

Título: *BIOREMEDIACION DE LAS ZONAS DE HUATAJATA Y BAHÍA COHANA DEL LAGO TITICACA Y REVALORIZACION CULTURAL ECONOMICA DE LA TOTORA*

País: Bolivia

Entidad ejecutora: MMAyA-UMSA-IRD (Francia)

Inversión: GEF: 370,000.00 US\$ Co-financiamiento: 2,415,461.00 US\$

**Resumen ejecutivo ( $\leq$ 300 palabras):**

El Lago Titicaca es el lago más importante de Sud América, tanto por su envergadura como por su biodiversidad y relevancia, económica, social y cultural para toda la región andina. En este momento se encuentra seriamente amenazado por cambios globales ocasionados por actividades antrópicas que incluyen el cambio climático y muy en especial la contaminación por aguas residuales domésticas e industriales. El proyecto propone evaluar la eficacia de dos alternativas innovadoras de bioremedición para el Lago Titicaca y el Río Katari (principal afluente de contaminación doméstica e industrial al Lago Menor). La primera alternativa es un sistema de reducción de la carga orgánica y de nutrientes (fósforo y nitrógeno) arrastrados por el Río Katari mediante la fitoremedición con humedales artificiales de *Schoenoplectus californicus* ssp. *tatora*. La segunda alternativa es la de filtros flotantes de *Schoenoplectus californicus* ssp. *tatora*, que promueven la reducción del material orgánico, nitrógeno, fosforo y sólidos suspendidos, que son vertidos por las comunidades asentadas a las orillas de todo el lago. El rendimiento de dichas alternativas será evaluado estrictamente mediante marcadores muy sensibles y precisos identificados en un estudio previo. También se propone la revalorización de los totorales, mediante un dialogo de saberes que fomente el uso y manejo tradicional de la Totora como también la conservación de los Totorales debido a su importancia como filtro natural de los contaminantes arrastrados con los escurrimientos. El proyecto solicita para esto un total de \$us 370mil. Sin embargo, el proyecto demandará más de dos millones de dólares que serán cubiertos por Unidad de Calidad Ambiental del Instituto de Ecología, Facultad de Ciencias Puras y Naturales de la Universidad Mayor de San Andrés (IE-UMSA); el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA); y Instituto de Investigación para el Desarrollo de Francia (IRD).

**Contexto en el que se ejecutará la experiencia piloto:**

(i) *Contexto ambiental*

El lago Titicaca es uno de los lagos más grandes y antiguos de todo el mundo. Es también un ecosistema único por sus condiciones extremas de altitud, temperatura y radiación solar. Esto permite una muy alta biodiversidad con muchos endemismos (Dejoux & Iltis, 1991; Pouilly et al, 2014), que hacen del mismo un ecosistema digno de conservación. Muchas de las especies nativas de la región se encuentran en algún grado de vulnerabilidad importante (Pouilly et al, 2014) y se teme que algunas estén muy cerca de la extinción.

La cuenca del Lago Titicaca tiene más de 56000 Km<sup>2</sup>, mientras el Lago mismo tiene una extensión de más de 8000 Km<sup>2</sup>, un volumen de casi un millón de Km<sup>3</sup>, una altitud de alrededor de 3800 m.s.n.m., un origen a partir de una

sucesión de lagos altiplánicos antiguos hace unos 55000 años, empero solamente 9 000 años como se conoce actualmente(Pouilly et al, 2014). Se ubica en una región tropical pero tiene un clima alpinofrio con elevados niveles de radiación solar asociados a su altura por la fina capa atmosférica. Esto hace que existan muchos endemismos dentro de este ecosistema y que el mismo tenga una amplia influencia sobre toda la región altiplánica del Estado Plurinacional de Bolivia y de la República del Perú.

(ii) *Contexto social y cultural*

El lago Titicaca es la cuna de imperio Incaico, pero su importancia cultural y económica antecede por mucho al periodo Incaico y persiste hasta hoy en día. Más de tres millones de personas entre el Estado Plurinacional de Bolivia y la República del Perú, en proporciones casi iguales, dependen en cierta medida de la conservación del Lago Titicaca, como fuente de alimento, regulador climatológico, atractivo turístico y centro cultural irremplazable. Sin embargo, el crecimiento poblacional, el cambio climático y la falta de infraestructura sanitaria plantean una seria amenaza a este emblemático lago.

Solo en el Estado Plurinacional de Bolivia el Lago Titicaca es la principal fuente de proteína de origen ictiológico para la Ciudad de La Paz, El Alto y otras ciudades y poblaciones intermedias del altiplano Boliviano (más de 2 millones de habitantes). Es también la principal fuente de proteína y la forma de vida de decenas de miles de habitantes que se asientan a sus orillas. Más aún, el lago se constituye en centro cultural de gran importancia para la cultura andina y hoy en día incluso para la iglesia católica que concentra uno de sus más importantes peregrinajes en el país a la orillas del Lago Titicaca, específicamente a Copacabana. En suma, la conservación y remediación del Lago Titicaca tiene un impacto potencial en más de 3 millones de personas, aunque los resultados inmediatos del proyecto tienen un impacto mucho más modesto, por ser esta una iniciativa piloto. Los resultados inmediatos y el proyecto en sí tendrán su principal impacto en la comunidad de Huatajata y en una comunidad a definirse a orillas del río Katari.

Más de un millón y medio de personas en los dos lados de la frontera están involucradas en los procesos de degradación de este ecosistema, ya que son parte de la cadena de producción de los contaminantes que llegan al lago. Muchas de estas personas son de recursos limitados y carece o tiene acceso limitado a servicios básicos, que constituye gran parte del problema. Por supuesto este programa, no pretende resolver estos problemas pero no se puede dejar de mencionar que la solución definitiva de la contaminación del Lago Titicaca pasa por solucionar el tema de servicios básicos en toda la región. La mayoría de esta población se concentra en las ciudades de El Alto y Viacha en Bolivia; y Puno y Juliaca en Perú, pero un número también importante se encuentra en las orillas del mismo lago. La ventaja es que los pobladores locales pueden ser parte de la solución y esto está contemplado dentro del proyecto.

(iii) *Contexto económico*

El Lago Titicaca constituye un importante centro de actividades económicas y con enormes potencialidades dependientes de su conservación. El lago es el principal centro de actividad piscícola para la zona andina del Estado Plurinacional de Bolivia y la República del Perú y uno de los más importantes

del Perú. En este último hay una creciente actividad de piscicultura que conlleva el riesgo de incrementar el problema de contaminación pero también es una alternativa interesante para poder efectuar un manejo adecuado del ecosistema. En Bolivia todavía muchas comunidades dependen de la pesca pero el turismo y la agricultura son también muy importantes. La agricultura se ve beneficiada por los efectos climatológicos del lago en sus alrededores, en particular la humedad tan escasa en el generalmente árido altiplano Boliviano. Tanto la agricultura como el turismo también representan un riesgo importante para agravar los problemas de contaminación, pero podrían también brindar oportunidades económicas necesarias para la sostenibilidad de programas de remediación.

