

PROPUESTA DE REHABILITACIÓN AMBIENTAL DEL LAGO URU URU

Dr. Ing. Gerardo Zamora Echenique¹

Dr.- Ing. Juan Antonio Calvo Vaca²

¹ Universidad Técnica de Oruro, Carrera de Ingeniería de Minas, Petróleos y Geotecnia

e-mail: gerardozamoraechenique@yahoo.es

² Universidad Pública de Navarra

e-mail: juan.blanco@unavarra.es

RESUMEN

Durante varios siglos, la industria minera y de procesamiento de minerales ha sido la base de la economía del departamento de Oruro en Bolivia, y aparentemente, continuará siéndolo en un futuro previsible. Estas labores, a lo largo de muchos años, han hecho un considerable daño al medio ambiente. En concreto, en el presente trabajo de investigación, se presenta los efectos de la contaminación por metales pesados y las aguas residuales urbanas en la calidad de las aguas, suelos, sedimentos y especies vegetales del lago Uru Uru; así como, las posibilidades para su recuperación a través de la fitoremediación vegetal.

En ese contexto, en principio se describen las características tanto físicas como químicas de los ecosistemas del lago Uru Uru, y después se hace una descripción detallada de la vegetación de la zona, tanto de los diferentes ecosistemas existentes, como de las asociaciones vegetales. Por otra parte, se describe la situación actual de la zona, mostrando los diferentes problemas que afectan al suelo y a la vegetación (contaminación por metales pesados, salinidad propia del lago, explotación excesiva de los recursos vegetales, compactación del suelo, etc.) y las consecuencias que las acciones humanas tienen sobre estos elementos del ecosistema. Posteriormente, se describen detalladamente las cinco especies vegetales (thola, quinua, totora, milenrama y kauchi), que por sus características ecológicas de adaptación, pueden ser usadas en la fitoremediación. Finalmente, se establecen las diferentes acciones que deben ser tomadas en cuenta para mejorar la calidad del agua (control en las descargas de las aguas residuales de Oruro y de las aguas de mina de San José; además de un adecuado manejo del caudal de ingreso de las aguas al lago, en especial cuando se generen incrementos en las pérdidas por evaporación, que pueden ser compensadas con la descarga de aguas domésticas adecuadamente tratadas), el uso de enmiendas en el suelo para su descontaminación por fito-adsorción y estabilización (uso de materia orgánica, yeso y caliza), sobre el aire (control de las emisiones de la Empresa Metalúrgica de Vinto); y finalmente, el incremento de la población vegetal de las cinco especies seleccionadas, con el propósito de mejorar la calidad de las aguas, además de incrementar la biodiversidad de la zona del lago Uru Uru, y sin olvidar la de promover la necesidad de la población local de utilizar sus recursos.

Palabras clave: Rehabilitación ambiental – Lago Uru Uru

PROPOSAL FOR THE ENVIRONMENTAL REHABILITATION OF LAKE URU URU

ABSTRACT

For several centuries, the mining and mineral processing industry has been the basis of the economy of the department of Oruro in Bolivia, and apparently, it will continue to be so for the foreseeable future, and these efforts, over many years, have made a considerable damage to the environment. Specifically, in this research work, the effects of heavy metal pollution and urban wastewater on the quality of water, soils, sediments and plant species of Lake Uru Uru are presented; as well as the possibilities for its recovery through plant phytoremediation.

In this context, in principle the physical and chemical characteristics of the ecosystems of Lake Uru Uru are described, and then a detailed description of the vegetation of the area is made, both of the different existing ecosystems, and of the plant associations. On the other hand, the current situation of the area is described, showing the different problems that affect the soil and vegetation (contamination by heavy metals, salinity of the lake, excessive exploitation of plant resources, soil compaction, etc.) and the consequences that human actions have on these elements of the ecosystem. Subsequently, the five plant species (thola, quinoa, cattail, yarrow and kauchi) are described in detail, which due to their adaptive ecological characteristics, can be used in phytoremediation. Finally, the different actions that must be taken into account to improve the quality of the water are established (control in the discharge of the wastewater of Oruro and of the water of the San José mine; in addition to an adequate management of the inflow of water). waters to the lake, especially when increases in evaporation losses are generated, which can be compensated with the discharge of suitably treated domestic water), the use of amendments in the soil for its decontamination by phyto-adsorption and stabilization (use of organic matter, gypsum and limestone), on the air (control of emissions from the Metallurgical Company of Vinto); and finally, the increase in the plant population of the five selected species, in order to improve the quality of the waters, in addition to increasing the biodiversity of the Lake Uru Uru area, and without forgetting to promote the need of the population local to use its resources.

Keywords: Environmental Rehabilitation - Lake Uru Uru.

