*, *M. elatinoides* y *P. strictus*) no están catalogadas como hiperacumuladoras de metales pesados. Los metales Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Hg presentes en las macrófitas *M. elatinoides* y *P. strictus*



no superan los niveles permisibles, mientras que Mn, Al, As, Zn y Hg superan los niveles de 0.1 mg/kg.

Chaiña Nuñez (2016), propuso una nueva alternativa de tratamiento con un "Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente (RAMLFA), la zona de PTAR-Espinar, dentro de las instalaciones de la Planta de Tratamiento de Agua de Aziruni en el centro poblado Salcedo de la ciudad de Puno. Se evaluó la remoción de la carga orgánica y la evaluación de parámetros como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), y parámetros básicos de control pH y temperatura. El análisis e interpretación de datos nos dio como resultado una remoción de la carga orgánica mayor al 50%, también se obtuvo una remoción de 60% a 77% con un caudal de ingreso de 34 ml/min, los resultados están dentro de los límites máximos permisibles para efluentes de una PTAR.

Sánchez Pina (2014), estudió la capacidad que presentan las acículas secas de pino carrasco, un material residual abundante en la Región de Murcia, como bioadsorbente de cadmio, cinc y cromo, metales pesados comúnmente presentes en efluentes líquidos procedentes de industrias implantadas en la Región de Murcia. En primer lugar, se analizó las propiedades de las acículas que pueden estar relacionadas con su aplicación como bioadsorbente de metales pesados. En este sentido se ha determinado su composición elemental y la presencia de diversos iones metálicos que pueden intervenir en el intercambio iónico con los metales objeto de este estudio. Se determinó los principales grupos funcionales del material adsorbente mediante las técnicas de espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier y resonancia magnética nuclear. Se analizó el proceso de bioadsorción en discontinuo. Para ello, se ha determinado la influencia de diferentes parámetros en el proceso de bioadsorción de Cd^{2+} , Zn^{2+} y Cr^{3+} sobre acículas de pino carrasco, con el fin de seleccionar los valores óptimos de los mismos (pH,



concentración de bioadsorbente, tamaño de partícula, tiempo de contacto bioadsorbente/adsorbato, pretratamiento del bioadsorbente y presencia de iones mayoritarios). Se evaluó la bioadsorción en continuo sobre residuos de acículas de pino carrasco, determinando la influencia de las principales variables de operación en lecho fijo (caudal, altura de lecho y pH de la disolución), así como aplicando varios modelos matemáticos para la descripción de las curvas de ruptura. Los resultados obtenidos permiten constatar que los residuos de acículas de pino carrasco pueden emplearse satisfactoriamente para la eliminación de metales en operaciones en continuo, mediante el empleo de lechos fijos. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que los residuos de acículas de pino carrasco pueden ser utilizados como adsorbentes en la eliminación de metales pesados de efluentes contaminados. La tecnología propuesta representa una alternativa sostenible y de bajo coste frente a los tratamientos actuales más costosos y dependientes, en muchas ocasiones, de productos derivados del petróleo.

1.4. JUSTIFICACIÓN

El crecimiento poblacional genera mayor cantidad de desechos debido a los incrementos de los niveles de consumo. Los desechos de la ciudadanía llegan a través de los efluentes líquidos residuales que terminan siendo vertidos a la Bahía interior del Lago Titicaca, afectando y causando daños a todo el medio ambiente, las cuales dan un mal aspecto a nuestra ciudad.

En el aspecto social, el crecimiento de la ciudadanía genera la producción de residuos líquidos que son vertidos por medio de efluentes líquidos residuales que afectan a la Bahía interior del Lago Titicaca. Los metales pesados provienen en gran medida de fuentes antropogénicas en aguas residuales, estos constituyen un peligro para el suelo, agua, plantas, animales y a la ciudadanía en general, así como un factor de deterioro



ambiental. Los metales pesados que son generados por la ciudadanía son acumulados principalmente en los efluentes líquidos residuales de la ciudad de Puno.

En el aspecto ambiental, las concentraciones de los metales pesados como arsénico, mercurio, cadmio, plomo y cobre, causan un efecto dañino al medio ambiente incluyendo a la flora y fauna de la bahía interior del Lago Titicaca por el vertido de sustancias tóxicas que discurren por los efluentes líquidos residuales de la ciudad de Puno.

1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

- Hipótesis General

La evaluación de la concentración de los metales pesados será dañina para el medio ambiente de la bahía interior del Lago Titicaca de la ciudad de Puno.

- Hipótesis Específico

1: Sí existe la presencia de metales pesados como arsénico, cadmio, mercurio, cobre y plomo en los efluentes líquidos residuales de la Bahía interior de Lago Titicaca de la ciudad de Puno.

2: El grado de contaminación de los metales pesados se encuentran por encima de los estándares de calidad ambiental en los efluentes líquidos residuales de la Bahía interior de Lago Titicaca de la ciudad de Puno.

1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

- Objetivo General

Evaluar la concentración de metales pesados en los efluentes líquidos residuales de la Bahía interior de Lago Titicaca de la ciudad de Puno.



- **Objetivo Específico**

1: Determinar la presencia y la concentración de metales pesados como arsénico, cadmio, mercurio, cobre y plomo en los efluentes líquidos residuales.

2: Comparar el grado de contaminación de los metales pesados con los Estándares de Calidad Ambiental.



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Agua

El agua es un elemento de la naturaleza, integrante de los ecosistemas naturales, fundamental para el sostenimiento y la reproducción de la vida en el planeta ya que constituye un factor indispensable para el desarrollo de los procesos biológicos que la hacen posible, (Díaz, 2013).

El agua es el fundamento de la vida, un recurso crucial para la humanidad y para el resto de los seres vivos. Todos la necesitamos, y no solo para beber. Nuestros ríos y lagos, nuestras aguas costeras, marítimas y subterráneas, constituyen recursos valiosos que es preciso proteger, (Díaz, 2013).

La sociedad recurre al agua para generar y mantener el crecimiento económico y la prosperidad, a través de actividades tales como la agricultura, la pesca comercial, la producción de energía, la industria, el transporte y el turismo. El agua es un elemento importante a la hora de decidir dónde establecerse y cómo utilizar los terrenos. También puede ser fuente de conflictos geopolíticos, en particular cuando escasea. Nuestro propio bienestar exige no solo un agua potable limpia, sino también agua limpia para la higiene y el saneamiento, (Díaz, 2013).

2.1.2. Propiedades del Agua

Es la única sustancia que se puede encontrar en los tres estados de la materia (líquido, sólido y gaseoso) de forma natural en la Tierra. El agua en su forma sólida, hielo, es menos densa que la líquida, por eso el hielo flota, (iagua, 2016).



No tiene color, sabor ni olor. Su punto de congelación es a cero grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$), mientras que el de ebullición es a 100°C (a nivel del mar). El agua del planeta está cambiando constantemente y siempre está en movimiento, (iagua, 2016).

El color, la turbidez y la conductividad se utilizan como parámetros de la calidad del agua.

- Densidad del Agua. - La densidad del agua en gramos es de en torno a 1.000 kg/m^3 . Sin embargo, hay que tener en cuenta otros factores como la temperatura (sería de unos 998 kg/m^3 a 20°C , o $0,998\text{ g/cm}^3$), la presión (se suele considerar 1 atmósfera) y la salinidad (en este caso hablamos de agua destilada), (iagua, 2016).

- Conductividad Eléctrica. - El agua pura es un mal conductor de la electricidad, pero cuando contiene sales se convierte en un buen conductor porque hay presencia de iones con cargas eléctricas, (purificación, 2015)

El agua conduce la electricidad a través de los iones disueltos en ella, y el agua pura es un conductor pobre de la electricidad. La mayoría de las aguas naturales, sin embargo, contienen iones disueltos, y como resultado, su conductividad aumenta con mayor concentración de iones totales, (purificación, 2015)

- Color. - El color del agua varía con las condiciones ambientales en las que está presente. En pequeñas cantidades, el agua no tiene color, pero si dicha cantidad aumenta, también aumenta la absorción de luz en el espectro reflejando un patrón de color azul, (Wikipedia, 2016a).

Las medidas de color se hacen por comparación con un estándar arbitrario a base de cloruro de cobalto Cl_2Co y cloroplatino de potasio Cl_6PtK_2 y se expresa en una escala de unidades de Pt-Co (unidades Hazen) o simplemente escala Pt, (Wikipedia, 2016a).



- Turbidez. - La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez, (Induanalisis, 2019).
- Temperatura. - La temperatura es un parámetro físico que permite medir las sensaciones de calor y frío. Desde el punto de vista microscópico, la temperatura se considera representación de la energía cinética interna media de las moléculas que integran el cuerpo estudiado, en este caso el agua. Esta energía cinética se manifiesta en forma de agitación térmica, que resulta de la colisión entre las moléculas que forman el agua, (COBCM/COBCLM, 2015).

Si la temperatura del agua permanece fuera de este intervalo durante mucho tiempo, los organismos quedarán expuestos a condiciones inadecuadas. La temperatura afecta a la cantidad de oxígeno que puede transportar el agua. También influye en la fotosíntesis de plantas y algas, y la sensibilidad de los organismos frente a los residuos tóxicos, (COBCM/COBCLM, 2015).

El aumento de la temperatura en nuestros ríos se puede deber a vertidos de agua caliente de plantas industriales, especialmente de agua de refrigeración. También se puede deber a la escasez de árboles en la orilla del río, provocando que no haya mucha sombra. También a aguas de escorrentía urbanas, (COBCM/COBCLM, 2015).

2.1.3. Contaminación del Agua

La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera que el agua está contaminada cuando su composición o estado natural se ven modificados de tal modo que pierde las condiciones aptas para los usos a los que estaba destinada. El agua contaminada presenta alteraciones físicas (temperatura, color, densidad, suspensiones, radiactividad,



etc.), químicas (sustancias disueltas, composición, etc.) o biológicas, por lo que no puede cumplir sus funciones ecológicas, (OMS, 2008).

La contaminación de las aguas puede tener un origen natural o un origen antrópico. Este último se produce a causa de las diversas actividades desarrolladas por el ser humano, las cuales son la principal fuente de contaminación de las aguas, ya que el desarrollo y la industrialización conllevan un mayor uso del agua y una gran generación de residuos, muchos de los cuales van a parar a esta, (OMS, 2008).

Por lo general, las fuentes de contaminación de origen natural son muy dispersas y no provocan a las concentraciones de contaminantes, excepto en lugares muy concretos, relacionados con yacimientos minerales específicos, (Rodríguez, 2010).

Las principales fuentes de contaminación de origen antrópico de las aguas son:

- Los vertidos de aguas residuales urbanas, como son las domiciliarias, las negras y las de limpieza, fundamentalmente, (Rodríguez, 2010).
- Los vertidos de explotaciones ganaderas. Aportan estiércol y orines con contaminantes como microorganismos patógenos, sólidos en suspensión, materia orgánica, nitrógeno y fósforo, (Rodríguez, 2010).
- Los vertidos de aguas residuales agrícolas. Incluyen fertilizantes inorgánicos, estiércol y orines, otros abonos, plaguicidas diversos (DDT), herbicidas, sales del agua de riego, etc. (Rodríguez, 2010).
- Los vertidos industriales. Las industrias utilizan agua para varios fines (procesado, refrigeración, transporte, disolvente, etc.). Algunas industrias son especialmente contaminantes: la del refinado del petróleo, que genera aguas con cianuros, grasas, fenoles, sólidos, tóxicos diversos y álcalis; las industrias metalúrgicas, que generan vertidos similares a los de la industria petrolífera, además de agua



caliente; la industria papelera, textil y de curtidos, que generan residuos químicos orgánicos, sólidos, detergentes y sustancias tóxicas, y las industrias químicas y farmacéuticas, que vierten metales pesados, material químico tóxico y biológico, (Rodríguez, 2010).

- Otras causas contaminación por embarcaciones a motor, construcción de presas y explotaciones mineras que vierten compuestos contaminantes (cobre, cadmio, cinc, plomo y mercurio), (Rodríguez, 2010).

Tanto para el origen natural como antrópico de contaminación de las aguas, se puede establecer que cuando la contaminación se produce en lugares muy concretos, las fuentes que la provocan son «puntuales. Por el contrario, si la descarga de contaminantes se realiza en áreas muy extensas, se habla de fuentes dispersas, (Rodríguez, 2010).

2.1.4. Toxicidad de los Metales

Los elementos metálicos, debido a que están presentes en los ecosistemas acuáticos a muy baja concentración, son denominados elementos traza. Algunos son nutrientes esenciales para las plantas y los animales, micronutrientes (como Mn (Manganeso), Mo (Molibdeno), Cu (Cobre), Co (Cobalto), Zn (Zinc), Sc (Escandio) y V (Vanadio)) mientras que otros elementos (como el Ni (Níquel), Sn (Estaño) y Cr (Cromo)) son esenciales únicamente para los animales, pero cuando estos elementos están presentes en sistemas ambientales a concentraciones superiores a ciertos niveles, debido a desequilibrios naturales o por introducción antropogénica, pueden ser tóxicos para los seres vivos, (García-Montaña, Domènech, García-Hortal, Torrades, & Peral, 2008).

La implementación de los metales en los procesos industriales ha permitido que grandes concentraciones de metales pesados potencialmente tóxicos sean emitidas a la atmósfera y vertidos en los ambientes acuáticos y terrestres, (Rubio, Calderón, Gualtero,

Acosta, & Sandoval, 2015); siendo las aguas residuales de origen domésticas, las plantas térmicas, las fundiciones y las acerías, las principales fuentes de emisión (Tabla 1); el orden de flujos de emisión o cargas contaminantes de metales a la hidrosfera corresponde a $Mn > Zn > Cr > Pb$ (Plomo) $> Ni \approx Cu > Se$ (Selenio) $\approx As$ (Arsénico) $> Sb$ (Antimonio) $> V \approx Mo, Cd$ (Cadmio) $> Hg$ (Mercurio), (García-Montaña *et al.*, 2008). La toxicidad de los metales pesados depende de su movilidad en el medio que, a su vez, depende de su especiación química, persistencia y tendencia de acumulación o bioacumulación, (Rubio *et al.*, 2015). En la tabla 2 se describen los síntomas de la intoxicación típicos, la dosis letal en la dieta humana y los niveles de contaminación máximos (NCM) establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), (Rubio *et al.*, 2015), y por la legislación Colombiana a través del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para algunos metales pesados, (Rubio *et al.*, 2015).

Tabla 1. Principales actividades industriales generadoras de metales pesados.

Industria	Metales	Contaminación derivada
Minería de metales ferrosos	Cd, Cu, Ni, Cr, Co, Zn	Drenaje ácido de mina, relaves, escombreras
Extracción de minerales	As, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn	Presencia en las menas como en los subproductos
Fundición Metalúrgica	As, Cd, Pb, Tl	Procesado del mineral para obtención de metales
Aleaciones y aceros	Cr, Cu, Mn, Pb, Sb, Zn	Procesado térmico de metales
Gestión de Residuos	Pb, Mo, Ni, Cu, Cd, As, Te, U, Zn	Fabricación, eliminación y reciclaje de metales. Relaves y escoriales
Corrosión Metálica	Zn, Cu, Cd, Pb, Ni, Cr, Hg, Mn	Incineración de residuos o en lixiviados
Galvanoplastia	Fe, Cr, Pb, Ni, Co, Zn	Inestabilidad de los metales expuestos al medio ambiente
Pinturas y pigmentos	Cr, Ni, Zn, Cu	Los efluentes líquidos de procesos de recubrimiento
Baterías	Pb, Cr, As, Ti, Ba, Zn	Residuos acuosos procedentes de la fabricación y el deterioro de la pintura vieja.
Electrónica	Pb, Sb, Zn, Cd, Ni, Hg	Fluido de la pila de residuos, la contaminación del suelo y las aguas subterráneas.
Agricultura y Ganadería	Pb, Cd, Hg, Pt, Au, Cr, As, Ni, Mn	Residuos metálicos acuosa y sólida desde el proceso de fabricación y reciclaje
	Cd, Cr Mo, Pb, U, V, Zn, As, Mn, Cu	Contaminación de escorrenfía, aguas superficiales y subterráneas, la bioacumulacion planta

Fuente: (Rubio *et al.*, 2015).

Tabla 2. Síntomas de la intoxicación típicos y los niveles de contaminación máximos (NCM) establecidos por (USEPA) y por la legislación colombiana (Adaptado de la Secretaria Distrital de Ambiente Bogotá (SDAB).

Metal Pesado	Toxicidad	Dosis letal en dieta humana mg/día	NCM (mg/L)	
			USEPA	Colombia
As	Manifestaciones cutáneas, viscerales, enfermedad vascular	50 - 340	0,05	0,1 - 0,5
Cd	Daño renal, trastorno renal y efectos carcinógenos	1,5k - 9k	0,01	0,1
Cr	Dolor de cabeza, diarrea, náuseas, vomito, carcinógeno	3k - 8k	0,05	0,5
Cu	Daños hepáticos, enfermedad de Wilson, insomnio	175 - 250	0,25	1
Ni	Dermatitis, náuseas, asma crónica, tos, carcinógeno humano	-	0,2	0,5
Zn	Depresión, letargo, signos neurológicos y aumento de la sed	6k		3
Pb	Teratogenicidad cerebral, enfermedades renales, vasculares y neuronales	10k	0,8	0,2 - 05
Hg	Artritis reumatoidea y enfermedades renales, vasculares y neuronales	150 - 300	0,006	0,02

Fuente: (Rubio *et al.*, 2015)

2.2.MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Efluentes Líquidos Residuales

Las aguas que entran a la red cloacas, cuyas propiedades han sido alteradas como consecuencia del uso doméstico o industrial, o del agua de lluvia que fluye por superficies pavimentadas, se designan como efluentes líquidos o aguas residuales, (Mejía, Morales, Navarro, & Espinal, 2021).

El abastecimiento de agua que ha sido contaminada por diferentes usos son principalmente los llamados efluentes líquidos. Proviene de la mezcla de los líquidos o desechos arrastrados por el agua, producidos en las viviendas, institutos y almacenes comerciales e industriales, además de aguas superficiales, subterráneas o producto de la precipitación que pudieran añadirse, (Mejía *et al.*, 2021).

Tipos de efluentes líquidos según su origen



Los diferentes tipos de efluentes líquidos que se pueden generar de las diversas actividades son los siguientes:

- Aguas residuales sanitarias. Resultan del proceso de limpieza. Estos efluentes líquidos tienen características relacionadas con las aguas residuales de origen doméstico. No requieren controles específicos, (Mejia et al., 2021).
- Aguas residuales industriales. Pertenecen a los efluentes líquidos del proceso industrial que son descargadas por fuera de la industria, bien sea al alcantarillado o en los cuerpos de aguas superficiales. Son producto de descargas acuosas de operaciones y procesos productivos, así como del lavado de equipos e instalaciones productivas, (Mejia et al., 2021).
- Aguas residuales agrícola ganadero. Como producto del riego y de otras actividades tales como limpieza de establos ganaderos, estos efluentes líquidos aportan al agua importantes cantidades de estiércol y orina, materia orgánica, nutrientes y microorganismos, donde la contaminación con nitratos es uno de los grandes inconvenientes, (Mejia et al., 2021).
- Aguas pluviales. Se originan por arrastre de los desechos que encuentra a su camino el agua de lluvia. Estos tipos de efluentes líquidos debe ser llevado hasta la red de aguas pluviales, siempre que no exista riesgo de contaminación al estar en contacto con residuos o productos, (Mejia *et al.*, 2021).

La caracterización de los líquidos residuales es una tarea muy importante, ya que, a partir de los resultados de la misma, podemos diseñar los tratamientos necesarios para el efluente residual, (Orellana, 2005). Los efluentes contienen una gran variedad de componentes en función de la actividad que los genere, pero podemos indicar que debemos determinar para los mismos los siguientes parámetros; sustancias orgánicas,



substancias inorgánicas, sólidos en suspensión, bacterias, pH, temperatura, oxígeno disuelto, DBO y DQO, (Orellana, 2005).

La distinta proporción y valores de los componentes citados da la caracterización de los efluentes. Una vez conocidos estos valores y proporciones, podemos determinar en un efluente de origen desconocido, la posible fuente del mismo. Esto es muy útil, ya que nos permite identificar probables fuentes de contaminación de aguas receptoras. Con respecto a este tema hay que tener en cuenta que los líquidos residuales son inestables en el transcurso del tiempo. Sus complejos componentes químicos tanto orgánicos como inorgánicos son afectados por el accionar de las bacterias en busca de alimento y se opera una descomposición en complejos más simples, con abundante desprendimiento de gases. El proceso de descomposición es favorecido por los medios alcalinos y por temperaturas templadas y es retardado por los medios ácidos y temperaturas bajas. Cabe aclarar que la inestabilidad es directamente proporcional a la concentración de los efluentes ya que, al aumentar la dilución por el agregado de agua, se disminuye la actividad bacteriana, pues le es más difícil encontrar sustancias que la alimenten, (Orellana, 2005).

2.2.2. Concentración de Metales

El término también es usado para hacer referencia a un proceso de concentración, y aumentar la proporción de soluto en el solvente, inverso al de dilución.

Solubilidad. - Cada sustancia tiene una solubilidad para un solvente determinado. La solubilidad es la cantidad máxima de soluto que puede mantenerse disuelto en una solución, y depende de condiciones como la temperatura, presión, y otras sustancias disueltas o en suspensión, (Wikipedia, 2016b).

La contaminación generada por la escorrentía proveniente de las vías se constituye en un gran problema en las áreas urbanas, ya que se ha demostrado que contiene elevadas



cargas de metales pesados. El suelo y agua en ambientes cercanos a las vías contiene elevadas concentraciones de metales pesados debido a la contaminación difusa. Las fuentes difusas urbanas han sido identificadas como una de las mayores causas de contaminación en los cuerpos de agua. Entre las fuentes difusas, la escorrentía urbana ha sido citada como la segunda causa más frecuente de contaminación después de la agricultura, y en corredores fluviales urbanos es la más significativa, (Carpenter *et al.*, 1998), reportaron que más de la mitad de todos los fracasos para lograr los objetivos de calidad del agua en EE.UU. son atribuidos a la contaminación difusa; donde la contaminación difusa urbana es la cuarta causa más importante de la contaminación fluvial, y la tercera causa de contaminación de los lagos.

La concentración de los metales pesados en los sedimentos depositados sobre las superficies viarias es, generalmente, superior a la encontrada en los sedimentos de las superficies comerciales y residenciales. Sin embargo, existen áreas industriales altamente contaminadas, mientras la concentración en los sedimentos viarios depende principalmente de la carga de tráfico presente. En las calzadas y aparcamientos el aporte de contaminantes a la escorrentía por parte de los vehículos se debe a fugas de combustible y lubricante, óxido y herrumbre de las carrocerías, desgaste de los neumáticos y frenos, y a gases de la combustión. El deterioro de los pavimentos contribuye sólo con una pequeña fracción de la masa contaminante en las vías, y el tipo de contaminante generado depende de la composición de la mezcla de hormigón o asfalto. Los metales pesados predominantes en las vías son Zn y Pb. Sin embargo, se puede encontrar Ni, Cu, Hg, Cr y Cd, (Mejía, González, & Monzón, 2011).

