

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGIA Y MEDIO
AMBIENTE



TESIS

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y NIVELES DE METALES PESADOS EN AGUA Y SEDIMENTOS EN LA ZONA DE CRIANZA DE TRUCHAS (*Oncorhynchus mykiss*), BAHÍA DE PUNO DEL LAGO TITICACA

PRESENTADA POR:

FORTUNATO ESCOBAR MAMANI

PARA OPTAR EL GRADO ACADEMICO DE:

DOCTOR EN CIENCIA, TECNOLOGIA Y MEDIO AMBIENTE

PUNO, PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO
AMBIENTE



TESIS
DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y NIVELES DE
METALES PESADOS EN AGUA Y SEDIMENTOS EN LA ZONA DE CRIANZA
DE TRUCHAS (*Oncorhynchus mykiss*), BAHÍA DE PUNO DEL LAGO TITICACA

PRESENTADA POR:
FORTUNATO ESCOBAR MAMANI

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:
DOCTOR EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

PRESIDENTE

Dr. FELIX OLAGUIVEL LOZA

PRIMER MIEMBRO

Dr. ROBERTO FLORO GALLEGOS ACERO

SEGUNDO MIEMBRO

Ph.D. SABINO ATENCIO LIMACHI

ASESOR DE TESIS

Dr. EDMUNDO MORENO TERRAZAS

Puno, 22 de marzo del 2019

AREA : Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

TEMA: Calidad de aguas y concentración de metales pesados en agua y sedimentos en el área de producción de truchas

LINEA: Impacto Ambiental y Social

DEDICATORIA

Dedico esta investigación de tesis a mis padres Feliciano y Manuela quienes ya no están conmigo, al haber partido a un viaje sin retorno, al igual que a mi hermano Máximo que los siguió, pero sus recuerdos siempre están presentes. A ellos siempre estoy agradecido, por sus sabias enseñanzas de mostrarme el camino desafiante y peligroso que es necesario sortear.

Sobre todo, dedico esta investigación, a mi familia con toda gratitud, por haberme soportado largas ausencias y jornadas fuera del país y de casa. Y, al soportarme como sujeto infectado por un virus de la investigación. Virus, que está dentro de mí, como la pasión por entender el problema, las oportunidades o los intereses del mundo real y científico, para intentar contribuir a solucionar, prevenir o entender los procesos orientado a encaminar hacia un mundo más justo sin pobres, ni excluidos, ni ignorados. Al tiempo de promover de manera colegiada la conservación, el uso sostenible de la diversidad biológica (en sumisión a los preceptos espirituales y culturales) y la participación justa y equitativa de los beneficios de la sustentabilidad.

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional del Altiplano por haberme formado, que me dio la oportunidad de salir fuera del país y compartir saberes de las realidades del norte, del sur o de la llamado mundo occidental para comprender sus procesos.
- A los profesores de la Escuela de Posgrado de la Escuela de Posgrado por permitirme a compartir saberes y aprendizaje de mundo de la investigación, como una herramienta para surcar el terreno fértil sin bien conocido de manera escasa por intentar comprender su complejidad
- Al personal técnico del equipo de investigación del Instituto del Mar del Perú – IMARPE con sede en la ciudad de Puno, en particular en la persona de su director Mgtr. Blgo. Cesar Gamarra Peralta, entidad especializada del Ministerio de la Producción que asesora y orienta la investigación científica. Institución que me facilitó ser parte del equipo de investigación y compartir los resultados de la investigación procesada, al igual que, todo el proceso de recolección de muestras para los ensayos de investigación de la presente tesis doctoral.
- Mi sincera gratitud y agradecimiento especial al Dr. Félix Olaguivel Loza, al Dr. Roberto Floro Gallegos Acero, y al Ph.D. Sabino Atencio Limachi miembros del tribunal del jurado evaluador de la presente tesis doctoral. Tribunal evaluador de críticas, reflexiones y de provocar debate científico y la construcción de posturas debidamente respaldas con literatura científica que permitió mejorar el contenido, sobre todo apoyar los procesos de uso racional y conservación del lago Titicaca a cargo de todos los involucrados.
- Finalmente, agradezco a mi asesor de ésta investigación de tesis al Dr. Edmundo Moreno Terrazas por la conducción del proceso y críticas constructivas sobre las formas diversas de entender y abordar la diversidad biológica sin dejar de lado lo socio cultural y económica. Dr. Moreno como uno de los investigadores de notable presencia en la Región apuesta por la calidad de las aguas del lago Titicaca del que comparto como acción imprescindible e impostergable.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
INDICES DE ANEXOS	ix
ABREVIATURAS	x
RESUMEN	xi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I**REVISIÓN DE LITERATURA**

1.1. Marco teórico	4
1.1.1. Calidad de agua	4
1.1.2. Parámetros fisicoquímicos determinantes del impacto ambiental	8
1.1.3. Metales pesados en aguas superficiales y sedimentos	12
1.1.5. Política Nacional de Acuicultura en el Perú	18
1.1.6. Visión ecológica y economía ecológica sobre sustentabilidad	19
1.2 Antecedentes	20

CAPÍTULO II**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

2.1. Identificación del Problema	32
2.2. Enunciados del Problema.....	35
2.3. Justificación.....	35
2.4. Objetivos	36
2.4.1. Objetivo General:	36
2.4.2. Objetivos específicos:.....	37
2.5. Hipótesis.....	37
2.5.1. Hipótesis General:	37
2.5.2. Hipótesis específicas:	37

CAPITULO III**MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1. Lugar de Estudio	38
3.2. Población.....	41
3.3. Muestra.....	42
3.4. Método de Investigación.....	43
3.5. Procedimientos metodológicos	43

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Condiciones físico químicas de las aguas en el área de crianza de truchas	50
4.2. Niveles de metales pesados en aguas superficiales y sedimentos.....	58
4.2.1. Niveles de metales pesados en aguas superficiales.....	59
4.2.2. Niveles de metales pesados en sedimentos zona de producción de truchas ..	63
4.3. Modelo estadístico y significancia estadística de los parámetros de estudio.....	72
4.3.2. Significancia estadística de parámetros fisicoquímicos entre los puntos de muestreo PB y PJ	80
4.4. Truchicultura y discurso ambientalista ruta latente de conflictos en la Región....	84
CONCLUSIONES.....	89
RECOMENDACIONES.....	90
BIBLIOGRAFIA.....	91
ANEXOS	108

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Fuentes de contaminación de metales en los alimentos.....	15
2. Percepción genérica de metales pesados en el ambiente	16
3. Efectos de metales pesados en el ambiente	17
4. Ubicación de zona de estudio y puntos de muestreo	38
5. Métodos de ensayo utilizados por los laboratorios, para el análisis de calidad de sedimentos.....	43
6. Parámetros en estudio de la zona de experimentación	45
7. Matriz de muestras procesadas en cada fecha de intervención: temperatura	45
8. Parámetros físicas, químicas del entorno de las jaulas de truchas cusipata comparadas con el ECA, FAO, ANTAMINA Y PRODUCE.....	50
9. Temperatura de agua en la zona de estudio en comparación con estándares	51
10. Promedio general de parámetros físico químicos máximos, mínimos según lugar de muestreo y niveles de profundidad nivel de agua desde julio 2017 a setiembre 2018	53
11. pH (UpH) del agua en la zona de estudio en comparación con otros estándares	54
12. Oxígeno disuelto - OD (mg/l) en el agua en la zona de estudio en comparación con otros estándares	55
13. Valores de dióxido de carbono mg/l (CO ₂) en el agua de la zona de estudio comparado con otros produce	56
14. Niveles de metales pesados en aguas superficiales en la zona de producción de truchas en jaulas y en la zona control comparado 4ta categoría eca – mg/l	61
15. Concentración de metales pesados mg/kg en sedimentos de la zona de estudio cusipata comparado con norma Canadá ISQG – del agua dulce y eca suelos.....	64

16. Parámetros de metales pesados mg/kg en sedimentos de la zona de estudio cusipata comparado de norma canadá del – sedimento marino y eca suelos.....	64
17. Parámetros predeterminados en estudio de la zona de experimentación.....	73
18. Coeficiente de determinación r^2	74
19. Resultados del primer modelo general del estudio a partir de la variable dependiente: OD1.....	75
20. Análisis de varianza del primer modelo de mejor modelo estadístico.....	76
21. Resultados del quinto modelo general y final del estudio a partir de la variable dependiente: OD1.....	78
22. Diferencias estadísticas de nivel de profundidad de toma de muestra y tendencia óptima de agua.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Preparación artesanal de alimentos a base de triturado de ispi en el lago Titicaca	23
2. Secado de Ispi previa a la preparación alimenticia para truchas	24
3. Estanque actual de producción de truchas en la Bahía de Puno	25
4. Mapa de la bahía de Puno, lago Titicaca con indicación de la zona de muestreo	39
5. Embarcación zodiac y equipos de imarpe como botella multiparámetro ysi usados para la toma de muestras de agua y sedimentos en la zona de estudio.....	39
6. Mapa de ubicación de la comunidad campesina de cusipata a orillas de la bahía exterior de Puno.	41
7. Ubicación satelital de Cusipata (barco) de la bahía interior y mayor del lago Titicaca .	42
8. Niveles de metales en el agua en la zona de producción de truchas comparado con eca	62
9. Niveles de metales en sedimento en la zona de producción de truchas comparado con norma canadiense isqg suelo marino	67
10. Niveles de metales en sedimento en la zona de producción de truchas comparado con norma canadiense PEL - sedimento marino	69

INDICES DE ANEXOS

	Pág.
1. Mapa del distrito de puno y ubicación de comunidad de cusipata de distrito de chucuito	109
2. Pautas provisionales de calidad de sedimentos de agua dulce (isqq.....)	110
3. Pautas provisionales de calidad de sedimentos marinos (isqq.....)	110
4. Tabla periódica de los elementos químicos ordenado por su mayor toxicidad del grupo de 19 y 6 priorizados.....	111
5. Ilustración de acceso al área acuática de producción truchícola cusipata, preparación de embarcación previa a la toma de muestra	114
6. Preparación de embarcación previa a la toma de muestra	114
7. Preparación de instrumental de equipo para toma de muestra agua	115
8. Toma de muestra del tesista de agua desde cabina de vigilancia del módulo de truchas	116
9. Instalaciones de módulo de jaulas de truchas en el entorno de estudio	117
10. Instalaciones de módulo de jaulas de truchas en el entorno de estudio	117
11. Toma de muestra agua a 1, 5, 10 y 15 m de profundidad.....	118
12. Toma de muestra agua a 1, 5, 10 y 15 m de profundidad del entorno de estudio	118
13. Toma de muestra agua a 1, 5, 10 y 15 m de profundidad	119
14. Secado de muestras de sedimento en las instalaciones de mega laboratorios de la universidad nacional del altiplano	120
15. Secado de primera muestra de sedimento de entorno de jaulas.....	121
16. Secado de segunda muestra de sedimento de entorno de jaulas	122
17. Tabla de resultados procesados de sistema informático	124
18. Certificación análisis de laboratorios y normas ambientales.....	128
19. Normatividad nacional e internacional	141

ABREVIATURAS

Sigla	denominación
H ₂ O	Agua
ALT	Autoridad Binacional Autónoma del lago Titicaca (Sistema Hídrico TDPS).
ANA	Autoridad Nacional del Agua.
COD:	carbono orgánico disuelto
Q:	Caudal
Me T.:	concentración de metal pesado total
CE:	conductividad eléctrica
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
CO ₂	Dióxido de carbono
DIREPRO	Dirección Regional de la Producción.
ECA	Estándares de Calidad Ambiental
FONDEPES	Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero
PRS:	fósforo reactivo soluble
Me D.:	fracción disuelta de metal pesado
Me P.:	fracción particulada de metal pesado
IMARPE	Instituto del Mar del Perú.
ISQG	Interim Sediment Quality Guideline - Guía de calidad de sedimentos interinos
LMP	Límites Máximos Permisibles.
MINAGRI	Ministerio de Agricultura y Riego.
MINEM	Ministerio de Energía y Minas.
PRODUCE	Ministerio de la Producción
MINAM	Ministerio del Ambiente.
NID:	Nitrógeno inorgánico disuelto (amonio+nitratos+nitritos)
C ₆ H ₁₂ O ₆	Nutriente rico en carbono
OEFA	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental.
O ₂	Oxígeno
OD:	Oxígeno disuelto
PIGARS	Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos.
PELT	Proyecto Especial Binacional lago Titicaca.
RNT	Reserva Nacional del Titicaca
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.
TDPS	Sistema Hídrico Titicaca, Desaguadero, Poopó y Salar de Coipasa
STD	Sólidos Totales Disueltos
STS:	sólidos totales en suspensión
T°	Temperatura

RESUMEN

Algunas zonas del lago Titicaca presentan indicios de contaminación por vertimiento de residuos urbanos, relaves mineros y nutrientes inorgánicos derivados de la crianza de truchas. Ésta investigación evaluó las condiciones físico-químicas del agua y los niveles de metales en agua y sedimentos en dos lugares de la Bahía de Puno, uno en el área de producción de truchas en Cusipata, donde se instaló un módulo de crianza de truchas, y otra a 500 metros, aguas adentro sin efecto de la producción. Se recolectaron muestras de agua a 1, 5, 10 y 15 m de profundidad y sedimentos del fondo. El muestreo fue de julio 2017 a setiembre del 2018. Los parámetros fueron determinados in situ, en el laboratorio de IMARPE y los metales en el Laboratorio ALS-LS-Perú SAC. Los resultados indican que los parámetros físico-químicos del agua no superan los límites de tolerancia de los ECA. Así, el valor del pH del agua (8.79) está dentro de rango 6,0-9,0 UpH; el OD en agua ($6.81 > 5$ mg/L). A pesar de las diferencias significativas de variabilidad entre jaulas y blanco $p < 0.05$; se optimizó el mejor modelo estadístico de parámetros de dependencia y el nivel de muestreo a 1.20 m de profundidad. La concentración de metales pesados Hg, Cd, Pb, Zn, Cu en agua y sedimentos están dentro de los límites permisibles comparado con la norma canadiense, excepto As que presenta un efecto probable ($41.1 > 17$ mg/Kg), sin superar el valor ECA (50 mg/kg). Las tendencias de crecimiento de la actividad productiva de truchas en el lago, comprometerán la calidad de agua y por ende la sustentabilidad del Titicaca. Finalmente, se sugiere la implementación de medidas mínimas responsables y de buenas prácticas en esta actividad económica.

Palabras clave: Calidad de agua, contaminación acuícola, nutrientes inorgánicos, lago Titicaca, residuos urbanos, truchicultura

ABSTRACT

Some areas of Lake Titicaca show signs of pollution due to dumping of urban waste, mining tailings, and inorganic nutrients derived from the trout breeding. This research evaluated the physico-chemical conditions of the water and the levels of metals in water and sediments in two places in Puno Bay one in the trout breeding area (Cusipata), where a trout breeding module was installed, and another 500 m offshore, without effect of production. Water samples were collected at 1, 5, 10 and 15 m depth and bottom sediments, from July 2017 to September 2018. The parameters were determined in situ, IMARPE's laboratory and the metals at ALS-LS-Perú SAC Laboratory. The results indicate that the physico-chemical parameters of the water do not exceed the tolerance limits of the ECAs. Thus, the pH water value (8.79) is within the range 6.0-9.0 UpH; the OD in water ($6.81 > 5$ mg/L). Despite the significant differences in variability between cages and white, $p < 0.05$; we optimized the best statistical model of dependence parameters and the sampling level at 1.20 m depth. Heavy metal concentration Hg, Cd, Pb, Zn, Cu in water and sediments are within the permissible limits compared to the Canadian norm, except As that presents a probable effect ($41.1 > 17$ mg/kg), without exceeding ECA value (50 mg/kg). The growth trends of the productive activity of trout in the lake, will affect the water quality and therefore the sustainability of Lake Titicaca. Finally, we suggest the implementation of minimum responsible measures and good practices in this economic activity.

Keywords: aquaculture pollution, inorganic nutrients, lake Titicaca, urban waste, trout hatchery, water quality

INTRODUCCIÓN

La actividad acuícola mundial, regional y local en lo que va de la presente década se ha convertido en una de las actividades agropecuarias de mayor dinamismo y crecimiento tendientes a alimentar a mayor volumen de la población (representa al menos 50 % del pescado destinado a la alimentación mundial); ella, implica una intervención humana directa e indirecta sobre cuerpo acuático. Sin embargo, el impacto en el caso particular de la truchicultura sobre ambiente natural y sobre todo, a la calidad de agua es aún poco abordada por la ciencia, especialmente en lagos, lagunas y ríos como en la región, cuenca del lago Titicaca compartida por Perú y Bolivia, (FAO, 2018; Novais *et al.*, 2018).

El crecimiento poblacional del entorno del lago Titicaca de la Región Puno, está generando disposiciones no controladas de vertimiento de residuos urbanos y de relaves mineros provenientes de los centros mineros; sumándose los posibles efectos por la crianza intensiva de truchas en jaulas flotantes en buena parte del litoral del lago. Actividad que no sólo deja residuos de alimentos y excretas de las truchas, sino también por sus actividades propias de combustión de combustible, óxidos de mallas, plásticos, cauchos, entre otras partículas propias de crianza inciden directa o indirectamente a la salud humana y el deterioro ambiental (Fontúrbel, 2008; Montesinos, 2018; Ocola & Laqui, 2017).

Las actividades adversas no planificadas en el espacio acuático del Titicaca inciden de manera paulatina al deterioro ambiental y podrían poner en peligro la salud humana, si no se toman las medidas de prevención. Hechos que pueden ser corroborados por la literatura científica y de manera visual por quienes visiten el lugar, corroboradas por estudios sobre sedimentos y aguas superficiales en la cuenca de lago Titicaca, particularmente en la bahía interior de Puno y proximidades, al igual que en El Alto de La Paz Bolivia como centros metrópolis; se reporta indicios del proceso de eutrofización y la contaminación por metales pesados, principalmente en los entornos de recepción de desechos tóxicos y por residuos urbanos (Moreno, Argota, Alfaro, & Aparicio, 2018; Ocola & Laqui, 2017; Reichelt-Brushett *et al.*, 2017).

La eutrofización de cuerpos acuáticos y la toxicidad facilitan la formación de sedimentos en el fondo del lago, luego de haber sido transportados como materia sólida que da lugar al

crecimiento de algas, además formar parte depositario de concentración acumulable de níquel, cadmio, cromo, cobre, mercurio, hierro, plomo, zinc y otros metales. Por tanto, la sedimentación acumulada referida en el fondo del agua en parte transportado por la corriente de agua a la cual se suman los residuos de truchas, todas ellos se posa en el fondo que es el caso que pretende examinar la presente investigación (Fontúrbel, 2008; Montesinos, 2018; Vélez *et al.*, 2017).

Se observa además, cada vez mayor presencia de plásticos en espacios acuáticos y terrestres en todo el entorno del lago Titicaca. Los recientes reportes científicos dan cuenta de la mayor cantidad de plásticos y residuos que ingresan a los océanos y lagos permanecen y se desplazan en aguas superficiales acumulándose en sus profundidades en perjuicio directo de las especies que dependen de ellas. Los datos indican que en 1950 la población mundial era 2,5 billones de personas y producían 1,5 millones de toneladas de plástico (Lebreton *et al.*, 2018). En el año 2016 más de 7 billones de seres humanos generan 300 millones de toneladas de plástico anualmente. El Programa Medioambiental de la Organización de las Naciones Unidas sostiene que al menos el 99 % de las aves acuáticas habrán ingerido junto a su dieta algún tipo de plástico. Y es más, en el año 2050 habría más plásticos que peces poniendo en grave peligro la sustentabilidad de la salud humana (Avery-Gomm, Borrelle, & Provencher, 2018; Chae & An, 2018). Hechos que motivan como antecedente para el estudio en curso, para que pudiera formar parte de insumos y tomar decisiones políticas, promoviendo la participación ciudadana como usuarios del Titicaca.

Por lo manifestado, ésta investigación pretende evaluar las características físico-químicas de calidad de aguas superficiales y los niveles de concentración de metales pesados en el área inmediata de producción de truchas en jaulas del Lago Titicaca del sector Cusipita de la Bahía de Puno. En suma, evaluar los posibles impactos que podría estar generando el cultivo intensivo de trucha arcoíris en jaulas flotantes. La zona de experimentación fue inducido por conveniencia programada de manera conjunta a la labor permanente que efectúa IMARPE, para las que se movió la instalación de un módulo criadero de truchas en el sector Cusipata, jurisdicción de Chucuito/ barco, cuerpo acuático de la Bahía de Puno del lago Titicaca de propiedad de una de las empresas más representativas del sector.

La evaluación del seguimiento, monitoreo del proceso productivo se inició del 11 de julio del 2017 al 15 de setiembre del 2018 (un periodo de 14 meses). El día de instalación del módulo de jaulas Cusipata, se sumergió debajo del agua un equipo manual para registrar la lectura de datos ambientales. El registro de información se recogió el día del monitoreo junto a la toma de muestras habituales tanto de aguas superficiales y sedimentos acorde con el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua. Dos fueron los sitios de objeto de muestreo: la zona de producción de truchas (PJ, punto de jaulas) y el segundo considerada como zona sin producción a 500 metros del lago adentro donde no existe ninguna jaula de truchas (como punto blanco de control, PB).

Dentro del período de investigación y seguimiento por 14 meses se recogió 20 veces muestras en ambos lugares (PB 10 muestras y PJ 10 Muestras (Tabla 4) a cargo del personal de equipo de investigación. Algunos parámetros fueron determinados in situ y otros conducidos al laboratorio Continental del Instituto del Mar de Puno Perú para determinar los parámetros físico químicos, a Mega laboratorios de la Universidad Nacional del Altiplano Puno para su conservación y posteriormente conducido al laboratorio acreditado por INACAL (Instituto Nacional de Calidad), ALS LS Perú S.A.C. (registro LE-029 División - Medio Ambiente), para determinar los niveles de concentración de metales pesados en sedimentos y aguas superficiales mediante espectrometría Óptica.

La investigación, partió con la identificación del problema, después del capítulo introductorio, posteriormente los objetivos justificatorios de su importancia. Y en base a ellos se propuso el procedimiento metodológico de toma de muestras y su remisión tanto a IMARPE como al laboratorio ALS LS Perú S.A.C de la ciudad de Arequipa. Luego de la presentación de los resultados y discusión desarrollada en el capítulo IV, el debate consistió en explicar, comentar, comparar y discutir el problema, los posibles efectos en la zona de producción y sin producción truchícola a la luz de la literatura científica producida en los últimos años, publicado en revistas científicas de alto impacto. Finalmente se concluyó con el cumplimiento de los objetivos formulados y con las recomendaciones consideradas pertinentes de ser tomadas por las autoridades en el plazo más inmediato posible para contribuir con la sostenibilidad de la crianza de truchas, al tiempo de preservar la calidad de agua y la conservación de los ecosistemas del Titicaca como último fin deseable.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Marco teórico

1.1.1. Calidad de agua

El lago Titicaca es el segundo Lago más grande y navegable en Sudamérica y de mayor extensión, ubicado a 3809 - 3810 m. de altitud sobre el nivel del mar que comparten Perú y Bolivia (Chura-Cruz, Cubillos, Tam, Segura, & Villanueva, 2013). Las coordenadas referenciales son 15°19'19" - 16°35'37" latitud sur y 68°33'36" - 70°02'13" longitud oeste. Por sus características innatas aloja una rica biodiversidad y diversidad cultural, que en los últimos años viene atrayendo a turistas de la Región y del Mundo, que en el pasado fue sostén de las civilizaciones constructores del Tiahuanaco, Chiripa, Puquinas, incluido constructores de templos coloniales que están en pie en toda la cuenca del Titicaca, entre otros (Guevara, 2006; Sandoval et al., 2013; Stanish, 2001).

Sin embargo la rica diversidad biológica y cultural sobre todo la calidad de sus aguas, en los últimos tiempos viene siendo contrariado en términos ambientales, sociales y económicos, en perjuicio de la prosperidad de la Región incluido la humanidad como patrimonio inmaterial de la humanidad, sitio RAMSAR (Fontúrbel, 2008; Guevara, 2006). Teniendo en consideración que la calidad de agua del Titicaca es indispensable para el fomento del turismo, la actividad agropecuaria, la vida acuática y sobre todo, para la adecuada crianza de truchas en jaulas. Es un recurso natural indispensable no solo para la vida, sino sobre todo para la continuidad histórica de la civilización desde

el pasado inca, por el que, el mantenimiento de los ecosistemas es prioritario para el desarrollo socioeconómico de la Región Puno. Toda vez que el lago Titicaca sin el mantenimiento de la calidad de sus aguas contraviene la sustentabilidad de la Región y sería poco probable ignorar los futuros conflictos socio ambientales en torno a las aguas del gran Lago (Comisión multisectorial para la prevención y recuperación ambiental del lago Titicaca y sus afluentes, 2014; Fontúrbel, 2008; Guédron *et al.*, 2017).

En ese marco, el impulso de la truchicultura en jaulas en buena parte del entorno de las orillas del Titicaca, fue y es vista como una potencialidad y fuente de creación de empleo directo e indirecto. Sin embargo, el efecto ambiental es aún poco estudiado por literatura científica del Titicaca, en comparación con las salmoneras del sur de Chile con clara evidencia de contrariedad socio ambiental (Cónsole-Gonella, de Valais, Marquillas, & Sánchez, 2016).

No obstante, que no es el único factor influyente de efectos contaminantes producidos por los residuos de las ciudades y los relevés mineros de diversa índole. Los efectos del cultivo de truchas en jaulas probablemente sea menor a la distorsión del espacio que ocupan, dado la competencia local con otras especies acuáticas; modificando el régimen de flujo de la calidad de agua, del que depende el transporte de oxígeno, sedimentos, plancton y larvas de peces repercuten en el aspecto estético del Titicaca variando la receptividad turística (Reichelt-Brushett *et al.*, 2017).

Dentro de los procesos señalados, se debe tener en cuenta los recientes reportes científicos que dan cuenta, que el abastecimiento de oxígeno en los océanos está siendo amenazado por el calentamiento global por acción de la misma humanidad. El agua caliente tiene menor capacidad para contener oxígeno que el agua fría, así que si los océanos incluidos lagos y Ríos se calientan, el oxígeno se reduce. El agua caliente también es menos densa, así que la capa superficial rica en oxígeno no puede fácilmente profundizarse y circular, sumando la acidificación que tiene, son insumos potenciales para influir en la calidad de los productos del mar, lagos y ríos con efectos sobre la seguridad alimentaria y la estabilidad del ecosistema en el futuro (Sampaio, Rodil, Vaz-

Pinto, Fernández, & Arenas, 2017; Schmidtko, Stramma, & Visbeck, 2017; Tate, Benkendorff, Ab Lah, & Kelaher, 2017).

Bajo el contexto señalado, las truchas, alevinos, jóvenes y adultas que mueren algunas veces, es por deficiencia de oxígeno presente en aguas cristalinas o limpias; por ello, no puede haber sobrecarga de trucha en sus jaulas. Ello implica, que la mortandad de truchas no necesariamente pueden ocurrir por una situación crítica del lago, sino también por efectos adversos de la deposición ácida en la química y las comunidades de peces (Baldigo, Roy, & Driscoll, 2016; Espa, Brignoli, Crosa, Gentili, & Quadroni, 2016; Kerr *et al.*, 2017). La mortandad puede deberse también a causas de enfermedades infecciosas de virus necrosis hematopoyética del patógeno viral (IHNV), aun cuando esta no es la única epidemia de IHNV en el criadero de peces (Breyta, Samson, Blair, Black, & Kurath, 2016; Fu *et al.*, 2014).

Dentro del contexto abordado, el reciente de Li & Liu (2019) traducido al español “*Monitoreo y gestión de la calidad del agua sobre la base tecnológica - Advertencias tempranas sobre la calidad del agua*”, se desprende que la calidad del agua es primordial, por ser una de las principales preocupaciones del mundo junto con los otros organismos multilaterales, sobre la necesidad de contar con información de advertencias tempranas en línea y en tiempo real de la calidad del agua para poner al servicio de la sociedad (controles automatizados y telemetría permiten fortalecer los conocimientos en el diseño de estrategias de mitigación y gestión), la clasificación y las características de las advertencias de calidad del agua, información que podría ser útil para los truchicultores del Titicaca y puedan prever mecanismos de mitigación. Para ellas, es imprescindible el uso de diversos sensores a fin de prever los elementos componentes del sistema de alerta temprana, comparando diferentes métodos de tecnología, además la necesidad de mayor debate sobre los sistemas de apoyo, a las decisiones que lleguen para apoyar la sustentabilidad de los cuerpos acuáticos, como alternativa y efectiva a los actuales monitores sobre del Titicaca.

Los posibles mecanismos de mitigación, conocidos como alertas tempranas de calidad del agua y oxigenación o sistemas de purificación del agua utilizando materiales a nano escala, la implementación de nano partículas magnéticamente activas, ofrece una

alternativa ventajosa y desafiante que consisten en fases magnéticas, ya sea para uso directo como fases activas o uso indirecto como apoyo en la eliminación de contaminantes del agua. En paralelo, las configuraciones de separación magnética adecuadas se describen como una forma de habilitar e integrar la dispersión directa de nano partículas en el agua; de las que se espera que la tecnología emplee un área de superficie específica máxima y multiplique la eficiencia de captación de oxigenación a ser lograda mediante el uso de instrumentos de bajo consumo de energía limpias – solar o eólica (Martinez-Boubeta & Simeonidis, 2019).

Para los propósitos señalados, el monitoreo permanente de la calidad de los cuerpos de agua, incluido las aguas residuales como actividad continua frente a la incertidumbre sobre la reproducibilidad de las técnicas actuales, el costo y el tiempo requerido para tener información en línea al tiempo de validar los parámetros ambientales de calidad de agua controlado a distancia, es fundamental para la intensificación continua la actividad acuícola como la calidad del agua de los ríos y lagos para el desarrollo humano y económico; la evaluación de los parámetros ambientales de calidad del agua se ha vuelto esencial en los sistemas acuáticos de la cuenca del lago Titicaca.

Se considera que la calidad del agua, es base fundamental de cualquier trabajo de protección ambiental y gestión a través de indicadores físicos, químicos y biológicos de acuerdo a los estándares internacionales y las establecidas por el Ministerio del Ambiente (Perú) para precisar el estado actual de la calidad del agua, tanto cualitativas como cuantitativas con el fin de proteger el medio ambiente acuático y las poblaciones humanas y de proporcionar base científica para la gestión de la planificación de los recursos hídricos. Y éstas promuevan el uso racional, conservación y el aprovechamiento sostenible de sus actores de los beneficios de la calidad del agua (Aspa, 2016; Li & Liu, 2019d; Martinez-Boubeta & Simeonidis, 2019; Peruano, 2015).

Teniendo en consideración que el monitoreo continuo de la calidad del agua y de las aguas residuales en la mayoría de las plantas de tratamiento es poco frecuente, a menudo debido a la incertidumbre sobre la reproducibilidad de las técnicas actuales utilizadas, y también por el costo y el tiempo requerido para completar la mayoría de las pruebas. La aplicación de un sistema de monitoreo de la calidad del agua en línea (WQMS, por sus

siglas en inglés) controlado a distancia es fundamental para la intensificación continua de la industria de la acuicultura. Además, los indicadores permitirían detectar parámetros contaminantes como los no contaminantes y poner al servicio de la academia y a la comunidad científica (Li, Liu, Li, & Liu, 2019).

Por consiguiente, la calidad del agua de los ríos y lagos es fundamental para el desarrollo humano, económico y la vida acuática. La evaluación y estimación precisa de los niveles de calidad del agua se ha vuelto esencial. Además, la evaluación de la calidad del agua es la base del trabajo de protección ambiental y es una parte importante de la supervisión y gestión ambiental del agua. Se refiere a la evaluación de la calidad del agua a través de indicadores físicos, químicos y biológicos, basados en datos de monitoreo de la calidad del agua (WQM), de acuerdo con ciertos estándares de evaluación y métodos de evaluación. Para reflejar con precisión el estado actual de la calidad del agua, se necesitan evaluaciones tanto cualitativas como cuantitativas de los factores de la calidad del agua. El núcleo de la evaluación de la calidad del agua es la selección de un método de evaluación. La racionalidad del método de evaluación determina si el resultado de la evaluación de la calidad del agua es confiable (Li *et al.*, 2019).

1.1.2. Parámetros fisicoquímicos determinantes del impacto ambiental

Los presupuestos teóricos y metodológicos para determinar los parámetros físico-químicos de calidad del agua que se describen en el apartado, están basados entre otros, del reciente libro de Li & Liu (2019b) denominado *Water Quality Monitoring and Management (Monitoreo y gestión de la calidad del agua)* publicado por Elsevier. Los mismos que permiten dilucidar el proceso de contaminación vertido en las aguas del lago Titicaca que fueron abordadas en parte, por la Comisión multisectorial para la prevención y recuperación ambiental del lago Titicaca y sus afluentes (2014):

Oxígeno disuelto (mg/L).-

La oxigenación del agua depende de la solubilización del oxígeno atmosférico y minoritariamente a su generación en la fotosíntesis, principalmente de algas. Parámetro que después de la temperatura, es uno de los factores que se va formando durante el día para ser consumido en parte durante la noche, cuando las algas consumen oxígeno para su

metabolismo, luego de la muerte de las algas, la degradación de esta biomasa también consume oxígeno. En fin, las fuentes de oxígeno devienen de las precipitaciones pluviales, de la difusión del aire en el agua, de la fotosíntesis, de los afluentes y de la agitación moderada. En suma, el oxígeno se consume por respiración de las plantas y animales y se ve limitada por la pequeña proporción del agua que está en contacto con el aire (Rodríguez-Alvarez, Moraña, Salusso, & Seghezze, 2017).

Potencial de Hidrógeno (pH).-

El pH es la medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones de hidrógeno presentes en determinadas disoluciones. El valor en el agua es un indicador que determina la acidez o no acidez, como la basicidad (mayor a 8.5) o alcalinidad (menor a 6.5) del agua, los valores dentro del rango son neutras calculando el número iones hidrogeno; el pH no mide el valor de la acidez o alcalinidad sino que la determinación de su valor en el agua es una medida de la tendencia de su acidez o su alcalinidad (Li & Liu, 2019d). El ECA determina que el pH debe estar entre 6.5 a 8.5 unidades, recomendado por la OMS.

Conductividad eléctrica (CE).-

La conductividad es la capacidad de solución para transportar una corriente eléctrica, su símbolo es “ σ ”, mide la capacidad de un material o sustancia para dejar pasar la corriente eléctrica a través de él. La conductividad depende de la estructura atómica y molecular del material portante. Los metales pesados son transportadores de electrones aún con vínculos débiles permiten en su trayecto su conducción; sin embargo, éstas dependen de otros factores físicos propios de materiales, y de la temperatura. Ellas, dependen de su capacidad de presencia de iones para su concentración totalizada, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas de medición. El agua pura tiene muy poca conductividad, por lo que la medida de la conductividad de un agua nos da una idea de los sólidos disueltos en la misma (Guo *et al.*, 2017).

Temperatura (°C).-

La temperatura es un factor abiótico que afecta y regula procesos vitales de los organismos vivos en los cuerpos acuáticos, incide directamente a otras propiedades químicas y físicas; además, son reacciones químicas y velocidades de reacción. La temperatura promedio en las agua de la superficie océanos es de aproximadamente 17 grados Centígrados (62.6 grados Fahrenheit). En suma, la temperatura cambia tanto estacionalmente como con la profundidad, para la truchicultura recomendable es de 13 – 18° C y el promedio recomendado es del 15°C como óptimo (FAO, 2014). En tanto que el aumento de las temperaturas en agua dulce afectado por el cambio climático induce al aumento de la concentración de contaminantes que al final reduce drásticamente la diversidad biológica.

La temperatura es un indicador de la calidad del agua, influye al comportamiento de los otros indicadores de calidad. La relación entre la altura de una zona geográfica, estacionalidad y la temperatura en condiciones normales varía la estructura de la comunidad acuática, donde un río o lago con adecuada auto-depuración puede registrar mejora de calidad en zonas más bajas pese a la influencia de una contaminación (Crichigno *et al.*, 2017).

Nitritos (NO₂) y Nitratos (NO₃).-

Los nitratos y nitritos son compuestos solubles que contienen nitrógeno y oxígeno como iones que existen de manera natural y que forman parte del ciclo del nitrógeno esencial para el crecimiento de las plantas. El **Nitrito** de forma ionizada (nitrito, NO₂) como la no ionizada (ácido nitroso, HNO₂) son bastante tóxicas. Sin embargo, la concentración de nitritos en ocasiones puede ser mayor que la concentración de ácido nitroso en los ecosistemas de agua dulce o salada, los iones de nitrito son considerados como los mayores responsables de esta toxicidad en organismos acuáticos y animales. La nitrificación es más rápida a un pH de 7 a 8 y a temperaturas de 25-30 °C. La nitrificación hace que el pH del agua baje. El estándar por nitrato-N es 10.0 mg/L en el agua potable, o 1 centésima parte de un gramo en un litro de agua. En suma, el efecto toxicológico de la presencia de nitrito puede ocasionar hipoxia y muerte de organismos

acuáticos debido al desequilibrio de la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre (Guo *et al.*, 2017).

El **nitrato** es menos tóxico que el nitrito y es usado como una fuente de alimento por las plantas. Sin embargo, niveles de nitritos superiores a 0,75 ppm en el agua pueden inducir al estrés en peces por más allá de 5 ppm, por ende ser tóxicos. Niveles de nitrato entre 0 y 40 ppm son generalmente seguros para los peces; cualquier valor superior a 80 puede causarles intoxicación. Así como afectan a los peces, también su afectación es directa con el ambiente acuático eutrofizando las aguas y cambiando el comportamiento químico de los sedimentos (Claros, 2012; Guo *et al.*, 2017).

Fosfatos (PO₄)-

Los fosfatos son nutrientes y sales para las plantas y conducen al crecimiento de algas en aguas superficiales, pudiendo llegar a promover la eutrofización. Además, son compuestos que se encuentran en aguas naturales en pequeñas concentraciones. Compuestos de fósforo que se hallan en los cuerpos de aguas superficiales provenientes de fertilizantes, desechos de actividades agropecuarias como la truchicultura y la ganadería, detergentes, entre otros. La concentración de fosfatos en un agua natural, es fundamental para evaluar el riesgo de eutrofización. Así, la concentración de fosfatos están relacionados de manera directa con la eutrofización de ríos, pero especialmente de ríos, lagos y embalses. Las concentraciones críticas para una eutrofización incipiente se encuentran entre 0,1 - 0,2 mg/l PO₄-P en el agua corriente y entre 0,005 - 0,01 mg/L (Bougeard, Saux, Jouan, Durand, & Pommepuy, 2010; Li & Liu, 2019d; Noori, Berndtsson, Hosseinzadeh, Adamowski, & Abyaneh, 2018).

Amonio (NH₄-N)-

El amonio es un compuesto químico inorgánico de nitrógeno que se forma en las depuradoras durante la degradación biológica de compuestos orgánicos de nitrógeno. En presencia de oxígeno el amonio se puede convertir en nitrato (nitrificación). En los cuerpos de agua, la nitrificación induce a un elevado consumo de oxígeno (como caso de lentejas o proceso similares se consume abundante oxígeno), y además el amonio es un abono que fomenta el crecimiento de las algas (lentejas de agua). Los sistemas

depuradores de agua en residuales municipales, industriales o hospitalarios sólo pueden ser controlados e informar la parte de nitrógeno del amonio ($\text{NH}_4\text{-N}$). En sistemas pequeños de depuración no existe un valor límite determinado para el nitrógeno de amonio. A partir de la clase de depuración N el valor límite aceptable es de 10 mg/l. Puesto que el proceso de nitrificación es muy sensible a la temperatura los valores límite sólo son aplicables a una temperatura del agua residual superior a 12°C (Orozco, Pérez, González, Rodríguez, & Alfayate, 2008).

1.1.3. Metales pesados en aguas superficiales y sedimentos

Los metales pesados presentes en agua y sedimentos son elementos contaminantes y peligrosos para la salud ambiental y humana debido a la dificultad de la metabolización y son bioacumulables en los tejidos de los organismos acuáticos; especialmente el músculo de pescado consumido en todo el mundo. Además de causar daño celular, algunos metales como Mercurio (Hg), plomo (Pb), arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu) y Zinc (Zn) actúan como sustancias químicas de alteración endocrina en los peces. Los ríos, a lo largo de su trayecto arrastra y descarga de todo tipo de efluentes (nutrientes de suelos por infiltración) que afectan a las diversas especies de peces, en sí a la flora y fauna donde están en curso. La concentración de metales en el agua y en sedimentos es una preocupación permanente y debe ser de alerta para las autoridades reguladoras de salud pública y ambiental como es el caso del lago Titicaca (Castro & Valdes, 2012; Paschoalini, Savassi, Arantes, Rizzo, & Bazzoli, 2019; Produce, 2015).

La biodisponibilidad, movilidad y origen de los metales pesados presentes en los cuerpos de agua y sedimentos superen o se encuentren debajo de los niveles permisibles o moderados son advertencias de peligros en toda la cadena trófica del futuro de alimentos. Y por tanto, son riesgos potenciales para la salud del hombre y animales. Metales, que sin lugar a dudas devienen de actividades mineras, la contaminación del suelo, de aguas residuales, de plantas y de animales por actividades domésticas, hospitalarias, lavadores de vehículos, por el uso de fertilizantes, insecticidas químicos y otras actividades propias del desarrollo de las sociedades actuales. La presencia de metales pesados más de lo necesario induce al ambiente junto al cambio climático, el efecto invernadero, el de la deforestación o desertificación, de la pérdida de recursos naturales en flora y fauna son

amenazas para la sustentabilidad (Bastami *et al.*, 2018; Fontúrbel, 2008; Londoño-franco, Londoño-muñoz, & Muñoz-garcía, 2016).