1. INTRODUCCIÓN

Bolivia es uno de los 13 países del mundo en los que se concentra la mayor parte de la biodiversidad terrestre, ya que cuenta con un gran número de ecosistemas diferentes, como el altiplano, los valles, el chaco o la selva amazónica.

En concreto, el departamento de Oruro cuenta con una diversidad de especies vegetales y animales totalmente adaptadas a las condiciones climáticas que presenta el altiplano boliviano. Entre los elementos únicos que pueden encontrarse en el departamento de Oruro se encuentran los lagos de alta montaña Poopó y Uru Uru, que junto al salar de Coipasa y el lago Titicaca son los receptores del agua que circula por la cuenca endorreica del Altiplano.

El lago Uru Uru, está formado por el desborde del río Desaguadero en su desembocadura en el lago Poopó, sobre la extensa planicie sedimentaria denominada "Santo Tomás". Esta formación data de 1962. El río Desaguadero conecta el lago Titicaca y el lago Poopó. Tiene una longitud de 21 km y una anchura de 16 km, y una superficie de 214 km² a una altura de unos 3695 msnm. La figura 1 muestra la ubicación geográfica del lago Uru Uru.



Fig. 1 Ubicación del lago Uru-Uru, departamento de Oruro - Bolivia.

Durante varios siglos, la industria minero-metalúrgica ha sido la base de la economía orureña y aparentemente continuará siéndolo en un futuro previsible. Si bien los nuevos proyectos de minería y de beneficio de minerales

se desarrollan con cierta consideración a los aspectos ambientales, las labores antiguas han causado, a lo largo de muchos años, un considerable daño al medio ambiente.

El lago Uru Uru sufre la llegada de elementos contaminantes tanto desde las aguas residuales de la ciudad de Oruro como de las aguas procedentes de las explotaciones mineras de la zona, en especial de la mina San José. Además, se deben tener en cuenta los contaminantes arrastrados por las corrientes de aire desde el complejo metalúrgico de Vinto y que alcanzan el lago, donde se depositan y suman al resto de elementos contaminantes.

A todos los anteriores condicionantes debe añadirse uno más, la gran variabilidad en la superficie ocupada por el lago, que crea unas zonas llamadas llanuras de inundación en las que las condiciones para la vida vegetal son muy difíciles.

Los lagos altiplánicos de Bolivia son importantes sitios protegidos bajo la internacional Convención Ramsar para conservar humedales, especialmente aquellos que proveen un hábitat a pájaros. Sin embargo, recientemente, causó mucha alarma que, en el playón de ingreso al lago Uru Uru, se habían acumulado más de 8.460 toneladas (una superficie de 15 más de hectáreas) de material plástico (botellas descartadas, contenedores, juguetes, bolsas plásticas, neumáticos y otros) presentando una imagen impensable (Fotografía 1), que refleja años de contaminación humana.

En éste trabajo de investigación se presenta una visión general de la situación actual de los factores ambientales del lago Uru Uru, con énfasis en su vegetación, así como de las posibilidades para su recuperación o estabilización para evitar un mayor deterioro, destacando algunas especies vegetales de interés y las acciones que con ellas pueden realizarse.



Fotografía 1.- Canal de ingreso de aguas al lago Uru Uru



Fotografía 2.- Playón de ingreso del lago Uru Uru

2. OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo de investigación se circunscribe a generar una propuesta de rehabilitación ambiental del lago Uru Uru a partir de un diagnóstico de las características físico-químicas de las aguas, sedimentos, suelos y ecosistemas acuáticos del lago; un estudio de especies vegetales, que por sus características ecológicas tienen más posibilidades de adaptarse al programa de rehabilitación vegetal de la zona del lago; y un análisis de las diferentes acciones que permitirán incrementar la biodiversidad de la zona del lago Uru Uru, pero sin olvidar la necesidad de la población local de utilizar sus recursos.

3. METODOLÓGÍA

El trabajo de investigación desarrollado consideró en su ejecución:

- Un diagnóstico ambiental de los ecosistemas del lago Uru Uru.
- Una descripción detallada de la vegetación de la zona, tanto de los diferentes ecosistemas existentes como de las asociaciones vegetales descritas por diferentes autores.
- Un análisis de la problemática que afectan al suelo y a la vegetación y las consecuencias que las acciones humanas tienen sobre estos elementos del ecosistema.
- Una evaluación de las capacidades de fitoremediación de las siguientes especies vegetales autóctona: Thola, Totorá, Quínuá, Milenrama y Kauchi.
- Una propuesta de diferentes acciones para mejorar la calidad de las aguas y el logro de la rehabilitación ambiental.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 DIAGNÓSTICO DE LOS ECOSISTEMAS DEL LAGO URU URU

4.1.1 Aspectos generales del lago Uru Uru

a) Topografía

El Desaguadero es el principal río de la cuenca. Procede del lago Titicaca y alimenta, después de la división de su lecho en Chuquiña, al lago Uru Uru a través de su brazo izquierdo y al lago Poopó, a través de su brazo derecho. El Poopó es el sumidero de agua de la cuenca y descarga en el salar de Coipasa mediante el río Laca Jauíra, cuyo flujo es ocasional, en momentos de gran afluencia de agua. El Desaguadero tiene una pendiente media del 0.45% y una longitud de 398 km.

