



tierra

RESUMEN DEL ESTUDIO

32 IDEAS PARA SALVAR EL LAGO TITICACA

**DE LA INGENIERÍA AL CAMBIO SOCIAL
PARA ENFRENTAR EL COLAPSO AMBIENTAL**

Este documento es una versión resumen del estudio “32 ideas para salvar el lago Titicaca: De la ingeniería al cambio social para enfrentar el colapso ambiental” elaborado por Xavier Lazzaro, en el que se hace un análisis técnico y se presentan propuestas de solución frente a la eutrofización y el cambio climático, con énfasis en su impacto sobre los ecosistemas acuáticos en Bolivia, especialmente en la Cuenca Katari y el Lago Titicaca.

Este estudio es posible gracias al apoyo ha sido posible gracias al apoyo de Diakonía - Bolivia, y esperamos que este resumen sea de utilidad e interés para todos los lectores.

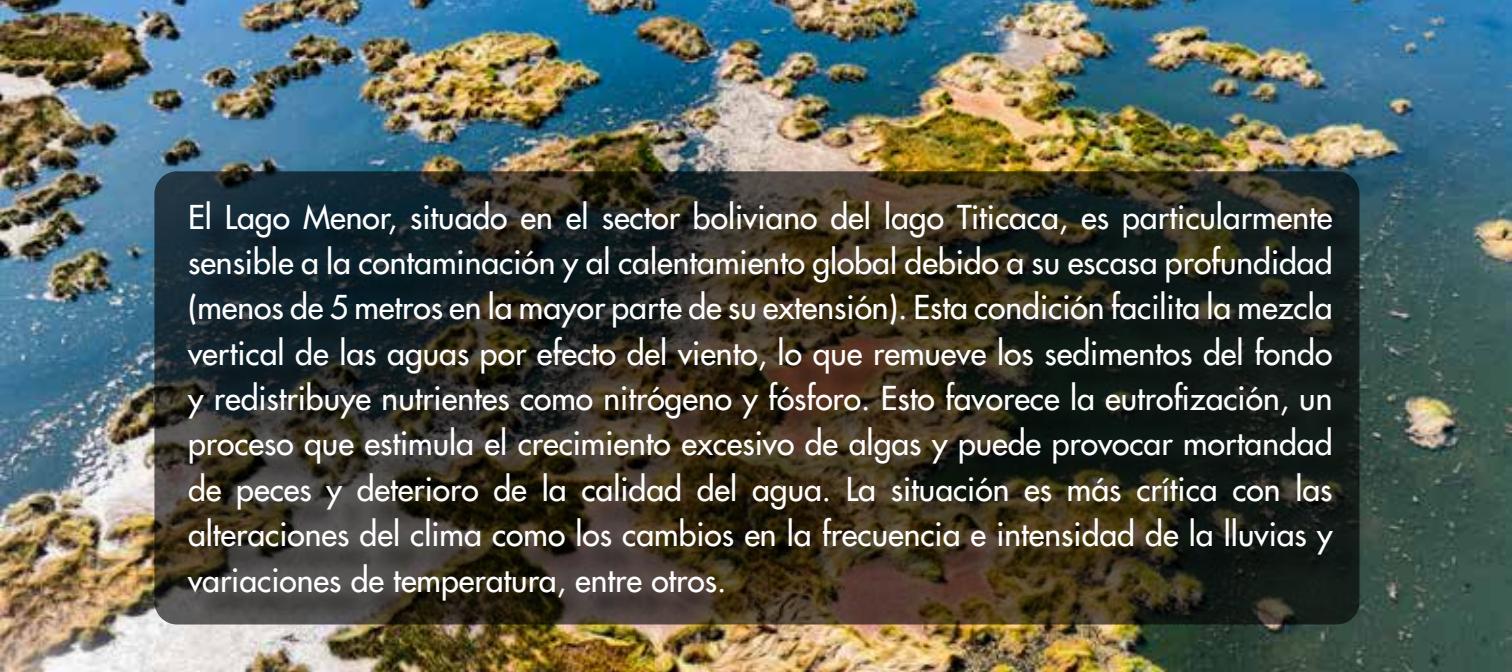
LAGO TITICACA

1. Características en el sector boliviano del lago menor

El lago Titicaca, el más alto del mundo entre los grandes lagos navegables (3.809 m s.n.m.), es un ecosistema excepcional por su biodiversidad y por ser hogar de especies endémicas y amenazadas. El lago se alimenta principalmente del deshielo de los nevados y de las precipitaciones que caen sobre el Altiplano. La mayor parte de sus aguas se pierden por evaporación (95%) y, en menor medida, por infiltración en el subsuelo.

Se encuentra en una zona de alta montaña y clima extremo, donde la presión atmosférica es 30% menor y la radiación ultravioleta es 30% mayor que al nivel del mar. Estas condiciones vuelven al ecosistema especialmente vulnerable al cambio climático, ya que incluso pequeños aumentos de temperatura afectan drásticamente su equilibrio ecológico.