2.2.3. Metales Pesados

Específicamente, la contaminación del agua por metales pesados ocasionada por vía antrópica y natural, está afectando drásticamente la seguridad alimentaria y salud



pública, (Portier *et al.*, 2016). Estudios recientes reportan la presencia de metales pesados y metaloides tales como mercurio (Hg), arsénico (As), plomo (Pb), cadmio (Cd), zinc (Zn), níquel (Ni) y cromo (Cr) en hortalizas tales como la lechuga, repollo, calabaza, brócoli y papa (Murray *et al.*, 2013). Esta contaminación, proviene, entre otros causales, del uso para riego de aguas afectadas. De igual manera, se han encontrado metales en diferentes concentraciones en peces, carnes y leche resultado de la bio-acumulación y movilidad desde el ambiente a las fuentes hídricas (Fransisca *et al.*, 2015). Algunas especies tales como ostras, mariscos y moluscos acumulan el cadmio proveniente del agua en forma de péptidos ligadores hasta alcanzar valores de concentración entre 100 y 1000 $\mu\text{g}/\text{kg}$. En la carne, el pescado y frutas se han reportado valores de concentración entre 1 y 50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ y en algunos granos entre 10 y 150 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (Londoño, Gallego, Bayona, & Landázuri, 2011).

Por su elevada toxicidad, el impacto causado en salud por exposición prolongada o por bio-acumulación de metales pesados resulta alarmante. Dependiendo del tipo de metal o metaloide, se producen afecciones que van desde daños en órganos vitales hasta desarrollos cancerígenos (Reyes, Vergara, Torres, Lagos, & Jimenez, 2016). A nivel global, se han reportado casos que dan cuenta de las afecciones en la salud por causa del consumo de alimentos contaminados por metales pesados. Un caso relevante ocurrió en Jintsu, aguas abajo de una zona minera de zinc (Zn), plomo (Pb) y cobre (Cu), se vio afectada por el consumo de arroz proveniente de cultivos contaminados con cadmio (Cd) procedente de los vertimientos de las minas. Esta ingesta produjo una enfermedad conocida como Itai-Itai o osteoartritis la cual afecta principalmente el tejido óseo (Sánchez Pina, 2014). De otra parte, en la población infantil de Torreón, Coahuila ubicada en Norte-centro de México se han reportado casos por envenenamiento principalmente



por plomo proveniente de actividades industriales que incorporan este metal a la cadena alimenticia y al agua (Gil Pérez *et al.*, 1999).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) y algunas autoridades ambientales, han establecido niveles de riesgo en función de la concentración de metales en aguas de consumo humano y alimentos. Los mapas realizados en algunas regiones del mundo muestran un importante incremento en la concentración por encima de los límites establecidos, que las clasifica como de alto riesgo (Arnous & Hassan, 2015). Así, para el caso del arsénico, la población en riesgo de exposición supera los 150 millones, esto obliga a fortalecer los programas de saneamiento apoyados en tecnologías emergentes como la bio y nanotecnología para el desarrollo de procesos y estrategias experimentales en tareas de detección, cuantificación y remediación (Ramos, Reyes, Grandal, Padrón, & Pedroso, 2018).

En la actualidad se acepta de forma generalizada que la distribución, movilidad, disponibilidad biológica y toxicidad de los elementos químicos no es función de la concentración total de los mismos, sino que dependen de la forma química en la que se encuentren. Es necesario conocer las especies químicas de los elementos para comprender las reacciones químicas y bioquímicas en las que intervienen, y por tanto, obtener información relativa al carácter esencial y tóxico de los elementos químicos. Los análisis de especiación se convertirán en una herramienta esencial para la evaluación de riesgos en el medioambiente, permitiendo que se realicen diagnósticos y controles de los elementos trazas más efectivos. En última instancia, este tipo de investigación puede dar lugar a una legislación ambiental basada en la concentración máxima permisible de especies químicas, en vez de una legislación basada en concentraciones totales de los elementos (Arnous & Hassan, 2015).



2.2.3.1. Metal pesado arsénico y sus efectos en la Salud y Ambiente

Es un elemento ampliamente distribuido en la atmósfera, en la hidrosfera y en la biosfera. Los efectos toxicológicos del As no son bien conocidos y se especula sobre el proceso de transferencia a los seres humanos. La arsenicosis o hidroarsenicismo crónico es una enfermedad que se presenta por elevadas concentraciones de As inorgánico y presenta diferentes afectaciones en la salud humana tales como problemas respiratorios, enfermedades cardiovasculares, gastrointestinales y efectos cancerígenos (pulmón, vejiga y piel) entre otras, (Arnous & Hassan, 2015).

El arsénico se presenta en tres estados alotrópicos, gris o metálico, amarillo y negro. El arsénico gris metálico es la forma estable en condiciones normales y tiene estructura romboédrica, es un buen conductor del calor, pero mal conductor eléctrico, su densidad es de 5,73 g/cm³, es deleznable y pierde el lustre metálico expuesto al aire, (Arnous & Hassan, 2015).

Aplicaciones en la Actualidad.

- Preservante de la madera (arseniato de plomo y cromo), uso que representa, según algunas estimaciones, cerca del 70 % del consumo mundial de arsénico.
- El arseniuro de galio es un importante material semiconductor empleado en circuitos integrados más rápidos, y caros, que los de silicio. También se usa en la construcción de diodos láser y LED, (Palacios, 2019).
- Aditivo en aleaciones de plomo y latones.
- Insecticida (arseniato de plomo), herbicidas (arsenito de sodio) y venenos: a principios del siglo XX se usaban compuestos inorgánicos pero su uso ha desaparecido prácticamente en beneficio de compuestos orgánicos (derivados metálicos). Sin embargo, esas aplicaciones están declinando, (Palacios, 2019).



- El disulfuro de arsénico se usa como pigmento y en pirotecnia.
- Decolorante en la fabricación del vidrio (trióxido de arsénico)

Aplicaciones en la Antigüedad.

- Se ha utilizado para fabricar tintes para tejidos y tintas para imprimir papeles pintados. Estas aplicaciones dieron lugar a graves intoxicaciones en el siglo XIX, (Palacios, 2019).
- Como elemento fertilizante en forma de mineral primario rico, para la agricultura.
- A lo largo de la historia el arsénico y sus compuestos han sido utilizados con fines homicidas, fundamentalmente en forma de anhídrido arsenioso (polvo blanco, insípido e inodoro llamado rey de los venenos), (Palacios, 2019).
- Elaboración de insecticidas, herbicidas, raticidas, fungicidas, etc, aunque cada vez se utiliza menos con estos fines, (Palacios, 2019).

Arsénico en el Agua.

La presencia de arsénico en el agua potable puede ser el resultado de la disolución del mineral presente en cuencas hidrográficas cercanas a volcanes y naturalmente en el suelo por donde fluye el agua antes de su captación para uso humano; o bien, por vía antrópica por contaminación industrial o por pesticidas. El arsénico se presenta como As^{3+} (arsenito) y As^{5+} (arseniato, abundante), de las cuales el arsenito es el más tóxico para el humano y el más difícil de remover de los cuerpos de agua. (Lepori, 2015).

La ingestión de pequeñas cantidades de arsénico puede causar efectos crónicos por su bioacumulación en el organismo. Envenenamientos graves pueden ocurrir cuando la cantidad tomada es de 100 mg. Se ha atribuido al arsénico enfermedades de prevalencia carcinogénica a la piel, pulmón y vejiga. (Lepori, 2015)



Algunos estudios de toxicidad del arsénico indican que muchas de las normas actuales basadas en las guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS) señalan concentraciones muy altas y plantean la necesidad de reevaluar los valores límites basándose en estudios epidemiológicos. (Lepori, 2015).

Arsénico en el Suelo.

El arsénico es encontrado de forma natural en la tierra en pequeñas concentraciones, tanto en el suelo como en los minerales, pero también puede entrar en el aire y mucho más fácil en el agua, a través de las tormentas de polvo y las aguas de escorrentía, (Wikipedia, 2020).

Es un componente que difícilmente se convierte en productos solubles en agua o volátiles. Es un elemento muy móvil, refiriéndonos con esto a que grandes concentraciones del mismo no aparecen en un sitio específico, esto tiene aspectos positivos, pero también negativos, y es que es por ello por lo que la contaminación por arsénico es amplia debido a la alta movilidad y desplazamiento de este, (Wikipedia, 2020).

Cuando es inmóvil no se puede movilizar fácilmente, pero debido a las actividades humanas (minería y fundición de metales) este arsénico inmóvil se moviliza, ello hace que pueda ser encontrado en lugares donde no existe de forma natural, (Wikipedia, 2020).

Una vez que llega a medio ambiente, este no puede ser destruido, por lo que la cantidad va aumentando y esparciéndose causando efectos sobre la salud de los humanos y los animales.



Efectos en las Plantas.

Las plantas lo absorben fácilmente, ello hace que alto rango de concentraciones pueden estar presentes en la comida (cuando las plantas de consumo humano absorben As), (Palacios, 2019).

Efectos en Animales.

Los peces pueden ver afectado su material genético, ello es debido a la presencia de arsénico inorgánico que antes mencionábamos. Esto es principalmente causado por la acumulación del arsénico en los organismos de las aguas dulces consumidores de plantas, (Palacios, 2019).

Las aves también se ven afectadas, sobre todo las que consumen peces con grandes cantidades de arsénico. Mueren como resultado del envenenamiento por arsénico como consecuencia de la descomposición de los peces en sus propios cuerpos, (Palacios, 2019).

Efectos en Humanos.

En humanos la exposición a As es más elevada para aquellos que trabajan en empresas donde utilizan en sus procesos industriales, para gente que vive en casas que contienen conservantes de la madera, gente que vive en granjas donde han sido aplicados pesticidas y herbicidas con As, para personas que usan acuíferos para el suministro de agua que contienen cantidades elevadas de As, (Palacios, 2019).

Tipos de Intoxicación

- Intoxicación Aguda. - El arsénico en grandes cantidades afecta la vía digestiva, presentándose como un cuadro gastrointestinal con dolores abdominales, vómitos, diarreas y deshidratación, (Palacios, 2019).



- Intoxicación crónica. - La ingestión de As durante un tiempo prolongado y dosis repetitivas, aparecerán síntomas como: fatiga, gastroenteritis, leucopenia, anemia, hipertensión, alteraciones cutáneas, (Palacios, 2019).
- Cáncer de pulmón, vejiga, riñón, próstata.
- Líneas de Mees.
- Abortos espontáneos.
- Malformaciones congénitas.

2.2.3.2. Metal pesado mercurio y sus efectos en la Salud y Ambiente

Es un metal líquido a temperatura ambiente, que además de encontrarse en su estado elemental, se puede hallar como derivados inorgánicos y derivados orgánicos. El mercurio elemental es poco soluble y por lo tanto poco tóxico al ingerirse, pero puede emitir vapores tóxicos a cualquier temperatura y ocasionar intoxicaciones agudas y crónicas por su inhalación (Reyes *et al.*, 2016). La toxicidad que exhibe el mercurio depende drásticamente de la fase química en la que se encuentre. El metilmercurio es una de las formas con elevada toxicidad y es muy fácilmente incorporado en la cadena alimenticia y bio-acumulado en seres vivos. Afecta principalmente al sistema nervioso y puede producir graves daños en el cerebro en estado fetal. Es activamente perjudicial para el sistema cardiovascular y puede ser cancerígeno, (Reyes *et al.*, 2016).

El mercurio es un metal pesado plateado que a temperatura ambiente es un líquido inodoro. No es buen conductor del calor comparado con otros metales, aunque es buen conductor de la electricidad. Se alea fácilmente con muchos otros metales como el oro o la plata produciendo amalgamas, pero no con el hierro. Es insoluble en agua y soluble en ácido nítrico. Cuando aumenta su temperatura -por encima de los 40 °C-, produce vapores tóxicos y corrosivos, más pesados que el aire por lo que se evapora creando miles de partículas en el vapor que al enfriarse se depositan de nuevo. Es dañino por inhalación,



ingestión y contacto: se trata de un producto muy irritante para la piel, ojos y vías respiratorias. Es incompatible con el ácido nítrico concentrado, el acetileno, el amoníaco, el cloro y los metales. (Arnous & Hassan, 2015).

Aplicaciones

- Bulbo de un termómetro de mercurio.
- El mercurio se utiliza principalmente para la fabricación de productos químicos industriales o para aplicaciones eléctricas y se emplea en algunos termómetros, especialmente los que se usan para medir temperaturas elevadas, (Reyes *et al.*, 2016).
- Una cantidad cada vez mayor se usa como mercurio gaseoso en lámparas fluorescentes, mientras que la mayoría de las otras aplicaciones se están eliminando lentamente debido a las regulaciones de salud y seguridad, siendo reemplazado en algunas aplicaciones por materiales menos tóxicos, pero considerablemente más caros, como la aleación Galinstano, (Reyes *et al.*, 2016).

Toxicidad y Seguridad.

El mercurio y la mayoría de sus compuestos son extremadamente tóxicos y deben ser manejados con cuidado; en los casos de derrames relacionados con el mercurio, existen procedimientos de limpieza específicos para evitar la exposición y evitar su dispersión. Protocolos para fusionar físicamente las gotas más pequeñas depositadas sobre superficies duras para poder recogerlas con un cuentagotas, o bien para empujar suavemente el derrame hacia un recipiente desechable. Aspiradoras y escobas causan una mayor dispersión del mercurio y no deben utilizarse, (Reyes *et al.*, 2016).



El mercurio puede ser absorbido por la piel y las membranas mucosas y los vapores de mercurio puede ser inhalados accidentalmente, por lo que los contenedores de mercurio deben estar bien sellados para evitar derrames o evaporación. El calentamiento del mercurio o de sus compuestos, que pueden liberarlo cuando se calientan, debe llevarse a cabo con una ventilación adecuada a fin de minimizar la exposición al vapor de mercurio. Las formas más tóxicas de mercurio son sus compuestos orgánicos, como el dimetilmercurio y el metilmercurio. El mercurio puede causar tanto intoxicaciones crónicas como agudas, incluyendo el envenenamiento por mercurio. La exposición crónica afecta principalmente al sistema nervioso central y a los riñones, (Reyes *et al.*, 2016).

La nefrotoxicidad originada por dicho metal depende del tiempo de exposición, si la exposición es breve se produce una necrosis tubular aguda, sin embargo, si la exposición es a largo plazo, se produce glomerulonefritis, (Reyes *et al.*, 2016).

Contaminación Global.

Las emisiones de mercurio a la atmósfera se distribuyen globalmente y contaminan todos los ecosistemas. Como ya se ha señalado, el mercurio procede de actividades humanas (combustión del carbón, minería directa de mercurio, plata y oro) y actividades naturales (vulcanismo, por ejemplo). El mercurio depositado puede ser reemitido a la atmósfera mediante su intercambio entre el océano y el aire o la combustión de biomasa, (Reyes *et al.*, 2016).

Pescado y Marisco.

El pescado y el marisco tienen una tendencia natural a concentrar mercurio en sus cuerpos, a menudo en forma de metilmercurio, un compuesto orgánico altamente tóxico. Como el mercurio y el metilmercurio son solubles en grasa, se acumulan

principalmente en las vísceras, aunque también se depositan en todo el tejido muscular. Cuando un pez es consumido por un depredador, el nivel de mercurio se acumula. Dado que los peces son poco eficientes en la depuración de la acumulación de metilmercurio, las concentraciones en sus tejidos aumentan con el tiempo. Por lo tanto, las especies que están más altas en la cadena trófica acumulan una carga corporal de mercurio que puede ser diez veces más alta que la de las especies que consumen. Este proceso se llama biomagnificación, (Reyes *et al.*, 2016).

2.2.3.3. Metal pesado cadmio y sus efectos en la Salud y Ambiente

El cadmio forma parte de la composición natural de algunas rocas y suelos y provoca una liberación al medio ambiente cercana a 25000 toneladas. De otra parte, por vía antrópica las concentraciones en el ambiente pueden ser incrementadas considerablemente. Ya que es un metal ampliamente utilizado en la industria y productos agrícolas, esto ha producido un progresivo aumento en su producción. El 5% del metal es reciclado y debido a su notable movilidad, provoca una importante contaminación ambiental (Marruecos, Nogué, & Nolla, 1993). La población está expuesta al cadmio por diversas vías:

- Oral, a través del agua y la ingesta de comida contaminada con este elemento (hojas de vegetales, granos, cereales, frutas, vísceras animales y pescado) (Nava-Ruíz & Méndez-Armenta, 2011).
- La inhalación de partículas durante actividades industriales en personas laboralmente expuestas, donde la concentración de cadmio puede tener valores superiores a 50 µg/L, (Nava-Ruíz & Méndez-Armenta, 2011).
- El cigarrillo, cuyo nivel de cadmio está asociado al suelo donde crece el tabaco. Estudios realizados muestran que las concentraciones de cadmio en la sangre para



no fumadores varía entre 0,4 a 1,0 $\mu\text{g/L}$, mientras que en fumadores los valores varían entre 1,4 a 4 $\mu\text{g/L}$ (Nava-Ruíz & Méndez-Armenta, 2011).

El cadmio que ingresa por vía respiratoria o por vía oral, se transporta a la sangre y se concentra en el hígado y el riñón. El cadmio tiene la capacidad de acumularse en estos órganos vitales lo que produce daños irreversibles aún para concentraciones reducidas. De otra parte, el tiempo de permanencia en estos órganos puede ser muy elevado. Así, el tiempo de vida media del cadmio en el riñón puede alcanzar los 30 años, (Nava-Ruíz & Méndez-Armenta, 2011).

Al cadmio se le reconoce como uno de los metales pesados con mayor tendencia a acumularse en las plantas. El cadmio causa severos desequilibrios en los procesos de nutrición y transporte de agua en las plantas (Singh & Tewari, 2003). La favorabilidad de acumulación de cadmio en las plantas ha llevado a considerarlas como potenciales candidatos para tareas de fitoremediación de este metal, (Singh & Tewari, 2003).

Es uno de los metales más tóxicos. Normalmente se encuentra en minas de zinc y se emplea especialmente en pilas. No se encuentra en la naturaleza en estado puro, sino que por afinidad química está asociado con metales como el zinc, el plomo y el cobre, (Singh & Tewari, 2003).

Asociado a la contaminación medio ambiental e industrial, es uno de los mayores tóxicos, ya que reúne las cuatro características básicas más peligrosas de un tóxico; bioacumulación, persistencia en el ambiente, efectos desfavorables para el ser humano y el ambiente y es fácilmente transportable mediante los cursos de agua y el viento, (Singh & Tewari, 2003).

Aplicaciones



- Se emplea en acumuladores eléctricos de níquel-cadmio recargables.
- Se utiliza mucho en electrodeposición: recubrimiento de rectificadores y acumuladores.
- El hidróxido de cadmio se emplea en galvanotecnia y en la fabricación de electrodos negativos de baterías de níquel-cadmio.
- El óxido de cadmio se usa como catalizador para la hidrogenación y la síntesis de metano. Además, se emplea para fabricación de esmaltes y en sinterización.
- El cloruro de cadmio se utiliza en galvanotecnia, fotografía y tintorería.
- El sulfuro de cadmio se utiliza como pigmento amarillo.
- El estearato de cadmio se emplea para mejorar la estabilidad de materiales de PVC frente a la luz y a los agentes atmosféricos, (Singh & Tewari, 2003).

Concentraciones.

Las concentraciones de cadmio en los diferentes compartimentos de la naturaleza son las siguientes:

- Agua. - En ríos la concentración de cadmio disuelto es relativamente alta (10 -500 mg/l) encontrándose por lo general unido a materia particulada. En zonas oceánicas abiertas la concentración está entre 0,5 y 10 mg/l; estos niveles pueden ser superiores en áreas marinas cerradas, especialmente en las desembocaduras de los ríos que están contaminados, (Singh & Tewari, 2003).
- Aire. - El transporte a los diferentes compartimentos ambientales se realiza a través del aire, donde tiene poca persistencia (días o semanas). Las concentraciones en zonas rurales son de 0,1 mg. por m³ aumentando hasta cinco veces en zonas urbanas e industriales, (Singh & Tewari, 2003).



- Suelo. - El suelo es el primero en ser objeto de inmisión del cadmio, por la caída de partículas difundidas en el aire por actividades industriales, actividades antropogénicas o por su acumulación después de los incendios. En suelos la concentración media de cadmio es de 0,06 a 0,5 mg. por kg. aumentando hasta cien veces en zonas contaminadas. Hay estudios basados en que con la aplicación de fertilizantes procedentes de rocas fosfatadas aumenta la concentración desde 0,3 a 38 g. por hectárea y año. La persistencia del cadmio en suelos es de hasta trescientos años y el 90 por ciento permanece sin transformarse. Estas concentraciones de cadmio en el suelo dependen en su mayor parte del pH de la tierra, que controla la solubilidad y movilidad del metal, (Singh & Tewari, 2003).
- Emisiones Atmosféricas. - La concentración de cadmio, procedente de las fuentes citadas previamente, es elevada alrededor de las minas, zonas industriales y áreas urbanas, disminuyendo a medida que nos alejamos de estas hacia las zonas rurales.
- Contaminación del Agua. - El cadmio que llega al agua principalmente es de vertidos urbanos e industriales. Esta contaminación depende de la cercanía de las zonas acuáticas a las zonas urbanas. Por otro lado, parte del cadmio atmosférico es depositado en la superficie acuática y figura como el 23 % del cadmio contaminante, siendo la vía principal de entrada en agua.
- Contaminación del Suelo. - La mayor parte del cadmio vertido por el ser humano va a depositarse en el suelo. Al igual que ocurre en el agua la vía principal de deposición es la vía atmosférica, seguida de los vertidos humanos y el uso de fertilizantes, (Singh & Tewari, 2003).

La concentración de cadmio en el suelo sigue aumentando con el tiempo, debido al incremento de los índices de emisión de origen humano, creyéndose que esta concentración se doblará cada 50 – 80 años, (Singh & Tewari, 2003).



2.2.3.4. Metal pesado plomo y sus efectos en la Salud y Ambiente

El plomo es un metal pesado que se ha utilizado durante muchos años debido a su resistencia a la corrosión, ductibilidad, maleabilidad y facilidad para formar aleaciones. El plomo es absorbido por inhalación, ingestión y a través de la piel, (Nava-Ruíz & Méndez-Armenta, 2011). Las principales vías de exposición son; inhalación de partículas de plomo generadas por combustión de algunos materiales y la ingestión de polvo, agua o alimentos contaminados, (Rincon, Zurera, & Pozo-Lora, 1987).

Tiende a distribuirse en diferentes órganos, tejidos, huesos y dientes, donde se va acumulando con el paso del tiempo (Sanín, González-Cossío, Romieu, & Hernández-Avila, 1998). La intoxicación por plomo varía de acuerdo a la edad de la persona y su nivel de exposición (Matamoros, Arias, Brix, & Bayona, 2009).