El área de captación del Uru Uru es de 5500 km² aproximadamente. Puede ser dividida en sub captaciones. Más de la mitad del área (3200 km²) comprende captaciones montañosas, siendo las más importantes Caracollo, Lequepalca, Paria y Huanuni, con áreas de captación comprendidas entre 100 a 1000 km². El resto del área comprende planicies (Challapampa, Challapampita, la pampa que se encuentra al Oeste en dirección al río Desaguadero) con un total de 2150 km² y el mismo lago Uru Uru, con un área superficial de 60 hasta 190 km² dependiendo de la estación. Durante la estación de invierno (septiembre) el flujo promedio baja hasta 36.8 m³/s. Las aguas superficiales de las planicies de la captación del Uru Uru no se encuentran bien definidas y tienden a ser efímeras. Después de la precipitación, las planicies a menudo se inundan y forman extensas áreas pantanosas.

De estas áreas inundadas, la mayor parte del agua se evapora y una parte reducida fluye hacia el lago Uru Uru (mediante aguas superficiales o subterráneas). Los principales ríos que drenan el área de estudio son el Tajarita al Oeste y el Tagarete al Este. Ambos ríos nacen en las áreas de inundación ubicadas al Norte de la ciudad de Oruro (Challapampa, cerca de los pozos de abastecimiento de agua potable de Oruro), aunque se sabe que el río Tajarita recibe agua de exceso durante inundaciones excepcionales del río Caracollo hacia el Norte, y el río Tagarete recibe flujos de inundaciones del río Paria hacia el noreste. El río Tajarita es el receptor del agua de drenaje del lado Este de los cerros de la mina San José y del drenaje pluvial de la parte noroeste de la ciudad. Los ríos Paria, Caracollo, Lequepalca y otros ríos menores desembocan al río Tajarita pero se comprobó que el río Desaguadero mediante el canal Itos es el principal afluente. El río Tajarita también recibe drenaje del área de Itos. El río Tagarete recibe del lado Este de los cerros de San José y de la mayoría del drenaje pluvial de la ciudad. El río Tajarita drena un área de 6.9 Km², que comprende la ciudad y los cerros que circundan la misma, y el río Tagarete drena un área de 21.5 Km²; ambos ríos desembocan en el Lago Uru-Uru.

El espejo de agua del lago Uru Uru varía tanto en función de las estaciones como en función de los años. En la época seca (mayo a octubre) la superficie media es de 60 km², mientras que durante la época de lluvias (noviembre a abril) es de 190 km².

Esta variabilidad es debida a la poca desnivelación que existe en el Altiplano: la profundidad máxima del lago Uru Uru, incluso en la estación lluviosa, alcanza difícilmente más de 4 metros, por lo que la superficie varía de manera importante en función de las curvas de nivel. La pendiente dentro del lago es casi cero y por eso ciertos barrios de la ciudad de Oruro se ven inundados de vez en cuando.

b) Geología

De forma general se puede indicar que durante el Cuaternario, la evolución del altiplano ha estado ligada fundamentalmente a los cambios del clima. La alternancia de períodos húmedos y secos, cálidos y glaciares, ha determinado en la

cuenca endorreica del altiplano el desarrollo de lagos sucesivamente más amplios o más reducidos que los actuales. A estas diferentes situaciones hidrológicas corresponden diferentes depósitos que van desde morrenas glaciares en las cordilleras, a sedimentos fluviales entre el pie de monte y la planicie, y a formaciones lacustres y evaporíticas en la parte central de la llanura. El lago Uru Uru se formó mucho más recientemente debido a desbordes del Desaguadero.

c) Climatología e hidrología

El clima semidesértico del Altiplano central se caracteriza por una estación húmeda (diciembre-marzo), una seca (junio-agosto) y dos períodos de transición (septiembre-octubre y abril-mayo). Las precipitaciones en la zona varían entre los 272 y los 450 mm anuales, estando muy influenciados por el fenómeno del Niño, que en el altiplano se caracteriza por una disminución de las precipitaciones (10 a 20%) y por un aumento de las temperaturas.

