

ESTADO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO – LAGO TITICACA

Linea de Base de la calidad del agua en la Bahía Interior de Puno
Proyecto Piloto 07-P-02 “Estudio Técnicas de Fitorremediación en cuerpos de agua afectados por aguas residuales domésticas. Bahía Interior de Puno”



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



ESTADO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO - LAGO TITICACA

Línea de Base de la calidad del agua en la Bahía Interior de Puno
Proyecto Piloto 07-P-02 “Estudio Técnicas de Fitorremediación en cuerpos de agua afectados por aguas residuales domésticas. Bahía Interior de Puno”



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



ESTADO PLURINACIONAL DE
BOLIVIA
MINISTERIO DE
RELACIONES EXTERIORES



ESTADO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO - LAGO TITICACA

Editado por:

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAD PARA EL DESARROLLO - PNUD.

Av. Jorge Chavez Nº 275 - Urb. Surquillo - Miraflores

Lima - Perú

1ra Edición - Mayo 2022

Tiraje: 1000 ejemplares

HECHO EL DEPÓSITO LEGAL EN LA BIBLIOTECA NACIONAL DEL PERÚ Nº 2022-04512

Se terminó de imprimir en mayo del 2022 en:

Industria Gráfica Altiplano E.I.R.L.

Jr. Micaela Bastidas Nº 340

Puno - Perú

Estado de la calidad del agua en la Bahía Interior de Puno - Lago Titicaca

Línea de Base de la calidad del agua en la Bahía Interior de Puno

Proyecto Piloto 07-P-02 "Estudio Técnicas de Fitorremediación en cuerpos de agua afectados por aguas residuales domésticas. Bahía Interior de Puno"

En el marco de las acciones de la Comisión Multisectorial para la Prevención y Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago Titicaca y sus Afluentes (Ley N° 29906 y D.S. N° 075-2013-PCM), de la que la Autoridad Nacional del Agua forma parte; el Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF, del inglés Global Environment Facility) aprobó el financiamiento del Proyecto 00087268 - 00094352 "Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en el Sistema Titicaca-Desaguadero-Poopó-Salar de Coipasa (TDPS)", por USD 6 563 750, cuyo segundo componente está enfocado en desarrollar 11 proyectos piloto que generen aprendizajes para la gestión de los recursos del TPDS. Ello forma parte de los múltiples esfuerzos binacionales orientados a revertir los severos problemas de contaminación y degradación de los sistemas socioecológicos altioplánicos, y a implementar enfoques de gestión integrada de recursos hídricos transfronterizos, que permitan fortalecer la resiliencia de estos sistemas a las crecientes presiones producto de los acelerados procesos insostenibles de urbanización, a la inadecuada gestión ambiental de las actividades productivas, y a los cada vez más evidentes efectos del cambio climático.

Así, la Autoridad Nacional del Agua mediante la Autoridad Administrativa del Agua XIV Titicaca y el Área Técnica en Calidad de los Recursos Hídricos, formuló y viabilizó 2 de los 4 proyectos piloto de ANA, uno de ellos es el Proyecto Piloto 07-P-02 "Estudio Técnicas de Fitorremediación en cuerpos de agua afectados por aguas residuales domésticas - Bahía Interior de Puno" con un presupuesto de 1,5 millones de dólares. Con el propósito de coadyuvar a la recuperación de la calidad ambiental de la bahía interior de Puno, mediante procesos físicos y técnicas de fitorremediación, este piloto permitirá recuperar la capacidad de resiliencia de un ecosistema mayor, como el Lago Titicaca. Por tanto, si se implementa en mayores extensiones de la Bahía, la oferta de los servicios ecosistémicos de los cuerpos de agua se verá beneficiada directamente al recuperar los procesos ecológicos que deben producirse de manera natural; los mismos que redundan en la reducción de riesgos de salud (bioacumulación y biomagnificación) para la biota (flora y fauna) y la salud humana.

A continuación presentamos la Línea de Base de la calidad del agua en la Bahía Interior de Puno (Lago Titicaca) como resultado de la evaluación de la información oficial disponible de la calidad del agua superficial elaborada por la Autoridad Nacional del Agua en el marco de los monitoreos participativos realizados en el Lago Titicaca desde 2013 y, los estudios realizados en el marco del Proyecto Piloto 07-P-02.

Presidente de la República
Prof. José Pedro Castillo Terrones

Ministro de Desarrollo Agrario y Riego
Javier Fernando Arce Alvarado

Jefe de la Autoridad Nacional del Agua
Ph. D. Pablo Huerta Fernández

Ing. Miguel Enrique Fernández Mares.
Director de la Autoridad Administrativa del Agua XIV Titicaca

Ing. Walter Canaza Quispe
Coordinador del Área Técnica de la AAA XIV Titicaca

Blgo. Richard Wilberth Apaza Arpasi
Especialista en calidad de los recursos hídricos de la AAA XIV Titicaca.
Coordinador del Proyecto Piloto 07-P-02

Proyecto 00087268 - 00094352 "Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en el Sistema Titicaca-Desaguadero-Poopó-Salar de Coipasa (TDPS)"

Blga. Danna Lara Holguín
Coordinadora Binacional del Proyecto GIRH TDPS

Ing. Rocío Gómez Paredes.
Profesional responsable del Proyecto Piloto 07-P-02 "Estudio Técnicas de Fitorremediación en Cuerpos de Agua Afectados por Aguas Residuales Domésticas. Bahía Interior de Puno"

Ing. Jhon Lewis Soncco Juanito
Técnico Ambiental de apoyo para la implementación de Proyecto Piloto 07-P-02.

Diagramado y sistematizado por:
Dr. Jose Luis Vilca Ticona

El Sistema Hídrico TDPS

Descripción

El TDPS es el sistema hídrico formado por las cuencas hidrográficas de:

Lago Titicaca	T	Sistema TDPS
Río Desaguadero	D	
Lago Poopó	P	
Salar de Coipasa,	S	

El sistema TDPS es una cuenca endorreica, sin salida al mar, cuya área se encuentra ubicada entre Perú, Bolivia y Chile. Abarca gran parte del departamento de Puno - Perú, su extensión es equivalente al 33,9% del TDPS; asimismo abarca los departamentos de La Paz y Oruro - Bolivia con una extensión equivalente al 60,8% del TDPS y una pequeña parte que está en territorio chileno equivalente al 5,2% del área total del sistema TDPS.

La máxima altitud de la región es el monte Sajama que llega hasta los 6 542 msnm; y la mínima, es el Salar de Coipasa con una altitud de 3 653 msnm.

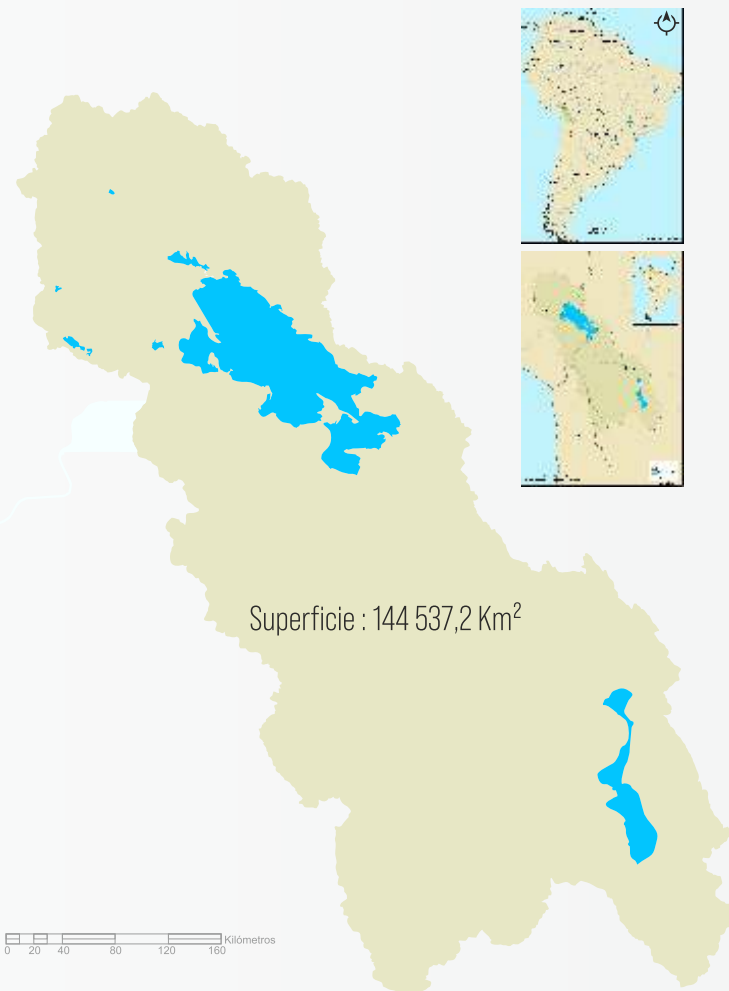
El altiplano del Sistema está enmarcado por la Cordillera de los Andes que se bifurca al sur de Perú en dos ramales, la Cordillera Occidental y la Oriental o Real. Esta última separa al Sistema TDPS de las cuencas del Amazonas por el noreste y del Río de la Plata por el sureste. El altiplano se conforma por una serie de llanuras, serranías y cerros aislados.

Los ecosistemas del Sistema TDPS se clasifican en 3 grandes grupos:

Ecosistemas de Puna, consideran a la Puna húmeda que incluye a Bofedales o humedales, Chillihuales o chilliguales y Arbustales de saturaja; y la Puna seca, árida y muy árida que incluye a Bofedales, Pajonales de "iru ichu", Chillihuales y Gramadales.

Ecosistemas del Piso Altoandino, consideran al Piso altoandino húmedo y subhúmedo con Bofedales y Gramadal altoandino; y, el Piso altoandino seco y árido, con Bofedales, Tolares, Gramadales y Matorrales de *Polylepis*.

Ecosistemas acuáticos, entre los lagos, los más importantes son el Titicaca (conformado por el Lago Mayor, el Lago Menor y la Laguna de Arapa), el Poopó, el Uru Uru y las lagunas de Soledad y Coipasa. Entre los ríos, los más destacados por su tamaño son: Ramis, llave, Coata, el Huancané, Súchez, Hichu Khota, Lineo, Tihuanacu y Keka.



El Lago Titicaca

Sus características

El lago Titicaca es único en el mundo.

Es el mayor lago de agua dulce de América del Sur.

Es el más alto (3 810 msnm) de los grandes lagos del mundo.

Es 1 de los 20 veinte lagos más antiguos en la Tierra, se formó hace unos 9 000 años.

Es el mayor lago transfronterizo del continente, compartido entre Perú y Bolivia.