El plomo es un metal pesado de densidad relativa o gravedad específica 11,4 a 16 °C, de color plomo (gris oscuro), que se empaña para adquirir un color gris mate. Es flexible, inelástico y se funde con facilidad. Es relativamente resistente al ataque del ácido sulfúrico y del ácido clorhídrico, aunque se disuelve con lentitud en ácido nítrico y ante la presencia de bases nitrogenadas. El plomo es anfótero, ya que forma sales de plomo de los ácidos, así como sales metálicas del ácido plúmbico. Tiene la capacidad de formar muchas sales, óxidos y compuestos organometálicos, (Matamoros *et al.*, 2009).

Los compuestos de plomo más utilizados en la industria son los óxidos de plomo, el tetraetilo de plomo y los silicatos de plomo. El plomo forma aleaciones con muchos metales, y, en general, se emplea en esta forma en la mayor parte de sus aplicaciones. Es un metal pesado y tóxico, y la intoxicación por plomo se denomina como saturnismo o plumbosis, (Matamoros *et al.*, 2009).



En la Actualidad

- Su utilización como cubierta para cables, ya sea la de teléfono, de televisión, de internet o de electricidad, sigue siendo una forma de empleo adecuada.
- La ductilidad única del plomo lo hace muy apropiado para esta aplicación, porque puede estirarse para formar un forro continuo alrededor de los conductos internos.
- Se utiliza en blindajes de equipos y en recipientes de transporte de radioisótopos.

Origen de la contaminación por plomo

Actualmente la mayor fuente de plomo es la atmósfera, aunque su contenido está disminuyendo gracias a la prohibición de utilizar gasolina con plomo. El plomo puede entrar en el agua potable a través de la corrosión de las tuberías. Esto es más común que ocurra cuando el agua es ligeramente ácida. Esta es la razón por la que los sistemas de tratamiento de aguas públicas ajustan el pH del agua potable. El plomo no cumple ninguna función esencial en el cuerpo humano y es muy dañino después de ser ingerido en la comida, o a través del aire o el agua, (Matamoros *et al.*, 2009).

Efectos en el organismo

El plomo puede causar varios efectos no deseados, como son:

- Perturbación de la biosíntesis de hemoglobina y subsecuentemente anemia
- Incremento de la presión sanguínea
- Daño a los riñones
- Aborto espontáneo
- Perturbación del sistema nervioso
- Daño al cerebro
- Disminución de la fertilidad del hombre a través del daño en el espermatozoide
- Disminución de las habilidades de aprendizaje de los niños



- Perturbación en el comportamiento de los niños, como es agresión, comportamiento impulsivo e hipersensibilidad
- Alteraciones graves en la propiocepción, equilibriocepción, nocicepción y electrocepción, magnetocepción, ecolocalización en ciertos animales.

La formación de depósitos plúmbicos en las encías que forman una línea de color gris claro azulado llamada “la línea del plomo” o “la línea de Burton”. El plomo puede entrar en el feto a través de la placenta, debido a esto, puede causarle serios daños al sistema nervioso y al cerebro, (Matamoros *et al.*, 2009).

Plomo en el medio ambiente

Con respecto a su incidencia en el medio ambiente, el plomo se encuentra de forma natural en el ambiente, pero las mayores concentraciones encontradas son el resultado de las actividades humanas, (Juanena *et al.*, 2021).

Las sales de plomo entran en el medio ambiente a través de los tubos de escape (principalmente los defectuosos) de los coches, camiones, motos, aviones, barcos y aerodeslizadores y casi todos los tipos de vehículos motorizados que utilicen derivados del petróleo como combustible, siendo las partículas de mayor tamaño las que quedarán retenidas en el suelo y en las aguas superficiales, provocando su acumulación en organismos acuáticos y terrestres, y con la posibilidad de llegar hasta el ser humano a través de la cadena alimenticia. Las pequeñas partículas quedan suspendidas en la atmósfera, pudiendo llegar al suelo y al agua a través de la lluvia ácida, (Juanena *et al.*, 2021).

La acumulación de plomo en los animales puede causar graves efectos en su salud por envenenamiento, e incluso la muerte por paro cardiorrespiratorio. Algunos organismos, como los crustáceos u otros invertebrados, son muy sensibles al plomo



(dado que el plomo cuando se encuentra en exceso se deposita en los huesos y al no poseerlos queda retenido en su organismo), y en muy pequeñas concentraciones les causan graves mutaciones. Se registraron casos en donde las crías de crustáceos con saturnismo crónico, presentaban extremidades más largas, deformidades en otras y un comportamiento agresivo y poco coordinado llegando a producirse automutilaciones y autolaceraciones múltiples, atribuido a alteraciones genéticas generadas por la contaminación por plomo, (Juanena *et al.*, 2021).

Otro efecto significativo del plomo en las aguas superficiales, es que provoca perturbaciones en el fitoplancton, que es una fuente importante de producción de oxígeno en los océanos y de alimento para algunos organismos acuáticos de variado tamaño (desde ballenas hasta pequeños pececillos), (Juanena *et al.*, 2021).

2.2.3.5. Metal pesado cobre y sus efectos en la Salud y Ambiente

El cobre forma parte de una cantidad muy elevada de aleaciones que generalmente presentan mejores propiedades mecánicas, aunque tienen una conductividad eléctrica menor. Las más importantes son conocidas con el nombre de bronce y latones. Por otra parte, el cobre es un metal duradero porque se puede reciclar un número casi ilimitado de veces sin que pierda sus propiedades mecánicas.

El cobre posee un importante papel biológico en el proceso de fotosíntesis de las plantas, aunque no forma parte de la composición de la clorofila. El cobre contribuye a la formación de glóbulos rojos y al mantenimiento de los vasos sanguíneos, nervios, sistema inmunitario y huesos y por tanto es un oligoelemento esencial para la vida humana.

El cobre es el tercer metal más utilizado en el mundo, por detrás del hierro y el aluminio. La producción mundial de cobre refinado se estimó en 15,8 Tn en el 2006, con



un déficit de 10,7 % frente a la demanda mundial proyectada de 17,7 Tn. Los pórfidos cupríferos constituyen la principal fuente de extracción de cobre en el mundo.

Aplicación

El cobre se usa en equipo eléctrico, maquinaria industrial, construcción, en aleaciones de bronce: latón, níquel, clavos, pernos, objetos decorativos, tuberías, techos, monedas, utensilios de cocina, joyería, muebles, maquillaje, pinturas, instrumentos musicales y medios de transporte. Además, el sulfato de cobre es uno de los primeros compuestos utilizados en alimentación animal como pesticidas, las sales de cobre poseen efectos fungicidas y alguicidas, (Franco, Muñoz, & Garcia, 2016).

Efectos en el organismo

La exposición aguda por ingestión del sulfato de cobre puede producir necrosis hepática y muerte. La exposición crónica de alimentos conservados en recipientes de cobre genera lesiones hepáticas en niños, (Franco et al., 2016).

Algunos efectos de intoxicación son: hemólisis letal en vacas lecheras a dosis de 38 mg/kg PV. El ganado ovino es la especie más sensible a la intoxicación, tolera apenas 25 mg/kg PV. Tanto en los casos agudos como en crónicos la mortalidad se acerca al 100%. En bovinos consumos de 220 a 880 mg/kg de peso corporal pueden causar la muerte. (Franco *et al.*, 2016)

Altas concentraciones de sales solubles de cobre conllevan a coagulación proteica e inflamación severa de mucosa digestiva, si el animal sobrevive desarrollará hemólisis intravascular. Las muertes rápidas se deben a insuficiencia hepática, mientras que los decesos tardíos se producen por insuficiencia renal. No existe



evidencia de efectos cancerígenos del cobre o sus compuestos por ninguna vía de exposición. (Franco *et al.*, 2016)

2.2.4. Calidad de Agua

La calidad del agua es el conjunto de características químicas, físicas y biológicas del elemento, que le hacen apto para distintos usos como: consumo humano, usos en la agricultura y ganadería, uso en la industria, uso para la generación de energía, uso para navegación, uso para recreación o para el mantenimiento de las funciones de los ecosistemas. Por lo general, la calidad se determina comparando las características de una muestra de agua con una línea de base, las concentraciones históricas de los elementos en el curso de agua; o leyes y estándares determinados por norma para cada uso. Esto nos lleva a saber si el agua examinada es segura o no para ese determinado fin. Por ejemplo, un curso de agua puede tener calidad suficiente para uso recreativo, pero no tenerla para consumo humano. Esto quiere decir que la calidad depende del uso que se le quiera dar al agua. Así también, los esfuerzos que se hagan para mitigar o remediar la contaminación del agua deberán atender a la utilización del recurso. En el caso de Bolivia, la normativa de calidad de agua está dividida en varios cuerpos: Consumo Humano, determinado por la Norma Boliviana 512 (octubre 2010) y el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica incluido en la Ley 1333 de Gestión Ambiental (abril 1992), entre otros posibles. Para Perú, los estándares de calidad de agua están dictados por el Decreto Supremo N°015-2015-MINAM (diciembre 2015), (Herrera, Pacheco, Orihuela, & Cobo, 2018)

La calidad del agua de un recurso hídrico es el conjunto de sus características físicas, químicas y composición y estado de los organismos que en habitan en él. Sin embargo, en general se define de acuerdo a su uso potencial comparando estas características con valores estándares que se consideran requisitos para asegurar su uso correcto, (Valles-Aragón, Ojeda-Barrios, Guerrero-Prieto, Prieto-Amparan, & Sánchez-



Chávez, 2017). Los sistemas acuáticos presentan diversos servicios ecosistémicos, destacándose el abastecimiento de agua potable, riego, consumo animal, recreación y purificación de las aguas. La mala gestión de los sistemas hídricos puede afectar su calidad del agua, generar procesos de eutrofización (aumento de fósforo y nitrógeno que son los nutrientes limitantes de producción primaria), desequilibrios tróficos, inundación, erosión e impactos sobre aguas subterráneas, entre otros (Molden *et al.*, 2007). Por tanto, la calidad de agua es un componente fundamental de la calidad ambiental incidiendo en sus distintas dimensiones, biofísica, social y económica.

2.2.5. Monitoreo de Calidad de Agua

El monitoreo de calidad del agua es el control de los parámetros de interés de un curso de agua, siguiendo un orden y metodología rigurosos, para conocer su calidad y cantidad; y así poder tomar decisiones más informadas sobre cómo gestionarlo. Ayuda a evaluar si los impactos de los diferentes usos del agua (y los vertidos de aguas residuales) son aceptables o no. Gracias al monitoreo es posible establecer límites asociados a los parámetros de control, generar alertas tempranas y adoptar medidas correctoras; antes de que el agua se convierta en no apta para un uso determinado. Además, la información del monitoreo puede emplearse para educar y concientizar a actores interesados en el curso de agua. (Herrera *et al.*, 2018)

2.2.6. Muestreo de Agua

El muestreo de agua es una actividad dirigida a la recolección de una pequeña porción del total de la masa, de manera que represente lo más fidedignamente posible la calidad de la misma, en el lugar y en el momento de obtención de la muestra. La toma de muestras no sólo involucra el proceso de la obtención física de la muestra, sino también la caracterización del ambiente del cual la muestra fue tomada, (MINSA, 2015)



- Muestra. - Es una porción de una matriz ambiental o de fuente que se selecciona de acuerdo con un procedimiento preescrito según el caso, para determinar las características de la matriz.
- Muestreo. - El muestreo es un procedimiento definido por medio del cual se toma una parte de sustancia, material o producto a fin de proporcionar ensayo o calibración de una muestra representativa del conjunto.
- Muestra simple o puntual. - Muestra recolectada en un lugar y tiempo específico y que refleja las circunstancias particulares bajo las cuales se hizo la recolección.
- Muestra compuesta. - Combinación de muestras puntuales tomadas en el mismo sitio durante un tiempo determinado. Se emplean para observar concentraciones promedio, usadas para calcular las respectivas cargas o la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales.
- Muestra integrada. - Muestras puntuales tomadas simultáneamente en diferentes puntos o lo más cercanas posible.

El propósito de un análisis de agua es el de evaluar las propiedades de una matriz (agua natural superficial o subterránea, agua residual doméstica o industrial, agua tratada, agua marina), cuyos resultados deben ser de alta calidad y confiabilidad y adecuados al propósito para el cual fueron solicitados, ya que con base en esta información se toman importantes decisiones en materia de legislación, medidas de mitigación, control y protección del medio ambiente las cuales están regidas por normas y regulaciones de carácter oficial. Las muestras recolectadas para los análisis deben ser relevantes y verdaderamente representativas, por lo tanto, el muestreo es el aspecto más crítico de un programa de monitoreo, (Barreto, 2009).



2.2.7. Espectroscopia de Emisión Atómica de Plasma Acoplado por Inducción

Espectroscopia Atómica. - El término espectroscopia significa la observación y el estudio del espectro, o registro que se tiene de una especie tal como una molécula, un ion o un átomo, cuando estas especies son excitadas por alguna fuente de energía que sea apropiada para el caso, (Torres Quispe, 2018).

Espectroscopia de emisión en átomos. - La espectroscopia de emisión en átomos se basa en medir la intensidad de una línea de emisión específica del elemento que se desea determinar. Cuanto mayor sea la intensidad de esta línea mayor es su concentración, (Torres Quispe, 2018).

2.3. MARCO LEGAL

2.3.1. Ley de los Recursos Hídricos

La presente ley N° 29338 regula el uso y gestión de los recursos hídricos. Comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta. Se extiende al agua marítima y atmosférica en lo que resulte aplicable, (ANA, 2019).

Artículo 73°. - Del título V (protección del agua) indica que, los cuerpos de agua pueden ser clasificados por la Autoridad Nacional teniendo en cuenta la cantidad y calidad del agua, consideraciones hidrográficas, las necesidades de las poblaciones locales y otras razones técnicas que establezca, (ANA, 2019).

Artículo 75°. - indica sobre la protección del agua. La Autoridad Nacional, con opinión del Consejo de cuenca, debe velar por la protección del agua, que incluye la conservación y protección de sus fuentes, de los ecosistemas y de los bienes naturales asociados a ésta en el marco de la ley y demás normas aplicables. Para dicho fin, puede coordinar con las instituciones públicas competentes y los diferentes usuarios, (ANA, 2019).



La autoridad Nacional, a través del Consejo de Cuenca correspondiente, ejerce funciones de vigilancia y fiscalización con el fin de prevenir y combatir los efectos de la contaminación del mar, ríos y lagos en lo que le corresponda. Puede coordinar, para tal efecto, con los sectores de la administración pública, los gobiernos regionales y los gobiernos locales, (ANA, 2019).

2.3.2. Ley General del Ambiente

Artículo 3. - La ley general del ambiente N° 28611, del rol del Estado en materia ambiental. También el estado es en ente regulador y verificador para garantizar un ambiente adecuado, “El Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarios para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la presente Ley”, (MINAM, 2005).

Artículo 30. - De los planes de descontaminación y el tratamiento de pasivos ambientales

Artículo 30.1. - Los planes de descontaminación y de tratamiento de pasivos ambientales están dirigidos a remediar impactos ambientales originados por uno o varios proyectos de inversión o actividades, pasados o presentes. El plan debe considerar su financiamiento y las responsabilidades que correspondan a los titulares de las actividades contaminantes, incluyendo la compensación por los daños generados, bajo el principio de responsabilidad ambiental, (MINAM, 2005).

Artículo 30.2. - Las entidades con competencias ambientales promueven y establecen planes de descontaminación y recuperación de ambientes degradados. La Autoridad Ambiental Nacional establece los criterios para la elaboración de dichos planes.

Artículo 30.3. - La Autoridad Ambiental Nacional, en coordinación con la Autoridad de Salud, puede proponer al Poder Ejecutivo el establecimiento y regulación de un sistema



de derechos especiales que permita restringir las emisiones globales al nivel de las normas de calidad ambiental. El referido sistema debe tener en cuenta:

- a. Los tipos de fuentes de emisiones existentes;
- b. Los contaminantes específicos;
- c. Los instrumentos y medios de asignación de cuotas;
- d. Las medidas de monitoreo; y,
- e. La fiscalización del sistema y las sanciones que correspondan.

Artículo 31.- DEL ESTÁNDAR DE CALIDAD AMBIENTAL

El DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua.

Artículo 31.1. – El Estándar de Calidad Ambiental - ECA 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-ECA-AGUA, 2017).

Artículo 31.2. - El ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas. Es un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental, (MINAM-ECA-AGUA, 2017).

Artículo 31.3. - No se otorga la certificación ambiental establecida mediante la Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental, cuando el respectivo EIA concluye que la implementación de la actividad implicaría el incumplimiento de algún Estándar de Calidad Ambiental. Los Programas de Adecuación y Manejo Ambiental



también deben considerar los Estándares de Calidad Ambiental al momento de establecer los compromisos respectivos, (MINAM-ECA-AGUA, 2017).

Artículo 31.4. - Ninguna autoridad judicial o administrativa podrá hacer uso de los estándares nacionales de calidad ambiental, con el objeto de sancionar bajo forma alguna a personas jurídicas o naturales, a menos que se demuestre que existe causalidad entre su actuación y la transgresión de dichos estándares. Las sanciones deben basarse en el incumplimiento de obligaciones a cargo de las personas naturales o jurídicas, incluyendo las contenidas en los instrumentos de gestión ambiental.

Estándar de Calidad Ambiental para Agua

El objetivo es establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Los Estándares aprobados son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental, (MINAM-ECA-AGUA, 2017).

Tabla 3. Estándares de calidad ambiental para aguas del ministerio de ambiente categoría 1; población y recreacional.

PARÁMETRO	UNIDAD	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable			Aguas superficiales destinadas para recreación	
		A1	A2	A3	B1	B2
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	Contacto Primario	Contacto Secundario
		VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR
FÍSICOS Y QUÍMICOS						
Aceites y grasas (MEH)	mg/L	1	1,00	1,00	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,005	0,022	0,022	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	0,08	0,08	0,08	**
Cloruros	mg/L	250	250	250	**	**
Color	Color verdadero escala Pt/Co	15	100	200	sin cambio normal	sin cambio normal
Conductividad	us/cm ¹⁰⁰	1 500	1 600	**	**	**
D.B.O ₅	mg/L	3	5	10	5	10
D.Q.O.	mg/L	10	20	30	30	50
Dureza	mg/L	500	**	**	**	**
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	0,5	na	0,5	Ausencia de espuma persistente
Fenoles	mg/L	0,003	0,01	0,1	**	**
Fluoruros	mg/L	1	**	**	**	**
Fósforo Total	mg/L P	0,1	0,15	0,15	**	**
Materiales Flotantes		Ausencia de material flotante	**	**	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos	mg/L N	10	10	10	10	**
Nitritos	mg/L N	1	1	1	1(5)	**
Nitrógeno amoniacal	mg/L N	1,5	2	3,7	**	**
Olor		Aceptable	**	**	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto	mg/L	>= 6	>= 5	>= 4	>= 5	>= 4
pH	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 – 9,0	6-9 (2,5)	**
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500	**	**
Sulfatos	mg/L	250	**	**	**	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**	**	0,05	**
Turbiedad	UNT ⁹⁰	5	100	**	100	**
INORGÁNICOS						
Aluminio	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	0,006	0,006	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,05	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	0,7	**
Berilio	mg/L	0,004	0,04	0,04	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	0,5	0,75	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,003	0,003	0,01	0,01	**
Cobre	mg/L	2	2	2	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	1	1	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	0,4	0,5	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	0,025	0,025	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	5	5	3	**

Fuente: (MINAM-ECA-AGUA, 2017)

Tabla 4. Estándares de calidad ambiental para aguas del ministerio de ambiente categoría 4; conservación del ambiente acuático.

PARÁMETROS	UNIDADES	LAGUNAS Y LAGOS	RÍOS		ECOSISTEMAS MARINO COSTEROS	
			COSTA Y SIERRA	SELVA	ESTUARIOS	MARINOS
FÍSICOS Y QUÍMICOS						
Aceites y grasas	mg/L	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	1	1
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	<5	<10	<10	15	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	<0,02	0,02	0,05	0,05	0,08
Temperatura	Celsius					delta 3 °C
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥5	≥5	≥5	≥4	≥4
pH	unidad	6,5-8,5	6,5-8,5		6,8-8,5	6,8 - 8,5
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	500	500	500		
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤25	≤25 - 100	≤25 - 400	≤25-100	30,00
INORGÁNICOS						
Arsénico	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	0,05
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	----
Cadmio	mg/L	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022	0,022	0,022	----
Clorofila A	mg/L	10	----	----	----	----
Cobre	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Fenoles	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	
Fosfatos Total	mg/L	0,4	0,5	0,5	0,5	0,031 - 0,093
Hidrocarburos de Petróleo Aromáticos Totales	Ausente				Ausente	Ausente
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,001	0,0001
Nitratos (N-NO3)	mg/L	5	10	10	10	0,07 - 0,28
INORGÁNICOS						
Nitrógeno Total	mg/L	1,6	1,6		----	----
Níquel	mg/L	0,025	0,025	0,025	0,002	0,0082
Plomo	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,0081	0,0081
Silicatos	mg/L	----	----	----	----	0,14-0,7
Sulfuro de Hidrógeno (H2S indisoluble)	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,06
Zinc	mg/L	0,03	0,03	0,3	0,03	0,081
MICROBIOLÓGICOS						
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100mL)	1 000	2 000		1 000	≤30
Coliformes Totales	(NMP/100mL)	2 000	3 000		2 000	

Fuente: (MINAM-ECA-AGUA, 2017).

Artículo 32.- Del Límite Máximo Permisible

Artículo 32.1. - El límite máximo permisible es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por la respectiva autoridad competente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos, (MINAM, 2010).

Artículo 32.2. - Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la

determinación de la supervisión y sanción serán establecidos por dicho Ministerio, (MINAM, 2010).

Tabla 5. Límites Máximos Permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: (MINAM, 2010)

2.3.3. Ley General de Salud

Ley general de salud N° 26842, la salud de las personas está directamente relacionada con medio ambiente, con la contaminación del aire, el agua, del suelo, con la pobreza, etc., y también con las costumbres y con el nivel económico de las personas.

Artículo 104°. - Establece la prohibición para realizar descargas de desechos o sustancias contaminantes en el agua, aire o suelo, sin haber adoptado las precauciones de depuración en la forma que señalan las normas sanitarias y de protección del ambiente.

Artículo 107°. - Establece que la Autoridad de Salud vigilará el cumplimiento de las disposiciones referentes al abastecimiento de agua, alcantarillado, disposición de excretas, reúso de aguas servidas.



2.3.4. Ley General de Aguas

Artículo 54: Ley general de aguas (ley N° 17752). Manejo de los residuos minerales. La Autoridad de Aguas o la Sanitaria exigirá que los residuos minerales sean depositados en áreas especiales o “canchas de relave” dotadas de los elementos necesarios de control y seguridad, o sean evacuados por otros sistemas de manera que se evite la contaminación de las aguas o tierras agrícolas de actual o futura explotación.

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es descriptivo, analítico y cuantitativo, se realizó la determinación de la concentración de los metales pesados en las aguas de las desembocaduras de los efluentes líquidos residuales provenientes de la ciudad de Puno comparando la concentración de acuerdo a los Estándares de Calidad Ambiental.

3.2. DEFINICION DE VARIABLES E INDICADORES

Para cada punto de muestreo se evaluó las siguientes variables.

