



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LOS METALES
PESADOS (ARSÉNICO, PLOMO Y ZINC) EN LAS AGUAS
SUPERFICIALES DE LA LAGUNA PATÓN, (OYÓN, PERÚ)”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por:

Italo Gonzalo Rivera Carrasco (0000-0001-6822-8421)

Asesor:

Víctor Agustín Barrantes Santos (0000-0002-4624-468X)

Lima – Perú

2021

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 23 de julio de 2021.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Mg. Mirtha Rosario Nazario Ramirez
Miembro: Dra. Ann Sibelle Rodriguez Mininni
Miembro: Mg. Catherine Mariela Coronado León

Se reúnen para evaluar la tesis titulada: "EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LOS METALES PESADOS (ARSÉNICO, PLOMO Y ZINC) EN LAS AGUAS SUPERFICIALES DE LA LAGUNA PATÓN, (OYÓN, PERÚ)"

Presentada por el bachiller:

- Italo Gonzalo Rivera Carrasco

Para optar el Título Profesional de ingeniero(a) ambiental.

Asesorada por: Mg. Victor Agustin Barrantes Santos

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del(a) estudiante de la carrera de ingeniería ambiental en la sustentación, concluyen de manera unánime (x) por mayoría simple () calificar a:

Tesisista: Italo Gonzalo Rivera Carrasco			Nota (en letras): trece	
Aprobado (x)	Aprobado - Muy buena ()	Aprobado - Sobresaliente ()	Desaprobado ()	

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



Mg. Mirtha Rosario Nazario Ramirez
Presidente del Jurado



Mg. Victor Agustin Barrantes Santos
Asesor



Dra. Ann Sibelle Rodriguez Mininni
Miembro del jurado



Mg. Catherine Mariela Coronado León
Miembro del jurado

T: (01) 910 6738
informes@cientifica.edu.pe
cientifica.edu.pe

DEDICATORIA

A mis padres por su eterno apoyo.

ITALO GONZALO RIVERA CARRASCO

INDICE

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.1. Identificación del problema	10
1.2. Formulación de la pregunta de investigación	11
II. MARCO TEÓRICO.....	12
2.1. Metales pesados	12
2.1.1. Oligoelementos	13
2.1.2. Metales sin función biológica.....	13
2.2. Estándares de Calidad Ambiental (ECA).....	17
2.3. Cuenca hidrológica	18
2.4. Cuenca hidrográfica	18
2.4.1. Componentes	19
2.5. Contaminación de agua.....	20
2.6. Monitoreo	21
2.7. Antecedentes nacionales	21
2.8. Antecedentes internacionales.....	23
III. OBJETIVOS / HIPÓTESIS	24
3.1. Objetivo general.....	24
3.2. Objetivos específicos.....	24
3.3. Hipótesis general.....	25
IV. METODOLOGÍA	25
4.1. Área de estudio	25
4.2. Diseño experimental	26
4.3. Evaluación de los metales pesados en los puntos de control.....	31
4.4. Comparación de los metales pesados totales en los puntos de control según los ECA para aguas superficiales 2017	32
4.5. Identificación de los puntos críticos de contaminación.....	32
V. RESULTADOS	32
5.1. Identificación y concentración de metales pesados	32

5.2. Evaluación de las concentraciones de metales pesados totales en las aguas superficiales de la Laguna Patón	34
5.2.1. Evaluación del Arsénico (As) en las aguas superficiales de la Laguna Patón.	34
5.2.2. Evaluación del Plomo (Pb) en las aguas superficiales de la Laguna Patón.....	35
5.2.3. Evaluación del Zinc (Zn) en las aguas superficiales de la Laguna Patón.....	37
5.3. Identificación de los puntos críticos de contaminación en la Laguna Patón	40
VI. DISCUSIÓN.....	41
VII. CONCLUSIONES	43
VIII. RECOMENDACIONES.....	44
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
X. ABREVIATURAS.....	48
XI. ANEXOS	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes de una cuenca hidrológica (Fuente: Casaverde, 2011)	19
Figura 2. Área de estudio Laguna Patón (Fuente: Google Earth, 2018).....	26
Figura 3. División por cuadrantes de la Laguna Patón (Fuente: Google Earth, 2020) ...	27
Figura 4. Reconocimiento de la Laguna Patón	29
Figura 5. Lado sur de la Laguna Patón.....	30
Figura 6. Toma de muestra para análisis en el laboratorio.....	30
Figura 7. Toma de coordenadas para puntos de monitoreo.....	31
Figura 8. Variación del Arsénico (As) en la Laguna Patón	35
Figura 9. Variación del Plomo (Pb) en la Laguna Patón.....	36
Figura 10. Variación del Zinc (Zn) en la Laguna Patón.....	38
Figura 11. Concentración de los metales As, Pb y Zn en la Laguna Patón	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Red de puntos de Monitoreo.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 2. Materiales para el monitoreo	28
Tabla 3. Concentración de metales pesados totales en época de avenida (febrero) en la Laguna Patón	33
Tabla 4. Concentración de metales pesados totales en época de estiaje (agosto) en la Laguna Patón	33
Tabla 5. Concentración de Arsénico (As) en la Laguna Patón	34
Tabla 6. Concentración de Plomo (Pb) en la Laguna Patón	36
Tabla 7. Concentración de Zinc (Zn) en la Laguna Patón	37

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Informes de Ensayo de los resultados del análisis de metales totales por ICP50	
Anexo 2. Estándar de calidad ambiental para aguas superficiales (DS002-2008)	52
Anexo 3. Estándar de calidad de agua superficial (DS004-2017)	53
Anexo 4. Fotografías de las etapas del monitoreo del primer viaje	54
Anexo 5. Fotografías de las etapas de monitoreo del segundo viaje	56
Anexo 6. Puntos señalados para realizar el monitoreo.....	59
Anexo 7. Cadenas de custodia para ingreso de muestra al laboratorio	61

RESUMEN

En los últimos años se ha venido investigando la calidad del agua en diferentes fuentes o reservorios a nivel nacional. El presente estudio tiene como objetivo evaluar la concentración de metales totales disueltos en el agua de la Laguna de Patón, provincia de Oyón, departamento de Lima. Los metales pesados encontrados en las aguas superficiales de la Laguna Patón son una fuente de contaminación para la población, animales y ecosistema. El objetivo es evaluar la concentración de metales pesados Arsénico (As), Plomo (Pb) y Zinc (Zn)) en las aguas superficiales y contrastarlas con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua 2017, para lo cual se tomaron muestras de agua superficiales en las temporadas de avenida y estiaje en cuatro puntos de control (LPAT1,LPAT2,LPAT3 Y LPAT4) dentro de la Laguna Patón (Oyón, Perú), dichas muestras se evaluaron mediante el método de Espectrometría de Masas con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-MS EPA 200.8) en cada punto seleccionado. Según este análisis se encontraron concentraciones máximas de Arsénico 0.0161 mg/L, Plomo 0.0094 mg/L, Zinc 0.0147 mg/L, donde el metal que superó los límites establecidos por los ECA, emitidos por el Ministerio del Ambiente, fue el Pb. Este análisis corrobora lo mencionado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA,2013), que la contaminación se debe primordialmente al vertimiento de aguas residuales industriales provenientes de compañías mineras cercanas a la laguna y la disposición de las formaciones geológicas (disolución de rocas y suelos) que presenta la cuenca Huaura.

ABSTRACT

In recent years, the quality of water has been investigated in different sources or reservoirs at the national level. The objective of this study was to evaluate the concentration of total dissolved metals in the water of the Laguna de Patón, province of Oyón, department of Lima. The heavy metals found in the surface waters of Laguna Patón are a source of contamination for the population, animals and the ecosystem. The objective is to evaluate the concentration of heavy metals (Arsenic (As), Lead (Pb) and Zinc (Zn)) in the surface waters, surface water samples were taken in the flood and low water seasons in four random points within the lagoon, in order to evaluate the concentration of metals by means of the ICP-MS EPA 200.8 method at each selected point. According to this analysis, maximum concentrations of Arsenic 0.0161 mg / L, lead 0.0094 mg / L, Zinc 0.0147 mg / L were found where the metal that exceeded the limits established by the Environmental Quality Standards for water 2017, issued by the Ministry of the Environment It was the Lead. This analysis corroborates that the contamination is mainly due to the discharge of industrial wastewater from mining companies near the lagoon and the disposition of the geological formations that the basin presents in said area (dissolution of rocks and soils).

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

En el mundo actual, uno de los principales problemas es la contaminación del agua, afectando la calidad del recurso hídrico en el siglo XXI (Chen *et. al*, 2013). Según la European Food Safety Authority - EFSA (2015) la salud pública y la buena calidad de los alimentos se ha visto perjudicada por la contaminación del agua a causa de la presencia de metales pesados.

Asimismo, en el año 2015 la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), tuvo como objetivo principal el asegurar la disponibilidad y la gestión sostenible de agua y saneamiento para todos sus países miembros (Reyes *et al*, 2016).

Según Tejero *et al*(2006), la contaminación en los cuerpos de agua lénticos como los lagos, se da debido a los altos tiempos de retención hidráulica así como también por la poca renovación del agua en las masas superficiales, por lo tanto la forma como aumenten los contaminantes se ve reflejada en el movimiento del agua; por lo tanto, se requiere, evaluar las condiciones físicas y químicas de un lago para poder determinar el estado en el que se encuentra la calidad de sus aguas superficiales.

Si tomamos como referencia esta situación en el Perú, los estudios efectuados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) contienen datos sobre alteraciones en la calidad de agua en la cuenca del río Huaura, provincia de Oyón, donde pertenece la laguna de Patón, la cual será usada como materia de estudio para esta investigación.

Esta laguna fue escogida como área de estudio debido a que los niveles de plomo obtenidos por el informe de monitoreo realizado por ANA en el 2014 mostraban valores

que sobrepasaban la normativa vigente, además este cuerpo de agua era usado como criadero de truchas por la población cercana siendo un recurso valioso no solo para el ecosistema sino también para la sociedad. En tal sentido es importante analizar el contexto ambiental y social enfocado desde la ingeniería ambiental con un análisis de metales pesados disueltos en el agua para poder identificar si la alteración de la calidad del agua proviene de alguna industria cercana.

Sobre la base de las consideraciones anteriores el presente trabajo tiene como propósito evaluar la calidad de agua superficial en la laguna por lo que se plantea el siguiente problema de investigación.

1.2. Formulación de la pregunta de investigación

¿Cuál fue la concentración de los metales pesados totales Arsénico (As), Plomo (Pb) y Zinc (Zn) en las aguas superficiales de la Laguna Patón, con relación a la normativa ambiental vigente?