(iv) *Contexto institucional*

El órgano regente del Lago Titicaca y el sistema TDPS es la ALT, que articula el trabajo y esfuerzo de ambos países para la conservación y manejo del sistema. El proyecto se enmarca en la Estrategia de Recuperación Integral de la Cuenca Katari y el Lago Titikaka lanzada el 2015 por el MMAyA. El trabajo se realizará entre el MMAyA, investigadores de la Universidad Mayor de San Andrés, investigadores del Institut de Recherche pour le Développement de Francia y actores locales. En este proyecto piloto no se pretende involucrar de forma directa a todos los municipios y gobernación pero se transmitirán los resultados de forma periódica para mantenerlos enterados. El ALT, organismo binacional de todo el sistema TDPS, servirá de vínculo con las instituciones del Perú como el ANA y el IMARPE que podrían aprovechar la experiencia adquirida.

(v) *Contexto legal y normativo*

El proyecto se enmarca dentro del espíritu de la nueva constitución política del Estado Plurinacional de Bolivia, la Ley del Medio Ambiente, la Ley de la Madre Tierra,

**Problema central**

El río Katari es sin duda el principal aportante de contaminación al Lago Menor del Titicaca y este río se contamina principalmente debido a su unión con el río Pallina. El Río Pallina recibe cargas de contaminación minera, desechos industriales y urbanos provenientes de El Alto y Viacha, que hoy en día podrían sumar cerca de un millón de habitantes. De acuerdo a Ribera (2008) ya hace más de 5 años los ríos Seke, Seco y Challajahuira contenían una carga de 1 y 1,2 millones de metros cúbicos de aguas residuales por día, de los cuales al menos 300.000 litros son de orina y 10 Tn de residuos sólidos. Dichos ríos son los principales tributarios del Río Pallina. Unos kilómetros más al sureste del Municipio de Laja, el río Pallina se une al Río Katari, que prácticamente hasta este punto no se encuentra contaminado. Es a este nivel que el Río Katari se convierte en el drenaje absoluto de toda la contaminación del El Alto, Viacha y Laja, y se dirige hacia la Bahía de Cohana.

Parte del caudal del Río Seco ingresa la Planta de Tratamiento de Aguas de Puchukollo, situada en el Municipio de Laja, la cual apenas alcanza a procesar el 45% del total de aguas servidas de la red del alcantarillado de la Ciudad del

Alto (Lidema 2012). La planta realiza un importante aporte a la reducción de los contaminantes como fosfato pero es insuficiente ya que a la salida de la planta las concentraciones están aún muy por encima de los niveles permitidos para cualquiera de las categorías de agua definidas en la normativa Boliviana e internacional.

La enorme carga de contaminantes orgánicos y nutrientes arrastrada por el río Katari a causado una evidente eutrofización de Bahía Cohana. Lo que ha promovido un crecimiento explosivo de la lenteja de agua (*Lemna gibba*), de un helecho pequeño flotante (*Azolla filiculoides*) y un ranúnculo de agua u “ocororo” (*Hydrocotyle ranunculoides*) y la coloración negruzca de las totora (*Schoenoplectus californicus* sp.), que son indicativos de la elevada demanda de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y altas concentraciones de nitrógeno y fosforo que se tienen en la Bahía Cohana/Lago Titicaca (Lidema, 2008, Pouilly et al., 2014). Sin embargo, resultados recientes sugieren que la contaminación no se ha extendido mucho más allá de la Bahía Cohana (Achá et al, 2014).

Parece ser que la sucesión de macrófitas ha podido frenar de alguna forma la dispersión de la contaminación. A las afueras del estrecho entre Pariti y Quehuaya (afueras de Bahía Cohana) diversos indicadores sugieren que los niveles de contaminación son de los más bajos de todo el lago (Achá et al. 2014). De hecho los indicadores de eutrofización, entre los que destacan el fraccionamiento isotópico de nitrógeno y la atenuación de la luz, son significativamente más altos en Huatajata y Chua que a las afueras de Cohana (Achá et al. 2014). Esto sugiere que existen otras fuentes de contaminación fuera del Río Katari.

Entre marzo y abril de 2015 se pudo evidenciar un gran Bloom de algas que cubrió la mayor parte del lago menor del Titicaca. Dicho Bloom fue protagonizado por un alga verde (Clorofita) identificada como *Carteria* sp. la cual formó un extenso manto verde superficial (Achá et al, 2015). Este evento dramático puede haber causado una fuerte mortandad reportada por comunarios. Sin embargo, parece que en este caso el gatillante del evento no fue la entrada de más contaminación por Bahía Cohana, sino la suma de aportes de otras comunidades y escurrimientos (Achá et al, 2015). De hecho, los datos climatológicos muestran un incremento drástico de precipitaciones que puede haber incrementado los escurrimientos y ya se habían reportado niveles de contaminación en Huatajata y Chua (Achá et al. 2014).

### Estrategia de intervención

El propósito del proyecto es evaluar la utilidad de dos alternativas de bioremedición para el lago Titicaca y el río Katari. Se proponen dos estrategias piloto para lidiar tanto con la contaminación proveniente del río Katari y otra para la contaminación aportada por las comunidades asentadas en las orillas del lago, más precisamente en Huatajata. Ambas estrategias son dependientes de alcanzar acuerdos con las comunidades locales y conseguir el compromiso de participación e involucramiento de los actores locales (comunarios) y autoridades locales (municipios). Solo se consideraran a los municipios directamente involucrados y tampoco se tomará en cuenta al

gobierno departamental ya que por la escala del proyecto y su complejidad incorporar demasiados actores podría ser contraproducente para su organización y ejecución. Sin embargo, los resultados serán ampliamente difundidos.

En ambas estrategias se plantea la utilización de la fitoremediación con especies principalmente nativas, como la mejor alternativa desde el punto de vista de costos, eficiencia y valor socioeconómico y cultural para la región. Ninguna de estas estrategias pretende sustituir o eliminar la necesidad de medidas estructurales de saneamiento básico o plantas de tratamiento a gran escala para tratar los principales efluentes contaminados. Estas son en realidad alternativas que pueden aplicarse de forma complementaria y a sistemas más pequeños sin posibilidades de ser tratados por sistemas tradicionales, así también como alternativa de remediación del lago mismo.

Se plantea utilizar la fitoremediación porque es una estrategia de bajo costo con la capacidad de inmovilizar, remover y destruir contaminantes (Mackova et al, 2006). Las plantas inmovilizan contaminantes en el agua al retenerlos en sus raíces, rizósferas, perifiton o dentro sus tejidos (Miglioranza et al, 2004). De esa forma los humedales artificiales, por ejemplo, pueden retener gran parte de los contaminantes. Las plantas y algas también remueven contaminantes del sistema ya que los incorporan dentro de sus tejidos. Esto es particularmente importante para nutrientes como el fosfato y el nitrato, que son secuestrados para las necesidades metabólicas de la planta o alga, pero también se aplica a contaminantes metálicos (Murray-Gulde et al, 2005). Finalmente, las algas y plantas pueden también destruir contaminantes orgánicos de distintos tipos y esto puede ser de gran utilidad para el tratamiento de afluentes con contaminantes emergentes como antibióticos, hormonas o pesticidas. Dado que este es el caso de la cuenca Katari la fitoremediación resulta particularmente interesante.