Dentro de ese contexto, los estudios relacionados, muestran que los salmónidos del género *Oncorhynchus* contribuyen al aumento de la concentración de nitrógeno en el agua de hasta seis veces el nivel basal del agua, y este nitrógeno también es aportado al suelo circundante y la vegetación terrestre. La descomposición de los cadáveres, las heces y la orina de estos peces son una rica fuente de nitrógeno en los ecosistemas acuáticos. Estas podrían ser responsables de la aceleración de procesos eutróficos con las jaulas de truchas contribuyendo al incremento de nutrientes producto de la alimentación no consumida por las truchas, cae al fondo marino desencadenando procesos eutróficos (Archundia, Duwig, Spadini, *et al.*, 2017; Shekhar, Mishra, Agrawal, & Sahu, 2017).

En suma, las causas de la eutrofización responden a dos hechos fundamentales: la eutrofización natural por arrastre de nutrientes desde ecosistemas edáficos o desde sedimentos, o por la producción de compuestos nitrogenados / fosforados por parte de una o más especies; y por eutrofización cultural, de origen antrópico producto de actividades productivas como la minería, la explotación hidrocarburífera, la actividad agropecuaria, y por vertido de residuos sólidos y líquidos provenientes de las actividades humanas como la crianza en jaulas de truchas junto a los centros urbanos o rurales mencionados anteriormente; son, responsables de ocasionar la degradación progresiva y la formación de sedimentos al fondo del lago reduciendo gradualmente la profundidad del de las orillas del lago Titicaca (Fontúrbel, 2008; Griboff, Wunderlin, & Monferran, 2017; Zhang, Su, Liu, Yu, & Jin, 2017).

La formación de sedimentos no solo concentran residuos referidos sino también contribuye a la concentración de metales pesados aun cuando pueden ser de menor proporción, al haber sido adsorbidos por la vegetación del entorno a través de sus raíces. Teniendo en consideración su escasa o nula biodegradación depositan diferentes órganos, induciendo a una serie de problemas de salud como consecuencia de la presencia de metales pesados como fuentes contaminantes (Castro & Valdes, 2012; Mario Monroy, Maceda-Veiga, & de Sostoa, 2014; Økelsrud, Lydersen, Moreno, & Fjeld, 2017).

La producción y la mineralización de sedimentos son procesos metabólicamente equivalentes, y por lo tanto se encuentran en equilibrio, en cambio en los sistemas eutróficos la producción de sedimentos es mayor que la tasa de mineralización contraviene al carbono inorgánico disuelto (CID) en agua y puede ser usado como un indicador de eutrofización (Fontúrbel, 2008; Tischer, Farias, & Marenzi, 2015). La excesiva producción de sedimentos induce a procesos eutróficos y movilidad de metales pesados asociando en complejos inorgánicos transportados a través de los ciclos biogeoquímicos los mismo que aumentan la toxicidad de contaminantes al ambiente (Acosta, 2012; Fontúrbel, 2008).

1.1.4.- Naturaleza y tipos de contaminantes de metales en sistemas acuáticos

Archundia, Duwig, Spadini, *et al.*, (2017) para el caso de la Bahía Copacabana del Lago Titicaca, sostienen que los actuales patrones de concentración de metales están fuertemente influenciados por variaciones hidrológicas y por la mala calidad de las aguas superficiales, representando serios riesgos para la salud humana y sus poblaciones, así como por la calidad de los acuíferos, En sí, los metales pesados son perjudiciales en todo sentido, aun cuando algunos y en pequeñas concentraciones son esenciales para dieta diaria, pero al mismo tiempo su deficiencia o exceso puede conducir a serias contrariedades de problemas de salud, por ejemplo el organismo requiere de hierro, cobalto, cobre, manganeso, molibdeno, vanadio, estroncio y zinc. En tanto que otros no cumplen una función fisiológica, alteran la salud humana por el que debe evitarse su accionar (Fontúrbel, 2008; Londoño-franco *et al.*, 2016).

El proceso de concentración de metales pesados en los fondos acuáticos tienen sus incidencias en la actividad industrial, tecnológica, minera, acuícola y por la actividad agropecuaria por el uso indiscriminado de pesticidas y fertilizantes químicos en el suelo para luego incorporarse a ríos, a los vegetales, animales; en sí a la cadena trófica de alimentación alteran la sostenibilidad provocando riesgos potenciales que devienen de:

- Vía atmosférica en la sedimentación de partículas emitidas a la atmósfera conocidos como procesos naturales: erupciones volcánicas, incendios forestales, tormentas o de

procesos antropogénicos de quema de combustible fósiles y de acciones de fundición de metales.

- Vía terrestre, mediante filtraciones superficiales de suelos contaminados (minas, lixiviación de residuos sólidos, precipitación atmosférica, etc.).
- Vía directa por vertidos de vientos y aguas residuales industriales y municipales a los cauces fluviales.

Procesos que pasan de fase sólida y líquida de los sistemas acuáticos y viceversa, debiéndose por tanto a las variaciones de los componentes bióticos como abióticos, donde los sedimentos son estancados por los metales pesados. Ellas pueden resolubilizarse por los propios fenómenos químicos y directamente incorporados por la actividad humana, o indirectamente mediante la cadena trófica alimenticia de diferentes orígenes de contaminación (tabla 1). En suma, las actividades mineras, diversos procesos de contaminación en el suelo, en el agua, en las plantas y animales en usos de fertilizantes, insecticidas químicos y otras actividades propias del hombre vienen propiciado el aumento exagerado de metales pesados (Londoño-franco *et al.*, 2016).

Tabla 1

Fuentes de contaminación de metales en los alimentos

Origen contaminación	Metal pesado involucrado
Natural, proveniente del suelo	Cadmio, bromo, flúor, cobre
Uso de insecticidas, desinfectantes y medicamentos	Arsénico, cobre, plomo, mercurio
Del suelo arenoso y envase de vidrio	Silicio
Por el equipo de <u>procesamiento</u>	Cobre, hierro, níquel, estaño, plomo, zinc
Por oxidación en el envase	Hierro, níquel, estaño, plomo, cadmio, Hierro y cobre
Debido al procesamiento	Cobre, cadmio, arsénico
Suplementos alimenticios en dietas de animales	Cobre, cadmio, hierro, zinc, arsénico

Fuente: Londoño-franco *et al.*, (2016)

Toxicidad de metales pesados

Teniendo en consideración que algunos metales son esenciales para la vida y otros altamente tóxicos no necesariamente disponibles por su alta toxicidad pero accesibles

(Tabla 2). Sin embargo, las concentraciones de metales tóxicos cambian de una especie a otra. Un elemento puede ser esencial a niveles bajos para una especie, pero puede ser altamente tóxico para otras agentes.

Algunos de los metales pesados son altamente peligrosos debido a que no son biodegradables. Además, forman parte de procesos bioacumulables en el tiempo que se concentran en los organismos vivos. Entre otros, los metales de mayor presencia y peligrosidad son el mercurio, plomo, arsénico, cadmio que están en el grupo de elementos tóxicos en el medio ambiente consideradas altamente tóxicos y muy accesibles que se observa en la Tabla 2 (Londoño-franco *et al.*, 2016; Mario Monroy *et al.*, 2014; Orozco *et al.*, 2008; Paul, 2017; Peterle, 1991). En suma, se resalta: (1) El organismo que no puede crecer ni puede terminar su ciclo biológico sin un suministro adecuado del metal. (2) El metal no puede ser reemplazado de manera íntegra por otro metal. (3) Y el metal tiene una influencia directa en los organismos involucrados en su metabolismo.

Tabla 2

Percepción genérica de metales pesados en el ambiente

No críticos			Tóxicos pero poco disponibles			Altamente tóxicos y muy accesibles		
Na	C	F	Ti	Ga	Hf	Be	As	Au
K	P	Li	La	Zr	Os	Co	Se	Hg
Mg	Fe	Rb	W	Rh	Nb	Ni	Te	Cu
Ca	S	Sr	Ir	Ta	Ru	Pd	Pb	Zn
H	Cl	Al	Re	Ba		Ag	Bi	Sn
O	Br	Si				Cd	Sb	Pt
N						Tl		

Fuente: (Peterle,1991)

Tabla 3

Efectos de metales pesados en el ambiente

Arsenic (As)	• Pesticides, fungicides, metal smelters
Cadmium (Cd)	• Welding, electroplating, pesticides, fertilizer, batteries, nuclear fission plant
Chromium (Cr)	• Mining, electroplating, textile, tannery industries
Copper (Cu)	• Electroplating, pesticides, mining
Lead (Pb)	• Paint, pesticides, batteries, automobile emission, mining, burning of coal
Manganese (Mn)	• Welding, fuel addition, ferromanganese production
Mercury (Hg)	• Pesticides, batteries, paper industries
Nickel (Ni)	• Electroplating, zinc base casting, battery industries
Zinc (Zn)	• Refineries, brass manufacture, metal plating, immersion of painted idols

Fuente: (Paul, 2017)

Estándares de Calidad Ambiental del Perú – ECA y la Norma Canadiense para Suelos

El gobierno del Perú aprobó los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo mediante el DS N° 011-2017-Minam, disposición publicado el día Sábado 2 de diciembre de 2017. En su Artículo 2° se versa que “Los estándares de calidad Ambiental para Suelo como referente obligatorio, los ECA para Suelo constituyen un referente obligatorio para el diseño y aplicación de los instrumentos der gestión ambiental, y son aplicables para aquellos parámetros asociados a las actividades productivas, extractivas y de servicios”. Por consiguiente la aplicación de los ECA para suelo como instrumento de gestión ambiental es de carácter preventivo y obligatorio, su aplicación requiere ser tomada para toda actividad relacionada al mismo.

Los parámetros ambientales regulados por los ECAs, en esta investigación fueron comparadas con la norma canadiense tomada como referente internacional, considerada como guías de calidad de sedimento canadienses desarrollados por el Canadian Council of Ministers of the Environment, herramientas de protección para apoyar el

funcionamiento de los ecosistemas acuáticos sanos o de analizar la asociatividad entre los productos químicos y los efectos biológicos mediante el establecimiento de relaciones de causa y efecto en organismos particulares.

Los resultados de los parámetros ambientales comparados con las Directrices de Calidad Ambiental de Canadá para Sedimentos en cuerpos de agua dulce establecen dos tipos de estándares: **Interim Sediment Quality Guidelines - ISQG** (Directrices provisionales de calidad de sedimentos): Representan el nivel por debajo del cual no se esperan efectos biológicos adversos. **Probable Effect Leve - PEL** (Nivel de efecto probable): Representan el nivel que usualmente o siempre está asociado a efectos biológicos adversos (Anexo 4, 5).

1.1.5. Política Nacional de Acuicultura en el Perú

El gobierno del Perú a efecto de normar la actividad acuícola promulgó el Decreto Legislativo N° 1195 - Ley General de Acuicultura con el que declara de interés nacional y debe ser impulsada en sus diversas fases productivas en ambientes marinos, estuarios y continentales, con el fin de obtener productos de calidad para la alimentación y la industria; generar, empleos, ingresos y de cadenas productivas, entre otros beneficios (Peruano, 2015).

La iniciativa pretende promover proyectos de acuicultura en todos los lugares que exista condiciones para su sustentabilidad; sin embargo, la actividad acuícola debe garantizar que no generará impacto a los consumidores al ser ingerido en algún lugar de expendio de comida, acciones que están supervisadas y fiscalizadas por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), como organismo público técnico especializado adscrito al Ministerio del Ambiente, encargado de la fiscalización ambiental y de asegurar el adecuado uso y consumo como equilibrio entre la inversión privada y la protección ambiental, junto a la Autoridad Autónoma del Agua (ANA), organismo nacional de sanidad pesquera (SANIPES), entre otras contempladas en el aludido Decreto Legislativo N° 1195.

1.1.6. Visión ecológica y economía ecológica sobre sustentabilidad

Dahri, Atoui, Ellouze, & Abida (2018) sostienen que el riesgo de toxicidad ecológica de los metales pesados cerca de las actividades urbanas e industriales incluida la actividad acuícola aumenta el grado de contaminación transfiriendo a los ecosistemas, compromete la sustentabilidad. Procesos de intervención humana, que pueden ser sesgados, sí es que es visto sólo desde la mirada biológica menoscabando la mirada social y económica; por el que requieren ser vistos desde una mirada más holística e integral.

Teniendo en consideración que los procesos eutróficos del lago Titicaca si bien pudieran ser leves de manera localizada, limitados a sitios puntuales, pueden a futuro acumularse los procesos de incubación de metabolismo social y químico, que en suma contravienen la sustentabilidad ambiental (Toledo, 2013b; Walter, 2009). Es más, el continuo aporte de materia orgánica a las agua del lago Titicaca, incrementa las probabilidades de aceleración de procesos eutróficos localizados, que en muchos casos la recuperación de los ecosistemas señalados puede no ser reversible o de mayor tiempo de reversión y mayor costo, de no tomarse medidas adecuadas pueden convertirse en irreversibles (Griboff *et al.*, 2017).

Dentro de ellas, la conservación del ecosistema del Titicaca depende de su mantenimiento y las condiciones naturales del que hacer ambiental y social, dentro de los usos y costumbres de las comunidades locales junto a sus saberes locales para prevenir los futuros conflictos. Si bien el Titicaca no presenta procesos alarmantes de contaminación no es posible retroceder el tiempo, ni es posible detener y ensayar otros mecanismos de recuperación antes que alcance niveles elevados e irreversibles a futuro, evitando los conflictos pasados como el aymarazo del 2011 (McDonell, 2015; Toledo, 2013b).

Por otro lado, la eutrofización como un proceso que se da en la naturaleza por la movilización de nutrientes, induce a variabilidad de calidad de agua, precisamente por mayores acciones de la actividad humana y el crecimiento de los centros urbanos; independientemente de su situación en el espacio y en el tiempo; circulan, transforman, consumen materiales y/o energías para satisfacer las necesidades individuales y globales. Y posteriormente generan residuos y desechos de diversos tipos al medio ambiente. Ese

es el contexto e insumo de discurso de los políticos y sus activistas aun cuando pudiera ser injustificada (Toledo, 2013b), a ellas, obviamente las consecuencias de la truchicultura no pueden ignorarse sino más bien evitar la incubación de conflictos (Griboff *et al.*, 2017).

En consecuencia, los recursos que provee el lago Titicaca, están marcadas por un clima inhóspito de satisfacciones detectadas por sus poblaciones humanas ancestrales que se adaptaron y luego fueron parte de grandes civilizaciones, como la cultura Tiwanaku y luego el Imperio Inca (Sandoval *et al.*, 2013). Es fuente de ingresos monetarios para las poblaciones asentadas en toda la cuenca, directa o indirectamente; pero al mismo tiempo, sus actividades pueden poner en riesgo la sustentabilidad. Tal es el caso de los posibles efectos de truchicultura, la acumulación de metales pesados producto de síndromes de tóxicos producidos. Como es el caso de plomo que provoca anemia e incide directamente al aparato respiratorio o de inducir al cáncer de pulmón, todas ellas podrían derivarse de consumir alimentos diversos dentro de la cadena trófica alimenticia (Casares, 2012; Fontúrbel, 2008; Giraudou, Douville, Letcher, & Houde, 2017). Por tanto, es necesario tener en cuenta la dimensión ambiental, económica y social en todo proceso productivo a ser abordados por separado y de manera integral sus causas y efectos para evitar el sesgo y la sustentabilidad del lago Titicaca.

1.2 Antecedentes

En los últimos años las ciudades ubicadas en la cuenca del lago Titicaca vienen experimentando cambios trascendentales, sobre todo, incremento de las poblaciones urbanas y con ello el medio ambiente viene tolerando serias contradicciones ambientales como es el caso del Alto La Paz Bolivia y Puno y San Roman de la Región Puno como centros metrópolis. Junto a los procesos de eutrofización y la paulatina desertificación de las áreas agrícolas afectados en parte por el cambio climático (ONU / CEPAL, 2017), sobre los rendimientos de los cultivos incluido la labor pecuaria sobre rendimiento de carga animal (Archundia, Duwig, Spadini, *et al.*, 2017; Martínez-Cruz, Juárez-Torres, & Guerrero, 2017; Reichelt-Brushett *et al.*, 2017).

Recientes reportes científicos de indicios de contaminación del lago Titicaca y el peligro de extinción de algunas especies endémicas *Orestias ssp* como el ispi, mauri, suchi y Carachi

que se desarrollaron desde el apogeo de Tiahunaco (Bowser *et al.*, 2009; Capriles, Domic, & Moore, 2008; C. Molina, Lazzaro, Guédron, & Acha, 2017). Tienen sus incidencias en parte por la introducción de especies exóticas depredadoras como la trucha (*Oncorhynchus mykiss*) y el pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) (Dudgeon *et al.*, 2006; Helfman, 2007; Stoddard, Larsen, Hawkins, Johnson, & Norris, 2006).

La comunidad científica sostiene además, que algunas especies de anfibios, reptiles y ictiofauna nativa están experimentando una disminución drástica producto de impactos generados por efectos del cambio climático, por la radiación UV-B, por los efectos contaminantes químicos y el calentamiento global como causa y efecto (Archundia, Duwig, Spadini, *et al.*, 2017; Modenutti *et al.*, 1998; Tischer *et al.*, 2015).

Las especies Orestias que cohabitan en el Titicaca están marcadas por una tendencia de reducción cada vez más, según información de los pescadores nativos de Ramis y los Uros del Titicaca Puno; probablemente por sobre pesca, por los impactos negativos en su hábitat y la alimentación menoscabada (Northcote, 2000). Hecho que contraviene la sustentabilidad de la cuenca del lago Titicaca que fuera soporte de civilizaciones, aun discutido como el motor central alimentación complementaria (FAO & García, 2016).

Consiguientemente, en los últimos años, vienen instalándose jaulas de crianza de truchas en buena parte del litoral del lago Titicaca, alimentados inclusive como complemento con especies nativas señaladas como es el Ispi (Figura 1, 2), acción que induce a la sobre pesca para su comercialización en ciudades aledañas del Titicaca (Produce, 2015). Es probable que parte de alimentación proporcionada a las truchas puedan ser también consumidas por otros peces nativos y por consiguiente hay una relación entre la morfología y la dieta sea proporcional entre las diferentes comunidades de peces (Maldonado, Hubert, Sagnes, & De Mérona, 2009).

La truchicultura en la Región Puno, viene a ser una actividad de fácil acceso y fuente de autoempleo y/o complementaria a las otras actividades para el sostén de las familias de las comunidades locales a pesar del escaso uso de tecnología (carencia de innovación), recursos naturales, administración, mercado, capital, insumos y servicios para la cadena productiva con déficit presencia del Estado; No obstante a ello, la expansión urbana descontrolada de

los últimos años contribuye a mayor contaminación del lago Titicaca (Archundia, Duwig, Lehembre, *et al.*, 2017; FAO & Flores, 2016). En suma, la infraestructura básica utilizada para las jaulas de truchas es artesanal sin ningún plan ambiental de abandono o cierre de la actividad (FAO, 2016, 2018).

La crianza de trucha en jaulas tiene similitud como la crianza de salmones en la costa del pacífico del sur de Chile o el caso de Noruega, no obstante a sendos estudios de impacto ambiental desde la 1990 para la conservación de especies y la planificación territorial en considerar el uso de planificación ecológica y ambiental a gran escala, hoy son responsables de contrariedad ambiental. Son actividades acuícolas que generan serios impactos negativos al medio ambiente a través de consumo de recursos materiales y energéticos, por el proceso de transformación o manipulación para finalmente generar residuos que desliza el flujo circular de la economía (Anguelovski, Martínez Alier, & Alier, 2014; Lacy, Meza, & Marquet, 2017).

Diversos estudios de crianza de especies de “salmónidos” han demostrado que para producir el alimento de especies carnívoras, entre salmones y truchas, se está generando una alta presión sobre los bancos de peces modificando la ruta de peces mediante la fuga y la depredación en agua dulce (Clavero & Garcia, 2006; Davidson *et al.*, 2016). El caso particular en el Titicaca es la captura del “Ispi” (Fig. 1, 2), para ser secado y triturado para alimentar a las truchas.

Dentro de ellos, la crianza de truchas en el entorno del Titicaca induce directa o indirectamente al: 1) uso del agua que recibe considerables cantidades de desechos y residuos de alimentos no consumidos por las truchas, que pasan a formar parte de sedimentación en el fondo del lago, dañando los espacios que no sólo es utilizado por las truchas en jaulas sino también a las otras especies del entorno. Se tiene información que se estarían suministrando algunos agentes químicos como antibióticos y sustancias a las jaulas de truchas para mitigación de enfermedades; sin embargo, el uso de antimicrobianos en la acuicultura induce a la resistencia antimicrobiana entre la comunidad microbiana, el ambiente y el producto producido (Camargo, 2018; Naviner *et al.*, 2011; Sapkota *et al.*, 2008; Watts, Schreier, Lanska, & Hale, 2017), junto a la introducción de ovas importadas con posibles enfermedades aumentan la probabilidad de expansión de enfermedades en el

medio, entre otros impacto; finalmente 3)- la actividad cotidiana de tránsito de agentes para alimentar a los peces, manipular y extraer genera enorme cantidad de desechos que terminan en el fondo del lago (Archundia, Duwig, Lehembre, *et al.*, 2017) .



Figura 1. preparación artesanal de alimentos a base de triturado de Ispi en el lago Titicaca

En suma, el alimento balanceado no consumido por las truchas es altamente proteico el mismo que se acumula junto con los otros desechos, excretas y orina afecta y acumula la cantidad de nitrógeno y fósforo en los sedimentos acuáticos del Lago; acción que disminuye el oxígeno disponible, generando eutrofización, estimulando la aparición de algunos organismos y la ausencia de otros, y alterando gravemente los ecosistemas acuáticos (Figura 2 y 3), entre otras consecuencias (Asche, Roheim, & Smith, 2016; J. Camargo, Gonzalo, & Alonso, 2011).



Figura 2. Secado de Ispi previa a la preparación alimenticia para truchas

Los procesos señalados junto con otros residuos que ingresan al lago, por la actividad humana, agrega un significativo porción de nutrientes que quedaran disueltos en la columna de agua, produciendo fenómenos de eutrofización y sedimentación en el fondo del Lago, tal cual ha sido reportado por las instituciones del monitoreo del lago Titicaca (Ministerio del Ambiente, 2014; C. Molina *et al.*, 2017; Ocola & Laqui, 2017). Cada una de las acciones que se desarrollen inducen a la producción y rentabilidad de la truchicultura influenciadas por su hábitat del entorno de las jaulas flotantes, incluye factores abióticos y bióticos, que interactúan en redes complejas con la alimentación proporcionada (Armstrong, Kemp, Kennedy, Ladle, & Milner, 2003; Gaitán-Espitia *et al.*, 2017).



Figura 3. Estanque actual de producción de Truchas en la Bahía de Puno

Dentro del contexto señalado, las contrariedades ambientales inmersas en las actividades truchícolas pueden terminar a futuro en conflictos de intereses o conflictos sociales y ambientales. Dado que las acciones directas e indirectas inducen a procesos incubatorios de conflictos (Beveridge, 1986; Stavenhagen, 2001; Trentini & Sorroche, 2016). Las acciones generadas en el entorno de las jaulas de truchas consistentes en excretas y residuos de alimentos proporcionados caen debajo de las jaulas, a pesar de actos de buena fe, irán a formar parte de sedimentos del fondo del lago sumando los otros residuos (Luna, Campos, & Medina, 2016). En este sentido, los truchicultores de manera individual o grupal, no sólo comen, beben, sudan, crecen, excretan entre otras labores manipulan efectos contaminantes como fierros, manejo de combustible en sus lanchas de motor, al tiempo que construyen estructuras a bases de árboles nativos o a elaborar utensilios, instrumentos, mecanismos de preparación de sus propios alimentos (Figura, 1); consumen o utilizan materiales y energía al tiempo de producir residuos (concentraciones de materia orgánica, sólidos en suspensión y nutrientes) como armazón del metabolismo social que finalmente ínsita a sus activistas a aclamar justicia ambiental (Martinez-Alier, Temper, Del Bene, & Scheidel, 2016; Toledo, 2013a)

Diversos estudios reportados, sostienen que la actividad acuícola (crianza de truchas en jaulas), si bien genera beneficios económicos y creación de fuentes de empleo, directa o indirectamente induce a impactos negativos, aún leves. Las truchas criadas en jaulas compiten con otras especies nativas por oxígenos y los escasos nutrientes del entorno que al final afectan al hábitat natural (Fontúrbel, 2008). En suma, la presencia de bacterias y microorganismos afectan a la variedad de especies y la salud humana, incluido los posibles conflictos socio ambientales que pudiera generar a futuro, por el que evaluar la calidad del agua y para monitorear las adversidades ambientales deberían ser requisitos esenciales para mantener un producción acuícola sostenible (Novais *et al.*, 2018).

Los estudios de Monroy *et al.*, (2014), sostienen que la concentración de metales en el agua y sedimentos del lago Titicaca es un tema preocupante por los resultados obtenidos que tienen que ver, en parte, por la actividad minera y la descarga de agua residuales urbanas del entorno al cuerpo acuático. Además de ellos, son fuentes importantes de insumos metálicos consumibles por la vida silvestre y humana. Sobre todo, contribuye al proceso de contaminación. Los resultados obtenidos indican que las concentraciones de metales en Cu, Zn, Cd, Hg, Pb, Co y Fe están en aguas superficiales, en sedimento y en los tejidos (hígado y músculo) de cuatro especies de peces (*Odontesthes bonariensis*, *Orestias luteus*, *Orestias agassii* y *Trichomycterus rivulatus*) en especies capturados en áreas de pesca en el lago Titicaca. Dentro de ello, la concentración de Pb en el agua en los sitios de descarga de los principales ríos y de la mayoría de los elementos, con la excepción de Co y Fe según el estudio excedió los umbrales de seguridad establecidos por la legislación internacional.

Desde el otro extremo del cuerpo acuático del Titicaca, Bolivia, Molina & Point (2014), reportaron que el proceso de contaminación por metales pesados está en toda la cadena trófica, particularmente en Uru-Uru y Poopo. La bioacumulación de metales pesados observados en organismos acuáticos está influenciada por factores climáticos con incidencia directa a los niveles de calidad de agua secundada por la actividad minera, que finalmente afecta a toda la cadena trófica. A ellas, debe sumarse la transferencia metales pesados que influyen a la disrupción de contaminantes que tienden a bio diluirse en As, Fe y Zn y bioacumularse en especies de peces alguívoros (carache, *Orestia spp*), y en el omnívoro

(pejerrey, *Odontesthes bonariensis*). Aun cuando se requieren mayores estudios, el Hg encontrado en caraches y pejerrey es un tema de alerta (Gammons *et al.*, 2006).

Otro estudio de tesis del extremo señalado, referido al impacto de la truchicultura en jaulas flotantes sobre el ecosistema acuático en Tiquina del Titicaca, Vilca (2008), sostiene que si bien la temperatura del agua no es alterada, perturban la vida acuática a pesar de estar dentro de los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs). El caso de las aves, aún positivo es favorecido en su alimentación y zonas de reposo, es moderadamente negativo para la gaviota y la choca. En tanto que, el hábitat del carachi, mauri y suche (especies nativas) es ligeramente alterado, lo que implica a la disminución de las poblaciones nativas, en tanto sigue siendo positivo para las truchas, si bien no óptimos, no altera irreversiblemente.

Otro estudio de tesis desarrollada en las ciudades de Juli y Pomata, concluye que la producción de trucha en el lago Titicaca, sí genera impacto ambiental adverso, en la región de Puno, evaluada mediante matriz de Leopold; no obstante, que los factores de producción son adecuados gracias a los procesos de capacitación técnica, trazabilidad, alimentación, limpieza y el intento de estandarización en peso y talla. Para ello, se intentó mitigar con el uso de mallas receptoras de sedimentos suspendidos, para luego ser recolectadas las muestras del sustrato batimétrico a diferentes profundidades de sumersión, los restos siguen cayendo al fondo de lago. Los resultados inducen que el proceso de mitigación favorece la actividad acuícola mediante el uso de buenas prácticas que minimicen los impactos negativos y optimice los impactos positivos (Gutierrez, 2018).

Sin embargo, la crianza de truchas en jaulas flotantes en el entorno del lago Titicaca, si bien no consensuado, genera impactos negativos al ambiente y un peligro latente para la salud humana y la biodiversidad. Aunque cuando sus impactos a la salud humana no han sido reportados categóricamente, se advierte cierta incertidumbre de su inocuidad de la calidad del producto. No obstante que es posible seguir llevando adelante esta actividad acuícola; considerando siempre, medidas correctivas y de mitigación para los impactos negativos y medidas de optimización para los impactos positivos (Gutierrez, 2018).

En la crianza de truchas en jaulas junto a los otros procesos referidos, hay una bioacumulación por metales pesados en sedimentos y en las aguas superficiales reportados

por Autoridad Autónoma del Agua, quienes sostienen que el lago Titicaca se viene contaminando paulatinamente mediante procesos naturales y principalmente por los residuos sólidos y aguas residuales de las ciudades aledañas que contienen diversidad de elementos peligrosamente tóxicos (el Titicaca como el receptor de carga contaminante), sumándose, los pasivos ambientales mineros junto a la actividad agropecuaria y la truchicultura intensiva, sin los mecanismos adecuados de mitigación que se lleva a cabo en diversas zonas del Titicaca (Montesinos, 2018; Ocola & Laqui, 2017).

La Comisión multisectorial para la prevención y recuperación ambiental del lago Titicaca y sus afluentes (2014), concluyeron que la mortandad de peces reportadas, principalmente especies de peces nativos del Titicaca es consecuencia de la calidad ambiental de sus aguas perturbadas del Lago Titicaca junto a la adversidad de metales pesados (As, Hg, Pb Cd), evaluados, si bien están por debajo de los LMP afecta directamente al desarrollo de la actividad acuícola, por el que es un tema que requiere toma de acciones inmediatas.

El estudio efectuado por Quispe (2017), sobre concentración de metales pesados en sedimentos superficiales en el río Coata de Puno, se desprende que la contaminación por la actividad antropogénica ha sido uno de los problemas fundamentales con incidencia directa al lago Titicaca. En el caso de río Coata de Puno se encontraron contaminantes por efecto de residuos sólidos y por el ingreso de los metales tóxicos provenientes de las minas, aun cuando la concentración de metales fue mínimo, el caso de cadmio 0.00 mg/kg, cromo 4.10 mg/kg y plomo 3.75 mg/kg y máximas de 0.70, 28.42 y 16.50 mg/kg respectivamente, están por debajo de las Estándares de Calidad Ambiental para suelo del Ministerio del Ambiente. Sin embargo, el cromo se encuentra por encima de la normatividad referida.

Estudios similares efectuados en la determinación del contenido de mercurio en agua y sedimentos en el río Suches de Cojata – Puno, se sostiene que la extracción de oro como potencial económico fueron procesados con el uso de mercurio, el que fue evaluada la concentración de mercurio en agua y sedimento en los laboratorio de la ciudad La Paz Bolivia. La presencia de mercurio en agua es leve, debajo de los límites permisibles (el valor obtenido 0.20 mg/Kg de Hg es menor 6.6 mg/Kg en los estándares de calidad ambiental). En tanto que los sedimentos presentan concentraciones mínimas de mercurio, pero con tendencia creciente de concentración de mercurio con los cuales pueden traer problemas

ambientales, dado que tiende a convertirse en una sustancia orgánica indebida para la flora y fauna provocando la bioacumulación del mismo (Apaza, 2016).

Luque (2018) en su investigación de tesis, sometió a procedimientos el uso sulfadiazina (SDZ) como antibiótico utilizada en animales y humanos en laboratorio en truchas arco iris mediante técnicas radiométricas a 14°C, con exposición de pienso contaminado vía alimentación proporcionada a las trucha en proceso de crecimiento en el laboratorio de investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano, que posteriormente fueron analizados en el laboratorio de ecotoxicología del CENA-Universidad de São Paulo – Brasil para la cuantificación final del antibiótico en el organismo de los alevinos de truchas junto al análisis de agua y sedimento. Concluye el estudio que podría considerarse como contaminación ambiental y la bioacumulación en el proceso y después de la fase de depuración, por lo que debería monitorearse permanentemente, por ser una causa de contaminación ambiental.

El estudio línea de base ambiental de la cuenca del lago Titicaca desarrollada por el Ministerio del Ambiente (2014), designado por D.S. N° 075-2013-PCM denominada comisión multisectorial para la prevención y recuperación ambiental del lago Titicaca y sus afluentes, concluyó que la línea base de contaminación con metales pesados y plaguicidas proveniente de relaves mineros en agua, se encontraba entre 0,0029 – 0,0598 mg/l para cobre, <0,0007 – 0,0123 mg/l para plomo, <0,0005 mg/l para cadmio y de 0,002 – 0,032 mg/l para arsénico y de <0,0002 – 0,0009 mg/l para mercurio.

En tanto que las concentraciones de metales pesados en sedimento fino del fondo acuático estuvieron en un rango de 0,02 – 17,00 mg/kg para cadmio, 0,38 – 20,27 mg/kg para plomo, 18,47 – 61,67 mg/kg para cobre, 15,48 – 288,14 mg/kg para manganeso; 12,74 – 245,07 mg/kg para zinc, <0,05 – 77,01 mg/kg para arsénico, <0,01 – 1,24 mg/kg para mercurio y 0,40 – 3,12 % para hierro. De ellas, los elementos que superan los ECAs para agua fueron el cobre, plomo, arsénico y mercurio: el río Coata, playa Juli, Pomata y río Torococha de Juliaca son los que presentan las mayores concentraciones, el plomo se encontró en altas concentraciones en la mayoría de las estaciones estudiadas, por los que se constituyen en el elemento de mayor peligro para la conservación del ecosistema.

El arsénico estuvo entre $<0,05 - 74,01$ mg/kg y el mercurio entre $<0,01 - 3,39$ mg/kg, valores representando alto riesgo para la salud humana y de los ecosistemas acuáticos. El arsénico registró un valor máximo en las zonas del río Suches (15,13 mg/kg), mientras que el mercurio en la estación ubicada en el río Torococha (1,24 mg/kg) superó la concentración de efecto probable (0,49 mg/kg). Por tanto, los resultados evidencian, que el plomo, mercurio y arsénico constituyen un serio problema para la salud de los ecosistemas acuáticos y la diversidad biológica y cultural (Comisión multisectorial para la prevención y recuperación ambiental del lago Titicaca y sus afluentes, 2014; Ministerio del Ambiente, 2014).

El estudio de tesis desarrollado por Carpio (2016), sobre la contaminación por metales pesados del lago Titicaca, reporta que las aguas presentan 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. 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. Por tanto, el estudio sugiere reducir el suministro de alimentos de animales con Macrófitas procedentes principalmente de los ríos Ramis, Coata e Ilave, ya que se constituyen en biacumuladoras de metales pesados que podría inducir a la contrariedad ambiental y humana.

Del estudio llevado a cabo en la Bahía interior de Puno, próximo a la presente investigación, se desprende que los metales pesados en sedimentos presentan concentraciones en los rangos recomendados a pesar de variabilidad continua. El As y Hg, presentaron similitudes en sus valores (0,0001 mg.L-1) entre las estaciones analizadas. En suma, no representan riesgo por exposición a metales totales (Moreno *et al.*, 2018). Otro estudio realizado por los mismos autores de posible presencia de metales en agua superficiales en la misma bahía interior de Puno, sostienen que las concentraciones de metales son permanentes durante todo el año, si bien no sobrepasan los límites, podrían traer consecuencias negativas para el ecosistema y la salud humana (Moreno *et al.*, 2017).

Mantilla (2008) es su tesis “efectos de la acuicultura en jaulas en la Bahía de Chucuito del Lago Titicaca”, concluye que a lo largo de los años 25 años de producción truchícola, la contaminación orgánica y el proceso de eutrofización es evidente y por tanto altera negativamente los factores abióticos y bióticos del ecosistema acuático en la Bahía de Chucuito. Asimismo, afirma que en el fondo lacustre, por debajo de las jaulas flotantes, se ha acumulado aproximadamente 1.20 metros de altura de compuestos orgánicos, constituidos por restos de alimento no consumido, excreta de los organismos cultivados y productos químicos empleados en las operaciones del cultivo, entre otros, son fuentes potenciales de alteración de las características ambientales del ecosistema acuático, que podría desencadenar un proceso de eutrofización a futuro. Aun cuando los impactos son simples sobre los factores físicos, al encontrarse dentro del rango de Estándares de Calidad Ambiental de agua continentales.

Finalmente Gutierrez (2018) en su investigación de tesis concluye que existe “una eminente y elevada influencia directa – lineal, del manejo de la producción de trucha en el Impacto Ambiental en la región de Puno 2017”. Sin embargo, es un impacto Ambiental “Moderado” y “Permanente”, no obstante su compatibilidad, irrelevancia es posible seguir llevando adelante esta actividad truchícola para las que debe preverse las medidas de mitigación para la optimización de los impactos positivos y minimizar los negativos.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Identificación del Problema

Los sistemas acuáticos del mundo y el país están siendo contaminados por introducción de sustancias tóxicas que deviene, entre otros, de la acidificación de ríos y lagos de baja alcalinidad, de los procesos de eutrofización de las aguas de compuestos nitrogenados. Bajo esa perspectiva, son evidentes los indicios de contaminación del lago Titicaca por afluentes de aguas residuales que ingresan de las ciudades ubicadas en el entorno y por los relaves mineros provenientes de los centros mineros de la Región Puno Perú. A ellas, es necesario sumar los últimos efectos de la instalación de jaulas flotantes para crianza intensiva de truchas; sus residuos, estarían induciendo a la persistencia de cambios de elementos contaminantes disueltos y/o acumulados a lo largo de los últimos años. Aun cuando sus impactos a la salud humana no han sido categóricamente reportados, se advierte cierta incertidumbre de inocuidad de la calidad de producción de truchas.

La actividad truchícola considerada como producto bandera de Puno, es el discurso favorito de políticos, activistas y la academia incluido el gobierno por los posibles daños e impacto medio ambiental, pero también negada por otros actores de interés común o global. Actividad que realmente contribuye a contrariedad ambiental, al menos en el entorno del estado de la calidad del agua y los sedimentos; sus acciones en mayor o menor medida podrían inducir al deterioro del eco-sistema de ríos, lagos, lagunas cuyos residuos son vertidos directa o indirectamente en los cuerpos naturales de las aguas del Titicaca.

Teniendo en consideración que el alimento proporcionado a las truchas no es consumido en su totalidad, los residuos de alimentos, junto con las heces y la orina van al fondo del Lago

entremezclándose con los otros organismos residuales, pasan a ser parte de la sedimentación que permanecen en el medio acuático y estimulan diversos efectos sobre la biodiversidad. Aun cuando pueden ser consumidas por otras especies micrófitos aprovechando los posibles nutrientes, genera contrariedades ambientales.

Los residuos de truchas que caen en el fondo acuático y los que quedan suspendidos en la superficie del agua por la acción de residuos, excretas de eses, orinas de truchas incluido los restos de material acumulado en las mallas, plástico, sarros de metales y madera que soportan a las jaulas, albergan y suman a la concentración de partículas de metales pesados en los cuerpos de agua debido a la dificultad de la metabolización y al potencial de bioacumulación en los tejidos de los organismos acuáticos. Procesos que podrían estar causando daños a la vida acuática, e ir en contra de la salud humana luego de consumir las truchas entre otros el aluminio (Al), el cadmio (Cd), el cobre (Cu), el Mercurio (Hg), el plomo (Pb) pueden actuar como sustancias químicas de alteración endocrina en la biodiversidad del Titicaca, incluido las aguas aun potabilizadas.

Además de ellos, la mayoría de los criadores de truchas usan lachas de motor utilizando gasolina, petróleo, aceite entre otros compuestos que podrían estar comprometiendo no solo a la salud del ambiente sino también la salud humana por procesos adversos. Estos, son derivados de productos destilados del petróleo que pueden contener metales pesados transferidos en el contacto con el motor. Teniendo en consideración que las baterías contienen plomo (65 %) y ácido sulfúrico (27 %) como fuentes contaminantes entre otros como el plomo (Ocola & Laqui, 2017).

Sin embargo, la truchicultura en Puno es una actividad de notoriedad y fuente de autoempleo y/o complementaria a la actividad agropecuaria u otras de manera directa o indirecta, es sostén de las familias de las comunidades locales a pesar de escaso uso de tecnología. La infraestructura básica mayormente utilizada para las jaulas de truchas es artesanal sin ningún plan ambiental de operación, ni cuentan con manual de buenas prácticas y abandono o cierre, sus residuos estarían agregando elementos contaminantes al Lago.

El incremento de la crianza de truchas en jaulas demanda mayor dotación de alimento balanceado y otros insumos que interactúan entre el agua y sedimento, los que podrían estar

induciendo a la degradación ambiental del medio lacustre. Una de las acciones que se vienen reportando es la mortandad de truchas, de ellas no se conocen las causas y las pérdidas monetarias; aun cuando subjetivamente se podría aludir a la disminución de niveles oxígeno disuelto y la elevación de temperatura provocada por ocupación de mayor espacio debido a mayor número de jaulas donde las especies alojadas compiten por el oxígeno estarían induciendo al cambio de parámetros físico y químico de la calidad de agua (Maldonado *et al.*, 2009; Ocola & Laqui, 2017).