Se encuentra al interior de un sistema endorreico; el drenaje superficial de sus aguas no alcanza el mar y se pierde en depresiones y salares del sur del Altiplano. Alimentado principalmente por el río Ramis (Perú), y las lluvias durante unos pocos meses, la mayor parte de las pérdidas de agua se da por su intensa tasa de evaporación.

La estratificación térmica de sus aguas es muy débil; la radiación solar es intensa y penetra a gran profundidad en sus aguas transparentes, durante todo el año. Y, al estar ubicado geográficamente en una zona tropical, pero a gran altura, está sujeto a condiciones climáticas alpinas; en consecuencia, sus aguas nunca se congelan.

Por su dimensión, el Lago Titicaca tiene una influencia notoria en el clima local de la región norte del Altiplano, altamente favorables a las actividades agro-pastorales, así como a la pesca y la piscicultura, que contrastan con las condiciones áridas del sur del Altiplano, caracterizado por los salares de Coipasa y Uyuni.

Estas condiciones, favorables a la vida, han ayudado al florecimiento de asentamientos humanos y civilizaciones con una enorme riqueza cultural que se han extendido a todo el continente. Hoy, el "Lago Sagrado" asegura directamente la vida productiva y cultural de más de 3 millones de habitantes. (M. Pouilly; X. Lazzaro; D. Point; M. Aguirre, 2014).



En la meseta del Collao (Perú y Bolivia)
Altitud: 3 810 m.s.n.m. (variable).



36 islas
Taquile, Amantani, Isla del Sol y de la Luna, Soto y otros



Longitud (largo máximo): 194 Km.
Ancho (ancho máximo): 65 Km.



Volumen total: 891 Km³
(equivalente a 891 000 000 litros)



13°C Temperatura promedio anual
Aguas frías y transparentes



Aportantes (afuentes)
Río Ramis, con un caudal promedio de 88,2 m³/s
Río Javea, con un caudal promedio de 40,1 m³/s
Río Coata, con un caudal promedio de 39,3 m³/s
Río Huancané, con un caudal promedio de 23,7 m³/s
Río Suches, con un caudal promedio de 8,40 m³/s
Río Ulla, con un caudal promedio de 7,5 m³/s
Su caudal promedio total es 188,8 m³/s, y equivale a 6 269,36 Hm³ de agua dulce/año.



Efluentes
Río Desaguadero, con un caudal promedio de 35 m³/s

El abastecimiento del lago se hace con la lluvia (47%) y con el agua de los ríos (53%), principalmente el río Ramis (Roche et al. 1992). El lago pierde agua mediante la evaporotranspiración (91%) y el desagua en el río Desaguadero (9%).



Flora
En la flora acuática tenemos la totora formando importantes comunidades conocidas como totorales:
Perú: 26 640,18 Hectáreas
Bolivia: 15 909,91 Hectáreas

En la flora tenemos también los "lachus", y otras macrófitas.



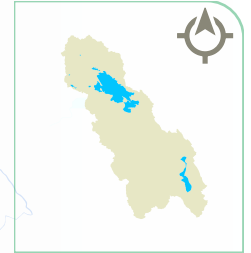
Fauna
64 especies de aves: patos, queñola, zambullidor del Titicaca, tiquicho, choka, huakana, gaviota, y otros.



Anfibios: Géneros *Telmatobius*, *Pleuroderma*, *Bufo*, *Gastrotheca* conocidos como Sapos, k'airas, qelli, o "ranas".



Los peces nativos son de 2 géneros: Orestias con varias especies (carachi negro, carachi amarillo, boga, gringuito o ispi) y *Trichomycterus* (suche y mauri). Además, en los peces introducidos tenemos a la trucha y el pejerrey argentino



0 10 20 40 60 80 Kilómetros

Destacan también dentro de la importante comunidad biológica, el fitoplancton, zooplancton, y una fauna béntica compuesta por briozoarios, celerenterados, esponjas, oligoquetos, triciádidos, moluscos, ostrácodos, anfibios, hidrocarídidos e insectos

El Lago Titicaca

Los sectores del Lago Titicaca, su formación

Está conformada por 4 sectores o zonas morfométricas y batimétricas bien definidas: el lago Mayor o Chucuito, la bahía Mayor de Puno, la bahía Interior de Puno y el lago Menor o Huiñaymarca.

Bahía de Puno

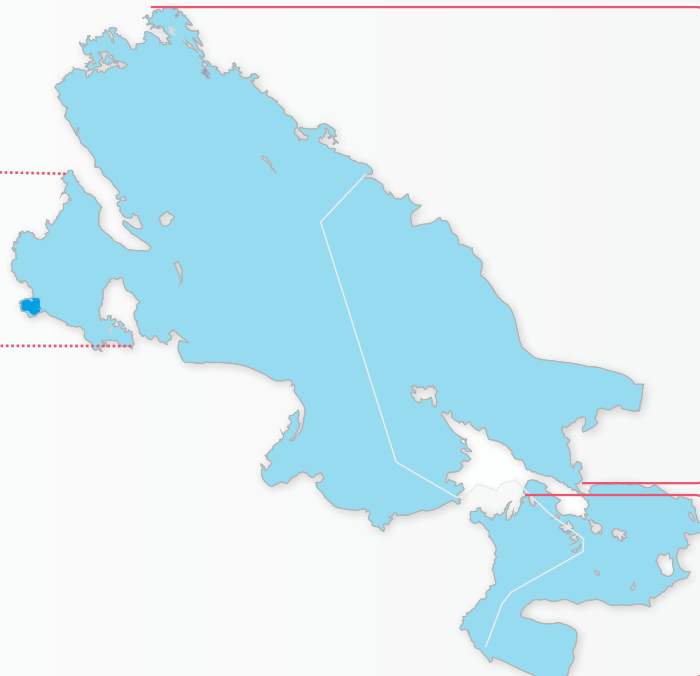
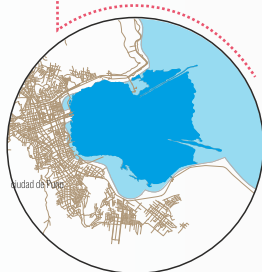
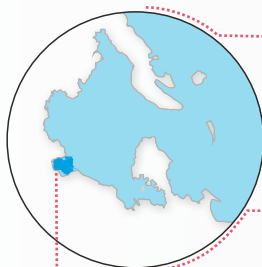


Sector ubicado entre la península de Capachica y la península de Chucuito. Posee una superficie aproximada de 540 km². Profundidad media de 35 m. En la zona norte desemboca el río Coata. Alberga 29 150 Ha de totorales que constituyen gran parte de la Reserva Nacional del Titicaca, e incluye las islas de los Uros, cuya población actual bordea los 2500 habitantes.

Bahía Interior de Puno



Ubicada entre la Isla Estevez y el sector Chimú



Lago Mayor



Tiene aproximadamente 6 500 km² de superficie. Volumen: 878,7 km³ [94,5 % respecto al total] La profundidad máxima: 285 m, más de los 2/3 tienen una profundidad superior a 150 m

Estrecho de Tiquina

Lago Menor

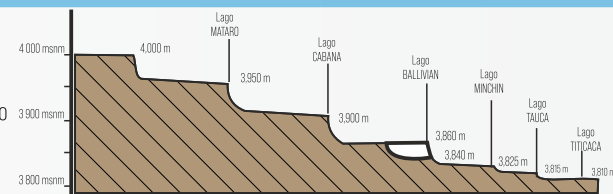


Con aproximadamente 1500 km² de superficie. Volumen: 12,36 km³ [5,5 % respecto al total] La profundidad máxima sólo alcanza 40 m, la mayor parte tiene solo entre 5 a 10 metros



Formación del Lago Titicaca

El sistema lacustre actual del Altiplano resulta de la evolución de un sistema más antiguo que comienza desde el Pleistoceno inferior con la transición al fin del Plioceno, de un clima relativamente caliente a un clima frío y húmedo. La existencia y el tamaño de los lagos se relacionan directamente a la recesión de los glaciares a principio de los períodos interglaciares. Es en el Pleistoceno inferior, posteriormente al lago Cabana y antes del lago Ballivián, que se crea la fosa tectónica que va a ser ocupada por el lago Titicaca actual.



Encajonamiento de los diferentes niveles lacustres en el norte del Altiplano (Tomado de Dejoux e Illitis, 1991)

La Bahía Interior de Puno, Lago Titicaca

Caracterización de la Bahía Interior de Puno

La Bahía Interior de Puno se ubica alrededor de las orillas del Lago Titicaca en el departamento, provincia y distrito de Puno, a 3 810 msnm; en el extremo Nor-Este del Lago Titicaca.

Ecología

La **zona de vida (Holdridge)** en la que se encuentra es *Bosque Húmedo montano subtropical (bh-MS)*.

La **ecorregión** a la que pertenece es **PUNA HÚMEDA DEL TITICACA**

La **Región natural** (según Pulgar Vidal) es **SUNI (3 500 - 4 100 msnm)**

Superficie:

La Bahía Interior de Puno posee 17,3 km² de extensión, es un espejo de agua de forma elíptica y mide 2,4 km de ancho desde Isla Esteves hasta la Isla Espinar y una longitud de 3,5 km desde el Puerto Puno hasta la boca del canal hacia Chimu

Morfometría

Es un cuerpo de agua casi "cerrado", debido a la presencia de barreras naturales formadas por totorales que la separan de la bahía Mayor de Puno, condición que limita el intercambio de agua con esta última.

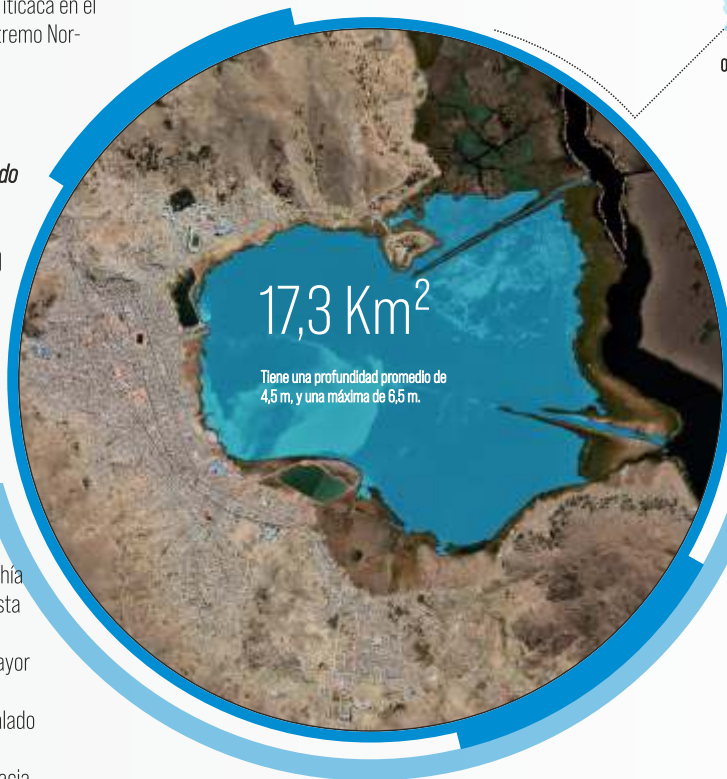
La conexión hidráulica entre la bahía Interior de Puno y la bahía Mayor de Puno es solo a través de dos canales estrechos: el canal de navegación principal, que permite el tránsito de barcos de gran calado entre el puerto de Puno, Tiquina y Guaqui, en Bolivia; y un canal pequeño que facilita la navegación de embarcaciones turísticas hacia las islas flotantes de los Uros.