Las temperaturas anuales medias varían entre 7.6 y 10.7 °C con una amplitud térmica de 7.8 – 10 °C. Los mínimos varían entre -9 y -10 °C y los máximos entre 20 y 23 °C. Para una temperatura media de 10.35 °C la evapotranspiración es de 338 mm según el proyecto INCORD (2002), aunque otros autores arrojan datos diferentes (Ledezma, 1993; Canqui, 1993). El lago Uru Uru tiene las mismas condiciones de evaporación que el lago Poopó, por lo que el 95% del agua del lago se pierde por evaporación y el 5% por escorrentía, con una tasa de renovación anual del agua de más del 140%.

d) Sedimentos

El estudio de los sedimentos en el proyecto INCORD (2002) muestra que se deposita una importante cantidad en el lago. Dentro de los próximos 5 siglos, si se deja evolucionar al lago de manera natural, éste se llenará de sedimentos y desaparecerá.

Además, es de notar que una gran cantidad de los materiales suspendidos (cerca del 97.5%) que ingresan al Uru Uru se quedan en el lago mientras que la parte disuelta parece aumentar entre entrada y salida, es decir, materiales del fondo del lago se disuelven en el agua y descargan hacia el Poopó.

4.1.2 Composición química de las aguas

La tabla siguiente, resume la calidad de las aguas del lago Uru Uru.

Parámetro	Unidad	Limite Banco Mundial	Cerro Khasa Wiru	Lado Norte	Lado central	Lado Sur	Punto de descarga
Temperatura	°C	# 5 C	7	10,5	6	7,5	12
Conductividad	mS/cm		2050	21984	13984	15984	7200
pH		6 a 9	8,97	9,43	9,56	10,1	8,7
Dureza	°d		16,7	80,2	77,7	84,7	36,3
Alcalinidad	mg/L		102,92	86,99	94,69	66,08	130
Oxígeno disuelto	mg/L		7,69	6,85	8,45	9,52	11,74
Turbidez	UNT		45	35	40	42	38
Antimonio	mg/L		0	0	0	0	0
Arsénico	mg/L	1	0,0031	0	0	0	0,003
Cadmio	mg/L	0,1	0,0163	0,03	0,01	0,02	0
Cianuros	mg/L		0,005	0,005	0,004	0,004	0,004
Cloruros	mg/L		374,31	3209	2061	2285	1299
Cobre	mg/L	0,3	0,0041	0,05	0,05	0,05	0
Cromo hexavalente	mg/L	0,05	0,002	0	0	0,01	0
Hierro soluble	mg/L	2	0,4	0,26	0,28	0,05	0,2
Fosfatos	mg/L		2,2	1,6	1,8	1,9	2,1
Mercurio	mg/L	0,02	0,0018	0,00051	0,0005	0,00037	0,0003
Níquel	mg/L	0,5	0,0022	0	0	0	0
Nitrato	mg/L		0,3	1,8	0,1	0,2	0,3
Nitrito	mg/L		0,3	0,4	0,2	0,2	0,2
Plomo	mg/L	0,6	0,0101	0	0	0	0
Selenio	mg/L		0,0011	<0,001	<0,001	<0,001	0
Sulfatos	mg/L		202,39	1920	1165	1382	699
Zinc	mg/L	1	0,032	0,05	0,03	0,03	0

Tabla 1. Composición de las aguas del lago Uru Uru. Fuente: Proyecto INCORD (2002).

4.1.3 Vegetación en la zona del lago Uru Uru

a) Tipos de ecosistemas

El lago Uru Uru está enclavado en el Altiplano Andino en una zona donde la salinidad del suelo y la aridez del clima determinan las formas de vida de la región. Estas formas de vida han sido clasificadas y nombradas de diferentes maneras por diversos autores. Así, según Luther (1993) la clasificación ecológica de la zona alrededor de Oruro es una zona de vida de tipo estepa espinosa-montana baja subtropical. Es la tercera en importancia de departamento, formando una transición entre la estepa montana subtropical y el matorral desértico-montano templado. Para el PROBONA (1995) el tipo de vegetación es rala, estacional, de porte muy bajo. En áreas salinas crece el Kauchi (*Suaeda fruticosa*) que constituye un elemento de pastoreo para ovinos. Para Alzérreca (1992) la ecorregión es un reino seco, dominio estepareo, provincia esteparia secoinvernal cálida, estepas interandinas cálidas, con diferentes formaciones vegetacionales (ver Tabla 2).