Teniendo en consideración que los recientes reportes de literatura científica dan cuenta de la caída de los niveles de oxígeno en océanos, inducida por la actividad humana y el efecto invernadero, amenazan el futuro de las poblaciones de peces y la vida marina. El efecto tendría también implicancias en el lago Titicaca para la sostenibilidad y calidad de los productos con el que se compromete la seguridad alimentaria y la estabilidad del ecosistema (Carim, Vindenes, Eby, Barfoot, & Vøllestad, 2017; Schmidtko *et al.*, 2017).

Además de los hechos señalados, compromete a la producción, productividad, rentabilidad y sobre todo a la sustentabilidad de la truchicultura, lo que a futuro podrían constituirse en insumos de incubación de conflictos socio ambientales, una suerte de metabolismo social en torno a las contrariedades de la calidad del agua, en perjuicio de la vida del hombre y otros seres que dependen de ella. Por el que es necesario prevenirlos sobre los diversos mecanismos de tratamiento de residuos sólidos, líquido o gaseoso que pueda contaminar las aguas, causando daños o poniendo en peligro la salud humana o normal desarrollo de la flora o fauna, incluido la diversidad cultural de las comunidades locales.

2.2 Enunciados del Problema

Problema Principal.

¿Cuáles son las características físico-químicas de las aguas superficiales y los niveles de concentración de metales pesados en agua y sedimentos en el área inmediata de producción de truchas Aro Iris (*Oncorhynchus mykiss*), en jaulas del sector Cusipata de la Bahía de Puno del Lago Titicaca, Perú?

Problemas específicos.

- ¿Cuáles son las condiciones físico-químicas de las aguas superficiales en el área de crianza de truchas Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*) en jaulas del sector Cusipata de la Bahía de Puno del Lago Titicaca?.
- ¿Existe contaminación por metales pesados en aguas superficiales y sedimentos en el área de crianza truchas Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*) en jaulas del sector Cusipata de la Bahía de Puno del Lago Titicaca?.

2.3 Justificación

Parte de las aguas del lago Titicaca se han convertido a lo largo de los años en depositario de todo tipo de residuos por efectos de las poblaciones del entorno que vierten directa o indirectamente elementos contaminantes. Procesos, al que debe añadirse las consecuencias de la actividad truchícola que en sí inducen a la distorsión de la calidad del agua. Por el que es necesario indagar en qué medida los parámetros físico-químicos, al igual que los probables efectos de metales pesados podrían ser adversos para la sustentabilidad del Lago que en sí, pudiera evitarse a vivir en cuerpo humano tóxico. Y sí, estas contravienen la sustentabilidad productiva a fin de que pudiera intervenir sobre los problemas críticos que afectan para mejorar la producción y productividad que permitan mejorar los beneficios económicos, sociales y ambientales, por ello:

- La importancia que tiene el monitoreo ambiental en zonas productivas de trucha en el lago Titicaca. Se incluya además el monitoreo de presencia y cantidad de metales pesados.

- Los perjuicios económicos que tiene la producción de truchas por la mortandad de peces y que podrían estar asociados a lo que ocurre con los parámetros físico-químicos y la presencia de metales pesados que a futuro podrían generar conflictos sociales y ambientales.

Esta investigación, se justifica además, porque los datos servirán de antecedente sobre los posibles impactos sociales y ambientales producidos por la crianza de truchas en jaulas flotantes en el entorno del lago Titicaca. Además de prever los controles de calidad en la inocuidad de la trucha evitando al toxicidad por metales pesados, sobre todo para la toma de acciones de políticas públicas de salud humana, biodiversidad, seguridad alimentaria y para que forme parte de la literatura científica; además de prevenir los futuros conflictos socio ambientales en pro de justicia ambiental.

Además de ellas, se espera que los resultados contribuyan al cumplimiento de metas del Objetivo 6° de la agenda 2030 sobre los Objetivos del Desarrollo Sostenible (garantizar la suficiente cantidad de agua y su gestión sostenible), promovida por la Organización de las Naciones Unidas, el “mejorar la calidad del agua mediante la reducción de la contaminación, la eliminación del vertimiento y la reducción al mínimo de la descarga de materiales y productos químicos peligrosos, la reducción a la mitad del porcentaje de agua residuales sin tratar” (Girón, 2016). Teniendo en consideración que la contaminación por metales pesados ha perturbado al medio ambiente e induce a graves riesgos para la salud humana por el que es necesario prevenir en función a los resultados (Tsang, Kim, Lee, Zhang, & Rai, 2019).

2.4 Objetivos

2.4.1 Objetivo General:

Evaluar las características físico-químicas de aguas superficiales y los niveles de concentración metales pesados en agua y sedimentos en el área inmediata de producción de truchas Aro Iris (*Oncorhynchus mykiss*) en jaulas del sector Cusipata de la Bahía de Puno del Lago Titicaca, Perú.

2.4.2. Objetivos específicos:

- Determinar las condiciones físico-químicas de las aguas superficiales en el área de crianza truchas Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*) en jaulas del sector Cusipata de la Bahía de Puno del lago Titicaca.
- Determinar los niveles de concentración de metales pesados en aguas superficiales y sedimentos en el área de crianza truchas Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*) en jaulas del sector Cusipata de la Bahía de Puno del lago Titicaca.

2.5. Hipótesis

2.5.1. Hipótesis General:

Las características físico químicos de calidad de agua y los niveles de concentración de metales pesados en aguas superficiales y sedimentos en el área inmediata de producción de truchas Aro Iris (*Oncorhynchus mykiss*) en la Bahía de Puno del lago Titicaca, son adecuadas.

2.5.2. Hipótesis específicas:

- Las condiciones físico-químicas de las aguas superficiales en el área de crianza truchas Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*) en jaulas del sector Cusipata de la Bahía de Puno del lago Titicaca, son adecuadas para la producción truchícola.
- La concentración de metales pesados en aguas superficiales y sedimentos en el área de crianza truchas Arco Iris (*Oncorhynchus mykiss*) en jaulas del sector Cusipata de la Bahía de Puno del lago Titicaca, no determina una situación de contaminación.

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de Estudio

La zona de estudio está ubicada a 18 km de la ciudad de Puno, trayecto carretera Puno Desaguadero hacia Bolivia, zona acuática de Bahía de Puno denominada Cusipata, próximo al paradero muelle Barco jurisdicción de la Comunidad Campesina del mismo nombre, comprensión de la Sub Unidad Geográfica Circunlacustre del Distrito de Chucuito, Provincia y Departamento de Puno, sus coordenadas geográficas en la Tabla 4.

Tabla 4

Ubicación de zona de estudio y puntos de muestreo

N° Tratamiento	CÓDIGO DEL PUNTO	ESTACIÓN MUESTREO	Coordenadas de campo de estudio		Descripción del Investigador
			LONGITUD °W	LATITUD °S	
1	Aguas Superficiales JAULAS –CUSIPATA	PJ	69° 54.229'	15° 51.512'	FEM1-JAULAS
	Bahía Puno Cusipata, modulo jaula				
2	Aguas Superficiales BLANCO	PB	69° 54.283'	15° 51.311'	FEM2-BLANCO
	Bahía Puno Cusipata, 500 m jaulas				

El lugar de estudio está rodeado de extensos módulos de jaulas de truchas hacia el extremo sur oeste y oeste próximo a las playas de Chucuito Barco, zona de inmensa diversidad de fauna y flora de interés medioambiental y atractivo turístico de acceso a la ciudad de Puno (Fig. 4, 6, 7 y 8).



Figura 4. Mapa de la Bahía de Puno, Lago Titicaca con indicación de la zona de muestreo

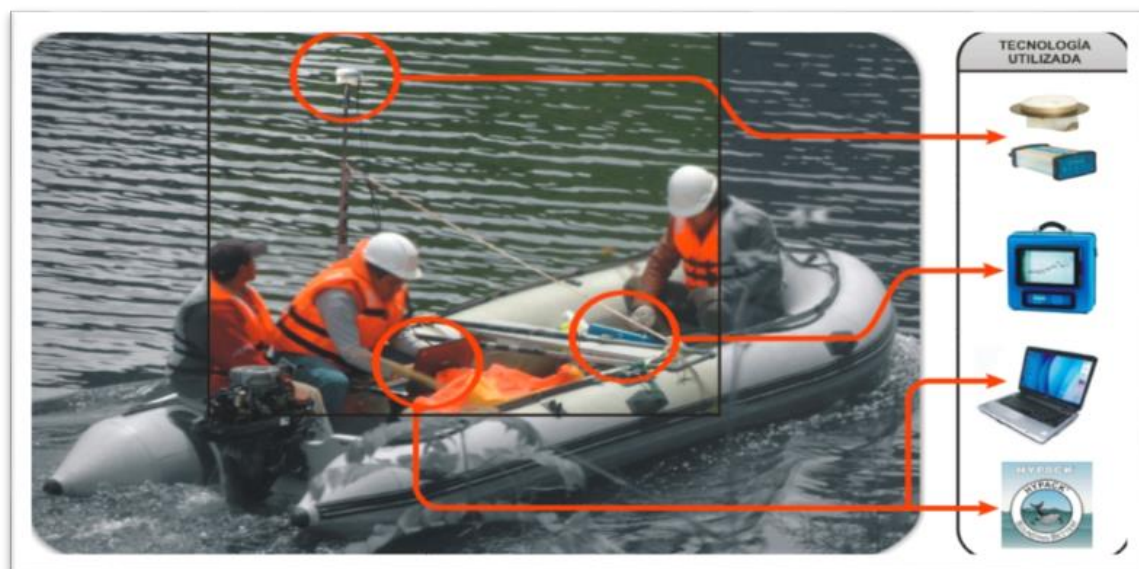


Figura 5. Embarcación Zodiac y equipos de IMARPE como Botella multiparámetro YSI usados para la toma de muestras de agua y sedimentos en la zona de estudio



Figura 6. Ubicación de instalaciones de jaulas de truchas de zona de estudio, junto a las otras instalaciones vecinas de jaulas de truchas cusipata - Bahía mayor de Puno.

El módulo, objeto de estudio es propiedad de uno de los miembros truchicultores de notable presencia en la Región y es parte de la “Asociación de Productores de Trucha Brisas del Titicaca”. Módulo que fue movido de su lugar original a uno en blanco hacia lago adentro, libre de producción de truchas, en cuyo perímetro se instaló el equipo manual de registro de historial de parámetros ambientales, donde está la caseta de vigilancia y monitoreo (Fig. 4, 5 y 6).

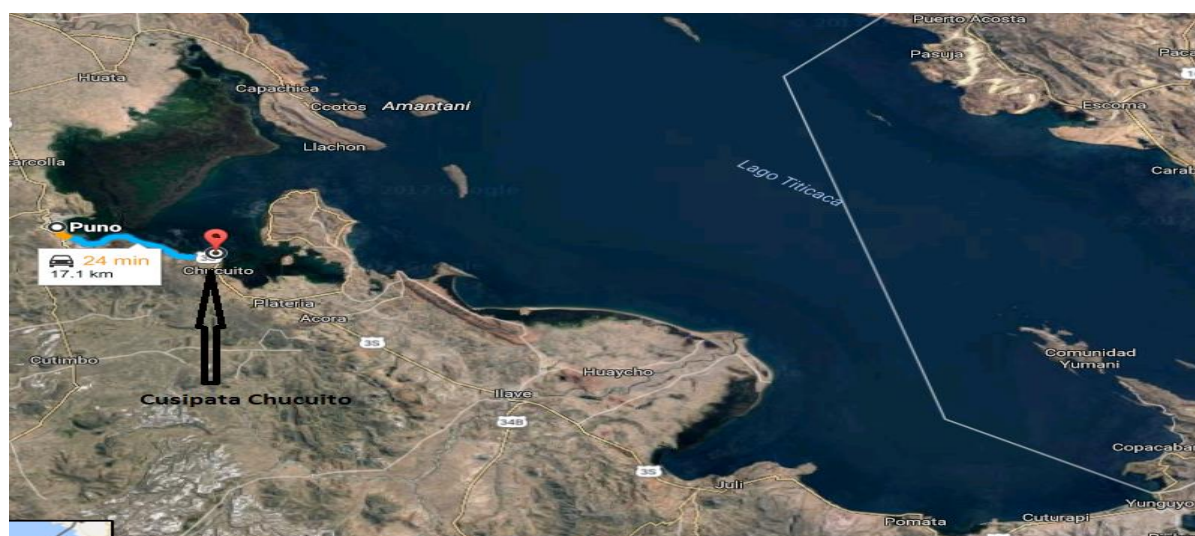


Figura 6. Mapa de ubicación de la comunidad Campesina de Cusipata a orillas de la Bahía exterior de Puno.

3.2 Población

La población de truchicultores está representada por 10 asociaciones de productores de truchas en jaulas flotantes, sólo del sector Cusipata, formalmente inscritas en PRODUCE en el sector Cusipata/Barco (Ministerio de la Producción - Puno): Pesquera Artesanal Atoja S.C.R.L., Pesquera FLORICRUZ E.I.R.L., Leonardo Torres Palomino, Adrián Roberto Aruquipa Mendoza, Pesquera Artesanal MARLIN S.R.L., E.P. Luis Miguel S.C.R.L., Pesquera Hermanos Mamani S.C.R.L. Acuícola Lagomar S.C.R.Ltda., Sr. Edgar Mamani Palomino, Asociación de Productores de Trucha Brisas del Titicaca,

Cada truchicultor, en promedio cuenta con 10 julas construidas artesanalmente a base de palos, redes, sogas, cilindros de plástico, debidamente acondicionados. De ellas, producen no menos de 10 toneladas anuales ubicados en el entorno del lago Titicaca, parte peruana (Fig. 8). Actividad a la que se dedican buena parte de las familias, unas como actividad principal y otras como actividad complementaria a la agropecuaria. Siendo diversos sus problemas y necesidades para lograr sus objetivos (Mamani, 2011).



Figura 7. Ubicación satelital de Cusipata (barco) de la Bahía Interior y Mayor del Lago Titicaca

3.3. Muestra

El procedimiento muestral fue muestreo no probabilístico inducida y por conveniencia, porque es de interés global conocer los posibles efectos de la truchicultura al lago Titicaca. Para ello, se tomó el caso de un módulo de un productor del miembro de la “Asociación de Productores de Trucha Brisas del Titicaca” dentro de 10 asociaciones indicadas, previo acuerdo con el equipo de investigación y productor colaborador de ser objeto y sujeto de análisis.

Se recolectaron muestras de agua y sedimentos, primero desde la caseta de control dentro del perímetro de jaulas (PJ); y la segunda a 500 metros en línea recta desde las instalaciones de modulo jaulas hacia el Lago adentro, sobre la lancha de investigación, sin ningún efecto de la producción de truchas durante el periodo indicado (PB). En ambos puntos muestrales se recolectaron muestras de agua y sedimento a 1, 5, 10 y 15 metros de profundidad. Las variables fueron determinadas in situ, otras en laboratorio de IMARPE para cada parámetro en estudio indicada en la matriz de salida en la Tabla 6, de manera similar para otras variables (Fig. 5, anexo 5-8). Y otras en el laboratorio certificado ALS-LS-Perú SAC de la ciudad de Arequipa para determinar los niveles de concentración de metales en agua y

sedimentos. El procedimiento de toma de muestras y su manipulación estuvo basado en el “Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua” y de conformidad a los Estándares de Calidad Ambiental y lo recomendado por otras investigaciones de la comunidad científica (Archundia, Duwig, Spadini, *et al.*, 2017; M. Monroy, Maceda-Veiga, Caiola, & De Sostoa, 2014; Mario Monroy *et al.*, 2014).

Tabla 5

Métodos de ensayo utilizados por los laboratorios, para el análisis de calidad de sedimentos

Parámetro	Método de ensayo	Descripción
Mercurio	EPA 7471 B, Rev 2, February 2007	Mercury in Solid or Semisolid Waste
Metales por ICP OES (Plomo, Cromo, Arsénico, Cadmio, Cobre, Zinc y otros)	EPA 3050 B: 1996 / EPA 6010 B: 1996	Acid Digestion of Sediments, sludges and soils / Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry

Fuente: Informes de ensayo de Laboratorio ALS LS Perú S.A.C. División – Medio Ambiente.

3.4. Método de Investigación

La investigación fue cuasi experimental, los parámetros físico-químicos del agua y sedimentos recolectados fueron sometidos a pruebas, mediante procedimientos, técnicas de comparación con los límites de tolerancia de los ECAs y la canadiense. Los resultados obtenidos, fueron de manera ordenada y sistemática en concordancia con los considerandos del Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales establecida por Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA (El Peruano, 2017) y la norma canadiense conforme a los objetivos planteados en la investigación.

3.5. Procedimientos metodológicos

En principio, el módulo objeto de estudio de crianza de truchas fue movido del lugar anterior a uno en blanco sin producción de truchas hasta ese momento, antes del proceso de experimentación, de manera paralela se instaló el equipo manual sumergible debajo del agua en la caseta de vigilancia para registro de datos históricos de parámetros ambientales. La zona de estudio se destaca por su relevante situación geoestratégica de gran importancia para la actividad truchícola desde el punto de vista territorial al paso de la carretera Puno Desaguadero camino a Bolivia.

3.5.1. Metodología de campo y conservación de muestras

La investigación de tesis se desarrolló en la zona referida de crianza de truchas, ubicada en la jurisdicción indicada, desde el 11 de julio del 2017 al 15 setiembre del año 2018 (por espacio de 14 meses) como proceso final de la última de muestra recolectada y recojo de equipos instalados debajo del agua en la caseta de control. Dentro del periodo indicado se recolectaron muestras de agua y sedimentos en los dos puntos de muestreo (10 en PB y 10 en PB del total de 20 ocasiones); una en el perímetro de módulo de jaulas de truchas y el segundo punto blanco a 500 m lago adentro sin ningún efecto de actividad truchícola. En total 20 muestras procesadas corresponden a 10 intervenciones de monitoreo en las fechas que se indica:

El 11 de Julio 2017 puesta en operación del módulo de estudio e instalación del equipo sumergible de lectura de datos históricos en el proceso:

1. 31 de Julio 2017 toma de primera muestra de agua y sedimento en PB y PJ
2. 29 de Agosto 2017 toma de primera muestra de agua y sedimento en PB y PJ
3. 12 de Octubre 2017 toma de primera muestra de agua y sedimento en PB y PJ
4. 06 de Noviembre 2017 toma de primera muestra de agua y sedimento en PB y PJ
5. 19 de Diciembre 2017 toma de primera muestra de agua y sedimento en PB y PJ
6. 06 de Febrero 2018 toma de primera muestra de agua y sedimento en PB y PJ
7. 06 de Abril 2018 toma de primera muestra de agua y sedimento en PB y PJ
8. 14 de Mayo 2018 toma de primera muestra de agua y sedimento en PB y PJ
9. 03 de Julio 2018 toma de primera muestra de agua y sedimento en PB y PJ
10. 15 de Setiembre 2018 cierre de monitoreo y última toma de muestras de agua y sedimento en PB y PJ para procesamiento para parámetros indicados Tabla 4

Todas las muestras se recolectaron a 1, 5, 10 y 15 metros de profundidad, para determinación de parámetros físico-químicos de calidad de agua y los niveles de concentración de metales (Tabla 4; Figura 5, anexos 5-9).

Tabla 6

Parámetros en estudio de la zona de experimentación

Parámetros	Sigla	Indicador
Temperatura	TEMP.	(°C)
Conductividad Eléctrica	C. E.	(μS/cm)
Sólidos totales disueltos	STD	(mg/L)
Salinidad	SAL	(UPS)
potencial de hidrogeno	pH	UpH
Amonio-nitrógeno	NH ₄ -N	(mg/L)
Ammonia-Nitrogen	NH ₃ -N	(mg/L)
Oxígeno disuelto	O.D.	(mg/L)
Dióxido de carbono	CO ₂	(mg/L)
Fosfatos	PO ₄	(mg/L)
Silica Standard Solution	SiO ₂	(mg/L)
Dióxido de nitrógeno	NO ₂	(mg/L)
Nitrato	NO ₃	(mg/L)
Nitrógeno total	NTK	(mg/L)
Fósforo Total	PT	(mg/L)
CLOROFILA	CLOROFILA-a	(mg/m ³)
sólidos suspendidos totales	SST	(mg/L)

Fuente: Parámetros propuesto por IMARPE en el estudio

Tabla 7

Matriz de muestras procesadas

Lugar	PB-500m DE JAULAS SI PRODUCCION DE TRUCHAS				PJ - MÓDULO JAULA DE PRODUCCION DE TRUCHAS			
	1	5	10	15	1	5	10	15
31/07/2017	13.3	13.0	13.0	12.6	13.3	12.7	12.7	12.6
29/08/2017	13.6	13.2	12.9	12.7	13.3	12.9	12.8	12.8
12/10/2017	15.9	15.6	14.6	14.1	15.4	14.8	14.5	14.1
06/11/2017	17.0	15.7	15.2	15.0	16.4	15.6	15.2	15.0
19/12/2017	15.9	15.7	15.7	15.7	16.5	16.3	16.1	16.1
06/02/2018	16.7	16.1	15.9	15.8	16.4	16.1	16.0	15.9
06/04/2018	15.9	15.3	15.2	15.2	16.3	15.5	15.3	15.1
14/05/2018	14.7	14.6	14.4	14.3	14.6	14.7	14.5	14.5
03/07/2018	12.5	12.4	12.3	12.3	12.7	12.5	12.4	12.4
15/09/2018	13.3	12.4	13.0	12.9	14.5	12.5	13.6	13.3

Para la determinación de parámetros físico-químicos se utilizó un termómetro de mercurio de vidrio para medir la temperatura del agua, un pH metro digital Tester para medir el pH del agua, un refractómetro para medir propiedades físicas del agua y otros equipos de propiedad de IMARPE, estrictamente arreglados al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado por la

Resolución Jefatura N° 010-2016-ANA (Autoridad Nacional del Agua, 2016; Peruano, 2015). En cada punto de muestreo (lugar de jaulas y el punto blanco a 500 m lago adentro) se recolectaron muestras de agua en cantidades requeridas (Figura 5; anexos 5, 6, 7 y 9).

Parte de las muestras recolectadas, fueron determinadas in situ y otras conducidas al laboratorio Continental del Instituto del Mar de Puno Perú para determinar los parámetros físico químicos, a Mega laboratorios de la Universidad Nacional del Altiplano Puno para su conservación y preparación de sedimento seco y molido y posteriormente ser conducidos al laboratorio acreditado por INACAL (Instituto Nacional de Calidad), ALS LS Perú S.A.C. (registro LE-029 División - Medio Ambiente), para determinar los niveles de concentración de metales pesados en sedimentos y aguas superficiales mediante espectrometría Óptica “Vista-MPX CCD Simultaneous ICP-OES”.

Dentro de los procedimientos indicados y para fines de envió de muestras al laboratorio ALS-LS-Perú SAC de la ciudad de Arequipa se separaron dos partes de muestras tomadas, una de agua y otra de sedimento: La primera muestra separada corresponde al 14 de mayo y el segundo muestreo y final corresponde al 15 de setiembre del 2018. La decisión indicada de toma de muestras separadas de los puntos indicados en el perímetro del módulo de jaulas de producción de truchas y el segundo sin producción de truchas a 500 m línea recta lago adentro, corresponde a que en el mes de mayo termina el periodo de lluvias y se estabilizan los movimientos bruscos y en setiembre antes y durante el regreso de lluvias y los movimientos de agua. En sí, la muestra separada de agua corresponde al global la que fuera tomada a 1 metro de profundidad de agua bajo los mismos protocolos usados por IMARPE y el ANA. Por otro lado, la separación de muestra de sedimentos se realizaron bajo los mismos procedimientos usando una draga espátula de metal lanzada el PJ desde la caseta de control, y la segunda desde la lancha de IMARPE al fondo acuático hasta el encuentro de arena al fondo en las de estudio (jaulas de truchas y punto control) aproximadamente entre 15 a 18 m de profundidad en el perímetro de jaulas (caseta de vigilancia) y a 18 m promedio de profundidad a 500 m línea recta de lago adentro (según nivel de agua en ese momento) para luego ser puestas en bolsas tipo ziploc con cierre hermético (Autoridad Nacional del Agua, 2016).

Todas las muestras recolectadas de agua y sedimentos de la zona de muestreo fueron preservadas, rotulados y transportadas en una caja térmica con hielo hasta el Laboratorio Continental Descentralizado de IMARPE y, en dos ocasiones separadas para envío a Arequipa. Las muestras separadas fueron conducidos a los laboratorios de Geoquímica Ambiental de Mega laboratorio de Investigación de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno para su conservación previo a su procesamiento.

3.5.2. Procesamiento metodológico y monitoreo de parámetros fisicoquímicos

La determinación de parámetros físico-químicos, en parte fue en situ y otros en laboratorio en los dos puntos de muestreo, una en el perímetro de las jaulas y la otra a 500 m de las jaulas donde se registraron la temperatura, pH, OD, conductividad eléctrica entre otros (Tabla 4) con un multiparametro YSI profesional PLUS, el oxígeno disuelto con un oxímetro óptico. La transparencia se determinó empleando el Disco de Secchi. Así mismo, se recolectó muestras de agua con una botella Niskin de 1 litro para determinar fosfatos por el método de ácido ascórbico, nitratos por reducción con cadmio, nitritos por diazotación, silicatos por el método de metol y clorofila-a por extracción con acetona y un espectrofotómetro SPECTRUMLAB 20pc, los sólidos totales disueltos por gravimetría. Las mediciones del fósforo total se realizaron por el método de digestión con persulfato ácido (rango 0,06 a 3,50 mg/L PO₄ o 0,02 a 1,10 mg/L P) determinado con espectrofotómetro HACH DR 2800, nitrógeno total por el método 4500-Norg B: Yodos los procedimientos siguieron los protocolos establecidos por IMARPE y el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado por la Resolución Jefatura N° 010-2016-ANA (Autoridad Nacional del Agua, 2016; Peruano, 2015).

3.5.3. Procesamiento para obtener muestras de sedimento

El objetivo de haber separado muestras del global de sedimentos fue la obtención de una porción de material sedimentado en el fondo del lago, en un volumen suficientemente pequeño mediante una pala de draga indicada anteriormente, muestras que fueron extendidas sobre una superficie plástica y secados a temperatura ambiente durante dos semanas en las instalaciones de Mega laboratorio de Investigación de la Universidad

Nacional del Altiplano de Puno en un ambiente cerrado con suficiente entrada de luz natural y ventilación de techo polietileno de plástico, teniendo en consideración que los sedimentos secados al aire son homogéneos (Anexos 10-14). Posteriormente, molidos y tamizados con un tamiz (tamiz de 100 μm) - ver en Anexos (Ali, Ali, Islam, & Rahman, 2016; Bhardwaj, Gupta, & Garg, 2017; Gnanou Besse *et al.*, 2018). Finalmente, junto con las muestras de agua de los periodos indicados fueron internados para el ensayo correspondiente para determinar la concentración de metales Hg, As, Cd, Pb, Zn, Cu en lo principal entre otros indicados en los resultados de ensayo en el laboratorio acreditado ALS LS Perú S.A.C. con registro LE-029 División - Medio Ambiente de la ciudad de Arequipa, Perú (Tabla 3). El procedimiento responde a los protocolos del laboratorio indicado, requeridos en ésta investigación en concordancia con otros estudios similares reportados (Castro & Valdes, 2012; Perks *et al.*, 2017).

Cabe resaltar que para la determinación de metales totales de las muestras de sedimentos y agua se detallan en el Anexo 19, para el que se utilizó la fracción más fina del sedimento obtenido secado debido a su importancia, tanto como metales tóxicos, metales esenciales o metales frecuentemente encontrados en muestras medioambientales que se sospecha están presentes tanto en aguas superficiales y en los sedimentos, en estricta concordancia con el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales establecida por Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA (El Peruano, 2017).

3.5.4. Procesamiento estadístico: nivel significancia y determinación del mejor modelo de parámetros ambientales.-

Para la determinación de nivel de significancia y si existen diferencias estadísticas significativas entre los parámetros físicos químicos en los dos puntos de nuestro respecto a nivel de profundidad de agua de muestra entre 1, 5, 10 y 15 m. Y si estas tiene relación entre cada una de los parámetros de estudio, se utilizó el Software Estadístico SAS y SPSS. En tanto que, para determinar el mejor modelo estadístico y la relación entre los parámetros ambientales, fue procesado con el Software estadístico Statgraphics, a fin de evaluar en qué medida los parámetros fisicoquímico presentados en el estudio están relacionaos entre sí, tanto su dependencia o independencia (Tabla 17). Y en qué medida

influyen en el oxígeno disuelto los otros parámetros determinados a través de pruebas preliminares buscando el mejor modelo que se indica:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_n X_n + \mu$$

3.5.5. Tendencias de posibles efectos socio ambientales

Las percepciones sobre los efectos socio ambientales a la calidad de agua del lago Titicaca están basados en los indicadores ambientales de esta investigación, procesados junto a los datos recopilados en entrevistas personales a los truchicultores, activistas, operadores involucrados, incluido los pescadores nativos de lo Uros, Ramis y Juli. Y teniendo en consideración los reportes periódicos de la defensoría del Pueblo sobre las existencia de conflictos socio ambientes latentes y activos en el Perú permite dilucidar las perspectivas futuras (Martinez-Alier *et al.*, 2016; Toledo, 2013a).

Además, esta sección está basada en la percepción de seguimiento de ocurrencias con la actividad truchícola durante el período de monitorio y seguimiento por 14 meses, de las que se observó que la actividad truchícola genera desconfianza de los pobladores del litoral, por incremento constante de productores de trucha en el lago Titicaca.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Condiciones físico químicas de las aguas en el área de crianza de truchas

El abordaje del primer objetivo de la investigación fue determinar las condiciones físico-químicas de la calidad de aguas, tanto en el área de la crianza de truchas (PJ), como el espacio sin producción (PB -control). Se desprende de la Tabla 8, que la producción y productividad de las truchas dependen básicamente de la calidad del agua junto a los parámetros más importantes como la temperatura, pH, oxígeno disuelto (OD) y dióxido de carbono (CO₂) entre otros, (FAO, 2014; Mendoza & Palomino, 2004), incluido los estándares de calidad ambiental -ECA- para agua aprobado por DS. N° 004-2017-MINAM, de los resultados (Tabla 8) permiten comparar el comportamiento de las variables estudiadas:

Tabla 8

Parámetros físicas químicas del entorno de las jaulas de truchas Cusipata comparadas con el ECA, FAO, Antamina y PRODUCE

Parámetros	Sigla	u. medida	Investigación Tesis		ECA	FAO	Antamina	PRODUCE		
			rango	promedio	ECA	rango	optima	rango	optima	
Temperatura	TEMP.	°C)	12.3- 17.0° C	14.4°	Δ 3.0	13 – 18°C	15°C	10-16°C	6-18°C	10-15°C
pH	pH	UpH	8.24-9.09	8.79	6,0-9,0	6.5 - 8.5	7	6.5-8.5	7-9	7
NITROGEN, AMMONIA	NH3-N	(mg/L)	0.03-0.26	0.13				<=0.02		
Oxígeno Disuelto	O.D.	(mg/L)	6.00-7.65	6.81	>=5	7.5 - 12	8.5	6.5-9	6-10	8
Dióxido de carbono	CO2	(mg/L)	0.00-1.50	0.28					0-4	0-2
fosfatos	PO4	(mg/L)	0.00-0.28	0.09	0.025			>500 ml/Lt		
Nitrato	NO3	(mg/L)	0.00-0.64	0.01	0.02			<=0.055		

Fuente: Elaborado en base a la data de IMARPE en el periodo de Investigación de Tesis

Tabla 9

Temperatura de agua en la zona de estudio en comparación con estándares

Parámetros	Sigla	u. med	Investigación Tesis		ECA	FAO		Antamina	PRODUCE	
			rango	promedio	ECA	rango	optima	rango	optima	
Temperatura	TEMP.	(°C)	12.3 - 17.0° C	14.4° C	Δ 3.0	13 - 18	15°C	10-16°C	6-18	10-15

Del seguimiento del caso efectuado, durante 14 meses se recolectó 10 muestras en el área de crianza y el punto control a 500 m de lago adentro otras 10 muestras (Cusipata Titicaca), se denota que los indicadores máximos y mínimos conjuncionados en promedio de todo el seguimiento (Tabla 8, 9 y 10), la **temperatura del agua** que regula el crecimiento de las truchas estuvo entre 12.3° a 17° C entre la temperatura mínima y máxima respectivamente y promedio de mensual alrededor de 14.4°C próximo a lo recomendado por la FAO entre 13° a 18°, al igual que el promedio de la tesis (14.4° C) cercano al punto óptimo de 15°C de la FAO. Asimismo el parámetro obtenido está dentro de los rangos 6-18°C (óptimo de 10 - 15°C) recomendados por PRODUCE (Fondepes), lo que implica que lugar de cultivo de truchas (Cusipata) del entorno de las otras jaulas de truchas instaladas en el lugar de estudio, la temperatura es apta en su generalidad (Tabla 9).

Tabla 10

Promedio general de parámetros físico químicos Máximos, Mínimos según lugar de muestreo y niveles de profundidad nivel de agua desde julio 2017 a setiembre 2018

	NIVEL MUESTREO (m)	PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS													NUTRIENTES				
		TEMP. (°C)	C. E. (µS/cm)	STD (mg/L)	SAL (UPS)	pH	NH ₄ -N (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	O.D. (mg/L)	O.D. (%)	CO ₂ (mg/L)	PO ₄ (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	CLOROFILA-a (mg/m ³)	SST (mg/L)		
	1.0	14.9	1559.1	1017.2	0.79	8.75	0.85	0.14	6.93	97.97	0.23	0.64	0.01	0.01	2.00	0.76			
	5.0	14.4	1555.9	1017.9	0.79	8.81	0.79	0.14	6.97	107.60	0.25	0.67	0.00	0.00	2.67	0.90			
	10.0	14.2	1557.4	1018.6	0.79	8.81	0.69	0.14	6.89	95.73	0.37	0.58	0.00	0.00	3.30	0.74			
Bahía Puno Cusipata, 500 m jaulas - PB	15.0	14.1	1556.1	1017.9	0.78	8.83	0.81	0.14	6.85	93.99	0.41	0.56	0.01	0.00	3.17	0.62			
	1.0	14.9	1561.2	1010.5	0.79	8.77	0.78	0.13	6.75	85.27	0.10	0.67	0.01	0.01	1.87	0.70			
	5.0	14.4	1557.6	1008.6	0.78	8.79	0.83	0.14	6.72	104.31	0.22	0.68	0.00	0.00	2.78	0.79			
	10.0	14.3	1561.1	1011.8	0.79	8.81	0.84	0.14	6.74	93.67	0.35	0.56	0.00	0.00	3.12	0.92			
Bahía Puno Cusipata, modulo jaula PJ	15.0	14.2	1562.4	1012.8	0.79	8.79	0.83	0.14	6.68	91.95	0.34	0.62	0.01	0.07	2.97	0.77			
Promedio		14.4	1558.9	1014.4	0.79	8.79	0.80	0.14	6.81	96.31	0.28	0.62	0.01	0.01	2.73	0.78			
máximo		17.0	1731.0	1124.5	0.88	9.09	1.64	0.26	7.65	116.20	1.50	1.55	0.05	0.64	3.99	1.75			
mínimo		12.3	1482.0	962.0	0.75	8.24	0.04	0.03	6.02	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.25			

Fuente: Tabulada de acuerdo a la data procesada por el laboratorio continental de IMAEPE Puno Perú

En suma, la temperatura del lugar del estudio es adecuada (Tabla 9), la FAO sostiene que si la temperatura es muy bajo es lento el crecimiento de las truchas y lo contrario induce al desarrollo más rápido, considerando que las truchas y otros peces no tienen capacidad propia de regulación de su temperatura corporal, sino dependen del hábitat, corroborado por otros estudios de la capacidad de adaptación al cuerpo acuático la temperatura media anual entre 14 ° C y 20 ° C y como mínimo 10 ° C) que debe ser tomado en consideración (Crichigno *et al.*, 2017).

Por otro lado, la calidad del agua depende también de **pH** (UpH), dado por la concentración del ión hidrógeno indica que si el agua es ácida (0-6) o básica (8-14) es alcalina. Expresado en escala de 0 y 14, si el valor es de 7 el pH, es neutro: los indicadores obtenidos durante el periodo de investigación oscilan entre 8.24 a 9.09 (de mínimo a máximo) y promedio de 8.79 (Tabla 11) con ligera tendencia (alcalina) fuera del rango de 6.5 a 8.5 de la FAO, ECA de 6.0 a 9.0, de 7.0 y 9.0 de PRODUCE frente a una óptima de 7 de la FAO y PROUCE; pero dentro del rango ligeramente superior del ECA Perú de 6.0 al 9.0 y Produce dentro de rango de 7 a 9, denotando que 9.09 aún tolerable supera al otro extremo superior (Tabla 11).

Tabla 11

pH (UpH) del agua en la zona de estudio en comparación con otros estándares

Investigación Tesis		ECA	FAO	Antamina	PRODUCE	
rango	Promedio	ECA	rango	optima	rango	optima
8.24-9.09	8.79	6,0-9,0	6.5 - 8.5	7	6.5-8.5	7-9

El estado de los extremos del pH (UpH) induce a ser letales, que no es el caso encontrado, para una población de peces en condiciones de cultivo (por debajo de 4 o por encima de 15). Los cambios bruscos de pH pueden inducir a la muerte que de pronto fue el caso de la mortandad de peces en el Titicaca. Toda vez que, las aguas ácidas irritan las branquias de los peces.

El **Oxígeno disuelto** – OD (mg/L) de suma importancia para la determinación de calidad del agua. Implica que, si hay déficit, afecta el crecimiento y la conversión alimenticia de las truchas o los otros peces junto a otros organismos acuáticos debe ser mayor o igual a 5 (mg/L)

según los ECA para agua: Esta investigación está en el rango de 6.00 a 7.65 mg/L (de mínimo a máximo) y un promedio de 6.81(Tabla 12), siendo superior a los que establece el ECA y por debajo de los recomendado por la FAO (7.5 a 12 mg/L) inferior a lo óptimo (8.5), lo que implica que el oxígeno disuelto en agua es bajo y un poco distante de lo óptimo de Produce de 8 mg/L. Sin embargo, en promedio cercano a 8 considerado como óptimo recomendado por PRODUCE (Tabla 10 y 12). En suma, el Oxígeno disuelto es adecuado (≥ 5 de ECA) para la crianza de truchas en Cusipta aun cuando la insuficiencia podría tener *leve* efecto en el entorno de las jaulas, de truchas instaladas, por lo que se requiere evaluar la capacidad de carga en lago Titicaca y monitoreo permanente.

Tabla 12

Oxígeno disuelto - OD (mg/L) en el agua en la zona de estudio en comparación con otros estándares

Investigación Tesis		ECA	FAO	Antamina	PRODUCE		
rango	promedio	ECA	Rango		Rango	Óptimo	
6.00-7.65	6.81	≥ 5	7.5 – 12	8.5	6.5-9	6-10	8

De lo manifestado, la mayor cantidad de truchas en jaulas que supere la carga acuática natural, compiten no sólo por nutrientes sino también por oxígeno (Fontúrbel, 2008), los mismos que puede traer consecuencias adversas a futuro, a la fecha no controlada adecuadamente por los truchicultores (Montesinos, 2018). No obstante, que el oxígeno disuelto en agua, la temperatura pueden eventualmente ser regulada por la atmósfera vía velocidad del viento, radiación solar, temperatura del aire, humedad relativa, corrientes marinas o por la fotosíntesis (Li & Liu, 2019a).

Teniendo en consideración que el oxígeno disuelto acumulado en agua es consumido por la respiración de los organismos que están en el entorno (demanda respiratoria de animales y plantas), un proceso inverso al proceso fotosintético, que indica que la saturación de oxígeno disuelto depende de la temperatura, la salinidad y de la altitud señalada. A tiempo que la mayor temperatura del agua provoca un mayor proceso de degradación de la materia orgánica y por consiguiente mayor consumo de oxígeno (Magnoni *et al.*, 2018).

Bajo el caso señalado, la velocidad del viento genera olas y turbulencia en el agua en horas de la tarde cuando se deja de alimentar a las truchas permite intercambio de oxígeno entre la capa superficial y la columna de agua. Los niveles y temporalidades más bajos de oxígeno disuelto se darán en las madrugadas y la mañana para luego ir incrementándose a medida que es mayor la intensidad solar. En tanto que, los niveles máximos de oxígeno se darán en las primeras horas de la tarde y con el transcurrir de las horas de la noche van disminuyendo gradualmente con la intensidad de luz (Ocola & Laqui, 2017; Samanez, Rimarachin, Palma, & Ortega, 2014).

En tanto que los indicadores obtenidos de **Dióxido de carbono mg/L (CO₂)** es un parámetro esencial para la fotosíntesis, influye directamente a pH del agua. El valor obtenido estuvo entre el rango de 0.00 a 1.50 y en un promedio de 0.28 mg/L (Tabla 13) que está dentro del rango de 0 a 4 hacia un óptimo de 0 a 2 recomendado por PRODUCE, no obstante la tendencia de la proximidad puede ser adversa. En consecuencia, el Dióxido de carbono es óptimo en el estudio. Sin embargo, si sobrepasa dicho parámetro puede llegar a ser tóxico irreversibles en contra del equilibrio en los peces, al tiempo de disminuir la frecuencia respiratoria con ello conducir a la mortandad.

Tabla 13

Valores de dióxido de carbono mg/L (CO₂) en el agua de la zona de estudio comparado con otros PRODUCE

Investigación Tesis		ECA	FAO	Antamina	PRODUCE	
rango	promedio	ECA	rango	optima	rango	optima
0.00-1.50	0.28				0 - 4	2

Es necesario tener en cuenta que durante la noche cesa la fotosíntesis, no se consume más CO₂, durante el día. Mediante la fotosíntesis, hay consumo de Dióxido de carbono en la respiración de los organismos vegetales y animales. En tanto que, la respiración continúa por noche con la liberación de CO₂, y volver a subir su concentración, alcanzando el mínimo en las primeras horas de la tarde y el máximo en la noche (Tabla 13).