La Totora (*Schoenoplectus californicus* ssp.) resulta particularmente interesante para fitoremediación por dos factores centrales, primero que es una planta ya de gran aprovechamiento en el Lago Titicaca y cuyos usos tradicionales están ampliamente distribuidos en el lago. Esto hace la tecnología a evaluarse sumamente fácil de replicar y extrapolar a todas las zonas que lo necesiten. En segundo lugar porque esta especie ha sido ya ampliamente investigada en su potencial papel como fitoremediador. Esto implica que no es necesario realizar demasiadas investigaciones para poder probar en campo la efectividad de este grupo.

Existen diversas experiencias con Totora y fitoremediación, y prácticamente todas las experiencias fueron exitosas. Existe por ejemplo experiencia con Totora y fitoremediación de afluentes contaminados con metales pesados (Murray-Gulde et al, 2005), donde la Totora no solo absorbe el contaminante sino que brinda el sustrato para el desarrollo de otros organismos que hacen los contaminantes poco biodisponibles (Bauer et al, 2007; Murray-Gulde et al, 2005). Por otro lado, la totora tiene un gran potencial para la remoción de nutrientes debido a que su crecimiento es muy acelerado en particular con aportes de nutrientes terrestres (Pratolongo et al, 2008). Esto podría ser aprovechado para generar cosechas cíclicas con el consiguiente aprovechamiento de la elevada productividad de este potencialmente valioso material. También existe evidencia de que la Totora puede retener pesticidas

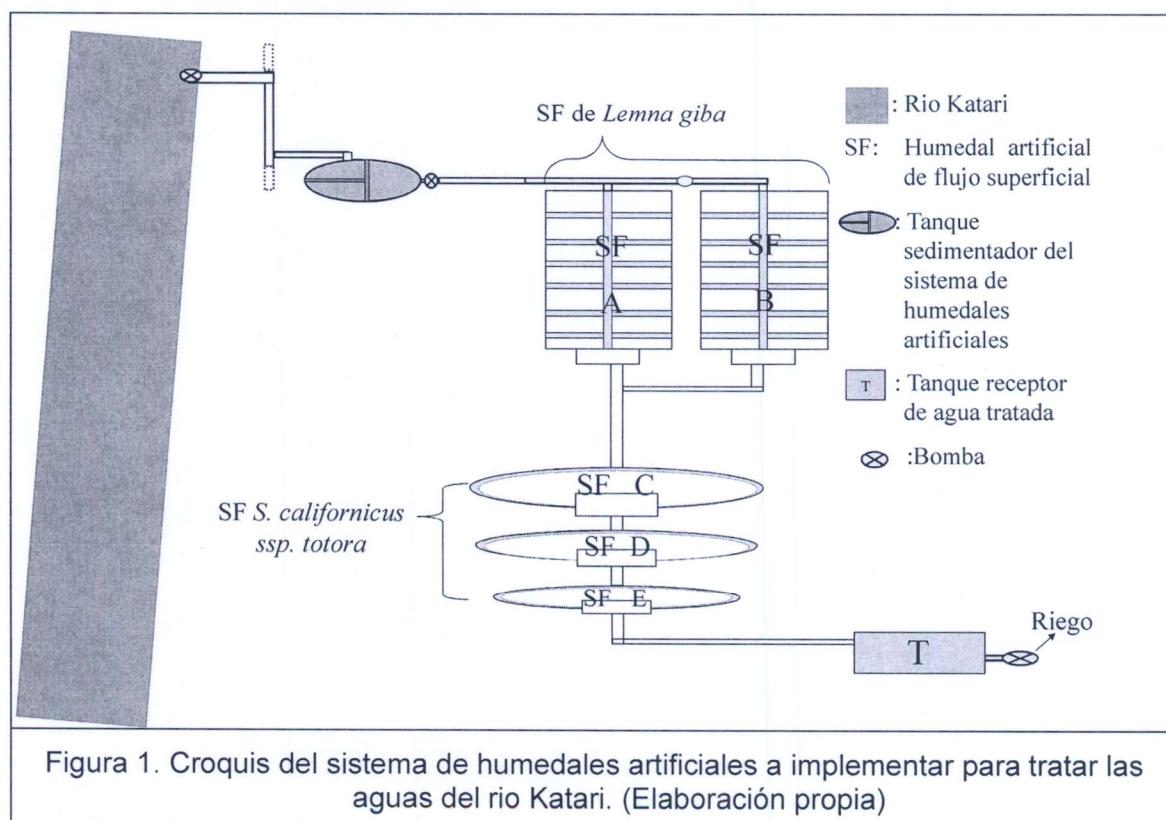
organoclorados contenidos en sedimentos (Miglioranza et al, 2004) por lo que su utilidad está más allá de la remoción de nutrientes y metales.

En Anexo se incluye la ubicación de ambos proyectos.

#### Humedal artificial de *Schoenoplectus californicus* ssp. *tatora* en la Bahía de Cohana

El primer programa piloto consiste en la construcción de humedales artificiales y de flujo superficial para tratar las aguas del río Katari. Dicho río fue seleccionado para evaluar el potencial de descontaminación del sistema en las condiciones más extremas. Lo que se pretende es desviar parte del caudal del río por medio de un canal revestido, el cual contará con una serie de rejas de desbaste o cribado de diferentes anchos con el fin de separar los sólidos gruesos para evitar daños en las macrófitas. El canal se conectará con un tanque sedimentador en el cual se iniciara el pre-tramiento de las aguas por medio de la precipitación de material particulado.

El agua pre-tratada será transferida a dos piscinas de 27 m<sup>3</sup> en los cuales se utilizará la *Lemna giba* como primer agente de remoción de contaminantes eutrofizantes (nitratos y fosfatos) y metales pesados. De ahí las aguas escurrirán a una serie de humedales horizontales (estanques de 14m<sup>3</sup>, 10m<sup>3</sup> y 7m<sup>3</sup>), los cuales contaran con un substrato de suelo, arena fina, arena gruesa, grava, roca y compost o materia orgánica, que sostendrá a la Totora y determinara el tiempo de contacto del rizoma con las aguas a remediar. Las aguas tratadas serán depositadas en un tanque receptor para posteriormente ser usadas en el riego de cultivos (Figura 1).