1. Variable Independiente

- Evaluación de la concentración de los metales pesados

2. Variables Dependientes

- Efluentes líquidos residuales de la Bahía interior del Lago Titicaca

3. Operacionalización de Variables

Tabla 6. Operacionalización de variables

	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
Independiente	Evaluación de la concentración de los metales pesados	Concentración	- Potencial de hidrógeno - Conductividad eléctrica - Temperatura - mg/l
		Metales pesados	- Arsénico - Cadmio - Mercurio - Cobre - Plomo
		Toxicidad	- Metales pesados - Medio ambiente - Se mide en mg/l por equipo de laboratorio
Dependiente	Efluentes líquidos residuales del Lago Titicaca	Agua	- Propiedades - Calidad - Contaminación - Presencia de metales
		Desembocaduras	- Agua - Contaminación

Fuente: elaboración propia, 2022.



3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN

Población

El presente trabajo de investigación se realizó en la Bahía interior del Lago Titicaca de la ciudad de Puno de la provincia Puno, del departamento Puno. Evaluando las desembocaduras que proviene de la ciudad y son transportadas hacia el Lago. Según el Censo de Población y Vivienda 2017 realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), la población censada de Puno es de 1 172 697 personas, (INEI, 2017).

Muestra

Los cinco efluentes residuales de muestreo se ubicarán desde un comienzo del frente de la Universidad Nacional del Altiplano y haciendo un recorrido hasta llegar a la Laguna Espinar de la ciudad de Puno.

Las muestras estarán compuestas por el efluente líquidos residuales proveniente de la ciudad de Puno, se tomarán cinco muestras comenzando desde la Universidad Nacional del Altiplano y hacer un recorrido hasta llegar al Puerto Bancharo Rossi.

Muestreo

El muestreo se hará en frascos de vidrio de 500 ml, los cuales deben de estar bien esterilización, una vez tomado las muestras se colocarán en un Cooler para la respectiva conservación de sus propiedades físicas y químicas, una vez en el laboratorio de hará su respectivo tratamiento y respectivo análisis.

Para la recolección de las cinco muestras en los efluentes líquidos residuales, se recolectará en 500 ml de agua del efluente líquido residual, estas muestras serán llevadas en frascos esterilizados con su respectiva etiqueta y bien cerrada, al laboratorio para su



lectura de metales mediante Espectroscopia de Emisión Atómica de Plasma Acoplado por Inducción.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Tamaño de Muestra

Se recogieron muestras de 500 ml, en cinco puntos de muestreos durante el día realizadas desde la Universidad Nacional del Altiplano hasta el puerto Bancharo Rossi.

Técnicas

La investigación es de tipo descriptivo, analítico y cuantitativo, se tomaron muestras de las desembocaduras del área de estudio, luego se procedió a analizar los metales pesados como el arsénico, mercurio, cadmio, plomo y cobre. Los datos se obtuvieron del laboratorio de calidad ambiental de la Universidad Mayor de San Andrés de La Paz Bolivia. Y finalizar con la comparación de resultados con los estándares de calidad ambiental.

Materiales y Equipos:

Los materiales que se utilizarán para el trabajo de investigación serán los siguientes:

- Guantes
- Frasco esterilizado
- Chaleco
- Cuaderno de campo
- GPS
- Marcador
- Cinta masking



- Cámara fotográfica
- Barbijos

Equipos (Materiales De Cómputo Y Otros):

- Software Microsoft office (Excel, Word, Power Point)
- Software SAS Planet
- Software ArcGis
- Software EndNote X9
- Impresora HP
- EPA Environmental Protection Agency (Sampling and Analysis Methods) –
Espectroscopia de Emisión Atómica

3.5. METODOLOGÍA

La metodología de muestreo de los efluentes líquidos residuales, se tomaron muestras representativas, para determinar el nivel de concentración de los metales pesados en el Lago. El muestreo se realizó en forma lineal en cinco puntos para así identificar la persistencia de grado de contaminación que afecta al Lago Titicaca.

3.6. PROCEDIMIENTO Y RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

Etapas de Revisión y Recopilación de Información:

Recopilación de información bibliográfica de trabajos que se han realizado en la zona, la búsqueda de información consistió en recurrir a diversas fuentes, así como la búsqueda de temas relacionados a las disciplinas geológicas de forma virtual.

Etapas de Investigación en Campo:

Visita y reconocimiento de las desembocaduras del Lago Titicaca. Ubicación de los puntos de muestreo para el respectivo análisis de las muestras. Se consideró cinco



puntos de muestreo teniendo en cuenta que las características fisicoquímicas son lo más importante para el momento de obtener la muestra.

Muestra 1: En la primera muestra de los efluentes líquidos residuales se realizó en la zona de la Universidad Nacional del Altiplano junto a los vecinos aledaños de esa zona, se consideró el punto más crítico para la respectiva muestra. Al tomar la muestra se contuvo en el envase de vidrio N°1 y se mantuvo a bajas temperaturas para su respectivo análisis en el laboratorio. (Ver figura 11).

Muestra 2: En el segundo punto de muestra que abarcaba parte del centro de la ciudad de Puno y el área del Malecón Turístico de la ciudad de Puno se analizaron varios puntos de para el muestreo ya que era una zona bastante extensa y existen varios puntos críticos para el muestreo respectivo. En este punto de muestreo se consideraron tres puntos las cuales estos abarcan específicamente el área del Malecón Turístico. Se tomaron los puntos de muestra y se contuvo en el envase de vidrio N°2 y se mantuvo a bajas temperaturas para luego llevarlas al laboratorio para su respectivo análisis. (Ver figura 12).

Muestra 3: En el tercer punto de muestreo abarca el área del centro de la ciudad de Puno, la cual se consideró un punto importante para realizar el muestreo respectivo. En este punto de muestreo se consideró realizarlo linealmente hasta llegar lo más cerca posible del Lago Titicaca, en esta zona se formó un río que tenía una longitud considerable y se tomaron puntos en diferentes lugares del río. Se tomaron los puntos de muestra y se contuvo en el envase de vidrio N°3 y se mantuvo a bajas temperaturas para luego llevarlas al laboratorio para su respectivo análisis. (Ver figura 13).

Muestra 4: En el cuarto punto de muestreo abarca parte del centro de la ciudad de Puno y la desembocadura de efluentes líquidos residuales del Hospital Regional

Manuel Núñez Butrón. Este punto se consideró importante ya que se encuentra el Hospital Regional de Puno y este trabajo todos los días, las cuales genera más contaminación y utilización de productos que contiene diversos tipos de metales. Al igual que el punto 3 en esta desembocadura se formó un río que se desvió por el borde de la carretera (Av. Costanera), se consideraron tomar varios puntos de muestreos ya que se encontraron varios puntos críticos. Se tomaron los puntos de muestra y se contuvo en el envase de vidrio N°4 y se mantuvo a bajas temperaturas para luego llevarlas al laboratorio para su respectivo análisis. (Ver figura 14).

Muestra 5: En el quinto punto de muestreo que abarca la zona del Puerto Banchero Rossi, donde se encuentra el Terminal Terrestre de la ciudad de Puno y la mayor parte de comercio de metales y arreglo de autos que contaminan y son arrojados hacia el Lago Titicaca. Se tomaron varios puntos de muestro que se consideraron críticos. Se tomaron los puntos de muestra y se contuvo en el envase de vidrio N°5 y se mantuvo a bajas temperaturas para luego llevarlas al laboratorio para su respectivo análisis. (Ver figura 15).

Puntos de Muestreo

En la tabla 7 muestra los puntos de muestreo que se realizaron en la etapa de campo.

Tabla 7. Ubicación en coordenadas de los puntos de muestreo

PUNTO	ESTE	NORTE	COTA
MUESTRA 1	391205	8249735	3819
MUESTRA 2	390982	8249479	3817
MUESTRA 3	391076	8248659	3819
MUESTRA 4	391057	8248460	3819
MUESTRA 5	391193	8247910	3819

Fuente: GPS – Propia, 2022.



Etapa de Análisis de Muestras

Se tomaron muestras uniformes en envases de vaso precipitado de 500ml. Se trasladaron las muestras en un Cooler hasta las instalaciones del trasladado al laboratorio de calidad ambiental de la Universidad Mayor de San Andrés de Bolivia.

En el laboratorio de calidad ambiental se hizo el respectivo análisis mediante el análisis de Environmental Protection Agency (Sampling and Analysis Methods) EPA - Espectroscopia de Emisión Atómica, donde se realizó el análisis de los metales pesados, tales como: arsénico, mercurio, cadmio, plomo y cobre.

Las muestras se etiquetaron con su respectivo código esto se realizó con la finalidad de que en el laboratorio se realice los análisis con el mismo código de muestreo. Llegando al laboratorio nuevamente verificamos el etiquetado de las muestras que anteriormente realizamos, para el informe del ensayo del suelo: procedencia de la muestra, punto de muestreo, responsable del muestreo, fecha del muestreo, fecha de recepción de la muestra, caracterización de la muestra, tipo de muestra, envase y código. Los análisis se realizaron en el laboratorio de Calidad Ambiental de la Universidad Mayor de San Andrés de Bolivia.

CAPITULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

4.1. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DEL PROYECTO

El área de estudio estará ubicada en la Bahía interior del Lago Titicaca de la ciudad de Puno, con una altitud de 3812 msnm. Que se realizará desde el frente de la Universidad Nacional del Altiplano haciendo un recorrido hasta la Laguna Espinar de la ciudad de Puno. Con un aproximado de 3.5 kilómetros.

4.1.1. Localización y Ubicación

El presente trabajo de investigación se realizó en la Bahía interior del Lago Titicaca de la ciudad de Puno, del Distrito, Provincia y Departamento de Puno. Ver anexo-1.

4.1.2. Accesibilidad

Tabla 8. Accesibilidad hacia la zona de estudio.

RUTA	VÍA	TRAMO	DISTANCIA (Km)	CARRETERA	TIEMPO (Horas)	ESTADO
1	Aérea	Lima - Puno	-	-	2.5	-
2	Terrestre	Lima - Puno	1291	Asfaltada	21	Buena

Fuente: Propia, 2022.

4.1.3. Clima

En la ciudad de Puno el clima lo determinan los factores de altitud y latitud, la conformación geográfica y la proximidad al Lago Titicaca que la hace más templada y tolerable.

Por su localización geográfica, su altitud y la proximidad al Lago Titicaca tiene un efecto termorregulador, el clima de la ciudad de Puno se caracteriza por ser más



templado y semi húmedo las temperaturas máximas y mínimas en el día presentan fuertes oscilaciones propias del altiplano, siendo estas entre los 13.3°C (junio y julio) a 16.1°C (noviembre) y -1.0°C (junio) a 5.3 °C (enero), (Climate-Data.Org, 2020).

4.1.4. Precipitaciones

El promedio de lluvia anual es de 711.3 mm, existiendo una estación húmeda con el 79% de las lluvias entre noviembre y marzo.

El producto del discurrimiento de las aguas superficiales y de las lluvias, se producen erosiones, inundaciones, sobre todo en las zonas bajas y a orillas del Lago, (Climate-Data.Org, 2020).

En esta zona las aguas pluviales se mezclan con aguas servidas, debido a que los alcantarillados pluviales son antiguos y están en mal estado de conservación del adecuado manejo hidrográfico y esta situación se agrava en los periodos de lluvias, (Climate-Data.Org, 2020).

4.1.5. Hidrología

Ubicado en una zona compartida por Perú y Bolivia, este lago navegable se distingue por las grandes dimensiones que posee: una superficie aproximada de 8.490 km² y una profundidad máxima de 280 metros, (Argentina.gob.ar, 2015).

En su orilla alberga a la capital folclórica por excelencia del Perú, la ciudad de Puno. Fundada en 1666, su población es de 60.000 habitantes, de origen mayoritariamente Aymara, pero conservadora del legado español en sus expresiones artísticas y culturales. La población que vive en torno al lago se dedica principalmente a la pesca y a la artesanía, siendo característico de la zona las canoas de totora, (Argentina.gob.ar, 2015).

Un análisis de Microcuencas nos permite también recordar la forma del tejido inicial del territorio donde se asienta la ciudad, la misma que estaba surcada por ríos



transversales que descendían hacia el lago. Hoy esos ríos en su mayoría son calles que conducen todos los residuos líquidos y sólidos sueltos de la ciudad hacia el lago por sus cauces de cemento, (PDU-Puno, 2012-2022).

4.1.6. Geología

La geología de la microcuenca de Puno, está constituido por formaciones que datan desde el periodo Cretácico hasta el reciente; compuesto de afloramiento de rocas calcáreas, areniscas arcósicas feldespáticas, conglomerados y depósitos cuaternarios. En la parte alta las formaciones sedimentarias, están cubiertas por derrame de lavas volcánicas, que corresponde al volcánico Tacaza de andesitas básicas, basálticas y brechas.

Geología Regional

Mesozoico

a) Cretáceo

- **Superior**

Formación Vilquechico (Ks-vi). - Estos depósitos consisten en capas de arenisca son duras grises, cuarzosas y de grano medio a grueso de 5 a 30 m de espesor con estratificación cruzada de canal de bajo ángulo, algunas horadaciones tabulares y localmente con laminación de ondulas. Algunos niveles de areniscas calcáreas de grano fino yacen en la parte superior de la secuencia. Se observa litología como; limoarcillitas gris verde intercalados con lomiarcillitas marron rojizos, (Aliaga, Económica, & Ramirez, 2015).

- **Inferior**

Formación Ayabacas (Kis-ay). - Estos depósitos consisten en Lutita limolítica roja con caliza impura; caliza masiva gris ante, con numerosos huecos tabulares



intemperizada con una superficie muy áspera, la parte superior es azulina; caliza de grano fino, en bloques, estratificación regular, escasamente fosilífera, los últimos 2 m son lutíticas; caliza masiva gris ante, con muchos huecos rellenos con caliza arcillosa; lentes de caliza brechoide, lutita limolítica de color rojo ladrillo; arenisca de granos fino color rojo ladrillo oscuro; lutita limolítica de color marrón rojizo oscuro. Se observa litología como; calizas micriticas gris claras con niveles de lomiarcellitas rojas, (Aliaga *et al.*, 2015).

Cenozoico

a) Paleógeno

- **Eoceno**

Grupo Puno (P-pu). - Estos depósitos consisten de areniscas masivas interestratificadas con algunos lentes de conglomerados; areniscas laminares bien estratificadas y mal clasificadas, areniscas limoniticas que contienen granos de cuarzo subangular a subredondeado en una matriz limolítica. Se observa litología como; areniscas feldespáticas y líticas interestratificados con conglomerados dentro de una matriz rojiza, (Aliaga *et al.*, 2015).

b) Neógeno

- **Plioceno**

Formación Umayo (NQ- um/ab – NQ-um/ig.ab). - Descrita como “Basaltos Umayo”, esta unidad consiste de flujos de lava extensos con un grosor total de más de 50 m. de espesor, La litología típica de esta unidad comprende lavas traquibasálticas, andesíticas basálticas, ignimbritas y andesitas. Se observa litologías como; Ignimbritas y lavas andesíticas y basálticas, (Aunis, Miras-Portugal, & Mandel, 1974).



Intrusivos Cenozoicos (N-dm/an). - Los domos andesíticos se ubican disgregados en el sector sur de la región, en los distritos de Tiquillaca y Puno, se relacionan a fallas con orientaciones noroeste, junto a rocas del Grupo Maure y Grupo Sillapaca. Se observa litología constituido por domo andesítico, (Aliaga *et al.*, 2015).

Pórfido (N-mzgr). - Dentro de esta denominación litológica se tienen varios afloramientos dispersos en la región, pero que ocurren normalmente en el lado sur, en su mayor parte no están con nombre por lo cual se les puso como Pórfido no denominado, constan de domos riolíticos (Cerro Pacocahua - Pichacani), granodiorita y tonalita, que ocurre entre los distritos de Acora, Ilave y Juli (cerros Pacocahuapatja, Quenarine, Catamoro, centro poblado Pajchaparque). Se observa litología constituida por Monzogranito, (Aliaga *et al.*, 2015).

- **Mioceno**

Grupo Tacaza (PN-ta). - Estos depósitos se encuentran relacionados de lavas vesiculares y afaníticas con bandas de flujo alteradas color verde pálido a gris pálido con manchas de malaquita cuarzo translucido o ágata. Estas lavas también están a su vez superpuestas por 30 m. de areniscas tobáceas, conglomerádicas y luego 50 m. andesita gris con plagioclasa porfirítica. Se observa litología como; lavas andesíticas, porfiríticas de fenocristales de plagioclasas y hornablendas interestratificadas de brechas volcánicas y matriz verdosa, (Aliaga *et al.*, 2015).

c) Cuaternario

Depósitos Bofedales (Qh-Bo). - Su estructura estratigráfica está constituida por sedimentos finos de limos y arcillas, saturadas de agua temporalmente, plásticas, de consistencia muy blanda, y de color gris oscuro.



Depósitos Aluviales Recientes (Qh-al2). - Estos depósitos se encuentran relacionados a fondos de valle, depresiones, llanuras y laderas de montaña, aquí se observan litologías como: arcillas y limos, arenas y gravas no consolidadas depositadas por la corriente de los ríos flujos de agua y corriente laminares todas ellas incluyen sedimentos fluviales y coluviales, (Perales Palacios, 1993).

Depósitos Aluviales Antiguos (Qh- al1). - En estos depósitos se encuentran en laderas de los lagos, aquí se observan litologías como; gravas, arenas y limoarcillas semiconsolidadas depositadas a las laderas del Lago Titicaca. (Aliaga et al., 2015).

Geología Local

Mesozoico

a) Cretáceo

- **Superior**

Formación Vilquechico (Ks-vi). - Limoarcillitas gris verde intercalados con lomiarcillitas marron rojizos.

- **Inferior**

Formación Ayabacas (Kis-ay). - Calizas micriticas gris claras con niveles de lomiarcillitas rojas.

Cenozoico

a) Paleógeno

- **Eoceno**

Grupo Puno (P-pu). - Areniscas feldespáticas y líticas interestratificados con conglomerados dentro de una matriz rojiza.

b) Neógeno



- **Mioceno**

Grupo Tacaza (PN-ta). - Lavas andesíticas, porfíricas de fenocristales de plagioclasas y hornablendas interestratificadas de brechas volcánicas y matriz verdosa.

- c) Cuaternario

- **Holoceno**

Depósitos Aluviales Recientes (Qh-al2). - Está conformado por arenas y limoarcillas inconsolidadas.

- **Pleistoceno**

Depósitos Aluviales Antiguos (Qh-al1). - Está conformado por gravas, arenas y limoarcillas semiconsolidadas.

4.1.7. Descarga de Efluentes Líquidos Residuales

El vertido de aguas residuales sin tratamiento, directamente hacia la bahía menor del lago tiene dos orígenes, los efluentes “clandestinos” de aguas servidas y los drenajes fluviales sin tratamiento. Estos aparecen identificados en la figura 2. Acrecientan su volumen en la época de lluvias (de Octubre a Diciembre) y arrastran consigo dos formas de detritos: el componente superficial orgánico e inorgánico del suelo y el material de los residuos sólidos libres que encuentran por el camino, (PDU-Puno, 2012-2022).

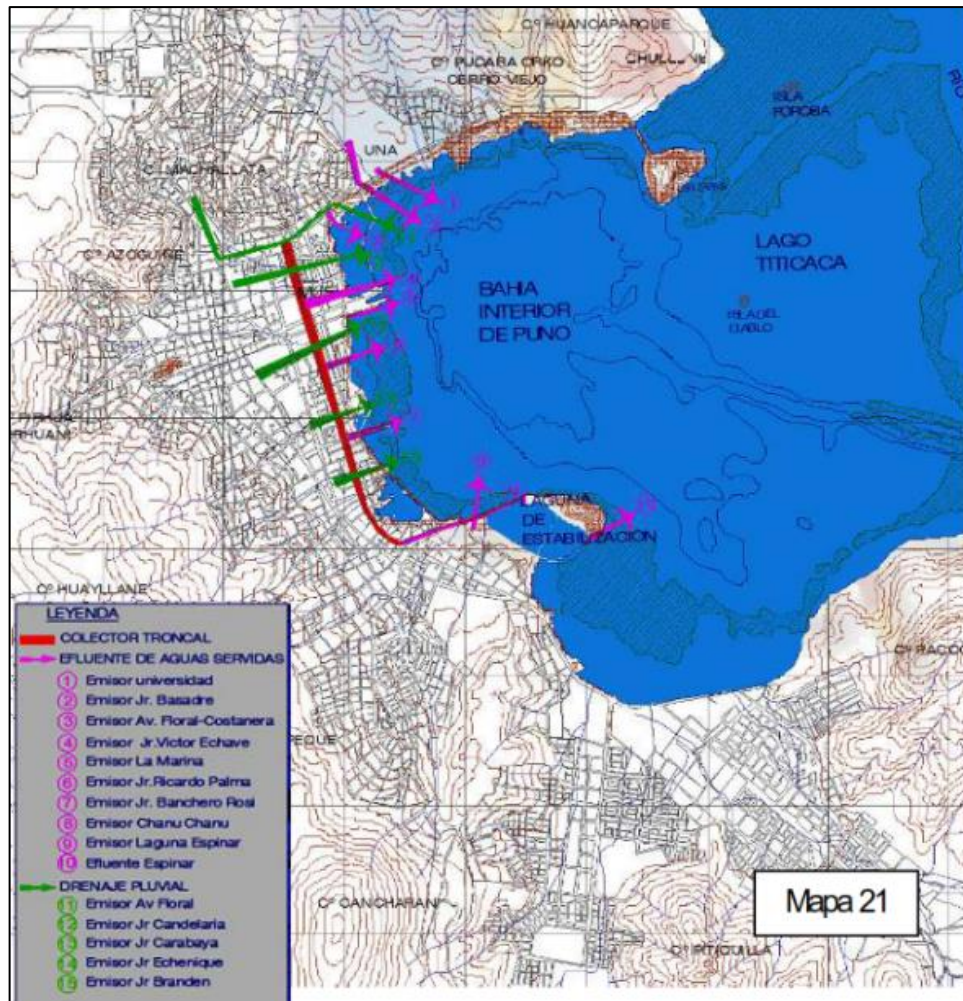


Figura 1. Descarga de Efluentes Líquidos Residuales de la ciudad de Puno.
Fuente: (PDU-Puno, 2012-2022).

4.2. PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

El análisis de las muestras, de metales pesados presentes en los efluentes líquidos, fueron realizados en los laboratorios de calidad ambiental de la Universidad Mayor de San Andrés de Bolivia. La metodología aplicada en el laboratorio de Calidad Ambiental fue Espectroscopia por Emisión Atómica.

Espectroscopia por Emisión Atómica se utiliza para determinar la concentración de un elemento particular en una muestra y puede determinar más de 70 elementos diferentes en soluciones.



Los resultados emitidos por el laboratorio de calidad ambiental, en donde se evaluaron las concentraciones de los metales pesados como arsénico, mercurio, cadmio, plomo y cobre, estos resultados fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental establecidos por el Ministerio del Ambiente para agua.



CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1. CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN LOS EFLUENTES LÍQUIDOS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE PUNO

Se realizó el estudio de investigación porque se considera que es de importancia tanto a nivel regional, nacional e inclusive internacional, la contaminación hacia el Lago Titicaca de las desembocaduras por los efluentes líquidos residuales residuos provenientes de la ciudad de Puno son de manera informal e incontrolada, esto se da al descuido por parte de las entidades responsables y por falta de fiscalización del gobierno, lo cual expone a las personas que habitan cercana a la Bahía interior de Lago a la contaminación de niveles altos, es por ello que en este estudio se determinó evaluar el grado de contaminación de contaminación del agua con los metales pesados y graficar la distribución de estos elementos que causan la alteración del ecosistema.

En las siguientes tablas presento, los resultados con las que se demostrara las concentraciones de los metales pesados respectivamente a lo largo de las desembocaduras de los efluentes líquidos residuales provenientes de la ciudad de Puno.

5.1.1. Resultados Obtenidos de la Muestra 1

Según los resultados en la tabla 9, emitidos por el laboratorio; se observó que el potencial de hidrogeno (pH) se encuentra dentro del límite de determinación del equipo resultando 6,5 al igual que la conductibilidad eléctrica 2002 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En los resultados de los metales pesados se observó que tres de los cinco metales analizados no lograron ser analizados por el equipo, en el caso del arsénico se obtuvo $< 0,0010 \text{ mg/l}$, cobre $< 0,040 \text{ mg/l}$ y mercurio $< 0,00020 \text{ mg/l}$, de las cuales estos metales se encontraron por debajo del límite de determinación del equipo. En cambio, en el caso del cadmio se obtuvo

0,0055 mg/l y el plomo 0,012 mg/l, estos se encuentran por encima de los límites de determinación del equipo.

Tabla 9. Resultados obtenidos de la muestra 1

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDAD	LÍMITE DE DETERMINACIÓN	M 1 - AGUA SERVIDA 120-1
pH	EPA 150.1		1 - 14	6,5
Conductividad Eléctrica	EPA 120.1	μS/cm	1,0	2002
Arsénico	EPA 206.2	mg/l	0,0010	<0,0010
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,00050	0,0055
Cobre	EPA 220.1	mg/l	0,040	<0,040
Mercurio	EPA 245.1	mg/l	0,00020	<0,00020
Plomo	EPA 239.2	mg/l	0,0020	0,012

Fuente: EPA – Laboratorio de Calidad Ambiental de la UMSA, 2021.

5.1.2. Resultados Obtenidos de la Muestra 2

Según los resultados en la tabla 10 emitidos por el laboratorio; se observó que el potencial de hidrogeno (pH) se encuentra dentro del límite de determinación del equipo resultando 7,2 al igual que la conductibilidad eléctrica 2210 μS/cm. En los resultados de los metales pesados se observó que dos de los cinco metales analizados no lograron ser analizados por el equipo, en el caso del cobre se obtuvo < 0,040 mg/l y mercurio < 0,00020 mg/l de las cuales estos metales se encontraron por debajo del límite de determinación del equipo. En cambio, en el caso del arsénico se obtuvo 0,0033 mg/l, cadmio 0,0090 mg/l y el Plomo 0,023 mg/l, estos se encuentran por encima de los límites de determinación del equipo.

Tabla 10. Resultados obtenidos de la muestra 2

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDAD	LÍMITE DE DETERMINACIÓN	M 2 - AGUA SERVIDA 120-1
pH	EPA 150.1		1 – 14	7,2
Conductividad Eléctrica	EPA 120.1	μS/cm	1,0	2210
Arsénico	EPA 206.2	mg/l	0,0010	0,0033
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,00050	0,0090
Cobre	EPA 220.1	mg/l	0,040	<0,040
Mercurio	EPA 245.1	mg/l	0,00020	<0,00020
Plomo	EPA 239.2	mg/l	0,0020	0,023

Fuente: EPA – Laboratorio de Calidad Ambiental de la UMSA, 2021.

5.1.3. Resultados Obtenidos de la Muestra 3

Según los resultados en la tabla 11, emitidos por el laboratorio en el primer punto de muestreo se observó que el potencial de hidrogeno (pH) se encuentra dentro del límite de determinación del equipo resultando 6,9 al igual que la conductibilidad eléctrica 1531 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En los resultados de los metales pesados se observó que dos de los cinco metales analizados no lograron ser analizados por el equipo, en el caso del cobre se obtuvo $< 0,040 \text{ mg/l}$ y mercurio $< 0,00020 \text{ mg/l}$ de las cuales estos metales se encontraron por debajo del límite de determinación del equipo. En cambio, en el caso del arsénico se obtuvo $0,012 \text{ mg/l}$, cadmio $0,0080 \text{ mg/l}$ y el plomo $0,0087 \text{ mg/l}$, estos se encuentran por encima de los límites de determinación del equipo.

Tabla 11. Resultados obtenidos de la muestra 3

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDAD	LÍMITE DE DETERMINACIÓN	M 3 - AGUA SERVIDA 120-1
pH	EPA 150.1		1 – 14	6,9
Conductividad Eléctrica	EPA 120.1	$\mu\text{S}/\text{cm}$	1,0	1531
Arsénico	EPA 206.2	mg/l	0,0010	0,012
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,00050	0,0080
Cobre	EPA 220.1	mg/l	0,040	$<0,040$
Mercurio	EPA 245.1	mg/l	0,00020	$<0,00020$
Plomo	EPA 239.2	mg/l	0,0020	0,0087

Fuente: EPA – Laboratorio de Calidad Ambiental de la UMSA, 2021.

5.1.4. Resultados Obtenidos de la Muestra 4

Según los resultados en la tabla 12 emitidos por el laboratorio en el primer punto de muestreo se observó que el potencial de hidrogeno (pH) se encuentra dentro del límite de determinación del equipo resultando 6,9 al igual que la conductibilidad eléctrica 2105 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En los resultados de los metales pesados se observó que tres de los cinco metales analizados no lograron ser analizados por el equipo, en el caso del arsénico se obtuvo $< 0,0010 \text{ mg/l}$, cobre $< 0,040 \text{ mg/l}$ y mercurio $< 0,00020 \text{ mg/l}$ de las cuales estos metales se encontraron por debajo del límite de determinación del equipo. En cambio, en el caso

del cadmio se obtuvo 0,0060 mg/l y el plomo 0,010 mg/l se encuentran por encima de los límites de determinación del equipo.

Tabla 12. Resultados obtenidos de la muestra 4

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDAD	LÍMITE DE DETERMINACIÓN	M 4 - AGUA SERVIDA 120-1
pH	EPA 150.1		1 – 14	6,9
Conductividad Eléctrica	EPA 120.1	μS/cm	1,0	2105
Arsénico	EPA 206.2	mg/l	0,0010	<0,0010
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,00050	0,0060
Cobre	EPA 220.1	mg/l	0,040	<0,040
Mercurio	EPA 245.1	mg/l	0,00020	<0,00020
Plomo	EPA 239.2	mg/l	0,0020	0,010

Fuente: EPA – Laboratorio de Calidad Ambiental de la UMSA, 2021.

5.1.5. Resultados Obtenidos de la Muestra 5

Según los resultados en la tabla 13 emitidos por el laboratorio en el primer punto de muestreo se observó que el potencial de hidrogeno (pH) se encuentra dentro del límite de determinación del equipo resultando 7,5 al igual que la conductibilidad eléctrica 1023 μS/cm. En los resultados de los metales pesados se observó que dos de los cinco metales analizados no lograron ser analizados por el equipo, en el caso del cobre se obtuvo < 0,040 mg/l y mercurio < 0,00020 mg/l de las cuales estos metales se encontraron por debajo del límite de determinación del equipo. En cambio, en el caso del arsénico se obtuvo 0,0027 mg/l, cadmio 0,0080 mg/l y el plomo 0,0023 mg/l, estos se encuentran por encima de los límites de determinación del análisis del equipo.

Tabla 13. Resultados obtenidos de la muestra 5

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDAD	LÍMITE DE DETERMINACIÓN	M 5 - AGUA SERVIDA 120-1
pH	EPA 150.1		1 – 14	7,5
Conductividad Eléctrica	EPA 120.1	μS/cm	1,0	1023
Arsénico	EPA 206.2	mg/l	0,0010	0,0027
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,00050	0,0080
Cobre	EPA 220.1	mg/l	0,040	<0,040
Mercurio	EPA 245.1	mg/l	0,00020	<0,00020
Plomo	EPA 239.2	mg/l	0,0020	0,0023

Fuente: EPA – Laboratorio de Calidad Ambiental de la UMSA, 2021.

5.2. GRADO DE CONTAMINACIÓN DE METALES PESADOS ACORDE A LOS DECRETOS

En el estudio que se realizó se pretende saber si los metales pesados como arsénico, cadmio, cobre, mercurio y plomo se encuentran por debajo o por encima de los estándares de calidad ambiental (ECA) para agua del ministerio del ambiente, y de esta forma representarlos en figuras, y a la vez verificar los siguientes comportamientos de cada uno de los metales pesados en análisis.

5.2.1. Resultados Obtenidos del Metal Pesado Arsénico

Tabla 14. Resultados obtenidos del metal pesado arsénico

PARÁMETRO	UNIDAD	ARSÉNICO	ECA
MUESTRA 1	mg/l	<0,0010	0,01
MUESTRA 2	mg/l	0,0033	0,01
MUESTRA 3	mg/l	0,012	0,01
MUESTRA 4	mg/l	<0,0010	0,01
MUESTRA 5	mg/l	0,0027	0,01

Fuente: elaboración propia, 2022.

Se puede apreciar en la tabla 14 que dos de las cinco muestras analizadas no lograron ser analizadas por el equipo. En la muestra 1 se observa que contiene bajas cantidades de arsénico, las cuales nos dan a indicar que la población de la zona muestreada de la Universidad y los vecinos aledaños utilizan en menor cantidad de este metal pesado y no se considera tóxico porque no sobrepasa los estándares de calidad ambiental. Se obtuvo < 0,0010 mg/l de arsénico que se encuentra por debajo de 0,01mg/l de las ECA. En la muestra 2 se observa que contiene bajas cantidades de arsénico, las cuales nos dan a indicar que la población de la zona muestreada del Malecón Turístico utiliza en menor cantidad de este metal pesado y no se considera tóxico porque no sobrepasa los estándares de calidad ambiental. Se obtuvo 0,0033 mg/l de arsénico que se encuentra por debajo de 0,01mg/l de las ECA. En la muestra 3 se observa que contiene altas cantidades de arsénico, las cuales nos dan a indicar que la población de la zona

muestreada del Centro de la ciudad de Puno utiliza una cantidad considerable de este metal pesado para que lleguen a las desembocaduras de los efluentes líquidos residuales y se considera tóxico porque sobrepasa los estándares de calidad ambiental. Se obtuvo 0,012 mg/l de arsénico que se encuentra por encima de 0,01mg/l de las ECA. En la muestra 4 se observa que contiene bajas cantidades de arsénico, las cuales nos dan a indicar que la población de la zona muestreada del Hospital Regional y vecinos aledaños utiliza en menor cantidad de este metal pesado o controlan de alguna manera para que no sea liberado al exterior, no se considera tóxico porque no sobrepasa los estándares de calidad ambiental. Se obtuvo < 0,0010 mg/l de arsénico que se encuentra por debajo de 0,01mg/l de las ECA. En la muestra 5 se observa que contiene bajas cantidades de arsénico, las cuales nos dan a indicar que la población de la zona muestreada del Terminal Terrestre y los vecinos aledaños utiliza en menor cantidad de este metal pesado y no se considera tóxico porque no sobrepasa los estándares de calidad ambiental. Se obtuvo 0,0027 mg/l de arsénico que se encuentra por debajo de 0,01mg/l de las ECA.

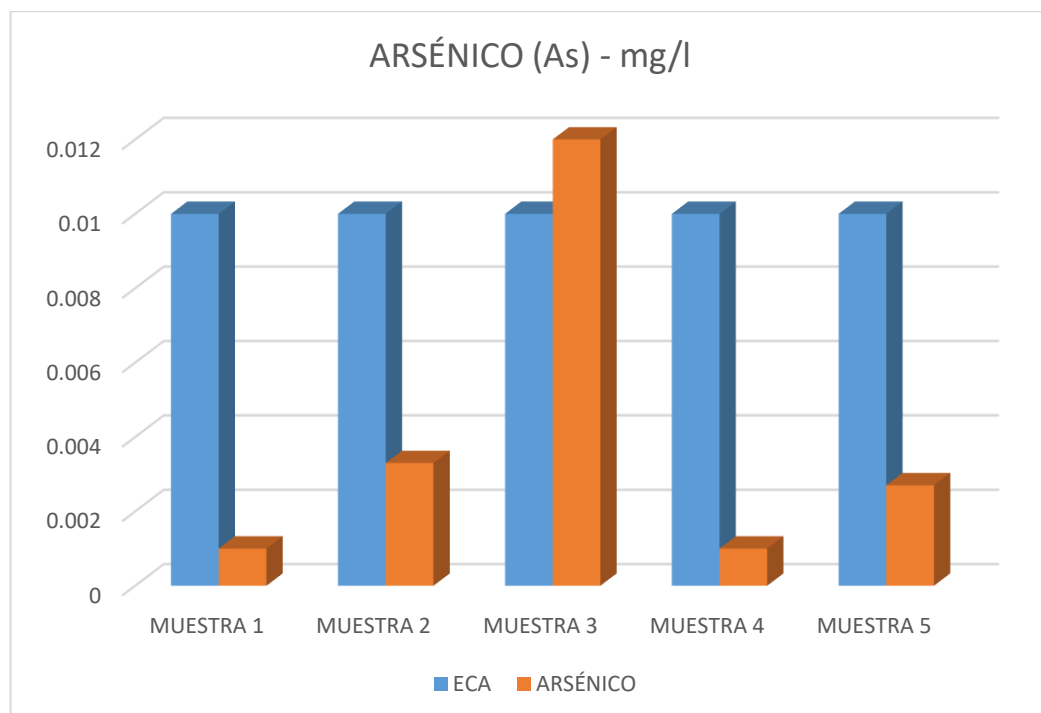


Figura 2. Resultados de la comparación de las muestras de arsénico, según las ECA
Fuente: elaboración propia, 2022.

5.2.2. Resultados Obtenidos del Metal Pesado Cadmio

Tabla 15. Resultados obtenidos del metal pesado Cadmio

PARÁMETRO	UNIDAD	CADMIO	ECA
MUESTRA 1	mg/l	0,0055	0,004
MUESTRA 2	mg/l	0,0090	0,004
MUESTRA 3	mg/l	0,0080	0,004
MUESTRA 4	mg/l	0,0060	0,004
MUESTRA 5	mg/l	0,0080	0,004

Fuente: elaboración propia, 2022.

Se puede apreciar en la tabla 15 que todas las muestras analizadas se lograron ser analizadas por el equipo. En la muestra 1 se observa que contiene altas cantidades de cadmio, las cuales nos dan a indicar que la población de la zona muestreada de la Universidad y los vecinos aledaños utilizan en una cantidad considerable de este metal pesado y que sea considerado tóxico porque sobrepasa los estándares de calidad ambiental. Se obtuvo 0,0055 mg/l de cadmio que se encuentra por encima de 0,004 mg/l de las ECA. En la muestra 2 se observa que contiene la más alta cantidades de cadmio de las cinco muestras, las cuales nos dan a indicar que la población de la zona muestreada del Malecón Turístico utiliza en una gran cantidad de este metal pesado y sea tóxico porque sobrepasa los estándares de calidad ambiental. Se obtuvo 0,0090 mg/l de cadmio que se encuentra por encima de 0,004 mg/l de las ECA. En la muestra 3 se observa que contiene altas cantidades de cadmio, las cuales nos dan a indicar que la población de la zona muestreada del Centro de la ciudad de Puno utiliza una cantidad considerable de este metal pesado para que lleguen a las desembocaduras de los efluentes líquidos residuales y que se considere tóxico porque sobrepasa los estándares de calidad ambiental. Se obtuvo 0,0080 mg/l de cadmio que se encuentra por encima de 0,004 mg/l de las ECA. En la muestra 4 se observa que contiene altas cantidades de cadmio, las cuales nos dan a indicar que la población de la zona muestreada del Hospital Regional y vecinos aledaños utiliza una cantidad considerable de este metal pesado y que sea considera tóxico

porque sobrepasa los estándares de calidad ambiental. Se obtuvo 0,0060 mg/l de cadmio que se encuentra por encima de 0,004 mg/l de las ECA. En la muestra 5 se observa que contiene altas cantidades de cadmio, las cuales nos dan a indicar que la población de la zona muestreada del Terminal Terrestre y los vecinos aledaños utiliza una gran cantidad de este metal pesado no es controlado por lo que se considera tóxico porque sobrepasa los estándares de calidad ambiental. Se obtuvo 0,0080 mg/l de cadmio que se encuentra por encima de 0,004 mg/l de las ECA.

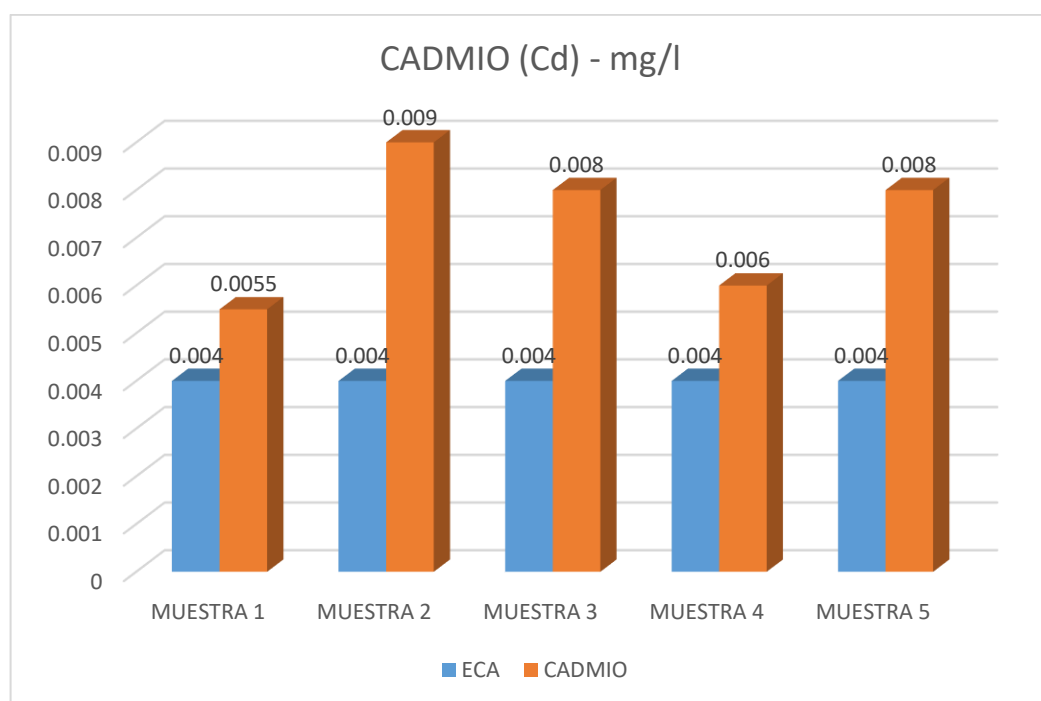


Figura 3. Resultados de la comparación de las muestras de cadmio y las ECA
Fuente: elaboración propia 2022.

5.2.3. Resultados Obtenidos del Metal Pesado Cobre

Tabla 16. Resultados obtenidos del metal pesado Cobre

PARÁMETRO	UNIDAD	COBRE	ECA
MUESTRA 1	mg/l	<0,040	0,02
MUESTRA 2	mg/l	<0,040	0,02
MUESTRA 3	mg/l	<0,040	0,02
MUESTRA 4	mg/l	<0,040	0,02
MUESTRA 5	mg/l	<0,040	0,02

Fuente: elaboración propia, 2022.

Se puede apreciar en la tabla 16 que las cinco muestras analizadas no lograron ser analizadas por el equipo. Esto nos da a indicar que los niveles de concentración de este metal son bajo y no se podría dar una comparación con los estándares de calidad ambiental. Se obtuvo $< 0,040$ mg/l de Cobre y no se pueden comparar con $0,02$ mg/l de las ECA.

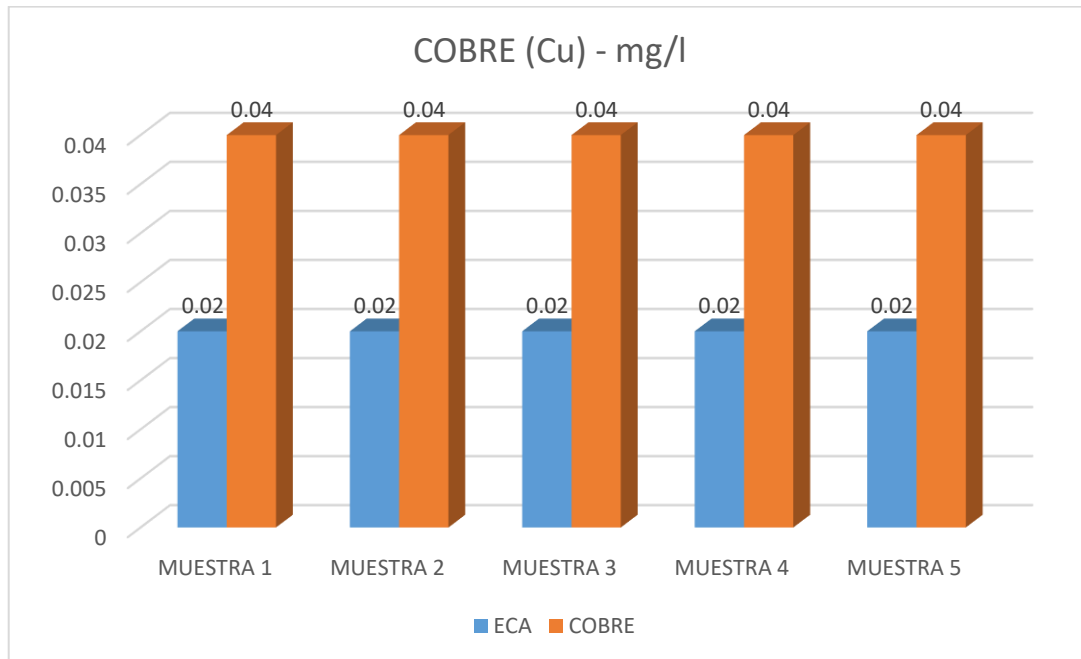


Figura 4. Resultados de las muestras de Cobre y las ECA

Fuente: elaboración propia, 2022.

5.2.4. Resultados Obtenidos del Metal Pesado Mercurio

Tabla 17. Resultados obtenidos del metal pesado Mercurio

PARÁMETRO	UNIDAD	MERCURIO	ECA
MUESTRA 1	mg/l	$<0,00020$	0,0001
MUESTRA 2	mg/l	$<0,00020$	0,0001
MUESTRA 3	mg/l	$<0,00020$	0,0001
MUESTRA 4	mg/l	$<0,00020$	0,0001
MUESTRA 5	mg/l	$<0,00020$	0,0001

Fuente: elaboración propia, 2022.

Se puede apreciar en la figura 17 que las cinco muestras no lograron ser analizadas por el equipo. Esto nos da a indicar que los niveles de concentración de este metal son bajo y no se podría dar una comparación con los estándares de calidad ambiental. Se obtuvo $< 0,00020$ mg/l de cobre y no se pueden comparar con $0,0001$ mg/l de las ECA.