Las barreras naturales que la separan de la bahía Mayor evitan que las aguas eutrofizadas de la bahía Interior de Puno fluyan hacia el exterior, lo que impide la afectación de la calidad del agua en la captación Chimu, desde donde la Empresa Municipal de Saneamiento de Puno (EPS EMSAPUNO) capta agua para su potabilización para el consumo poblacional en gran parte de la ciudad de Puno.

Batimetría.

Según estudios presentados en 2021 por la Autoridad Binacional Autónoma del Lago Titicaca (ALT), en la Bahía Interior de Puno la profundidad mínima es de 2,1 m y la máxima, de 4,8 m.

Estudios de 2003 señalaban que la profundidad máxima encontrada era de 8 m y en promedio de aproximadamente 2,4 m; el área de superficie menor a 2 m de profundidad corresponde al 50% del área total de la Bahía Interior de Puno.



0,2% de la superficie del lago Titicaca (8 400 km²).

La bahía interior del Lago Titicaca (**código Pfafstetter 0 nivel 1**) pertenece al sistema hidrográfico del Titicaca. Se encuentra en jurisdicción de la Autoridad Administrativa del Agua XIV Titicaca.

Población y economía

El distrito de Puno cuenta con una población de 135 288 habitantes, de las cuales, **125 018 habitantes** están en la ciudad de Puno (INEI, 2017).

La economía de la ciudad de Puno está relacionada a la dinámica como capital del departamento del mismo nombre, la ciudad de Puno; que además contrasta con la actividad turística, dado que el lago Titicaca es considerado como maravilla natural, sitio RAMSAR, y lago navegable más alto del mundo; es el segundo destino turístico internacional del Perú.

Además están las islas flotantes de Los Uros, una milenaria cultura. Y, se tiene un Área Natural Protegida, como la Reserva Nacional del Titicaca.

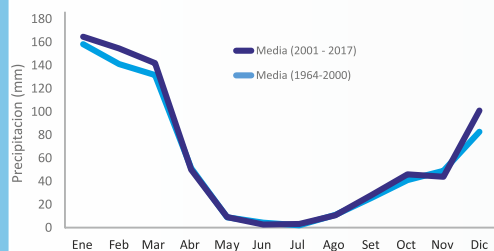
La Bahía Interior de Puno

El clima en la Bahía Interior de Puno

Puno es un departamento de orografía y condiciones climáticas complejas, albergando 18 tipos de climas de acuerdo al Mapa de Clasificación Climática del Perú (SENAMHI, 2020); en específico, la Bahía Interior de Puno está considerada en el tipo climático **B(0, i)C'** caracterizado por ser Frío, Lluvioso con otoño e invierno secos.

Los principales parámetros climáticos que caracterizan a la Bahía Interior de Puno, como precipitación, temperatura, humedad relativa y otros, se registran en la Estación Meteorológica Automática (EMA) PUNO del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

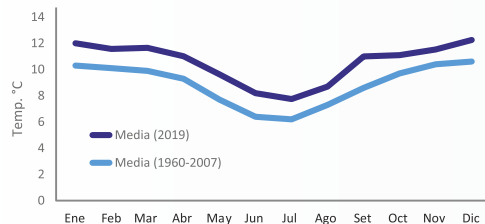
Figura 1. Precipitación media mensual en la Estación Puno



La temporada más mojada o lluviosa dura 3,4 meses, de 14 de diciembre a 25 de marzo, con una probabilidad de más del 19 % de que cierto día será un día mojado. La probabilidad máxima de un día mojado es del 38 % el 14 de enero.

La temporada más seca dura 8,6 meses, del 25 de marzo al 14 de diciembre. La probabilidad mínima de un día mojado es del 0 % el 18 de julio.

Figura 2. Temperatura media mensual en la Estación Puno

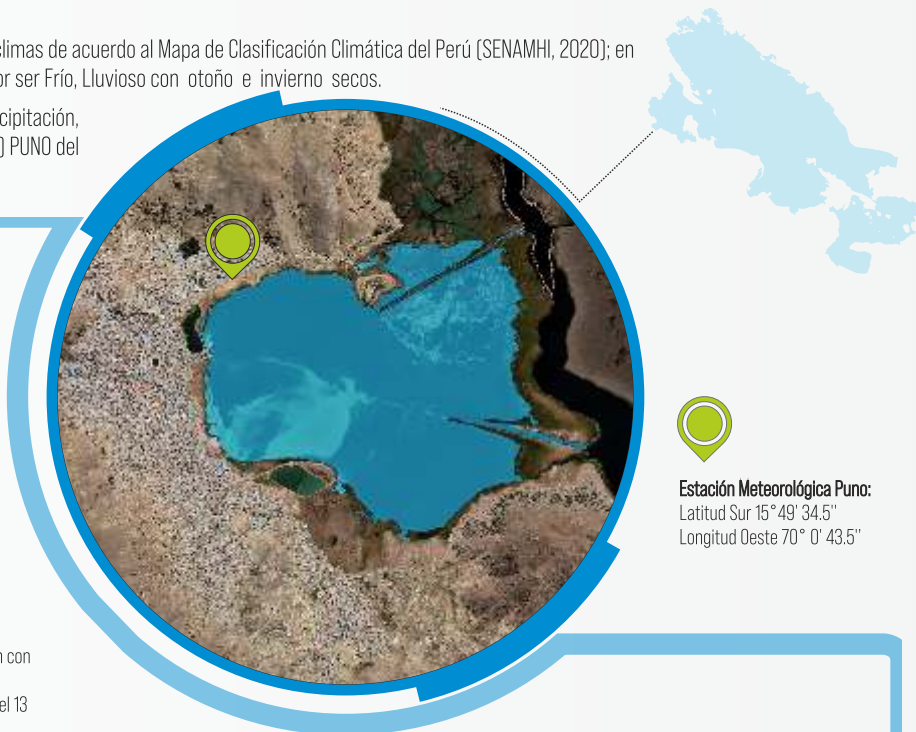


La temperatura guarda estrecha relación con la altitud y la variación estacional.

La temporada templada dura 2 meses, del 13 de octubre al 14 de diciembre, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 16 °C. El día más caluroso del año es el 12 de noviembre, con una temperatura máxima promedio de 17 °C y una temperatura mínima promedio de 5 °C.

La temporada fría dura 1,7 meses, del 9 de junio al 31 de julio, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 15 °C. El día más frío del año es el 14 de julio, con una temperatura mínima promedio de -4 °C y máxima promedio de 14 °C.

Ello se relaciona con los altos índices de radiación UV máximo (cielo despejado y mediodía solar) registrados en Puno.



Estación Meteorológica Puno:
Latitud Sur 15° 49' 34.5"
Longitud Oeste 70° 0' 43.5"

La humedad relativa: El promedio anual de la humedad relativa varía en función al periodo lluvioso, ésta es más alta en el periodo diciembre-marzo que el periodo mayo-noviembre, es decir que las precipitaciones definen el grado de la humedad relativa del ambiente. El valor de ésta fluctúa entre 40% y 70%.

El Viento: La velocidad promedio del viento por hora en Puno tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año.

La parte más ventosa del año dura 5,5 meses, del 17 de octubre al 2 de abril, con velocidades promedio del viento de más de 10,8 kilómetros por hora. El día más ventoso del año es el 4 de febrero, con una velocidad promedio del viento de 12,4 kilómetros por hora.

El tiempo más calmado del año dura 6,5 meses, del 2 de abril al 17 de octubre. El día más calmado del año es el 5 de mayo, con una velocidad promedio del viento de 9,3 kilómetros por hora.

La Bahía Interior de Puno

Fuentes contaminantes en la Bahía Interior de Puno

Una fuente de contaminación (FC) de los recursos hídricos, es toda aquella que contiene agentes contaminantes, al llegar directa o indirectamente, a un cuerpo natural de agua superficial o subterránea puede alterar las condiciones de calidad natural (física, química y biológica); hasta el punto de poner en riesgo su capacidad de uso y afectar las condiciones del ecosistema acuático.

En el sector de la Bahía Interior de Puno, se realizaron tres (03) actividades de identificación de fuentes contaminantes, las cuales fueron desarrolladas en los años 2015, 2016. En marzo de 2017 se presentó el Libro "**Fuentes Contaminantes en la Cuenca del Lago Titicaca**", referido a la información consolidada de las actividades de identificación de fuentes contaminantes en la cuenca del Lago Titicaca.

En ese contexto y de acuerdo con la Resolución Jefatural N° 136-2018-ANA que aprueba los "*Lineamientos para la Identificación y seguimiento de fuentes contaminantes relacionadas a los recursos hídricos*"; en el sector de la Bahía Interior de Puno se identificaron trece (13) fuentes contaminantes:

Tabla 1. Identificación de fuentes contaminantes en la Bahía Interior de Puno

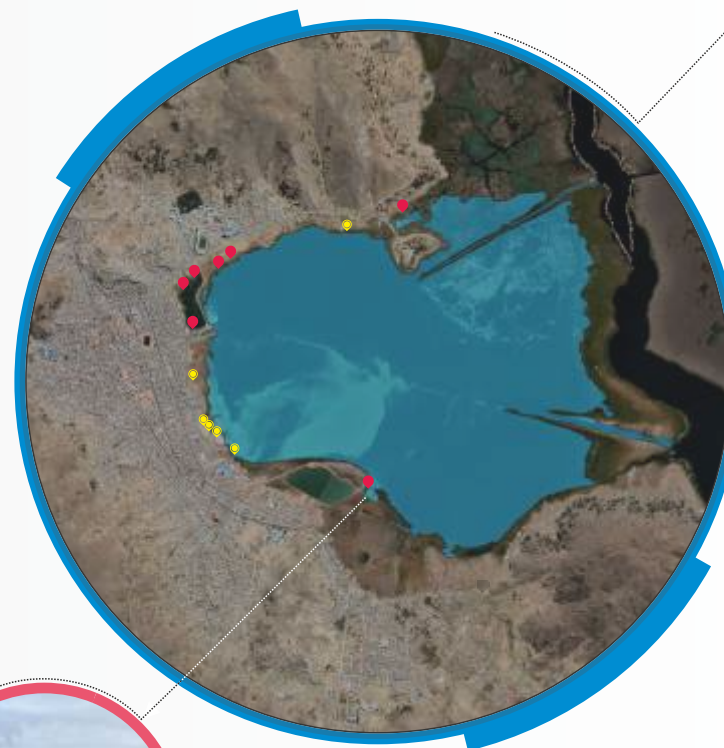
Naturaleza	Tipo	Número	Subtotal
● Aguas residuales	Domésticas	04	7
	Municipal	03	
● Residuos sólidos	Gestión municipal	06	6
		Total	13

Fuente: Proyecto Piloto 07-P-02, 2021

Al sur de la ciudad de Puno, a menos de 150 m del casco urbano y muy cerca de la Bahía Interior de Puno, se ubican las lagunas de oxidación de aguas residuales conocidas como "El Espinar" a cargo de la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento EMSAPUNO S.A.; que colapsaron porque el caudal de aguas residuales (**175 L/s aproximadamente**) sobrepasó hace mucho tiempo el caudal de diseño, situación que actualmente genera eutroficación y malos olores que afecta a la población y al turismo.