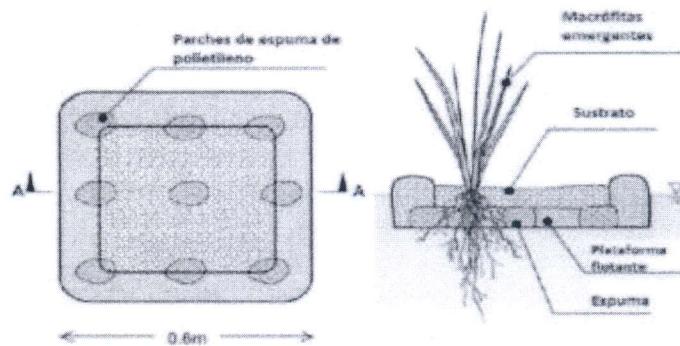


El diseño del sistema estará de acuerdo a las recomendaciones de la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2005). Sin embargo, el diseño final de la toma de agua y de todo el sistema se definirá después de establecer el lugar exacto de su emplazamiento. Dado que la locación exacta depende de la comunidad que acepte participar del programa y de las características técnicas del lugar no se tendrá el diseño final hasta los primeros 3 o 6 meses del proyecto.

#### Sistema de balsas de Filtros Flotantes de *Schoenoplectus californicus* ssp. *tatora* en Huatajata

También desarrollara un sistema de filtros flotantes de *Schoenoplectus californicus* ssp. *tatora* (Cyperaceae) piloto que se hallen en estructuras flotantes o balsas ancladas al sedimentos donde se montarán platines de la Totora, con el fin de que pueda potenciar la remoción de contaminantes eutrofizantes en el Lago Titicaca. Se espera que las Totoras absorban nitratos y fosfatos proporcionados por la contaminación generada en el litoral. Una vez alcanzado cierto tamaño las Totoras serán utilizadas para forraje, artesanía o la industria papelera, dependiendo de los resultados que arrojen nuestros análisis químico, biológico y socio-económico.

El sistema de balsas piloto se hallaría conformada por 20 estructuras flotantes unidas entre sí (Fig. 2), semejantes a las construidas en otros estudios (Borne et al, 2013; Headley & Tanner, 2008; Headley & Tanner, 2012). A diferencia de los modelos generados por otros autores, estas balsas procurarán ser completamente de Totora, rescatando las artes ancestrales de construcción de estructuras flotantes de este material. Esto requerirá, por supuesto, de la participación de actores locales o artesanos de la Totora. Dado que no hay construcciones semejantes en lado Boliviano del Lago Titicaca, seguramente se terminará el diseño final en base a prueba y error en coordinación con los artesanos locales. Además, que estas balsas se hallaran ancladas al sustrato



del lago para evitar su desplazamiento por vientos o corrientes.

Figura 2. Estructura de un balsa que sostiene a los helófitos (Tanner et.al; 2011)

Para ambas estrategias se plantea utilizar Totora cultivada *in vitro* debido a que de esta forma se pueden obtener rápidamente grandes números de individuos.

De acuerdo a un proyecto en ejecución TOTORA, se obtiene de cada línea 3 individuos por mes, lo que implica que de cada línea se obtienen 81 individuos en cuatro meses. Dado que las líneas se inician a partir de semillas de Totora tampoco hay pérdida de diversidad.

Ya se ha hecho el contacto con la familia Katari que vive a orillas del Lago Titicaca en Huatajata. Ellos tienen amplia experiencia en la construcción de balsas de Totora, algunas de las cuales han cruzado océanos dentro de proyectos internacionales. Ellos trabajarán con nosotros para definir el diseño de la isla flotante. Sin embargo, preliminarmente se ha definido una estructura en bloques de 1.25 m por 1.25 m y hacer unos 65 de estos para cubrir una superficie de aproximadamente 100 m<sup>2</sup>. De funcionar bien el sistema se duplicaría la superficie. Generar el diseño final a detalle es parte de las actividades previstas en los primeros 6 meses del proyecto.

#### *Revalorización de los usos y costumbres tradicionales del manejo de la Totora en las poblaciones locales*

Para el rescate y la revalorización de los usos y costumbres tradicionales del manejo de la Totora de las comunidades locales se empleará la metodología del proyecto BioAndes (Delgado-Burgoa et al., 2007) que consiste en seguir seis pasos principales:

1. *Identificación de la tecnología;* se buscan prácticas empleadas en las labores cotidianas de la comunidad para el manejo y conservación de la Totora y el agua.
2. *Entrevista y diálogo con los comunarios;* para recolectar información sobre el manejo y usos tradicionales que tiene y tenía la Totora
3. *Sistematización participativa;* se ordenará la información según el grado de importancia para la economía familiar, con los comunarios que compartieron sus conocimientos.
4. *Validación y complementación;* se realizará la redacción de la ficha de revalorización que será presentada a la comunidad para ser revisada y validada.
5. *Edición de la cartilla;* que incluirá las modificaciones/correciones realizadas en los talleres de validación
6. *Difusión;* entrega de cartillas a autoridades y comunarios y exposición de contenidos.

En base a la información recolectada, en encuestas, entrevistas y talleres participativos se determinará la importancia que tiene la Totora, para la economía familiar; y las estrategias del cómo se pueden potenciar, con el fin de mejorar los ingresos familiares anuales<sup>1</sup>. Esto facilitaría la transferencia de lo aprendido en el proyecto y el involucramiento de las comunidades en el proceso de replicación de las experiencias con mejores resultados dentro de este plan piloto.

---

<sup>1</sup> Ingreso Familiar Anual (IFA) es el resultado valorado de las diferentes actividades económicas que realiza una unidad familiar campesina durante un año agrícola (CIPCA; 2010)

## Resultados y productos

Resultados	Productos	Notas
Resultado 1: Mejora de la calidad del agua por la aplicación de técnica de fitoremediación en el Río Katari	1.1. Sistema de tratamiento de afluentes superficiales replicable, económico y autosustentable con la recuperación y aprovechamiento de Totora	
	1.2. Sistema de mantenimiento y programa de cosechas para aprovechamiento de la Totora implementado y mejora del rendimiento del sistema para remoción de contaminantes	
Resultado 2: Mejora de la calidad del agua por la aplicación de técnica de fitoremediación mediante islas flotantes en Huatajata	2.1. Sistema de islas flotantes que aprovecha la fitoremediación para tratar las aguas próximas a la orilla y reducir así los contaminantes que ingresan por las orillas.	
	2.2. Sistema de mantenimiento y programa de cosechas para aprovechamiento de la Totora implementado y mejora del rendimiento del sistema para remoción de contaminantes	
Resultado 3: Estudio socio-económico de revalorización de la conservación y aprovechamiento de la Totora.	3.1. Acuerdos con las comunidades como base para la replicación de los sistemas y como fuente de información primaria para evaluar el uso actual de la Totora.	

Resultados	Productos	Notas
	3.2. Análisis socio-económico sobre el potencial de aprovechamiento de la Totora.	