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Metales pesados

Entre algunas definiciones, la empresa Fomento Agrícola Castellonense S.A. (FACSA, 2017), afirma que se denomina metales pesados a un grupo de elementos químicos que poseen una alta densidad. En general presentan toxicidad para la vida humana y los más comunes de presentarse en el agua son: Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Cromo (Cr), Plomo (Pb) y Cobre (Cu). Según la Autoridad Nacional del Agua (ANA,2013), el aumento de concentración de estos metales presentes en las aguas superficiales, en su mayoría se debe a la contaminación industrial minera, la disposición de las formaciones geológicas entre otras. Otra de las fuentes de contaminación son los lixiviados provenientes de los drenajes de aguas residuales. Con referencia a lo anterior, los metales pesados al presentar una alta densidad tienden a bioacumularse en los cuerpos de agua como lagos o lagunas debido a su bajo caudal por lo cual su concentración puede ir aumentando a lo largo del tiempo.

Según Manahan (2007), se pueden clasificar los metales pesados según su función biológica, conformando así dos grupos: el primero conocido como oligoelementos y el segundo como metales pesados sin función biológica.

2.1.1. Oligoelementos

Los oligoelementos son aquellos requeridos en bajas concentraciones en animales y plantas necesarios en los ciclos vitales de cada ser vivo en donde pasada cierta concentración puede ser considerados como tóxicos y dañinos para la salud humana, en donde los principales son: Arsénico (As), Boro (B), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Molibdeno (Mo), Manganeso (Mn), Selenio (Se) y Zinc (Zn). (Chávez 2011)

2.1.2. Metales sin función biológica

Según Chavez (2011), la concentración de estos metales en los seres vivos puede ocasionar disfunciones en el funcionamiento de los organismos vivos y se pueden bioacumular en animales o plantas resultando extremadamente dañinos, los cuales son: Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Níquel (Ni), Antimonio (Sb), Bismuto (Bi).

A lo largo de la corteza terrestre podemos encontrar distribuido de manera natural a los metales pesados, dichos metales pueden volverse elementos de contaminación cuando las actividades industriales y mineras liberan sus efluentes en los cuerpos de agua alterando la concentración de metales, los cuales según su concentración pueden generar diversos efectos sobre la salud y el ambiente debido a que poseen un alto grado de toxicidad, en base a los estándares de calidad ambiental vigentes para agua superficial se procederá a detallar algunos metales y sus efectos negativos (Chavez, 2011).

Mercurio (Hg): Es un elemento de color líquido plateado a temperatura ambiente el cual se encuentra de manera natural como sulfuro, suele ser usado en fabricación de pilas, lámparas, fluorescentes, cremas, cosméticos, entre otros. Los efectos de la toxicidad del Hg se manifiestan como temblores y pérdida de la sensibilidad en dedos y extremidades, así como la pérdida de visión, audición, espasmos y finalmente la muerte (Li, *et al.*, 2010).

Plomo (Pb): Es un elemento de color azulado presente en muchas sales, óxidos y diversos compuestos organometálicos. En la industria los compuestos importantes son óxidos y aleaciones con estaño (Sn), cobre (Cu), arsénico (As), bismuto (Bi) y cadmio (Cd). La absorción de Pb por vía oral es un grave riesgo para la salud pública, los efectos pueden ser retraso del desarrollo mental e intelectual en niños, hipertensión y enfermedades cardiovasculares en adultos. (Nordberg, 2001).

Bario (Ba): Según Nordberg (2001), es un elemento abundante en la naturaleza y representa el 0.04% de la corteza terrestre, cuenta con una masa atómica de 137.34 g/mol y número atómico 56. Este metal es utilizado para la fabricación de piezas con aleación en automóviles y en la elaboración del vidrio, así como tubos y televisores por lo cual siempre está presente en la industria electro motriz. Debido a que presenta una alta toxicidad la inhalación de este metal puede producir neumoconiosis, irritación en los ojos, nariz, garganta y piel.

Cadmio (Cd): El Cd presenta una masa atómica de 112.40 g/mol y número atómico 48. Es un metal de consistencia blanda maleable y dúctil con un aspecto de color blanco azulado, normalmente se le encuentra en estado puro, suele estar rodeado

por minerales de Zn. Es usado principalmente de fusión baja y soldaduras, así como utilizado en compuestos de televisores también para la fabricación de baterías y pinturas al óleo. El Cd es un elemento con una alta toxicidad y puede ocasionar severos daños en riñones, pulmones, de acuerdo a lo manifestado por Gonzalo (2010).

Cobre (Cu): El Cu muestra una masa atómica 63.536 g/mol y número atómico 29. Es un metal de color rojizo y presenta brillantes. Entre sus principales características se encuentra el ser un metal fuerte con alta ductilidad y maleabilidad en adición a esto presenta una alta resistencia a la corrosión, así como también es un buen conductor de electricidad y calor. Se utiliza para la fabricación de cables debido a su buena conductividad eléctrica, asimismo se usa para la elaboración del bronce el cual se utiliza para formar las aleaciones que dan origen a bronce, latón y cuproníquel. En adición a lo anteriormente señalado, el Cu es un metal empleado para la fabricación de llaves, monedas, teléfonos móviles, instrumentos musicales metálicos, entre otros. A pesar de que constituye un elemento necesario en la dieta de una persona, debe ser medido en pequeñas dosis, ya que si su concentración aumenta el efecto puede volverse dañino y toxico, así lo sostiene De Jesús (2019).

Cromo (Cr): El Cr cuenta con una masa atómica de 51.97 g/mol y un número atómico de 24. Nordberg (2001) menciona que no se encuentra de manera natural en el ambiente debido a que siempre anda formando compuestos con el hierro (Fe), se utiliza en la fabricación de pigmentos inorgánicos, así como en la conservación de la madera y esmaltes de color. Este elemento suele producir efectos adversos en las personas que están en contacto principalmente dermatitis e irritación en la piel, manos y brazos, en otros casos puede ingresar por las glándulas sudoríparas, causando daños.

Níquel (Ni): Según Sunderman (2001), el Ni se encuentra distribuido en la naturaleza combinado con azufre (S), antimonio (Sb), oxígeno (O); y As, siendo un metal constituido por óxidos. Se representa con el símbolo Ni, posee una masa atómica 58.71 g/mol y número atómico 28. Es utilizado principalmente para evitar la corrosión de las tuberías.

Selenio (Se): Así como lo afirma la *Agency for Toxic Substances Disease Registry* (ATSDR,2003), Se es un metal que se encuentra distribuido en la corteza terrestre de manera irregular con una apariencia de color gris metálico. Cuenta con una masa atómica de 78.96 g/mol, y un número atómico de 34; es producido de manera comercial para la refinación de Cu, así como para la elaboración de armas de fuego, plásticos, pinturas, vitaminas y suplementos nutricionales. El Se suele ingresar a los organismos por ingesta, el cual al ser un elemento tóxico puede producir daño en el sistema nervioso muscular generando la pérdida y sensación de los brazos y piernas.

Arsénico (As): Según Kahlown *et al.* (2002), se trata de un elemento tóxico ubicado en la naturaleza, que se manifiesta en concentraciones traza, su masa atómica es 75.92 g/mol, y número atómico 33; este metal es uno de los principales contaminantes del medio ambiente a escala global, su presencia en el agua y suelo en diversas regiones del mundo suele presentar una amenaza para la salud humana, siendo el agua su principal vía de entrada para la cadena alimentaria humana así como el consumo de alimentos contaminados, vegetales y animales. El As causa efectos tóxicos en la piel y daños a órganos internos.

Zinc (Zn): Este elemento cuenta con una masa atómica de 65.38 g/mol y número atómico 30, se caracteriza por estar distribuido ampliamente en la corteza terrestre,

pero presenta una abundancia del 0.012% de la corteza. Es producido por la galvanización del Fe y el acero para luego ser utilizado en la industria automovilística, así como en la construcción de oficinas y elaboración de utensilios de cocina. Es considerado un elemento con menor toxicidad dentro de los oligoelementos, pero su consumo elevado puede producir cáncer a la próstata, incremento del colesterol y fomentar la disfunción inmune (Rubio *et al.*, 2007).

2.2. Estándares de Calidad Ambiental (ECA)

El Ministerio del Ambiente (MINAM, 2017) define a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) como instrumentos de gestión ambiental que permiten evaluar los parámetros de un cuerpo receptor, desarrollar formas de proteger y cuidar la salud pública, medio ambiente y la calidad de agua con que vivimos, permitiéndole al Estado desarrollar obligaciones y normas de cumplimiento para establecer un rango que aceptable al daño causado por las actividades humanas.

Los indicadores de calidad de agua sirven para determinar si puede presentar peligro a la salud, ya sea por bacterias, parásitos, metales o algún otro agente contaminante. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2009), se han creado criterios y recomendaciones que los países como Noruega, Australia, Suiza, Estados Unidos, Alemania, Nueva Zelandia y Canadá, aplican de manera permanente a fin de garantizar el cuidado de la calidad de agua en el sistema hídrico. Los instrumentos de gestión ambiental son mecanismos que nos permiten establecer un límite para proteger el ecosistema, midiendo la concentración de elementos, partículas o sustancias presentes en agua, aire y suelo, con el fin de fijar un nivel que represente si puede afectar a la sociedad, al ambiente y a la salud humana gracias a la medición de la

concentración de agentes contaminantes proveniente de las industrias, las cuales descargan sus efluentes en los cuerpos receptores, de manera que se pueda evaluar si sobrepasan los valores determinados por los ECA para aplicar las acciones correspondientes y así mitigar el exceso.

Los metales pesados suelen ser tóxicos para los seres vivos además de su propiedad por bioacumularse, lo que no permite ser eliminados por el cuerpo de un organismo; en consecuencia, la normativa vigente trata de que las concentraciones sean menores según los ECA. De acuerdo con el ECA para agua 2017 categoría 4 para la conservación del ambiente acuático, son 12 los metales a considerar en la clasificación E1 de lagos y lagunas, como lo indica el D.S. 004-2017-MINAM.

2.3. Cuenca hidrológica

Sánchez y Gandara (2011), definen que la cuenca es el espacio geográfico donde las aguas circulan hacia el mar, formando un cauce central o en donde pueden formar una unidad autónoma sin desembocar al mar. La capacidad de una cuenca estará determinada por el volumen total de agua que transcurre en un área por un periodo.

2.4. Cuenca hidrográfica

Según Carabias y Landa (2005), una cuenca hidrográfica se define como el contorno o límite de la representación para un sistema que drena agua en un punto común. En la cuenca hidrográfica se distinguen tres sectores: baja, media, alta, que por sus características topográficas pueden influir en sus procesos hidrometeorológicos, así como el uso de sus recursos. Las cuencas tienen una relación directa entre la parte alta,

zona de media o de tránsito y la zona baja o desembocadura, de tal forma que la parte alta afecta directamente a la parte baja.