El Lago Menor, situado en el sector boliviano del lago Titicaca, es particularmente sensible a la contaminación y al calentamiento global debido a su escasa profundidad (menos de 5 metros en la mayor parte de su extensión). Esta condición facilita la mezcla vertical de las aguas por efecto del viento, lo que remueve los sedimentos del fondo y redistribuye nutrientes como nitrógeno y fósforo. Esto favorece la eutrofización, un proceso que estimula el crecimiento excesivo de algas y puede provocar mortandad de peces y deterioro de la calidad del agua. La situación es más crítica con las alteraciones del clima como los cambios en la frecuencia e intensidad de las lluvias y variaciones de temperatura, entre otros.

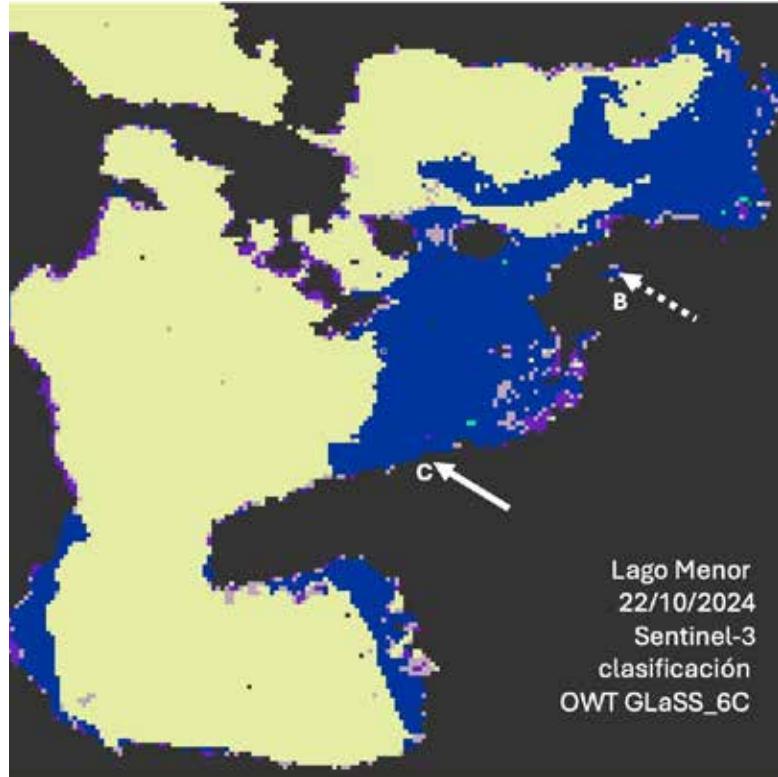
La Cuenca Katari, que desemboca en el Lago Menor a través de ríos como el Seke, Seco, Pallina y Katari, es una de las más densamente pobladas del país, con más de 1,1 millones de habitantes, principalmente en El Alto. El crecimiento urbano desordenado desde 1989 ha generado una grave presión sobre el ecosistema, con vertidos domésticos e industriales que contaminan los afluentes sin tratamiento adecuado. Los ríos de esta cuenca se han visto afectados seriamente por vertidos domésticos e industriales sin tratamiento adecuado.

Este diagnóstico no busca repetir estudios previos, sino proponer soluciones concretas para el control de la contaminación, restauración ecológica y adaptación al cambio climático. Se basa en normativas vigentes y considera las condiciones locales, enfocándose especialmente en las regiones norte y central del Lago Menor, con atención prioritaria a la Bahía de Cohana

El estudio utilizó imágenes satelitales del programa Sentinel-3 (22 de octubre de 2024), revelando que el 25% del Lago Menor se encuentra en estado crítico de eutrofización. Este deterioro se concentra en el sector boliviano, desde Huatajata hasta la Bahía de Cohana, donde se descargan grandes cantidades de nutrientes provenientes de aguas residuales urbanas sin tratamiento.

La situación es compleja y delicada, y si no se implementan soluciones estructurales y no estructurales (como educación ambiental y participación comunitaria), el deterioro del Lago Menor se volverá irreversible. Para proteger este ecosistema único, es indispensable una acción decidida, sostenida y multisectorial que combine ciencia, tecnología, y compromiso político y ciudadano.

Lago Menor del Titicaca en base a una imagen Sentinel-3





2. Contaminación antrópica y eutrofización

El Lago Menor ha pasado de ser un ecosistema oligotrófico (bajo en nutrientes y bien oxigenado) a un sistema mesotrófico o eutrófico, con alta concentración de nitrógeno y fósforo, lo que ha provocado proliferaciones masivas de microalgas, pérdida de oxígeno disuelto, y mortandad de peces, ranas y aves acuáticas. Este proceso se debe al vertido continuo de aguas residuales, residuos sólidos, lixiviados, desechos ganaderos, industriales y mineros, gracias al acelerado crecimiento urbano de El Alto y Viacha.

Los residuos sólidos provienen principalmente de los hogares y de la industria de la construcción. Entre ellos se encuentran bolsas y envases plásticos, tecnopor, madera, papel, tierra y otros materiales descartados. No existen datos precisos sobre los volúmenes anuales vertidos pero los impactos son visibles y generan preocupación entre los habitantes locales.