### **Beneficios ambientales globales**

El Lago Titicaca es un importante centro biodiversidad, lo que en sí constituye un valioso recurso ambiental. Siendo que el Lago Titicaca es uno de los lagos más grandes del mundo, constituye también un insustituible depósito de agua dulce, ya de por sí muy escasa a nivel mundial. Actualmente, en las zonas no eutrofizadas nuestros datos preliminares sugieren que el Lago Titicaca actúa como un sumidero de dióxido de carbono, contribuyendo a mitigar las concentraciones de gases invernaderos y el consiguiente efecto de cambio climático. Más aún, el lago menor del Titicaca es relativamente somero y presenta gran cantidad de Charas, que son algas con estructuras calcáreas de carbonato de calcio, esto hace que las acumulaciones de carbono sean más estables y se retiren de forma más o menos permanente del ecosistema. Al contrario las áreas contaminadas del lago Titicaca en promedio emiten dióxido de carbono y metano, contribuyendo a los gases de invernadero y el consiguiente cambio climático. En suma, este proyecto aportará a la conservación del Lago Titicaca, que es prioritaria no solo por su valor económico, ambiental y socio-cultural regional, sino por su importancia como único hogar de una importante diversidad biológica y por los servicios ambientales que presta a nivel global.

### **Beneficios locales y nacionales**

#### *(i) Beneficios locales*

El Proyecto pretende generar dos nuevas alternativas de remediación de las alteraciones ambientales o globales causadas por las comunidades locales. Al mismo tiempo espera que las mismas se constituyan también en alternativas económicas para mejorar la calidad de vida de las comunidades involucradas. Todo esto mediante una revalorización del uso tradicional de la Totora, fortaleciendo así la importancia de sus raíces culturales y su potencial para resolver problemas actuales.

#### *(ii) Beneficios nacionales*

El Proyecto contribuirá a resolver el problema de contaminación del Lago Titicaca, cuya importancia es nacional, desde el punto de vista ambiental, económico, cultural y social. Al mismo tiempo la tecnología aquí generada tiene el potencial de ser aprovechada para lidiar con problemas de contaminación en cuerpos de agua en toda la región altiplánica Boliviana y porque no Sud Americana. Las experiencias podrían incluso replicarse con algunas modificaciones en ambientes tropicales donde son otras las especies de macrófitas pero los principios serían los mismos.

#### *(iii) Grupos sociales beneficiarios*

Los beneficiarios directos de este Proyecto son sin duda las comunidades asentadas a las orillas del Lago Titicaca y aquellas que se encuentran situadas en sus afluentes. Sin embargo, la población de las ciudades de El Alto y La Paz son los siguientes beneficiados debido a que ellos dependen de la conservación del Lago Titicaca, por motivos culturales, económicos y alimentarios. La revalorización es particularmente importante para los grupos indígenas que aún son la mayoría de la población del Lago Titicaca.

### **Innovación**

La propuesta es innovadora al rescatar y revalorizar las tecnologías de las culturas andinas ancestrales y aún no perdidas por las comunidades del Lago Titicaca en lugar de ofrecer una costosa solución basada en tecnologías importadas, para el tratamiento de las aguas residuales vertidas en el lago. La propuesta también es innovadora en el sentido de que convierte el problema de la contaminación en una oportunidad económica y cultural para las comunidades cuyas actividades son también parte del problema.

### **Replicación**

Las dos estrategias piloto son fácilmente replicables ya que no se usan tecnologías importadas o costosas que representen una fuerte inversión para las comunidades. De hecho el sistema más costoso en materiales externos es el de tratamiento de afluentes pero las obras de infraestructura no son muy grandes ni costosas y podrían fácilmente ser afrontadas por los presupuestos municipales de cada población. Lo más importante que se pretende lograr es que estos sistemas den un rédito a las comunidades, tanto por el aprovechamiento de la Totora como por el atractivo turístico que podrían representar las islas flotantes. Además, el trabajo de construcción de las islas flotantes se lo realizará con familias de Huatajata con experiencia en el trabajo en Totora, rescatando sus conocimientos ancestrales y generando una plataforma para extender dicho conocimiento al resto de la comunidad. Dado que el trabajo en Totora aún permanece bastante extendido en el Lago Titicaca, la transferencia de los conocimientos no debería ser muy difícil y de hecho existe la posibilidad de que los mismos comunarios puedan innovar sobre los diseños propuestos, haciendo sus estructuras más eficientes y atractivas para los turistas.

Quizá el punto clave de la replicación de estos sistemas está en la participación de actores locales. Esto para que nos aporten con el conocimiento técnico necesario para la construcción de los sistemas, pero también para que sean parte del proceso de aprendizaje de este proyecto piloto. Esto permitiría tener gente capacitada localmente para la replicación inmediata de la iniciativa. La información será también distribuida a actores y autoridades regionales y nacionales para ampliar las perspectivas de replicabilidad del proyecto.

### **Perspectiva de género y participación de grupos etarios, población indígena y personas con discapacidad**

La problemática afecta en general a toda la población alrededor del Lago Titicaca casi sin distinción alguna. Sin embargo, como es frecuente, se puede esperar un impacto más significativo sobre poblaciones particularmente vulnerables. En caso de desaparecer la pesca del Lago Titicaca los más perjudicados en lo que respecta a seguridad alimentaria serían las poblaciones

más empobrecidas, ya que ellas no pueden acceder a productos importados de otras regiones del país o de países extranjeros. Al mismo tiempo la población más directamente afectada sería la que vive a orillas del lago y depende de la pesca u otros servicios ambientales que presta el lago. Dentro de este grupo los más afectados serían las personas de la tercera edad que quedarían abandonados por los jóvenes que ya hoy en día migran masivamente a las ciudades. Las personas de la tercera edad tienen menos movilidad debido a que es más difícil que consigan empleo en las ciudades y que renuncien a la forma de vida que los ha sostenido tanto tiempo.

El proyecto pretende emplear el conocimiento y trabajo precisamente de las personas de tercera edad, quienes suelen ser los que aún poseen los conocimientos sobre el manejo y aprovechamiento de la Totora. La revalorización de estos conocimientos les permitirá ser también revalorizados frente a las nuevas generaciones. La posibilidad de estos sistemas generen ingresos extra para las familias también reducirá, al momento de la replicación, la presión para que las nuevas generaciones migren a las ciudades. En conjunto esto podría resultar en la reducción de la migración a las ciudades de las nuevas generaciones, evitando la desintegración de las familias extendidas que son parte de las costumbres y forma de vida de los indígenas de la región.

### **Estrategia de documentación y diseminación de aprendizajes**

Habrá tres estrategias de documentación y diseminación de aprendizajes paralelos. Por un lado, se espera generar artículos científicos con los aspectos técnicos más relevantes de forma que la calidad de la información sea evaluada por investigadores internacionales. Al publicarlo en revistas nacionales e internacionales pero con difusión internacional se asegura que especialistas en el país, la región y el mundo tengan acceso a los datos generados y lo aprendido con estas experiencias.