2.4.1. Componentes

Los componentes de una cuenca hidrográfica se describen a continuación (Figura 1):

- Cuenca principal: Integrado por un cauce principal de agua con el mayor caudal de agua.
- Subcuenca: Conjunto de microcuencas que drenan a un cauce con caudal fluctuante
- Microcuenca: es toda área en la que se distribuye el drenaje y puede estar dividida por varias micro cuencas.

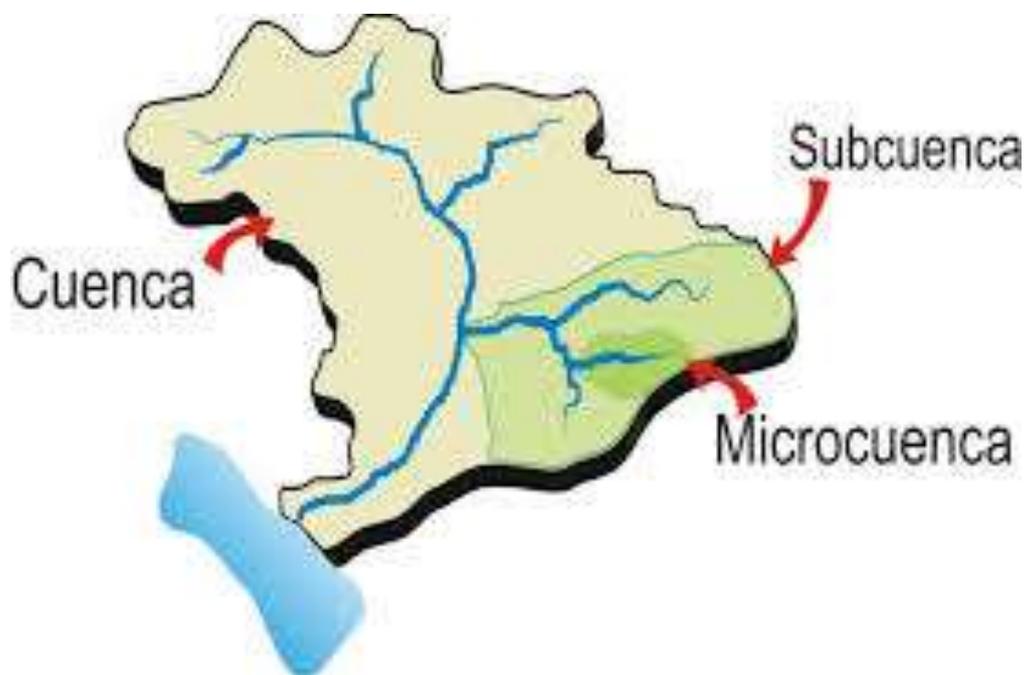


Figura 1. Componentes de una cuenca hidrológica (Fuente: Casaverde, 2011)

- Quebrada: Área donde se desarrolla el drenaje de una microcuenca.
- Cuenca alta: corresponde a las cabeceras de los cerros donde precipitan las lluvias
- Cuenca media: Área en donde se juntan las aguas recogidas de la parte alta y donde el río mantiene su cauce principal.
- Cuenca baja: Área donde desembocan ríos, estuarios o humedales

2.5. Contaminación de agua

Se habla de alteración o contaminación del agua cuando se introducen sustancias tóxicas o derrames de fluidos que alteran la calidad del agua. Las sustancias pueden ser químicas, físicas o biológicas causando daño a la salud de las personas o animales que consuman el agua si es que los parámetros de la contaminación del agua exceden la normativa vigente. (MINAM, 2016).

A través de los monitoreos a los cuerpos de agua, es posible realizar estudios para evaluar parámetros físico-químicos y metales pesados disueltos en el agua superficial. Flores *et al.*, (2018), realizaron una recopilación de información para determinar el estado actual de un cuerpo hídrico y su calidad de agua mediante la toma de muestras basado en un protocolo de monitoreo. En dicho estudio, se tomaron muestras al azar en tres zonas diferentes en donde se evaluaron parámetros *in situ*, como pH, oxígeno disuelto (OD), capacidad de intercambio catiónico (CIC), y parámetros *ex situ*, como la concentración de metales totales disueltos en el agua.

Según SENACE (2014), el impacto acumulativo es ocasionado por proyectos cercanos en un área de influencia común, el cual puede tener un efecto sinérgico como la contaminación de cuerpos de agua por sustancias peligrosas. Por lo

cual los impactos acumulativos suelen pasar desapercibidos, pero es importante evaluarlos.

2.6. Monitoreo

OEFA (2013) presenta la siguiente definición de monitoreo:

El monitoreo ambiental se realiza a efectos de medir la presencia y concentración de contaminantes en el ambiente, así como el estado de conservación de los recursos naturales. Esta actividad se efectúa en el marco de la función evaluadora del OEFA con el objetivo de buscar quien es el responsable de la alteración ambiental identificada. (pág. 1)

2.7. Antecedentes nacionales

Huaranga *et al.* (2012) efectuaron un estudio sobre la contaminación por metales pesados en la cuenca del río Moche en la provincia de Trujillo, se tomaron muestras de agua en ocho puntos de monitoreo para evaluar la condición del agua en la cuenca. Los resultados obtenidos reflejaron que los metales pesados totales más representativos fueron As, Cd, Cu, Fe, Pb y Zn. Asimismo, mediante el análisis se determinó que en la cuenca alta existe una mayor alteración de la calidad del agua. Los resultados obtenidos para la concentración total de Fe tuvieron como valor mínimo 0.276 mg/L, mientras que el valor máximo fue 557.5 mg/L en la cuenca alta. Sobre la concentración total de Pb se obtuvo como valor mínimo 0.005 mg/L en la cuenca baja, mientras que para el valor máximo se obtuvo una concentración de 100.375 mg/L para la parte de la cuenca alta. En relación con la concentración total de Cd se obtuvo un valor mínimo de 0.000 mg/L en la cuenca baja mientras que para el valor máximo se obtuvo una concentración de 4.550 mg/L para la cuenca alta. Para los resultados del análisis

sobre la concentración de Cu se obtuvo un valor mínimo de 0.001 mg/L en la cuenca baja y como valor máximo 7.100 mg/L para la cuenca alta.

Se observó que las concentraciones fueron disminuyendo a medida que la altura de la cuenca iba bajando, por lo que las concentraciones fueron variando progresivamente desde la cuenca alta hasta la cuenca baja. Dado que el estudio fue realizado en el periodo 1980-2010 se utilizó la normativa vigente hasta el año de muestreo, por lo que se puede evidenciar un cambio en los límites máximos establecidos para las concentraciones de los metales (Huaranga *et al.*, 2012).

Por otro lado, la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2013), realizó la toma de muestras en los diferentes cuerpos hídricos a lo largo de la cuenca Huaura (región Lima) para evaluar su calidad de agua superficial a fin de determinar los valores de las concentraciones y comparar si los valores obtenidos excedían a la normativa vigente del año 2013. Cabe resaltar que en los resultados de los parámetros de calidad de agua para la Laguna Patón se evidenció la presencia de metales pesados totales como: Al, Sb, As, B, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg, Ni, Ag, Pb, Tl, V y Zn.

Según la normativa ECA para agua 2008, vigente para el año 2013, solo se consideraban nueve metales totales como: As, Ba, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb y Zn. Para el caso de la afectación por Pb en el punto de monitoreo LPATO1 el valor fue de 0.002 mg/L, mientras que el ECA para agua 2008 categoría 4 es de 0.001 mg/L, sobrepasando la normativa, para el caso de los metales totales Zn, Fe y As no excedieron del ECA para agua 2008 categoría 4.

2.8. Antecedentes internacionales

Según Rizzo *et al.* (2010), los ecosistemas acuáticos suelen ser vulnerables ante la intromisión de agentes tóxicos como metales y elementos traza, los cuales pueden tener un alto grado de toxicidad, por lo que los metales pesados deben ser evaluados con suma importancia es decir si presentan un riesgo ambiental ya que suelen bioacumularse en los organismos de la flora y fauna acuática causando diversas alteraciones en las funciones metabólicas como inhibiciones enzimáticas, incluso llegando a causar la muerte celular.

Los estudios en la Patagonia de Argentina reflejaron que los lagos pueden contener valores de metales pesados totales, presentando una contaminación dentro del límite establecido por el Código Alimentario Argentino para agua potable (1 a 20 mg/L). Los valores obtenidos para la concentración de Hg total en el lago Nahuel Huapi fueron entre 0.001 mg/L y 0.0007 mg/L y en otro punto cercano al cruce con el río Ñireco los valores fueron de 0.0009 mg/L y 0.00175 mg/L, debido a que se encontraba cerca a la desembocadura de los efluentes que provienen de la planta de tratamiento cloacal de la ciudad de Bariloche. En cuanto al embalse Rapel, presentó la mayoría de concentraciones elevadas debido a que se encuentra contaminado producto de la actividad de una mina de cobre cercana. Por lo tanto, los lagos alto andinos deben ser monitoreados constantemente ya que forman parte importante del ecosistema hídrico (Rizzo *et al.*, 2010).

Reyes *et al.* (2016) mencionan que los estudios acuáticos han tenido un aumento de interés por parte de la población debido a la creciente industrialización ocurrida durante las últimas décadas. En Colombia, se realizaron una serie de monitoreos para

evaluar las concentraciones de los metales totales como: Cd, Hg, Pb, As y Cu. Los resultados obtenidos reflejaron que las concentraciones más elevadas de Hg se encontraron en los ríos: Marmato, Nechí, Magdalena, Guachal y Coello; en cuanto al Cd las mayores concentraciones fueron encontradas en los ríos: Negro, Bogotá y Carare. Para el Pb se obtuvieron altas concentraciones en los ríos: Marmato, Bogotá, Cauca La Pintada, Achi y Pinillos.

III. OBJETIVOS / HIPÓTESIS

3.1. Objetivo general

Evaluar la presencia y concentración de metales pesados disueltos (As, Pb y Zn) en las muestras de agua superficial en la Laguna Patón (Oyón, Perú).

3.2. Objetivos específicos

Determinar la presencia y concentración de metales pesados disueltos (As, Pb y Zn) en los periodos de avenida y estiaje en las aguas superficiales de la Laguna Patón (Oyón, Perú).

Comparar la concentración de metales pesados (As, Pb y Zn) obtenida de los monitoreos de agua superficial efectuados en la Laguna Patón (Oyón, Perú) con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua 2017.

Identificar el punto más crítico y vulnerable a la contaminación según la información recopilada en los puntos de control.