Identificación de fuentes contaminantes en la Bahía Interior de Puno



La dispersión del vertimiento y su carga contaminante, desde el punto de descarga en el interior del cuerpo de agua, es influenciada por la predominancia de la dirección suroeste de las corrientes superficiales; y limitada por las barreras físicas que señalamos (toterales).

La Bahía Interior de Puno

Fuentes contaminantes en la Bahía Interior de Puno

La ciudad de Puno cuenta con más de 125 018 habitantes que cuenta con el servicio de alcantarillado a cargo de la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento EMSAPUNO S.A. que conducen las aguas residuales domésticas a las lagunas facultativas de Puno (Isla Espinar); que posteriormente se vierten con más de 175 Litros por segundo (L/s) de aguas residuales hacia el cuerpo de agua (Bahía Interior de Puno) del Lago Titicaca, lo cual podría significar:

- 1 segundo → 175 Litros
- 1 minuto → 10 500 Litros
- 1 hora → 630 000 Litros
- 1 día → 15 120 000 Litros
- 1 año → 5 518 800 000 Litros
5 518 8 Hm³

De aguas residuales sin un tratamiento adecuado, que **NO** cumplen con los **Límites Máximos Permisibles (LMP)** para efluentes de Plantas de Tratamiento de Agua Residuales Domésticas o Municipales (PTAR)

Generando el aporte de carga contaminante que se acumula en la columna de agua y sedimentos de la Bahía Interior de Puno causando múltiples impactos ambientales negativos. En adelante, el proyecto piloto 07-P-02 evaluará la calidad del agua en dicho cuerpo de agua.

Tabla 2. Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de Tratamiento de Agua Residuales Domésticas o Municipales (PTAR)

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de aguas
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	10 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6,5 - 8,5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

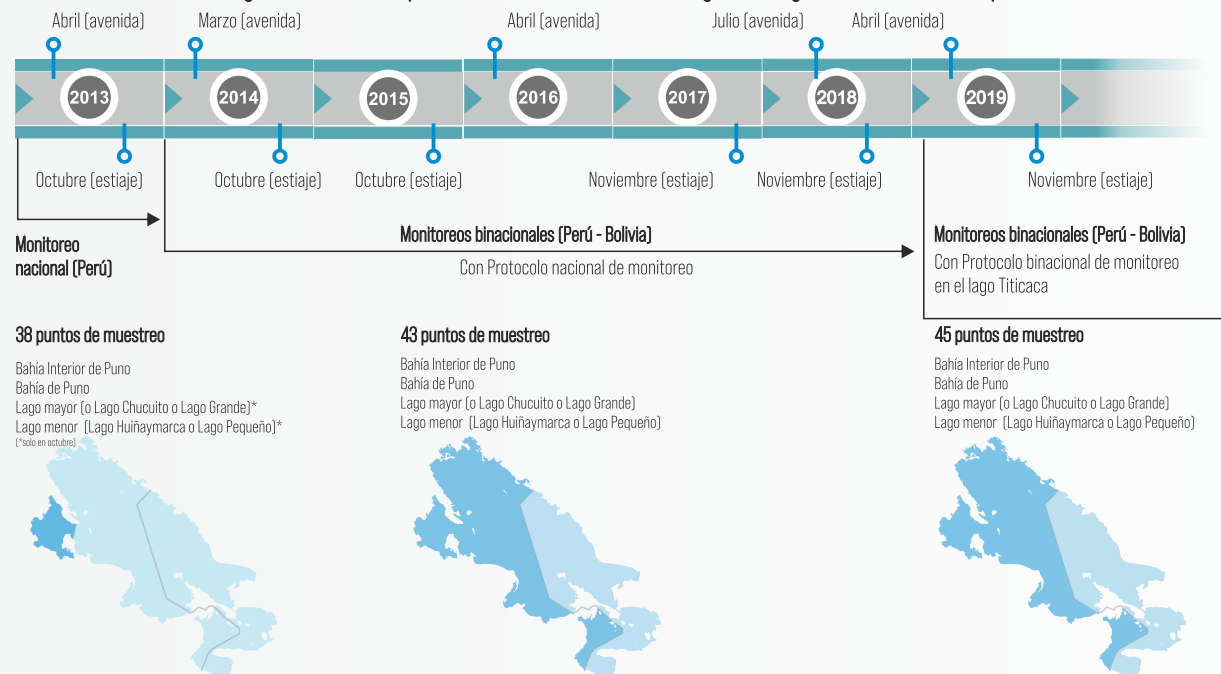
Fuente: Decreto Supremo N° 03-2010-MINAM

Calidad del agua del Lago Titicaca

Monitoreo de la calidad del agua en el Lago Titicaca

En el Perú, de manera oficial, **la Autoridad Nacional del Agua (ANA)** como organismo adscrito al **Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego** (antes, Ministerio de Agricultura y Riego), en abril de 2013 realizó el primer monitoreo participativo de la calidad del agua superficial en la bahía interior de Puno y bahía de Puno - lago Titicaca; en adelante se realizaron diversas actividades oficiales de maneja binacional con participación de Bolivia. Los resultados de parámetros *in situ* y de análisis de muestras en Laboratorio Acreditado por el Instituto Nacional para la Calidad (INACAL), se comparan con los valores establecidos en la Categoría 4 de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua.

Figura 3. Línea de tiempo de las acciones de monitoreo del agua en el lago Titicaca desarrolladas por la ANA



Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua se actualizaron 2 veces, a partir de su aprobación en 2008.

El Ministerio del Ambiente (MINAM) dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y LMP y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga, las propuestas de ECA y LMP, para su aprobación mediante Decreto Supremo.

(Numeral 33.1 del Artículo 33° de la Ley General del Ambiente, Ley N° 28611).

Aprobación

D.S. 002-2008-MINAM
(30 de julio de 2008)

Categoría 1: 82 parámetros
Categoría 2: 23 parámetros
Categoría 3: 57 parámetros
Categoría 4: 27 parámetros

Actualización 1

D.S. 015-2015-MINAM
(19 de diciembre de 2015)

Categoría 1: 75 parámetros
Categoría 2: 30 parámetros
Categoría 3: 51 parámetros
Categoría 4: 49 parámetros

Actualización 2

D.S. 004-2017-MINAM
(07 de junio de 2017)

Categoría 1: 76 parámetros
Categoría 2: 29 parámetros
Categoría 3: 49 parámetros
Categoría 4: 49 parámetros

Evaluación de la Calidad del agua del Lago Titicaca

En la Bahía Interior de Puno

La Autoridad Nacional del Agua con el propósito de evaluar la calidad ambiental del agua del Lago Titicaca, desarrolló monitoreos participativos desde 2013, en el marco de la protección y conservación de los recursos hídricos.

El Lago Titicaca se encuentra clasificado en la Categoría 4: Conservación de ambiente acuático, Subcategoría E1: Lagunas y lagos, de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua; según la Resolución Jefatural 056-2018-ANA (Clasificación de cuerpos de agua continentales superficiales).

Se tuvo establecida una red de muestreo (2013-2018), para monitorear la calidad del agua, con 43 puntos; distribuidos del siguiente modo:

- Bahía Interior de Puno, con 11 puntos de muestreo
- Bahía de Puno, con 10 puntos de muestreo
- Lago mayor - Sector Peruano, con 16 puntos de muestreo
- Lago menor - Sector Peruano, con 06 puntos de muestreo.

En esta red de muestreo se realizaron un total de 9 monitoreos desde Abril 2013 a noviembre 2018.

En marzo de 2019 con participación del Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) de Perú a través de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y del Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) de Bolivia, se aprobó el *Protocolo binacional para el monitoreo de la calidad del agua del lago Titicaca*, el cual establece por consenso binacional una red de monitoreo actualizada de 73 puntos de monitoreo.

La vigente red de muestreo para monitorear la calidad del agua, cuenta para el sector peruano con 45 puntos:

- Bahía Interior de Puno, con 06 puntos de muestreo
- Bahía de Puno, con 09 puntos de muestreo.
- Lago mayor, con 23 puntos de muestreo.
- Lago menor, con 07 puntos.

En esta red de muestreo se realizaron un total de 2 monitoreos: Abril 2019 y noviembre 2019.

Tabla 3. Red de puntos de muestreo en la Bahía Interior de Puno (2013-2018).