En paralelo se elaborarán modelos gráficos, registros fotográficos y escritos de todo el proceso de forma que se pueda distribuir de forma impresa y oral toda la información generada con estas experiencias. Los actores locales también nos permitirán que lo aprendido no se pierda y pueda ser transferido dentro de su tradición oral. Los talleres participativos de dialogo de saberes también generarán una base para que en una fase posterior de replicación se puedan difundir con conocimientos adquiridos o rescatados con estas experiencias. Es decir que se involucrarán actores locales como comunarios expertos en el uso de la Totora y autoridades locales, comunarias y municipales. Al hacerlos participes de este proceso de aprendizaje se asegurará que las lecciones aprendidas estén inmediatamente disponibles para su replicación y difusión.

### **Estrategia de monitoreo y evaluación**

Para el caso del sistema de purificación de aguas superficiales: Durante y después del periodo de estabilización del sistema de humedales (7 meses) se efectuará la medición de remoción, principalmente del fosforo, nitrógeno disuelto, carga orgánica y metales pesados. También se determinarán el fraccionamiento de nitrógeno ( $\delta^{15}\text{N}$ ) y carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) a la entrada y salida del sistema en sedimentos. Esto permitirá evaluar la eficacia del sistema con medidas más integrales, ya que las diferencias reflejaran cambios más prolongados aporte antrópico de nitrógeno y en la reducción de materia orgánica. También con el fin de determinar la eficiencia y efectividad del

sistema. En el periodo de estabilización se determinara los mejores procesos y tiempos de poda y cosecha de la biomasa.

Para el caso del sistema de islas flotantes de Totora: La efectividad de la remoción de nutrientes y otros contaminantes será evaluada mediante un cálculo de la biomasa removida y el porcentaje de nitratos y fosfatos asociados. También se determinará la concentración de metales en el perifiton y material vivo de las islas flotantes. Para hacer más efectiva la determinación de los nutrientes removidos se medirá también el fraccionamiento de isótopos estables de nitrógeno ( $\delta^{15}\text{N}$ ). Esta última medida permitirá determinar la relación entre el aporte antropogénico de nitrógeno y el de las bacterias nitrificantes. Finalmente, se instalará un sistema de monitoreo permanente de algunos parámetros fisicoquímicos para ver el impacto de la isla flotante en el sistema próximo en general. Para ello se instalarán dos juegos de sondas que midan la fisicoquímica del agua y se tomarán muestras de agua en dos locaciones, una próxima a la isla flotante y otra más distante.

Para comprender el funcionamiento de los sistemas de descontaminación y poder realizar los ajustes necesarios a los mismos se investigará la distribución de los contaminantes metálicos, metaloides y en lo posible orgánicos dentro de los tejidos de totora, la rizosfera y el perifiton en cada sistema.

Ambos programas piloto serán estrictamente evaluados en su eficacia técnica como en su factibilidad socioeconómica. Ambos serán trabajados en colaboración con comunidades locales para facilitar la transferencia de conocimiento y reproducibilidad de los mismos. Todo esto dentro del marco del plan nacional para resolver el problema de contaminación en el Lago Titicaca y manteniendo una línea de comunicación con las contrapartes del Perú.

En el caso de la revalorización de la Totora, se pretende realizar encuestas a la población con la que se haya trabajado para así autoevaluar el avance que se tiene y su respectivo impacto sobre las decisiones de los comunarios y autoridades locales.

### **Arreglos administrativos**

El proyecto se administrará a través de una entidad ejecutora que administre los fondos y que permita la contratación de servicios de consultoría. Se designará un coordinador del proyecto, quien será responsable por las actividades diarias y con quien se mantendrá una fluida comunicación. Esta persona será financiada con recursos de cofinanciamiento.

El Ministerio de Medio Ambiente y Agua juega el rol de supervisor. Y el Ministerio de Relaciones Exteriores como Punto Focal del Proyecto juega el rol de Coordinador General y responsable del envío de los productos con la aprobación de la autoridad de supervisión.

### **Análisis de riesgos**

Riesgo	Nivel (alto, medio bajo)	Medidas de mitigación
Falta de interés de las comunidades en participar del proyecto	Bajo	Se tiene ya conversaciones e interés de gente en Huatajata

Riesgo	Nivel (alto, medio bajo)	Medidas de mitigación
Factores climáticos que perjudiquen o impidan la aplicación de los proyectos	Bajo	Se realizaran los ajustes necesarios en base a la información que se tiene del clima durante los últimos tres años así que podrían hacerse los ajustes necesarios
El costo de construcción ha subido considerablemente en los últimos años y puede que siga subiendo. Además el costo de edificaciones en zonas rurales puede ser más alto.	Medio	Economizar lo más posible con materiales y mano de obra locales.
La burocracia y complejidad administrativa de las instituciones involucradas demorará la ejecución oportuna y eficiente de los gastos programados, evitando la correcta ejecución del proyecto	Alto	Apoyo permanente del MMAyA y la administración de la UMSA para agilizar y facilitar los trámites en lo posible.

## Marco lógico

Ítem	Indicador	Línea base	Metas	Fuentes de verificación	Riesgos y supuestos
Objetivo general: Proponer dos técnicas innovadoras para reducir la contaminación del río Katari y de las orillas de Huatajata en el Lago Titicaca por bio-remediación de aguas con un beneficio socio-económico y cultural de las comunidades locales.	Reducción de las concentraciones de fosfato, carbón orgánico disuelto (COD) y un empobrecimiento del $\delta^{15}\text{N}$ y un Enriquecimiento de $\delta^{13}\text{C}$ en filtros y sedimentos. Número de comunidades, municipios y organizaciones gubernamentales informadas y con los datos sistematizados sobre el aprovechamiento de la Totora y su potencial	En el Katari, fosfato de 25 ppm, COD de 23 ppm, un $\delta^{15}\text{N}$ en filtros de 12.20, un nivel de $\delta^{13}\text{C}$ de -30 en sedimentos En Huatajata, fosfato de 0.062 ppm, COD de 11 ppm y un $\delta^{15}\text{N}$ promedio de 0.6.	Al año y medio de puesta en marcha de los tratamientos se reducirá en el esfuerzo del Katari el fosfato a 15 ppm, COD de 12 ppm y un $\delta^{15}\text{N}$ en filtros de 9 y un nivel de $\delta^{13}\text{C}$ -10 en sedimentos. En Huatajata el fosfato a 0.03 ppm, COD a 8 ppm y un $\delta^{15}\text{N}$ promedio de 0.6.	Resultados de laboratorio, informes a financiador es y publicaciones científicas.	En el Katari suponemos que alguna comunidad estará dispuesta a ceder el espacio y apoyar las actividades. Suponemos que en Huatajata los climas extremos no alterarán el funcionamiento del sistema