3.3. Hipótesis general

Existen concentraciones de metales pesados (As, Pb y Zn) que superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aguas 2017 en las aguas superficiales de la Laguna Patón (Oyón, Perú).

IV. METODOLOGÍA

4.1. Área de estudio

La Laguna Patón está ubicada a 7km al este del poblado de Oyón a una altura aproximada de 4090 m.s.n.m. El área de estudio pertenece al ecosistema de Páramo Alto Andino, en donde nacen los cuerpos de agua alto andinos para dar origen a la cuenca de Huaura (región de Lima) (Figura 2). Asimismo, el estudio realizado por la ANA (2014), describe a la subcuenca Alto Huaura y su origen, que da como resultado de los procesos hidrológicos a las lagunas Surasaca, Rupahuay, Vetacocha y Patón. Al este de la subcuenca se encuentran las tres primeras lagunas Surasaca, Rupahuay, Vetacocha: la laguna Surasaca da origen al río Surasaca, las lagunas Rupahuay y Vetacocha dan origen al río Quichas; mientras que al oeste de la subcuenca se encuentra la laguna Patón, la cual origina al río Patón, área de estudio directa para analizar la concentración de metales pesados disueltos en el agua superficial del lago. La cuenca de Huaura consta de los siguientes pisos ecológicos: Matorral Desértico Montano Tropical, Estepa Montano Tropical, Bosque Seco Montano Bajo Tropical, Páramo Húmedo Subalpino Tropical, Páramo Pluvial Subalpino Tropical, Tundra Pluvial Alpino Tropical y Nival Tropical. La ANA (2014) indica que la temperatura varía a lo largo del año con un promedio de 5.8°C y presenta un rango de variación entre 5.1°C en enero y 6.1°C en

febrero, mientras que la humedad relativa obtenida presenta un promedio anual de 63% con una variación de 51% en julio y 76% en marzo.

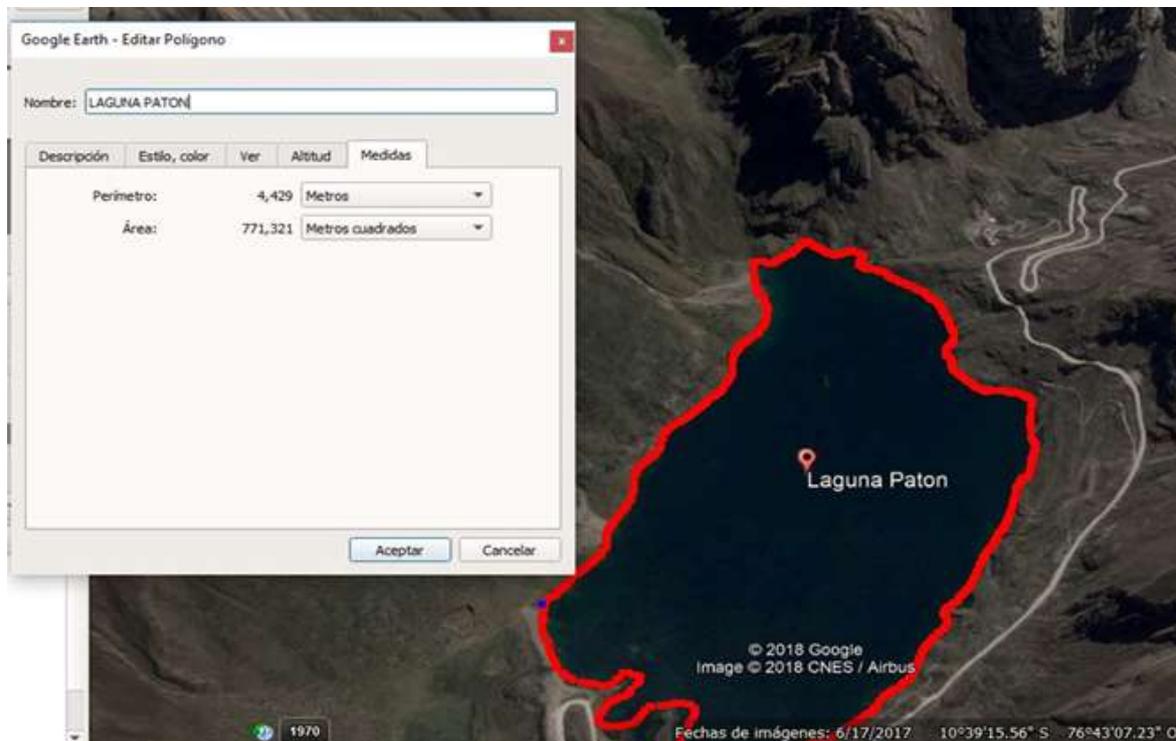


Figura 2. Área de estudio Laguna Patón (Fuente: Google Earth,2018)

4.2. Diseño experimental

Plan de muestreo:

Para la presente investigación se tomó en cuenta el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (ANA, 2016), ejecutando diversas actividades encuadradas en las fases de pre monitoreo, monitoreo, y post monitoreo. A fin de establecer una evaluación de un cuerpo de agua léntico, se tomó como referencia cuatro puntos de muestreo (Figura 3) (Anexo 4), en dos diferentes temporadas (avenida y estiaje) (Anexo 6).

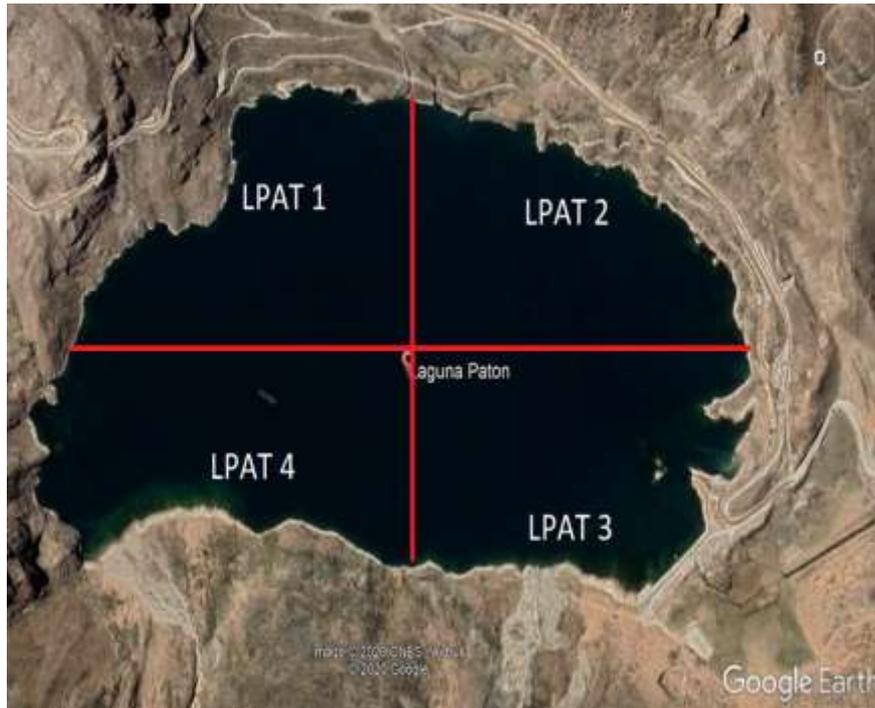


Figura 3. División por cuadrantes de la Laguna Patón (Fuente: Modificado de Google Earth, 2020)

Pre monitoreo: se realizó una planificación de monitoreo estableciendo una red de puntos georreferenciados, así como la codificación de cada punto (Tabla 1). Se estableció una frecuencia de monitoreo basada en dos temporadas marcadas para la sierra peruana, estiaje (mayo – noviembre) y avenidas (diciembre – abril), identificando los parámetros claves para el estudio que son los metales pesados totales en agua superficial por Espectrometría de Masas con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-MS), técnica empleada por el laboratorio Inspectorate Services Perú (Anexo 1). Se preparó una lista de materiales necesarios, así como equipos e indumentaria para realizar el monitoreo (Tabla 3).

Tabla 1.

Red de puntos de monitoreo de aguas superficiales

Punto de monitoreo	Número de Muestras (estiaje)	Número de Muestras (lluvias)	Coordenadas geográficas (UTM)	
			S	W
LPAT 1	1	1	S 1039586	W 07642330
LPAT 2	1	1	S 1040007	W 07642307
LPAT 3	1	1	S 1039544	W 07642369
LPAT 4	1	1	S 1039450	W 07642397
TOTAL	4	4		

Tabla 2.

Materiales y equipos empleados para el monitoreo de aguas superficiales

Materiales	Cooler mediano (marca Coleman capacidad 20 L), botellas de plástico (capacidad 500 mL, balde de plástico transparente (capacidad 5 L), guantes descartables (latex), refrigerante (hielo gel capacidad 2 L)
Equipos	GPS (marca Garmin modelo GPS MAP 60CSx), Multiparametro (marca Hanna modelo hi 9811), Cámara Fotográfica (celular Motorola G7)
Soluciones y Reactivos	Agua destilada (1 L) y Ácido Nítrico (HNO ₃)
Formatos	Etiquetas, registro de campo, cadena de custodia
Indumentaria de protección	Botas de jebe
Otros	Lapicero, libreta de campo

Monitoreo: Primero se realizó un viaje para conocer el terreno y entorno (Figuras 4 y 5), luego una vez reconocido el entorno se procedió al rotulado y etiquetado de las cuatro botellas de volumen 500 mL que se usarán en la toma de muestras (Figura 6). Con ayuda del GPS marca Garmin modelo GPS MAP 60CSx se procedió a georreferenciar (Figura 7) los puntos de monitoreo previamente establecidos. Durante el muestreo se recolectaron cuatro muestras para la medición de metales totales pesados en agua añadiendo HNO₃ para preservar la muestra, así como el llenado de la cadena de custodia para entrega al laboratorio. De acuerdo al protocolo del ANA (2014) se utilizó un *cooler* para el correcto transporte, se tomaron en cuenta los tiempos establecidos por el laboratorio antes del ingreso de muestra para el aseguramiento de la calidad de los resultados.



Figura 4. Reconocimiento de la Laguna Patón



Figura 5. *Lado sur de la Laguna Patón*



Figura 6. *Toma de muestra para agua superficial para análisis en el laboratorio*



Figura 7. Toma de coordenadas con GPS GARMIN para puntos de monitoreo

Post monitoreo: Para el análisis de las muestras se contrató los servicios del laboratorio Inspectorate Services Perú S.A.C mediante el método EPA Method 200.8 acreditado y certificado por INACAL, luego se procedió a la evaluación de datos en gabinete.

4.3. Evaluación de los metales pesados en los puntos de control

Según los primeros resultados obtenidos en los puntos de control para el mes de febrero (periodo de avenidas) se tomarán en cuenta los siguientes metales: As, Pb y Zn, debido a su alta concentración. De igual forma se consideraron estos metales pesados para el mes de agosto (periodo de estiaje). La evaluación de estos periodos está en función al régimen hídrico de la Laguna Patón.