Las aguas residuales municipales son la principal fuente de nutrientes, y la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Puchukollo, diseñada en 1998 para 400.000 habitantes, se encuentra hoy desbordada por la demanda de más de un millón de personas.



Solo trata el 45% del caudal y no remueve adecuadamente metales pesados, nutrientes ni contaminantes emergentes. Además, 35 fuentes contaminantes fueron identificadas en la Cuenca Katari, de las cuales 14 son vertidos de aguas residuales, nueve mineras, ocho de residuos sólidos y cuatro de residuos mineros.

De igual manera, la contaminación industrial en El Alto es crítica: de unas 5.000 industrias, solo 1.920 tienen registro ambiental, y muchas descargan residuos sin tratamiento. También se estima la existencia de entre 50 y 80 mataderos ilegales cuyos efluentes, ricos en materia orgánica, nitrógeno y fósforo, van a parar a los ríos.

Los residuos mineros, especialmente en la zona de Milluni, generan drenajes ácidos (pH hasta 2,3), contaminando el río Seke. Se han identificado 13 pasivos mineros que abarcan más de 777 ha con más de 2.000 toneladas de residuos.

La contaminación por antibióticos es una amenaza emergente. Estudios detectaron residuos de medicamentos y sus derivados a lo largo de los ríos y el lago, arrastrados por las aguas residuales. Esto representa un riesgo importante para la salud pública al favorecer el desarrollo de bacterias resistentes, aunque el monitoreo en Bolivia aún es limitado.

Esta forma de contaminación debería ser priorizada e integrada a las tecnologías de tratamiento.

La ganadería extensiva, con más de 470.000 animales en la cuenca, genera 45.534 toneladas anuales de estiércol, que durante las lluvias termina en los cuerpos de agua, aportando 738 toneladas de nitrógeno y 688 de fósforo. Si bien este residuo representa un problema ambiental, también es una oportunidad: puede transformarse en fertilizante si se maneja adecuadamente mediante técnicas de compostaje o fermentación. Similarmente, la agricultura contribuye a la eutrofización por el uso intensivo de fertilizantes en cultivos como papa, quinua y cebada.

En la zona circunlacustre boliviana del Lago Menor, se presentan actividades como la pesca artesanal, la piscicultura intensiva (con más de 1.600 toneladas anuales de trucha en jaulas) y la navegación motorizada, los que generan residuos orgánicos, químicos y físicos. Además, el desarrollo urbano descontrolado ha eliminado los totorales costeros, que antes actuaban como filtros naturales. La destrucción de estos ecosistemas litorales ha reducido la capacidad del lago para depurar contaminantes y sostener su biodiversidad.



Los residuos sólidos provienen principalmente de los hogares y de la industria de la construcción.



3. Cambio climático

El Lago Titicaca es un ecosistema altamente sensible al cambio climático, considerado un “centinela” por su rápida respuesta a las variaciones ambientales. Debido a su altitud (3.809 m s.n.m.), presenta un 30 % menos de presión atmosférica y oxígeno disuelto, así como un 30 % más de radiación solar y ultravioleta. Estas condiciones extremas hacen que los impactos del calentamiento global sean más intensos que en otras regiones, afectando tanto al ecosistema como a las poblaciones humanas que dependen del lago.

Entre los impactos observados están las variaciones extremas de temperatura, pérdida de estacionalidad en las lluvias, y mayor frecuencia de eventos extremos como sequías e inundaciones. En las últimas cuatro décadas, el nivel del lago ha fluctuado en más de 5 metros, y desde 1984 se ha registrado una reducción de 3 metros en el Lago Menor. Esta bajante ha dejado al descubierto amplias zonas del lecho lacustre, especialmente en la Bahía de Cohana, afectando la pesca, la agricultura y la ganadería, además de las fuentes de agua rural.

Los modelos climáticos globales (GCM, por sus siglas en inglés) estiman que el Altiplano sufrirá un calentamiento de entre +2 °C y +4 °C hacia 2050, y hasta +5 °C para el año 2100 bajo el escenario denominado “RCP8.5”, que es un escenario de altas emisiones que sugiere un resultado probable si la sociedad no realiza esfuerzos concertados para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. En comparación, se proyecta un aumento global promedio de +1,31 °C. Esto implica un incremento más del doble en la región del lago, lo que amenaza a especies que ya viven en el límite de sus rangos fisiológicos, muchas de ellas en estado vulnerable o en peligro de extinción.

El calentamiento global además magnifica el proceso de eutrofización, especialmente en cuerpos de agua poco profundos como el Lago Menor.

Las altas temperaturas aumentan la tasa de mineralización de la materia orgánica, incrementan la disponibilidad de nutrientes y favorecen el crecimiento de cianobacterias (algunas tóxicas), que resisten mejor la radiación UV y condiciones de escasez de nutrientes, desplazando a otras microalgas y plantas acuáticas sumergidas.

Finalmente, el cambio climático altera la dinámica de las comunidades biológicas: aumenta la reproducción de peces forrajeros, disminuye los peces piscívoros y reduce la depredación sobre zooplancton herbívoro, lo que disminuye el control natural sobre las algas. Así se forma un círculo vicioso entre calentamiento, proliferación de algas, pérdida de oxígeno, muerte de fauna acuática y empeoramiento de la calidad del agua.