Concluyendo el apartado, los parámetros físico químicos ambientales encontrados en el estudio, si bien, son adecuados al estar dentro de los márgenes de *límites de tolerancia* y por ende adecuado la capacidad de carga para la actividad truchícola tanto en Chucuito y en otras instalaciones del litoral del lago Titicaca. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que las alteraciones deben ser permanentemente monitoreadas a fin de garantizar la calidad del agua sean los más óptimo posible. Y además, no sea contraproducente para las otras actividades acuáticas por efecto de la producción de truchas en jaulas, toda vez que los efectos, son síntomas de contaminación tanto en la Bahía interior y la misma Bahía de Puno, concordando por otros estudios efectuados (Mantilla, 2008; Ocola & Laqui, 2017). Proceso que requiere un monitoreo permanente y mantenimiento de condiciones adecuadas y mayores detalles de estudios.

Uno de los parámetros indispensables para truchicultura es el oxígeno disuelto que está condicionado por la presión atmosférica y la temperatura del agua para el crecimiento de las truchas. Y es más, la lógica de que la caída en la temperatura aumenta la viscosidad de la sangre y esto hace que el corazón trabaje más que podría inducir a consecuencias adversas. Esto es cuando la temperatura es más alta (7.5 – 8.5) cerca de la superficie y más baja (6.5– 7.5) a mayores profundidades. El lago Titicaca tiende a ser alcalino porque tiene un nivel de pH entre 8.24 y 9.09 frente a lo recomendado por ECA de 6.0 a 9.0 y sobrepasa a 7 UpH de lo óptimo de PRODUCE. Esto se debe a menudo a un alto contenido de sal. En lagos ácidos el nivel de pH puede ser tan bajo como 5.0, y solo unos pocos organismos pueden vivir en ellos (Li & Liu, 2019b; Wessels *et al.*, 2017).

Sin embargo, la disminución de niveles de oxígeno disuelto en agua afectados de forma negativa por niveles de temperatura, de la turbidez, de la materia orgánica en descomposición, por la proliferación de algas, entre otros como la respiración de algas, plantas, animales, oxidaciones químicas naturales son los principales consumidores de oxígeno en un ecosistema. Los microorganismos aerobios heterótrofos presentes en el medio, para metabolizar la materia orgánica son imprescindible de consumo de oxígeno disuelto (J. Camargo *et al.*, 2011; Li & Liu, 2019b).

Por otro lado, el nivel de la saturación a temperatura media del lago corresponde a 7 mg.l-1. Donde los valores más altos en el altiplano se registran en la época del invierno debido al

aumento de la solubilidad del oxígeno que acompaña la disminución de la temperatura de las aguas y el otro extremo de la temperatura induce que las proteínas no sean captadas adecuadamente que es el caso abordado (Ali *et al.*, 2016; Tate *et al.*, 2017). Considerando que las variaciones diurnas extremas de los factores de la radiación solar, la temperatura y la humedad de manera permanente oscila entre 1 a 16 ° C (Archundia, Duwig, Spadini, *et al.*, 2017; Li & Liu, 2019b).

En los que respecta el pH reportado en ésta investigación fue de 8.24 a 9.09 UpH tiene una tendencia a masas de agua alcalinas respecto a ECAs Agua (de 6 a 9), que implica que el pH en los meses de estudio tuvo una ligera tendencia a incrementar, probablemente por mayor presión alcalina de carga de jaulas; que en parte corrobora lo reportado por Vásquez, Talavera, & Guevara (2015) efectuada en la laguna Arapa de crianza intensiva de truchas, donde la acidez fuera incrementado en la zona por mayor instalación de jaulas por ende una mayor elevada carga de truchas sembradas y valores de pH 8,7 que implica una elevada descomposición de materia orgánica carbónica.

En suma, el pH está vinculado con la productividad biológica en los sistemas acuáticos y es determinante para limitar los usos del agua para la vida acuática; toda vez, que un pH muy ácido o muy alcalino, es un indicio de contaminación entre los valores 0 y 14, si el pH es alto es superior a 7 (alcalino); y es bajo menor a 7 es ácida, los organismos vivientes tenderán a morir. También puede afectar la solubilidad y toxicidad de productos químicos y metales pesados en el agua. La mayoría de las criaturas acuáticas, prefieren pernoctar entre el rango de pH de 6,0 a 9,0 UpH establecido por la norma peruana (ECA) el caso de ésta investigación fue de 8.24 a 9.09 UpH, aun cuando algunos pueden vivir en agua con niveles de pH fuera de este rango. A medida que los niveles de pH se alejan de este rango (hacia arriba o hacia abajo), puede estresar los sistemas animales y reducir las tasas de eclosión y supervivencia (Li & Liu, 2019b; Pablo Pablo & Hernández Santana, 2016).

4.2. Niveles de metales pesados en aguas superficiales y sedimentos

El abordaje para contrastación en el segundo objetivo de ésta investigación consistió en determinar los niveles de metales pesados en aguas superficiales y en sedimentos en el área de crianza truchas en jaulas en el Lago Titicaca. De ellas, los resultados reportados por el

laboratorio ALS LS Perú S.A.C. se analizaron en base a los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, aprobado con Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Los parámetros analizados fueron arsénico, cadmio, cromo, cobre, mercurio, plomo, zinc y fósforo, cuyos valores establecidos en el ECA Agua de Categoría 4: Conservación del ambiente acuático y Subcategoría E1: Lagunas y lagos.

En tanto que para determinación de parámetros de metales pesados concentrados en sedimentos están basados en las guías de calidad de sedimento, de la norma canadiense desarrollados por el *Canadian Council of Ministers of the Environment* como herramientas de protección para apoyar el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos sanos. Se basaron en programas de investigación de campo, que han demostrado asociaciones entre los productos químicos y los efectos biológicos mediante el establecimiento de relaciones de causa y efecto en organismos particulares.

En ambos casos, los efectos al cuerpo acuático son leves al estar dentro de los límites permisibles o son tolerantes para agua, comparada por la norma peruana ECAs. En tanto que la concentración de metales en sedimentos igualmente en su mayoría no sobrepasa los límites máximos permisibles comparados con la norma canadiense para sedimentos a excepción de arsénico, de las que explicitan.

4.2.1. Niveles de metales pesados en aguas superficiales

Las concentraciones de los metales pesados mercurio, arsénico plomo, cadmio, cobre y zinc, incluyendo al metaloide arsénico no excedieron los valores establecidos en los ECA Agua de Categoría 4: Consersvación del ambiente acuático y Subcategoría E1: Lagunas y lagos (Tabla 14, Figura 8), respecto a los puntos evaluados en los meses de mayo y setiembre de 2018 en el lago Titicaca

Por tanto, las concentraciones de metales pesados en el entorno del área de crianza de truchas en jaulas en el lago Titicaca indican que están dentro de los parámetros requeridos y establecidos por Estándares de Calidad Ambiental (ECA), evaluados en aguas superficiales a partir de las muestras recolectadas, descritas en la metodología y procesados en los laboratorios de ALS Perú SAC de la ciudad de Arequipa Perú.

Los resultados obtenidos muestran que el impacto de metales pesados en aguas superficiales sobre el medio acuático comparado con los ECA es muy leve y por debajo de límites máximos permisibles (Imp) en su generalidad. En el caso de la muestra **Mercurio** Hg obtenida entre mayo y setiembre en su punto central de crianza y en su punto blanco tiene el mismo indicador 0.0000300 mg/L, están por debajo de ECA 0.0001 mg/L, lo que implica que la presencia del mercurio (Hg) es insignificante (Tabla 14, Fig 9).

En tanto que el **Plomo** (Pb) en el mes de mayo (final de época de lluvias) registró 0.0002 mg/L en su punto central del entorno de jaulas, en el mes de setiembre se incrementaron a 0.002000 mg/L y estuvieron al tope de los límites máximos permitidos de 0.002500 mg/L (ECA). En el punto blanco, en el mes de mayo registró también 0.0002 mg/L en el entorno de las jaulas para incrementarse en mes de setiembre a 0.001700 mg/L previo al regreso de la lluvias, estos indicadores indican que bien no han sobrepasado el ECA (0.0002500 mg/L) están cerca del límite de tolerancia, probablemente a raíz de la poca movilidad de agua que sí ocurre en época de lluvias, que es absorbida por la avenidas de agua y mayor movimiento de las corrientes de aguas superficiales (Tabla 14, Fig 8).

Los indicadores de **Arsénico** (As) tanto en el mes de mayo y setiembre no hubieron mayores cambios, en ambos casos están dentro de los límites permisibles de los ECAs (0.1500000 mg/L). De igual forma fue el caso de **Cadmio** (Cd) están dentro de los ECA (0.0002500). Consiguientemente el **Cu** y el **Zn** tuvieron las mismas tendencias en los dos puntos de muestreo y ambas épocas de ensayo (Tabla 14 y Figura 8).

De ellas se deduce que la concentración de metales pesados en aguas superficiales (Hg, Pb, As, Cd, Cu y Zn) en su conjunto están dentro de los Imp o por debajo de los límites de tolerancia a, excepción de Plomo que durante mes de setiembre (2018) se aproximó a la zona máxima de tolerancia, lo que indica que la agua del lago Titicaca del entorno de las jaulas no representan un mayor peligro para la vida acuática, mucho menos para las jaulas instaladas en el sector Cusipata, junto a las otras jaulas del litoral de la Región Puno (Tabla 14 y Fig 8); sin embargo, no se debería perder de vista la presencia de elementos tóxicos como el plomo en sus indicios de volatilidad en aguas superficiales del Lago. Por el que no debe dejarse de lado el monitoreo permanente o de implementar un sistema de monitoreo en línea y tiempo real a través de sensores de Boyas.

Tabla 14

Niveles de metales pesados en aguas superficiales en la zona de producción de truchas en jaulas y en la zona control comparado 4ta categoría ECA – mg/l

	Mayo		Setiembre		ECA
	JAULAS	BLANCO	JAULAS	BLANCO	
Hg	0.000030	0.000030	0.000030	0.000030	0.000100
As	0.014850	0.012640	0.012280	0.012640	0.150000
Cd	0.000010	0.000010	0.000010	0.000010	0.000250
Pb	0.000200	0.000200	0.002000	0.001700	0.002500
Zn	0.110800	0.010000	0.010000	0.010000	0.120000
Cu	0.004360	0.002950	0.004060	0.003210	0.100000

Data de investigación comparada con ECA para suelo aprobado por DS N° 011-2017-MINAM

Los indicadores de parámetros físicos-químicos, así como los niveles de concentración de metales pesados en aguas superficiales no sólo son de preocupación local (activistas y autoridades de Puno) sino global. Toda vez que organismos internacionales como la Organización de las Naciones Unidas (ONU) vienen ensayando diversos mecanismos de uso racional y conservación, tanto para el consumo humano y para la sostenibilidad de la biodiversidad (Convenio de Diversidad Biológica, RAMSAR, UNESCO, FAO entre otros) incluido la diversidad cultural. Para ellas han establecido el objetivo 6 dentro del 17 del marco de la agenda 2030 de Objetivos del Desarrollo Sostenible, para garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos, a cuyo efecto, la investigación efectuada permite contar con argumentos válidos, que la calidad de aguas del Titicaca satisface la preocupaciones globales (FAO, 2018; ONU / CEPAL, 2017).

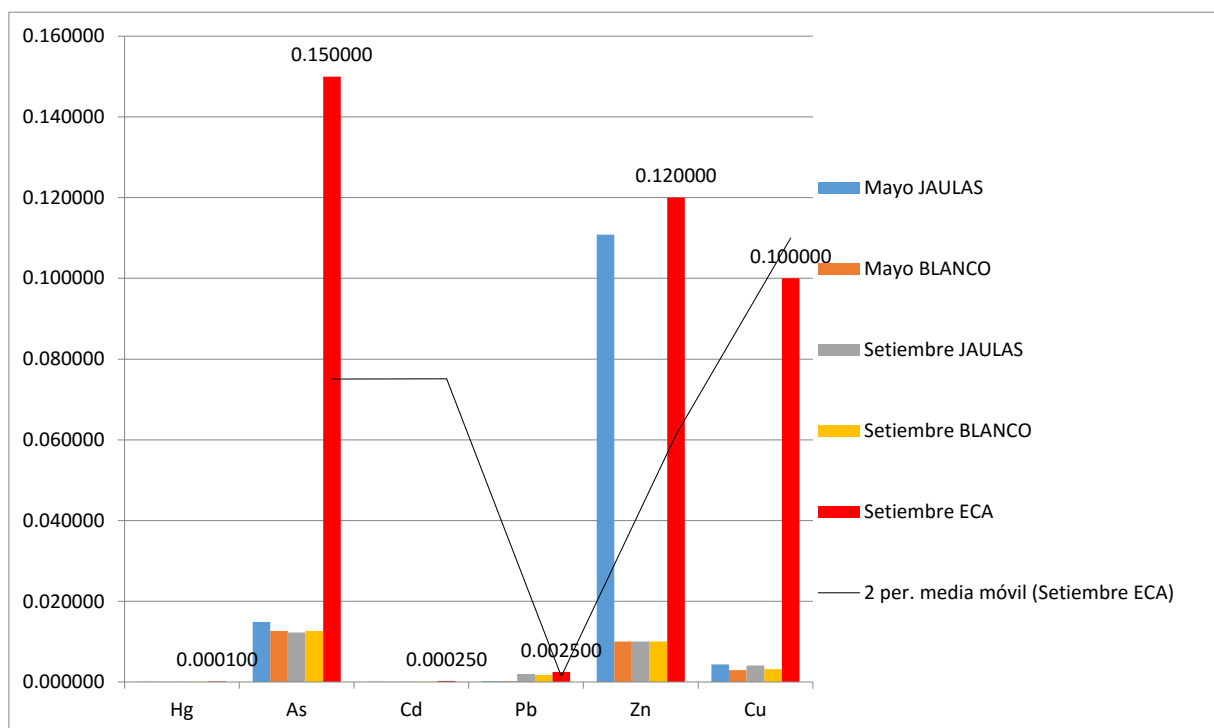


Figura 8 Niveles de metales en el agua en la zona de producción de truchas comparado con ECA

Por tanto, el deseo de organismos multilaterales, es la datación de agua limpia y libre de impurezas y accesible para todos y todas como parte esencial en que queremos vivir. Teniendo en consideración que existe suficiente agua dulce en el planeta para lograr este sueño. Sin embargo, actualmente el reparto del agua no es el adecuado ni racional en términos de derechos humanos. La sequía afecta a algunos de los países más pobres del mundo, recrudece el hambre y la desnutrición, y por consiguiente el deterioro ambiental y contraviene la agenda 2030 de la ONU. Esa escasez de recursos hídricos, junto con la mala calidad del agua y el saneamiento inadecuado repercuten no solo en la seguridad alimentaria, sino sobre todo para la diversidad biológica y cultural como medios de subsistencia y la oportunidad, en todos sus alcances de sustentabilidad a partir de la gestión eficaz del agua y el saneamiento con la participación de todos los involucrados, incluido los pescadores nativos en el marco de diálogo de saberes (Girón, 2016; Lucía Acosta - Ángela Garcés M Introducción, 2016). Preocupación global que debe involucrar a todas actividades económicas como es el caso de la acuicultura que aborda parte de la temática en ésta investigación.

Dentro del contexto señalado, la crianza de truchas en jaulas en Puno si bien no está demostrado científicamente que generan impactos negativos de consideración, genera adversidades en agua abajo o arriba con el uso de insumos de diversa índole y el manejo inadecuado de los mismos, dando lugar a la presencia de patógenos por el que es necesario definir los niveles máximos, de aceptación de genes o bacterias resistentes a los antimicrobianos, para evaluar la calidad del agua y monitorear las cepas de resistencia a los antimicrobianos en los alimentos, requisitos esenciales para mantener una producción sostenible de la truchicultura garantizando su sustentabilidad que guarda coherencia con otros estudios abordados al caso (Mantilla, 2008; Montesinos, 2018; Novais *et al.*, 2018; Ocola & Laqui, 2017).

4.2.2. Niveles de metales pesados en sedimentos zona de producción de truchas

La concentración de metales pesados en sedimentos en muestras recolectadas bajo los parámetros indicados en el proceso metodológico, los sedimentos fueron separados del global para ser procesados por IMARPE. En los dos puntos de estudio, uno en el entorno de las jaulas y la otra como punto blanco a 500 metros lago adentro, muestras que fueron secados y molidos en fino para luego ser enviado a los laboratorios de ALS LS Perú SAC de la ciudad de Arequipa Perú para su procesamiento. Los resultados fueron comparados con la norma Canadiense (Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life – peso seco marico de Tabla 2 por ser más tolerable), pero también se comparó para agua dulce de las que se desprende, en su generalidad, no superan en su mayoría los estándares permisibles en sus límites de tolerancia, a excepción de arsénico (Tabla 15, 16, Figura 9).

Cabe anotar que los valores de concentración de metales en sedimentos comparados con las directrices de calidad de sedimentos marino y de agua dulce (ISQG), el nivel de tolerancia mínima y de efectos probables (PEL) que resulten los *efectos biológicos adversos* dentro del intervalo de concentración proporcionan una indicación básica sobre el grado de contaminación y posible impacto en la ecología por crianza truchas en jaulas.

Tabla 15

Concentración de metales pesados mg/kg en sedimentos de la zona de estudio Cusipata Comparado con Norma Canadá ISQG – DEL agua dulce y ECA suelos

	MAYO		SETIEMBRE		N. Canadá		Perú ECA Suelos
	JAULAS	BLANCO	JAULAS	BLANCO	ISQG	PEL	
Hg	0.05	0.02	0.07	0.09	0.17	0.49 17.0	6.60
As	25.70	41.10	27.30	23.90	5.90	0	50.00
Cd	0.20	0.20	0.50	0.50	0.60	3.50 30.4	1.40
Pb	1.00	1.00	5.00	6.00	35.00	3 52.5	70.00
Zn	19.50	15.10	13.80	28.80	123.00	0	
Cu	6.70	4.30	0.80	0.80	35.70	65.6 7	

LMP DE ISQG Y PEL presentados en mg/Kg, Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life

ISQG Directrices provisionales de calidad de sedimentos

PEL Nivel de efecto probable

* el valor de $91.3/3 = 30.43$ solo para figura

** el valor de $97/3 = 65.67$ para efectos de grafica

El valor de $315/6 = 52.50$ solo para efectos de grafica de visualización

Tabla 16

Parámetros de metales pesados mg/kg en sedimentos de la zona de estudio Cusipata comparado de Norma Canadá DEL – sedimento marino y ECA suelos

	MAYO		SETIEMBRE		N. Canada		Perú ECA Suelos
	JAULAS	BLANCO	JAULAS	BLANCO	ISQG	canada PEL	
Hg	0.05	0.02	0.07	0.09	0.13	0.70	6.60
As	25.70	41.10	27.30	23.90	7.24	41.60	50.00
Cd	0.20	0.20	0.50	0.50	0.70	4.20	1.40
Pb	1.00	1.00	5.00	6.00	30.20	112.00	70.00
Zn	19.50	15.10	13.80	28.80	41.33	271.00	
Cu	6.70	4.30	0.80	0.80	18.70	108.00	108.00

LMP DE ISQG Y PEL presentados en mg/Kg, Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life

Anotación: **6= de valor real dividido (Plomo 112/6), (Zn 271/6), (Cu 108/10)

solo para efectos de presentación y visualización de grafica

- **Interim Sediment Quality Guidelines - ISQG** (Directrices provisionales de calidad de sedimentos): Representan el *nivel por debajo del cual no se esperan efectos biológicos adversos*.
- **Probable Effect Leve - PEL** (*Nivel de efecto probable*): Representan el nivel que usualmente o siempre está asociado a efectos biológicos adversos.

El indicador de **mercurio** (Hg) fue de 0.05 y 0.02 mg/kg en el mes de mayo en jaulas y punto blanco, para subir ligeramente en el mes de setiembre a 0.07 y 0.09 (de las muestras procesadas de mayo al finalizar completamente el período de lluvias y el mes de setiembre, previo al inicio del nuevo período de lluvias considerada como la época seca) está dentro del rango mínimo y máximo de la norma canadiense (ISQG = 0.17) y no es necesario acudir al límite PEL de probable efecto *leve* (Tabla 15, Fig 9). Sin embargo, es necesario tener en cuenta que la presencia de mercurio en sedimento fue mayor que en el entorno de jaulas de truchas en el mes de mayo incrementándose ligeramente en el mes de setiembre, similar caso ocurrió en el punto blanco, lo que indicaría una tendencia creciente y acumulable en el tiempo, pero no solo en lugar de módulo de truchas, sino son probablemente trasladados hacia lago adentro por efecto de corriente de agua y vientos por su pendiente (Tabla 15).

En tanto que el **arsénico** (As) estuvo entre 25.7 mg/Kg en el entorno del módulo de truchas y en el punto blanco 41.1 mg/Kg en el mes de mayo, superior al entorno de jaulas y en 27.30 mg/Kg en jaulas y 23.90 mg/kg en el mes de setiembre 2018. Todas ellas, superan al mínimo límite tolerable de la norma canadiense ISQG (Tabla 16 y Fig 9, 9.1 y 10); sin embargo, no superan el máximo permisible de 41.641.60 mg/Kg PEL, aun cuando el parámetro de muestra blanca de mayo está muy próxima a 41.60 mg/Kg PEL, por ende mayor efecto, aun así comparado con ECA para suelos DS. 011-2017-MINAM otorga un valor de 50 mg/Kg está de los límites de tolerancia). En tanto que, comparado con la tabla 16 de sedimento seco para agua dulce de la norma canadiense la concentración de arsénico del estudio de 25.70, 41.10 mg/Kg del mes de mayo y 27.30, 23.90 mg/kg del mes de setiembre del 2018 supera ampliamente a 5.9 mg/kg del ISQG al igual que 17 mg/kg de PEL, por consiguiente es evidente el proceso de contaminación de arsénico, al estar concentrado en el sedimento evaluado en ambas tablas de Canadá tiene efecto probable

asociado a problemas biológicos adversos por estar dentro y superior de tolerancia de la norma canadiense principalmente a la calidad de sedimento en agua dulce.

Sin embargo, los ECA de Perú son indicadores más benéficos, otorga un punto máximo permisible de 50 mg/Kg, por lo tanto, los datos encontrados en ésta investigación no superan dicho límite a contrariedad de la norma canadiense que son más conservadores. Que al final implica que existe efecto probable de contaminación por arsénico en los sedimentos del lago Titicaca. Por ende un hecho de preocupación que requiere un monitoreo permanente y tomar medidas correctivas que corresponda.

En tanto que el **Cadmio** (Cd) estuvo en el mes de mayo entre 0.2 y 0.2 mg/Kg para incrementar a 0.5, 0.5 mg/Kg en el mes de setiembre, ninguna de ellas supera a ISQG de 0.70 mg/Kg considerado como mínimo y esta distante al máximo recomendado de 4.2, lo que indica que el Cd tiene escasa o nula significancia al entorno acuático de las jaulas (Tabla 15, Fig 10).

El caso de **Plomo** (Pb), **Zin** (Zn) y **Cobre** (Cu) tienen la misma tendencia similar que el Cd tanto en el entorno de jaulas y en el punto blanco a 500 metros lago adentro, donde no existe ninguna jaula de truchas. Ninguna de ellas, supera el mínimo límite y está muy distante al máximo tolerable establecido en la norma canadiense (ISQG y DEL), lo que implicaría que no tiene mayor significancia la presencia de metales pesados por la crianza de trucha en jaulas instaladas en Cusipata ni en las aledañas como en todo el litoral de la Región Puno del Lago Titicaca (Tabla 15, Fig 9, 9.1); sin embargo los niveles de presencia de metales aún mínimos, es señal que es probable que a largo plazo pudieran generar aspectos no deseables.

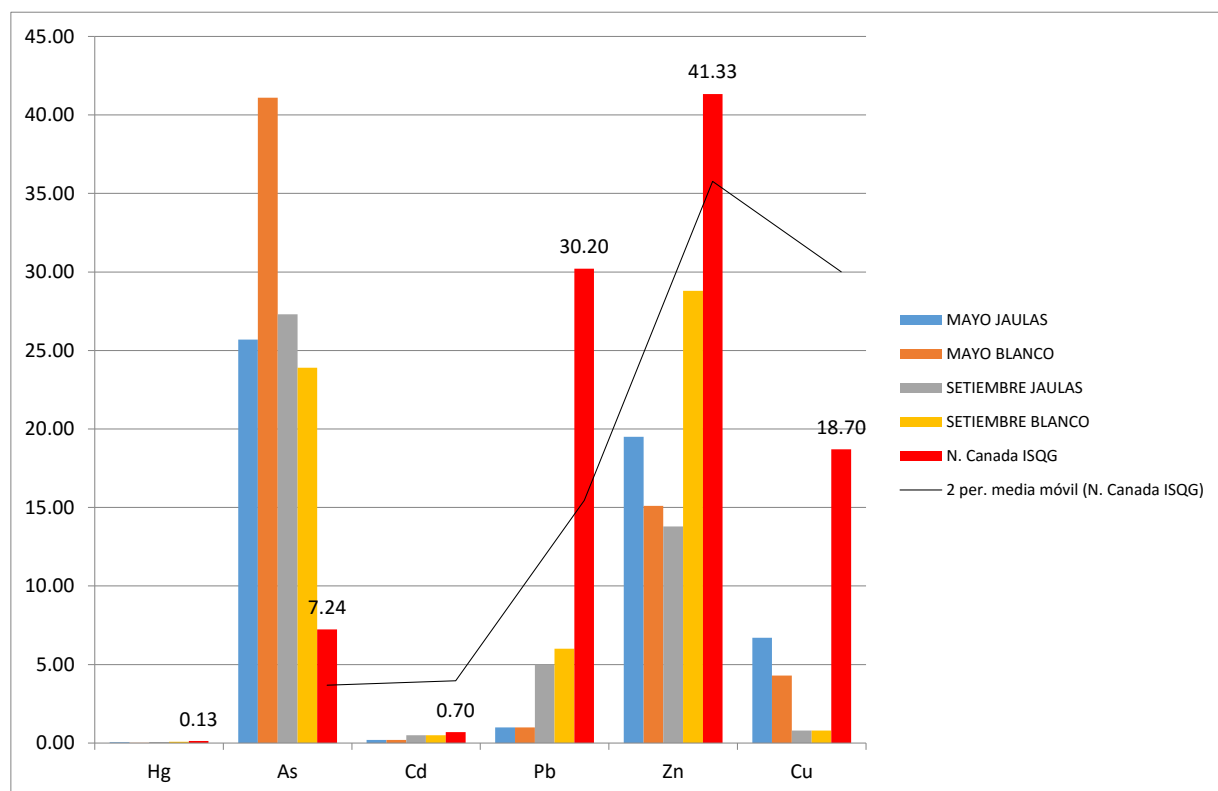


Figura 9. Niveles de metales en sedimento en la zona de producción de truchas comparado con norma canadiense ISQG Suelo Marino

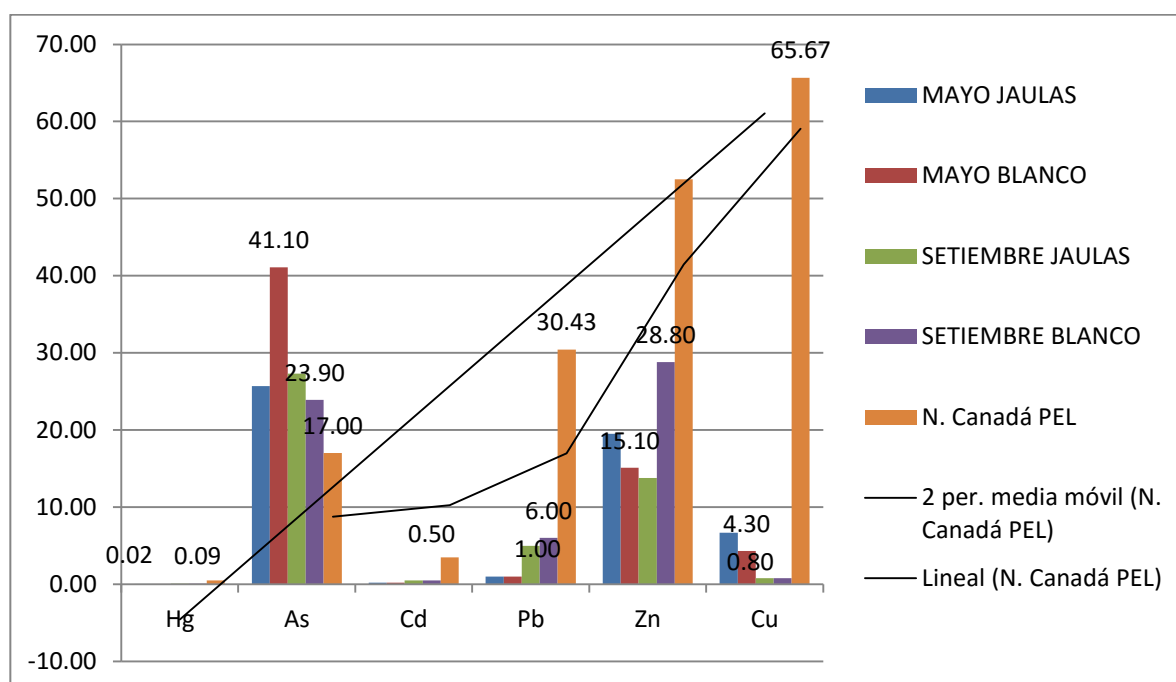


Figura 9.1. Niveles de metales en sedimento en la zona de producción de truchas comparado con norma canadiense ISQG sedimento agua dulce

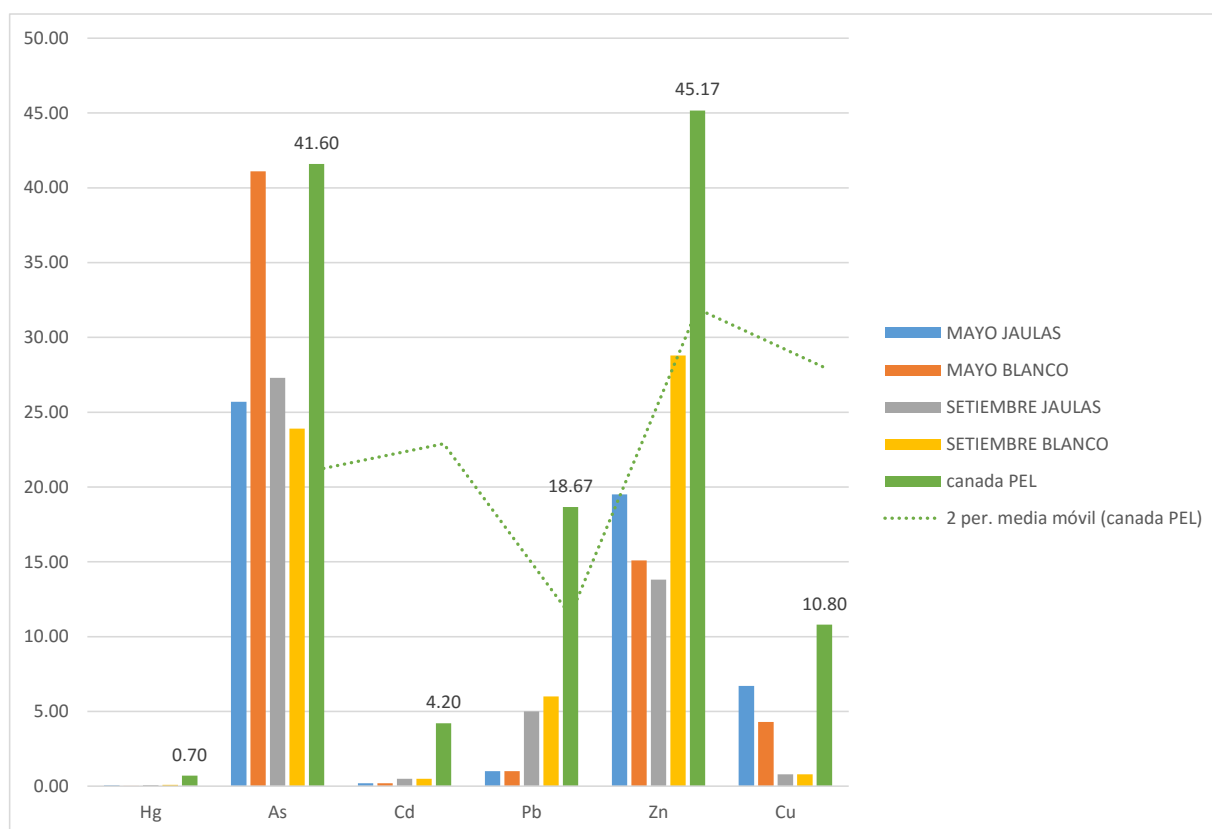


Figura 10. Niveles de metales en sedimento en la zona de producción de truchas comparado con norma canadiense PEL - Sedimento marino

Los estudios reportados por Monroy *et al.*, (2014) respecto a los resultados de ésta investigación de concentración de metales en sedimentos (Hg, As, Cd, Pb, Zn y Cu) desde el otro extremo del río Ramis, tributario del Titicaca, se observa que la mayoría de los elementos (Cu, Zn, Cd, Hg, Pb, Co y Fe) con la excepción de Co y Fe, excedió los máximos permisibles establecidos por la legislación internacional. Indicadores contrarios a lo encontrado en ésta investigación, probablemente por fuertes descargas provenientes de las minas de La Rinconada que transportan metales pesados, a pesar de largo recorrido de sus ríos llegan al Titicaca en la desembocadura del río Ramis, donde estuvo ubicado uno de los puntos de muestreo.

Otro estudio desde el mismo lugar reportado por Gammons *et al.*, (2006) da cuenta que de la concentración de mercurio en el tejido muscular de varias variedades de peces del lago Titicaca, incluido el pejerrey, éste último concentra el 27% de mercurio y el 75% del carachi los cuales superaron los límites máximos permisibles de calidad del agua, basado

en tejido de pescado comparado con el EPA de EE. UU., de 0.30 microg g (-1); en tanto que los niveles de mercurio en pejerrey aumentaron conforme eran de mayor tamaño, aunque esta relación fue menos evidente para el carachi, más pequeño. Por tanto, se desprende que el mercurio utilizado en el procesamiento de oro podría ser una fuente de contaminación por Hg en el lago Titicaca, sumado a los otros metales provenientes de los centros mineros de La Rinconada. Hechos, que al parecer no están ocurriendo por los efectos de crianza de truchas de ésta investigación, dado que ninguno de los metales superaron los Imp de tolerancia, excepto el arsénico; sin embargo, la presencia de metales detectados es una evidencia que se va acumulando en el tiempo; mientras más grande fue el tamaño del pejerrey mayor concentración de Hg se encontró en la carne del pejerrey, es un indicativo del proceso de bioacumulación en el tiempo (largo plazo).

De ellas, se debe tener en cuenta que los sedimentos en el fondo del Lago son los principales disipadores (repositorios) de metales, sea en las aguas y sedimentos no obstante a su recorrido y tiempo transcurrido, siguen siendo una de las principales vías de entrada de metales a los ecosistemas (Guédron, Ledru, Escobar-Torrez, Develle, & Brisset, 2018). No obstante, los sedimentos concentran más metales que en aguas superficiales, son indicadores de concentraciones aun cuando no proporcionan información suficiente sobre el riesgo en el proceso de bioacumulación de metales (Keshavarzi, Najmeddin, Moore, & Afshari Moghaddam, 2019; Mario Monroy *et al.*, 2014).

Los indicadores de ésta investigación han tenido un incremento *leve* de mayo a setiembre en el entorno de las jaulas y en el punto blanco, excepto el cobre, lo se atribuye que la mayor afluencia de desechos agrícolas, aguas residuales y lodos por las fuertes lluvias e inundaciones terminan de estacionarse en otoño y a finales de otoño volver a moverse por los mismo hechos naturales, son casos similares a los reportados por Rajeshkumar *et al.*, (2018). Lo que implícitamente indica que existe un bioacumulación lenta en el tiempo en lago Titicaca que podría tener consecuencias adversas a largo plazo (Guédron *et al.*, 2018; Keshavarzi *et al.*, 2019). Y es más, es evidente el proceso de contaminación por actividad truchícola en el lago Titicaca, como ha sido reportado por Mantilla (2008); Ocola & Laqui (2017).

No obstante, los sedimentos formados en el fondo acuático donde están las jaulas de truchas que fuera estudiada, pueden haberse formado desde un tiempo muy lejano o devienen de los procesos de desarrollo acuático territorial del altiplano desde miles de años, probablemente las actividades humanas vienen contribuyendo por medio de aguas residuales y relaves mineros, donde se alojan los metales en agua superficiales y en sedimentos. Donde probablemente las largas o cortas temporadas de lluvias podrían haber movilizado diversos contaminantes orgánicos (nutrientes y materia orgánica principalmente), como inorgánicos que perturben al medio acuático (Montes-Avila, Espinosa-Serrano, Castro-Larragoitia, Lázaro, & Cardona, 2019). De ellas, se desprende que la movilidad de los contaminantes en los sedimentos y el aguas superficiales deviene también de la caracterización minera de los elementos potencialmente tóxicos como el arsénico (As), el plomo (Pb) y cadmio (Cd) incluyendo el mercurio (Peterle, 1991), posturas que confirman nuestros argumentos sobre las adversidades del impacto, no obstante que la crianza de truchas no está afectada considerablemente.

Por tanto, la movilidad de metales y el proceso de bioacumulación y biomagnificación en agua y sedimentos en el tiempo, presentados en ésta investigación, si bien, no superan todavía los límites máximos permisibles a excepción de arsénico, no deja de tener sentido lo reportado por Ali, Ali, Islam, & Rahman (2016) que sostiene que la contaminación de los metales pesados en los sedimentos se considera una crisis mundial por su alta toxicidad. Considerando que dichos metales pesados tóxicos ingresan a la cadena trófica con efectos al medio ambiente, no son fácilmente degradables en la naturaleza y se acumulan tanto en las especies vivientes para luego ser consumidos por el hombre, se quedan en el cuerpo humano y conduce a *efectos indeseables más allá de cierto límite de tolerancia* (sean los ECAs o los estándares Internacionales). Los metales pesados en el medio ambiente fluvial como el Titicaca representan una amenaza permanente para la salud humana y la sustentabilidad de la actividad acuícola (Paul, 2017).

Por tanto, los resultados conducen a la aceptación de la hipótesis formulada, donde los niveles de metales pesados en aguas superficiales y sedimentos son adecuados para la crianza de truchas en jaulas en el lago Titicaca, lo que implica que dichos parámetros no tienen mayor significancia. Sin embargo, la presencia de metales pesados, más en

sedimentos que en aguas superficiales que sí bien, no superan los límites permisibles establecidos en el ECA, pero sí la norma canadiense sobre calidad de sedimento en agua dulce (Tabla 15), van acumulándose en el tiempo, los residuos de truchas, excretas, restos de alimentos proporcionados entre otros, son parte de eutrofización y puede contribuir enormemente a largo plazo *más allá de cierto límite de tolerancia*, por consiguiente, compromete la sustentabilidad de la calidad de las aguas del lago Titicaca.

En suma, el abordaje seguido, nos permite concluir ésta sección señalando que la concentración de metales pesados en aguas superficiales y sedimentos de la zona de producción de truchas en jaulas de Cusipata, así como en el litoral del lago Titicaca, no determina una situación de contaminación generalizada ni alarmante respecto al ECA.

4.3. Modelo estadístico y significancia estadística de los parámetros de estudio.

4.3.1. Determinación del mejor modelo estadístico: relación de parámetros físico-químicos en aguas de la zona de estudio

El propósito de esta sección fue evaluar en qué medida los parámetros físicoquímico presentados en el estudio están relacionaos entre sí, tanto su dependencia o independencia (Tabla 17). Y qué medida influyen al oxígeno disuelto los otros parámetros determinados a través de pruebas preliminares para determinar sus dependencias usando el software estadístico Statgraphics (priorizado el modelo de la mejor representación). Lo señalado es contrastar lo recomendado por la FAO de tres elementos fundamentales y primordiales para el éxito de truchicultura: oxígeno disuelto, pH y temperatura junto a los otros en estudio, parámetros recomendados por IMARPE que en lo posible debe preservarse la calidad de agua limpia, exentos de contaminantes y con poco sedimento (FAO, 2014, 2018). Todas ellas intentaron determinar el mejor modelo estadístico.

El procedimiento estadístico sometido a prueba están explicitado en la Tabla 17, del que se tiene que el modelo general del estudio, a partir de la Variable dependiente (OD) depende de lo que ocurra con las variables independientes: TEMP, CE, STD, SAL, pH, NH₄N, NH₃N, OD₂, CO₂, PO₄, SIO₂, NO₂, NO₃, CLOROF, SST. Son parámetros que fueron comparados básicamente con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua aprobado por Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, al igual que con los de la FAO,

Produce y Antimina (Institución privada) los resultados obtenidos se muestran a manera resumida en la Tabla 19.