4.4. Comparación de los metales pesados totales en los puntos de control según los ECA para aguas superficiales 2017

Se tomó como punto de partida para la comparación de concentraciones de metales pesados en la Laguna Patón los valores de los ECA para aguas (2017) (Anexo 3), los cuales indican los valores permitidos para parámetros físicos, químicos y biológicos la cual es normada por el Ministerio del Ambiente que toma en cuenta la calidad del recurso hídrico en fuentes de agua. Se clasificó la información de manera tabular para As, Pb y Zn los cuales indicaron los niveles de concentración en la Laguna Patón en sus cuatro puntos de muestreo.

4.5. Identificación de los puntos críticos de contaminación

Los informes emitidos de las muestras analizadas dieron a conocer que algunos de los metales mencionados anteriormente superaban los límites establecidos por los ECA para aguas (2017), para ello se realizó una gráfica comparativa para visualizar los puntos más críticos de contaminación en la Laguna Patón.

V. RESULTADOS

5.1. Identificación y concentración de metales pesados

Se presentan los resultados de manera tabular, los cuales indican la concentración de metales pesados para la época de avenidas y estiaje. Los resultados de la primera toma en la época de avenida muestran concentraciones de As, Pb y Zn en los puntos de muestreo indicados en la Tabla 3.

Tabla 3.

Concentración de metales pesados totales en época de avenida (febrero) en la Laguna Patón

Punto de muestreo	Unidad de medida	Época de avenida		
		As	Pb	Zn
LPAT 1	mg/L	0.0083	0.0034	0.0093
LPAT 2	mg/L	0.0086	0.0002	0.0042
LPAT 3	mg/L	0.0092	0.0003	0.0039
LPAT 4	mg/L	0.0119	0.0002	0.0044
Máximo	mg/L	0.0119	0.0034	0.0093
Mínimo	mg/L	0.0083	0.0002	0.0039

La Tabla 3 hace mención a las muestras que se realizaron para el mes de febrero donde los metales As, Pb y Zn son los metales más representativos de la muestra.

De igual forma, se consideraron estos metales para la época de estiaje en los puntos de control LPAT 1, LPAT 2, LPAT 3 y LPAT 4 y se clasificaron en la Tabla 4.

Tabla 4.

Concentración de metales pesados totales en época de estiaje (agosto) en la Laguna Patón

Punto de muestreo	Unidad de medida	Época de estiaje		
		As	Pb	Zn
LPAT 1	mg/L	0.0103	0.0034	0.0051
LPAT 2	mg/L	0.0123	0.0094	0.0147
LPAT 3	mg/L	0.0112	0.0034	0.0059
LPAT 4	mg/L	0.0161	0.0065	0.0130
Máximo	mg/L	0.0161	0.0094	0.0147
Mínimo	mg/L	0.0103	0.0034	0.0051

Estos resultados se consideraron como representativos en los cuatro puntos de control para la época de estiaje que corresponde al mes de agosto.

5.2. Evaluación de las concentraciones de metales pesados totales en las aguas superficiales de la Laguna Patón

Esta evaluación determinó si los metales pesados estaban dentro de los rangos permitidos por los ECA para aguas (2017) en la Categoría 4: Conservación del ambiente acuático según el D.S. 004-2017-MINAM.

5.2.1. Evaluación del Arsénico (As) en las aguas superficiales de la Laguna Patón.

A continuación, se muestran los resultados de las muestras de As y el límite permitido según los ECA para aguas superficiales 2017.

Tabla 5.

Concentración de Arsénico (As) en la Laguna Patón

Arsénico (As) mg/L			
Punto de muestreo	ECA 4 - (E1)	Época de avenidas	Época de estiaje
LPAT 1	0.15	0.0083	0.0103
LPAT 2	0.15	0.0086	0.0123
LPAT 3	0.15	0.0092	0.0112
LPAT 4	0.15	0.0119	0.0161

- Arsénico (As):

Según lo establecido por los ECA para agua (2017) para este metal pesado, indica que el valor permisible es 0.15 mg/L, considerando las muestras obtenidas en campo se muestran los resultados en la figura 8. De la información recopilada el valor máximo fue de 0.0161 mg/L referido al punto de muestreo LPAT 4 para la época de estiaje (agosto).

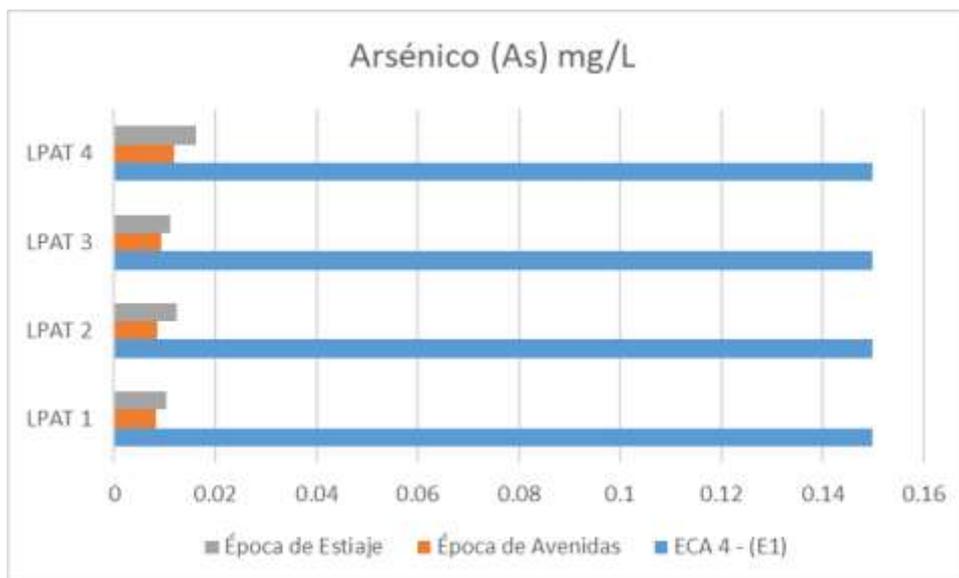


Figura 8. Variación del Arsénico (As) en la Laguna Patón

La figura 8 muestra la variación temporal de la concentración de As en la Laguna Patón, tanto para época de avenidas como de estiaje. Cabe resaltar que ninguno de estos valores supera los rangos establecidos por los ECA para aguas (2017).

5.2.2. Evaluación del Plomo (Pb) en las aguas superficiales de la Laguna Patón.

A continuación, se muestran los resultados de las muestras de Pb y el límite permitido según los ECA para aguas (2017).

Tabla 6.

Concentración de Plomo (Pb) en la Laguna Patón

Punto de muestreo	Plomo (Pb) (mg/L)		
	ECA 4 - (E1)	Época de avenidas	Época de estiaje
LPAT 1	0.0025	0.0034	0.0034
LPAT 2	0.0025	0.0002	0.0094
LPAT 3	0.0025	0.0003	0.0034
LPAT 4	0.0025	0.0002	0.0065

- Plomo (Pb):

Según lo establecido por los ECA para agua (2017) para este metal pesado, indica que el valor permisible es 0.0025 mg/L, considerando las muestras obtenidas en campo se muestra figura 9. De la información recopilada el valor máximo fue de 0.0094 mg/L referido al punto de muestreo LPAT 2 para la época de estiaje (agosto).

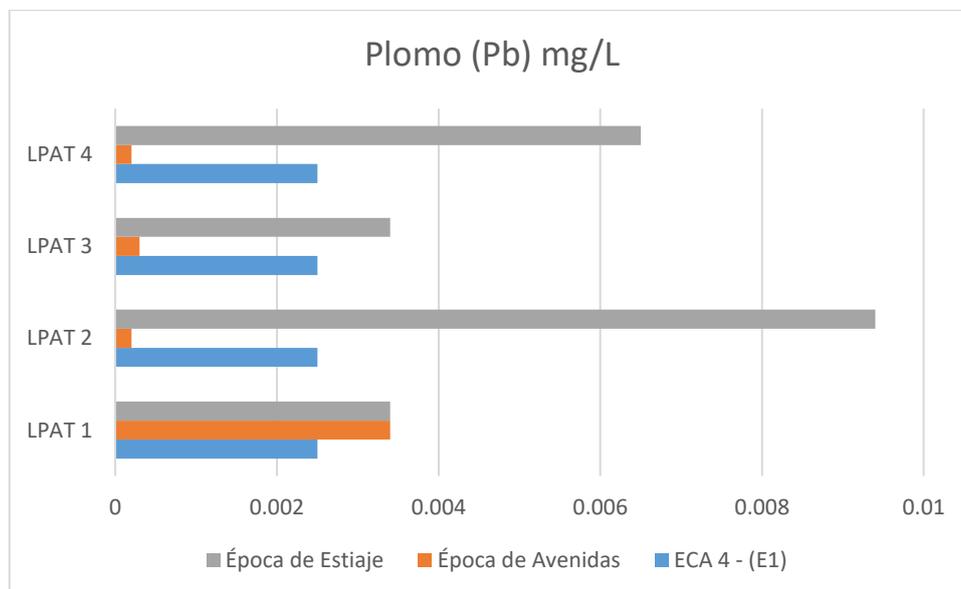


Figura 9. Variación del Plomo (Pb) en la Laguna Patón

La figura 9 muestra la variación temporal de la concentración de Pb en la Laguna Patón, tanto para época de avenidas como de estiaje. Cabe resaltar que para la época de estiaje (agosto) estos valores superan los rangos establecidos por los ECA para aguas (2017).

5.2.3. Evaluación del Zinc (Zn) en las aguas superficiales de la Laguna Patón.

A continuación, se muestran los resultados de las muestras de Zn y el límite permitido según los ECA para aguas (2017)

Tabla 7.

Concentración de Zinc (Zn) en la Laguna Patón

Zinc (Zn) (mg/L)			
Punto de muestreo	ECA 4 - (E1)	Época de avenidas	Época de estiaje
LPAT 1	0.12	0.0093	0.0051
LPAT 2	0.12	0.0042	0.0147
LPAT 3	0.12	0.0039	0.0059
LPAT 4	0.12	0.0044	0.0130

- Zinc (Zn):

Según lo establecido por los ECA para agua (2017) para este metal pesado, indica que el valor permisible es 0.12 mg/L, considerando las muestras obtenidas en campo se muestra la figura 10. De la información recopilada el valor máximo fue de 0.0147 mg/L referido al punto de muestreo LPAT 2 para la época de estiaje (agosto).