Tipo de pradera	Características	Especies dominantes
Bofedales	Pradera de elevado potencial productivo de suelos hidromorfos humedecidos todo el año e intensamente utilizada	<i>Disticha muscoides</i> , <i>Oxichloe andina</i> , <i>Plantago tubulosa</i> , <i>Carex spp.</i> , <i>Ranunculus spp.</i>
Chillihuales	Ubicada en suelos profundos húmedos, buena calidad y buen rendimiento, frecuentemente utilizada	<i>Festuca dolichophylla</i> , <i>Lachemilla pinnata</i>
Pajonales de Iru Ichu	Gramadales de plantas tufosas de escaso valor forrajero presente en suelos arenosos y pobres, usado para pastoreo de llamas	<i>Festuca orthophylla</i> , <i>Stipa spp.</i> , <i>Calamagrostis spp.</i>
Tholares	Cubiertas por arbustos de porte bajo, generalmente con un estrato bajo herbáceo importante formando extensas áreas. Ubicada en suelos regulares a buenos	<i>Parastrephia spp.</i> , <i>Baccharis spp.</i> , <i>Senecio spp.</i> , <i>Adesmia spp.</i> , <i>Fabiana densa</i> .
Pajonales de Ichu	Dominada por gramíneas tufosas relativamente blandas de comportamiento invasor resistente a quemaduras para su posterior rebrote	<i>Stipa ichu</i> , <i>Stipa spp.</i> , <i>Erodium cicutarium</i> , <i>Aristida spp.</i>
Tholar pajonal	Pradera en transición de un tholar a un pajonal	<i>Parastrephia spp.</i> , <i>Baccharis spp.</i> , <i>Festuca spp.</i> , <i>Stipa spp.</i>
Matorrales de Polylepis	Semejante a bosque abierto, presente en suelos superficiales de áreas y afloramiento rocoso, cubierto de un estrato de arbusto alto y otro más bajo.	<i>Polylepis tomentella</i> , <i>Polylepis tarapacana</i> , <i>Stipa spp.</i> , <i>Festuca spp.</i>
Pajonales de Kheña	Gramadales de especies poco palatables ubicados en suelos moderadamente húmedos.	<i>Calamagrostis vicunarium</i> , <i>Calamagrostis heterophylla</i> , <i>Calamagrostis curvula</i>
Gramadales	Praderas ubicadas en suelos húmedos moderadamente salinos, presenta una cobertura herbácea baja y constante	<i>Distichlis humilis</i> , <i>Muhlenbergia fastigiata</i>
Arbustales de Kauchi	Ubicados en suelos muy salinos cubiertos por especies suculentas en forma de cojín	<i>Suaeda foliosa</i> , <i>Atriplex cristata</i> , <i>Salicornia peruviana</i>
Totorales	Pradera frecuentemente inundada se encuentra a orillas de los lagos. Su consumo es en estado tierno	<i>Schenoplectus titora</i> , <i>Rupia filifolia</i>

Tabla 2. Géneros y especies vegetales representativas presentes en los tipos de pradera de la parte alta de Bolivia. Fuente: Alzárreca (1992).

La clasificación sistemática de las comunidades aledañas al lago Uru Uru fue llevada a cabo por Flores (1996). Éste encontró cinco asociaciones vegetales clasificadas en dos clases diferentes. Además se debe añadir la vegetación del borde de los caminos y las comunidades acuáticas de la zona.

b) Tipos de asociaciones vegetales

i.- Clase *Distichlis humilis* – *Anthobryetea triandri*

Coincidiendo con Navarro (1993), esta vegetación está formada por especies halófilas que existen en los ambientes semiárido o árido, siendo frecuente en las planicies salinas del Altiplano, se las puede encontrar en el Suroeste de Bolivia, noreste de Chile y noroeste de Argentina y escasamente en el Norte y Suroeste de Perú. Entre las especies características de la clase se indica a *Anthobrium triandrium*, *Distichlis humilis*, *Atriplex cristata* y *Trifolium amabile*. En esta clase se encuentra un orden, *Antobryetalia triandri* y una alianza, *Salicornion pulvinatae* con las mismas características de la clase.

ii.- Clase *Baccharis incarum* – *Festucetea orthophyllae*

La vegetación está formada en esta región principalmente por una gramínea perenne que forma matas algo densas, de diámetro algo variable, con frecuencia de más de medio metro y hasta de un metro de altura. Las matas cubren aproximadamente de una tercera parte a la mitad del suelo y entre ellas prosperan pastos rizomatosos o hemicriptófitas menos densas.