Código	Descripción	Coordenadas UTM WGS84	
		Este (m)	Norte (m)
Blnte01	Bahía Interior de Puno	391 402	8 249 013
Blnte02	Bahía Interior de Puno	392 656	8 249 544
Blnte03	Bahía Interior de Puno	393 018	8 248 669
Blnte04	Bahía Interior de Puno	392 040	8 248 425
Blnte05	Bahía Interior de Puno	392 710	8 247 780
Blnte06	Bahía Interior de Puno	394 477	8 249 053
Blnte07	Bahía Interior de Puno	394 623	8 248 197
Blnte08	Bahía Interior de Puno	394 132	8 247 621
Blnte09	Bahía Interior de Puno	393 377	8 247 327
Blnte10	Bahía Interior de Puno, zona Achalani	394 641	8 246 844
Blnte11	Bahía Interior de Puno, zona Achalani	395 452	8 247 654

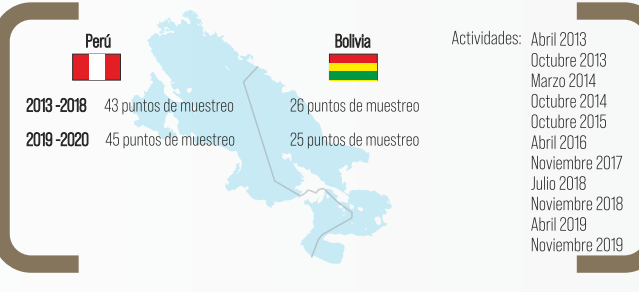
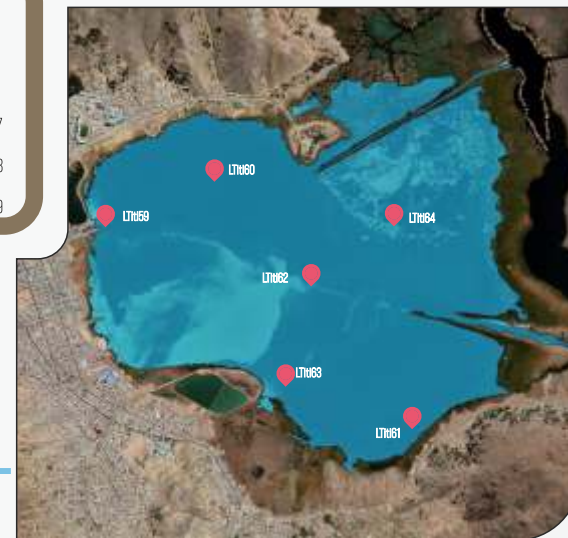


Tabla 4. Red de puntos de muestreo en la Bahía Interior de Puno (2019-2020).

Código	Descripción	Coordenadas UTM WGS84	
		Este (m)	Norte (m)
LTit159	Bahía Interior de Puno, frente de Muelle principal (Puno)	391 402	8 249 013
LTit160	Bahía Interior de Puno, frente de zona Huajje (Puno)	392 656	8 249 544
LTit161	Bahía Interior de Puno, frente de zona Chimú (Puno)	394 641	8 246 844
LTit162	Bahía Interior de Puno, trayecto principal de tránsito lacustre	393 607	8 248 395
LTit163	Bahía Interior de Puno, próximo al vertimiento de EMSAPUNO	393 377	8 247 327
LTit164	Bahía Int. Puno, próximo a isla Esteves y trayecto a Los Uros	394 477	8 249 053



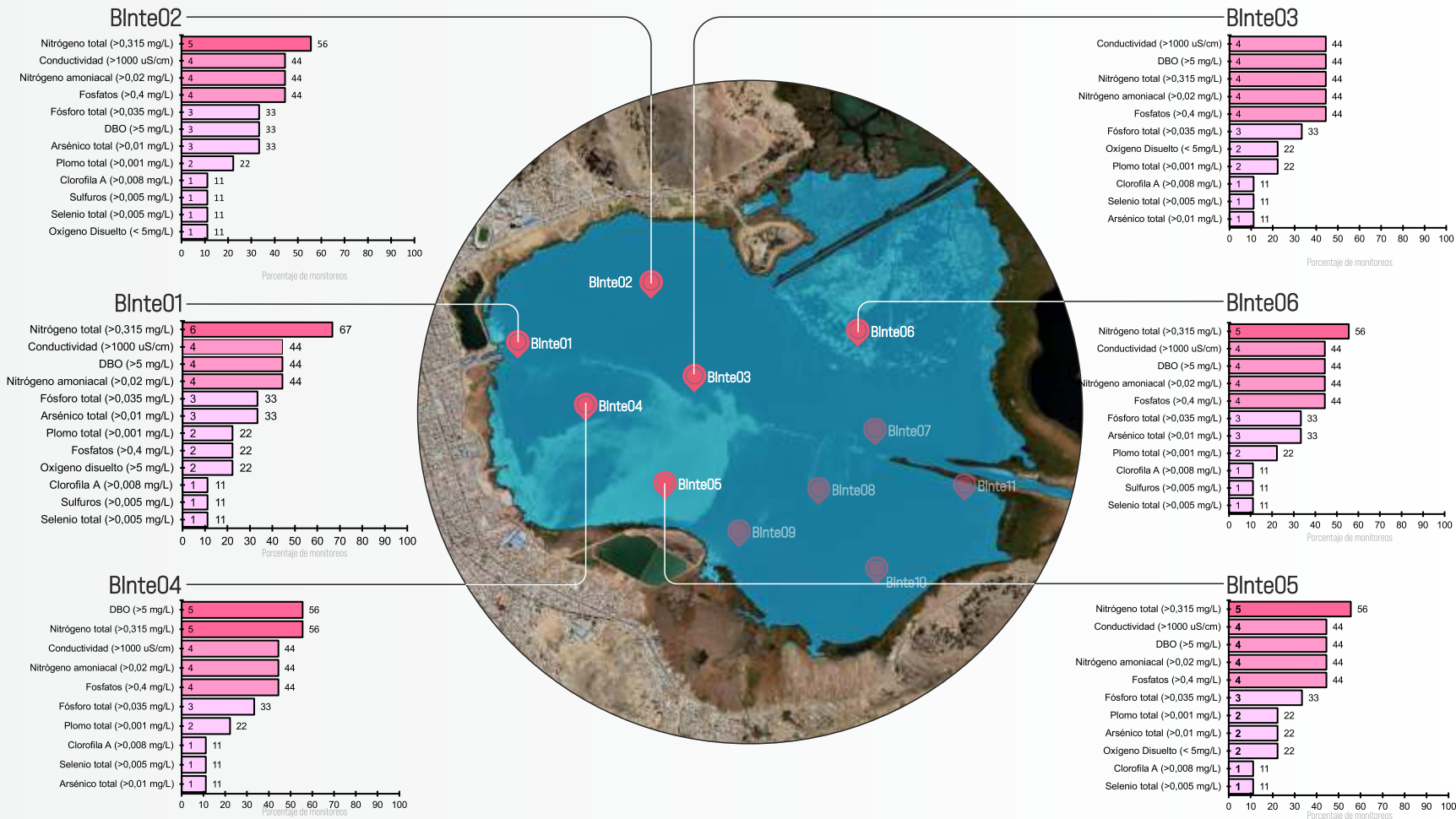
Más adelante (Figuras 4 y 5) se muestran los resultados obtenidos en los monitoreos en ambas redes de monitoreo (consolidada) de los parámetros que superan los valores establecidos en los ECA agua -4, desde 2013 a 2019.

Calidad del agua en la Bahía Interior de Puno

En la Bahía Interior de Puno (2013-2019)

A continuación se aprecia los resultados de los parámetros que transgreden los valores establecidos en los ECA agua desde 2013 a 2019 (11 monitoreos), considerando que dicha norma ambiental ha tenido 2 actualizaciones, en los gráficos se aprecian las trasgresiones para cada periodo aplicando la norma respectiva.

Figura 4. Parámetros que transgreden los valores establecidos en los ECA agua desde 2013 a 2019 (11 monitoreos) en la Bahía Interior de Puno (zona norte).

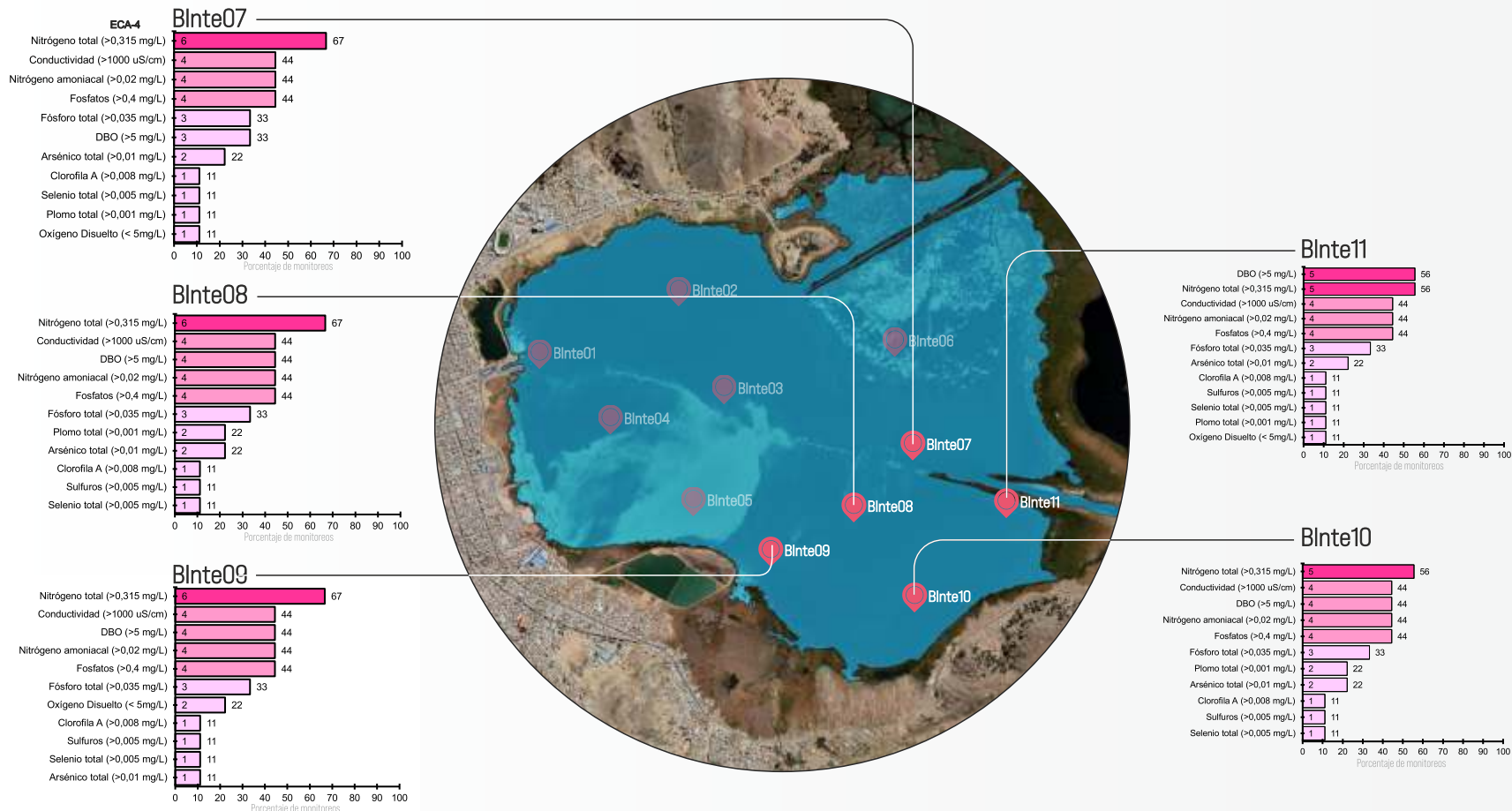


Calidad del agua en la Bahía Interior de Puno

En la Bahía Interior de Puno (2013-2019)

Se aprecia entonces que, el Nitrógeno total, la Demanda Bioquímica de Oxígeno, Conductividad, Nitrógeno amoniacal Fósforo total y otros son parámetros frecuentes que se encuentran afectando la calidad del agua en la Bahía Interior de Puno; superando los valores establecidos en los ECA agua desde 2013 a 2019.