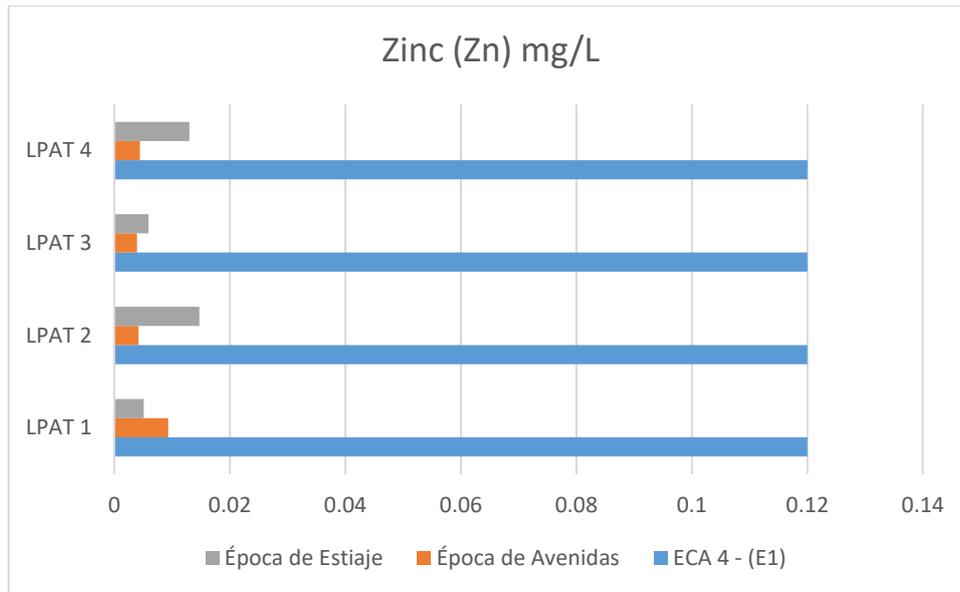


Figura 10. Variación del Zinc (Zn) en la Laguna Patón

La figura 10 muestra la variación temporal de la concentración de Zn en la Laguna Patón, tanto para época de avenidas como de estiaje. Cabe resaltar que ninguno de estos valores supera los rangos establecidos por los ECA para aguas (2017).

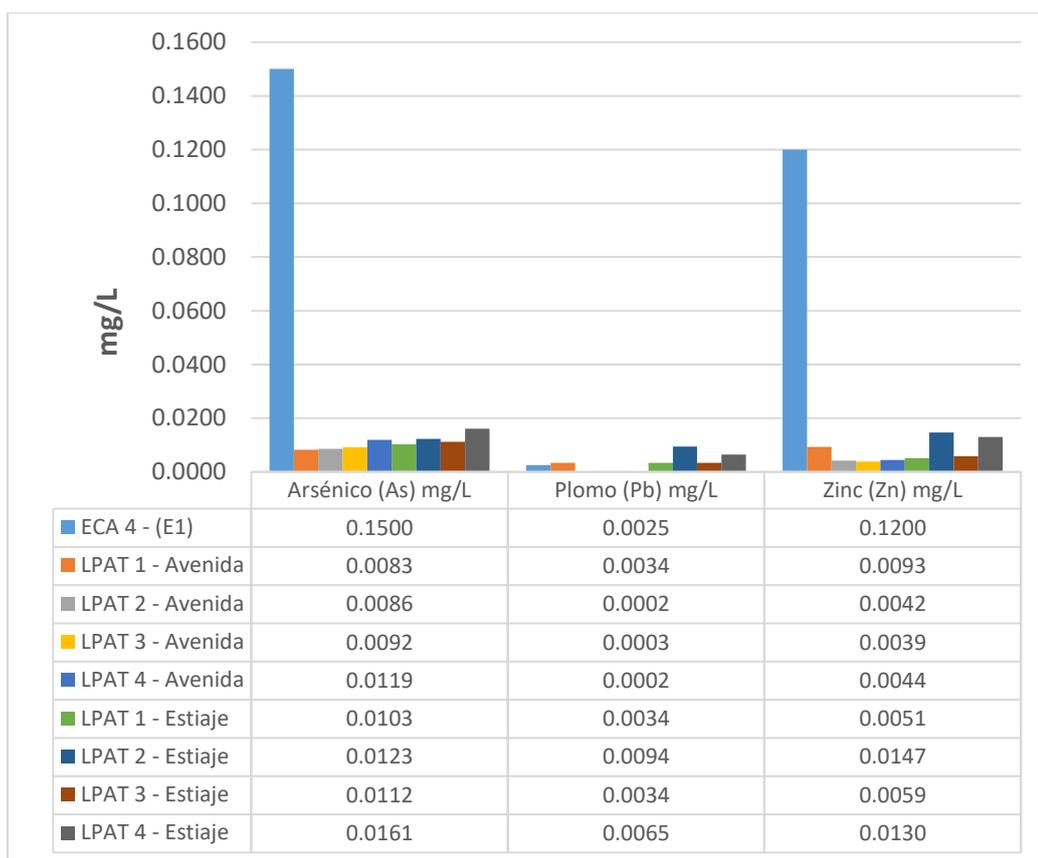


Figura 11. Concentración de los metales As, Pb y Zn en la Laguna Patón

La figura 11 hace referencia al análisis de las muestras de los metales que se obtuvo como resultado, donde el As y el Zn no superan los ECA para aguas (2017) categoría 4 (E1), considerando como valores permisibles 0.15 mg/L y 0.12 mg/L respectivamente. Caso contrario ocurre con las muestras de Pb las cuales superan sus valores permitidos para los ECA para aguas (2017) categoría 4 (E1), cuyo valor es de 0.0025 mg/L, los valores de las muestras varían de 0.0034 mg/L a 0.0094 mg/L. En el punto LPAT 1 se superan los valores permitidos por los ECA para aguas (2017) tanto en para las épocas de avenida y estiaje, cabe resaltar que para los puntos LPAT 2, LPAT 3 y LPAT 4 este incremento de las concentraciones de Pb solo se da en la época de estiaje.

5.3. Identificación de los puntos críticos de contaminación en la Laguna Patón

Se identificó que de los cuatro puntos de muestreo para el As el punto con mayor concentración es el LPAT 4 en la época de estiaje con un valor de 0.0161 mg/L, de igual manera para el Zn se identificó el punto con mayor concentración es el LPAT 2 con un valor 0.0147 mg/L, según lo evaluado estas concentraciones no superan los valores permitidos por los ECA para agua (2017) categoría 4 (E1). A diferencia del Pb que en el punto LPAT 2 registró una concentración de 0.0094mg/L la cual supera lo permitido por los ECA para aguas superficiales 2017 categoría 4 (E1).

VI. DISCUSIÓN

Las concentraciones de los metales pesados totales como As, Pb y Zn son las más representativas en las muestras de agua superficial tomadas en el presente estudio en la Laguna Patón ubicada en la cuenca alta del río Huaura, este hallazgo guarda relación con el estudio realizado por Huaranga *et al.*, (2012) en la cuenca alta del río Moche, donde los metales más representativos fueron As, Cd, Cu, Fe, Pb y Zn, determinando que existe una mayor alteración de la calidad del agua en la parte alta de una cuenca.

Según la ANA (2013), la cuenca Huaura se encuentra dentro del área de influencia de la unidad minera Uchucchacua alterando la calidad de las aguas superficiales debido a que en sus afluentes se encuentran concentraciones de Aluminio (Al), Fe, Pb y Zn. De igual manera, la ANA (2013) menciona que las concentraciones de Pb y Zn en la parte alta de la cuenca Huaura sobrepasan los ECA para aguas (2017) categoría 4 vigente, a causa del vertimiento de aguas residuales industriales tratadas por las compañías mineras y la influencia de las formaciones geológicas, así como la disolución de rocas y suelos que presenta dicha zona. Los resultados obtenidos en la presente investigación concuerdan con la presencia de los metales pesados Pb y Zn.

En el presente trabajo se identificó que la concentración de Pb en las aguas superficiales de la Laguna Patón cuyo valor máximo fue de 0.0094 mg/L en el punto de monitoreo LPAT 2 durante la temporada de estiaje, supera el valor máximo establecido por los ECA para aguas (2017) categoría 4, coincidiendo con el informe de monitoreo realizado por ANA (2013), en el que el valor de Pb (0.002 mg/L) superó la normativa vigente, mientras que para el As cuyo valor máximo fue de 0.0161 mg/L en el punto de monitoreo LPAT 4 durante la temporada de estiaje no supera el valor máximo

establecido por los ECA para aguas (2017). De manera similar, el informe de la ANA (2013) para el As muestra un valor de 0.00473 mg/L no superando tampoco la normativa vigente. Lo mismo sucede al comparar los resultados del Zn donde se obtuvo el valor máximo de 0.0147 mg/L en el punto de monitoreo LPAT 2 y el valor 0.00569 mg/L que muestra el informe de la ANA (2013), siendo ambos menores al valor máximo establecido por la normativa vigente para cada caso.

Por otro lado, los mayores valores de los contaminantes (As, Pb y Zn) en los cuatro puntos de muestreo en la Laguna Patón, fueron en la temporada de estiaje debido a que en esta época los caudales son menores y los tiempos de retención hidráulica aumentan la concentración de metales en las aguas superficiales de un cuerpo de agua léntico (Cerrón, 2019). Asimismo, Capacoila (2017) menciona que, en las muestras de agua superficial evaluadas, las concentraciones de metales pesados fueron superiores en la época de estiaje, al igual que se manifestó en el presente trabajo.

En virtud de los resultados, el punto crítico identificado fue el LPAT2 el cual presentó una concentración de Pb mayor al permitido por la normativa vigente siendo éste una fuente de contaminación para el medio ambiente. En tal sentido, Eróstegui (2009) afirma que la cantidad excesiva de Pb podría generar alteraciones en el crecimiento de las plantas, así como la disminución de la calidad del suelo y afectación a la fauna. En cuanto a lagos y ríos la contaminación por metales pesados tiene un efecto silencioso ya que la concentración va aumentando con respecto a los años, lo cual puede afectar la calidad del agua potable para las poblaciones aledañas.

VII. CONCLUSIONES

- Se confirma la presencia de metales pesados disueltos Arsénico (As), Plomo (Pb) y Zinc (Zn) en las aguas superficiales de la Laguna Patón. La concentración de Pb sobrepasa lo permitido por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua 2017 categoría 4, debido al vertimiento de aguas residuales industriales mineras cercanas a la laguna y formaciones geológicas.
- Al evaluar la concentración de los metales, se determinó que el Pb tenía un valor máximo 0.0094 mg/L no cumpliendo con la normativa vigente (ECA para agua 2017), mientras que los valores máximos de As y Zn fueron de 0.0161 mg/L y 0.0147 mg/L, respectivamente, cumpliendo con los ECA para aguas (2017).
- Se identificó que el punto más crítico de contaminación por metales pesados se dió en la época de estiaje, para el caso de Pb y Zn se encontraba en el punto de muestreo LPAT2 con concentraciones de 0.0094 mg/L y 0.0147 mg/L, respectivamente; sin embargo, para el As el punto crítico correspondió al punto de muestreo LPAT4, con una concentración de 0.0161 mg/L.