4. Propuestas de soluciones estructurales

A pesar de la construcción de infraestructuras como las plantas de tratamiento de Puchukollo y Tacachira, no se ha registrado una mejora significativa en la calidad del agua de los ríos ni del litoral del Lago Menor. Las disposiciones legales actualmente vigentes no se cumplen, debido a la ausencia de metas ambientales claras y prioritarias, la falta de voluntad política sostenida a largo plazo y la inexistencia de líneas de financiamiento estables y sostenibles. Frente a este panorama, es fundamental que la sociedad civil esté informada de manera oficial, transparente y comprensible sobre los avances, los retrocesos, y la visión y proyecciones de la política estatal de gestión ambiental y sanitaria en lo relativo al tratamiento de aguas residuales.

En este contexto, este documento presenta un conjunto integral de soluciones estructurales para controlar la contaminación y la eutrofización del Lago Menor, combinando acciones de ingeniería sanitaria e ingeniería ecológica. Se destacan propuestas como la ampliación y modernización de plantas de tratamiento de aguas residuales, la descentralización del tratamiento mediante mini-PTARs, el control de descargas industriales, y la gestión adecuada de residuos sólidos y líquidos. Además, se promueve el uso de soluciones basadas en la naturaleza, como la implementación de humedales construidos, jardines flotantes y corredores verdes, que actúan como filtros naturales. Estas medidas buscan no solo reducir la carga de nutrientes y contaminantes que llegan al lago, sino también restaurar la biodiversidad y mejorar la calidad del agua a largo plazo.

Soluciones de ingeniería sanitaria



1. Ampliar y mejorar el sistema de alcantarillado en El Alto

Se propone extender la cobertura del sistema de alcantarillado urbano para beneficiar a distritos que actualmente vierten aguas residuales directamente en los ríos antes de 2027. Esto incluye obras de captación, redes troncales, colectores y conexiones domiciliarias que permitan canalizar las aguas hacia las plantas de tratamiento, lo que podría reducir significativamente la carga contaminante que llega al Lago Menor. Para un óptimo resultado, es necesario la modernización de la PTAR de Puchucollo, la culminación de la PTAR de Tacachira y la eliminación de todas las descargas clandestinas.

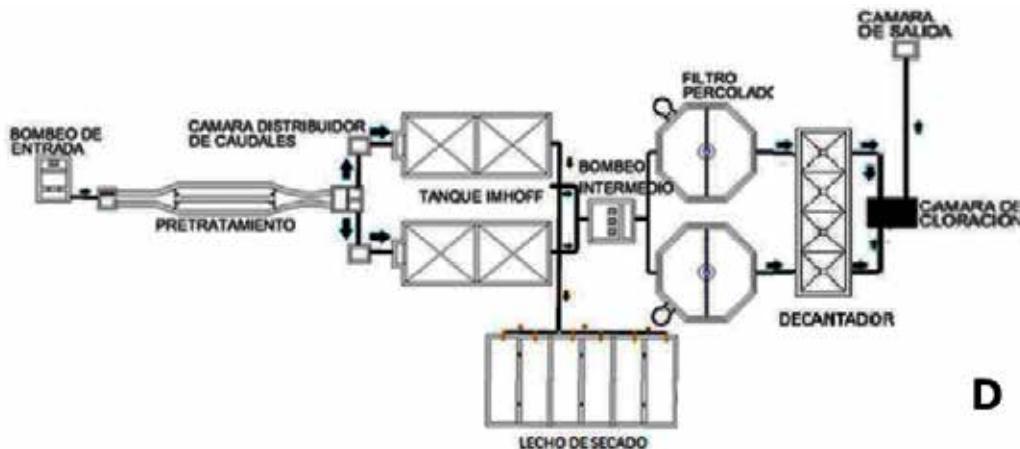


2. Descentralizar tratamiento de mini-PTARs y PTARs compactas

La instalación de plantas pequeñas y modulares en zonas periurbanas y rurales permitirá tratar aguas residuales en origen. Estas soluciones son más económicas y adaptables a territorios donde las conexiones al sistema centralizado son inviables. Se promueve su uso para mejorar la eficiencia, reducir los tiempos de implementación y prevenir descargas directas a cuerpos de agua.

Para aglomeraciones rurales de aproximadamente 2.000 habitantes, el diseño de las mini-PTARs, como los modelos implementados en Pucarani y Batallas, resultan adecuadas, eficientes, compactas y de bajo costo, tanto en construcción como en operación. Estas plantas no requieren lagunas ni generan malos olores, y combinan principios de ingeniería sanitaria con soluciones ecológicas basadas en la naturaleza, lo que contribuye significativamente a reducir la eutrofización. .

Esquema de recirculación



D

Otro tipo de mini-PTARs son las que ofrece la ONG Aguatuya. Las aguas residuales pasan por un proceso de pretratamiento, donde se retiran sólidos y residuos grandes. Luego, pasan por un tratamiento biológico donde los microorganismos descomponen la materia orgánica disuelta, eliminando impurezas y reduciendo significativamente la carga contaminante. Finalmente, el agua tratada pasa por una etapa de clarificación y, eventualmente, desinfección, para cumplir con las normas ambientales.