También hay algunos pastos anuales, pero menos frecuentes. La cobertura total oscila entre el 50 y el 60 %. La especie más frecuente es la paja brava (*Festuca orthophylla*), con algo más de medio metro de altura, con hojas en forma de aguja y punzantes, siendo sus inflorescencias conocidas como parawayos por la población local. También se encuentra la thola (*Baccharis incarum*), una compuesta de 30 a 50 cm de altura, con hojas triangulares dentadas y con una resina bastante pronunciada. Las dos especies mencionadas son utilizadas como combustible. Otra gramínea menos frecuente es la paja suave

o flechilla (*Stipa ichu*) por la característica inflorescencia. La especie más frecuente es la leche leche (*Euphorbia minuta*), una euforbiácea diminuta que se desarrolla con las primeras lluvias y desaparece al finalizar el verano.

Se debe mencionar que las especies nombradas no son psanmófilas, ya que *Festuca orthophylla* es una xerófila, y las dunas de arena se acumulan alrededor de ésta. Por otra parte, en las áreas planas de las dunas hay mayor vegetación que en la cima o meseta de éstas, encontrándose sólo la paja brava. Esta clase tiene un orden *Festucetalia orthophyllae*, siendo la alianza *Tetraglochion cristati*.

c.- Vegetación acuática

Según Lara y Alzárreca (1982), la vegetación acuática está formada por dos asociaciones de carácter edáfico que se describen a continuación.

c.1.- Asociación *Helodeo potamogeton*–*Myriophylletum quitense*

La componen plantas acuáticas que permanecen sumergidas, en zonas de inundación permanente, como *Myriophyllum quitense* y *Potamogeton filiformis*. Suelen estar acompañadas por otras especies como *Lilaeopsis madoviana* y *Mimulus glabratus*.

c.2.- Asociación *Scipertum totorae*

Está establecida en las llanuras frecuentemente inundadas de lagos y ríos, alrededor de las zonas de inundación permanente. Está compuesta por plantas flotantes o semisumergidas, como *Ranunculus cymbalaria*, *Ranunculus flageliformis*, *Alchemilla diplophylla* o libro libro y la presencia destacada de la totora, *Scirpus totora* (Pestalozzi, 1998).

4.1.4 Descripción de los suelos

Los suelos de la zona del lago Uru Uru reflejan una particular evolución geológica, con influencia de procesos de creación de suelos de tipo eólico, fluvio-lacustre y glaciario-lacustre (Zabaleta et al, 1996). Los suelos de esta región pueden agruparse en torno a dos zonas principales (Luther, 1993).

La primera zona comprende los lados Norte y Este del lago Uru Uru. Aquí predominan dos formaciones fisiográficas: la llanura o planicie aluvial y las terrazas aluviales.

El contenido de materia orgánica en general es bajo y el pH varía de neutro a ligero o fuertemente alcalino. Los suelos son en general de color oscuro, poco o relativamente poco profundos, pedregosos de textura mediana a pesada, ligeramente ácidos, tienen niveles bajos de fósforo y nitrógeno y son susceptibles a la erosión.

En las planicies de inundación los suelos corresponden a sedimentos fluviales y lacustres, siendo suelos profundos de estructura débil, drenaje moderado o pobre y con inundaciones en los meses de verano. Taxonómicamente, en esta zona se identifican suelos de los órdenes Entisoles, Inceptisoles, Alfisoles y Aridisoles.

La segunda zona comprende las tierras situadas al Oeste y Sur del lago Uru Uru. En estos lugares se identifican suelos de los órdenes Aridisol, Inceptisol y Entisol. Los suelos del orden Entisol son suelos sin un horizonte pedogenético bien definido, por tanto, sin horizonte ócrico o albico. Son suelos jóvenes no desarrollados o levemente desarrollados, encontrándose sobre depósitos recientes de origen aluvial. Estos suelos son muy propicios a la erosión debido a la presencia de mucha arena y pedregosidad, así como a inundaciones y saturación permanente con agua debido a la oscilación del nivel freático. En la zona Oeste, las planicies están formadas con sedimentos fluviales y lacustres, con suelos profundos de estructura débil y drenaje difícil e inundables. Los suelos inceptisoles están moderadamente desarrollados, con horizonte cámbico y epipedón plágeno. Por último, los aridisoles son suelos que por largos períodos no tienen agua disponible para la vegetación. El régimen de humedad es árido, también xérico con presencia de salinidad. En la agricultura su uso está limitado por falta de agua.

4.2. ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA QUE AFECTAN AL AGUA, EL SUELO Y A LA VEGETACIÓN

El río Tagarete contiene agua procedente de la mina San José y efluentes de los drenajes ácidos

de las pilas de residuos mineros; pero además, de las aguas residuales sanitarias, descargando en la esquina noreste del lago. Ingresan al lago 800 m³/día (9 L/s) en las aguas procedentes de San José, con alto contenido de metales pesados disueltos.