Tabla 17

Parámetros predeterminados en estudio de la zona de experimentación

Parámetros	Sigla	Indicador
Temperatura	TEMP.	(°C)
Conductividad Eléctrica	C. E.	(μ S/cm)
Sólidos totales disueltos	STD	(mg/L)
Salinidad	SAL	(UPS)
potencial de hidrogeno	pH	UpH
Amonio-nitrógeno	NH ₄ -N	(mg/L)
Ammonia-Nitrogen	NH ₃ -N	(mg/L)
Oxígeno disuelto	O.D.	(mg/L)
Dióxido de carbono	CO ₂	(mg/L)
fosfatos	PO ₄	(mg/L)
Silica Standard Solution	SiO ₂	(mg/L)
Dióxido de nitrógeno	NO ₂	(mg/L)
Nitrato	NO ₃	(mg/L)
Nitrógeno total	NTK	(mg/L)
Fósforo Total	PT	(mg/L)
CLOROFILA	CLOROFILA- a	(mg/m ³)
sólidos suspendidos totales	SST	(mg/L)

Fuente: Parámetros propuestos por IMARPE

Lo señalado, debe arribar en el mejor modelo estadístico, a partir de la data procesada en el laboratorio continental de IMARPE Puno. Los parámetros procesados fueron sometidos a las pruebas estadísticas (regresión múltiple de mínimos cuadrados ordinarios); con el que se buscó encontrar el mejor modelo estadístico de incidencia directa: por un lado mediante la probabilidad de p (*valor-P*), nivel de significancia establecido convencionalmente de 0,05. Indicador, que de manera individual induce si es o no significativo dentro del rango deseado con un nivel de confianza del 95.0%.

Por otro lado, mediante el coeficiente de determinación (r^2) que representa el porcentaje de variabilidad de la variable dependiente respecto a la incidencia de las otras variables que

el modelo explica, el coeficiente de variabilidad entre 0 y 1 que induce a que sea muy malo, malo, regular, bueno o excelente (Muy bueno/ Sospechoso) que representa el modelo (Tabla 18). Aun cuando, el coeficiente de determinación presente el inconveniente de incrementarse progresivamente con la inclusión de variables explicativas adicionales, incluso cuando éstas no tengan capacidad explicativa tiende a mejorarse. En este sentido conviene advertir que el objetivo del modelo de regresión no es maximizar el coeficiente de determinación sino conseguir un modelo consistente con la teoría que tenga un coeficiente de determinación aceptable. Para ellas, es fundamental la determinación de p (*valor-P*).

Tabla 18

Coefficiente de determinación R²

Menor de 0.3	0.3 a 0.4	0.4 a 0.5	0.5 a 0.85	de 0.85 a 1.00
Muy malo	Malo	Regular	Bueno	Muy bueno/

Fuente: Rojo, J. M. (2007). Instituto de Economía y Geografía, Madrid, Laboratorio de Estadística, explicitado en la investigación

Determinación óptima del modelo estadístico entre parámetros físico químicos

La FAO ha recomendado, que al menos la calidad y cantidad de tres elementos fundamentales deben estar en óptimas condiciones, adecuadas y necesarias el oxígeno, temperatura y pH para el éxito de la truchicultura. Por tanto, la calidad de aguas limpias sin contaminación y producción controlada de sedimento deben preservarse de lo más óptimo posible junto a los todos parámetros en estudio (Tabla 19).

Independientemente de sus valores y significancias, la investigación exploró en qué medida están relacionados las tres variables indicadas (pH, temperatura y nivel oxígeno) y las otras como fundamentales, si éstas son, representativas de manera global o individual son fundamentales en torno a un modelo, cuyos indicadores condicionan al crecimiento lento o adecuado de las truchas y que a su vez permitan prever los posibles riesgos y la irreversibilidad ambiental que pudiera generarse.

Modelo general con todos los parámetros de estudio

El modelo estadístico general propuesto se basó en la siguiente formula:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_n X_n + \mu$$

Los parámetros analizados y experimentados en estudio de la zona de experimentación se obtuvieron un primer modelo general presentado en la Tabla 19. En tanto que el final del mejor modelo general se muestra en la Tabla 21:

Resultados del primer modelo general del estudio a partir de la Variable dependiente: OD1
Variables independientes: TEMP, CE, STD, SAL, pH, NH4N, NH3N, OD2, CO2, PO4, SIO2, NO2, NO3, CLOROF, SST

Tabla 19

Resultados del primer modelo general del estudio a partir de la Variable dependiente: OD1

<i>Parámetro</i>	<i>Estimación</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>Estadístico T</i>	<i>Valor-P</i>
CONSTANTE	2.38541	2.82799	0.843499	0.4021
TEMP	-0.080524	0.0250823	-3.21039	0.0021
CE	-0.00450578	0.00185223	-2.43263	0.0178
STD	0.000131306	0.00121069	0.108456	0.9140
SAL	8.11604	2.35017	3.45339	0.0010
pH	0.761746	0.252724	3.01414	0.0037
NH4N	0.042692	0.0130884	3.26182	0.0018
NH3N	-2.18254	0.850122	-2.56733	0.0126
OD2	0.00378757	0.00168811	2.24368	0.0283
CO2	-0.219085	0.0659212	-3.32344	0.0015
PO4	-1.12809	0.526914	-2.14093	0.0361
SIO2	-0.621647	0.0744012	-8.35533	0.0000
NO2	-10.1654	13.3272	-0.762758	0.4484
NO3	-0.50636	0.28153	-1.7986	0.0768
CLOROF	-0.0351388	0.0155317	-2.2624	0.0271
SST	0.00421031	0.0131045	0.321286	0.7490

R-cuadrada = 88.5104 por ciento, R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 85.8175 por ciento

Tabla 20

Análisis de Varianza del primer modelo de mejor modelo estadístico

Fuente	Suma de Cuadrados	C	Cuadrado Medio	Razón -F	Valor-P
Modelo	13.9852	1	0.932344	32.87	0.0000
Residuo	1.81543	5	0.0283661		
Total (Corr.)	15.8006	6			
		4			
		7			
		9			

El primer modelo general procesado a partir del modelo matemático fue:

$$\text{OD1} = 2.38541 - 0.080524 \cdot \text{TEMP} - 0.00450578 \cdot \text{CE} + 0.000131306 \cdot \text{STD} + 8.11604 \cdot \text{SAL} + 0.761746 \cdot \text{pH} + 0.042692 \cdot \text{NH}_4\text{N} - 2.18254 \cdot \text{NH}_3\text{N} + 0.00378757 \cdot \text{OD2} - 0.219085 \cdot \text{CO}_2 - 1.12809 \cdot \text{PO}_4 - 0.621647 \cdot \text{SIO}_2 - 10.1654 \cdot \text{NO}_2 - 0.50636 \cdot \text{NO}_3 - 0.0351388 \cdot \text{CLOROF} + 0.00421031 \cdot \text{SST}$$

Los resultados procesados según el modelo propuesto con todos los parámetros propuestos de estudio, resultó que el *valor-P* global de ANOVA (Tabla 20) menor que 0.05 de manera global (resultante de prueba F); ella, implica que estadísticamente es significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95.0%. No obstante, que individualmente algunas variables del modelo estimado por el método de mínimos cuadrados ordinarios resultaron no ser significativas: las variables STD, NO₂, NO₃ y SST (columna del *Valor-P*, Tabla 16) al 5%. Por tanto, surge la necesidad de ir al detalle de cada uno de ellos, para ver realmente, cuál es el nivel de significancia individual. En éste caso el *valor p* más alto, *valor-P* > 0.05 (columna referida), de las variables independientes es 0.9140, que corresponde a STD. Puesto que el *valor-P* es mayor que 0.05, ese término no es estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95.0%. Consecuentemente, se procedió a suprimir STD en el segundo modelo que prosigue.

Por otro lado, el estadístico R² indica que el modelo procesado está explicado en un 88.51 %, la variabilidad en O.D. (variables explicativas -independientes- considerada en el modelo explican en un 88.51%, el comportamiento de la variable dependiente Oxígeno disuelto). El estadístico R² ajustado, es la más apropiada para comparar modelos con diferente número de variables independientes esta fue 85.82 % que también es óptimo y muy bueno (Tabla 18).

Por tanto, se confirma que el modelo global es bueno porque ambos condicionantes tanto el coeficiente de determinación R^2 (respecto a la Tabla 15) y el *valor-P* global de F_p es < 0.05 ; sin embargo, se desconoce el efecto individual de cada parámetro sometido a prueba que pudiera resultar *valor-P* mayor o igual que 0.05%. Aun cuando la Variable dependiente OD hasta el momento está condicionada por el comportamiento de los parámetros independientes de TEMP, CE, STD, SAL, pH, NH₄N, NH₃N, OD₂, CO₂, PO₄, SIO₂, NO₂, NO₃, CLOROF y SST

Bajo la misma perspectiva, se sometió a simplificar en el siguiente modelo suprimiendo la variable que ostenta *valor-P* más alta (0.9140) que corresponde a STD (Tabla 19). Puesto que el *valor-P* es mayor que 0.05; ese término no es estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95.0%. El mismo procedimiento se siguió para el resto de variables hasta llegar al óptimo deseado, que sí consideró suficiente en el quinto modelo general de Regresión Múltiple estimado por mínimos cuadrados ordinarios, luego de supresiones de las variables no significativas.

Segundo modelo general con todos los parámetros de estudio suprimido STD

Variable dependiente: OD1

Variables independientes: TEMP, CE, SAL, pH, NH₄N, NH₃N, OD₂, CO₂, PO₄, SIO₂, NO₂, NO₃, CLOROF, SST
 $OD1 = 2.35155 - 0.0804668 * TEMP - 0.00438371 * CE + 8.06563 * SAL + 0.763505 * pH + 0.0426681 * NH4N - 2.18933 * NH3N + 0.00379807 * OD2 - 0.219405 * CO2 - 1.1426 * PO4 - 0.6208 * SIO2 - 9.97126 * NO2 - 0.506961 * NO3 - 0.0351588 * CLOROF + 0.0042579 * SST$

Tercer modelo general con todos los parámetros de estudio suprimido SST

Variable dependiente: OD1

Variables independientes: TEMP, CE, SAL, pH, NH₄N, NH₃N, OD₂, CO₂, PO₄, SIO₂, NO₂, NO₃, CLOROF
 $OD1 = 2.35514 - 0.0815094 * TEMP - 0.00439613 * CE + 8.07854 * SAL + 0.766385 * pH + 0.0420228 * NH4N - 2.21467 * NH3N + 0.00381823 * OD2 - 0.216081 * CO2 - 1.10473 * PO4 - 0.62279 * SIO2 - 10.427 * NO2 - 0.506989 * NO3 - 0.0348233 * CLOROF$

Cuarto modelo general con todos los parámetros de estudio suprimido NO₂

Variable dependiente: OD1

Variables independientes: TEMP, CE, SAL, pH, NH₄N, NH₃N, OD₂, CO₂, PO₄, SIO₂, NO₃, CLOROF
 $OD1 = 2.02391 - 0.0812082 * TEMP - 0.00450287 * CE + 8.24918 * SAL + 0.798873 * pH + 0.0427725 * NH4N - 2.1138 * NH3N + 0.0039366 * OD2 - 0.231939 * CO2 - 1.25987 * PO4 - 0.590043 * SIO2 - 0.480223 * NO3 - 0.035152 * CLOROF$

Quinto modelo general y final con todos los parámetros de estudio suprimido NO₃

Variables independientes: TEMP, CE, SAL, pH, NH₄N, NH₃N, OD₂, CO₂, PO₄, SIO₂, CLOROF
 $OD1 = 2.37317 - 0.0832922 * TEMP - 0.00460226 * CE + 8.09393 * SAL + 0.789096 * pH + 0.0446883 * NH4N - 1.94479 * NH3N + 0.00398741 * OD2 - 0.23299 * CO2 - 1.15543 * PO4 - 0.598657 * SIO2 - 0.0343299 * CLOROF$

Variables independientes: TEMP, CE, SAL, pH, NH₄N, NH₃N, OD₂, CO₂, PO₄, SIO₂, CLOROF

Tabla 21

Resultados del quinto modelo general y final del estudio a partir de la Variable dependiente: OD1

Parámetro	Estimación	Error	Estadístico	Valor-P
		Estándar	T	
CONSTANTE	2.37317	2.76602	0.857971	0.3939
TEMP	-0.0832922	0.0247837	-3.36076	0.0013
CE	-0.00460226	0.00146003	-3.15217	0.0024
SAL	8.09393	2.28653	3.53984	0.0007
pH	0.789096	0.248092	3.18065	0.0022
NH ₄ N	0.0446883	0.0128241	3.48472	0.0009
NH ₃ N	-1.94479	0.826973	-2.3517	0.0216
OD ₂	0.00398741	0.00167363	2.3825	0.0200
CO ₂	-0.23299	0.0617764	-3.7715	0.0003
PO ₄	-1.15543	0.450996	-2.56194	0.0126
SIO ₂	-0.598657	0.0607852	-9.84873	0.0000
CLOROF	-0.0343299	0.0154493	-2.22211	0.0296

$R^2 = 87.8459 \%$, R^2 (ajustado para g.l.) = 85.8798 %

El quinto modelo de Regresión Múltiple (Tabla 21) por mínimos cuadrado ordinarios fue estimación final en el proceso (del segundo al cuarto prueba notada anteriormente), donde se visualiza que en la columna de *Valor-P*, ya no hay ningún valor superior a 0.05. Ello indica, que todas las variables independientes de manera individual son estadísticamente significativas. Además, todo el modelo en general tiene un *valor-P* (F del ANOVA) menor que 0.05 entre las variables con un nivel de confianza del 95.0%.

El modelo de la referencia, es confirmado además por el estadístico R^2 explicado en un 87.85 %, de la variabilidad en OD (variables explicativas -independientes- considerada en el modelo final explican en un 87.85 % el comportamiento de la variable dependiente Oxígeno disuelto). El estadístico R^2 ajustado de 85.88 % es suficientemente significativo y óptimo para cada una de las variables independientes que explica la variabilidad del oxígeno disuelto.

Por consiguiente, **el quinto modelo y final OD = f (TEMP, CE, SAL, pH, NH₄N, NH₃N, OD₂, CO₂, PO₄, SIO₂, CLOROF)** es el más apropiado en función a la significancia individual de las variables explicativas medido a través del *valor de la*

probabilidad, la significancia conjunta medido a través de la prueba F, y el coeficiente de ajuste medido por el R^2 ajustado (Tabla 21).

Los resultados confirmarían la postura de la FAO en el sentido que la truchicultura depende al menos de tres elementos fundamentales pH, OD y Temperatura. Además, ésta investigación evaluó los otros parámetros CE, SAL, NH_4N , NH_3N , OD2, CO_2 , PO_4 , SiO_2 y CLOROF como indispensables y condicionantes para el éxito de crianza de truchas en Cusipata y otras ubicadas en el litoral del lago Titicaca. No obstante de haber suprimido los parámetros STD, SST, NO_2 y NO_3 por no ser influyentes en el modelo, para el que se requerirá otros estudios similares que pudieran confirmar la probabilidad indicada.

Significancia de los parámetros estimados en quinto modelo final de previsión

Resultados del quinto modelo general y final del estudio a partir de la Variable dependiente: OD1 y Variables independientes: TEMP, CE, SAL, pH, NH_4N , NH_3N , OD2, CO_2 , PO_4 , SiO_2 , CLOROF, entre otros se desprende que:

$$OD = 2.37317 - 0.0832922*TEMP - 0.00460226*CE + 8.09393*SAL + 0.789096*pH + 0.0446883*NH_4N - 1.94479*NH_3N + 0.00398741*OD2 - 0.23299*CO_2 - 1.15543*PO_4 - 0.598657*SiO_2 - 0.0343299*CLOROF$$

- El parámetro de la variable temperatura (TEMP) igual a - 0.0833 indica que existe una relación inversa entre la temperatura y el oxígeno disuelto, es decir, ante un incremento en un grado centígrado °C en la temperatura disminuiría en 0.0830 (mg/l) el oxígeno disuelto.
- El parámetro variable conductividad eléctrica (CE) igual a -0.0046 indica que existe una relación inversa entre la CE y el oxígeno disuelto, es decir, ante un incremento en un ($\mu S/cm$) en CE disminuiría en 0.00466 (mg/l) el oxígeno disuelto.
- El parámetro variable Salinidad (SAL) igual a 8.0939 indica que ante un incremento en un 1 (UPS) en SAL incrementará en 8.0939 (mg/l) el oxígeno disuelto.
- El parámetro estimado de variable pH igual a 0.7891) indica que ante un incremento en 1 la UpH pH incrementaría en 0.7891 (mg/l) el oxígeno disuelto.
- El parámetro estimado de la variable CO_2 igual a -0.23299 indica que un incremento en 1 unidad mg/L en el Dióxido de carbono (CO_2), disminuiría en 0.23299 (mg/l) el oxígeno disuelto.

- El parámetro estimado de la variable fosfatos (PO₄) igual a -1.15543 indica que un incremento en 1 mg/L en PO₄, disminuiría en 1.15543 (mg/L) el oxígeno disuelto.
- El parámetro estimado de la variable SiO₂ (-0.598657), indica que un incremento en 1 (mg/L) en el Silica Standard Solution (SiO₂), disminuiría en 0.598657 (mg/l) el oxígeno disuelto.
- El parámetro estimado de la variable CLOROFILA-a de -0.0343299, indica que un incremento en 1 (mg/m³) en el CLOROFILA-a, disminuiría en 0.0343299 (mg/l) el oxígeno disuelto.

4.3.2. Significancia estadística de parámetros fisicoquímicos entre los puntos de muestreo PB y PJ

El interés de conocer si existe diferencia estadística significativa entre los parámetros ambientales de los dos lugares de muestreo, una en el perímetro de jaulas de truchas (PJ) y a 500 metros de lago adentro, considerada como punto Blanco - PB (Tabla 3) de las 10 muestras recolectadas de cada punto dentro del periodo de investigación respecto a existencia de variabilidad a los parámetros fisicoquímicos. Para el análisis de los parámetros, se propuso el modelo de análisis de varianza de un factor:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

y_{ij} : Es el valor observado de la variable respuesta o dependiente

μ : Es el valor promedio cuando no hay efecto de los tratamientos

τ_i : El nivel del tratamiento “Estación de Muestreo”

1: PB = Blanco 500 m

2: PJ = modulo jaula

ϵ_{ij} : error aleatorio

Los resultados al detalle de análisis de Varianza (ANOVA) luego del procesamiento estadístico mediante software estadístico SPSS presentado en el anexo 18; se deduce que existen, evidencias de diferencias estadísticas significativas entre los valores de parámetro entre PB y PJ. Es decir, si el *valor p* calculado de significancia (Sig., de la tabla ANOVA) es menor al valor de alfa de 0.05 (5% del límite de tolerancia) hay diferencia estadística significativa.

Tabla 21

Frecuencia de repetición de parámetros del mas significativa a menos

Parámetros	Sigla	Indicador	Frecuencia
potencial de hidrogeno	pH	UpH	7
Oxígeno disuelto	O.D.	(mg/L)	6
Amonio-nitrógeno	NH ₄ -N	(mg/L)	4
Conductividad Eléctrica	C. E.	(μS/cm)	2
Solidos totales disueltos	STD	(mg/L)	2
Dióxido de carbono	CO ₂	(mg/L)	2
Temperatura	TEMP.	(°C)	1
Salinidad	SAL	(UPS)	1
Ammonia-Nitrogen	NH ₃ -N	(mg/L)	1
Fosfatos	PO ₄	(mg/L)	1
Silica Standard Solution	SiO ₂	(mg/L)	1
solidos suspendidos totales	SST	(mg/L)	1
Dióxido de nitrógeno	NO ₂	(mg/L)	
Nitrato	NO ₃	(mg/L)	
Nitrógeno total	NTK	(mg/L)	
Fósforo Total	PT	(mg/L)	
CLOROFILA	CLOROFILA-a	(mg/m ³)	

Frecuencias calculadas a partir de ANOVA de 10 muestras del periodo de investigación del detalle anexo 18

Analizado, los parámetros de estudio, han tenido diferencias significativas en mayor número de muestras (de 10 ocasiones de muestro globalizado en uno) dentro del periodo de investigación (20 muestras en 14 meses). Del cuadro resumen del ANOVA se evidencia que existe diferencia estadística significativa entre los valores de los parámetros entre PB y PJ donde fue menor al valor de alfa de 5%. Algunos de ellos, la frecuencia se repite, en el caso de pH (7 de 10 muestras), Oxígeno disuelto (6 de 10 muestras), Amonio-nitrógeno (4 de 10 muestras), otros fueron una repetición de 10 muestras y los demás en blanco significan que no existen diferencias y por tanto son indiferentes el análisis de dichos parámetros en ambos puntos de muestro, sino bastaría una muestra en lugar de dos (Tabla 19).

La frecuencia de mayor repetición indica que al menos los parámetros pH, O.D. y NH₄-N inducen al probable efecto sobre la calidad de agua para la vida acuática es inducida por efecto de crianza de truchas, aun cuando ellas son leves comparados al ECA y dentro de los parámetros recomendados por la FAO, permaneciendo constante la temperatura; es decir, el lugar donde están las jaulas de truchas defieren en el estado de agua del punto

blanco principalmente aún de manera leve la variabilidad de pH y OD son fundamentales para el hábitat de la truchas; es decir, tiene efectos la crianza de truchas sobre el medio acuático, postura que concuerda con lo reportado por Mantilla (2008) sobre el impacto de los efectos de la truchicultura en jaulas flotantes en el ecosistema acuático de la Bahía de Puno que está inmersa y próxima ésta investigación.

4.3.3.- Significancia estadística de toma de muestra a diferentes niveles de profundidad de agua para determina los parámetros fisicoquímicos

La significancia estadística entre los dos lugares de muestreo entre PJ y PB respecto si existen diferencias sobre la toma de muestras a **1, 5 10 y 15** metros de profundidad de agua, Es decir, se vale la pena tomar muestra e invertir esfuerzo humano en recolectar entre los niveles de profundidad indicada. Los resultados sometidos a prueba del periodo de investigación mediante el Software estadístico SAS de las que se obtuvo:

```
The ANOVA Procedure
Class Level Information
Class      Levels  Values
Lugar           2  PB PJ
Profundidad    4   1 5 10 15
Mes            10   1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Numero de observaciones  80
```

El modelo lineal de tratamiento, fue un factorial de 2x4 con 10 bloques (Los bloques son las fechas de toma de muestras) que se presenta en la siguiente formula suministrada al sistema estadístico.

$$Y_{ijk} = \mu + \rho_k + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{ijk}$$

Los resultados inducen a que no existen diferencias entre los dos lugares PJ y PB. Y pareciera existir diferencias entre el nivel de profundidad en la toma de muestras (a 1, 5, 10 y 15 m), toda vez que el *valor P* global debería ser < 0.05 (límite de tolerancia), pero *p* está próxima al *límite de tolerancia* para validar la postura inicial, que la toma de muestra a diferentes niveles de profundidad inducen a la obtención de diferencias de valores en cada uno de los parámetros procesados. Sin embargo, al observar el ANOVA correspondiente en los parámetros de análisis son mayores que el *límite de tolerancia* (> 0.05); para

recomendar el nivel de profundidad de nivel de muestra se ha realizado la optimización del modelo de profundidad, derivando el modelo según la formula siguiente (Tabla 22), a fin de conocer cuál sería el nivel óptimo de profundidad de agua adecuado a ser muestreado.

$$y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2 + \varepsilon$$

Aplicando las derivadas al modelo obtenido del Software estadístico SAS reemplazando sus valores obtenidos al modelo referido, se ha optimizado el valor aproximado del nivel de profundidad del agua de toma de muestra; resultado que se detalla en la Tabla 22 para cada uno de los parámetros en estudio. Las dos últimas columnas de la referencia son concluyentes, donde el promedio de nivel de profundidad de nivel muestra debería ser 1:10 metros como nivel de profundidad del agua, toda vez que la mayoría de los parámetros no superan la toma de muestras mayores a cinco metros de profundidad.

Tabla 22

Diferencias estadísticas de nivel de profundidad de toma de muestra y tendencia óptima

Parámetros procesados	Parámetro de ecuación			condicionante al óptimo derivación matemática	Aproximación a metros de profundidad
	b0	b1	b2		
TEMP	14.99998	-0.13055	0.00491	13.29429735	1.33
CE	1560.13093	-0.57593	0.03627	7.939481665	0.79
STD	1013.5318	0.04369	0.00605	0	0.00
SAL	0.78644	-0.00027527	0.0000108	12.74398148	1.27
pH	8.75448	0.01078	-0.00049294	10.93439364	1.09
NH4N	0.49808	-0.00753	0.00050976	7.385828625	0.74
NH3N	0.13459	0.00146	-0.00008117	8.993470494	0.90
OD1	6.83671	0.00416	-0.00061622	3.37541787	0.34
OD2	101.55848	1.07185	-0.06523	8.215928254	0.82
CO2	0.33395	0.00341	-0.00003075	55.44715447	5.54
PO4	0.32022	0.00045344	-0.00003815	5.942857143	0.59
SIO2	0.66721	0.00301	-0.00029051	5.18054456	0.52
NO2	0.00444	-0.00013384	0.00000982	6.814663951	0.68
NO3	0.30415	-0.00097842	0.00008148	6.004050074	0.60
CLOROFILA	0.56307	0.02475	-0.00082854	14.93591136	1.49
SST	0.44305	0.00945	-0.00057839	8.169228375	0.82
Nivel promedio deseado de toma de muestra en metros --->				10.96107558	1.10

Fuente: procesado con SAS y excel a partir de la data determinada por IMARPE

4.4.- Truchicultura y discurso ambientalista ruta latente de conflictos en la Región

Los resultados abordados en este estudio, muestran que los niveles de concentración de metales pesados en aguas superficiales y sedimentos son insignificantes, a excepción de arsénico que supera los límites de tolerancia de la norma canadiense. Y al mismo tiempo los indicadores de parámetros físico químicos están dentro de los márgenes de tolerancia para la crianza de truchas en jaulas en el lago Titicaca, no obstante que existen diferencias significativas de algunos parámetros por su nivel de frecuencia de repitencia a lo largo del período de investigación. Del total de 20 muestras tomadas, 1° en PL y 10 en PJ (en pH 7 diferencias de los 10 muestras). Es por ello, la progresiva crianza e intensiva de truchas en jaulas, observadas en todo el litoral del lago Titicaca contribuye levemente por su tendencia de toxicidad al deterioro ambiental y calidad de sus aguas concordando con otros estudios sobre impactos de la truchicultura al medio ambiente (Gutiérrez, 2018; Mantilla, 2008; Ocola & Laqui, 2017; Olaussen, 2018; Velasco *et al.*, 2012).

Las evidencias científicas han demostrado además, que las actividades truchícolas a raíz de la alimentación, mantenimiento de jaulas, uso de combustible, aceites, residuos excretas de la misma juegan un papel clave para el impacto ambiental de las áreas acuáticas; Ellas, son consecuencias de mayor producción de truchas, a las que estaría contribuyendo a la generación, si bien leves, al impacto sobre el estado ambiental del Titicaca, casos confirmados y percibidos mediante entrevistas personales con los involucrados (Biermann & Geist, 2018; Buschmann, 2001; Fontúrbel, 2008; Mantilla, 2008).

Sin embargo, los actuales impactos ambientales en la Región Puno si bien leves, nada garantiza que a futuro quede retenido en el tiempo, ni los conflictos socio ambientales ocurridos en el tiempo permanezcan olvidados, ni la memoria histórica de los pueblos de la tradición y modernidad. Al respecto, es loable revisar el pasado no muy lejano reportes de dos científicos de la Universidad de California de USA Orlove & Levieil (1989), quienes reportaron que había una pugna de las comunidades locales sobre el control de los recursos naturales y la ecología en el lago Titicaca Perú (ellas incluía la propiedad ancestral comunal), sobre todo la pesca local. Toda vez que mantenían practicando sus usos y costumbres como sus antepasados de defender lo que consideraban suyo. Dentro de ellos, se incluía sus formas diversas de ver la cuestión ambiental y espiritual tanto de sus profundidades y la vegetación

exterior. Su lógica de uso y acceso estaban basados en acuerdos comunitarios que consideraban códigos legales formales como fue uno de los casos, el papel de la Reserva Nacional del Titicaca al que el Estado peruano pretendía regular la informalidad de los acuerdos de las comunidades campesinas e indígenas para su conservación, establecida por el Gobierno Militar.

Más después, Gil (2008) en otro reporte retomó las posturas de Orlove (1989) para analizar el caso de la pugna medio ambientales y derechos comunitarios o comunales a partir de los posibles impactos de los Proyectos de Desarrollo en el Lago Titicaca (1930-2006). Entre otros sostiene, que las políticas de estado están basadas en la homogenización política y cultural de ignorar los saberes locales, y no pensar en la articulación de la diversidad biológica y cultural. Hechos que alejaron más las posiciones sobre la autonomía comunal y el papel del Estado.

Es así que las actuales políticas de conservación y el acceso a los recursos del lago Titicaca, es aún un dilema sin una línea clara para los activistas y políticos. Donde lo único claro son las políticas integracionistas y asimilacionistas para pretender solucionar el “problema indígena/campesino”, el despliegue de proyectos de desarrollo destinados a cambiar el paisaje social altiplánico, históricamente considerado pobre, lejano y marginal solo han sido un mecanismo de obtener préstamos internacionales a cambio de la pobreza de sus protagonistas, y al final incorporar al lago Titicaca al dominio ‘nacional’ para someterlo a una explotación ‘moderna, racional y eficiente’ (Gil, 2008).

Recientemente, a partir del junio de 2011 la comunidad puneña fue testigo de concentración de más de 25,000 manifestantes campesinos entre hombres y mujeres que llegaron a Puno Perú, proveniente de diversas comunidades aledañas de la cuenca del lago Titicaca para exigir la paralización de intención de extraer recursos mineros de los territorios considerados de propiedad indígena/ campesina bajo la lógica de contaminación ambiental.

Los hechos indicados fueron documentados y publicados por McDonnell (2015) en una revista científica de alto impacto. Donde se desprende, que dichas movilizaciones provocaron a que el gobierno de Alan García revocara la licencia minera aun temporalmente. Incluyendo en ellas la paralización de los otros nuevos proyectos de la industria extractiva en la región de Puno. Procesos que obedecen a un intento de imponer políticas económicas adversas a los

pueblos y comunidades indígenas que dieron lugar además al surgimiento de un movimiento indígena nacional, con ello, activar el discurso étnico al amparo de derecho internacional y buscar aliados internacionales y locales en un movimiento alrededor de los recursos que consideran suyo y la propiedad de tierra y territorio. Todo, bajo el paraguas ambiental y la confluencia de aliados ambientalistas del primer mundo a fin de impedir más acciones en los Andes, en una retórica ecológica que ha resultado útil para desafiar las políticas estatales al tiempo de buscar la autonomía para decidir cómo mantener la relación amigable con el medio ambiente.

Más recientemente, la defensoría del Pueblo con sede en la ciudad de Lima Perú, en su reciente reporte de conflictos socio ambientales correspondiente al mes de diciembre del 2018 (<https://www.defensoria.gob.pe/wp-content/uploads/2019/01/Conflictos-Sociales-N%C2%B0-178-Diciembre-2018.pdf>) da cuenta de 181 conflictos sociales existentes: 130 activos y 51 latentes; de los cuales la mayor cantidad de conflictos sociales se desarrolló en los departamentos de Áncash (25 casos), Puno (18 casos) y Cusco (18 casos). Como se puede observar, la Región Puno es el segundo departamento con más conflictos socio ambientales que no pueden ser ignorados para cualquiera de las acciones de desarrollo que se emprenda en la Región Puno.

Por consiguiente, aquella advertencia reportada hace 30 años por Orlove (1989), sobre la cosmovisión andina en torno al lago Titicaca en torno a cuestiones ambientales, históricas y culturales de las comunidades locales de la cuenca del Titicaca no ha cambiado mayormente. Y es más, se han fortalecido bajo nuevos discursos étnicos y ambientales y con mejores argumentos amparados en el derecho internacional, por el que no puede ser ignorado las actuales o nuevas actividades de desarrollo agropecuario, menos de las actividades de crianza de truchas como unas de las mejores posibilidades de establecer el diálogo de saberes como propuesta metodológica en la formulación de estrategias alternativas para la gestión sustentable de recursos que permitan generar mejores ingresos junto a la sustentabilidad socio ambiental del lago Titicaca (Carrasco, 2009).

Para ello, en todos sus extremos, debería evitarse la incubación de conflictos (Stavenhagen, 2001) y menos se activen los conflictos latentes en tonto a la actividad truchícola que ponen en juego distintas percepciones y valoraciones sobre acciones, vinculadas al ambiente,

derechos al a propiedad y sociedad en todo su conjunto (Trentini & Sorroche, 2016). Toda vez que en ésta investigación, luego de entrevistar a los protagonistas pescadores y dirigentes, sostienen que el lago es comunitario, pertenece a todos, pero, de ninguna forma puede ignorarse la propiedad de tierra y territorio a quienes directamente o indirectamente o primigeniamente les pertenece, por haber estado allí antes de la llegada de los foráneos que no solo ignoraron los saberes locales, sino los arrebataron para hacer suyo bajo diversas prebendas políticas, que deben evitarse (Basualdo, 2017).

En suma, la actividad truchícola a sabiendas que no genera mayores impactos negativos adversos aún al ambiente ni compromete mayormente a la calidad de agua fuera de la Bahía de Puno, de ninguna manera debe tenderse, se derive o melle los derechos ancestrales de conformidad a lo establecido en la legislación nacional o internacional sobre la autonomía y ni derechos ancestrales que le asiste a todo protagonista. Sino sobre todo, que los posibles conflictos de distribución ecológica en todo el mundo provocado de metabolismo de la economía por creciente consumo de energía y materiales dan lugar a la disposición de residuos requieren ser tomados en cuenta en sus procesos (Martínez, 2015).

Al epílogo de esta sección, se considera oportuno poner en escena la odisea y percepciones de los pescadores nativos de los Uros, Ramis, Ilave, Juli y otras recogidas durante la investigación que aún lanzan sus redes viejas por las noches para regresar al día siguiente no más de dos kilos de carachi. Pescadores que sostienen, que ya no existen pescados por culpa de la contaminación de lago Titicaca y por la gran cantidad jaulas de truchas instaladas, quienes piensan que se comen a los peces nativos y, que además compite con los nativos por los alimentos y por el oxígeno. Además sostienen que están en permanente relación con los suyos en las ferias para comercializar al ser de alcance comercial para todos a comparación de las truchas. Lo referido, es una suerte de injusticia ambiental, sostienen, que ellos, son sólo sujetos pasivos no considerados como soporte de soberanía alimentaria (Salvador, 2016). Se sienten marginados al tiempo de ratificar sus prácticas tradicionales y de proteger sus tierras y territorios sumidos a la contaminación.

Las precepciones indicadas, a la hora de tomar decisiones de crianza de truchas sobre su posible impacto no deben ser ignoradas, menos no tener en cuenta a esos grupos humanos de pescadores frente al grupo de criadores de truchas en jaulas bajo los principios de igualdad y

sustentabilidad que implica "pensar globalmente y actuar localmente" con todos los involucrados, para entablar el dialogo de saberes y fortalecer sus propias relaciones materiales y espirituales con sus tierras, territorios, agua, ríos y otros recursos que tradicionalmente han poseído u ocupado y utilizado y a asumir las responsabilidades establecidas en el derecho internacional, a fin de evitar la activación de conflictos social ambientales latentes en torno a la crianza de truchas en el Titicaca (Gouritin & Aguilar, 2017; Krainer, Aguirre, Guerra, & Meiser, 2017).

CONCLUSIONES

- Los indicadores de condiciones físico-químicas del agua en el área de crianza truchas en jaulas son adecuadas para su producción; dado que, los parámetros evaluados están dentro de los márgenes de tolerancia en el litoral del lago Titicaca comparado con los Estándares de Calidad Ambiental, FAO y Produce. Sin embargo, el análisis estadístico, indica que existen diferencias estadísticas significativas de variabilidad entre los parámetros entre PB y PJ, que indica la existencia de contrariedades ambientales.
- La concentración de metales pesados en agua superficiales y sedimentos de la zona de producción de truchas en jaulas no determina una situación de contaminación evidente comparado con el ECA Perú. Respecto a la concentración de metales pesados igualmente no presenta una condición de contaminación generalizada. No obstante, el arsénico sobrepasa el límite de tolerancia ($41.10 > 5.90$ ISQG y > 17.0 PEL mg/kg) de la norma canadiense, pero no sobrepasa los ECA ($41.10 < 50$ mg/Kg). Sin embargo, los metales pesados van acumulándose con el tiempo y a largo plazo *más allá de cierto límite de tolerancia – por tanto, es evidente la existencias de efectos biológicos frecuentes*, por consiguiente compromete la sustentabilidad del lago Titicaca y los procesos de contaminación.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere que la autoridad competente implemente ajustar los indicadores de la producción de truchas en jaulas acorde a lo señalado en la Ley General de Acuicultura (DL 1195).
- Se sugiere a las autoridades competentes implementen políticas de prevención para evitar acumulación de metales pesados y programas de capacitación de prevención para todos los involucrados.
- Se sugiere a IMARPE ahondar, la toma de muestras a 1.20 m de profundidad de acuerdo al modelo ajustado propuesto para evitar el esfuerzo humano y económico. Además, de procesar solo los parámetros determinados en función al mejor modelo abordado.
- Se sugiere a las autoridades competentes compren e instalen sensores electrónicos (Boya) de alerta temprana de transmisión en línea y en tiempo real los datos de las ocurrencias de parámetros ambientales del lago Titicaca. A fin de que sus datos sean utilizados por la academia, por los científicos y los usuarios para apoyar la sustentabilidad del cuerpo acuático de legendario Lago Titicaca.
- Se sugiere desarrollar una investigación exhaustiva que determine la capacidad de carga de soporte de las jaulas de truchas.

BIBLIOGRAFIA

- Acosta, J. A. (2012). Uso y manejo de sedimentos provenientes de piscicultura como base para el manejo sostenible : revisión del tema. *Rev. Cienc. Anim*, 121–143.
- Ali, M. M., Ali, M. L., Islam, M. S., & Rahman, M. Z. (2016). Preliminary assessment of heavy metals in water and sediment of Karnaphuli River, Bangladesh. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 5, 27–35.
<https://doi.org/10.1016/j.enmm.2016.01.002>
- Anguelovski, I., Martínez Alier, J., & Alier, J. M. (2014). The “Environmentalism of the Poor” revisited: Territory and place in disconnected glocal struggles. *Ecological Economics*, 102, 167–176. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.04.005>
- Apaza, H. R. (2016). *Determinación del contenido de mercurio en agua y sedimentos del río Suches-Zona bajo Paria Cojata - Puno*. (Tesis de Pregrado) Universidad Nacional del Altiplano - Puno Perú. Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2854>
- Archundia, D., Duwig, C., Lehembre, F., Chiron, S., Morel, M. C., Prado, B., ... Martins, J. M. F. (2017). Antibiotic pollution in the Katari subcatchment of the Titicaca Lake: Major transformation products and occurrence of resistance genes. *Science of the Total Environment*, 576, 671–682. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.129>
- Archundia, D., Duwig, C., Spadini, L., Uzu, G., Guédron, S., Morel, M. C., Martins, J. M. F. (2017). How Uncontrolled Urban Expansion Increases the Contamination of the Titicaca Lake Basin (El Alto, La Paz, Bolivia). *Water, Air, & Soil Pollution*, 228(1), 44.
<https://doi.org/10.1007/s11270-016-3217-0>
- Armstrong, J. D., Kemp, P. S., Kennedy, G. J. A., Ladle, M., & Milner, N. J. (2003). Habitat requirements of Atlantic salmon and brown trout in rivers and streams. *Fisheries Research*, 62(2), 143–170. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0165-7836\(02\)00160-1](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0165-7836(02)00160-1)

- Asche, F., Roheim, C. A., & Smith, M. D. (2016). Trade intervention: Not a silver bullet to address environmental externalities in global aquaculture. *Marine Policy*, *69*, 194–201. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.marpol.2015.06.021>
- Aspa, A. de distribuidores de artículos de pesca. (2016). Informe científico, socioeconómico y jurídico ambiental, sobre la realidad de las especies de peces exóticas invasoras en España y las implicaciones en la pesca deportiva debidas a la sentencia 637/2016 especies-invasoras del tribunal supremo, (Julio), 1–150.
- Autoridad Nacional del Agua. (2016). Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales-Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA. Perú: Autoridad Nacional del Agua. Retrieved from <https://www.ana.gob.pe/publicaciones/protocolo-nacional-para-el-monitoreo-de-la-calidad-de-los-recursos-hidricos-0>
- Avery-Gomm, S., Borrelle, S. B., & Provencher, J. F. (2018). Linking plastic ingestion research with marine wildlife conservation. *Science of the Total Environment*, *637–638*, 1492–1495. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.409>
- Baldigo, B. P., Roy, K. M., & Driscoll, C. T. (2016). Response of fish assemblages to declining acidic deposition in Adirondack Mountain lakes, 1984–2012. *Atmospheric Environment*, *146*, 223–235. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.06.049>
- Bastami, K. D., Neyestani, M. R., Molamohyedin, N., Shafeian, E., Haghparast, S., Shirzadi, I. A., & Baniamam, M. (2018). Bioavailability, mobility, and origination of metals in sediments from Anzali Wetland, Caspian Sea. *Marine Pollution Bulletin*, *136*(June), 22–32. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.08.059>
- Basualdo, G. (2017). Ni bandas, ni linchamientos: Un estudio de caso sobre la resolución de conflictos en el sur de la Ciudad de Buenos Aires. *Revista de Estudios de Conflicto e Controle Social*, *10*, 26–47.
- Beveridge, M. C. M. (1986). *Piscicultura en jaulas y corrales: modelos para calcular la capacidad de carga y las repercusiones en el ambiente*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/005/AD021S/AD021S00.HTM>
- Bhardwaj, R., Gupta, A., & Garg, J. K. (2017). Evaluation of heavy metal contamination using environmetrics and indexing approach for River Yamuna, Delhi stretch, India.