Figura 5. Parámetros que transgreden los valores establecidos en los ECA agua desde 2013 a 2019 (11 monitoreos) en la Bahía Interior de Puno (zona sur).



En las 2 páginas siguientes y sus respectivos mapas se verá en detalle, el comportamiento de los principales parámetros que afectan la calidad del agua en la Bahía Interior de Puno: Nitrógeno total, Fósforo total, Demanda Bioquímica de Oxígeno, y la Conductividad eléctrica.

Calidad del agua en la Bahía Interior de Puno

Principales parámetros que afectan la calidad del agua en la Bahía Interior de Puno

Figura 6. Comportamiento multianual de Nitrógeno total en la Bahía Interior de Puno - Lago Titicaca (2013-2019).

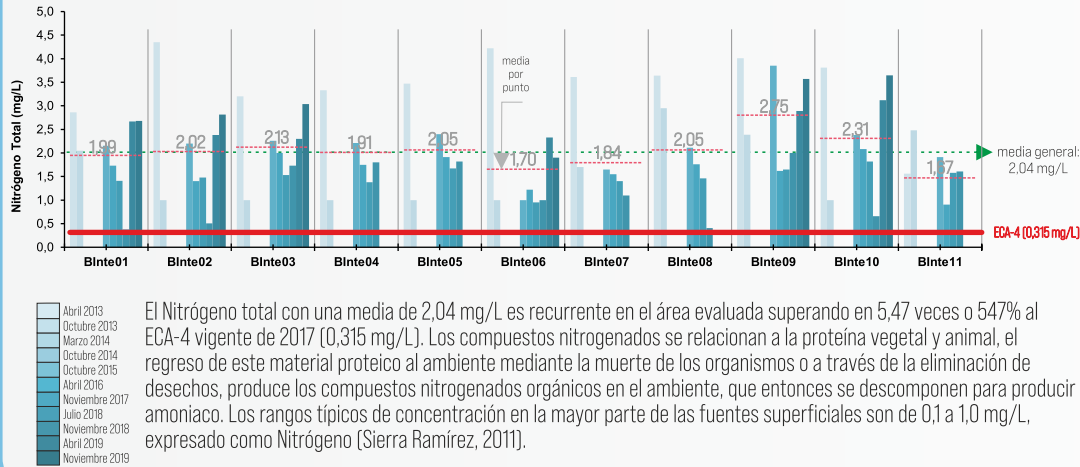


Figura 7. Distribución de la media de la concentración multianual (2013-2019) de Nitrógeno total por punto en la Bahía Interior de Puno - Lago Titicaca.

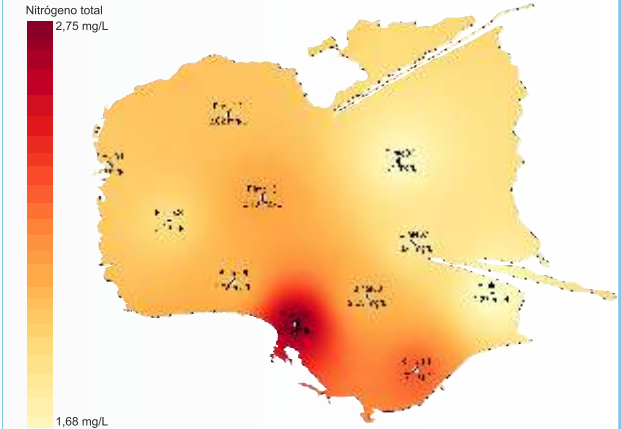


Figura 8. Comportamiento multianual de Fósforo total en la Bahía Interior de Puno - Lago Titicaca (2013-2019).

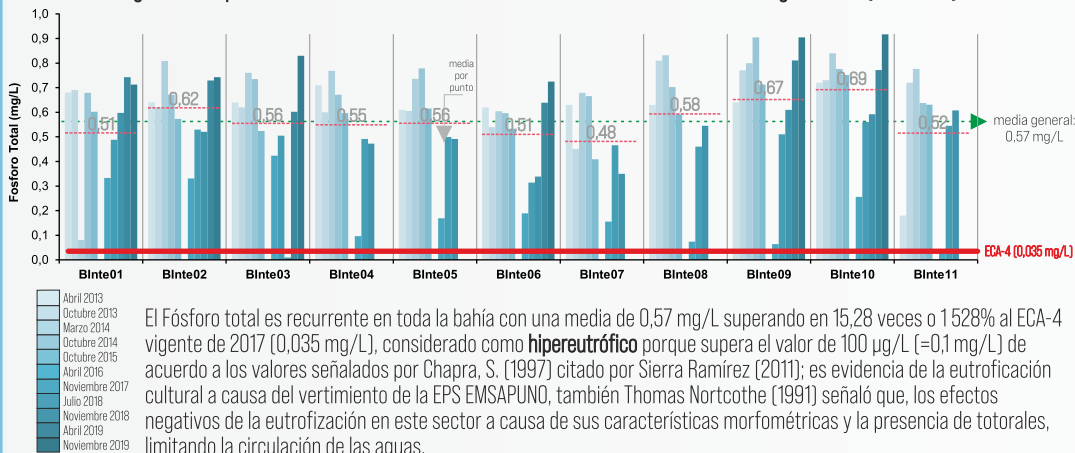
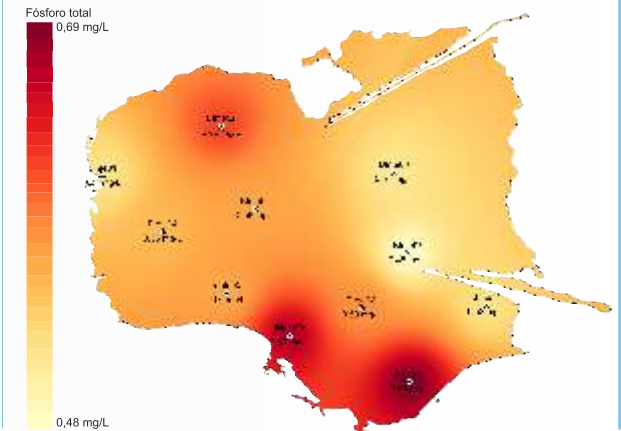


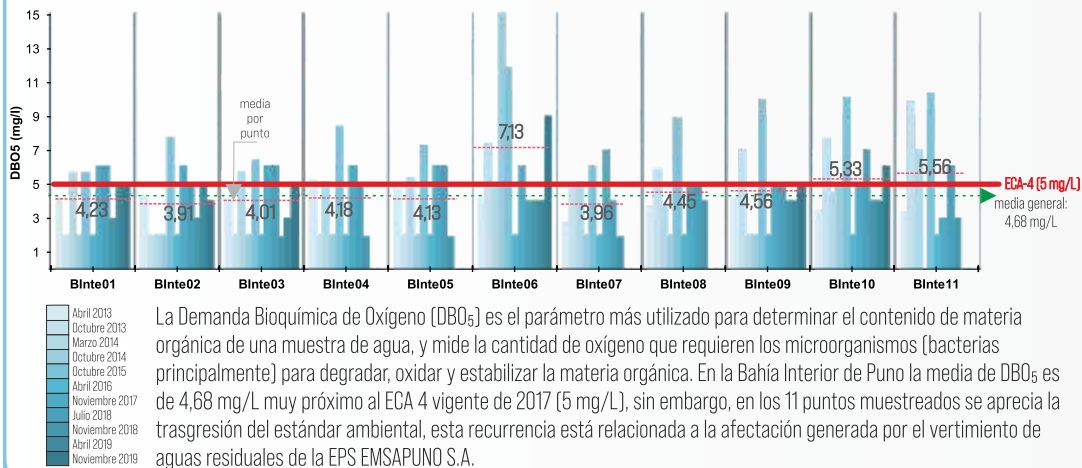
Figura 9. Distribución de la media de la concentración multianual (2013-2019) de Fósforo total por punto en la Bahía Interior de Puno - Lago Titicaca.



Calidad del agua en la Bahía Interior de Puno

Principales parámetros que afectan la calidad del agua en la Bahía Interior de Puno

Figura 10. Comportamiento multianual de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en la Bahía Interior de Puno - Lago Titicaca (2013-2019).



La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) es el parámetro más utilizado para determinar el contenido de materia orgánica de una muestra de agua, y mide la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos (bacterias principalmente) para degradar, oxidar y estabilizar la materia orgánica. En la Bahía Interior de Puno la media de DBO₅ es de 4,68 mg/L muy próximo al ECA 4 vigente de 2017 (5 mg/L), sin embargo, en los 11 puntos muestreados se aprecia la trasgresión del estándar ambiental, esta recurrencia está relacionada a la afectación generada por el vertimiento de aguas residuales de la EPS EMSAPUNO S.A.

Figura 11. Distribución de la media de la concentración multianual (2013-2019) de Demanda Bioquímica de Oxígeno por punto en la Bahía Interior de Puno.