Ítem	Indicador	Línea base	Metas	Fuentes de verificación	Riesgos y supuestos
	económico.	generados	sistematizados sobre el aprovechamiento de Totora y su potencial socio-económico		
Resultado 1: Reducción de los niveles de contaminación del agua que pasa por el sistema de descontaminación en el Río Katari	Concentraciones de fosfato, carbón orgánico disuelto, empobrecimiento del $\delta^{15}\text{N}$ y enriquecimiento de $\delta^{13}\text{C}$ en sedimentos	En el Katari, fosfato de 25 ppm, COD de 23 ppm, un $\delta^{15}\text{N}$ en filtros de 12.20, un nivel de $\delta^{13}\text{C}$ de -30 en sedimentos	Al año y medio de puesta en marcha de los tratamientos se reducirá en el efluente del Katari el fosfato a 15 ppm, COD de 12 ppm y un $\delta^{15}\text{N}$ en filtros de 9 y un nivel de $\delta^{13}\text{C}$ -10 en sedimentos.	Informes técnico-científicos	Esperamos llegar a un acuerdo con alguna de las comunidades para ocupar parte de sus terrenos y utilizarlos en un tiempo razonable
Resultado 2: Reducción de las concentraciones promedio de contaminantes en las orillas de Huatajata	Concentraciones de fosfato, carbón orgánico disuelto, empobrecimiento del $\delta^{15}\text{N}$	En Huatajata, fosfato de 0.062 ppm, COD de 11 ppm y un $\delta^{15}\text{N}$ promedio de 1.17	En Huatajata el fosfato a 0.03 ppm, COD a 8 ppm y un $\delta^{15}\text{N}$ promedio de 0.6 al final del segundo año.	Informes técnico-científicos	La construcción de los soportes de totora se realizará en tiempos razonables con el apoyo de actores

Ítem	Indicador	Línea base	Metas	Fuentes de verificación	Riesgos y supuestos
Resultado3: Revalorización del aprovechamiento y conservación de <i>Schoenoplectus californicus ssp. totora</i> por las comunidades locales, como parte de un estudio socio-económico de la factibilidad y sostenibilidad de la replicación de estos emprendimientos.	Número de comunidades, municipios y organizaciones gubernamentales informadas y con los datos sistematizados sobre el aprovechamiento de la Totora y su potencial económico.	Ninguna conocida	Al final del proyecto al menos 2 comunidades, 2 municipios, el ALT y el MMAYA contarán con datos sistematizados sobre el aprovechamiento de Totora y su potencial económico.	Informes técnicos al financiador, publicación de difusión de los resultados, ALT, MMAYA	Las comunidades locales estarán interesadas en compartir su conocimiento e información sobre el aprovechamiento de la Totora

Principales actividades del resultado 1:

1. Acuerdo con la comunidad para la construcción del sistema.
2. Diseño final y construcción del sistema.
3. Plantado de las Totoras.
4. Puesta en marcha del sistema.
5. Determinación de las concentraciones de contaminantes y condiciones iniciales.
6. Determinación de las concentraciones a la salida del sistema de descontaminación de aguas superficiales

Principales actividades del resultado 2:

1. Acuerdo con los actores locales.
2. Diseño final y construcción del sistema.
3. Establecimiento de las Totoras sobre la isla.
4. Puesta en marcha del sistema.
5. Determinación de las concentraciones basales de las Totoras y sistemas asociados.

Ítem	Indicador	Línea base	Metas	Fuentes de verificación	Riesgos y supuestos
6. Determinación de la absorción de contaminantes de las islas flotantes. Instalación de sondas y monitoreo permanente del ambiente próximo y lejano a la isla flotante.					

Principales actividades del resultado 3:

1. Acuerdo con al menos dos comunidades locales para realizar talleres para el rescate de saberes sobre el uso y aprovechamiento actual de la Totora.
2. Estudio socio-económico sobre el potencial de la Totora.
3. Sistematización de la información
4. Generación de material de difusión y transmisión de la información de vuelta a las comunidades involucradas, el ALT y el MMAyA.

## Cronograma

Resultado	Meses (Total de 3 años)											
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36
Actividades												
1.1 Acuerdo	■	■										
1.2 Diseño final y Construcción		■	■	■								
1.3 Plantado				■	■							
1.4 Puesta en marcha					■	■						
1.5 Determinaciones iniciales de 1					■	■	■					
1.6 Determinaciones posteriores de 1								■	■	■	■	
2.1 Acuerdo	■	■										
2.2 Diseño final y construcción		■	■	■								
2.3 Establecimiento				■	■							
2.4 Puesta en marcha					■	■						
2.5 Determinaciones iniciales de 2					■	■	■					
2.6 Determinaciones posteriores de 2								■	■	■	■	
2.7. Monitoreo permanente del área de impacto		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
3.1. Acuerdo con al menos dos comunidades	■											
3.2. Estudio socio-económico sobre el potencial de la Totora		■	■	■	■							
3.3. Sistematización de la información									■	■		

3.4. material de difusión y transmisión de la información													
3.5 Programa de regeneración, vegetal, gestión y aprovechamiento integral de la Totora													
3.6 Programa de recuperación de especies amenazadas y dinámicas poblacionales													

### **Roles y responsabilidades**

Resultado	Responsable directo	Colaboradores
Reducción de los niveles de contaminación del agua que pasa por el sistema de descontaminación en el Río Katari	UMSA – IRD	MMAyA
Reducción de las concentraciones promedio de contaminantes en las orillas de Huatajata	UMSA – IRD	MMAyA
Revalorización del aprovechamiento y conservación de <i>Schoenoplectus californicus</i> ssp. <i>totora</i> por las comunidades locales, como parte de un estudio socio-económico de la factibilidad y sostenibilidad de la replicación de estos emprendimientos.	MMAyA	UMSA – IRD

## Presupuesto

Actividades	GEF	Co-financiamiento	Total
	(US\$)	(US\$)	(US\$)
1.1 Acuerdo	5,000	1,500	6,500
1.2 Diseño final y Construcción	60,000	1,500	61,500
1.3 Plantado	10,000	1,500	11,500
1.4 Puesta en marcha	3,000	1,500	4,500
1.5 Determinaciones iniciales de 1	20,000	200,000	220,000
1.6 Determinaciones posteriores de 1	20,000	200,000	220,000
2.1 Acuerdo	5,000	1,500	6,500
2.2 Diseño final y construcción	40,000	1,500	41,500
2.3 Establecimiento	10,000	1,500	11,500
2.4 Puesta en marcha	3,000	1,500	4,500
2.5 Determinaciones iniciales de 2	25,000	200,000	225,000
2.6 Determinaciones posteriores de 2	25,000	200,000	225,000
2.7. Monitoreo permanente del área de impacto	84,000	20,000	104,000
3.1. Acuerdo con al menos dos comunidades	10,000	3,000	13,000
3.2. Estudio socio-económico sobre el potencial de la Totora	20,000		20,000
3.3. Sistematización de la información	30,000		30,000
3.4. Material de difusión y transmisión de la información		5,000	5,000
3.5 Programa de regeneración, vegetal, gestión y aprovechamiento integral de la Totora		718,391	718,391
3.6 Programa de recuperación de especies amenazadas y dinámicas poblacionales		857,070	857,070
<b>TOTAL</b>	<b>370,000</b>	<b>2,415,461</b>	<b>2,785,461</b>

## Fuentes de co-financiamiento

Nombre del co-financiador	Tipo de co-financiamiento [Donación o especie]	Monto (US\$)
IE-UMSA	Equipamiento, salarios de investigadores, vehículos e instalaciones	600,000.00
IRD-Francia	Salario de investigadores, vehículos y equipamiento	215,000.00
IBMB-UMSA	Salario de investigador y equipamiento	20,000.00
MMAyA	Salarios de personal, consultorías, costos de difusión.	1,580,461.00
Total de co-financiamiento (US\$)		2,415,461.00

## Bibliografía

Achá D, Guedron S, Sarret G, Perrot S, Lazzaro X, Timouk F (2015) Evidence about drastic large scale event on a lake ecosystem triggered by climate change? . *Environ Resin preparation*

Achá D, Lazzaro X, Point D, Guedron S, Nuñez J, Hardy S, Alvarez MT, Heredia CR, Fernandez PE, Espinosa ME. (2014) Enfoque socio-ambiental de la eutrofización, los causantes y los potenciales de biorremediación en el continuo entre el Lago Titicaca y la Ciudad de El Alto. UCA-IE-UMSA, La Paz, p. 61.