Las aguas tratadas pueden reutilizarse en riego agrícola y de zonas verdes, en procesos industriales, para recargar acuíferos y en diversos usos urbanos como el apagado de incendios o la limpieza de calles.

También está como opción la instalación de las PTARs compactas y transportables (PTARCs) ofrecen soluciones accesibles y eficientes para pequeñas comunidades rurales y barrios o distritos urbanos donde el espacio es limitado.

Pueden instalarse junto a ríos, en desembocaduras hacia el Lago Menor, o en derivación antes de llegar a humedales construidos, que emplean macrófitas acuáticas como parte de una estrategia de ingeniería ecológica.

Sus dimensiones exteriores son: longitud 12,19 m, anchura 2,43 m y altura 2,89 m, lo que equivale a solo 30 m² de superficie ocupada. Se fabrican principalmente en Europa, Norteamérica, Sudamérica y China. No requieren lagunas de decantación, ni generan molestias visuales u olfativas. Sus costos de adquisición y operación son reducidos, variando aproximadamente entre 10.000 y 100.000 dólares por unidad (sin incluir el coste del transporte desde el fabricante), según la capacidad requerida.

Diferentes tipos de PTARs compactas



Nota: (A) HIDANA Water Treatment Tech CO LTD: membrana bioreactor o MBR (a izquierda) y unidad compacta en un contenedor de 40 pies. (B) IDRO GROUP unidad móvil BLUE ULTRA. (C) IDRO GROUP unidad móvil BLUE TWINS. (D) FILTOMAT WATER SYSTEMS unidad compacta en contenedor de 40 pies. (E) DELLEPERE ENTERPRISES Planta Estacionaria OXYPLUS™. (F) 374WATER Inc.: Proceso de Oxidación del Agua Supercrítica cuando el agua está por encima de su punto crítico (374°C y 221 bar; a izquierda) y unidad móvil en contenedor de 40 pies.

3



3. Inventariar las industrias clandestinas (familiares) y limpiar sus descargas líquidas

En El Alto existen miles de industrias legales y otras tantas clandestinas –como curtiembres, fábricas de pinturas, alimentarias, farmacéuticas, mataderos, plásticos, e insumos para la construcción, entre otras– que no se adecúan a las normas ambientales. La idea es realizar un censo detallado de industrias sin registro ambiental, que operan en la informalidad y vierten residuos tóxicos a los ríos sin tratamiento e incentivarlas para que pasen a la formalidad. El planteamiento busca brindar apoyo técnico para implementar soluciones viables de tratamiento, además de aplicar controles y sanciones, priorizando aquellas con mayor impacto ecológico.

4



4. Reubicar industrias en parques industriales con PTAR especializadas

En El Alto, tanto las industrias legales como las clandestinas se encuentran dispersas por la ciudad, generando una gran diversidad de contaminantes. Para mejorar la gestión de residuos industriales, se propone concentrar las industrias en parques, equipados con una PTAR centralizada y especializada, diseñados con infraestructura de tratamiento acorde a los residuos generados. Esto facilitaría el control estatal, la fiscalización ambiental y el tratamiento eficiente, minimizando los impactos individuales y difusos que ahora afectan a la cuenca Katari.

5



5. Aprovechar parte de los efluentes para forestar las riberas

Se puede aplicar medidas de restauración ecológica que aprovechen el propio funcionamiento del sistema fluvial de la cuenca Katari, para impulsar proyectos de reforestación en las riberas del lago y los ríos contaminados. Esta práctica no solo evitaría la pérdida de agua tratada, sino que contribuiría a mejorar el paisaje, restaurar hábitats degradados y reducir la erosión del suelo.

6



6. Reencauzar los ríos para ralentizar el caudal y aumentar la biodiversidad

El rediseño de cauces de ríos urbanos y rurales —por ejemplo, mediante meandros o zonas de amortiguamiento— puede reducir la velocidad del flujo, minimizar la erosión, facilitar la sedimentación de partículas contaminantes y favorecer el desarrollo de vegetación ribereña, creando hábitats para flora y fauna.

7



7. Remover los residuos sólidos del litoral del lago y orillas de ríos

Una opción para minimizar el impacto de contaminación es la recolección sistemática de residuos sólidos flotantes y sumergidos en los ríos y el litoral del Lago Menor, priorizando las zonas más contaminadas, como las desembocaduras del río Katari y sus afluentes. Se propone el uso de biobardas: barreras flotantes fabricadas con materiales reutilizados (como botellas plásticas), dispuestas transversalmente en los ríos para interceptar y acumular los residuos antes de que lleguen al lago.

Estas biobardas permiten una recolección efectiva de plásticos, bolsas, botellas, madera y otros desechos, sin afectar significativamente el flujo del agua ni la fauna acuática. La instalación y mantenimiento de estas barreras requiere coordinación municipal, brigadas locales y participación comunitaria. También se recomienda el uso de balsas móviles para remover residuos flotantes o acumulados en zonas inaccesibles. Esta estrategia busca contener la basura en puntos clave, reducir la contaminación visual y ecológica del ecosistema lacustre y evitar que los residuos sólidos sigan deteriorando la calidad del agua y el hábitat acuático.