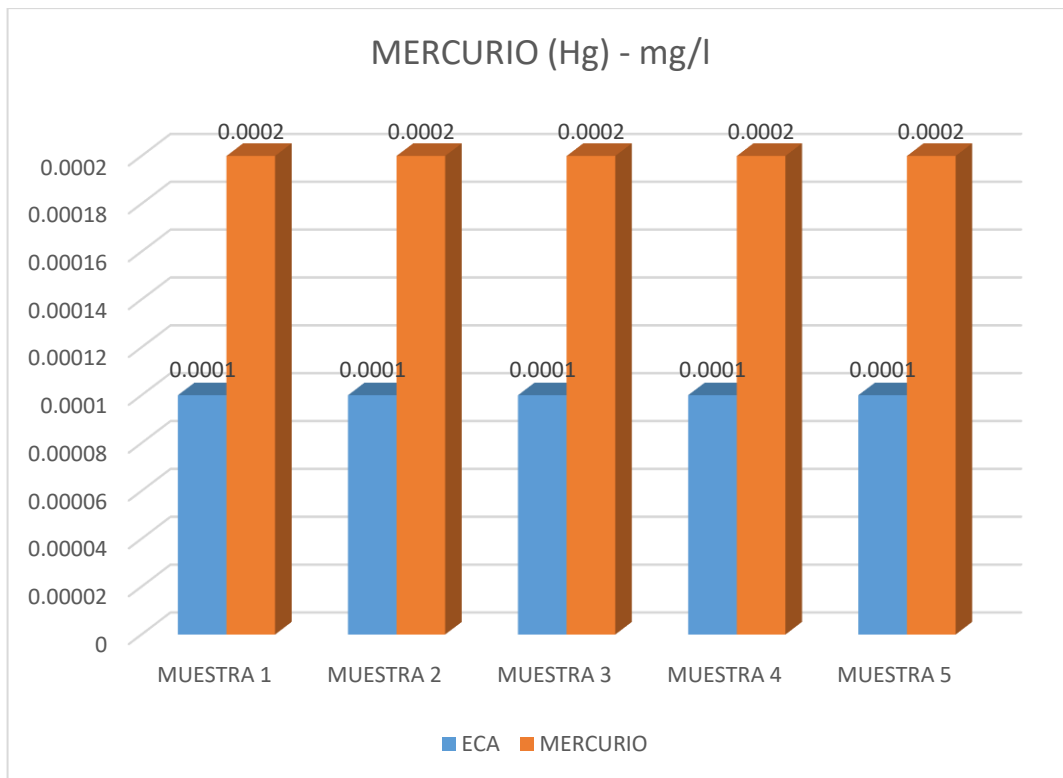


Figura 5. Resultados de las muestras de Mercurio y las ECA
Fuente: elaboración propia, 2022.

5.2.5. Resultados Obtenidos del Metal Pesado Plomo

Tabla 18. Resultados obtenidos del metal pesado Plomo

PARÁMETRO	UNIDAD	PLOMO	ECA
MUESTRA 1	mg/l	0,012	0,001
MUESTRA 2	mg/l	0,023	0,001
MUESTRA 3	mg/l	0,0087	0,001
MUESTRA 4	mg/l	0,010	0,001
MUESTRA 5	mg/l	0,0023	0,001

Fuente: elaboración propia, 2022.

Se puede apreciar en la tabla 18, que todas las muestras analizadas lograron ser analizadas por el equipo. En la muestra 1 se observa que contiene altas cantidades de plomo, las cuales nos dan a indicar que la población de la zona muestreada de la Universidad Nacional del Altiplano y los vecinos aledaños utilizan en una cantidad considerable de este metal pesado y que sea considerado tóxico porque sobrepasa los estándares de calidad ambiental. Se obtuvo 0,012 mg/l de plomo que se encuentra por encima de 0,001 mg/l de las ECA. En la muestra 2 se observa que contiene la más alta



cantidades de plomo de las cinco muestras, las cuales nos dan a indicar que la población de la zona muestreada del Malecón Turístico de la bahía interna de la ciudad de Puno, utiliza en una gran cantidad de este metal pesado y sea tóxico porque los estándares de calidad ambiental. Se obtuvo 0,023 mg/l de plomo que se encuentra por encima de 0,001 mg/l de las ECA. En la muestra 3 se observa que contiene altas cantidades de plomo, las cuales nos dan a indicar que la población de la zona muestreada del Centro de la ciudad de Puno utiliza, una cantidad considerable de este metal pesado, que son vertidos, para que lleguen a las desembocaduras de los efluentes líquidos residuales y que se considere tóxico porque sobrepasa los estándares de calidad ambiental. Se obtuvo 0,0087 mg/l de plomo que se encuentra por encima de 0,001 mg/l de las ECA. En la muestra 4 se observa que contiene altas cantidades de plomo, las cuales nos dan a indicar que la población de la zona muestreada del Hospital Regional y vecinos aledaños utiliza una cantidad considerable de este metal pesado y que sea considera tóxico porque sobrepasa los estándares de calidad ambiental. Se obtuvo 0,010 mg/l de plomo que se encuentra por encima de 0,001 mg/l de las ECA. En la muestra 5 se observa que contiene altas cantidades de plomo, las cuales nos dan a indicar que la población de la zona muestreada del Terminal Terrestre y los vecinos aledaños utiliza una gran cantidad de este metal pesado no es controlado por lo que se considera tóxico porque sobrepasa los estándares de calidad ambiental. Se obtuvo 0,0023 mg/l de plomo que se encuentra por encima de 0,001 mg/l de las ECA.

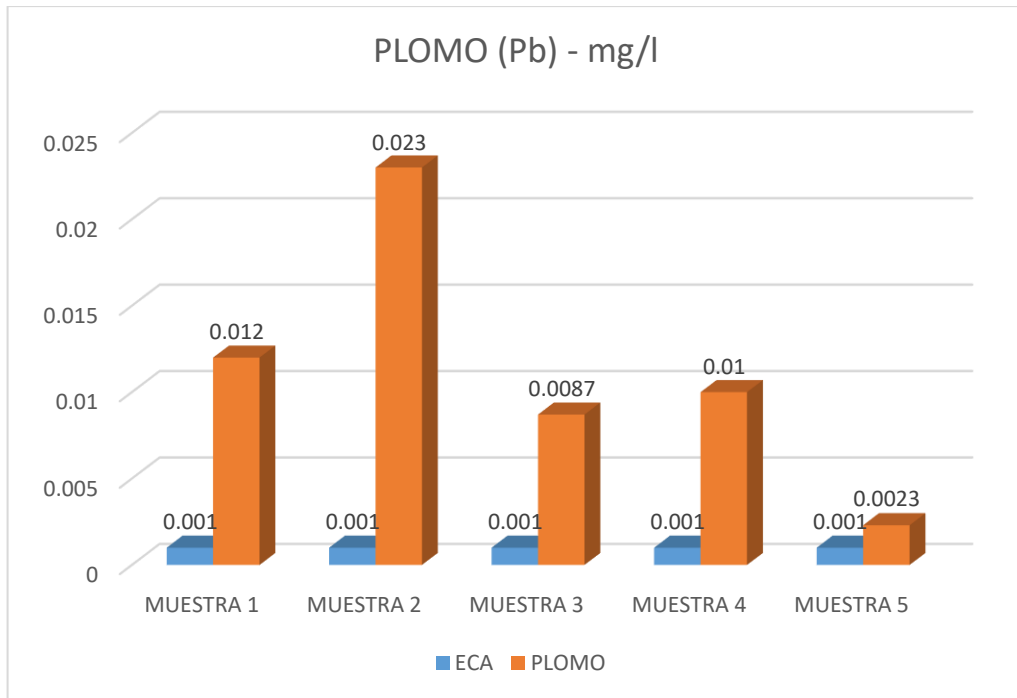


Figura 6. Resultados de la comparación de las muestras de Plomo y las ECA
Fuente: elaboración propia, 2022.

En la tabla 20 muestra la comparación de la concentración de todos los metales pesados muestreados con los estándares de calidad ambiental para luego observar su nivel de toxicidad que alcanza estos metales, se tomara en cuenta desde el nivel BAJO con poca concentración de metal, MEDIO con media concentración de metal y ALTO con alta concentración de metal.

Tabla 19. Nivel de toxicidad

NIVEL DE TOXICIDAD	
BAJO	Poca concentración de metal
MEDIO	Media concentración de metal
ALTO	Alta concentración de metal
-	Sin comparación

Fuente: elaboración propia, 2022.

Tabla 20. Comparación de los resultados obtenidos con las ECA.

	Metal	Concentración mg/l	ECA mg/l - D.S. N° 004-2017-MINAM	Nivel de toxicidad
Muestra 1	Arsénico	<0,0010	0,01	Bajo
	Cadmio	0,0055	0,004	Medio
	Cobre	<0,040	0,02	-
	Mercurio	<0,00020	0,0001	-
	Plomo	0,012	0,001	Alto
Muestra 2	Arsénico	0,0033	0,01	Bajo
	Cadmio	0,0090	0,004	Medio
	Cobre	<0,040	0,02	-
	Mercurio	<0,00020	0,0001	-
	Plomo	0,023	0,001	Alto
Muestra 3	Arsénico	0,012	0,01	Medio
	Cadmio	0,0080	0,004	Medio
	Cobre	<0,040	0,02	-
	Mercurio	<0,00020	0,0001	-
	Plomo	0,0087	0,001	Medio
Muestra 4	Arsénico	<0,0010	0,01	Bajo
	Cadmio	0,0060	0,004	Medio
	Cobre	<0,040	0,02	-
	Mercurio	<0,00020	0,0001	-
	Plomo	0,010	0,001	Alto
Muestra 5	Arsénico	0,0027	0,01	Bajo
	Cadmio	0,0080	0,004	Medio
	Cobre	<0,040	0,02	-
	Mercurio	<0,00020	0,0001	-
	Plomo	0,0023	0,001	Medio

Fuente: elaboración propia, 2022.

Se muestra en la tabla 20 que el metal plomo es el que posee mayor concentración y que se encuentran por encima de los estándares de calidad ambiental en los diferentes puntos muestreados, por tanto, es tóxico. Seguido del metal cadmio que tiene una concentración media y que también se encuentra por encima de los estándares de calidad ambiental. Y por último el metal arsénico que posee baja concentración y solo en un punto muestreado se encuentra por encima de los estándares de calidad ambiental. Los metales cobren y mercurio no lograron ser analizados por el equipo por lo cual no se comparó con los estándares de calidad ambiental.

En la figura 7 se realizó la comparación de los metales que lograron ser analizadas por el equipo, se muestra una comparación entre los metales pesados arsénico, cadmio y plomo, las cuales nos indican el plomo es el que se encuentra en grandes cantidades, seguido por el arsénico y cadmio, la cual se diferencian por la cantidad en que se presentan en cada punto muestreado.

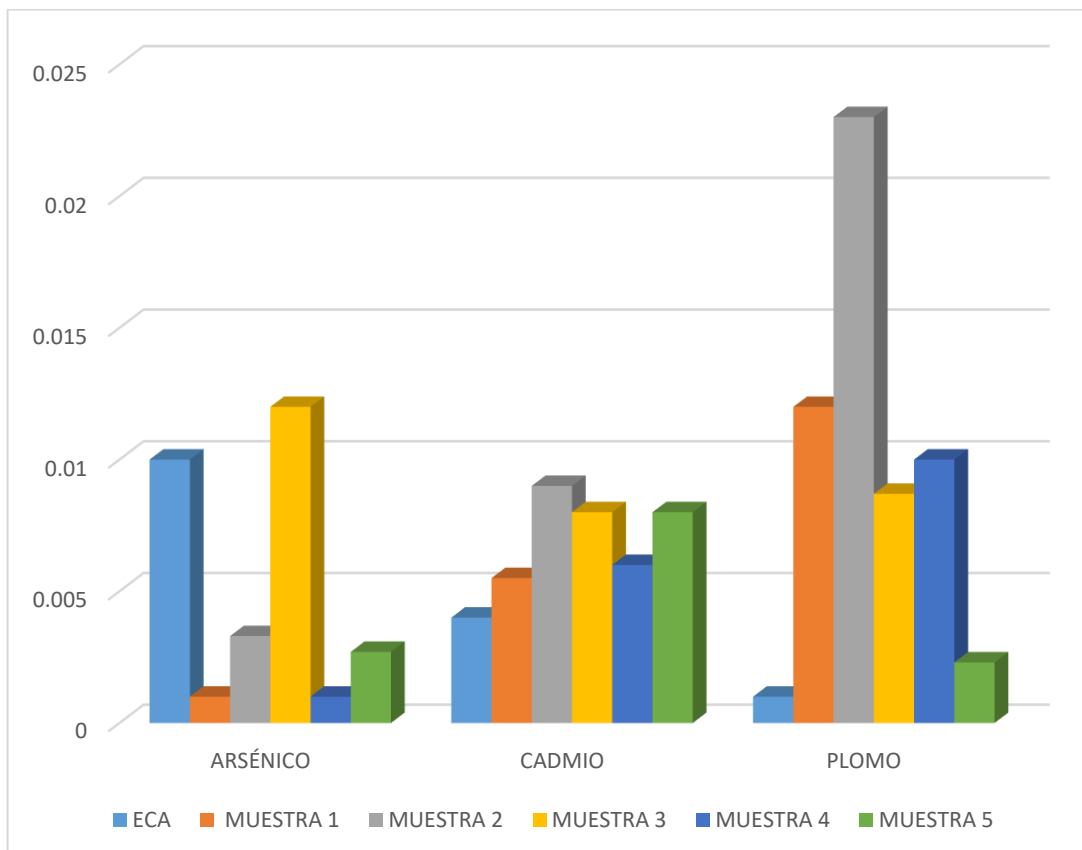


Figura 7. Comparación de los metales Arsénico, Cadmio y Cobre

Fuente: elaboración propia, 2022.

Los niveles de altos de concentración en los metales pesados como: antimonio, arsénico, cadmio, cobre, mercurio, selenio y zinc, tienen efectos en la salud y también afectan diferentes órganos, en el medio ambiente cambiando la alcalinidad del suelo produciendo alteraciones en las plantas, degradando el suelo y disminuyendo así la productividad, en otras palabras, puede llegar a producir desertificación, (Huarcaya Quispe, 2018).



Temperatura

Las temperaturas fluctuaron entre 13°C y 16°C. La temperatura se consideró a temperatura ambiente de la zona.

Las temperaturas fluctuaron entre 13°C y 16°C. La temperatura del agua influye en la velocidad de los procesos fisiológicos de organismos, tales como la respiración microbiana que es responsable de gran parte de la auto-purificación en los cuerpos de agua. (Capacoila Coila, 2017).

De igual manera es importante conocer la temperatura del cuerpo de agua, ya que este indicador puede ayudar a predecir o confirmar otras condiciones del agua; tales como el oxígeno disuelto (OD), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y la supervivencia de algunas especies acuáticas, (Fuentes Lerma, 2019).

Un valor promedio de 13.14°C a 2m de profundidad,(Ponce Herrera, 2019), y 13.2 °C a 3m de profundidad, (Pineda, 1997), lo cual podría deberse a la diferencia en profundidades en las que fueron reportados los valores de los antecedentes.

Los valores obtenidos próximos a 18 °C a 20 °C para aguas poco profundas, esto se debe a que las tasas de producción y descomposición se incrementan en la parte interior de la bahía de Puno, como efecto del calor, durante la época húmeda, (Bernal, Torres, Levy, & Northcote, 1984).

Potencial de Hidrogeno (pH)

En la tabla 21 se muestran los estándares de calidad ambiental con los parámetros del pH, estos son entre 6.5 – 8.5, y los resultados obtenidos de cada punto muestreado nos indican que se encuentran dentro de los estándares de calidad ambiental.

Tabla 21. Resultados de pH en las muestras

MUESTRA	PARÁMETRO	MÉTODO	AGUA SERVIDA 120-1	ECA
Muestra 1	pH	EPA 150.1	6,5	6,5 – 8,5
Muestra 2	pH	EPA 150.1	7,2	6,5 – 8,5
Muestra 3	pH	EPA 150.1	6,9	6,5 – 8,5
Muestra 4	pH	EPA 150.1	6,9	6,5 – 8,5
Muestra 5	pH	EPA 150.1	7,5	6,5 – 8,5

Fuente: elaboración propia, 2022.

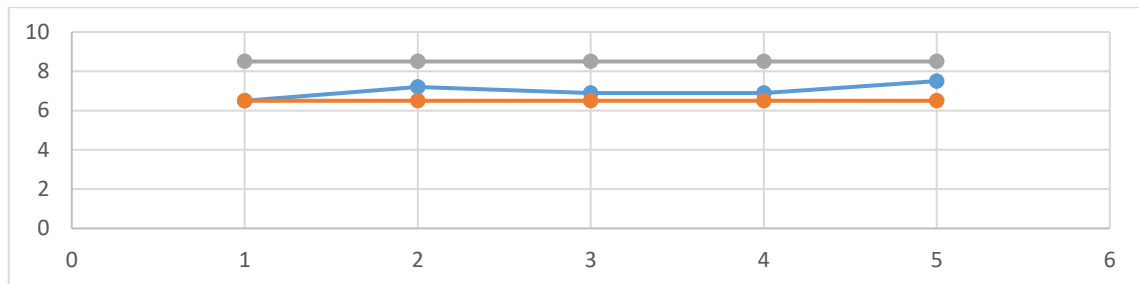


Figura 8. Representación gráfica de las muestras pH

Fuente: elaboración propia, 2022.

El pH a nivel superficial mostró valores que fluctuaron entre 8.65 a 9.63 de pH. De estos valores se dice que la bahía interior de Puno contiene aguas con pH alcalino. El oxígeno disuelto se registraron valores mínimos que fluctuaron entre 2.10 a 3.28 mg/l, con los valores mínimos hacia las cercanías de Isla Espinar, (Callata Tapia, 2015).

El valor de pH de una fuente de agua es una medida de su acidez o alcalinidad. Para el agua potable, la OMS directrices establecen el pH en el rango de 6.5 a 8.5, (OMS, 2008).

El pH en aguas naturales esta entre 6.0 y 8.5, aunque más bajos pueden ocurrir en aguas diluidas con alto contenido de materia orgánica, y valores más altos en aguas eutróficas, salmueras subterráneas y lagos salados, (Chapman, 2021).

Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica en la tabla 22 nos da a conocer la cantidad de sólidos disueltos existentes en el Lago y por lo tanto tomamos como indicador cuál de los puntos del estudio es más afectado a la contaminación y vulnerable. En los estándares de calidad

ambiental la conductividad eléctrica es de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, se observa que las muestras se encuentran por encima de los estándares de calidad ambiental y con la excepción de la muestra 5 que se encuentra por debajo de los estándares de calidad.

Tabla 22. Resultados de la Conductividad Eléctrica en las muestras

MUESTRA	PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDAD	AGUA SERVIDA 120-1	ECA
Muestra 1	Conductividad Eléctrica	EPA 120.1	$\mu\text{S}/\text{cm}$	2002	1500
Muestra 2	Conductividad Eléctrica	EPA 120.1	$\mu\text{S}/\text{cm}$	2210	1500
Muestra 3	Conductividad Eléctrica	EPA 120.1	$\mu\text{S}/\text{cm}$	1531	1500
Muestra 4	Conductividad Eléctrica	EPA 120.1	$\mu\text{S}/\text{cm}$	2105	1500
Muestra 5	Conductividad Eléctrica	EPA 120.1	$\mu\text{S}/\text{cm}$	1023	1500

Fuente: elaboración propia, 2022.

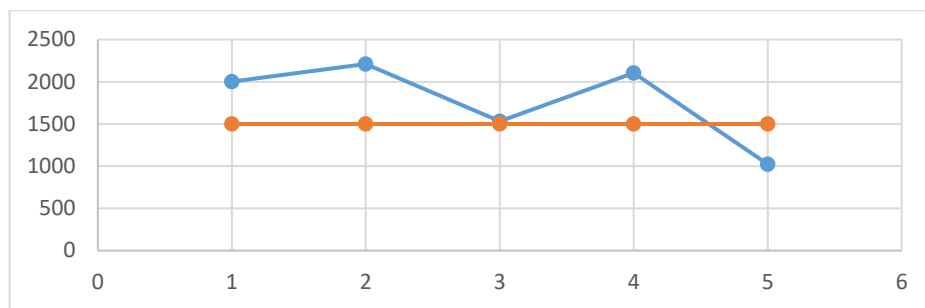


Figura 9. Representación gráfica de las muestras de Conductividad Eléctrica

La conductividad nos da a conocer la cantidad de sólidos disueltos existentes y por ende tomamos como indicador cuál de los puntos del estudio es más afectado a la contaminación y vulnerable, (Capacoila Coila, 2017).

La conductividad eléctrica en la mayoría de las aguas dulces es de 10 a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pero puede exceder los 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, especialmente en aguas contaminadas, o aquello que reciben grandes cantidades de afluentes, (Chapman, 2021).



VI. CONCLUSIONES

- En las muestras analizadas de los diferentes puntos de muestreo, se observa la presencia de concentraciones de metales pesados como arsénico, cadmio y plomo, mientras que mercurio y cobre no fueron detectados por equipo. Estos resultados fueron obtenidos en el laboratorio de Calidad Ambiental de la UMSA la Paz Bolivia.
- Los valores obtenidos presentan concentraciones de metales pesados; el arsénico cuyo resultado máximo fue, la muestra 3 con 0,012 mg/l y mínimo la muestra 1 y 4 con $< 0,0010$ mg/l; en el cadmio el resultado máximo fue, la muestra 2 con 0,0090 mg/l $>$ a 0,004 mg/l y mínimo la muestra 1 con 0,0055 mg/l; en el plomo el resultado máximo fue, la muestra 2 con 0,023 mg/l y mínimo la muestra 5 con 0,0023 mg/l; en el cobre en todos fueron $< 0,040$ mg/l y en el mercurio en todas fueron $< 0,00020$ mg/l. La temperatura es 13°C a 16°C , se considera temperatura ambiente, el pH se encuentre entre 6,5 y 7,5, la conductividad eléctrica se encuentre entre 1023 y 2210 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- Al comparar del grado de contaminación de los metales pesados con los estándares de calidad ambiental de D.S. N° 004-2017-MINAM se obtuvo que el arsénico, cadmio y plomo sobrepasan los estándares de calidad ambiental, las cuales se consideran de nivel alto, considerando el plomo como el metal más tóxico de todos los analizados; en cambio el cobre y mercurio se encuentran por debajo de los estándares de calidad ambiental, las cuales se considera de nivel bajo.



VII. RECOMENDACIONES

- Seguir realizando estudios de investigación en las desembocaduras de los efluentes líquidos residuales en el Lago Titicaca para poder tener un control de la concentración de metales pesados; ya que la tecnología avanza cada día y con ellos se seguirán presentado concentraciones de metales pesados, con el cual se seguirá contaminado el medio ambiente y nuestros organismos.
- Se debería considerar realizar monitoreos periódicamente para controlar el grado de contaminación y tomar medidas preventivas, por ejemplo, a través de charlas y campañas informativas sobre la contaminación del Lago Titicaca y el daño que causa al medio ambiente y a nuestros organismos, para que la población tome conciencia sobre la contaminación.
- Realizar tratamientos de fitorremediación, biorremediación, extracción de metales, entre otros, para los metales que sobrepasan los estándares de calidad ambiental y así disminuir el efecto dañino que causa.



VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aliaga, M. R. G., Económica, G., & Ramirez, B. A. L. (2015). INFORME FINAL DEL
ÁREA DE GEOLOGÍA REGIÓN PUNO.

Ley de Recursos Hídricos, (2019).

Argentina.gob.ar. (2015). Lago Titicaca, Bolivia y Perú. Retrieved from
<https://www.argentina.gob.ar/ciencia/conae/educacion-y-formacion-masiva-materiales-educativos/lago-titicaca-bolivia-y-peru-landsat-8-oli-31-de-agosto-de-2015#:~:text=El%20lago%20Titicaca%20se%20encuentra,una%20profundidad%20de%20280%20metros.>

Arnous, M. O., & Hassan, M. A. J. A. J. o. G. (2015). Heavy metals risk assessment in water and bottom sediments of the eastern part of Lake Manzala, Egypt, based on remote sensing and GIS, 8, 7899-7918.

Aunis, D., Miras-Portugal, M.-T., & Mandel, P. J. B. e. B. A.-P. S. (1974). Bovine adrenal medullary dopamine- β -hydroxylase: Studies on the structure. 365(1), 259-273.

Barreto, P. J. L. d. C. A. F. d. C. D. A. d. L. U. N. S. A. d. M. (2009). Procedimiento de muestreo de agua superficial. 1-9.

Bernal, H. T., Torres, J., Levy, D., & Northcote, T. G. J. B. I. d. M. d. P. (1984). Pesca experimental en aguas negras y limpias del litoral de la Bahía de Puno, Lago Titicaca, Peru. 8(6 (Extra)), 36-39.

Callata Tapia, F. E. (2015). Monitoreo y evaluación del cuerpo de agua de la bahía interior de Puno-Lago Titicaca.



- Capacoila Coila, J. (2017). *Evaluación de la concentración de metales pesados en las aguas superficiales del río Coata.*
- Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N., & Smith, V. H. J. E. a. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. 8(3), 559-568.
- Carpio Vasquez, B. O. (2016). Contaminación por metales pesados en macrofitas de los principales rios tributarios del Lago Titicaca.
- Chaiña Nuñez, N. F. (2016). *Evaluación de la remoción de la carga orgánica en un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente, para el tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Puno–2015.*
- Chapman, D. (2021). *Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*: CRC Press.
- Choque Yucra, M. (2017). *Remoción de iones Cadmio (II), Plomo (II) y Níquel (II) de lodos sedimentados en la bahía interior de Puno-Lago Titicaca utilizando bioadsorbente acuoso de la semilla de tarwi (Lupinus mutabilis).*
- Climate-Data.Org. (2020). Clima Puno. Retrieved from <https://es.climate-data.org/america-del-sur/peru/puno/puno-1013/>
- COBCM/COBCLM. (2015). Descripción de Indicadores.
- Díaz, M. J. P. (2013). Importancia del Agua.
- Franco, L. F. L., Muñoz, P. T. L., & Garcia, F. G. M. J. B. e. e. s. A. y. A. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. 14(2), 145-153.



- Fransisca, Y., Small, D. M., Morrison, P. D., Spencer, M. J., Ball, A. S., & Jones, O. A. J. C. (2015). Assessment of arsenic in Australian grown and imported rice varieties on sale in Australia and potential links with irrigation practises and soil geochemistry. *138*, 1008-1013.
- Fuentes Lerma, R. F. (2019). Relación de oxígeno disuelto con los parámetros físicos en el puerto muelle de la bahía interior del lago titicaca–Puno, 2019.
- García-Montaña, J., Domènech, X., García-Hortal, J. A., Torrades, F., & Peral, J. J. J. o. h. m. (2008). The testing of several biological and chemical coupled treatments for Cibacron Red FN-R azo dye removal. *154*(1-3), 484-490.
- Gil Pérez, D., Furió Más, C. J., Valdés, P., Salinas, J., Martínez Torregrosa, J., Guisalola, J., . . . González, E. M. J. E. d. l. c. r. d. i. y. e. d. (1999). ¿ Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio?
- Herrera, C., Pacheco, P., Orihuela, M., & Cobo, E. (2018). Guía de monitoreo participativo de la calidad del agua. In: Obtenido de [https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/guia](https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/guia....)
- Huarcaya Quispe, R. D. (2018). *Identificar los niveles de concentración de metales pesados presentes en las aguas provenientes de la rampa San Marcelo–CIA de minas Sillustani SA.*
- iagua. (2016). Las propiedades del agua. Retrieved from <https://www.iagua.es/noticias/mexico/conagua/17/05/16/propiedades-agua>



Induanalisis. (2019). TURBIDEZ. Retrieved from
https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/turbidez_28#:~:text=La%20turbidez%20es%20una%20medida,de%20la%20calidad%20del%20agua.

Instituto Nacional de Estadística e Informática, (2017).

Juanena, C., Román, D. A. P., Sosa, A., Moll, A. J., Machado, S., Peredo, G., & Laborde, A. J. R. d. S. A. (2021). Identificación de la contaminación con plomo en comunidades vulnerables: experiencia de una Unidad Ambiental en atención primaria en Uruguay. *21*(1), 16-22.

Lepori, E. C. V. J. A. b. c. l. (2015). Hidroarsenicismo crónico regional endémico en Argentina. *49*(1), 83-104.

Londoño, Á. L., Gallego, M. L., Bayona, A., & Landázuri, P. J. R. d. S. P. (2011). Prevalencia de hipotiroidismo y relación con niveles elevados de anticuerpos antiperoxidasa y yoduria en población de 35 y más años en Armenia. 2009-2010. *13*, 998-1009.

Marruecos, L., Nogué, S., & Nolla, J. (1993). *Toxicología clínica*: Springer-Verlag Ibérica Barcelona.

Matamoros, V., Arias, C., Brix, H., & Bayona, J. M. J. W. r. (2009). Preliminary screening of small-scale domestic wastewater treatment systems for removal of pharmaceutical and personal care products. *43*(1), 55-62.

Mejía, C. A. Z., González, J. T., & Monzón, I. T. J. R. F. d. I. U. d. A. (2011). Concentración y distribución de metales pesados (Pb, Zn, Cu, Cd y Cr) en sedimentos viarios urbanos. (58), 53-62.



Mejia, D. M. L., Morales, D. F. O., Navarro, J. K. S., & Espinal, C. I. (2021). Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales en la cabecera de la vereda Santa Teresa de la ciudad de Ibagué en el departamento de Tolima.

Miller, G. T., de León Rodríguez, I., & Velázquez, V. G. (1994). Ecología y medio ambiente: introducción a la ciencia ambiental, el desarrollo sustentable y la conciencia de conservación del planeta Tierra. Retrieved from

Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias, (2017), Diario Oficial del Bicentenario EL PERUANO.

LEY GENERAL DEL AMBIENTE, (2005).

Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, (2010).

Caracterización de fuentes de agua y del agua para consumo humano, (2015), PROGRAMA DE INCENTIVOS A LA MEJORA DE LA GESTIÓN MUNICIPAL - META 35.

Molden, D., Oweis, T. Y., Pasquale, S., Kijne, J. W., Hanjra, M. A., Bindraban, P. S., . . . Farahani, H. (2007). *Pathways for increasing agricultural water productivity*. Retrieved from

Murray, C. J., Abraham, J., Ali, M. K., Alvarado, M., Atkinson, C., Baddour, L. M., . . . Birbeck, G. J. J. (2013). The state of US health, 1990-2010: burden of diseases, injuries, and risk factors. *310*(6), 591-606.

Nava-Ruíz, C., & Méndez-Armenta, M. J. A. d. N. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *16*(3), 140-147.



- Salud en el mundo 2008 de la Organización Mundial de la Salud, (2008).
- Orellana, J. J. R. e. (2005). *Características de los líquidos residuales*. (19),
- Palacios, B. A. J. A. d. Q. d. I. R. (2019). Arsénico, As. Z= 33¿ Qué haremos con el cadáver del arcón?, *115(2)*, 95-95.
- Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Puno. 2012-2022, (2012-2022).
- Perales Palacios, F. J. J. E. d. I. C. R. d. i. y. e. d. (1993). La resolución de problemas: una revisión estructurada.
- Pineda, D. (1997). *Influencia de la eutrofización en la distribución espacial de ictiofauna en la bahía interior de Puno*. Tesis, Licenciado en Biología. Facultad Ciencias Biológicas Universidad ...,
- Ponce Herrera, F. J. (2019). *Evaluación de la diversidad de macroinvertebrados bentónicos en principales zonas de contaminación de la bahía de Puno-Lago Titicaca*.
- Portier, C. J., Armstrong, B. K., Baguley, B. C., Baur, X., Belyaev, I., Bellé, R., . . . Bruzzi, P. J. J. E. C. H. (2016). Differences in the carcinogenic evaluation of glyphosate between the International Agency for Research on Cancer (IARC) and the European Food Safety Authority (EFSA). *70(8)*, 741-745.
- purificación, L. T. d. a. (2015). Conductividad del agua.
- Ramos, R. M. G., Reyes, S. Á. R., Grandal, O. V., Padrón, E. R., & Pedroso, L. H. J. R. C. d. E. (2018). Caracterización bibliométrica de la producción científica de la Facultad de Estomatología Raúl González Sánchez, 2011-2015. *55(2)*, 1-13.



- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Lagos, M. D., & Jimenez, E. E. G. J. I. I. y. D. I. D. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *16*(2), 66-77.
- Rincon, F., Zurera, G., & Pozo-Lora, R. J. B. E. C. T. (1987). Size and mercury concentration relationship as contamination index. *38*(3).
- Rodríguez, J. (2010). Contaminación del agua. *Contaminación ambiental en Colombia (págs. 255-300)*. Bogotá: *Fundación en causa por el desarrollo humano*.
- Rubio, D. I. C., Calderón, R. A. M., Gualtero, A. P., Acosta, D. R., & Sandoval, J. J. I. y. r. (2015). Tratamientos para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales. Una revisión. *(13)*, 73-90.
- Sánchez Pina, J. J. P. d. i. (2014). *Eliminación de metales pesados de efluentes líquidos por adsorción en materiales naturales residuales de bajo coste (Acículas de pino)*.
- Sanín, L. H., González-Cossío, T., Romieu, I., & Hernández-Avila, M. J. S. p. d. m. (1998). Acumulación de plomo en hueso y sus efectos en la salud. *40*, 359-368.
- Shaw, I., & Chadwick, J. (2018). *Principles of environmental toxicology*: CRC Press.
- Singh, P., & Tewari, R. J. J. o. E. B. (2003). Cadmium toxicity induced changes in plant water relations and oxidative metabolism of Brassica juncea L. plants. *24*(1), 107-112.
- Torres Quispe, N. E. (2018). *Evaluación de la concentración de metales pesados como As, Cu, Cd, Hg y Pb en el botadero de Cancharani de la ciudad de Puno*.



Valles-Aragón, M. C., Ojeda-Barrios, D. L., Guerrero-Prieto, V. M., Prieto-Amparan, J. A., & Sánchez-Chávez, E. J. R. i. d. c. a. (2017). Calidad del agua para riego en una zona nogalera del Estado de Chihuahua. 33(1), 85-97.

Wikipedia. (2016a). Color del agua. Retrieved from [https://es.wikipedia.org/wiki/Color del agua#:~:text=El%20color%20del%20agua%20var%C3%ADa,un%20patr%C3%B3n%20de%20color%20azul](https://es.wikipedia.org/wiki/Color_del_agua#:~:text=El%20color%20del%20agua%20var%C3%ADa,un%20patr%C3%B3n%20de%20color%20azul).

Wikipedia. (2016b). Concentración. Retrieved from <https://es.wikipedia.org/wiki/Concentraci%C3%B3n#:~:text=Cada%20sustancia%20tiene%20una%20solubilidad,sustancias%20disueltas%20o%20en%20suspensi%C3%B3n>.

Wikipedia. (2020). Arsénico. Retrieved from <https://es.wikipedia.org/wiki/Ars%C3%A9nico#:~:text=al%20consumo%20humano.,Ars%C3%A9nico%20en%20el%20suelo,y%20las%20aguas%20de%20escorrent%C3%ADa>.

ANEXOS

a. PANEL FOTOGRAFICO



Figura 10. Materiales para el muestreo correspondiente.

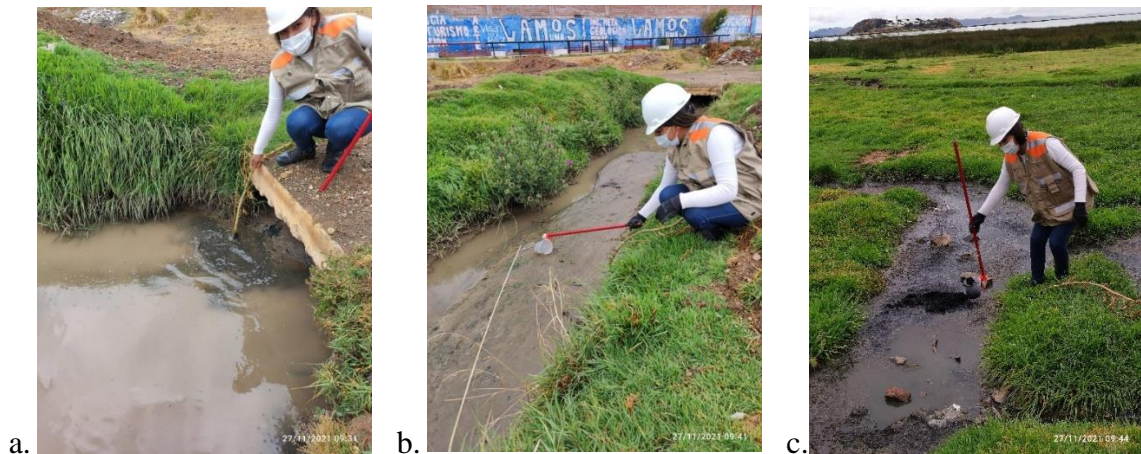


Figura 11. Desembocaduras de los efluentes líquidos residuales de la muestra 1, a los alrededores de la UNAP. La figura a. muestra la salida del efluente líquido residual y la figura b. se muestra la toma de muestra y en la figura c. muestra la toma de muestra.



Figura 12. Desembocaduras de los efluentes líquidos residuales de la muestra 2, parte del centro de la ciudad de Puno y el área del Malecón Turístico. La figura a. muestra la toma de muestra al igual que la figura b.



Figura 13. Desembocaduras de los efluentes líquidos residuales de la muestra 3, centro de la ciudad de Puno. La figura a. muestra la desembocadura y la figura b. muestra la toma de muestra.



Figura 14. Desembocaduras de los efluentes líquidos residuales de la muestra 4, parte del centro de la ciudad de Puno y del Hospital Regional Manuel Núñez Butrón. La figura a. muestra la salida de la desembocadura y la figura b. muestra la continuidad del efluente líquido residual.



a.



b.

Figura 15. Desembocaduras de los efluentes líquidos residuales de la muestra 5, a los alrededores del Puerto Banchero Rossi. La figura a. y b. muestran la salida de la desembocadura.



Figura 16. Equipo de análisis de metales del laboratorio de calidad ambiental de la Universidad Mayor de San Andrés Bolivia.



b. RESULTADOS DE LABORATORIO

Universidad Mayor de San Andrés
Facultad de Ciencias Puras y Naturales
Instituto de Ecología
Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 120/20

Página 1 de 5

INFORME DE ENSAYO EN AGUAS A 120/21

Solicitante:	Ruth Pilar Machacca Condori
Entidad:	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
Dirección del cliente:	Urbanización Aziruni F1, 3E, Zona A
Procedencia de la muestra:	Desembocadura al Lago Titicaca Departamento: Puno
Punto de muestreo:	19L - 0391205; UTM - 8249732
Responsable del muestreo:	Ruth Pilar Machacca Condori
Fecha de muestreo:	28 de noviembre de 2021
Hora de muestreo:	05:30
Fecha de recepción de la muestra:	30 de noviembre de 2021
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 30 de noviembre al 7 de diciembre, 2021
Caracterización de la muestra:	Desembocadura al Lago Titicaca, Aguas servidas
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Envase de vidrio
Código LCA:	120 - 1
Código original :	M-1 Agua servida

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	M-1 Agua servida 120 - 1
pH	EPA 150.1		1 - 14	6,5
Conductividad eléctrica	EPA 120.1	µS/cm	1,0	2002
Arsénico	EPA 206.2	mg/l	0,0010	< 0,0010
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,00050	0,0055
Cobre	EPA 220.1	mg/l	0,040	< 0,040
Mercurio	EPA 245.1	mg/l	0,00020	< 0,00020
Plomo	EPA 239.2	mg/l	0,0020	0,012

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)
EPA= Environmental Protection Agency (Sampling and Analysis Methods)
Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Diciembre 13 de 2021

Arch - Lca



Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf/Fax: 2772522
Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia



INFORME DE ENSAYO EN AGUAS A 120/21

Solicitante:	Ruth Pilar Machacca Condori
Entidad:	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
Dirección del cliente:	Urbanización Aziruni F1, 3E, Zona A
Procedencia de la muestra:	Desembocadura al Lago Titicaca
	Departamento: Puno
Punto de muestreo:	19L -03909982; UTM - 8249479
Responsable del muestreo:	Ruth Pilar Machacca Condori
Fecha de muestreo:	28 de noviembre de 2021
Hora de muestreo:	05:30
Fecha de recepción de la muestra:	30 de noviembre de 2021
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 30 de noviembre al 7 de diciembre, 2021
Caracterización de la muestra:	Desembocadura al Lago Titicaca, Aguas servidas
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Envase de vidrio
Código LCA:	120 - 2
Código original :	M-2 Agua servida

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	M-2 Agua servida 120 - 2
pH	EPA 150.1		1 - 14	7.2
Conductividad eléctrica	EPA 120.1	µS/cm	1,0	2210
Arsénico	EPA 206.2	mg/l	0,0010	0,0033
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,00050	0,0090
Cobre	EPA 220.1	mg/l	0,040	< 0,040
Mercurio	EPA 245.1	mg/l	0,00020	< 0,00020
Plomo	EPA 239.2	mg/l	0,0020	0,023

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)
EPA= Environmental Protection Agency (Sampling and Analysis Methods)
Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Diciembre 13 de 2021



Arch - Lca

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf/Fax: 2772522
Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia



Universidad Mayor de San Andrés
Facultad de Ciencias Puras y Naturales
Instituto de Ecología
Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 120/20

Página 3 de 5

INFORME DE ENSAYO EN AGUAS A 120/21

Solicitante:	Ruth Pilar Machacca Condori
Entidad:	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
Dirección del cliente:	Urbanización Aziruni Fl. 3E. Zona A
Procedencia de la muestra:	Desembocadura al Lago Titicaca Departamento: Puno
Punto de muestreo:	19L -0391076: UTM - 8248659
Responsable del muestreo:	Ruth Pilar Machacca Condori
Fecha de muestreo:	28 de noviembre de 2021
Hora de muestreo:	05:30
Fecha de recepción de la muestra:	30 de noviembre de 2021
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 30 de noviembre al 7 de diciembre, 2021
Caracterización de la muestra:	Desembocadura al Lago Titicaca. Aguas servidas
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Envase de vidrio
Código LCA:	120 - 3
Código original :	M-3 Agua servida

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	M-3 Agua servida 120 - 3
pH	EPA 150.1		1 - 14	6.9
Conductividad eléctrica	EPA 120.1	µS/cm	1,0	1531
Arsénico	EPA 206.2	mg/l	0,0010	0,012
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,00050	0,0080
Cobre	EPA 220.1	mg/l	0,040	< 0,040
Mercurio	EPA 245.1	mg/l	0,00020	< 0,00020
Plomo	EPA 239.2	mg/l	0,0020	0,0087

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)
EPA= Environmental Protection Agency (Sampling and Analysis Methods)
Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Diciembre 13 de 2021

Arch - Lca



Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf/Fax: 2772522
Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia



INFORME DE ENSAYO EN AGUAS A 120/21

Solicitante:	Ruth Pilar Machacca Condori
Entidad:	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
Dirección del cliente:	Urbanización Aziruni F1, 3E, Zona A
Procedencia de la muestra:	Desembocadura al Lago Titicaca Departamento: Puno
Punto de muestreo:	19L -0391056; UTM - 8248460
Responsable del muestreo:	Ruth Pilar Machacca Condori
Fecha de muestreo:	28 de noviembre de 2021
Hora de muestreo:	05:30
Fecha de recepción de la muestra:	30 de noviembre de 2021
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 30 de noviembre al 7 de diciembre, 2021
Caracterización de la muestra:	Desembocadura al Lago Titicaca. Aguas servidas
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Envase de vidrio
Código LCA:	120 - 4
Código original:	M-4 Agua servida

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	M-4 Agua servida 120 - 4
pH	EPA 150.1		1 - 14	6.9
Conductividad eléctrica	EPA 120.1	µS/cm	1,0	2105
Arsénico	EPA 206.2	mg/l	0,0010	< 0,0010
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,00050	0,0060
Cobre	EPA 220.1	mg/l	0,040	< 0,040
Mercurio	EPA 245.1	mg/l	0,00020	< 0,00020
Plomo	EPA 239.2	mg/l	0,0020	0,010

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)

EPA= Environmental Protection Agency (Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.