La contaminación más grave está ubicada en la parte noreste del lago Uru Uru. Los metales pesados como antimonio y arsénico y el sulfato son transportados por el río Tagarete. Según Mendizábal (1998), en el lago Uru Uru existe una vida hidrobiológica con un potencial enorme que es influenciada por la laguna de evaporación de las aguas residuales urbanas, a la que va a parar la carga biológica producida por la ciudad de Oruro. Las aguas servidas a la laguna contienen sustancias no biodegradables, tales como detergentes y otras sustancias químicas vertidas por las industrias. Todo ello determina una contribución al lago Uru Uru de una gran demanda química y biológica de oxígeno, con el consiguiente perjuicio para el plancton, principal alimento de los peces, así como provocando la asfixia de los mismos. Además, los niveles alcanzados en el lecho cloacal requieren de alguna modalidad de previsión, a fin de que la contaminación no afecte más a la flora y la fauna acuática del lago Uru Uru.

4.2.1.- CONTAMINACIÓN EN LAS PLANTAS

En el caso del Altiplano, la introducción de pastoreo extensivo del ganado vacuno y ovino se ha convertido en eficiente agente erosivo, tanto por el consumo selectivo de la vegetación como por la compactación del suelo por las pezuñas. Estos factores, unidos a la disminución de la cobertura vegetal y la precipitación de régimen modal, han logrado el desequilibrio del sistema hídrico de muchos ríos, por lo que el río Desaguadero inunda enormes extensiones de tierra, transporta sedimentos en exceso y anula gran parte de las formaciones vegetales por su aporte de salinidad (PROBONA, 1995).

El estudio de la vegetación realizado dentro del Proyecto Piloto Oruro pudo identificar 50 especies diferentes, mientras que Ocampo (1999) detectó 58 especies vegetales en un estudio comparativo de la flora entre las localidades de Vinto y Caracollo. Es esta misma línea, Fiorilo

(1995) detectó 52 especies en esta misma zona. Aunque los valores obtenidos en la diversidad florística por estos autores son similares, también comprueban que existe una gran variabilidad entre las zonas muestreadas.

Los resultados obtenidos en otros trabajos con especies autóctonas importantes de la zona se pueden resumir en la siguiente tabla:

Especie	Localización	As	Cd	Pb	Sb	Hg	Sn	Zn	Referencia
THOLA	Media del Uru Uru	1.5	0.4	0.9	0.1	0.02	0.06	80	Documento final PPO
QUINUA Grano	Media del Uru Uru	11.0	1.0	8.0	4.1	0.03	6.0	90	Documento final PPO
	Orilla del Uru Uru	4.8	0.58	62	7.4	0.84	0.096	21	PPO 9610
TOTORA	Ancasi	-	0.45	8.0	-	-	<0.5	39.2	Molina (1996)
Raíz	Entrada Uru Uru	13	0.14	1.8	-	-	<0.5	15.7	Molina (1996)
Tallo	Ancasi	4.4	0.011	1.5	-	-	<0.5	25.8	Molina (1996)
Flor	Ancasi	-	<0.1	0.6	-	-	<0.5	9.9	Molina (1996)
Flor	Entrada Uru Uru	-	<0.1	0.8	-	-	<0.5	10.3	Molina (1996)
Tallos máximo	Media Uru Uru	47	12	6.1	4.7	72	30	650	PPO 9612
Tallos mínimo	Media Uru Uru	0.04	<0.004	0.5	0.05	<30	0.04	7.8	PPO 9612
Raíces máximo	Media Uru Uru	45	5	18	1.8	129	0.7	275	PPO 9612
Raíces mínimo	Media Uru Uru	0.8	<0.	0.1	0.04	4	0.004	17	PPO 9612
MILENRAMA	Entrada Uru Uru	440	1380	4.4	350	54	72	26	PPO 9607
	Salida Uru Uru	130	620	2.2	-	13	-	12	PPO 9607

Tabla 4. Contenido de metales pesados en plantas de Interés de la zona del lago Uru Uru.

En el caso en el que se muestran tanto los valores mínimos como los máximos en la concentración de totora, el alto cociente entre las zonas expuestas y libres de contaminación muestra la alta variabilidad existente dentro de la zona del lago Uru Uru. En estos elementos se comprueba la gran bioacumulación existente.

4.2.2.- CONTAMINACIÓN EN LOS SUELOS

Los suelos de toda la región del lago Uru Uru se encuentran afectados tanto por las condiciones salinas naturales como por la contaminación, principalmente debida a los complejos mineros de la zona. Además, la erosión de la zona es un problema muy grave, ya que la baja cobertura

vegetal de la zona es un elemento propicio, junto con los fuertes vientos, para acentuar los procesos erosivos en las colinas de la zona (Jarmusz et al., 1996).