Bauer D, Gómez N, Hualde P (2007) Biofilms coating *Schoenoplectus californicus* as indicators of water quality in the Río de la Plata Estuary (Argentina). *Environmental Monitoring and Assessment* **133**: 309-320

Borne KE, Fassman EA, Tanner CC (2013) Floating treatment wetland retrofit to improve stormwater pond performance for suspended solids, copper and zinc. *Ecological engineering* **54**: 173-182

Dejoux C, Iltis A (eds) (1991) *El Lago Titicaca: Síntesis del conocimiento limnológico actual*. La Paz: ORSTOM - HISBOL, 584pp

Headley T, Tanner C (2008) Floating treatment wetlands: an innovative option for stormwater quality applications. In *11th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Indore, India*, pp 1-7.

Headley T, Tanner C (2012) Constructed wetlands with floating emergent macrophytes: an innovative stormwater treatment technology. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* **42**: 2261-2310

Mackova M, Dowling D, Macek T (2006) *Phytoremediation and Rhizoremediation*, Dordrecht, The Netherlands: Springer.

Miglioranza KSB, de Moreno JEA, Moreno VcJ (2004) Organochlorine pesticides sequestered in the aquatic macrophyte *Schoenoplectus californicus* (C.A. Meyer) Soják from a shallow lake in Argentina. *Water Research* **38**: 1765-1772

Murray-Gulde C, Huddleston G, III, Garber K, Rodgers J, Jr. (2005) Contributions of *Schoenoplectus californicus* in a Constructed Wetland System Receiving Copper Contaminated Wastewater. *Water, Air, and Soil Pollution* **163**: 355-378

OPS. (2005) Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores. Organización Panamericana de la Salud, Lima, p. 34.

Pouilly M, Lazzaro X, Point D, Aguirre M (2014) *Línea base de conocimientos sobre los recursos hidrológicos en el sistema TDPS con enfoque en la cuenca del Lago Titicaca*, Quito, Ecuador: IRD - UICN.

Pratolongo P, Kandus P, Brinson MM (2008) Net aboveground primary production and biomass dynamics of *Schoenoplectus californicus* (Cyperaceae) marshes growing under different hydrological conditions. *Darwiniana* **46**: 258-269

Ribera-Arismendi MO (2008) *La Hiper-Contaminación De La Bahía De Cohana*, La Paz - Bolivia: LIDEMA.

## Anexos

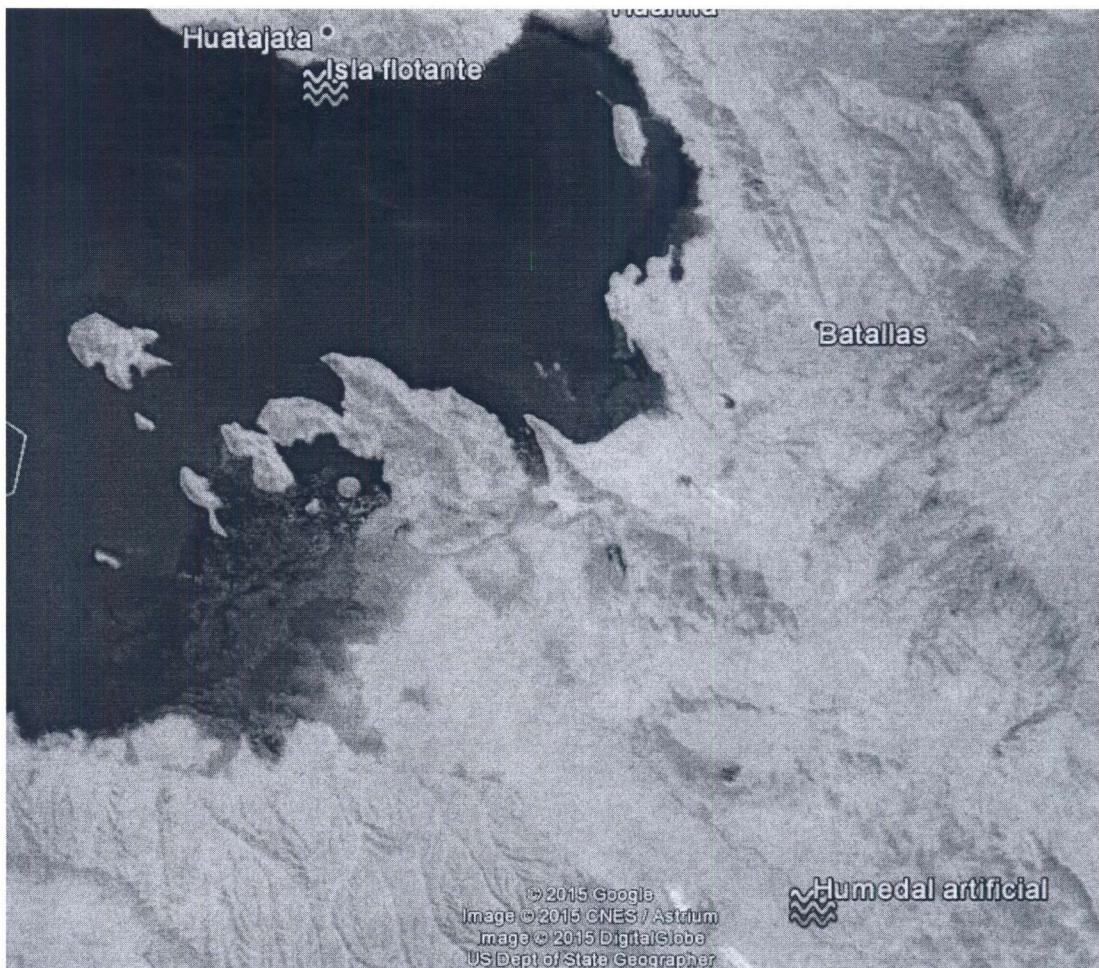


Fig. 3. Locación de los dos emprendimientos del proyecto piloto. La isla flotante en proximidades de Huatajata y el humedal artificial en algún punto a lo largo del río Katari.