La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Diciembre 13 de 2021



Arch - Lca

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf/Fax: 2772522
Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia



Universidad Mayor de San Andrés
Facultad de Ciencias Puras y Naturales
Instituto de Ecología
Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 120/20

Página 5 de 5

INFORME DE ENSAYO EN AGUAS A 120/21

Solicitante:	Ruth Pilar Machacca Condori
Entidad:	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
Dirección del cliente:	Urbanización Aziruni F1, 3E. Zona A
Procedencia de la muestra:	Desembocadura al Lago Titicaca Departamento: Puno
Punto de muestreo:	19L -0391193; UTM - 8247910
Responsable del muestreo:	Ruth Pilar Machacca Condori
Fecha de muestreo:	28 de noviembre de 2021
Hora de muestreo:	05:30
Fecha de recepción de la muestra:	30 de noviembre de 2021
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 30 de noviembre al 7 de diciembre, 2021
Caracterización de la muestra:	Desembocadura al Lago Titicaca. Aguas servidas
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Envase de vidrio
Código LCA:	120 - 5
Código original :	M-5 Agua servida

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	M-5 Agua servida 120 - 5
pH	EPA 150.1		1 - 14	7,5
Conductividad eléctrica	EPA 120.1	µS/cm	1,0	1023
Arsénico	EPA 206.2	mg/l	0,0010	0,0027
Cadmio	EPA 213.1	mg/l	0,00050	0,0080
Cobre	EPA 220.1	mg/l	0,040	< 0,040
Mercurio	EPA 245.1	mg/l	0,00020	< 0,00020
Plomo	EPA 239.2	mg/l	0,0020	0,0023

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)
EPA= Environmental Protection Agency (Sampling and Analysis Methods)
Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Diciembre 13 de 2021



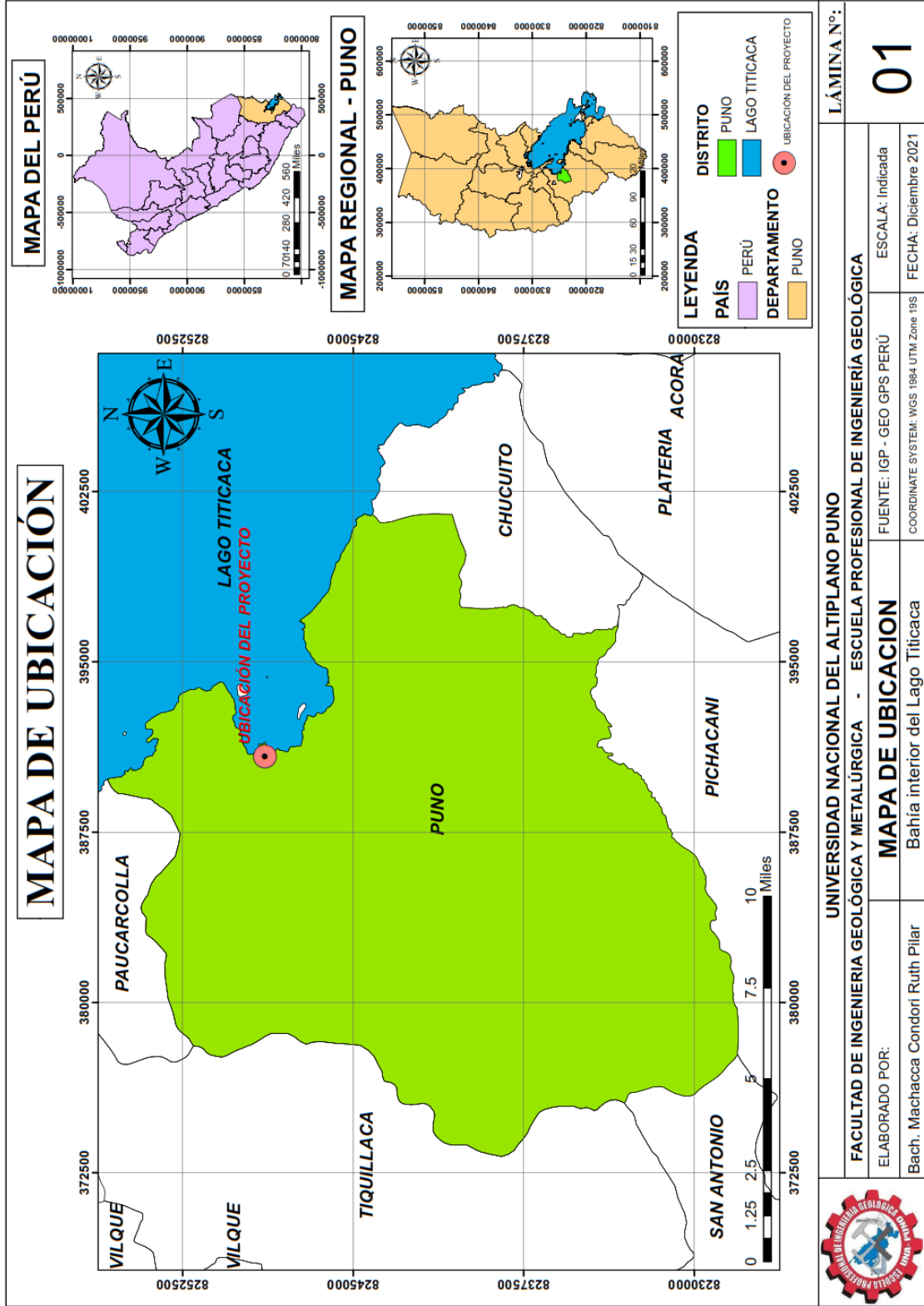

Ing. Jaime Chincheros Paniagua
Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental

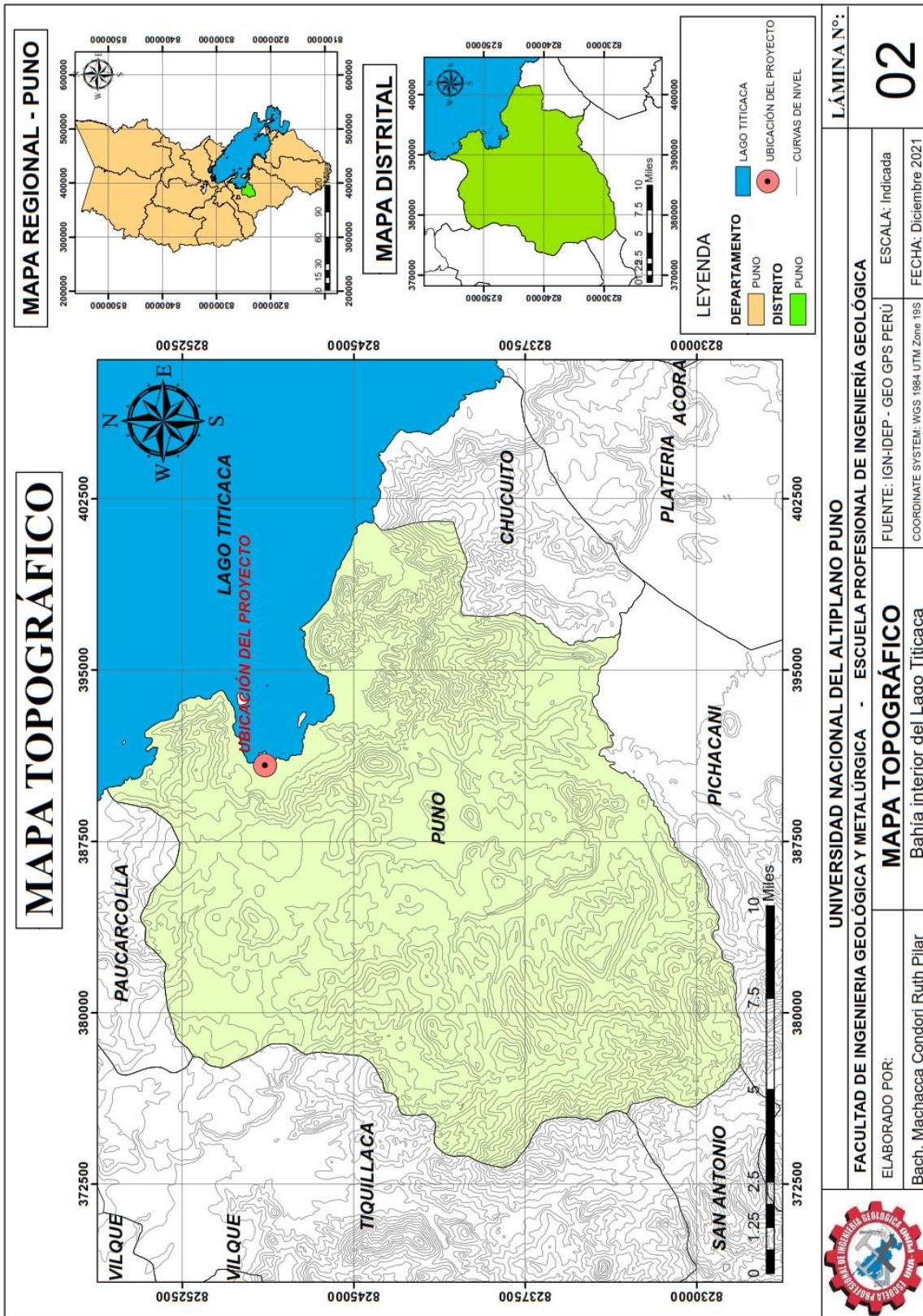


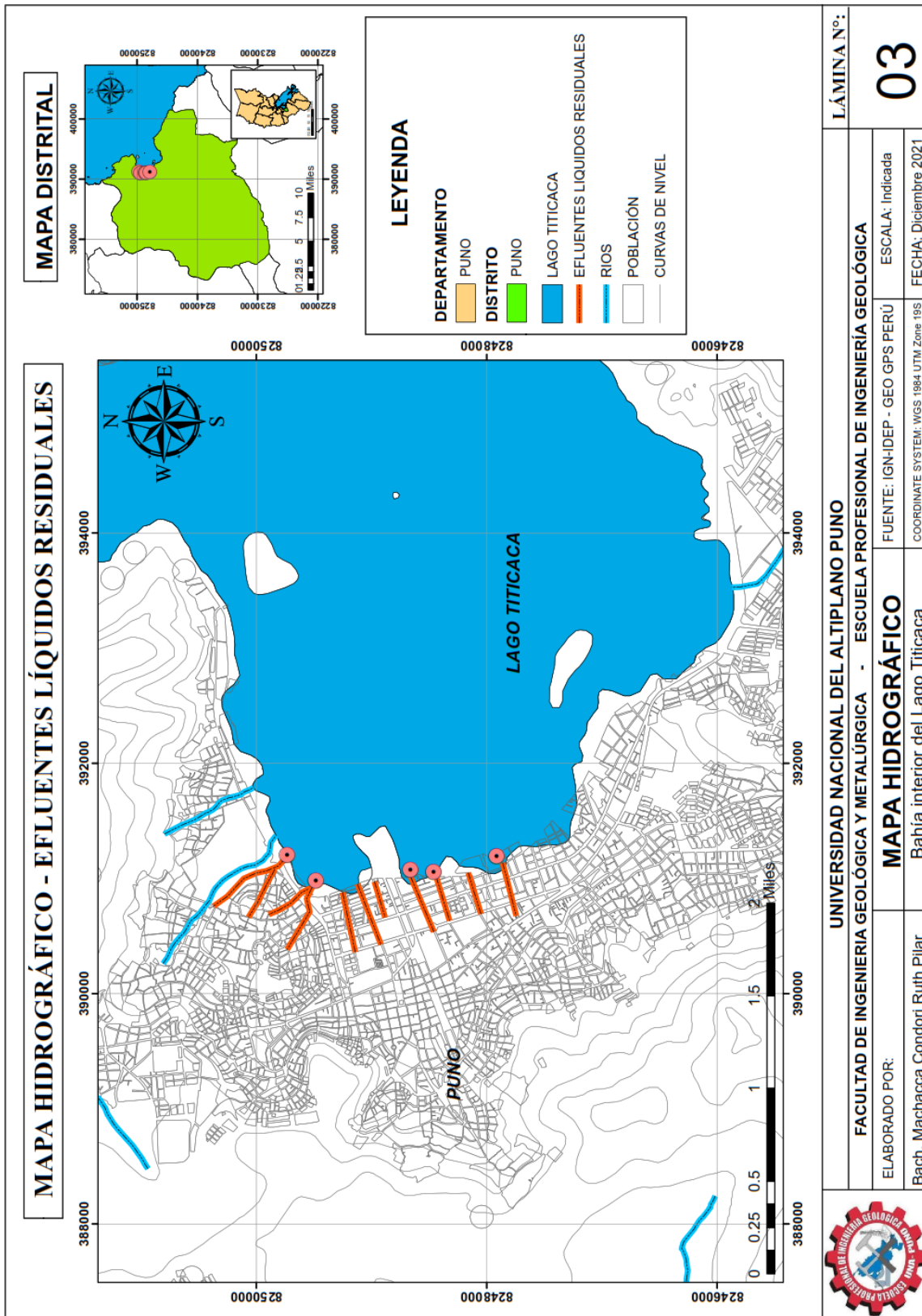
Arch - Lca

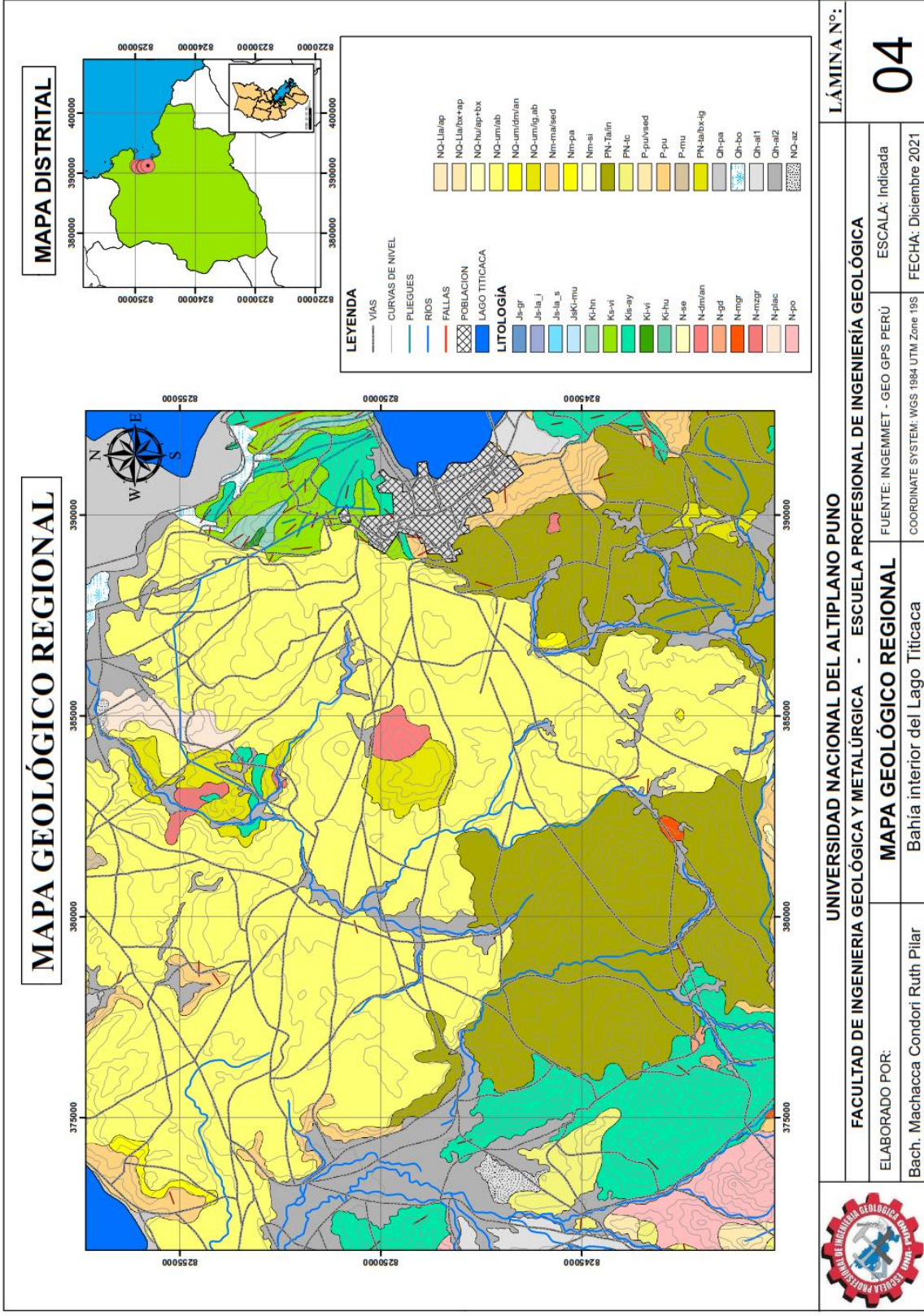
Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf/Fax: 2772522
Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

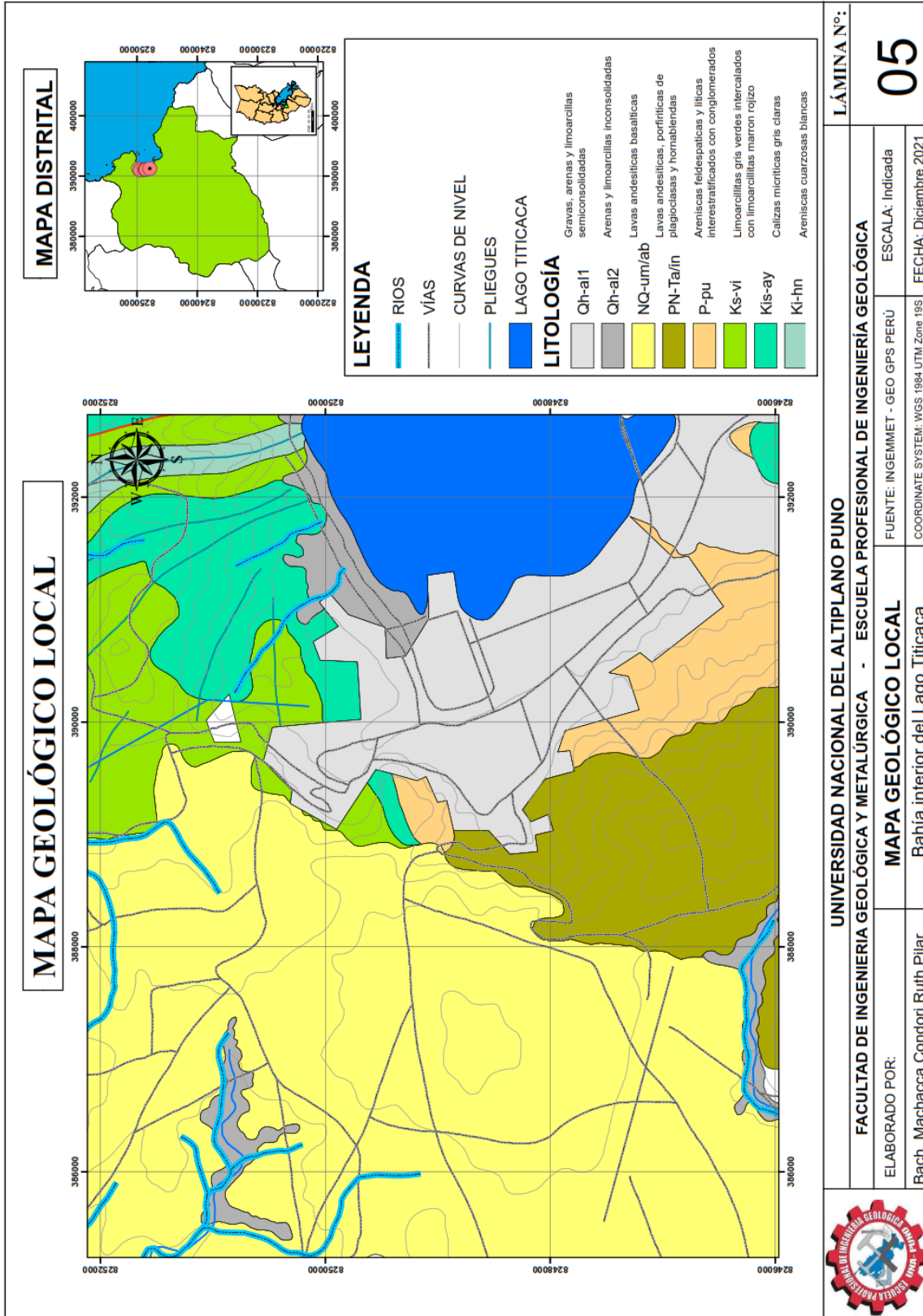
c. MAPAS

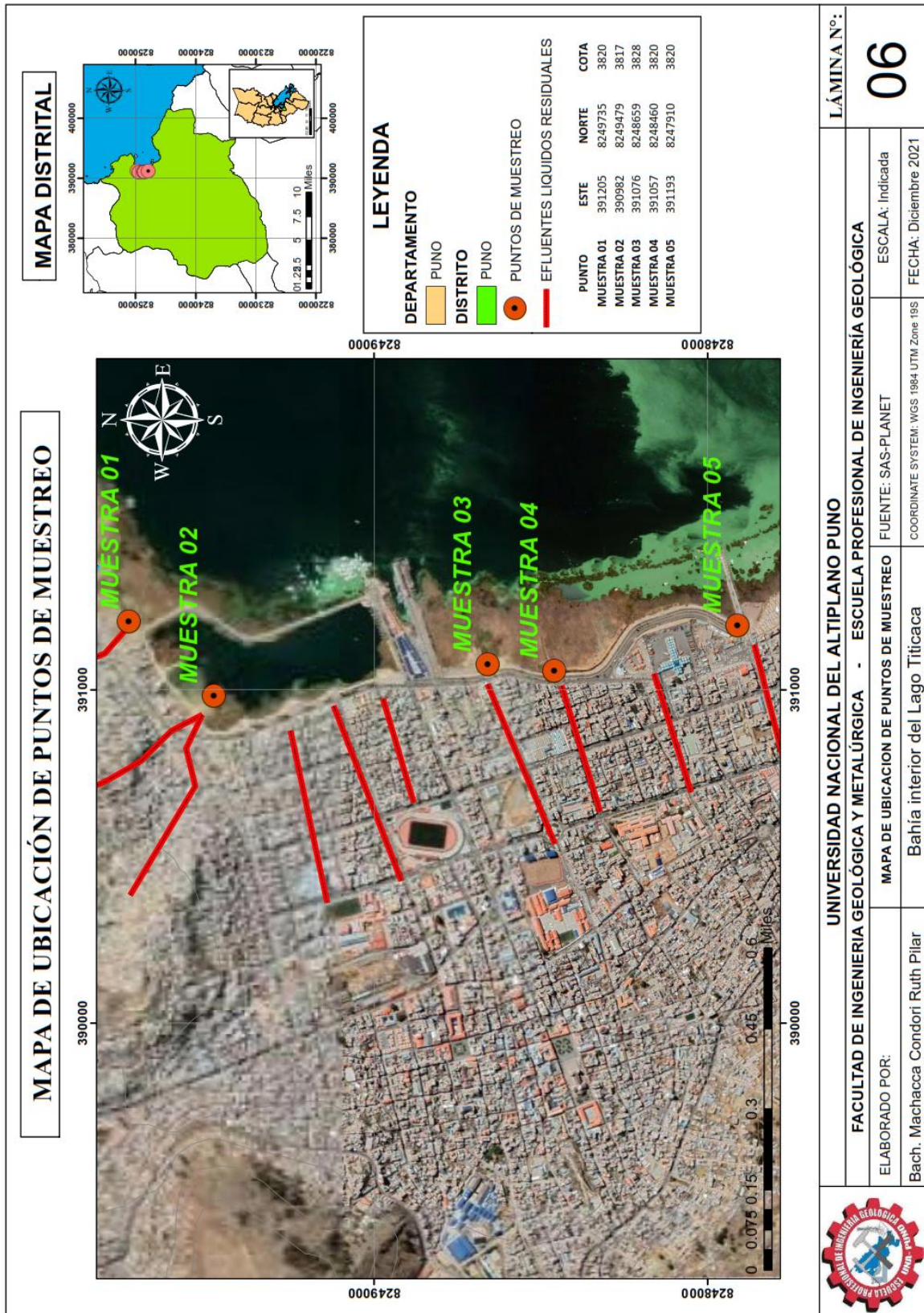












UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y METALURGICA - ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

ELABORADO POR:
Bach. Machacca Condori Ruth Pilar

MAPA DE UBICACION DE PUNTOS DE MUESTREO

Bahía interior del Lago Titicaca

LÁMINA N°:
06

ESCALA: Indicada

FUENTE: SAS-PLANET

COORDINATE SYSTEM: WGS 1984 UTM Zone 19S

FECHA: Diciembre 2021