La remoción de la acumulación de botellas plásticas y otros residuos sólidos



Siete kilómetros de botellas plásticas en el río Ajllita Jahuira, en el municipio de Pucarani, donde desembocan las aguas que llegan de los ríos Seke y Seco de El Alto y del río Pallina de Viacha.



Biobarda instalada en el río Pallina, capturando varias toneladas de botellas plásticas.



8. Generalizar la segregación domiciliar y contenedores selectivos de basura

Es importante impulsar programas de separación de residuos en origen, apoyados con contenedores diferenciados para reciclaje, educación ciudadana, y rutas de recolección diferenciadas. Esto permite reducir la cantidad de basura que llega a vertederos y cuerpos de agua, y mejorar la valorización de materiales reutilizables.

Contenedores domiciliars de basura



Contenedores domiciliars de basura para la recogida selectiva de metal (rojo), papel (celeste), vidrio (verde), gris (papel) y amarillo (plástico), utilizados en los hogares franceses, y dispuestos en las aceras en los días semanales específicos de acopio, en los cuales los camiones municipales recolectores los recogen.



En el río Seco, hacia la zona de Mercedario (El Alto, colindante con Puchukollo) Foto: Malkya Tudela

9



9. Regular las actividades de las canteras (areneros y extractores de áridos)

Las extracciones no reguladas alteran los cauces, aumentan la turbidez del agua y degradan los ecosistemas ribereños. Se sugiere establecer normativas específicas, zonas autorizadas, y monitoreo regular para reducir los impactos de esta actividad sobre el lago y sus afluentes.

10



10. Implantar un sistema de consigna generalizado para botellas de vidrio y plástico

Esta medida busca reducir los residuos de envases, incentivando su retorno mediante un sistema de depósito-reembolso, que fomenta el reciclaje mediante el incentivo económico. Cuando los consumidores compran bebidas, pagan un pequeño depósito adicional que se les reembolsa al devolver los envases vacíos en puntos de acopio designados. Su articulación se puede promover con recicladores locales, campañas de concienciación y políticas que obliguen a productores a responsabilizarse por sus envases.

11



11. Prohibir los plásticos de un solo uso

Promover comercios en los que los consumidores lleven sus propios envases. Esta iniciativa debería ser incentivada y subvencionada por políticas públicas. Este tipo de estrategias se complementan con medias regulatorias y educación al consumidor.

12



12. Prohibir detergentes con fosfatos para reducir la eutrofización

Dado que los fosfatos son uno de los principales nutrientes que estimulan el crecimiento de algas nocivas, se propone su eliminación en detergentes de uso doméstico e industrial. Esta medida tuvo buenos resultados en otros países y debe complementarse con campañas informativas y normativas de fiscalización. A partir de la experiencia internacional, prohibir los fosfatos en los detergentes debería ser una medida prioritaria para controlar la eutrofización en estos ecosistemas.

13



13. Controlar sustancias, microorganismos y partículas indeseables

Se debe hacer énfasis en la necesidad de incorporar tecnologías de tratamiento que eliminen contaminantes emergentes como antibióticos, metales pesados, microplásticos y microorganismos patógenos. Se sugiere el uso de procesos avanzados (como ozonificación o membranas) y monitoreo periódico para garantizar la calidad del agua.

14



14. Reemplazar los rellenos sanitarios por centros de acopio selectivo y puntos de entrega voluntaria

En lugar de depender de rellenos que generan lixiviados y ocupan grandes extensiones de suelo, se recomienda impulsar centros municipales donde la población pueda entregar residuos clasificados para su tratamiento, reciclaje o disposición final, reduciendo la contaminación difusa.

15



15. Establecer programas de recojo de basura en municipios rurales

La falta de servicios de recolección en áreas rurales hace que los residuos se quemen o arrojen a cuerpos de agua. Se propone implementar rutas rurales sostenibles, capacitación comunitaria y apoyo institucional para garantizar una gestión adecuada y equitativa de residuos sólidos.



Descentralizar el tratamiento de aguas residuales mediante mini-PTARs y PTARs compactas constituye, sin duda, la estrategia más eficiente y económica, tanto en zonas urbanas como rurales, complementando a las PTAR convencionales de Puchukollo y Tacachira.

Por otro lado, el cierre progresivo de los rellenos sanitarios debe acompañarse de un fuerte incentivo al reciclaje selectivo de la mayoría de los residuos sólidos (plásticos, vidrio, papel y cartón), la prohibición de envases plásticos de un solo uso, la separación domiciliar de residuos, un sistema generalizado de devolución de botellas plásticas y de vidrio, así como la relocalización progresiva de industrias en parques industriales equipados con sus propias PTAR especializadas.