VIII. RECOMENDACIONES

- Se sugiere utilizar como base el presente estudio, el cual consiste en la evaluación de parámetros inorgánicos, pero para realizar un monitoreo de la calidad de un recurso hídrico superficial más completo.
- Se recomienda tomar en cuenta un mayor número de parámetros como: físicos-químicos, orgánicos y plaguicidas para conocer el estado de la calidad de agua superficial de la Laguna.
- Se aconseja realizar una batimetría en la laguna para conocer las profundidades máximas, mínimas y medias donde se estaría presentando estas concentraciones.
- También cabe resaltar que las normativas de otros países son más exigentes conforme avanza el tiempo para salvaguardar los cuerpos de agua, ya que los lagos y lagunas forman parte importante en las cabeceras de la cuenca pues de ellas derivan los cauces principales y secundarios, influyendo de manera importante en la calidad de agua en las cuencas, por lo cual deberían tener un control más frecuente en su calidad de agua.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2003). *Reseña Toxicológica del Selenio*. Departamento de Salud y Servicios Humanos EE. UU.
<https://www.atsdr.cdc.gov/es/index.html>
- Autoridad Nacional del Agua. (2013). *Monitoreo de la Calidad de Agua Superficial de la Cuenca del río Huaura*. Ministerio de Agricultura y Riego del Perú.
- BBC. (12 de febrero de 2020). *El legado tóxico de la Revolución Industrial*.
https://www.bbc.com/mundo/noticias/2012/07/120626_inglaterra_revolucion_industrial_contaminacion_lp
- Capacoila, J. (2017) Evaluación de la concentración de metales pesados en las aguas superficiales del río Coata.
- Cerrón, E. (2019) Evaluación de la capacidad de asimilación y concentración de metales pesados utilizando *Beta vulgaris* var. *cicla* para un proceso de restauración de suelo contaminado en la E.E.A Mantaro – Junín.
- Chavez, A. (2011) Acumulación de metales pesados en sedimentos del ecosistema manglar en laguna de términos Campeche – México.
- De Jesús, S. (10 de marzo de 2020). *Significado de Cobre*.
- Ebbing, D. y Gammon, S. (2010). *Química General*. Cengage Learning Editores S.A.
- Equipo Editorial. (2016). Antimonio, ¿Para qué sirve el elemento químico Sb? <https://iquimicas.com/antimonio-sirve-elemento-quimico-sb/>

Equipo Editorial. (2016). Cadmio, ¿Para qué sirve el elemento químico Cd?. <https://quimicas.com/antimonio-sirve-elemento-químico-cd/>

Equipo Editorial. (2017). Arsénico ¿Para qué sirve el elemento químico As?. <https://quimicas.com/antimonio-sirve-elemento-químico-as/>

Eróstegui, C., (2009). *Contaminación por metales pesados*, Revista Científica de Ciencias Médicas de Bolivia.

Estándares de Calidad Ambiental para Agua MINAM. 2017. D.S. N° 004-2017

FACSA. (19 de febrero de 2020). Metales Pesados. <https://facs.com/metales-pesados>

Flores, C., Del Angel, E., Frías, D. y Gómez, A. (2018). Evaluation of Physicochemical Parameters and Heavy Metals in Water and Surface Sediment in the Ilusiones Lagoon, Revista Tyca Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 72-75. <http://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/1670/1348>

Huaranga, F., Méndez, E., Quilcat, V., (2012). *Contaminación por metales pesados en la Cuenca del Río Moche*. Scientia Agropecuaria.

Kahlowan, M. A., Majeed, A., Tahir, M. A., 2002. Water Quality Status in Pakistan. Pakistan Council of Research in Water Resources (PCRWR), Ministry of Science & Technology, Government of Pakistan

LI, A., CHAN, M., LEUNG, T., CHEUNG, R. and LAM, T. (2010). *Mercury intoxication presenting with tics*. Health Children.

Manahan, S., (2007) *Introducción a la química ambiental*. Editorial Reverte S.A.

Ministerio del Ambiente del Perú. (2016). *Contaminación del agua: Aprende a prevenir los efectos del mercurio*, Módulo 3: Agua y Alimento.

Organización Mundial de la Salud e International Water Association. (2009). *Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua*. Gobierno de Estados Unidos.

Pérez, L. (2005). *Cátedra de Hidráulica aplicada a la Ingeniería Sanitaria*. Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de Argentina.

Perez, R., Castellanos, C. (2008). *Agua y oxígeno*. Dirección General del Colegio de Ciencias y Humanidades de México.

Reglamento de Protección y Gestión Ambiental para las Actividades de Explotación, Beneficio, Labor General, Transporte y Almacenamiento Minero. Ministerio de Energía y Minas del Perú. (2014) D.S. N° 040-2014-EM.

Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O. y Díaz, M., Gonzales, E. (2016). *Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria*. Ingeniería, Investigación y Desarrollo. España.

Rizzo, A., Arcagni, R., Catán, M., Sanchez, S., Ribeiro, R., Arribére y S., Arribére, M. (2010). *Concentraciones de metales pesados en distintos compartimentos de lagos andinos de Patagonia Norte*. Ecología Austral.

Rubio, C., González Weller, D., Izquierdo, R., Revert, C., I. Rodríguez y Hardisson, A. (2007). *El zinc: oligoelemento esencial. Alimentos funcionales*. Grupo Aula Médica.

Sánchez, A. (2011). *Conceptos básicos de gestión ambiental y desarrollo sustentable*. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México.

Tejero et al. (2006). *Introducción a la Ingeniería Sanitaria y Ambiental*. Universidad de la Coruña.

X. ABREVIATURAS

As Arsénico

B Boro

Co Cobalto

Cr Cromo

Cu Cobre

Mo Molibdeno

Mn Manganeso

Se Selenio

Zn Zinc

Cd Cadmio

Hg Mercurio

Pb Plomo

Ni Níquel

Sb Antimonio

Bi Bismuto

MINAM Ministerio del Ambiente

OMS Organización Mundial de la Salud

ECA Estándar de Calidad Ambiental

SENACE Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles

OEFA Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

ANA Autoridad Nacional del Agua

INACAL Instituto Nacional de Calidad

EPA Environmental Protection Agency

XI. ANEXOS

Anexo 1. Informes de Ensayo de los resultados del análisis de metales totales por ICP



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Pág. 1

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 21618L/19-MA

RESULTADOS DE ANÁLISIS

Estación de Muestreo				LPAT-1	LPAT-2	LPAT-3	LPAT-4
Fecha de Muestreo				2019-02-07	2019-02-07	2019-02-07	2019-02-07
Hora de Muestreo				07:55	08:30	09:00	09:30
Código de Laboratorio				01512	01512	01512	01512
Matriz				00001	00002	00003	00004
Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.	AS	AS	AS	AS
Metales Totales ICP-MS							
Li (Tot)	mg/L	0.0012	0.0003	0.0041	0.0040	0.0024	0.0028
B (Tot)	mg/L	0.0012	0.0006	0.0121	0.0110	0.0109	0.0130
Be (Tot)	mg/L	0.0006	0.0003	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006
Al (Tot)	mg/L	0.0019	0.0010	0.0247	0.0298	0.0161	0.0521
P (Tot)	mg/L	0.0033	0.0016	<0.0033	<0.0033	<0.0033	<0.0033
Ti (Tot)	mg/L	0.0004	0.0002	<0.0004	<0.0004	<0.0004	0.0012
V (Tot)	mg/L	0.0003	0.0002	0.0005	<0.0003	0.0003	0.0007
Cr (Tot)	mg/L	0.0005	0.0002	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
Mn (Tot)	mg/L	0.0003	0.0001	0.0054	0.0091	0.0069	0.0169
Co (Tot)	mg/L	0.0002	0.0001	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Ni (Tot)	mg/L	0.0004	0.0002	0.0165	0.0070	0.0094	0.0137
Cu (Tot)	mg/L	0.0001	0.0001	0.0112	0.0060	0.0082	0.0110
Zn (Tot)	mg/L	0.0002	0.0001	0.0093	0.0042	0.0039	0.0044
As (Tot)	mg/L	0.0004	0.0002	0.0083	0.0086	0.0092	0.0119
Se (Tot)	mg/L	0.0002	0.0001	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Sr (Tot)	mg/L	0.0020	0.0010	0.7675	0.7410	0.7947	0.7066
Mo (Tot)	mg/L	0.0002	0.0001	0.0008	0.0007	0.0008	0.0021
Ag (Tot)	mg/L	0.0002	0.0001	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Cd (Tot)	mg/L	0.0002	0.0001	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Sn (Tot)	mg/L	0.0004	0.0002	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004
Sb (Tot)	mg/L	0.0002	0.0001	0.0011	0.0009	0.0009	0.0008
Ba (Tot)	mg/L	0.0004	0.0002	0.0178	0.0177	0.0178	0.0185
Ce (Tot)	mg/L	0.0003	0.0001	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Hg (Tot)	mg/L	0.0001	0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Tl (Tot)	mg/L	0.0003	0.0002	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Pb (Tot)	mg/L	0.0002	0.0001	0.0034	<0.0002	0.0003	<0.0002
Bi (Tot)	mg/L	0.0003	0.0001	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Th (Tot)	mg/L	0.0010	0.0005	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
U (Tot)	mg/L	0.0003	0.0001	<0.0003	<0.0003	<0.0003	0.0005
Na (Tot)	mg/L	0.0100	0.0050	0.8719	0.8313	0.8920	0.8429
Mg (Tot)	mg/L	0.0396	0.0178	6.5563	6.5713	6.9094	12.3222
K (Tot)	mg/L	0.0237	0.0119	0.2378	0.2346	0.2571	0.8007
Ca (Tot)	mg/L	0.0303	0.0152	38.7517	37.0652	40.8539	47.7018
Fe (Tot)	mg/L	0.0031	0.0015	0.1983	0.0124	<0.0031	0.0638
Si (Tot) (*)	mg/L	0.1000	0.0500	0.8972	0.9156	0.9675	1.2494



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 031



Registro N° LE - 031

Pág.

INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 83380L/19-MA

RESULTADOS DE ANÁLISIS

		LPAT-1	LPAT-2	LPAT-3	LPAT-4		
		2019-08-23	2019-08-23	2019-08-23	2019-08-23		
Ubicación de Muestreo							
Fecha de Muestreo		07:00	07:30	08:00	09:00		
Hora de Muestreo		11420	11420	11420	11420		
Código de Laboratorio		00001	00002	00003	00004		
Analiz		AS	AS	AS	AS		
Consigna	Unidad	L.C.	L.D.				
Elementos Totales ICP-MS							
Li (Tot)	mg/L	0.0012	0.0003	0.0073	0.0057	0.0099	0.0055
B (Tot)	mg/L	0.0012	0.0006	0.3127	<0.0012	<0.0012	<0.0012
Ba (Tot)	mg/L	0.0006	0.0003	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006
Al (Tot)	mg/L	0.0019	0.0010	0.0574	0.5349	0.1584	0.5612
P (Tot)	mg/L	0.0033	0.0016	0.0336	0.0561	0.0660	0.1298
Ti (Tot)	mg/L	0.0004	0.0002	0.0011	0.0052	0.0016	0.0056
V (Tot)	mg/L	0.0003	0.0002	<0.0003	0.0004	0.0024	0.0037
Cr (Tot)	mg/L	0.0005	0.0002	<0.0005	0.0006	<0.0005	0.0010
Mn (Tot)	mg/L	0.0003	0.0001	0.2089	0.8548	0.0477	0.0456
Fe (Tot)	mg/L	0.0002	0.0001	<0.0002	0.0003	0.0003	0.0005
Ni (Tot)	mg/L	0.0004	0.0002	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004
Zn (Tot)	mg/L	0.0001	0.0001	0.0005	0.0011	0.0006	0.0018
Cu (Tot)	mg/L	0.0002	0.0001	0.0051	0.0147	0.0059	0.0130
As (Tot)	mg/L	0.0004	0.0002	0.0103	0.0123	0.0112	0.0161
Sb (Tot)	mg/L	0.0002	0.0001	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Se (Tot)	mg/L	0.0020	0.0010	0.9598	1.0049	0.9517	1.0232
Mo (Tot)	mg/L	0.0002	0.0001	0.0010	0.0007	0.0014	0.0008
Ag (Tot)	mg/L	0.0002	0.0001	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Cd (Tot)	mg/L	0.0002	0.0001	0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Hg (Tot)	mg/L	0.0004	0.0002	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004
Co (Tot)	mg/L	0.0002	0.0001	0.0014	0.0017	0.0013	0.0015
Ni (Tot)	mg/L	0.0004	0.0002	0.0197	0.0237	0.0286	0.0262
Ca (Tot)	mg/L	0.0003	0.0001	<0.0003	0.0009	0.0003	0.0010
Mg (Tot)	mg/L	0.0001	0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Na (Tot)	mg/L	0.0003	0.0002	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
K (Tot)	mg/L	0.0002	0.0001	0.0034	0.0094	0.0034	0.0065
Ba (Tot)	mg/L	0.0003	0.0001	<0.0003	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Pb (Tot)	mg/L	0.0010	0.0005	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
Li (Tot)	mg/L	0.0003	0.0001	<0.0003	<0.0003	0.0003	0.0004
Mn (Tot)	mg/L	0.0100	0.0050	1.3611	1.3700	1.4916	1.3230
Fe (Tot)	mg/L	0.0356	0.0178	7.9050	8.4802	13.7471	8.8947
Cu (Tot)	mg/L	0.0037	0.0119	0.7327	0.8337	1.3110	1.2332
Zn (Tot)	mg/L	0.0303	0.0152	43.3301	52.7636	68.5807	59.9314
As (Tot)	mg/L	0.0031	0.0015	0.1148	0.6010	0.4360	0.9452
Sb (Tot) (*)	mg/L	0.1000	0.0500	1.3690	2.1414	2.1559	2.3886

Anexo 2. Estándar de calidad ambiental para aguas superficiales (DS002-2008)

CATEGORÍA 4: CONSERVACIÓN DEL AMBIENTE ACUÁTICO

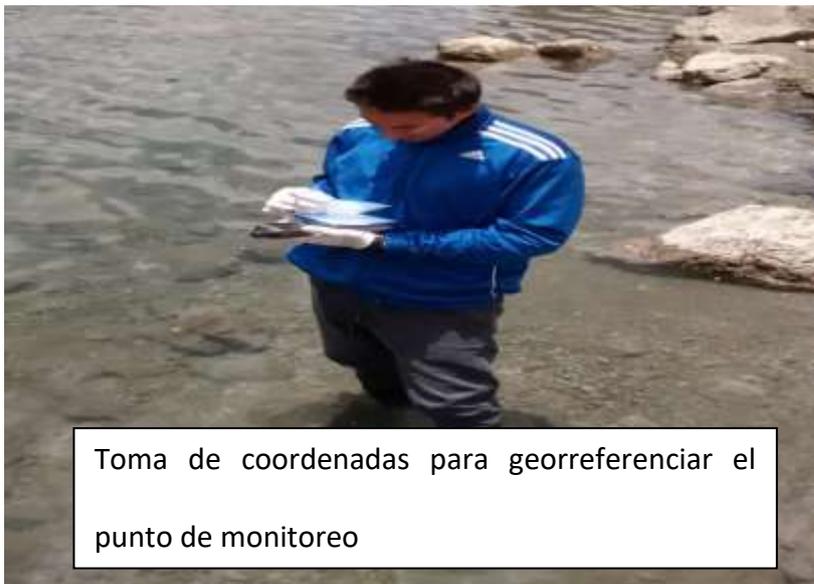
PARÁMETROS	UNIDADES	LAGUNAS Y LAGOS	RÍOS		ECOSISTEMAS MARINO COSTEROS	
			COSTA Y SIERRA	SELVA	ESTUARIOS	MARINOS
FISICOS Y QUIMICOS						
Aceites y grasas	mg/L	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	1	1
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	<5	<10	<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	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-NO ₃)	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 (H ₂ S indisoluble)	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,06
Zinc	mg/L	0,03	0,03	0,3	0,03	0,061
MICROBIOLÓGICOS						
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100mL)	1 000	2 000		1 000	≤30
Coliformes Totales	(NMP/100mL)	2 000	3 000		2 000	

Anexo 3. Estándar de calidad de agua superficial (DS004-2017)

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FÍSICOS-QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO ₃) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco Total (NH ₄)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Telurio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081

Anexo 4. Fotografías de las etapas del monitoreo del primer viaje



Toma de coordenadas para georreferenciar el punto de monitoreo



Toma de muestra de agua superficial en la laguna Patón



Toma de parámetros físico-químicos para evaluar las condiciones de la laguna Patón

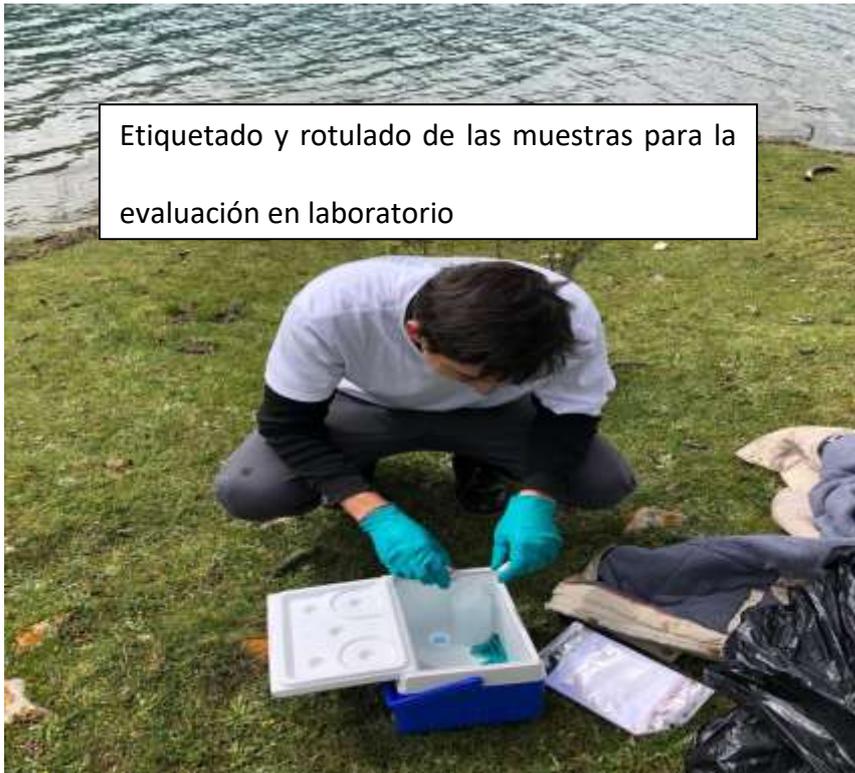


Vista de la laguna Patón en temporada de lluvias

Anexo 5. Fotografías de las etapas de monitoreo del segundo viaje

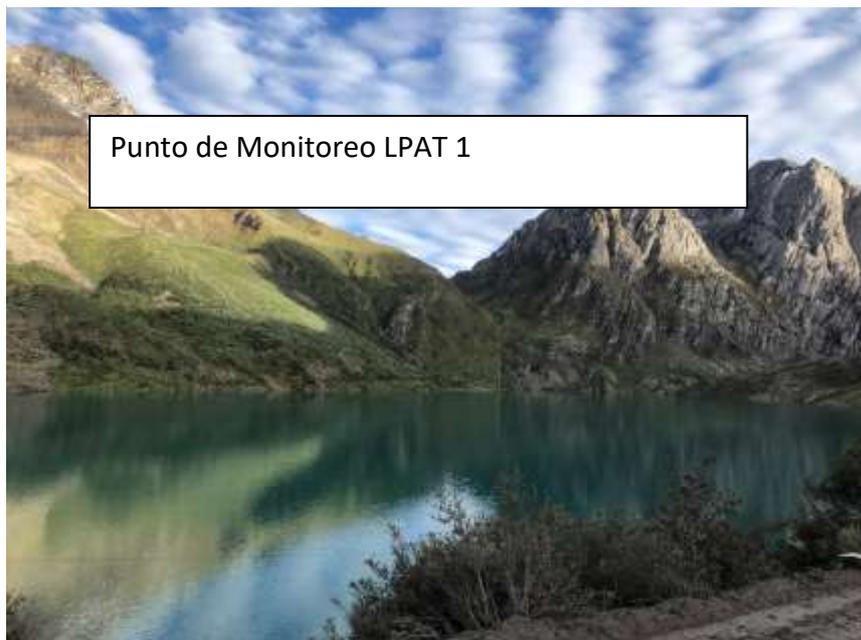






Etiquetado y rotulado de las muestras para la evaluación en laboratorio

Anexo 6. Puntos señalados para realizar el monitoreo





Punto de Monitoreo LPAT 3



Punto de Monitoreo LPAT 4