- Water Science*, 31(1), 52–66. <https://doi.org/10.1016/j.wsj.2017.02.002>
- Biermann, G. A., & Geist, J. (2018). Life cycle assessment of common carp (*Cyprinus carpio* L.) – A comparison of the environmental impacts of conventional and organic carp aquaculture in Germany. *Aquaculture*, #pagerange#. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.10.019>
- Bougeard, M., Saux, J. C. Le, Jouan, M., Durand, G., & Pommepuy, M. (2010). Modeling and evaluation of compliance to water quality regulations in bathing areas on the Daoulas catchment and estuary (France), 2521–2530. <https://doi.org/10.2166/wst.2010.142>
- Bowser, P. R., Kosoff, R. E., Chen, C. Y., Wooster, G. A., Getchell, R. G., Craig, J. L., ... Tell, L. A. (2009). Florfenicol residues in Nile tilapia after 10-d oral dosing in feed: Effect of fish size. *Journal of Aquatic Animal Health*, 21(1), 14–17. <https://doi.org/10.1577/H08-014.1>
- Breyta, R., Samson, C., Blair, M., Black, A., & Kurath, G. (2016). Successful mitigation of viral disease based on a delayed exposure rearing strategy at a large-scale steelhead trout conservation hatchery. *Aquaculture*, 450, 213–224. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.07.014>
- Buschmann, A. (2001). Impacto ambiental de la acuicultura. *Terram*, (56 2), 67. <https://doi.org/10.1016/j.enfcli.2009.02.001>
- Camargo, J., Gonzalo, C., & Alonso, Á. (2011). Assessing trout farm pollution by biological metrics and indices based on aquatic macrophytes and benthic macroinvertebrates: A case study. *Ecological Indicators*, 11(3), 911–917. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.10.001>
- Camargo, R. (2018). Bioética en el uso de antibióticos, Diálogo entre la Biología y la ética en Cuidado Intensivo. *Acta Colombiana de Cuidado Intensivo*, 18(3), 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.acci.2018.03.001>
- Capriles, J. M., Domic, A. I., & Moore, K. M. (2008). Fish remains from the Formative Period (1000 BC–AD 400) of Lake Titicaca, Bolivia: Zooarchaeology and taphonomy. *Quaternary International*, 180(1), 115–126. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2007.08.022>
- Carim, K. J., Vindenes, Y., Eby, L. A., Barfoot, C., & Vøllestad, L. A. (2017). Life history,

- population viability, and the potential for local adaptation in isolated trout populations. *Global Ecology and Conservation*, *10*, 93–102.
<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2017.02.001>
- Carpio, B. O. (2016). *Contaminación por metales pesados en macrofitas de los principales rios tributarios del Lago Titicaca*. (Tesis doctoral) Universidad Nacional del Altiplano, Puno Perú. Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6241>
- Carrasco, M. E. F. (2009). Nueva ruralidad comunitaria y sustentabilidad: contribuciones al campo emergente de la economía-ecológica. *Revibec: Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, *13*, 41–55.
- Casares, M. V. (2012). Biodisponibilidad y toxicidad de metales pesados en aguas naturales con características físico- químicas extremas . Bases para su monitoreo y remediación. *Biodisponibilidad y Toxicidad de Metales Pesados En Aguas Naturales Con Características Físico- Químicas Extremas . Bases Para Su Monitoreo y Remediación*.
- Castro, G., & Valdes, J. (2012). Concentracion de metales pesados (Cu, Ni, Zn, Cd, Pb) en la biota y sedimentos de una playa artificial, en la bahia San Jorge 23°S, norte de Chile. *Latin American Journal of Aquatic Research*, *40*(2), 267–281.
<https://doi.org/10.3856/vol40-issue2-fulltext-3>
- Chae, Y., & An, Y. (2018). Current research trends on plastic pollution and ecological impacts on the soil ecosystem: A review. *Environmental Pollution*, *240*, 387–395.
<https://doi.org/S0269749117348637>
- Chura-Cruz, R., Cubillos, L. A., Tam, J., Segura, M., & Villanueva, C. Q. (2013). Relación entre el nivel del lago y la precipitación sobre los desembarques del pejerrey *Odontesthes bonariensis* (valenciennes , 1835) en el sector peruano del Lago Titicaca entre 1981 y 2010, *12*(1).
- Claros, J. (2012). *Estudio del Proceso de Nitrificación y Desnitrificación Vía Nitrito para el Tratamiento Biológico de Corrientes de Agua Residual con Alta Carga de Nitrógeno Amoniacal*. (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. Retrieved from
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/17653/tesisUPV3951.pdf?sequence=1>
- Clavero, M., & Garcia, E. (2006). Homogenization Dynamics and Introduction Routes of Invasive Freshwater Fish in the Iberian Peninsula, *16*(6), 2313–2324. Retrieved from

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17205906>

Comisión Multisectorial para la Prevención y Recuperación Ambiental del lago Titicaca y sus afluentes. (2014). *Estado de la calidad ambiental de la cuenca del lago titicaca ambito peruano, 2014*. Puno Perú. Retrieved from [www.minam.gob.pe/.../Estudio estado de la calidad ambiental](http://www.minam.gob.pe/.../Estudio_estado_de_la_calidad_ambiental)

Cónsole-Gonella, C., de Valais, S., Marquillas, R. A., & Sánchez, M. C. (2016). The Maastrichtian-Danian Maimará tracksite (Yacoraite Formation, Salta Group), Quebrada de Humahuaca, Argentina: Environments and ichnofacies implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, *468*, 327–350.
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2016.11.008>

Crichigno, S. A., Becker, L. A., Orellana, M., Larraza, R., Mirena, G., Battini, M. A., & Cussac, V. E. (2017). Rainbow trout adaptation to a warmer Patagonia and its potential to increase temperature tolerance in cultured stocks. *Aquaculture Reports*, (November), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2017.11.001>

Dahri, N., Atoui, A., Ellouze, M., & Abida, H. (2018). Assessment of streambed sediment contamination by heavy metals: The case of the Gabes Catchment, South-eastern Tunisia. *Journal of African Earth Sciences*, *140*, 29–41.
<https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.12.033>

Davidson, J., May, T., Good, C., Waldrop, T., Kenney, B., Terjesen, B. F., & Summerfelt, S. (2016). Production of market-size North American strain Atlantic salmon *Salmo salar* in a land-based recirculation aquaculture system using freshwater. *Aquacultural Engineering*, *74*, 1–16. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2016.04.007>

Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z.-I., Knowler, D. J., Lévêque, C., ... Sullivan, C. A. (2006). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, *81*(02), 163.
<https://doi.org/10.1017/S1464793105006950>

ElPeruano, D. O. (2017). *Aprueban Criterios para la Gestión de Sitios Contaminados D.S. 012-2017-MINAM*. Lima Perú: Normas Legales.

Espa, P., Brignoli, M. L., Crosa, G., Gentili, G., & Quadroni, S. (2016). Controlled sediment flushing at the Cancano Reservoir (Italian Alps): Management of the operation and downstream environmental impact. *Journal of Environmental Management*, *182*, 1–12.

- <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.07.021>
- FAO. (2014). *Manual Práctico para el Cultivo de la Trucha Arcoíris*. FAO Fisheries and Aquaculture. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-bc354s.pdf>
- FAO. (2016). *Contribución de la pesca artesanal a la seguridad alimentaria, el empleo rural y el ingreso familiar en países de América del Sur* (Oficial Su). Retrieved from <http://www.fao.org/3/b-i5768s.pdf>
- FAO, & Flores, A. (2016). *Una mirada al extensionismo acuícola en América Latina y el Caribe Una mirada al extensionismo acuícola en América Latina y el Caribe*.
- FAO, & García, J. (2016). *Contribución de la pesca artesanal a la seguridad alimentaria, el empleo rural y el ingreso familiar en países de América del Sur*. (A. L. y el Caribe & S. de Chile, Eds.), *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura* (ONU).
- FAO, O. de las N. U. para la A. y la A. (2018). *Estado mundial de la Pesca y la Acuicultura 2018*. (O. de las N. U. para la A. y la A. FAO, Ed.) (ONU). ROMA. Retrieved from <http://www.fao.org/publications/es>
- Fontúrbel, F. (2008). *Contaminación ambiental y cultural en el Lago Titikaka: estado actual y perspectivas*. Universidad de Los Lagos (La Paz, Bo, Vol. 1). Fundación emegece. Retrieved from https://www.academia.edu/203220/Contaminación_ambiental_y_cultural_en_el_Lago_Titikaka_Estado_actual_y_perspectivas
- Fu, X., Li, N., Lin, Q., Guo, H., Zhang, D., Liu, L., & Wu, S. (2014). Protective immunity against infectious spleen and kidney necrosis virus induced by immunization with DNA plasmid containing mcp gene in Chinese perch *Siniperca chuatsi*. *Fish and Shellfish Immunology*, 40(1), 259–266. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2014.07.012>
- Gaitán-Espitia, J. D., Gómez, D., Hobday, A. J., Daley, R., Lamilla, J., & Cárdenas, L. (2017). Spatial overlap of shark nursery areas and the salmon farming industry influences the trophic ecology of *Squalus acanthias* on the southern coast of Chile. *Ecology and Evolution*, (March), 1–11. <https://doi.org/10.1002/ece3.2957>
- Gammons, C. H., Slotton, D. G., Gerbrandt, B., Weight, W., Young, C. A., McNearny, R. L., ... Tapia, H. (2006). Mercury concentrations of fish, river water, and sediment in the Río Ramis-Lake Titicaca watershed, Peru. *Science of The Total Environment*, 368(2), 637–

648. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.09.076>
- Gil, A. G. (2008). Espejismos Desarrollistas y Autonomía Comunal: El Impacto de los Proyectos de Desarrollo en el Lago Titicaca (1930-2006). *Global Jurist*, 8(3), 1–63. Retrieved from https://www.academia.edu/13004688/Espejismos_Desarrollistas_y_Autonomía_Comunal_El_Impacto_de_los_Proyectos_de_Developmento_en_el_Lago_Titicaca_1930-2006
- Giraud, M., Douville, M., Letcher, R. J., & Houde, M. (2017). Effects of food-borne exposure of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) to emerging brominated flame retardants 1,2-bis(2,4,6-tribromophenoxy)ethane and 2-ethylhexyl-2,3,4,5-tetrabromobenzoate. *Aquatic Toxicology*, 186, 40–49. <https://doi.org//dx.doi.org.proxy.library.upei.ca/10.1016/j.aquatox.2017.02.023>
- Girón, A. (2016). Objetivos Del Desarrollo Sostenible Y La Agenda 2030: Frente a Las Políticas Públicas Y Los Cambios De Gobierno En América Latina. *Problemas Del Desarrollo*, 47(186), 3–8. <https://doi.org/10.1016/j.rpd.2016.08.001>
- Gnanou Besse, N., Lombard, B., Guillier, L., François, D., Romero, K., Pierru, S., ... Rollier, P. (2018). Validation of standard method EN ISO 11290 - Part 1 - Detection of *Listeria monocytogenes* in food. *International Journal of Food Microbiology*, (June 2017), 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.03.024>
- Gouritin, A., & Aguilar, A. (2017). La adopción de la Declaración Americana sobre los Derechos de los Pueblos Indígenas: un análisis crítico desde el punto de vista de los derechos ambientales. *Anuario Mexicano de Derecho Internacional*, 1(17), 291. <https://doi.org/10.22201/ij.24487872e.2017.17.11038>
- Griboff, J., Wunderlin, D. A., & Monferran, M. V. (2017). Metals, As and Se determination by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) in edible fish collected from three eutrophic reservoirs. Their consumption represents a risk for human health? *Microchemical Journal*, 130, 236–244. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2016.09.013>
- Guédron, S., Ledru, M. P., Escobar-Torrez, K., Develle, A. L., & Brisset, E. (2018). Enhanced mercury deposition by Amazonian orographic precipitation: Evidence from high-elevation Holocene records of the Lake Titicaca region (Bolivia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, (May), #pagerange#. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2018.09.023>

- Guédron, S., Point, D., Acha, D., Bouchet, S., Baya, P. A., Tessier, E., ... Amouroux, D. (2017). Mercury contamination level and speciation inventory in Lakes Titicaca & Uru-Uru (Bolivia): Current status and future trends. *Environmental Pollution*, 231, 262–270. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.08.009>
- Guevara, A. (2006). Espejismos desarrollistas y autonomía comunal: el impacto de los proyectos de desarrollo en el lago Titicaca (1930-2006). Retrieved from <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/39764>
- Guo, W., Andersen, M. N., Qi, X., Li, P., Li, Z., Fan, X., & Zhou, Y. (2017). Effects of reclaimed water irrigation and nitrogen fertilization on the chemical properties and microbial community of soil. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(3), 679–690. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61391-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61391-6)
- Gutierrez, S. P. (2018). *Influencia de la producción de trucha en el impacto ambiental en la región de Puno 2017*. (Tesis doctoral.) Universidad Nacional del Altiplano - Puno Perú. Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8523>
- Gutiérrez, S. P. (2018). *Influencia de la producción de trucha en el impacto ambiental en la región de Puno 2017*. (Tesis doctoral) Universidad Nacional del Altiplano - Puno Perú. Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8523>
- Helfman, G. S. (2007). *Fish conservation: a guide to understanding and restoring global aquatic biodiversity and fishery resources*. Island Press.
- Kerr, S. M., Ward, T. D., Lennox, R. J., Brownscombe, J. W., Chapman, J. M., Gutowsky, L. F. G., ... Cooke, S. J. (2017). Influence of hook type and live bait on the hooking performance of inline spinners in the context of catch-and-release brook trout *Salvelinus fontinalis* fishing in lakes. *Fisheries Research*, 186, 642–647. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2016.10.001>
- Keshavarzi, B., Najmeddin, A., Moore, F., & Afshari Moghaddam, P. (2019). Risk-based assessment of soil pollution by potentially toxic elements in the industrialized urban and peri-urban areas of Ahvaz metropolis, southwest of Iran. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 167(October 2018), 365–375. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.10.041>
- Krainer, A., Aguirre, D., Guerra, M., & Meiser, A. (2017). Educación superior intercultural y diálogo de saberes: El caso de la Amawtay Wasi en Ecuador. *Revista de La Educacion*

- Superior*, 46(184), 55–76. <https://doi.org/10.1016/j.resu.2017.11.002>
- Lacy, S. N., Meza, F. J., & Marquet, P. A. (2017). Can environmental impact assessments alone conserve freshwater fish biota? Review of the Chilean experience. *Environmental Impact Assessment Review*, 63, 87–94.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eiar.2016.12.006>
- Lebreton, L., Slat, B., Ferrari, F., Sainte-Rose, B., Aitken, J., Marthouse, R., ... Reisser, J. (2018). Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. *Scientific Reports*, 8(1), 1–15. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22939-w>
- Li, D., & Liu, S. (2019a). *Prediction of Water Quality. Water Quality Monitoring and Management*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811330-1.00005-3>
- Li, D., & Liu, S. (2019b). Water Quality Detection for Lakes. *Water Quality Monitoring and Management*, 221–231. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811330-1.00008-9>
- Li, D., & Liu, S. (2019c). Water Quality Early Warnings. *Water Quality Monitoring and Management*, 199–210. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811330-1.00006-5>
- Li, D., & Liu, S. (2019d). *Water Quality Evaluation. Water Quality Monitoring and Management*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811330-1.00004-1>
- Li, D., Liu, S., Li, D., & Liu, S. (2019). Water Quality Monitoring in Aquaculture. *Water Quality Monitoring and Management*, 303–328. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811330-1.00012-0>
- Londoño-franco, L. F., Londoño-muñoz, P. T., & Muñoz-garcía, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145–153. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
- Lucía Acosta -Ángela Garcés M Introducción, G. V. (2016). El diálogo de saberes en comunicación: reconfiguraciones de la formación y de la investigación. *Anagramas - Rumbos y Sentidos de La Comunicación-*, 15(29), 17–23. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-25222016000200001%0Ahttp://www.scielo.org.co/pdf/anqr/v15n29/v15n29a01.pdf
- Luna, M., Campos, F., & Medina, O. (2016). Evaluación de las aguas residuales del lavado de estanques multipropósito con cultivo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria, Mosquera (Colombia)*, 17(2), 191–202. Retrieved

- from <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v17n2/v17n2a04.pdf>
- Luque, O. M. (2018). *Depleción del antibiótico sulfadiazina 14C en trucha arco iris (Oncorhynchus mykiss)*. (Tesis doctoral) Universidad Nacional del Altiplano - Puno Perú. Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/9461>
- Magnoni, L. J., Eding, E., Leguen, I., Prunet, P., Geurden, I., Ozório, R. O. A., & Schrama, J. W. (2018). Hypoxia, but not an electrolyte-imbalanced diet, reduces feed intake, growth and oxygen consumption in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Scientific Reports*, 8(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23352-z>
- Maldonado, E., Hubert, N., Sagnes, P., & De Mérona, B. (2009). Morphology-diet relationships in four killifishes (Teleostei, Cyprinodontidae, Orestias) from Lake Titicaca. *Journal of Fish Biology*, 74(3), 502–520. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2008.02140.x>
- Mamani, L. E. (2011). *Contribución al análisis de la comercialización de la trucha en el mercado regional, extra-regional e internacional de la Asociación de Productores Brisas de Titicaca- Puno*. (Tesis de Posgrado) UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS. Retrieved from http://cybertesis.unmsm.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/cybertesis/859/Mamani_al.pdf?sequence=1
- Mantilla, B. (2008). *Efectos de la acuicultura en jaulas flotantes en el ecosistema acuatico de la bahia de Chucuito – lago Titicaca*. (Tesis de Maestria) Universidad Nacional del Altiplano Puno Perú. Retrieved from <https://www.mendeley.com/catalogue/efectos-la-acuicultura-en-jaulas-flotantes-en-el-ecosistema-acuatico-la-bahía-chucuito-lago-titicaca/>
- Martinez-Alier, J., Temper, L., Del Bene, D., & Scheidel, A. (2016). Is there a global environmental justice movement? *Journal of Peasant Studies*, 43(3), 731–755. <https://doi.org/10.1080/03066150.2016.1141198>
- Martinez-Boubeta, C., & Simeonidis, K. (2019). *Magnetic Nanoparticles for Water Purification. Nanoscale Materials in Water Purification*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813926-4.00026-4>
- Martínez-Cruz, A. L., Juárez-Torres, M., & Guerrero, S. (2017). Assessing Impacts From Climate Change on Local Social-ecological Systems in Contexts Where Information is Lacking: An Expert Elicitation in the Bolivian Altiplano. *Ecological Economics*, 137,

- 70–82. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.03.003>
- Martínez, J. (2015). La ecología política y el movimiento global de justicia ambiental. *Ecología Política. Cuadernos de Debate Internacional*, 55–61. Retrieved from http://www.ecologiapolitica.info/?page_id=1124
- McDonnell, E. (2015). The co-constitution of neoliberalism, extractive industries, and indigeneity: Anti-mining protests in Puno, Peru. *Extractive Industries and Society*, 2(1), 112–123. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2014.10.002>
- Mendoza, R., & Palomino, A. (2004). *Manual de cultivo de Trucha arco iris en jaulas flotantes*. (Perú, Ed.) (Fondo Naci). Retrieved from http://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/3/jer/ACUISUBMENU4/manua_trucha_jaulas.pdf
- Ministerio del Ambiente, M. (2014). *Estudio: Línea Base Ambiental de la Cuenca del lago Titicaca*. Lima Perú. Retrieved from <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/linea-base-ambiental-cuenca-lago-titicaca>
- Modenutti, B. E., Balseiro, E. G., Queimaliños, C. P., Añón Suárez, D. A., Diéguez, M. C., & Albariño, R. J. (1998). Structure and dynamics of food webs in Andean lakes. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 3(3- 4), 179–186.
- Molina, C., Lazzaro, X., Guédron, S., & Acha, D. (2017). Contaminación de la Bahía de Cohana , Lago Titicaca (Bolivia): Desafíos y oportunidades para promover su recuperación. *Ecología En Bolivia*, 52(2), 65–76.
- Molina, C., & Point, D. (2014). Contaminacion por metales pesados en la cadena trofica de los lagos Titicaca, Uru-Uru y Poopo. *Revista Universidad Mayor de San Andres*, (January 2014). Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/280593225_Contaminacion_por_metales_pesados_en_la_cadena_trofica_de_los_lagos_Titicaca_Uru-Uru_y_Poopo
- Monroy, M., Maceda-Veiga, A., Caiola, N., & De Sostoa, A. (2014). Trophic interactions between native and introduced fish species in a littoral fish community. *Journal of Fish Biology*, 85(5), 1693–1706. <https://doi.org/10.1111/jfb.12529>
- Monroy, M., Maceda-Veiga, A., & de Sostoa, A. (2014). Metal concentration in water, sediment and four fish species from Lake Titicaca reveals a large-scale environmental concern. *Science of the Total Environment*, 487(1), 233–244.

- <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.03.134>
- Montes-Avila, I., Espinosa-Serrano, E., Castro-Larragoitia, J., Lázaro, I., & Cardona, A. (2019). Chemical mobility of inorganic elements in stream sediments of a semiarid zone impacted by ancient mine residues. *Applied Geochemistry*, 100(November 2018), 8–21. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2018.11.002>
- Montesinos, J. A. (2018). *Diagnóstico situacional de la crianza de truchas arco iris (oncorhynchus mykiss) en centros de cultivo del lago titicaca*. (Tesis de Maestría) Universidad Peruana Cayetano Heredia Lima Perú. Retrieved from http://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/upch/3862/Diagnostico_MontesinosLopez_Jeansen.pdf
- Moreno, Argota, G., Alfaro, R., & Aparicio, M. (2018). Cuantificación de metales en sedimentos superficiales de la bahía interior, lago Titicaca-Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 21(1), 9–18. <https://doi.org/10.18271/ria.2018.326>
- Moreno, Argota, G., Alfaro, R., Aparicio, M., Atencio, S., & Goyzueta, G. (2017). Determinación interactiva de metales totales en las aguas de la bahía interior del Lago Titicaca- Puno Perú. *Rev. Investig. Altoandin.*, 19(2), 125–134. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18271/ria.2017.271>
- Naviner, M., Gordon, L., Giraud, E., Denis, M., Mangion, C., Le Bris, H., & Ganière, J.-P. P. (2011). Antimicrobial resistance of *Aeromonas* spp. isolated from the growth pond to the commercial product in a rainbow trout farm following a flumequine treatment. *Aquaculture*, 315(3–4), 236–241. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.03.006>
- Noori, R., Berndtsson, R., Hosseinzadeh, M., Adamowski, J. F., & Abyaneh, M. R. (2018). A critical review on the application of the National Sanitation Foundation Water Quality Index. *Environmental Pollution*, 244, 575–587. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.076>
- Northcote, T. G. (2000). Ecological interactions among an Orestiid (Pisces: Cyprinodontidae) species flock in the littoral zone of Lake Titicaca. In *Advances in Ecological Research* (Vol. Volume 31, pp. 399–420). Academic Press. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2504\(00\)31021-2](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2504(00)31021-2)
- Novais, C., Campos, J., Freitas, A. R., Barros, M., Silveira, E., Coque, T. M., ... Peixe, L.

- (2018). Water supply and feed as sources of antimicrobial-resistant *Enterococcus* spp. in aquacultures of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), Portugal. *Science of the Total Environment*, 625, 1102–1112. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.265>
- Ocola, J. J., & Laqui, W. F. (2017). *Fuentes Contaminantes en la Cuenca del Lago Titicaca: Un aporte al conocimiento de las causas que amenazan la calidad del agua del maravilloso lago Titicaca*. (M. de A. y Riego, Ed.). Lima Perú. Retrieved from <https://www.ana.gob.pe/publicaciones/fuentes-contaminantes-en-la-cuenca-del-lago-titicaca>
- Økelsrud, A., Lydersen, E., Moreno, C., & Fjeld, E. (2017). Mercury and selenium in free-ranging brown trout (*Salmo trutta*) in the River Skienselva watercourse, Southern Norway. *Science of The Total Environment*, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.199>
- Olaussen, J. O. (2018). Environmental problems and regulation in the aquaculture industry. Insights from Norway. *Marine Policy*, (August), 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.08.005>
- ONU / CEPAL. (2017). Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe, 63. Retrieved from <http://repositorio.cepal.org/handle/11362/40155>
- Orlove, B., & Levieil, D. (1989). Local Control of Aquatic Resources : Community. *American Anthropologist*, 362–382. <https://doi.org/10.1525/aa.1990.92.2.02a00070>
- Orozco, C., Pérez, A., González, N., Rodríguez, F. J., & Alfayate, J. M. (2008). *Contaminación ambiental. Una visión desde la química*. (N. Universidad Nacional Agraria, (UNA), Ed.) (Thomson). España, Editorial Paraninfo.
- Pablo Pablo, M. A., & Hernández Santana, J. R. (2016). Evaluación de la aptitud natural de los paisajes físico-geográficos en la cuenca del río Grande, Oaxaca, México. *Investigaciones Geograficas*, 2016(91), 7–24. <https://doi.org/10.14350/rig.49203>
- Paschoalini, A. L., Savassi, L. A., Arantes, F. P., Rizzo, E., & Bazzoli, N. (2019). Heavy metals accumulation and endocrine disruption in *Prochilodus argenteus* from a polluted neotropical river. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 169(June 2018), 539–550. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.047>
- Paul, D. (2017). Research on heavy metal pollution of river Ganga: A review. *Annals of*

- Agrarian Science*, 15(2), 278–286. <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2017.04.001>
- Perks, M. T., Warburton, J., Bracken, L. J., Reaney, S. M., Emery, S. B., & Hirst, S. (2017). Use of spatially distributed time-integrated sediment sampling networks and distributed fine sediment modelling to inform catchment management. *Journal of Environmental Management*, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.01.045>
- Peruano. (2015). Decreto Legislativo N° 1195 .- Decreto Legislativo que aprueba la Ley General de Acuicultura. *Editora Perú - Normas Legales*, 560404–560411. Retrieved from <https://sinia.minam.gob.pe/normas/decreto-legislativo-que-aprueba-ley-general-acuicultura>
- Peterle, T. J. (1991). *Wildlife toxicology*. (V. N. Reinhold, Ed.) (Hardcover). Texas USA: Van Nostrand Reinhold. Retrieved from <https://www.bookfinder.com/search/?keywords=0442004621¤cy=USD&lang=en&st=sh&ac=qr&submit=>
- Produce, M. de la P. (2015). Diagnóstico Actual del Sector Pesca y Acuicultura Frente al Cambio Climático. Ministerio de la Producción.
- Quispe, R. F. (2017). *Evaluación de la concentración de metales pesados (cromo, cadmio y plomo) en los sedimentos superficiales en el río Coata, 2017*. (Tesis de pregrado) Universidad Nacional del Altiplano / Puno Per[u]. Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4787>
- Rajeshkumar, S., Liu, Y., Zhang, X., Ravikumar, B., Bai, G., & Li, X. (2018). Studies on seasonal pollution of heavy metals in water, sediment, fish and oyster from the Meiliang Bay of Taihu Lake in China. *Chemosphere*, 191, 626–638. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.078>
- Reichert-Brushett, A. J., Stone, J., Howe, P., Thomas, B., Clark, M., Male, Y., ... Butcher, P. (2017). Geochemistry and mercury contamination in receiving environments of artisanal mining wastes and identified concerns for food safety. *Environmental Research*, 152, 407–418. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.07.007>
- Rodriguez-Alvarez, M. S., Moraña, L. B., Salusso, M. M., & Seghezzo, L. (2017). Caracterización espacial y estacional del agua de consumo proveniente de diversas fuentes en una localidad periurbana de Salta. *Revista Argentina de Microbiología*, 49(4), 366–376. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.03.006>

- Salvador, L. M. (2016). Seguridad alimentaria, autosuficiencia y disponibilidad del amaranto en México. *Revista Problemas Del Desarrollo*, 186(47), 107–132. Retrieved from <http://probdes.iiec.unam.mx>
- Samanez, I., Rimarachin, V., Palma, C., & Ortega, H. (2014). *Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú*. Centro de Documentación Ambiental. Retrieved from <http://www.minam.gob.pe/diversidadbiologica/wp-content/uploads/sites/21/2014/02/Métodos-de-Colecta-identificación-y-análisis-de-comunidades-biológicas.compressed.pdf>
- Sampaio, E., Rodil, I. F., Vaz-Pinto, F., Fernandez, A., & Arenas, F. (2017). Interaction strength between different grazers and macroalgae mediated by ocean acidification over warming gradients. *Marine Environmental Research*, 125, 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2017.01.001>
- Sandoval, J., Lacerda, D., Jota, M., Salazar-Granara, A., Vieira, P., Acosta, O., ... Santos, F. (2013). The genetic history of indigenous populations of the Peruvian and Bolivian Altiplano: the legacy of the Uros. *PloS One*, 8(9), e73006. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073006>
- Sapkota, A., Sapkota, A. R., Kucharski, M., Burke, J., McKenzie, S., Walker, P., & Lawrence, R. (2008). Aquaculture practices and potential human health risks: Current knowledge and future priorities. *Environment International*, 34(8), 1215–1226. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2008.04.009>
- Schmidtko, S., Stramma, L., & Visbeck, M. (2017). Decline in global oceanic oxygen content during the past five decades. *Nature*, 542(7641), 335–339. <https://doi.org/10.1038/nature21399>
- Shekhar, S., Mishra, D., Agrawal, A., & Sahu, K. K. (2017). Physical and chemical characterization and recovery of potash fertilizer from glauconitic clay for agricultural application. *Applied Clay Science*, 143, 50–56. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.03.016>
- Stanish, C. (2001). Formación estatal temprana en la cuenca del lago Titicaca, Andes surcentrales. *Boletín de Arqueología PUCP*, 5, 189–215. Retrieved from

- <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Formación+estatal+temprana+en+la+cuenca+del+lago+titicaca,+andes+surcentrales#0>
- Stavenhagen, R. (2001). Conflictos étnicos y estado nacional: conclusiones de un análisis comparativo. *Estudios Sociológicos*, 1, 3–26. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/10.2307/40310398>
- Stoddard, J. L., Larsen, D. P., Hawkins, C. P., Johnson, R. K., & Norris, R. H. (2006). Setting expectations for the ecological condition of streams: The concept of reference condition. *Ecological Applications*, 16(4), 1267–1276. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016)
- Tate, R. D., Benkendorff, K., Ab Lah, R., & Kelaher, B. P. (2017). Ocean acidification and warming impacts the nutritional properties of the predatory whelk, *Dicathais orbita*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 493, 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2017.03.006>
- Tischer, V., Farias, H. C., & Marenzi, R. C. (2015). Indicadores socioambientales aplicados en la gestión de ambientes costeros. Caso de estudio Santa Catarina, Brasil. *Investigaciones Geograficas*, 86(86), 53–66. <https://doi.org/10.14350/rig.38541>
- Toledo, V. (2013a). El metabolismo social: una nueva teoría socioecológica. *Relaciones*, (136), 41–71. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/rz/v34n136/v34n136a4.pdf>
- Toledo, V. (2013b). El Metabolismo Social: una nueva teoría socioecológica. *Relaciones 136, Otoño 2013, Pp. 41-71, 136*, 41–71.
- Trentini, F., & Sorroche, S. (2016). Repensando los conflictos socioambientales desde una ecogubernamentalidad en fricción. *Estudios Políticos (Medellín)*, (49). <https://doi.org/10.17533/udea.espo.n49a07>
- Tsang, Y. F., Kim, K.-H., Lee, S. S., Zhang, M., & Rai, P. K. (2019). Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and management. *Environment International*, 125(January), 365–385. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.067>
- Vásquez, W., Talavera, M., & Guevara, M. (2015). Evaluación del impacto en la calidad de agua debido a la producción semi intensiva de trucha (*oncorhynchus mykiss*) en jaulas flotantes en la laguna Aarapa - Puno. *Rev Soc Quím Perú*, 81(1), 23–26. Retrieved from <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v82n1/a03v82n1.pdf>
- Velasco, A., Martínez, C., Flores, P., Sandoval, A., Castro, R., & Román-Gutiérrez, A. D. (2012). Problemática Ambiental de la Actividad Piscícola en el Estado de Hidalgo,

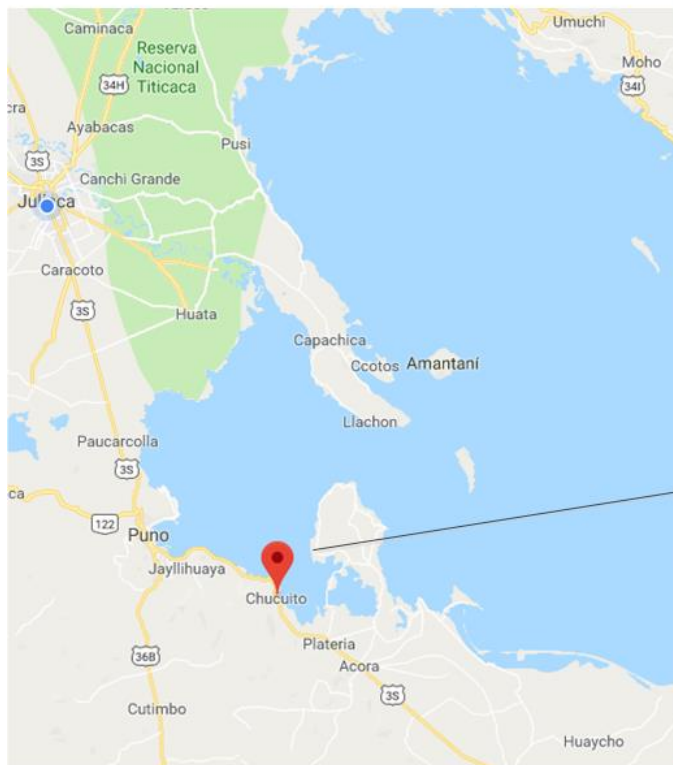
- México. *Ingenieria*, 16(3), 165–174. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/467/46725267007.pdf>
- Vélez, M. I. I., Jaramillo, C., Salazar-Ríos, A., Benito, X., Fritz, S., Tapia, P., ... Escobar, J. (2017). Aquatic ecosystems in a newly formed ecospace: Early Pliocene lakes in the Central Andean Altiplano. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 490, 218–226. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.11.001>
- Vilca, J. L. (2008). *Impacto de la truchicultura en jaulas flotantes sobre el ecosistema acuático en Tiquina, Lago Titicaca*. (Tesis maestría) Universidad Nacional del Altiplano - Puno Perú. Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/618>
- Walter, M. (2009). Conflictos ambientales, socioambientales, ecológico distributivos, de contenido ambiental... Reflexionando sobre enfoques y definiciones. *Boletín Ecos*, 6, 1–9.
- Watts, J., Schreier, H., Lanska, L., & Hale, M. (2017). The Rising Tide of Antimicrobial Resistance in Aquaculture: Sources, Sinks and Solutions. *Marine Drugs*, 15(6), 158. <https://doi.org/10.3390/md15060158>
- Wessels, S., Krause, I., Floren, C., Schütz, E., Beck, J., & Knorr, C. (2017). ddRADseq reveals determinants for temperature-dependent sex reversal in Nile tilapia on LG23. *BMC Genomics*, 18(1), 531. <https://doi.org/10.1186/s12864-017-3930-0>
- Zhang, Y., Su, Y., Liu, Z., Yu, J., & Jin, M. (2017). Lipid biomarker evidence for determining the origin and distribution of organic matter in surface sediments of Lake Taihu, Eastern China. *Ecological Indicators*, 77, 397–408. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.02.031>



ANEXOS

Anexo- 1 Mapa del Distrito de Puno y ubicación de comunidad de Cusipata de Distrito de Chucuito

Mapa del Distrito de Puno y ubicación de comunidad de Cusipata de Distrito de Chucuito/ Barco Puno Perú, lugar de estudio de investigación.



Anexo- 2 Pautas provisionales de calidad de sedimentos de agua dulce (ISQQ)

Pautas provisionales de calidad de sedimentos de **agua dulce** (ISQQ; peso seco), niveles de efecto probable (PEL; seco peso), y la incidencia (%) de efectos biológicos adversos en los rangos de concentración definidos por estos valores.

Parámetro	Norma Canadiense (CEQG)	
	ISQG (mg/Kg)	PEL (mg/Kg)
Mercurio	0.17	0.486
Plomo	35	91.3
Cromo	37.3	90
Arsénico	5.9	17
Cadmio	0.6	3.5
Cobre	35.7	197
Zinc	123	3.5

Fuente: CEQG (Canadian Environmental Quality Guidelines – Summary Tables, update 2014).

Anexo- 3 Pautas provisionales de calidad de sedimentos marinos (ISQQ)

Pautas provisionales de calidad de **sedimentos marinos** (ISQQ; peso seco), niveles de efecto probable (PEL, peso seco), e incidencia (%) de efectos biológicos adversos en los rangos de concentración definidos por estos valores.

Parámetro	Norma Canadiense (CEQG)	
	ISQG (mg/Kg)	PEL (mg/Kg)
Mercurio	0.13	0.7
Plomo	30.2	112
Cromo	52.3	160
Arsénico	7.24	41.6
Cadmio	0.7	4.2
Cobre	18.7	108
Zinc	124	271

Fuente: CEQG (Canadian Environmental Quality Guidelines – Summary Tables, update 2014).