Soluciones de ingeniería ecológica (basadas en la naturaleza)

La ingeniería ecológica es definida como el diseño de ecosistemas que beneficien tanto a la naturaleza como a las sociedades humanas. En lugar de dominar o transformar la naturaleza, busca que las actividades humanas se alineen con los procesos ecológicos, reconociendo los múltiples valores de los ecosistemas, conservándolos y restaurándolos. Se inspira en el funcionamiento natural de los ecosistemas, evitando la introducción de elementos artificiales o no compatibles con los entornos locales. En ese contexto, se sugieren las siguientes medidas para aliviar la contaminación de la cuenca Katari y el Lago Titicaca:



1. Implementar humedales construidos con macrófitas acuáticas

Estos sistemas biológicos artificiales replican el funcionamiento de humedales naturales para filtrar contaminantes. Usan plantas como totoras o juncos, que absorben nutrientes y metales. Son de bajo costo, fácil mantenimiento y especialmente útiles para tratar aguas domésticas en pequeñas comunidades.



2. Crear jardines flotantes con macrófitas acuáticas

Flotando sobre cuerpos de agua contaminados, estos jardines absorben nutrientes del agua y reducen la presencia de algas. Sirven además como hábitat para aves y peces, mejoran el paisaje y se integran en contextos turísticos o urbanos. Los humedales construidos están diseñados para imitar la función natural de los humedales en la depuración de aguas residuales mediante procesos físicos, químicos y biológicos. Desde 1974, esta tecnología es reconocida como una tecnología eficaz y viable para el tratamiento de aguas residuales, tanto en países desarrollados como en desarrollo.



3. Estudiar la implementación de un colector circunlacustre de alcantarillado combinado

Se explora la posibilidad de construir un sistema de alcantarillado que recoja tanto aguas residuales como pluviales alrededor del Lago Menor, con tratamiento previo antes de su descarga. Aunque la iniciativa es costosa, esta medida puede reducir significativamente el ingreso de contaminantes al lago si se acompaña de un buen diseño y financiamiento.

Un alcantarillado combinado circunlacustre de aguas residuales y pluviales podría implementarse a lo largo del litoral boliviano norte y central del Lago Menor, en particular entre Puerto Pérez y Chojasivi, para reducir substancialmente la carga contaminante al lago. Este colector debería ser conectado a sus extremos con mini-PTARs equipadas de humedales construidos (filtros verdes), previo a la descarga de estas aguas finalmente tratadas al lago.



4. Desarrollar corredores verdes a lo largo de los ríos urbanos

Estos espacios verdes permiten restaurar la vegetación ribereña, mejorar la filtración de contaminantes, reducir la erosión y proporcionar beneficios recreativos a la población. Además, sirven como barrera ecológica entre zonas urbanas y cuerpos de agua, integrando la naturaleza en la planificación urbana.

An aerial photograph showing a landscape with a river, marshes, and a small settlement. The river flows through the center, surrounded by green marshes and brown, dry-looking areas. In the upper left, there are several small buildings and a few people. The overall scene depicts a natural water management system in a semi-arid region.

Es imprescindible promover la ingeniería ecológica (basada en la naturaleza) como complemento de la ingeniería sanitaria, con el fin de tratar eficientemente las aguas residuales. En este sentido, se debe fomentar el uso de humedales construidos y jardines flotantes, respaldados por experimentación a escala real.

5. Propuestas de soluciones estructurales para mitigar y adaptarse a los efectos del cambio climático



1. Reforestación

- La reforestación es una medida para mitigar los efectos del cambio climático, ya que contribuye a conservar los suelos, reducir la erosión y mejorar la infiltración de agua. Al recuperar la cobertura vegetal en laderas, riberas y zonas degradadas, se estabiliza el terreno y se fortalece la resiliencia de los ecosistemas frente a sequías e inundaciones. Además, los árboles capturan CO₂, lo que ayuda a reducir los gases de efecto invernadero en la atmósfera. Su contribución es a largo plazo y utilizar árboles nativos como *kiswara* y *queñua* es lo más recomendable.



2. Cosecha de agua de lluvia en microcuencas

- Esta propuesta consiste en capturar y almacenar agua de lluvia recibéndola desde los techos de las viviendas y almacenándola en tanques de cemento. Estas estructuras permiten aprovechar al máximo el agua de las precipitaciones estacionales, reducir la escorrentía superficial y mejorar la recarga de acuíferos, beneficiando tanto a la agricultura como al abastecimiento doméstico en zonas rurales vulnerables.



3. Recolección de agua en el subsuelo superficial

- Se sugiere aprovechar las capas poco profundas del suelo para almacenar agua de lluvia o escorrentía en el subsuelo mediante técnicas de infiltración dirigida o cavidades selladas. Esta estrategia ayuda a conservar el recurso hídrico durante períodos secos, estabiliza la humedad del terreno y reduce la evaporación superficial, siendo útil especialmente para cultivos de raíz profunda y para garantizar reservas hídricas sin grandes infraestructuras.



4. Construcción de embalses subterráneos

- La implementación de cisternas o tanques enterrados permite almacenar agua de forma segura y protegida de la evaporación. El método consiste en excavar una zanja perpendicular al lecho de un riachuelo, impermeabilizar su fondo con arcilla o una geomembrana, y posteriormente rellenarla con tierra. Durante la época de lluvias, el caudal del riachuelo infiltra en el subsuelo hasta alcanzar el nivel impermeable de la zanja. El agua acumulada crea un reservorio subterráneo, cuya humedad beneficia directamente los cultivos situados aguas abajo. Estos embalses pueden construirse bajo parcelas agrícolas o terrenos comunales, y servir para el riego de cultivos, el consumo animal y el uso doméstico durante la época seca. Se trata de una alternativa eficiente para aumentar la disponibilidad de agua en regiones que enfrentan sequías prolongadas y baja recarga natural.