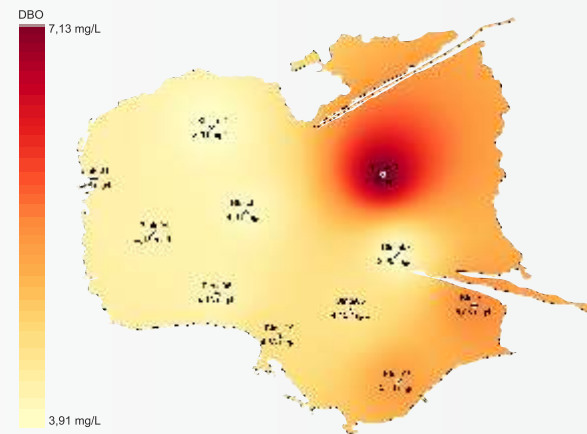
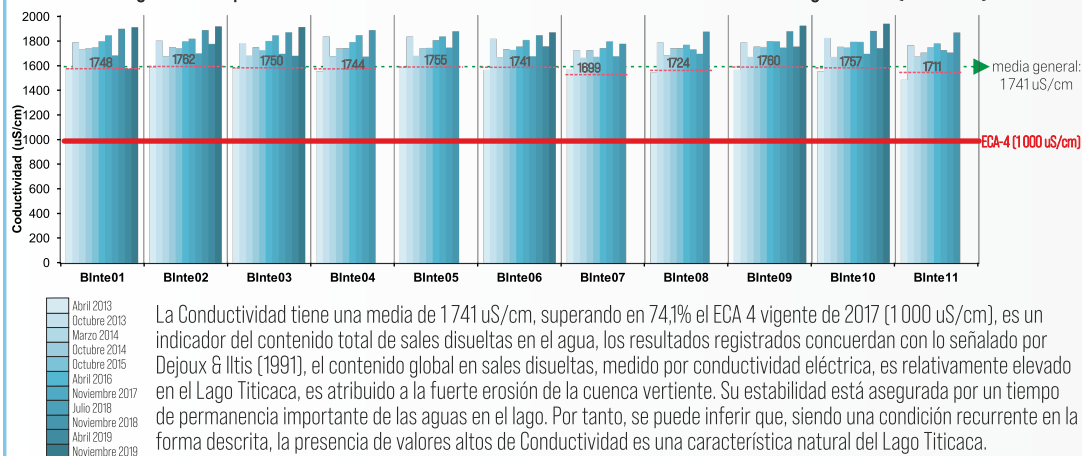
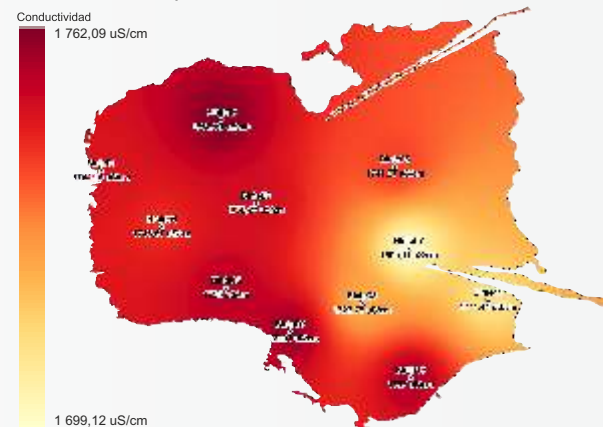


Figura 12. Comportamiento multianual de la Conductividad en la Bahía Interior de Puno - Lago Titicaca (2013-2019).



La Conductividad tiene una media de 1741 uS/cm, superando en 74,1% el ECA 4 vigente de 2017 (1000 uS/cm), es un indicador del contenido total de sales disueltas en el agua, los resultados registrados concuerdan con lo señalado por Dejoux & Ittis (1991), el contenido global en sales disueltas, medido por conductividad eléctrica, es relativamente elevado en el Lago Titicaca, es atribuido a la fuerte erosión de la cuenca vertiente. Su estabilidad está asegurada por un tiempo de permanencia importante de las aguas en el lago. Por tanto, se puede inferir que, siendo una condición recurrente en la forma descrita, la presencia de valores altos de Conductividad es una característica natural del Lago Titicaca.

Figura 13. Distribución de la media multianual (2013-2019) de Conductividad por punto en la Bahía Interior de Puno.

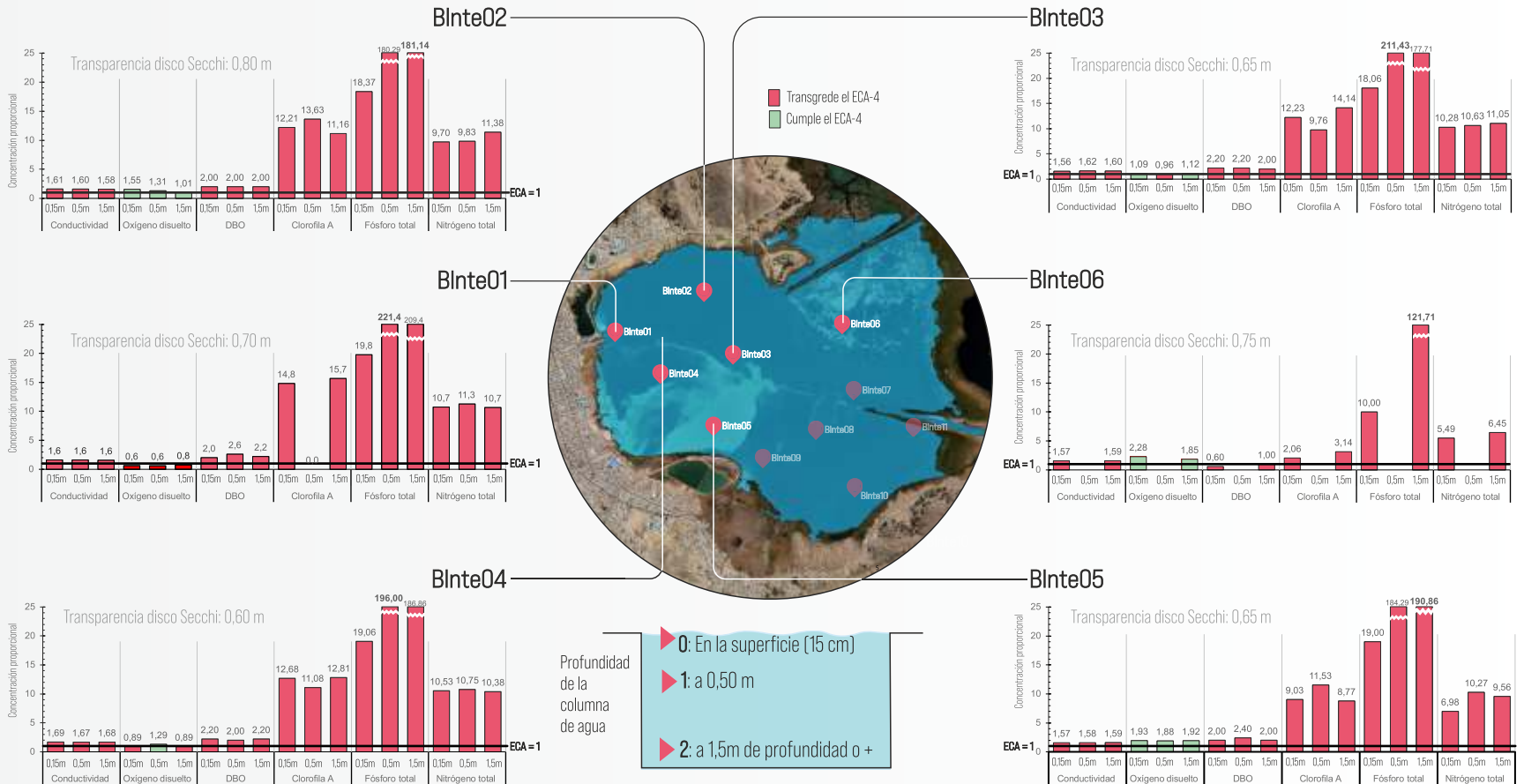


Calidad en la columna de agua de la Bahía interior de Puno

Calidad del agua en la Bahía Interior de Puno (2021)

De modo complementario a los resultados obtenidos por la Autoridad Nacional del Agua (2013-2019), para el establecimiento de la Línea Base del Proyecto Piloto 07-P-02 "Técnicas de Fitorremediación en Cuerpos de Agua Afectados por Aguas Residuales Domésticas. Bahía Interior de Puno", el 18 y 19 de enero de 2021 se realizó el monitoreo de la calidad en la columna de agua de la Bahía Interior de Puno, a 3 profundidades: Superficial 0,15 m (15 cm), a 0,5 m y 1,5 m o más. A continuación se muestran los resultados de los parámetros que transgredieron los valores establecidos en los ECA agua - Categoría 4 (equivalencia proporcional a 1).

Figura 14. Parámetros que transgreden los valores establecidos en los ECA agua - Categoría 4, en la columna de agua en la Bahía Interior de Puno (zona norte) - enero 2021.

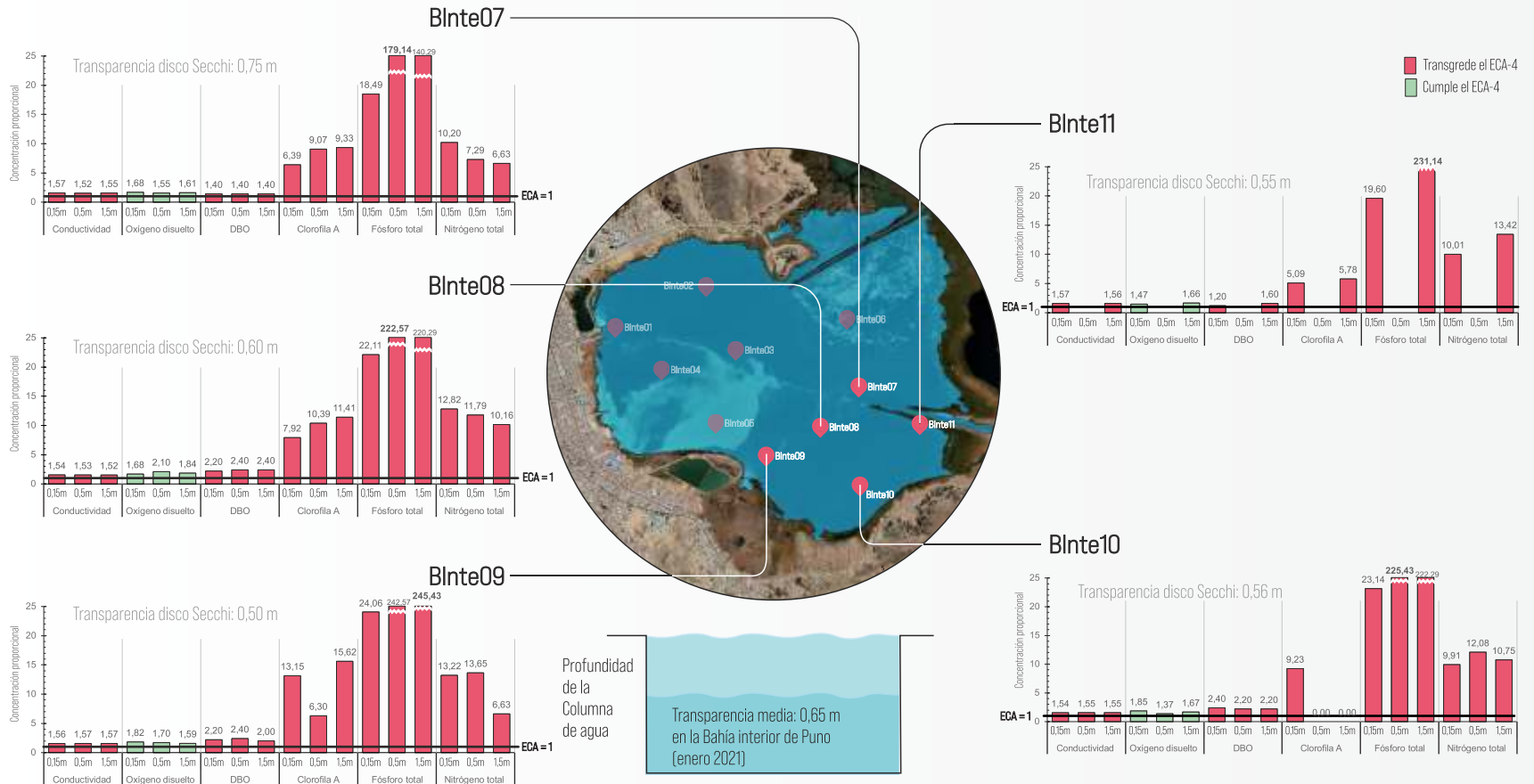


Calidad en la columna de agua de la Bahía Interior de Puno

Calidad del agua en la Bahía Interior de Puno (2021)