Anexo- 4 Tabla Periódica de los Elementos Químicos ordenado por su mayor toxicidad del grupo de 19 y 6 priorizados

ord-tes	elemento	símbolo	número atómico Z	Grupo	masa	configuración electrónica	fórmula electrónica
1	mercurio	Hg	80	b2 metal de transición	200.590	2 8 18 32. 18; 2,	[X e], 6s2, 4f14, 5d10
2	plomo	Pb	82	a4 carbonoideo	207.200	2 8 18 32. 18; 4,	[X e], 6s2, 4f14, 5d10, 6p2
3	arsénico	As	33	a5 nitrogenoideo	74.922	2 8 18. 5,	[A r], 4s2, 3d10, 4p3
4	cadmio	Cd	48	b2 metal de transición	112.411	2 8 18. 18; 2,	[Kr], 4d10, 5s2
5	cobre	Cu	29	b1 metal de transición	63.546	2 8 18, 1;	[A r], 4s1, 3d10
6	Zinc	Zn	30	b2 metal de transición	65.390	2 8 18. 2,	[A r], 3d10, 4s2
7	berilio	Be	4	a2 alcalino-térreo	9.012	2. 2,	[H e], 2s2
8	plata	A g	47	b1 metal de transición	107.868	2 8 18. 18; 1,	[Kr], 4d10, 5s1
9	titanio	T i	22	b4 metal de transición	47.867	2 8. 10, 2;	[A r], 4s2, 3d2
10	selenio	S e	34	a6 anfígeno	78.960	2 8 18. 6,	[A r], 4s2, 3d10, 4p4
11	bismuto	B i	83	a5 nitrogenoideo	208.980	2 8 18 32. 18; 5,	[X e], 6s2, 4f14, 5d10, 6p3
12	antimonio	S b	51	a5 nitrogenoideo	121.760	2 8 18. 18; 5,	[Kr], 4d10, 5s2, 5p3
13	estaño	S n	50	a4 carbonoideo	118.710	2 8 18. 18; 4,	[Kr], 4d10, 5s2, 5p2
14	cobalto	C o	27	b8 metal de transición	58.933	2 8. 15, 2;	[A r], 4s2, 3d7
15	paladio	P d	46	b8 metal de transición	106.420	2 8 18. 18,	[Kr], 4d10
16	oro	A u	79	b1 metal de transición	196.967	2 8 18 32. 18, 1;	[X e], 6s1, 4f14, 5d10
17	teluro	T e	52	a6 anfígeno	127.600	2 8 18. 18; 6,	[Kr], 4d10, 5s2, 5p4
18	platino	P t	78	b8 metal de transición	195.078	2 8 18 32. 17, 1;	[X e], 6s1, 4f14, 5d9
19	níquel	N i	28	b8 metal de transición	58.693	2 8. 16, 2;	[A r], 4s2, 3d8
	magnesio	M g	12	a2 alcalino-térreo	24.305	2 8. 2,	[N e], 3s2
	flúor	F	9	a7 halógeno	18.998	2. 7,	[H e], 2s2, 2p5
	actinio	A c	89	b3 actínido	227.000	2 8 18 32. 18; 9, 2;	[Rn], 7s2, 6d1
	aluminio	A l	13	a3 térreo	26.982	2 8. 3,	[N e], 3s2, 3p1
	americio	A m	95	b3 actínido	243.000	2 8 18 32. 25, 8; 2;	[Rn], 7s2, 5f7
	argón	A r	18	0 gas noble	39.948	2 8. 8,	[N e], 3s2, 3p6
	astatio	A t	85	a7 halógeno	210.000	2 8 18 32. 18; 7,	[X e], 6s2, 4f14, 5d10, 6p5
	azufre	S	16	a6 anfígeno	32.066	2 8. 6,	[N e], 3s2, 3p4
	bario	B a	56	a2 alcalino-térreo	137.327	2 8 18. 18; 8; 2,	[X e], 6s2
	berkelio	B k	97	b3 actínido	247.000	2 8 18 32. 27, 8; 2;	[Rn], 7s2, 5f9
	bohrio	B h	107	sin determinar	264.000	desconocida	desconocida
	boro	B	5	a3 térreo	10.811	2. 3,	[H e], 2s2, 2p1
	bromo	B r	35	a7 halógeno	79.904	2 8 18. 7,	[A r], 4s2, 3d10, 4p5
	calcio	C a	20	a2 alcalino-térreo	40.078	2 8. 8; 2,	[A r], 4s2 [Rn], 7s2, 5f10
	californio	C f	98	b3 actínido	251.000	2 8 18 32. 28, 8; 2;	At
	carbono	C	6	a4 carbonoideo	12.011	2. 4,	[H e], 2s2, 2p2

cerio	C e	58	b3 lantánido	140.116	2 8 18. 19, 9; 2;	[X e], 6s2, 5d1, 4f1
cesio	C s	55	a1 alcalino	132.905	2 8 18. 18; 8; 1,	[X e], 6s1
circonio	Z r	40	b4 metal de transición	91.224	2 8 18. 10, 2;	[Kr], 5s2, 4d2
cloro	C l	17	a7 halógeno	35.453	2 8. 7,	[N e], 3s2, 3p5
 Cromo	C r	24	b6 metal de transición	51.996	2 8. 13, 1;	[A r], 4s1, 3d5
curio	C m	96	b3 actínido	247.000	2 8 18 32. 25, 9; 2;	[Rn], 7s2, 5f7, 6d1
darmstadtio	Uu n	110	sin determinar	sin determinar	desconocida	desconocida
disproσιο	D y	66	b3 lantánido	162.500	2 8 18. 28, 8; 2;	[X e], 6s2, 4f10
dubnio	D b	105	sin determinar	262.000	desconocida	desconocida
einsteinio	E s	99	b3 actínido	252.000	2 8 18 32. 29, 8; 2;	[Rn], 7s2, 5f11
erbio	E r	68	b3 lantánido	167.260	2 8 18. 30, 8; 2;	[X e], 6s2, 4f12
escandio	S c	21	b3 metal de transición	44.956	2 8. 9, 2;	[A r], 4s2, 3d1
estroncio	S r	38	a2 alcalino-térreo	87.620	2 8 18. 8; 2,	[Kr], 5s2
europio	E u	63	b3 lantánido	151.964	2 8 18. 25, 8; 2;	[X e], 6s2, 4f7
fermio	F m	100	b3 actínido	257.000	2 8 18 32. 30, 8; 2;	[Rn], 7s2, 5f12
fósforo	P	15	a5 nitrogenoideo	30.974	2 8. 5,	[N e], 3s2, 3p3
francio	F r	87	a1 alcalino	223.000	2 8 18 32. 18; 8; 1,	[Rn], 7s1
gadolinio	G d	64	b3 lantánido	157.250	2 8 18. 25; 9, 2;	[X e], 6s2, 4f7, 5d1
galio	G a	31	a3 térreo	69.723	2 8 18. 3,	[A r], 4s2, 3d10, 4p1
germanio	G e	32	a4 carbonoideo	72.610	2 8 18. 4,	[A r], 4s2, 3d10, 4p2
hafnio	H f	72	b4 metal de transición	178.490	2 8 18 32. 10, 2;	[X e], 6s2, 4f14, 5d2
hassio	H s	108	sin determinar	269.000	desconocida	desconocida
helio	H e	2	0 gas noble	4.003	2, 0	1s2
hidrógeno	H	1	a1 Singular	1.008	1	1s1
hierro	F e	26	b8 metal de transición	55.845	2 8. 14, 2;	[A r], 4s2, 3d6
holmio	H o	67	b3 lantánido	164.930	2 8 18. 29, 8; 2;	[X e], 6s2, 4f11
indio	I n	49	a3 térreo	114.818	2 8 18. 18; 3,	[Kr], 4d10, 5s2, 5p1
iridio	I r	77	b8 metal de transición	192.217	2 8 18 32. 15, 2;	[X e], 6s2, 4f14, 5d7
kriptón	K r	36	0 gas noble	83.800	2 8 18. 8,	[A r], 4s2, 3d10, 4p6
lantano	L a	57	b3 lantánido	138.906	2 8 18. 18; 9, 2;	[X e], 6s2, 5d1
lawrencio	L r	103	b3 actínido	262.000	2 8 18 32. 32, 9; 2;	[Rn], 7s2, 5f14, 7d1
litio	L i	3	a1 alcalino	6.941	2. 1,	[H e], 2s1
lutecio	L u	71	b3 lantánido	174.967	2 8 18 32. 9, 2;	[X e], 6s2, 4f14, 5d1
manganeso	M n	25	b7 metal de transición	54.938	2 8. 13; 2,	[A r], 3d5, 4s2
meitnerio	M t	109	sin determinar	268.000	desconocida	desconocida
mendelevio	M d	101	b3 actínido	258.000	2 8 18 32. 31, 8; 2;	[Rn], 7s2, 5f13
molibdeno	M o	42	b6 metal de transición	95.940	2 8 18. 13, 1;	[Kr], 5s1, 4d5
neodimio	N d	60	b3 lantánido	144.240	2 8 18. 22, 8; 2;	[X e], 6s2, 4f4
neón	N e	10	0 gas noble	20.180	2 8,	[H e], 2s2, 2p6
neptunio	N p	93	b3 actínido	237.000	2 8 18 32. 22, 9; 2;	[Rn], 7s2, 5f4, 6d1
niobio	N b	41	b5 metal de transición	92.906	2 8 18. 12, 1;	[Kr], 5s1, 4d4

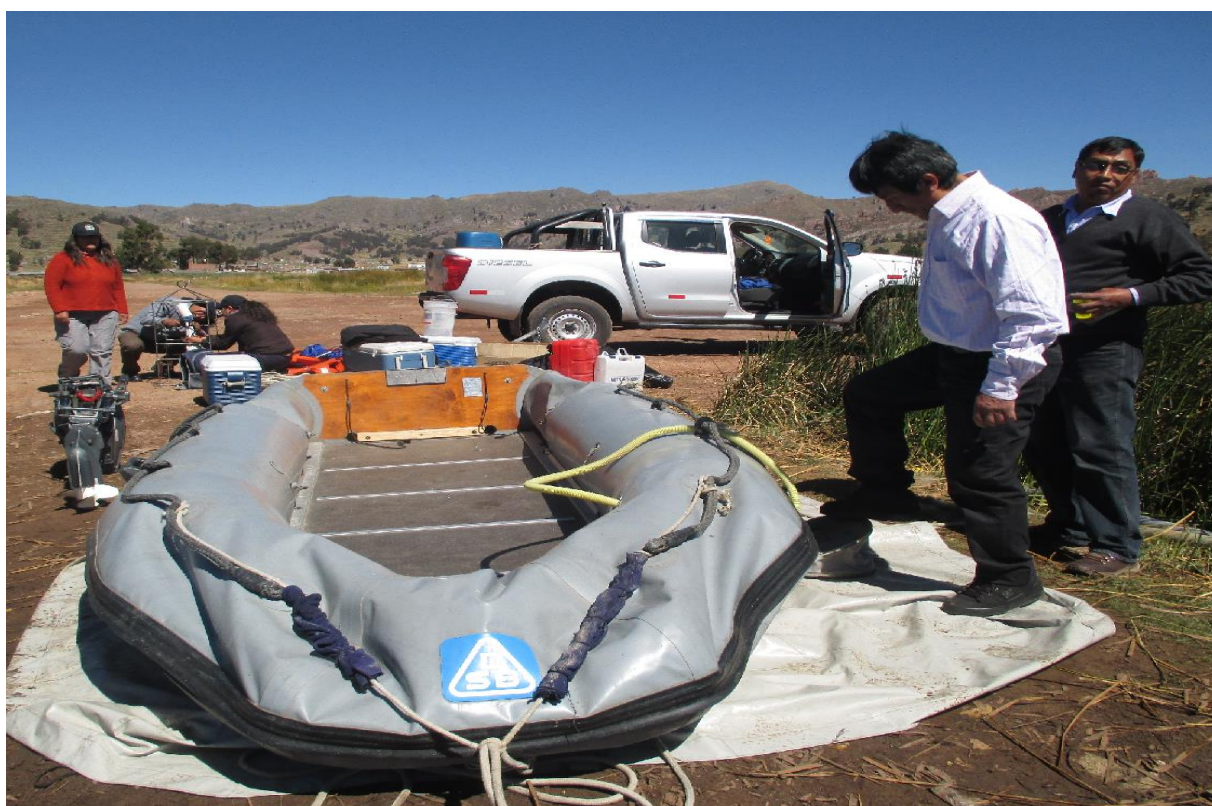
nitrógeno	N	7	a5 nitrogenoideo	14.007	2. 5,	[H e], 2s2, 2p3
nobelio	N o	102	b3 actínido	259.000	2 8 18 32. 32, 8; 2;	[Rn], 7s2, 5f14
osmio	O s	76	b8 metal de transición	190.230	2 8 18 32. 14, 2;	[X e], 6s2, 4f14, 5d6
oxígeno	O	8	a6 anfígeno	15.999	2. 6,	[H e], 2s2, 2p4
plutonio	P u	94	b3 actínido	244.000	2 8 18 32. 24, 8; 2;	[Rn], 7s2, 5f6
polonio	P o	84	a6 anfígeno	210.000	2 8 18 32. 18; 6,	[X e], 6s2, 4f14, 5d10, 6p4
potasio	K	19	a1 alcalino	39.098	2 8. 8; 1,	[A r], 4s1
praseodimio	P r	59	b3 lantánido	140.908	2 8 18. 21, 8; 2;	[X e], 6s2, 4f3
promecio	P m	61	b3 lantánido	145.000	2 8 18. 23, 8; 2;	[X e], 6s2, 4f5
protoactinio	P a	91	b3 actínido	231.036	2 8 18 32. 20, 9; 2;	[Rn], 7s2, 5f2, 6d1
radio	R a	88	a2 alcalino-térreo	226.000	2 8 18 32. 18; 8; 2,	[Rn], 7s2
radón	R n	86	0 gas noble	222.000	2 8 18 32. 18; 8,	[X e], 6s2, 4f14, 5d10, 6p6
renio	R e	75	b7 metal de transición	186.207	2 8 18 32. 13, 2;	[X e], 6s2, 4f14, 5d5
rodio	R h	45	b8 metal de transición	102.906	2 8 18. 16, 1;	[Kr], 5s1, 4d8
roentgenio	Uu u	111	sin determinar	sin determinar	desconocida	desconocida
rubidio	R b	37	a1 alcalino	85.468	2 8 18. 8; 1,	[Kr], 5s1
rutenio	R u	44	b8 metal de transición	101.070	2 8 18. 15, 1;	[Kr], 5s1, 4d7
rutherfordio	R f	104	sin determinar	261.000	2 8 18 32. 32; 10, 2?	[Rn], 7s2, 5f14, 6d2?
samario	S m	62	b3 lantánido	150.360	2 8 18. 24, 8; 2;	[X e], 6s2, 4f6
seaborgio	S g	106	sin determinar	266.000	desconocida	desconocida
silicio	S i	14	a4 carbonoideo	28.086	2 8. 4,	[N e], 3s2, 3p2
sodio	N a	11	a1 alcalino	22.990	2 8. 1,	[N e], 3s1
talio	T l	81	a3 térreo	204.383	2 8 18 32. 18; 3,	[X e], 6s2, 4f14, 5d10, 6p1
tántalo	T a	73	b5 metal de transición	180.948	2 8 18 32. 11, 2;	[X e], 6s2, 4f14, 5d3
tecnecio	T c	43	b7 metal de transición	98.000	2 8 18. 14, 1;	[Kr], 5s1, 4d6
terbio	T b	65	b3 lantánido	158.925	2 8 18. 27, 8; 2;	[X e], 6s2, 4f9
torio	T h	90	b3 actínido	232.038	2 8 18 32. 18; 10, 2;	[Rn], 7s2, 6d2
tulio	T m	69	b3 lantánido	168.934	2 8 18. 31, 8; 2;	[X e], 6s2, 4f13
ununbio	Uu b	112	sin determinar	sin determinar	desconocida	desconocida
ununhexio	Uu h	116	sin determinar	sin determinar	desconocida	desconocida
ununquadio	Uu q	114	sin determinar	sin determinar	desconocida	desconocida
uranio	U	92	b3 actínido	238.029	2 8 18 32. 21, 9; 2;	[Rn], 7s2, 5f3, 6d1
vanadio	V	23	b5 metal de transición	50.942	2 8. 11, 2;	[A r], 4s2, 3d3
wolframio	W	74	b6 metal de transición	183.840	2 8 18 32. 12, 2;	[X e], 6s2, 4f14, 5d4
xenón	X e	54	0 gas noble	131.290	2 8 18. 18; 8,	[Kr], 4d10, 5s2, 5p6
yodo	I	53	a7 halógeno	126.904	2 8 18. 18; 7,	[Kr], 4d10, 5s2, 5p5
yterbio	Y b	70	b3 lantánido	173.040	2 8 18 32. 8; 2;	[X e], 6s2, 4f14
ytrio	Y	39	b3 metal de transición	88.906	2 8 18. 9, 2;	[Kr], 5s2, 4d1

Fuente: Elementos tóxicos de mayor realce Peterle (1991)

Anexo- 5 Ilustración de acceso al área acuática de producción truchícola Cusipata, preparación de embarcación previa a la toma de muestra



Anexo- 6 Preparación de embarcación previa a la toma de muestra



Anexo- 7 Preparación de instrumental de equipo para toma de muestra agua



Anexo- 8 Toma de muestra del tesista de agua desde cabina de vigilancia del módulo de truchas



Anexo- 9 Instalaciones de módulo de jaulas de truchas en el entorno de estudio



Anexo- 10 Instalaciones de módulo de jaulas de truchas en el entorno de estudio



Anexo- 11 Toma de muestra de las instalaciones de módulo de jaulas de truchas en el entorno



Anexo- 12 Toma de muestra agua a 1, 5, 10 y 15 m de profundidad



Anexo- 13. Toma de muestra agua a 1, 5, 10 y 15 m de profundidad



Anexo- 14. Secado de muestras de sedimento en las instalaciones de mega laboratorios de la Universidad Nacional del Altiplano

**Ubicación de muestras tomadas en el
módulo criadero de truchas
“Cusipata”, Barco del Distrito de
Chucuito, Provincia y Departamento
de Puno**

Tesis de Investigación
**Determinación de metales pesados en
sedimentos y calidad de aguas provocado
por crianza de truchas arcoiris
(*Oncorhynchus mykiss*) del lago Titicaca,
Puno-Perú**



**Muestra 2° tomada a 500m
lago adentro de la
instalaciones de jaulas de
truchas - Cusipata**

Anexo- 15. Secado de primera muestra de sedimento de entorno de jaulas



Anexo- 16. Secado de segunda muestra de sedimento de entorno de jaulas



Preparación de muestra molido de sedimento previo al envío a laboratorios de Arequipa



Anexo- 17. Tabla de resultados procesados de sistema informático

<i>Parámetro</i>	<i>Estimación</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>Estadístico T</i>	<i>Valor-P</i>
CONSTANTE	2.35514	2.77031	0.850136	0.3983
TEMP	-0.0815094	0.0245136	-3.32507	0.0014
CE	-0.00439613	0.00144943	-3.03302	0.0035
SAL	8.07854	2.27031	3.55835	0.0007
pH	0.766385	0.248427	3.08495	0.0030
NH4N	0.0420228	0.0127493	3.29609	0.0016
NH3N	-2.21467	0.832097	-2.66156	0.0098
OD2	0.00381823	0.00166	2.30014	0.0246
CO2	-0.216081	0.0641223	-3.36984	0.0013
PO4	-1.10473	0.489025	-2.25904	0.0272
SIO2	-0.62279	0.0726782	-8.56915	0.0000
NO2	-10.427	12.9431	-0.805599	0.4234
NO3	-0.506989	0.277432	-1.82743	0.0722
CLOROF	-0.0348233	0.0152737	-2.27996	0.0258

Resultado 14 Resultados del tercer modelo general del estudio a partir de la Variable dependiente: OD1
Variables independientes: TEMP, CE, SAL, pH, NH4N, NH3N, OD2, CO2, PO4, SIO2, NO2, NO3, CLOROF
R-cuadrada = 88.4893 porciento, R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 86.222 porciento

Resultado 15 Resultados del segundo modelo general del estudio a partir de la Variable dependiente: Variables independientes: TEMP, CE, SAL, pH, NH4N, NH3N, OD2, CO2, PO4, SIO2, NO2, NO3, CLOROF, SST

<i>Parámetro</i>	<i>Estimación</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>Estadístico T</i>	<i>Valor-P</i>
CONSTANTE	2.35155	2.78926	0.843074	0.4023
TEMP	-0.0804668	0.0248854	-3.23349	0.0019
CE	-0.00438371	0.00145982	-3.00291	0.0038
SAL	8.06563	2.28616	3.52802	0.0008
pH	0.763505	0.250279	3.05062	0.0033
NH4N	0.0426681	0.0129867	3.28553	0.0016
NH3N	-2.18933	0.841348	-2.60216	0.0115
OD2	0.00379807	0.00167247	2.27094	0.0265
CO2	-0.219405	0.0653527	-3.35725	0.0013
PO4	-1.1426	0.505755	-2.2592	0.0272
SIO2	-0.6208	0.0734264	-8.45473	0.0000
NO2	-9.97126	13.1056	-0.760839	0.4495
NO3	-0.506961	0.279328	-1.81493	0.0741
CLOROF	-0.0351588	0.0154121	-2.28125	0.0258
SST	0.0042579	0.0129972	0.3276	0.7443

R-cuadrada = 88.5082 porciento, R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 86.0331 porciento

Resultado 16 Resultados del cuarto modelo general del estudio a partir de la Variable dependiente: Variables independientes: TEMP, CE, SAL, pH, NH4N, NH3N, OD2, CO2, PO4, SIO2, NO3, CLOROF

<i>Parámetro</i>	<i>Estimación</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>Estadístico T</i>	<i>Valor-P</i>
CONSTANTE	2.02391	2.73245	0.740695	0.4615
TEMP	-0.0812082	0.0244465	-3.32188	0.0015
CE	-0.00450287	0.00143957	-3.12792	0.0026
SAL	8.24918	2.25448	3.65902	0.0005
pH	0.798873	0.244489	3.26752	0.0017
NH4N	0.0427725	0.012682	3.3727	0.0012
NH3N	-2.1138	0.820465	-2.57635	0.0122
OD2	0.0039366	0.00164914	2.38706	0.0198
CO2	-0.231939	0.0608662	-3.81063	0.0003
PO4	-1.25987	0.448329	-2.81015	0.0065
SIO2	-0.590043	0.0600891	-9.81947	0.0000
NO3	-0.480223	0.274713	-1.74809	0.0850
CLOROF	-0.035152	0.0152282	-2.30835	0.0241

R-cuadrada = 88.3761 por ciento, R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 86.2942 por ciento

Resultado 17. Resultados de análisis de varianza de parámetros fisicoquímicos de significancia estadística: Resultados de análisis de varianza de parámetros fisicoquímicos de significancia estadística de OD, TEMP, CE, SAL, pH, NH4N, NH3N, OD2, CO2, PO4, SIO2, NO3, CLOROF

Fecha muestro	parámetros fisicoquímicos		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
17.07.31	pH	Entre grupos	,162	1	,162	6,492	,044
		Dentro de grupos	,150	6	,025		
		Total	,313	7			
	NH3-N	Entre grupos	,008	1	,008	23,581	,003
		Dentro de grupos	,002	6	,000		
		Total	,011	7			
	SST	Entre grupos	2,000	1	2,000	54,857	,000
		Dentro de grupos	,219	6	,036		
		Total	2,219	7			
17.08.29	STD	Entre grupos	47,531	1	47,531	9,000	,024
		Dentro de grupos	31,687	6	5,281		
		Total	79,219	7			
	pH	Entre grupos	,002	1	,002	9,941	,020
		Dentro de grupos	,001	6	,000		
		Total	,003	7			
	O.D.	Entre grupos	,051	1	,051	8,581	,026
		Dentro de grupos	,036	6	,006		
		Total	,087	7			
17.10.12	STD	Entre grupos	10,618,281,273,645	1	10,618,281,273,645	8,997	,024
		Dentro de grupos	7,081,525,706,695	6	1,180,254,284,449		
		Total	17,699,806,980,340	7			
	SAL	Entre grupos	,000	1	,000	9,000	,024
		Dentro de grupos	,000	6	,000		
		Total	,000	7			
	pH	Entre grupos	,056	1	,056	9,851	,020
		Dentro de grupos	,034	6	,006		
		Total	,090	7			
17.11.06	NH4-N	Entre grupos	,118	1	,118	11,153	,016
		Dentro de grupos	,063	6	,011		
		Total	,181	7			
	SiO2	Entre grupos	,001	1	,001	10,796	,017
		Dentro de grupos	,000	6	,000		
		Total	,001	7			
17.12.17	TEMP.	Entre grupos	23,333	4	5,833	26,250	,011
		Dentro de grupos	,667	3	,222		
		Total	24,000	7			
	pH	Entre grupos	,010	4	,002	13,893	,028
		Dentro de grupos	,001	3	,000		
		Total	,010	7			
18.02.06	NH4-N	Entre grupos	,014	1	,014	6,495	,044

		Dentro de grupos	,013	6	,002		
		Total	,026	7			
	O.D.	Entre grupos	,065	1	,065	7,076	,038
		Dentro de grupos	,055	6	,009		
		Total	,120	7			
	CO2	Entre grupos	,011	1	,011	9,000	,024
		Dentro de grupos	,008	6	,001		
		Total	,019	7			
	PO4	Entre grupos	,010	1	,010	6,784	,040
		Dentro de grupos	,008	6	,001		
		Total	,018	7			
18.04.06	pH	Entre grupos	,001	1	,001	10,714	,017
		Dentro de grupos	,001	6	,000		
		Total	,002	7			
	O.D.	Entre grupos	,099	1	,099	16,198	,007
		Dentro de grupos	,037	6	,006		
Total		,136	7				
18.5.14	C. E.	Entre grupos	4,500	1	4,500	9,000	,024
		Dentro de grupos	3,000	6	,500		
		Total	7,500	7			
	pH	Entre grupos	,000	1	,000	10,714	,017
		Dentro de grupos	,000	6	,000		
		Total	,000	7			
	NH4-N	Entre grupos	,090	1	,090	27,264	,002
		Dentro de grupos	,020	6	,003		
		Total	,110	7			
	O.D.	Entre grupos	,143	1	,143	64,684	,000
		Dentro de grupos	,013	6	,002		
		Total	,156	7			
18.07.03	pH	Entre grupos	,002	1	,002	51,857	,000
		Dentro de grupos	,000	6	,000		
		Total	,002	7			
	NH4-N	Entre grupos	,005	1	,005	7,172	,037
		Dentro de grupos	,004	6	,001		
		Total	,008	7			
	O.D.	Entre grupos	,104	1	,104	11,507	,015
		Dentro de grupos	,054	6	,009		
		Total	,157	7			
	CO2	Entre grupos	,045	1	,045	9,000	,024
		Dentro de grupos	,030	6	,005		
		Total	,075	7			
15.09.18	C. E.	Entre grupos	1,704,083	1	1,704,083	13,833	,020
		Dentro de grupos	492,750	4	123,188		
		Total	2,196,833	5			
	O.D.	Entre grupos	40,950,083	1	40,950,083	10,971	,030
		Dentro de grupos	14,930,750	4	3,732,687		
		Total	55,880,833	5			

Anexo- 18. Certificación análisis de laboratorios y normas ambientales



FDT 002 -01

INFORME DE ENSAYO: 76009/2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO

Av. EL SOL Nro. 329 BARRIO BELLAVISTA Puno Puno Puno

ENSAYOS DE CALIDAD AMBIENTAL DE AGUA Y SEDIMENTOS

Emitido por: Karin Zelada Trigoso

Fecha de Emisión: 10/01/2019

Quím. Karin Zelada Trigoso

CQP: 830

Sup. Emisión Informes – Lima

"Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL - DA."
División - Medio Ambiente

Pág. 1 de 5

Revisión: 01
Fecha de Revisión: 23/03/2016

Av. República de Argentina N° 1859, Cercado de Lima - Perú Telf: (511) 488-9500
Av. Dolores 167, José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa - Perú Telf: (054) 424-570
www.alsglobal.com



FDT 002 - 02

INFORME DE ENSAYO: 76009/2018

RESULTADOS ANALITICOS

Muestras del ítem: 2

Nº ALS	663385/2018-1.0	663386/2018-1.0	663387/2018-1.0
Fecha de Muestreo	15/09/2018	14/09/2018	15/09/2018
Hora de Muestreo	00:00:00	00:00:00	00:00:00
Tipo de Muestra	Aguas Superficiales	Aguas Superficiales	Aguas Superficiales
Identificación	FEM1-IAJULA	FEM1-IAJULAS	FEM2-BLANCO

Parámetro	Ref. Mét.	Unidad	LD			
007 ENSAYOS DE METALES TOTALES ICP MS						
Plata (Ag)	11420	mg/L	0,000003	< 0,000003	< 0,000003	< 0,000003
Aluminio (Al)	11420	mg/L	0,002	0,008	0,043	0,007
Arsénico (As)	11420	mg/L	0,00003	0,01228	0,01485	0,01491
Boro (B)	11420	mg/L	0,002	0,858	1,070	1,044
Bario (Ba)	11420	mg/L	0,0001	0,0721	0,0704	0,0696
Berilio (Be)	11420	mg/L	0,00002	< 0,00002	< 0,00002	< 0,00002
Bismuto (Bi)	11420	mg/L	0,00002	< 0,00002	< 0,00002	< 0,00002
Calcio (Ca)	11420	mg/L	0,10	66,95	67,07	66,25
Cadmio (Cd)	11420	mg/L	0,00001	< 0,00001	< 0,00001	< 0,00001
Cobalto (Co)	11420	mg/L	0,00001	< 0,00001	< 0,00001	< 0,00001
Cromo (Cr)	11420	mg/L	0,0001	0,0008	0,0007	0,0007
Cobre (Cu)	11420	mg/L	0,00003	0,00406	0,00436	0,00321
Hierro (Fe)	11420	mg/L	0,0004	0,0118	0,0494	0,0084
Mercurio (Hg)	11420	mg/L	0,00003	< 0,00003	< 0,00003	< 0,00003
Potasio (K)	11420	mg/L	0,04	16,81	16,89	16,60
Litio (Li)	11420	mg/L	0,0001	0,2220	0,2313	0,2248
Magnesio (Mg)	11420	mg/L	0,003	31,11	30,97	30,81
Manganeso (Mn)	11420	mg/L	0,00003	0,00535	0,00330	0,00135
Molibdeno (Mo)	11420	mg/L	0,00002	< 0,00002	0,00071	0,00090
Sodio (Na)	11420	mg/L	0,006	175,8	176,4	174,1
Niquel (Ni)	11420	mg/L	0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Fosforo (P)	11420	mg/L	0,015	0,027	0,060	0,076
Plomo (Pb)	11420	mg/L	0,0002	< 0,0002	0,0020	< 0,0002
Antimonio (Sb)	11420	mg/L	0,00004	< 0,00004	< 0,00004	< 0,00004
Selenio (Se)	11420	mg/L	0,0004	0,0035	0,0035	0,0037
Silicio (Si)	11420	mg/L	0,2	1,1	1,3	2,0
Estaño (Sn)	11420	mg/L	0,00003	< 0,00003	< 0,00003	< 0,00003
Estroncio (Sr)	11420	mg/L	0,0002	1,208	1,170	1,193
Titanio (Ti)	11420	mg/L	0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Talio (Tl)	11420	mg/L	0,00002	< 0,00002	< 0,00002	< 0,00002
Uranio (U)	11420	mg/L	0,000003	0,000446	0,000369	< 0,000003
Vanadio (V)	11420	mg/L	0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Zinc (Zn)	11420	mg/L	0,0100	< 0,0100	0,1108	< 0,0100

Nº ALS	663389/2018-1.0
Fecha de Muestreo	14/05/2018
Hora de Muestreo	00:00:00
Tipo de Muestra	Aguas Superficiales
Identificación	FEM2-BLANCO

Parámetro	Ref. Mét.	Unidad	LD	
007 ENSAYOS DE METALES TOTALES ICP MS				
Plata (Ag)	11420	mg/L	0,000003	< 0,000003
Aluminio (Al)	11420	mg/L	0,002	0,074
Arsénico (As)	11420	mg/L	0,00003	0,01264
Boro (B)	11420	mg/L	0,002	1,013
Bario (Ba)	11420	mg/L	0,0001	0,0750
Berilio (Be)	11420	mg/L	0,00002	< 0,00002
Bismuto (Bi)	11420	mg/L	0,00002	< 0,00002
Calcio (Ca)	11420	mg/L	0,10	68,22
Cadmio (Cd)	11420	mg/L	0,00001	< 0,00001
Cobalto (Co)	11420	mg/L	0,00001	< 0,00001



FDT 002 - 02

INFORME DE ENSAYO: 76009/2018

Nº ALS LS 663389/2018-1.0
 Fecha de Muestreo 14/05/2018
 Hora de Muestreo 00:00:00
 Tipo de Muestra Aguas Superficiales
 Identificación FEM2-BLANCO

Parámetro	Ref. Mét.	Unidad	LD	
Cromo (Cr)	11420	mg/L	0,0001	< 0,0001
Cobre (Cu)	11420	mg/L	0,0003	0,00295
Hierro (Fe)	11420	mg/L	0,0004	0,0205
Mercurio (Hg)	11420	mg/L	0,0003	< 0,00003
Potasio (K)	11420	mg/L	0,04	17,00
Litio (Li)	11420	mg/L	0,0001	0,2226
Magnesio (Mg)	11420	mg/L	0,003	30,77
Manganeso (Mn)	11420	mg/L	0,0003	0,00302
Molibdeno (Mo)	11420	mg/L	0,00002	0,00078
Sodio (Na)	11420	mg/L	0,006	176,8
Níquel (Ni)	11420	mg/L	0,0002	< 0,0002
Fosforo (P)	11420	mg/L	0,015	0,040
Plomo (Pb)	11420	mg/L	0,0002	0,0017
Antimonio (Sb)	11420	mg/L	0,00004	< 0,00004
Selenio (Se)	11420	mg/L	0,0004	0,0048
Silicio (Si)	11420	mg/L	0,2	1,8
Estaño (Sn)	11420	mg/L	0,00003	< 0,00003
Estroncio (Sr)	11420	mg/L	0,0002	1,224
Titanio (Ti)	11420	mg/L	0,0002	< 0,0002
Talio (Tl)	11420	mg/L	0,00002	< 0,00002
Uranio (U)	11420	mg/L	0,000003	0,000370
Vanadio (V)	11420	mg/L	0,0001	< 0,0001
Zinc (Zn)	11420	mg/L	0,0100	< 0,0100

Observaciones
 LD: Límite de detección.

CONTROLES DE CALIDAD

Control Blancos				
Parámetro	LD	Unidad	Resultado	Fecha de Análisis
Aluminio (Al)	0,002	mg/L	< 0,002	02/01/2019
Antimonio (Sb)	0,00004	mg/L	< 0,00004	02/01/2019
Arsénico (As)	0,00003	mg/L	< 0,00003	02/01/2019
Bario (Ba)	0,0001	mg/L	< 0,0001	02/01/2019
Berilio (Be)	0,00002	mg/L	< 0,00002	02/01/2019
Bismuto (Bi)	0,00002	mg/L	< 0,00002	02/01/2019
Boro (B)	0,002	mg/L	< 0,002	02/01/2019
Cadmio (Cd)	0,00001	mg/L	< 0,00001	02/01/2019
Calcio (Ca)	0,10	mg/L	< 0,10	02/01/2019
Cobalto (Co)	0,00001	mg/L	< 0,00001	02/01/2019
Cobre (Cu)	0,00003	mg/L	< 0,00003	02/01/2019
Cromo (Cr)	0,0001	mg/L	< 0,0001	02/01/2019
Estaño (Sn)	0,00003	mg/L	< 0,00003	02/01/2019
Estroncio (Sr)	0,0002	mg/L	< 0,0002	02/01/2019
Fosforo (P)	0,015	mg/L	< 0,015	02/01/2019
Hierro (Fe)	0,0004	mg/L	< 0,0004	02/01/2019
Litio (Li)	0,0001	mg/L	< 0,0001	02/01/2019
Magnesio (Mg)	0,003	mg/L	< 0,003	02/01/2019
Manganeso (Mn)	0,00003	mg/L	< 0,00003	02/01/2019
Mercurio (Hg)	0,00003	mg/L	< 0,00003	02/01/2019
Molibdeno (Mo)	0,00002	mg/L	< 0,00002	02/01/2019
Níquel (Ni)	0,0002	mg/L	< 0,0002	02/01/2019
Plata (Ag)	0,000003	mg/L	< 0,000003	02/01/2019
Plomo (Pb)	0,0002	mg/L	< 0,0002	02/01/2019



FDT 002 - 02

INFORME DE ENSAYO: 76009/2018

Parámetro	LD	Unidad	Resultado	Fecha de Análisis
Potasio (K)	0,04	mg/L	< 0,04	02/01/2019
Selenio (Se)	0,0004	mg/L	< 0,0004	02/01/2019
Silicio (Si)	0,2	mg/L	< 0,2	02/01/2019
Sodio (Na)	0,006	mg/L	< 0,006	02/01/2019
Talio (Tl)	0,00002	mg/L	< 0,00002	02/01/2019
Titanio (Ti)	0,0002	mg/L	< 0,0002	02/01/2019
Uranio (U)	0,000003	mg/L	< 0,000003	02/01/2019
Vanadio (V)	0,0001	mg/L	< 0,0001	02/01/2019
Zinc (Zn)	0,01	mg/L	< 0,01	02/01/2019

Control Estandar

Parámetro	% Recuperación	Límites de Recuperación (%)	Fecha de Análisis
Aluminio (Al)	104,5	80-120	02/01/2019
Antimonio (Sb)	104,4	80-120	02/01/2019
Arsénico (As)	105,4	80-120	02/01/2019
Bario (Ba)	101,8	80-120	02/01/2019
Berilio (Be)	104,7	80-120	02/01/2019
Bismuto (Bi)	103,5	80-120	02/01/2019
Boro (B)	104,0	80-120	02/01/2019
Cadmio (Cd)	103,1	80-120	02/01/2019
Calcio (Ca)	92,7	80-120	02/01/2019
Cobalto (Co)	103,7	80-120	02/01/2019
Cobre (Cu)	104,3	80-120	02/01/2019
Cromo (Cr)	98,8	80-120	02/01/2019
Estaño (Sn)	103,6	80-120	02/01/2019
Estroncio (Sr)	105,8	80-120	02/01/2019
Fosforo (P)	100,4	80-120	02/01/2019
Hierro (Fe)	99,5	80-120	02/01/2019
Litio (Li)	103,8	80-120	02/01/2019
Magnesio (Mg)	99,2	80-120	02/01/2019
Manganeso (Mn)	102,4	80-120	02/01/2019
Mercurio (Hg)	100,8	80-120	02/01/2019
Molibdeno (Mo)	95,8	80-120	02/01/2019
Niquel (Ni)	103,2	80-120	02/01/2019
Plata (Ag)	113,2	80-120	02/01/2019
Piombo (Pb)	103,4	80-120	02/01/2019
Potasio (K)	99,4	80-120	02/01/2019
Selenio (Se)	103,4	80-120	02/01/2019
Silicio (Si)	96,0	80-120	02/01/2019
Sodio (Na)	99,9	80-120	02/01/2019
Talio (Tl)	107,9	80-120	02/01/2019
Titanio (Ti)	95,6	80-120	02/01/2019
Uranio (U)	103,9	80-120	02/01/2019
Vanadio (V)	103,4	80-120	02/01/2019
Zinc (Zn)	96,4	80-120	02/01/2019

LD = Límite de detección.

Las fechas de ejecución del análisis para los ensayos realizados en las instalaciones del laboratorio, se refiere a las fechas indicadas en las tablas de Controles de Calidad. No Aplica para ensayos tercerizados.

DESCRIPCION Y UBICACION GEOGRAFICA DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO

Estación de Muestreo	Resp.del Muestreo	Tipo de Muestra	Fecha de Recepción	Fecha de Muestreo	Ubicación Geográfica UTM WGS84	Zona	Condición de la muestra	Descripción de la Estación de Muestreo
FEM1-JAULA	Cliente	Aguas Superficiales	28/12/2018	15/09/2018	---	-	Proporcionado por el cliente	Reservado por el cliente
FEM1-JAULAS	Cliente	Aguas Superficiales	28/12/2018	14/05/2018	---	-	Proporcionado por el cliente	Reservado por el cliente
FEM2-BLANCO	Cliente	Aguas Superficiales	28/12/2018	15/09/2018	---	-	Proporcionado por el cliente	Reservado por el cliente
FEM2-BLANCO	Cliente	Aguas Superficiales	28/12/2018	14/05/2018	---	-	Proporcionado por el cliente	Reservado por el cliente

Pág. 4 de 5

Revisión 01
Fecha de Revisión: 23/05/2016

Av. República de Argentina N° 1859, Cercado de Lima - Perú Telf: (511) 488-9500
Av. Dolores 167, José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa - Perú Telf: (054) 424-570
www.alsglobal.com



FDT 002 - 02

INFORME DE ENSAYO: 76009/2018

REFERENCIA DE LOS METODOS DE ENSAYO

Ref.	Sede	Parámetro	Método de Referencia	Descripción
11420	LME	Metales Totales por ICP-MS	EPA 6020A, Rev. 1 February 2007	Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry

CÓDIGOS DE AUTENTICIDAD DEL INFORME DE ENSAYO

ALS LS Perú S.A.C. asegura a sus clientes una completa autenticidad del Informe de Ensayo 76009/2018, para que este informe pueda ser verificado en su totalidad. Para comprobar la autenticidad de los mismos en la base de datos de ALS LS Perú S.A.C., visitar el sitio Web www.alsglobal.com e introducir los siguientes códigos de autenticidad que se detallan a continuación:

Estación de Muestreo	N° ALS LS	Código único de Autenticidad
FEM1-JAULA	663385/2018-1.0	osrpsmq&6583366
FEM1-JAULAS	663386/2018-1.0	psrpsmq&6683366
FEM2-BLANCO	663387/2018-1.0	qsrpsmq&6783366
FEM2-BLANCO	663389/2018-1.0	rsrpsmq&6983366

ALS LS Perú S.A.C. asegurando la marca y prestigio de su empresa.

COMENTARIOS

Las fechas de ejecución del análisis para los ensayos realizados en campo (Análisis en Campo) corresponden a las fechas de muestreo.

LME: Av. Argentina 1859 - Cercado - Lima

EPA: U.S. Environmental Protection Agency.

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

ASTM: American Society for Testing and Materials.

El presente documento es redactado íntegramente en ALS LS Perú S.A.C., su alteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial del presente informe, salvo autorización escrita de ALS LS Perú S.A.C.; sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.

El lote de muestras que incluye el presente informe será descartado a los 30 días calendario de haber ingresado la muestra al laboratorio.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



LABORATORIO DE ENSAYO Y ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-029



Registro N° LE-029

FDT 001 -01

INFORME DE ENSAYO: 76007/2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO

Av. EL SOL Nro. 329 BARRIO BELLAVISTA Puno Puno Puno

ENSAYOS DE CALIDAD AMBIENTAL DE AGUA Y SEDIMENTOS

Emitido por: Doris Quicara Choquepiunta

Fecha de Emisión: 10/01/2019

Lic. Quím. Doris Quicara Choquepiunta

CQP: 790

Supervisor de Laboratorio - Sede Arequipa

Renovación de Acreditación a ALS LS Perú S.A.C. mediante registro LE-029
División - Medio Ambiente

Pág. 1 de 4

Revisión: 00
Fecha de Revisión: 23/05/2016

Av. República de Argentina N° 1859, Cercado de Lima - Perú Telf: (511) 488-9500
Av. Dolores 167, José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa - Perú Telf: (054) 424-570
www.alsglobal.com



LABORATORIO DE ENSAYO Y ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-029



INFORME DE ENSAYO: 76007/2018

FDT 001 -02

RESULTADOS ANALITICOS

Muestras del ítem: 1

N° ALS	663368/2018-1.0	663369/2018-1.0
Fecha de Muestreo	14/05/2018	14/05/2018
Hora de Muestreo	00:00:00	00:00:00
Tipo de Muestra	Sedimentos	Sedimentos
Identificación	FEM1-JAULAS	FEM2-BLANCO

Parámetro	Ref. Mét.	Unidad	LD	FEM1-JAULAS	FEM2-BLANCO
007 ENSAYOS DE METALES					
Mercurio (Hg)	8796	mg/kg	0,02	0,05	0,02
Plata (Ag)	8794	mg/kg	0,5	<0,5	<0,5
Aluminio (Al)	8794	mg/kg	1,0	3152	2287
Arsénico (As)	8794	mg/kg	2,0	25,7	41,1
Boro (B)*	8794	mg/kg	0,5	46,0	26,0
Bario (Ba)	8794	mg/kg	0,1	149,7	124,7
Berilio (Be)	8794	mg/kg	0,1	0,2	0,1
Bismuto (Bi)*	8794	mg/kg	1,0	<1,0	<1,0
Calcio (Ca)	8794	mg/kg	2,5	211582	224340
Cadmio (Cd)	8794	mg/kg	0,2	<0,2	<0,2
Cobalto (Co)	8794	mg/kg	0,5	2,1	1,6
Cromo (Cr)	8794	mg/kg	0,5	3,8	2,8
Cobre (Cu)	8794	mg/kg	0,5	6,7	4,3
Hierro (Fe)	8794	mg/kg	1,5	4142	4465
Potasio (K)	8794	mg/kg	1,0	860,7	698,9
Litio (Li)*	8794	mg/kg	2,0	9,0	5,4
Magnesio (Mg)	8794	mg/kg	1,0	5452	4292
Manganeso (Mn)	8794	mg/kg	0,1	455,0	813,4
Molibdeno (Mo)	8794	mg/kg	0,5	<0,5	<0,5
Sodio (Na)	8794	mg/kg	5,0	1720	1374
Niquel (Ni)	8794	mg/kg	0,5	5,0	3,5
Fósforo (P)*	8794	mg/kg	3,0	883,6	1244
Plomo (Pb)	8794	mg/kg	1,0	<1,0	<1,0
Antimonio (Sb)	8794	mg/kg	2,0	<2,0	<2,0
Selenio (Se)	8794	mg/kg	2,0	<2,0	<2,0
Silicio (Si)*	8794	mg/kg	5,0	1846	1585
Estañio (Sn)*	8794	mg/kg	2,0	<2,0	<2,0
Estroncio (Sr)*	8794	mg/kg	0,1	2444	1911
Titanio (Ti)*	8794	mg/kg	0,5	120,5	125,9
Talio (Tl)	8794	mg/kg	2,0	6,3	7,1
Vanadio (V)	8794	mg/kg	0,5	14,4	13,1
Zinc (Zn)	8794	mg/kg	1,0	19,5	15,1

Observaciones

LD: Límite de detección.
Los resultados de suelos, Lodos y sedimentos se expresan en base seca.