5. Siembra de nubes

- Como medida complementaria y experimental, se propone evaluar la viabilidad de técnicas de siembra de nubes mediante el uso de yoduro de plata u otras sustancias que estimulen la formación de precipitaciones. Esta práctica, aplicada con éxito en otros países andinos, podría contribuir a aumentar las lluvias en momentos críticos, especialmente en microcuencas agrícolas o zonas con embalses. Sin embargo, su implementación requiere estudios previos, control riguroso y respaldo técnico-científico.



6. Acciones no estructurales



1. Elevar la conciencia y la protección del medioambiente

- Se propone impulsar una cultura ambiental en todos los niveles de la sociedad mediante campañas informativas, talleres comunitarios y actividades participativas. El objetivo es que las personas reconozcan su rol en la protección del Lago Titicaca y se comprometan activamente con prácticas sostenibles desde el hogar hasta lo colectivo.

2. Incluir educación ambiental y cambio climático en la currícula escolar

- La educación formal debe integrar contenidos sobre medioambiente y cambio climático desde los niveles inicial primario y secundario. Esto permitirá formar ciudadanos informados, críticos y comprometidos con la sostenibilidad, además de generar capacidades técnicas para enfrentar los desafíos ambientales del país. Una enseñanza diferenciada, según las regiones y el lugar de vida de los alumnos y las escuelas, es indispensable para conocer mejor y, por lo tanto, respetar mejor el medioambiente y la naturaleza.



3. Informar y educar a través de los medios de comunicación

- Los medios de comunicación, incluyendo radios comunitarias, televisión, redes sociales y plataformas digitales, deben desempeñar un papel activo en la difusión de información científica, noticias ambientales y buenas prácticas, con formatos accesibles, inclusivos y en lenguas originarias cuando sea necesario.



4. Promover el monitoreo ambiental participativo

- Es importante involucrar a comunidades locales, juntas vecinales, estudiantes y organizaciones sociales en el monitoreo de la calidad del agua, residuos y biodiversidad, utilizando herramientas accesibles y formación básica. Esto fortalece la corresponsabilidad ciudadana y genera datos útiles para la toma de decisiones.



5. Incluir un presupuesto para el tratamiento de aguas en las tasas municipales

- El financiamiento del saneamiento básico debe asumirse como una responsabilidad compartida, similar a otros servicios esenciales como la electricidad o la salud, y requiere que tanto ciudadanos como industrias contribuyan a su sostenibilidad, especialmente cuando generan contaminación, en cumplimiento del principio de que quien contamina debe pagar por la restauración ambiental.



6. Educar sobre cambio climático como oportunidad para las escuelas

- Inspirado en experiencias como la del científico Éric Guilyardi, se destaca que el cambio climático puede convertirse en un eje transversal para el aprendizaje, motivando el pensamiento crítico, la comprensión científica, la ética ambiental y el vínculo con el territorio desde la educación escolar.



7. Priorizar temas para investigaciones aplicadas

- Es necesario orientar la investigación científica hacia soluciones concretas y locales, como la evaluación de tecnologías de tratamiento, el comportamiento de contaminantes emergentes, o los impactos del cambio climático sobre especies nativas, para generar conocimientos útiles para la gestión ambiental y la formulación de políticas.



8. Incentivar un turismo ambiental cultural responsable

- Se propone desarrollar un turismo que valore el patrimonio natural y cultural del lago, que sea respetuoso con el entorno y que ofrezca beneficios económicos a las comunidades locales. Esto incluye promover guías formados en temas ambientales, infraestructuras sostenibles y brindar experiencias educativas a los visitantes.



Este documento identifica como zonas críticas a la cuenca del río Katari y la Bahía de Cohana, debido a su alta concentración de contaminantes, principalmente por aguas residuales no tratadas, residuos sólidos, desechos industriales y pasivos mineros.

7. Conclusiones

Ante este panorama, se recomienda actuar prioritariamente en la modernización y ampliación de plantas de tratamiento de aguas residuales, el control efectivo de descargas industriales, la gestión adecuada de residuos sólidos urbanos y rurales, y la implementación de soluciones basadas en la naturaleza, como humedales artificiales y corredores verdes.

Además, se enfatiza que las acciones estructurales deben estar acompañadas por medidas no estructurales: educación ambiental, participación comunitaria y una gobernanza articulada entre niveles de gobierno.

Finalmente, se resalta la necesidad de asegurar un financiamiento sostenido y multisectorial, así como una voluntad política firme y continua, para lograr la recuperación ecológica del Lago Menor y garantizar el derecho colectivo a un ambiente sano.



www.ftierra.org

DESCARGAR



ESTUDIO COMPLETO

La elaboración de este documento es gracias al apoyo de Diakonía:

La gente
cambia
el mundo

Diakonia