En las Figuras 14 y 15 se evidencia que, el Fósforo total presenta las mayores concentraciones superando el ECA agua - Cat. 4 [equivalencia proporcional a 1], con una correlación entre concentración y profundidad, es decir, en los 11 puntos evaluados presenta una acumulación progresiva a mayor profundidad de la columna de agua. Un comportamiento casi similar tiene la Clorofila A con ligeros incrementos relacionados a la profundidad. El Nitrógeno total muestra concentraciones con ligeras variaciones respecto de la profundidad. Mientras que, la Demanda Bioquímica de Oxígeno muestra valores homogéneos en relación a la profundidad, es decir, la columna de agua en la Bahía interior de Puno se encuentra afectada por la DBO de manera aparentemente homogénea. También se aprecia que no hay afectación severa por bajas concentraciones de Oxígeno disuelto (hipoxia)

Figura 15. Parámetros que transgreden los valores establecidos en los ECA agua - Categoría 4, en la columna de agua en la Bahía Interior de Puno (zona sur) - enero 2021.



Calidad del agua del Lago Titicaca

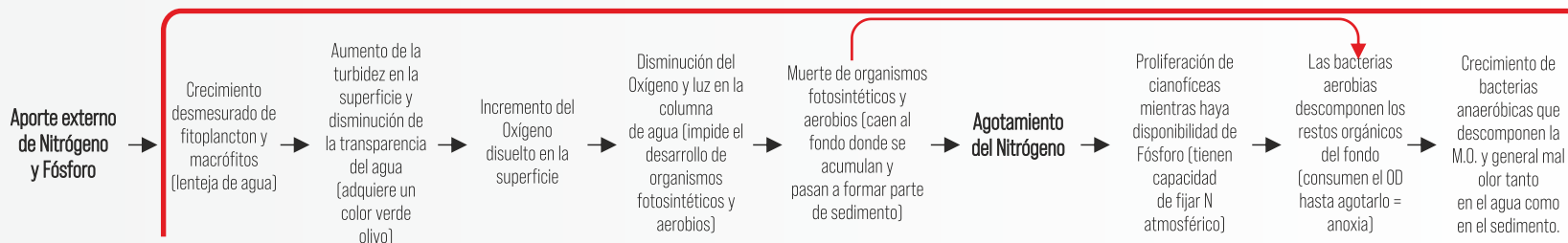
La eutroficación en la Bahía Interior de Puno: acumulación de nutrientes en el agua

Los primeros estudios sistemáticos de la contaminación del lago Titicaca se remontan a 1981 (Universidad de Columbia Británica - Canadá y la Universidad Nacional del Altiplano - Puno), determinándose que la zona más afectada del lago Titicaca, es la Bahía Interior de Puno, con una población de más de 90 000 habitantes generaban dicha alteración de la calidad del agua.

Entonces, de la evaluación aquí expuesta, se advierte que la afectación recurrente en la Bahía Interior de Puno es causada por las aguas residuales domésticas de la ciudad de Puno, que debido a la falta de un tratamiento eficiente representan un importante aporte de carga contaminante constituida por:

- **Fósforo total**, entre 2013 - 2019 tuvo una concentración media de 570 µg/L (0,57 mg/L) y en 2021 fue de 673 µg/L (0,673 mg/l) en la superficie, y 689 µg/L (0,689 mg/L) en la columna de agua; registros que superan ampliamente el valor guía establecido por la OCDE (>100 ug/L).
- **Nitrógeno total**, entre 2013 - 2019 tuvo una concentración media de 2,04 mg/L y en 2021 fue de 3,147 mg/L en la superficie, y 3,196 mg/L (media de la columna de agua).
- Asimismo, la **transparencia** con disco Secchi enero 2021 fue de 0,65m; además la relación N/P fue de 4,172, que señala al Nitrógeno total como el nutriente limitante en el periodo evaluado.

Estos indicadores ubican a este pequeño sector del Lago Titicaca (0,2 % de su superficie) como **hipereutrífico**.



Esquema del proceso de eutroficación de la Bahía Interior de Puno (tomado de ANA, 2013)

Eutroficación

Es el enriquecimiento de los nutrientes de un cuerpo de agua que resulta en un incremento excesivo de organismos y la consecuente reducción de oxígeno del agua.



Proyecto Piloto 07-P-02: Técnicas de fitorremediación en cuerpos de agua afectados por aguas residuales domésticas

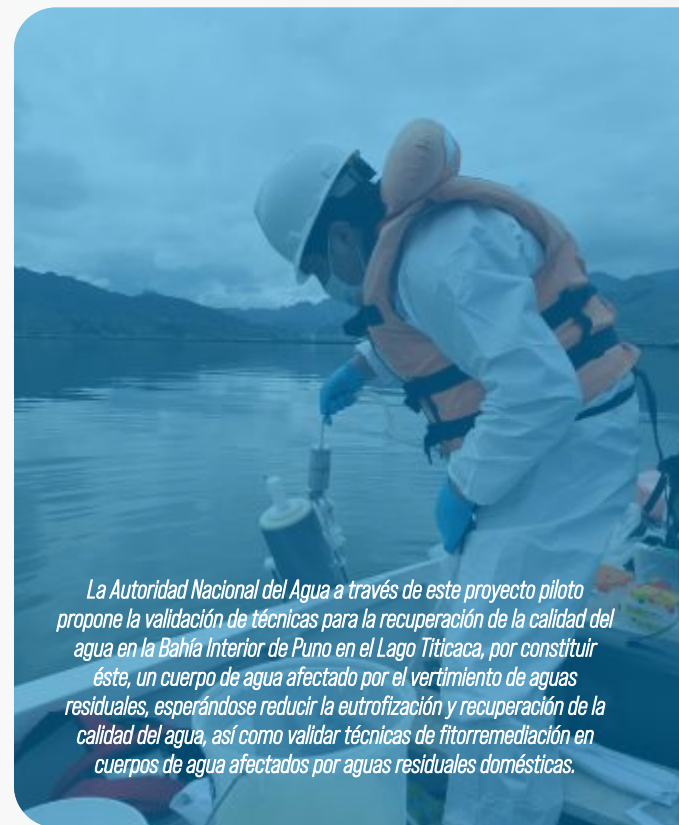
Objetivo:

Aplicar tecnología alternativa, sustentable como la fitorremediación, para proponer la restauración y descontaminación progresiva en la bahía interior de Puno del Lago Titicaca, afectado por la contaminación de aguas residuales domésticas.

Fuente de financiamiento y modalidad de ejecución:

El costo del proyecto piloto es de \$ 270 000,00 financiado con el aporte de Global Environment Facility (GEF), y con el cofinanciamiento de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) con \$ 1580 000,00

Objetivos	Resultados
Objetivo 1: Generar las condiciones técnicas, logísticas, administrativas y operativas adecuadas para la implementación del proyecto piloto.	Resultado 1: Se cuenta con tres (03) ambientes adecuados, equipados y señalizados, idóneos para la implementación del proyecto piloto de fitorremediación en la bahía interior de Puno del Lago Titicaca (sector peruano)
	Resultado 2: Se contará con información de: Expediente técnico, monitoreo de calidad de agua, estudio de línea base, títulos habilitantes y permisos para la implementación del sistema de tratamiento mediante humedales con sistemas de fitorremediación piloto 07-P-02, en zona de intervención del piloto para la implementación del proyecto piloto y el uso de las instituciones públicas y privadas vinculadas a la gestión de la calidad de los recursos hídricos.
Objetivo 2: Monitoreo y seguimiento del proyecto Piloto	Resultado 3: Equipamiento informático, equipos, material de vidrio, reactivos, patrones de laboratorio, indumentaria de trabajo y equipos de protección Cov-19, para el proyecto piloto 07-P-02.
Objetivo 3: Implantación del sistema de fitorremediación con macrófitas (suministro de soporte completo + plantas macrófitas + implantación sobre lámina de agua)	Resultado 4: Construcción, implementación e implantación del sistema de tratamiento por humedales con sistemas de fitorremediación con macrófitas implementado y en operación
Objetivo 4: Fortalecimiento de la instituciones involucradas con el lago Titicaca. Meta: Al finalizar el proyecto se habrán validado 02 técnicas de fitorremediación para la recuperación de la calidad de agua por la afectación de aguas residuales domésticas en la bahía interior de Puno.	Resultado 5: Capacitación y pasantías a actores institucionales, autoridades locales, regionales, universidades, colegios profesionales y sociedad civil, con enfoque de género e interculturalidad, para la toma de decisiones en sus jurisdicciones, mediante el conocimiento de alternativas ecológicas de recuperación de la calidad del agua validadas de fitorremediación en la bahía interior de Puno.
	Resultado 6: Capacitación y pasantías sobre temas de biorremediación y fitorremediación para personal profesional implementadores del proyecto piloto 07 - P-02.
Objetivo 5: Cierre del proyecto piloto	Resultado 7: Se contará con información mediante resultados experimentales, sobre la implementación, desarrollo y abandono de técnicas de fitorremediación a 3812 msnm (Lago Titicaca)



La Autoridad Nacional del Agua a través de este proyecto piloto propone la validación de técnicas para la recuperación de la calidad del agua en la Bahía Interior de Puno en el Lago Titicaca, por constituir éste, un cuerpo de agua afectado por el vertimiento de aguas residuales, esperándose reducir la eutrofización y recuperación de la calidad del agua, así como validar técnicas de fitorremediación en cuerpos de agua afectados por aguas residuales domésticas.



EL PROYECTO PILOTO 07-P-02 “TÉCNICAS DE FITORREMIEDIACIÓN EN CUERPOS DE AGUA AFECTADOS POR AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS” TIENE COMO PROPÓSITO: EVALUAR Y VALIDAR TECNOLOGÍAS DE FITORREMIEDIACIÓN PARA SER APLICADAS Y REPLICADAS A FIN DE REDUCIR LOS NIVELES DE AFECTACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA EN LA BAHÍA INTERIOR DEL LAGO TITICACA.