CONTROLES DE CALIDAD

Control Blancos

Parámetro	LD	Unidad	Resultado	Fecha de Análisis
Aluminio (Al)	1,00	mg/kg	< 1,00	07/01/2019
Antimonio (Sb)	2,00	mg/kg	< 2,00	07/01/2019
Arsénico (As)	2,00	mg/kg	< 2,00	07/01/2019
Boro (Ba)	0,10	mg/kg	< 0,10	07/01/2019
Berilio (Be)	0,10	mg/kg	< 0,10	07/01/2019
Cadmio (Cd)	0,20	mg/kg	< 0,20	07/01/2019
Calcio (Ca)	2,50	mg/kg	< 2,50	07/01/2019
Cobalto (Co)	0,50	mg/kg	< 0,50	07/01/2019
Cobre (Cu)	0,50	mg/kg	< 0,50	07/01/2019
Cromo (Cr)	0,50	mg/kg	< 0,50	07/01/2019



LABORATORIO DE ENSAYO Y ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-029



INFORME DE ENSAYO: 76007/2018

FDT 001 -02

Parámetro	LD	Unidad	Resultado	Fecha de Análisis
Hierro (Fe)	1,50	mg/kg	< 1,50	07/01/2019
Magnesio (Mg)	1,00	mg/kg	< 1,00	07/01/2019
Manganeso (Mn)	0,10	mg/kg	< 0,10	07/01/2019
Mercurio (Hg)	0,02	mg/kg	< 0,02	07/01/2019
Molibdeno (Mo)	0,50	mg/kg	< 0,50	07/01/2019
Níquel (Ni)	0,50	mg/kg	< 0,50	07/01/2019
Plata (Ag)	0,50	mg/kg	< 0,50	07/01/2019
Plomo (Pb)	1,00	mg/kg	< 1,00	07/01/2019
Potasio (K)	1,00	mg/kg	< 1,00	07/01/2019
Selenio (Se)	2,00	mg/kg	< 2,00	07/01/2019
Sodio (Na)	5,00	mg/kg	< 5,00	07/01/2019
Talio (Tl)	2,00	mg/kg	< 2,00	07/01/2019
Vanadio (V)	0,50	mg/kg	< 0,50	07/01/2019
Zinc (Zn)	1,00	mg/kg	< 1,00	07/01/2019

Control Estandar

Parámetro	% Recuperación	Límites de Recuperación (%)	Fecha de Análisis
Aluminio (Al)	100,5	70-130	07/01/2019
Antimonio (Sb)	100,6	70-130	07/01/2019
Arsenico (As)	104,6	70-130	07/01/2019
Bario (Ba)	101,9	70-130	07/01/2019
Berilio (Be)	101,2	70-130	07/01/2019
Cadmio (Cd)	103,0	70-130	07/01/2019
Calcio (Ca)	104,7	70-130	07/01/2019
Cobalto (Co)	102,7	70-130	07/01/2019
Cobre (Cu)	98,70	70-130	07/01/2019
Cromo (Cr)	100,4	70-130	07/01/2019
Hierro (Fe)	105,8	70-130	07/01/2019
Magnesio (Mg)	100,7	70-130	07/01/2019
Manganeso (Mn)	101,3	70-130	07/01/2019
Mercurio (Hg)	113,8	80-120	07/01/2019
Molibdeno (Mo)	100,3	70-130	07/01/2019
Níquel (Ni)	105,0	70-130	07/01/2019
Plata (Ag)	101,4	70-130	07/01/2019
Plomo (Pb)	103,3	70-130	07/01/2019
Potasio (K)	92,95	70-130	07/01/2019
Selenio (Se)	113,1	70-130	07/01/2019
Sodio (Na)	91,15	70-130	07/01/2019
Talio (Tl)	104,7	70-130	07/01/2019
Vanadio (V)	98,68	70-130	07/01/2019
Zinc (Zn)	105,5	70-130	07/01/2019

LD = Límite de detección.

Las fechas de ejecución del análisis para los ensayos realizados en las instalaciones del laboratorio, se refiere a las fechas indicadas en las tablas de Controles de Calidad. No Aplica para ensayos tercerizados.

DESCRIPCION Y UBICACION GEOGRAFICA DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO

Estación de Muestreo	Resp.del Muestreo	Tipo de Muestra	Fecha de Recepción	Fecha de Muestreo	Ubicación Geográfica UTM WGS84	Zona	Condición de la muestra	Descripción de la Estación de Muestreo
FEM1-JAULAS	Cliente	Sedimentas	28/12/2018	14/05/2018	---	-	Proporcionado por el cliente	Reservado por el cliente
FEM2-BLANCO	Cliente	Sedimentas	28/12/2018	14/05/2018	---	-	Proporcionado por el cliente	Reservado por el cliente



LABORATORIO DE ENSAYO Y ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-029



INFORME DE ENSAYO: 76007/2018

FDT 001 -02

REFERENCIA DE LOS METODOS DE ENSAYO

Ref.	Sede	Parámetro	Método de Referencia	Descripción
8796	AQP	Mercurio	EPA 7471 B, Rev 2, February 2007	Mercury in Solid or Semisolid Waste
8794	AQP	Metales	EPA 3050 B 1996	Method 3050 B Acid Digestion of Sediments Sludges, and Soils

CÓDIGOS DE AUTENTICIDAD DEL INFORME DE ENSAYO

ALS LS Perú S.A.C. asegura a sus clientes una completa autenticidad del Informe de Ensayo 76007/2018, para que este informe pueda ser verificado en su totalidad. Para comprobar la autenticidad de los mismos en la base de datos de ALS LS Perú S.A.C., visitar el sitio Web www.alsglobal.com e introducir los siguientes códigos de autenticidad que se detallan a continuación:

Estación de Muestreo	N° ALS LS	Código único de Autenticidad
FEM 1-JAULAS	663368/2018-1.0	msrpsmq&6863366
FEM 2-BLANCO	663369/2018-1.0	nsrpsmq&6963366

ALS LS Perú S.A.C. asegurando la marca y prestigio de su empresa.

COMENTARIOS

Las fechas de ejecución del análisis para los ensayos realizados en campo (Análisis en Campo) corresponden a las fechas de muestreo.

AQP: Av. Dolores 167 - Jose Luis Bustamante y Rivero - Arequipa.

"EPA": U.S. Environmental Protection Agency.

"SM": Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

"ASTM": American Society for Testing and Materials.

El presente documento es redactado íntegramente en ALS LS Perú S.A.C., su alteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial del presente informe, salvo autorización escrita de ALS LS Perú S.A.C.; sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.

El lote de muestras que incluye el presente informe será descartado a los 30 días calendario de haber ingresado la muestra al laboratorio.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



LABORATORIO DE ENSAYO Y ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-029



FDT 001 -01

INFORME DE ENSAYO: 63720/2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO

Av. EL SOL Nro. 329 BARRIO BELLAVISTA Puno Puno Puno

Ensayos de Sedimentos

Emitido por: Doris Quicara Choquepiunta

Fecha de Emisión: 28/12/2018

Lic. Quím. Doris Quicara Choquepiunta

CQP: 790

Supervisor de Laboratorio - Sede Arequipa

Renovación de Acreditación a ALS LS Perú S.A.C. mediante registro LE-029
División - Medio Ambiente

Pág. 1 de 4

Revisión: 05
Fecha de Revisión: 23/10/2018

Av. República de Argentina N° 1859, Cercado de Lima - Perú Telf: (511) 486-9500
Av. Dolores 167, José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa - Perú Telf: (054) 424-570
www.alsglobal.com



LABORATORIO DE ENSAYO Y ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-029



INFORME DE ENSAYO: 63720/2018

FDT 001 -02

RESULTADOS ANALITICOS

Muestras del ítem: 1

N° ALS LS	555897/2018-1.0	555898/2018-1.0
Fecha de Muestreo	15/09/2018	15/09/2018
Hora de Muestreo	09:00:00	09:15:00
Tipo de Muestra	Sedimentos	Sedimentos
Identificación	JAUJAS-CUSIPATA	BLANCO

Parámetro	Ref. Mét.	Unidad	LD		
007 ENSAYOS DE METALES					
Mercurio (Hg)	8796	mg/kg	0,02	0,07	0,09
Plata (Ag)	10601	mg/kg	0,6	< 0,6	< 0,6
Aluminio (Al)	10601	mg/kg	2	3491	2963
Arsenico (As)	10601	mg/kg	3,5	27,3	23,9
Bario (Ba)	10601	mg/kg	0,3	147,2	139,7
Berilio (Be)	10601	mg/kg	0,3	< 0,3	< 0,3
Calcio (Ca)	10601	mg/kg	0,9	305822	276178
Cadmio (Cd)	10601	mg/kg	0,5	< 0,5	< 0,5
Cobalto (Co)	10601	mg/kg	0,8	< 0,8	< 0,8
Cromo (Cr)	10601	mg/kg	0,9	< 0,9	< 0,9
Cobre (Cu)	10601	mg/kg	0,8	< 0,8	< 0,8
Hierro (Fe)	10601	mg/kg	1,2	4527	4708
Potasio (K)	10601	mg/kg	2,5	853,6	663,6
Magnesio (Mg)	10601	mg/kg	2	6851	2882
Manganeso (Mn)	10601	mg/kg	1	408	541
Molibdeno (Mo)	10601	mg/kg	0,6	< 0,6	< 0,6
Sodio (Na)	10601	mg/kg	9	1961	1605
Niquel (Ni)	10601	mg/kg	1	< 1	< 1
Plomo (Pb)	10601	mg/kg	2	5	6
Antimonio (Sb)	10601	mg/kg	2,5	< 2,5	< 2,5
Selenio (Se)	10601	mg/kg	1,6	< 1,6	< 1,6
Talio (Tl)	10601	mg/kg	3	< 3	< 3
Vanadio (V)	10601	mg/kg	0,5	10,2	7,3
Zinc (Zn)	10601	mg/kg	0,5	13,8	28,8
Boro (B)*	9757	mg/kg	3,6	51,0	20,9
Bismuto (Bi)*	9757	mg/kg	1,5	< 1,5	< 1,5
Litio (Li)*	9757	mg/kg	2,5	< 2,5	< 2,5
Fosforo (P)*	9757	mg/kg	4,5	867,3	2466
Silicio (Si)*	9757	mg/kg	2,4	6021	3810
Estaño (Sn)*	9757	mg/kg	2,5	< 2,5	< 2,5
Estroncio (Sr)*	9757	mg/kg	0,7	3028	1815
Titanio (Ti)*	9757	mg/kg	0,3	119,5	145,4

Observaciones

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA.
LD: Límite de detección.
Los resultados de suelos, Lodos y sedimentos se expresan en base seca.

CONTROLES DE CALIDAD

Control Blancos

Parámetro	LD	Unidad	Resultado	Fecha de Análisis
Aluminio (Al)	2	mg/kg	< 2	14/11/2018
Antimonio (Sb)	2,5	mg/kg	< 2,5	14/11/2018
Arsenico (As)	3,5	mg/kg	< 3,5	14/11/2018
Bario (Ba)	0,3	mg/kg	< 0,3	14/11/2018
Berilio (Be)	0,3	mg/kg	< 0,3	14/11/2018
Bismuto (Bi)	1,5	mg/kg	< 1,5	14/11/2018
Cadmio (Cd)	0,5	mg/kg	< 0,5	14/11/2018
Calcio (Ca)	0,9	mg/kg	< 0,9	14/11/2018

Pág. 2 de 4

Revisión: 08
Fecha de Revisión: 23/05/2016

Av. República de Argentina N° 1859, Cercado de Lima - Perú Telf: (511) 488-9500
Av. Dolores 167, José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa - Perú Telf: (054) 424-570
www.alsglobal.com



LABORATORIO DE ENSAYO Y ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-029



FDT 001 -02

INFORME DE ENSAYO: 63720/2018

Parámetro	LD	Unidad	Resultado	Fecha de Análisis
Cobalto (Co)	0,8	mg/kg	< 0,8	14/11/2018
Cobre (Cu)	0,8	mg/kg	< 0,8	14/11/2018
Cromo (Cr)	0,9	mg/kg	< 0,9	14/11/2018
Estaño (Sn)	2,5	mg/kg	< 2,5	14/11/2018
Estroncio (Sr)	0,7	mg/kg	< 0,7	14/11/2018
Fosforo (P)	4,5	mg/kg	< 4,5	14/11/2018
Hierro (Fe)	1,2	mg/kg	< 1,2	14/11/2018
Litio (Li)	2,5	mg/kg	< 2,5	14/11/2018
Magnesio (Mg)	2	mg/kg	< 2	14/11/2018
Manganeso (Mn)	1	mg/kg	< 1	14/11/2018
Mercurio (Hg)	0,02	mg/kg	< 0,02	20/11/2018
Molibdeno (Mo)	0,6	mg/kg	< 0,6	14/11/2018
Níquel (Ni)	1	mg/kg	< 1	14/11/2018
Plata (Ag)	0,6	mg/kg	< 0,6	14/11/2018
Plomo (Pb)	2	mg/kg	< 2	14/11/2018
Potasio (K)	2,5	mg/kg	< 2,5	14/11/2018
Selenio (Se)	1,6	mg/kg	< 1,6	14/11/2018
Silicio (Si)	2,4	mg/kg	< 2,4	14/11/2018
Sodio (Na)	9	mg/kg	< 9	14/11/2018
Talio (Tl)	3	mg/kg	< 3	14/11/2018
Titanio (Ti)	0,3	mg/kg	< 0,3	14/11/2018
Vanadio (V)	0,5	mg/kg	< 0,5	14/11/2018
Zinc (Zn)	0,5	mg/kg	< 0,5	14/11/2018

Control Estandar

Parámetro	% Recuperación	Límites de Recuperación (%)	Fecha de Análisis
Aluminio (Al)	84,5	80-120	14/11/2018
Antimonio (Sb)	110,5	80-120	14/11/2018
Arsenico (As)	85,9	80-120	14/11/2018
Bario (Ba)	83,7	80-120	14/11/2018
Berilio (Be)	90,5	80-120	14/11/2018
Bismuto (Bi)	92,3	80-120	14/11/2018
Cadmio (Cd)	83,6	80-120	14/11/2018
Calcio (Ca)	87,3	80-120	14/11/2018
Cobalto (Co)	86,2	80-120	14/11/2018
Cobre (Cu)	99,7	80-120	14/11/2018
Cromo (Cr)	83,6	80-120	14/11/2018
Estaño (Sn)	83,4	80-120	14/11/2018
Estroncio (Sr)	88,2	80-120	14/11/2018
Fosforo (P)	88,7	80-120	14/11/2018
Hierro (Fe)	88,0	80-120	14/11/2018
Litio (Li)	97,8	80-120	14/11/2018
Magnesio (Mg)	82,0	80-120	14/11/2018
Manganeso (Mn)	84,0	80-120	14/11/2018
Mercurio (Hg)	106,8	80-120	20/11/2018
Molibdeno (Mo)	88,7	80-120	14/11/2018
Níquel (Ni)	90,0	80-120	14/11/2018
Plata (Ag)	86,8	80-120	14/11/2018
Plomo (Pb)	87,0	80-120	14/11/2018
Potasio (K)	102,2	80-120	14/11/2018
Selenio (Se)	89,2	80-120	14/11/2018
Silicio (Si)	85,3	80-120	14/11/2018
Sodio (Na)	102,7	80-120	14/11/2018
Talio (Tl)	84,0	80-120	14/11/2018
Titanio (Ti)	92,3	80-120	14/11/2018
Vanadio (V)	86,2	80-120	14/11/2018
Zinc (Zn)	84,9	80-120	14/11/2018

LD = Límite de detección.

Las fechas de ejecución del análisis para los ensayos realizados en las instalaciones del laboratorio, se refiere a las fechas indicadas en las tablas de Controles de Calidad. No Aplica para ensayos tercerizados.



LABORATORIO DE ENSAYO Y ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-029



FDT 001 -02

INFORME DE ENSAYO: 63720/2018

DESCRIPCION Y UBICACION GEOGRAFICA DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO

Estación de Muestreo	Resp.del Muestreo	Tipo de Muestra	Fecha de Recepción	Fecha de Muestreo	Ubicación Geográfica UTM WGS84	Zona	Condición de la muestra	Descripción de la Estación de Muestreo
JAUILLAS-CUSIPATA	Cliente	Sedimentos	08/11/2018	15/09/2018	---	-	Proporcionado por el cliente	Reservado por el cliente
BLANCO	Cliente	Sedimentos	08/11/2018	15/09/2018	---	-	Proporcionado por el cliente	Reservado por el cliente

REFERENCIA DE LOS METODOS DE ENSAYO

(* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA

Ref.	Sede	Parámetro	Método de Referencia	Descripción
8796	ACP	Mercurio	EPA 7471 B, Rev 2, February 2007	Mercury in Solid or Semisolid Waste
10601	LME	Metales por ICP OES	EPA 3050 B: 1996 / EPA 6010 B: 1996	Acid Digestion of Sediments, sludges and soils / Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
9757	LME	Metales por ICP OES*	EPA 3050 B: 1996 / EPA 6010 B: 1996	Acid Digestion of Sediments, sludges and soils / Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry

CÓDIGOS DE AUTENTICIDAD DEL INFORME DE ENSAYO

ALS LS Perú S.A.C. asegura a sus clientes una completa autenticidad del Informe de Ensayo 63720/2018, para que este informe pueda ser verificado en su totalidad. Para comprobar la autenticidad de los mismos en la base de datos de ALS LS Perú S.A.C., visitar el sitio Web www.alsglobal.com e introducir los siguientes códigos de autenticidad que se detallan a continuación:

Estación de Muestreo	N° ALS LS	Código único de Autenticidad
JAUILLAS-CUSIPATA	555897/2018-1.0	msulnlq&5798555
BLANCO	555898/2018-1.0	msulnlq&5898555

ALS LS Perú S.A.C. asegurando la marca y prestigio de su empresa.

COMENTARIOS

Las fechas de ejecución del análisis para los ensayos realizados en campo (Análisis en Campo) corresponden a las fechas de muestreo.

AQP: Av. Dolores 167 - José Luis Bustamante y Rivero - Arequipa.

LME: Av. Argentina 1859 - Cercado - Lima

"EPA": U.S. Environmental Protection Agency.

"SM": Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

"ASTM": American Society for Testing and Materials.

El presente documento es redactado íntegramente en ALS LS Perú S.A.C., su alteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial del presente informe, salvo autorización escrita de ALS LS Perú S.A.C.; sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.

El lote de muestras que incluye el presente informe será descartado a los 30 días calendario de haber ingresado la muestra al laboratorio.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Anexo- 19. Normatividad Nacional e Internacional

10	NORMAS LEGALES	Miércoles 7 de junio de 2017 / El Peruano
<p>Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias</p>	<p>publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;</p> <p>De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;</p>	
<p>DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM</p>		
<p>EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA</p>		
<p>CONSIDERANDO:</p>	<p>DECRETA:</p>	
<p>Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;</p>	<p>Artículo 1.- Objeto de la norma La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.</p>	
<p>Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;</p>	<p>Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.</p>	
<p>Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como 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; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;</p>	<p>Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:</p>	
<p>Que, de acuerdo con lo establecido en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y Límites Máximos Permisibles (LMP) y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga a las propuestas de ECA y LMP, los cuales serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;</p>	<p>3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional</p>	
<p>Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;</p>	<p>a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable</p>	
<p>Que, de conformidad con lo establecido en el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, este ministerio tiene como función específica elaborar los ECA y LMP, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante Decreto Supremo;</p>	<p>Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:</p>	
<p>Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM se aprueban los ECA para Agua y, a través del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprueban las disposiciones para su aplicación;</p>	<p>- A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección</p>	
<p>Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se modifican los ECA para Agua y se establecen disposiciones complementarias para su aplicación;</p>	<p>Entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.</p>	
<p>Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, estableciendo como una de sus funciones específicas, el analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental en el país;</p>	<p>- A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional</p>	
<p>Que, en mérito del análisis técnico realizado se ha identificado la necesidad de modificar, precisar y unificar la normatividad vigente que regula los ECA para agua;</p>	<p>Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.</p>	
<p>Que, mediante Resolución Ministerial N° 072-2017-MINAM, se dispuso la prepublicación del proyecto normativo, en cumplimiento del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad,</p>	<p>- A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado</p>	
	<p>Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como precloración, micro filtración, ultra filtración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.</p>	
	<p>b) Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación</p>	
	<p>Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo que se ubican en zonas marino costeras o continentales. La amplitud de las zonas marino costeras es variable y comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea. La amplitud de las zonas continentales es definida por la autoridad competente:</p>	

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	(µS/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
Amoniaco Total (NH ₃)	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 Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuro	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
Piomo	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
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
ORGÁNICOS						
Compuestos Orgánicos Volátiles						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
BTEX						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hidrocarburos Aromáticos						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bifenilos Policlorados						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
PLAGUICIDAS						
Organofosforados						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
Organoclorados						
Aldrín	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrín	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrín	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Haptacloro	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036

Que, de conformidad con lo previsto en el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la Publicidad, Publicación de Proyectos Normativos y Difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS, y el artículo 39 del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM; corresponde disponer la publicación de la propuesta de metodología en el Diario Oficial El Peruano, antes de la fecha prevista para su entrada en vigencia, con la finalidad de permitir a las personas interesadas formular los comentarios y aportes respectivos;

Con los vistos de la Secretaría General, la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, la Oficina de Asesoría Jurídica, y en uso de las facultades conferidas en la Ley de Recursos Hídricos, el Reglamento de Organización y Funciones de esta autoridad, aprobado por Decreto Supremo N° 06-2010-AG, y modificado por Decreto Supremo N° 012-2016-MINAGRI;

SE RESUELVE:

Artículo 1.- Dispóngase la publicación de la presente resolución en el Diario Oficial El Peruano y del documento denominado "Metodología para la determinación del índice de calidad de agua para los recursos hídricos superficiales en el Perú ICA-PE", en el portal web de la Autoridad Nacional del Agua: www.ana.gob.pe, por el plazo de quince (15) días hábiles, a fin que los interesados remitan sus opiniones y sugerencias a la dirección electrónica siguiente: IndiceCalidadAgua@ana.gob.pe.

Artículo 2.- Encargar a la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos, la recepción y análisis de los aportes y comentarios que se presenten respecto al documento citado en el artículo precedente.

Regístrese, comuníquese y publíquese,

ABELARDO DE LA TORRE VILLANUEVA
Jefe
Autoridad Nacional del Agua

1593024-1

AMBIENTE

Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo

**DECRETO SUPREMO
N° 011-2017-MINAM**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, de acuerdo con lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;

Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como 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; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, según lo dispuesto en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA, las que serán remitidas a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante decreto supremo;

Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de conformidad con el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, esta entidad tiene como función específica elaborar los ECA, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante decreto supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM se aprueban los ECA para Suelo y, a través del Decreto Supremo N° 002-2014-MINAM se aprueban las disposiciones complementarias para su aplicación;

Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 013-2015-MINAM se dictan las reglas para la presentación y evaluación del Informe de Identificación de Sitios Contaminados;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado

— DIARIO OFICIAL DEL BICENTENARIO —

El Peruano

**REQUISITO PARA PUBLICACIÓN DE
NORMAS LEGALES Y SENTENCIAS**

Se comunica a las entidades que conforman el Poder Legislativo, Poder Ejecutivo, Poder Judicial, Organismos constitucionales autónomos, Organismos Públicos, Gobiernos Regionales y Gobiernos Locales, que para efectos de la publicación de sus disposiciones en general (normas legales, reglamentos jurídicos o administrativos, resoluciones administrativas, actos de administración, actos administrativos, etc) con o sin anexos, que contengan más de una página, se adjuntará un CD o USB en formato Word con su contenido o éste podrá ser remitido al correo electrónico normaslegales@editoraperu.com.pe.

LA DIRECCIÓN

ANEXO
ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA SUELO

Parámetros en mg/kg PS ⁽²⁾	Usos del Suelo ⁽¹⁾			Métodos de ensayo ^{(7) (8)}
	Suelo Agrícola ⁽²⁾	Suelo Residencial/ Parques ⁽⁴⁾	Suelo Comercial ⁽⁵⁾ / Industrial/ Extractivo ⁽⁶⁾	
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos aromáticos volátiles				
Benceno	0,03	0,03	0,03	EPA 8260 ⁽⁸⁾ EPA 8021
Tolueno	0,37	0,37	0,37	EPA 8260 EPA 8021
Etilbenceno	0,082	0,082	0,082	EPA 8260 EPA 8021
Xilenos ⁽¹²⁾	11	11	11	EPA 8260 EPA 8021
Hidrocarburos poliaromáticos				
Naftaleno	0,1	0,6	22	EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270
Benzo(a) pireno	0,1	0,7	0,7	EPA 8270
Hidrocarburos de Petróleo				
Fracción de hidrocarburos F1 ⁽¹¹⁾ (C6-C10)	200	200	500	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F2 ⁽¹²⁾ (>C10-C28)	1200	1200	5000	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F3 ⁽¹²⁾ (>C28-C40)	3000	3000	6000	EPA 8015
Compuestos Organoclorados				
Bifenilos policlorados - PCB ⁽¹⁴⁾	0,5	1,3	33	EPA 8082 EPA 8270
Tetracloroetileno	0,1	0,2	0,5	EPA 8260
Tricloroetileno	0,01	0,01	0,01	EPA 8260
INORGÁNICOS				
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Bario total ⁽¹⁵⁾	750	500	2 000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1,4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	**	400	1 000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0,4	0,4	1,4	EPA 3060/ EPA 7199 ó DIN EN 15192 ⁽¹⁶⁾
Mercurio	6,6	6,6	24	EPA 7471 EPA 6020 ó 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051
Cianuro Libre	0,9	0,9	8	EPA 9013 SEMWW-AWWA-WEF 4500 CN F o ASTM D7237 y/o ISO 17690:2015

Notas:

[**] Este símbolo dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para el uso de suelo agrícola.

(1) Suelo: Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad.

(2) PS: Peso seco.

(3) Suelo agrícola: Suelo dedicado a la producción de cultivos, forrajes y pastos cultivados. Es también aquel suelo con aptitud para el crecimiento de cultivos y el desarrollo de la ganadería. Esto incluye tierras clasificadas como agrícolas, que mantienen un hábitat para especies permanentes y transitorias, además de flora y fauna nativa, como es el caso de las áreas naturales protegidas.

(4) Suelo residencial/parques: Suelo ocupado por la población para construir sus viviendas, incluyendo áreas verdes y espacios destinados a actividades de recreación y de esparcimiento.

(5) Suelo comercial: Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla está relacionada con operaciones comerciales y de servicios.

(6) Suelo Industrial/extractivo: Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla abarca la extracción y/o aprovechamiento de recursos naturales (actividades mineras, hidrocarburos, entre otros) y/o, la elaboración, transformación o construcción de bienes.

(7) Métodos de ensayo estandarizados vigentes o métodos validados y que cuenten con la acreditación nacional e internacional correspondiente, en el marco del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo de la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC). Los métodos de ensayo deben contar con el límite de cuantificación que estén por debajo del ECA



**Canadian Sediment Quality
Guidelines for the Protection
of Aquatic Life**

**SUMMARY
TABLES**

Table 1. Interim freshwater sediment quality guidelines (ISQGs; dry weight), probable effect levels (PELs; dry weight), and incidence (%) of adverse biological effects in concentration ranges defined by these values.*

Substance	ISQG	PEL	% ≤ ISQG	ISQG < % < PEL	% ≥ PEL
Acenaphthene [See Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)]					
Acenaphthylene [See Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)]					
Anthracene [See Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)]					
Aroclor 1254 [See Polychlorinated biphenyls (PCBs)]					
Arsenic	5.9 mg·kg ⁻²	17.0 mg·kg ⁻²	5	25	12
Benz(a)anthracene [See Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)]					
Benzo(a)pyrene [See Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)]					
Cadmium	0.6 mg·kg ⁻²	3.5 mg·kg ⁻²	11	12	47
Chlordane	4.50 µg·kg ⁻²	8.87 µg·kg ⁻²	2	17	70
Chromium	37.3 mg·kg ⁻²	90.0 mg·kg ⁻²	2	19	49
Chrysene [See Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)]					
Copper	35.7 mg·kg ⁻²	197 mg·kg ⁻²	4	38	44
DDTs					
DDD [†] (2,2-Bis(<i>p</i> -chlorophenyl)-1,1,-dichloroethane; Dichloro diphenyl dichloroethane)	3.54 µg·kg ⁻²	8.51 µg·kg ⁻²	3	30	85
DDE [†] (1,1-Dichloro-2,2,bis(<i>p</i> -chlorophenyl)-ethene; Diphenyl dichloro ethylene)	1.42 µg·kg ⁻²	6.75 µg·kg ⁻²	6	20	47
DDT [†] (2,2-Bis(<i>p</i> -chlorophenyl)-1,1,1-trichloroethane; Dichloro diphenyl trichloroethane)	1.19 µg·kg ^{-1‡}	4.77 µg·kg ^{-1§}	8	5	59
Dibenz(a,h)anthracene [See Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)]					
Dieldrin	2.85 µg·kg ⁻²	6.67 µg·kg ⁻²	1	10	60
Endrin	2.67 µg·kg ⁻²	62.4 µg·kg ⁻²	1	64	59
Fluoranthene [See Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)]					
Fluorene [See Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)]					

Continued.

Canadian Environmental Quality Guidelines
Canadian Council of Ministers of the Environment, 1999, updated 2001

SUMMARY TABLES

Canadian Sediment Quality Guidelines
for the Protection of Aquatic Life

Table 1. Continued.

Substance	ISQG	PEL	% ≤ ISQG	ISQG < % < PEL	% ≥ PEL
Heptachlor epoxide	0.60 µg·kg ⁻²	2.74 µg·kg ⁻²	3	12	67
Hexachlorocyclohexane [See Lindane]					
Lead	35.0 mg·kg ⁻¹	91.3 mg·kg ⁻¹	5	23	42
Lindane (Hexachlorocyclohexane)	0.94 µg·kg ⁻²	1.38 µg·kg ⁻²	0	50	49
Mercury	0.17 mg·kg ⁻¹	0.486 mg·kg ⁻¹	8	34	36
2-Methylnaphthalene [See Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)]					
Naphthalene [See Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)]					
PAHs [See Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)]					
PCBs [See Polychlorinated biphenyls (PCBs)]					
PCDD/Fs [see Polychlorinated dibenzo- <i>p</i> -dioxins and polychlorinated dibenzofurans]					
Phenanthrene [See Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)]					
Polychlorinated biphenyls (PCBs)					
Aroclor 1254	60 µg·kg ⁻¹ ‡	340 µg·kg ⁻¹ **			
Total PCBs	34.1 µg·kg ⁻¹	277 µg·kg ⁻¹	4	40	50
Polychlorinated dibenzo- <i>p</i> -dioxins and polychlorinated dibenzofurans	0.85 ng·TEQ/kg dw §§	21.5 ng·TEQ/kg dw §§	0 ^{##}	24 ^{##}	46 ^{##}
Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)					
Acenaphthene	6.71 µg·kg ⁻¹ ‡	88.9 µg·kg ⁻¹ §			
Acenaphthylene	5.87 µg·kg ⁻¹ ‡	128 µg·kg ⁻¹ §			
Anthracene	46.9 µg·kg ⁻¹ ‡	245 µg·kg ⁻¹ §			
Benz(<i>a</i>)anthracene	31.7 µg·kg ⁻¹	385 µg·kg ⁻¹	13	6	38
Benzo(<i>a</i>)pyrene	31.9 µg·kg ⁻¹	782 µg·kg ⁻¹	11	16	30
Chrysene	57.1 µg·kg ⁻¹	862 µg·kg ⁻¹	8	14	25
Dibenz(<i>a,h</i>)anthracene	6.22 µg·kg ⁻¹ ‡	135 µg·kg ⁻¹ §			
Fluoranthene	111 µg·kg ⁻¹	2355 µg·kg ⁻¹	8	23	49
Fluorene	21.2 µg·kg ⁻¹ ‡	144 µg·kg ⁻¹ §			
2-Methylnaphthalene	20.2 µg·kg ⁻¹ ‡	201 µg·kg ⁻¹ §			
Naphthalene	34.6 µg·kg ⁻¹ ‡	391 µg·kg ⁻¹ §			
Phenanthrene	41.9 µg·kg ⁻¹	515 µg·kg ⁻¹	4	17	44
Pyrene	53.0 µg·kg ⁻¹	875 µg·kg ⁻¹	7	16	32
Pyrene [See Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)]					
Toxaphene	0.1 µg·kg ⁻¹ ††	— ††			
Zinc	123 mg·kg ⁻²	315 mg·kg ⁻²	5	32	36

* ISQGs and PELs presented here have been calculated using a modification of the NSTP approach (CCME 1995).

† Sum of *p,p'* and *o,p'* isomers.

‡ Provisional; adoption of marine ISQG.

§ Provisional; adoption of marine PEL.

¶ Provisional; adoption of lowest effect level from Ontario (Persaud et al. 1993).

** Provisional; 1% TOC; adoption of severe effect level of 34 µg·g⁻¹ TOC from Ontario (Persaud et al. 1993).

†† Provisional; 1% TOC; adoption of the chronic sediment quality criterion of 0.01 µg·g⁻¹ TOC of the New York State Department of Environmental Conservation (NYSDEC 1994).

‡‡ No PEL derived.

§§ Values are expressed as toxic equivalency (TEQ) units, based on WHO 1998 TEF values for fish.

Note that the incidence of adverse biological effects below the TEL, between the TEL and PEL, and above the PEL were 22%, 24% and 65%, respectively, prior to the application of a safety factor.

**Canadian Sediment Quality Guidelines
for the Protection of Aquatic Life**

SUMMARY TABLES

Table 2. Interim marine sediment quality guidelines (ISQGs; dry weight), probable effect levels (PELs; dry weight), and incidence (%) of adverse biological effects in concentration ranges defined by these values.¹

Substance	ISQG	PEL	% ≤ ISQG	ISQG < % < PEL	% ≥ PEL
Acenaphthene [See Polycyclic aromatic hydrocarbons; (PAHs)]					
Acenaphthylene [See Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)]					
Anthracene [See Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)]					
Aroclor 1254 [See Polychlorinated biphenyls (PCBs)]					
Arsenic	7.24 mg·kg ⁻²	41.6 mg·kg ⁻²	3	13	47
Benz(a)anthracene [See Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)]					
Benzo(a)pyrene [See Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)]					
Cadmium	0.7 mg·kg ⁻²	4.2 mg·kg ⁻²	6	20	71
Chlordane	2.26 μg·kg ⁻²	4.79 μg·kg ⁻²	9	12	17
Chromium	52.3 mg·kg ⁻²	160 mg·kg ⁻²	4	15	53
Chrysene [See Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)]					
Copper	18.7 mg·kg ⁻²	108 mg·kg ⁻²	9	22	56
DDTs					
DDD [†] (2,2-Bis(<i>p</i> -chlorophenyl)-1,1,-dichloroethane; Dichloro diphenyl dichloroethane)	1.22 μg·kg ⁻²	7.81 μg·kg ⁻²	4	11	46
DDE [†] (1,1-Dichloro-2,2,bis(<i>p</i> -chlorophenyl)-ethene; Diphenyl dichloro ethylene)	2.07 μg·kg ⁻²	374 μg·kg ⁻²	5	16	50
DDT [†] (2,2-Bis(<i>p</i> -chlorophenyl)-1,1,1-trichloroethane; Dichloro diphenyl trichloroethane)	1.19 μg·kg ⁻²	4.77 μg·kg ⁻²	8	5	59
Dibenz(a,h)anthracene [See Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)]					
Dieldrin	0.71 μg·kg ⁻² †	4.30 μg·kg ⁻² ‡	4	13	50
Endrin	2.67 μg·kg ⁻² †	62.4 μg·kg ⁻² §			
Fluoranthene [See Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)]					
Fluorene [See Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)]					
Heptachlor epoxide	0.60 μg·kg ⁻² †	2.74 μg·kg ⁻² §			
Hexachlorocyclohexane [See Lindane]					
Lead	30.2 mg·kg ⁻²	112 mg·kg ⁻²	6	26	58
Lindane (Hexachlorocyclohexane)	0.32 μg·kg ⁻²	0.99 μg·kg ⁻²	3	21	26

Continued.

SUMMARY TABLES

Canadian Sediment Quality Guidelines
for the Protection of Aquatic Life

Table 2. Continued.

Substance	ISQG	PEL	% ≤ ISQG	ISQG < % < PEL	% ≥ PEL
Mercury	0.13 mg·kg ⁻¹	0.70 mg·kg ⁻¹	8	24	37
2-Methylnaphthalene [See Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)]					
Naphthalene [See Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)]					
PAHs [See Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)]					
PCBs [See Polychlorinated biphenyls (PCBs)]					
PCDD/Fs [see Polychlorinated dibenzo- <i>p</i> -dioxins and polychlorinated dibenzo furans					
Phenanthrene [See Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)]					
Polychlorinated biphenyls (PCBs)					
Aroclor 1254	63.3 µg·kg ⁻¹	709 µg·kg ⁻¹	1	24	76
Total PCBs	21.5 µg·kg ⁻¹	189 µg·kg ⁻¹	16	37	55
Polychlorinated dibenzo- <i>p</i> -dioxins and polychlorinated dibenzo furans	0.85 ng TEQ/kg dw ^{††}	21.5 ng TEQ/kg dw ^{††}			
Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)					
Acenaphthene	6.71 µg·kg ⁻¹	88.9 µg·kg ⁻¹	8	29	57
Acenaphthylene	5.87 µg·kg ⁻¹	128 µg·kg ⁻¹	7	14	51
Anthracene	46.9 µg·kg ⁻¹	245 µg·kg ⁻¹	9	20	75
Benz(<i>a</i>)anthracene	74.8 µg·kg ⁻¹	693 µg·kg ⁻¹	9	16	78
Benzo(<i>a</i>)pyrene	88.8 µg·kg ⁻¹	763 µg·kg ⁻¹	8	22	71
Chrysene	108 µg·kg ⁻¹	846 µg·kg ⁻¹	9	19	72
Dibenz(<i>a,h</i>)anthracene	6.22 µg·kg ⁻¹	135 µg·kg ⁻¹	16	12	65
Fluoranthene	113 µg·kg ⁻¹	1 494 µg·kg ⁻¹	10	20	80
Fluorene	21.2 µg·kg ⁻¹	144 µg·kg ⁻¹	12	20	70
2-Methylnaphthalene	20.2 µg·kg ⁻¹	201 µg·kg ⁻¹	0	23	82
Naphthalene	34.6 µg·kg ⁻¹	391 µg·kg ⁻¹	3	19	71
Phenanthrene	86.7 µg·kg ⁻¹	544 µg·kg ⁻¹	8	23	78
Pyrene	153 µg·kg ⁻¹	1 398 µg·kg ⁻¹	7	19	83
Pyrene [See Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)]					
Toxaphene	0.1 µg·kg ⁻¹ ‡	—**			
Zinc	124 mg·kg ⁻¹	271 mg·kg ⁻¹	4	27	65

* ISQGs and PELs presented here have been calculated using a modification of the NSTP approach (CCME 1995).

† Sum of *p,p'* and *o,p'* isomers.

‡ Provisional; adoption of freshwater ISQG.

§ Provisional; adoption of freshwater PEL.

Provisional; 1% TOC; adoption of the chronic sediment quality criterion of 0.01 µg·g⁻¹TOC of the New York State Department of Environmental Conservation (NYSDEC 1994).

** No PEL derived.

†† Values are expressed as toxic equivalency (TEQ) units, based on WHO 1998 TEF values for fish.

**Canadian Sediment Quality Guidelines
for the Protection of Aquatic Life**

SUMMARY TABLES**References**

- CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment) 1995. Protocol for the derivation of Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life. CCME EPC-98E. Prepared by Environment Canada, Guidelines Division, Technical Secretariat of the CCME Task Group on Water Quality Guidelines, Ottawa. [Reprinted in Canadian environmental quality guidelines, Chapter 6, Canadian Council of Ministers of the Environment, 1999, Winnipeg.]
- NYSDEC (New York State Department of Environmental Conservation). 1994. Technical guidance for screening contaminated sediments. Prepared by the Division of Fish and Wildlife and the Division of Marine Resources. November 22, 1993. New York.
- Persaud, D., R. Jaagumagi, and A. Hayton. 1993. Guidelines for the protection and management of aquatic sediment quality in Ontario. Ontario Ministry of the Environment, Water Resources Branch, Toronto.

Reference listing:

Canadian Council of Ministers of the Environment. 2001. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: Summary tables. Updated. In: Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.

For further scientific information, contact:

Environment Canada
Guidelines and Standards Division
351 St. Joseph Blvd.
Hull, QC K1A 0H3
Phone: (819) 953-1550
Facsimile: (819) 953-0461
E-mail: ceqg-rcqe@ec.gc.ca
Internet: <http://www.ec.gc.ca>

For additional copies, contact:

CCME Documents
c/o Manitoba Statutory Publications
200 Vaughan St.
Winnipeg, MB R3C 1T5
Phone: (204) 945-4664
Facsimile: (204) 945-7172
E-mail: spccme@chc.gov.mb.ca

© Canadian Council of Ministers of the Environment 2001
Excerpt from Publication No. 1299; ISBN 1-896997-34-1

Aussi disponible en français.