Durante la realización del Proyecto Piloto Oruro se estudiaron las concentraciones de diversos elementos químicos en suelos de la zona. Así, se comprobó que más del 50 % de los suelos estudiados tenían niveles de arsénico más altos de 15 mg/kg, por encima del cual se ha informado de efectos fitotóxicos (Alloway, 1995). Los análisis de los suelos también indicaron contaminación antropogénica con otros elementos, como la plata, mercurio, plomo, antimonio, estaño, zinc y cadmio. Según el informe final del PPO se pueden distinguir tres

diferentes patrones de distribución geográfica de metales en los suelos:

4.2.3.- SEDIMENTOS DEL LAGO

En cuanto a los sedimentos del lago, el informe PPO 9612 muestra los resultados obtenidos en los análisis de las muestras tomadas en la parte

más contaminada del lago, la zona NE que recibe las aguas de la mina San José. La sección vertical de los sedimentos lacustres excavada en el sector noreste del lago durante la realización del PPO indicó que sólo la capa superior de los sedimentos está contaminada.

Profundidad cm.	Ag mg/kg	As mg/kg	Cd mg/kg	Hg mg/kg	Pb mg/kg	Sb mg/kg	Sn mg/kg	Zn mg/kg
0-15	0.68	20	0.31	550	78	0.85	8.63	87
16-29	0.05	27	0.07	<40	18	0.14	0.84	68
30-41	<0.04	59	0.37	<40	13	0.20	0.89	61
42-70	<0.04	36	0.04	<40	9	0.24	0.52	38

Tabla 5. Distribución vertical de elementos en los sedimentos lacustres del sector NE del lago Uru Uru. Fuente PPO 9612.

Evidentemente, antes de la excavación del canal que drena el agua de la mina de San José hacia el lago Uru Uru, la descarga de la misma no alcanzaba el área NE del lago. Por ello, se puede utilizar la concentración de metales pesados en los sedimentos más profundos del lago Uru Uru (15 a 70 cm de profundidad) como los valores de fondo normales en el lago y compararlos con los de la capa superior para comprobar la distribución de la contaminación.

4.3.- CARACTERIZACIÓN DE ESPECIES VEGETALES DE INTERÉS

Según Cortés (2002), en el entorno de la ciudad de Oruro deben tenerse en cuenta diferentes condicionantes para la selección de plantaciones. Entre ellos está la altitud (unos 3700 m s.n.m.), los diferentes tipos de suelos (calcáreos en la falda de los cerros, salinos arenosos y con capa freática superficial en el resto), la resistencia a enfermedades y a las heladas.

Se han elegido cinco especies vegetales para su descripción botánica y de interés para la propuesta de rehabilitación ambiental del lago Uru Uru; y son: Thola, Totora, Quínu, Milenrama y Kauchi:

4.3.1.- THOLA

Según Pérez (1995) la thola se corresponde con dos especies presentes en la zona.

a) *Baccharis incarum* Wedd.

Planta de la familia Asteraceae, con ramas redondeadas, muy glandulosas, densamente hojosas hasta el ápice. Hojas alternas, sésiles, oblanceolado-espátuladas, obtusas en el ápice (raramente agudas) y atenuadas en la parte inferior, enteras o más frecuentemente, punteado-glandulosas y generalmente cubiertas de gotitas de resina, de 6 a 12 mm de largo por 2 a 4 mm de ancho. Las inflorescencias son capítulos femeninos con involucreo acampanado de 5 a 6 mm de altura por 4 mm de diámetro, en filas de 4 o 5 series, las externas ovadas, obtusiúsculas, las internas lanceoladas, obtusas, todas con margen hialino algo lacinado, denso y glanduloso-punteado. Las flores, con corola filiforme, aquenios cilindroides, costados glabros de 2.2 mm de largo, papus blanco, cespso y ensanchado en el ápice de las cerdas.

b) *Parastrephia lepidophylla* Wedd.

Planta de la familia Asteraceae, con ramas delgadas, tomentosas, densamente cubiertas de hojas apretadas, de 1 a 1.5 mm de diámetro incluyendo las hojas. Éstas son espiraladas, carnosas y adosadas al tallo, estando más o menos conspicuamente imbricadas. Son oblongas, obtusas, enteras y albotomentosas sobre la nervadura central en la cara inferior, de unos 2 mm de largo por 1 mm de ancho. Capítulos numerosos, solitarios en los ápices de las ramitas. Involucreo de 4 a 5 mm de altura por 2 a 2.5 mm de diámetro, En filas de tres series,

Gerardo Zamora, Juan Antonio Calvo

ovaladas, obtusas, resinosas, glabras o apenas tomentosas en la nervadura central. Las flores son amarillas, las marginales (pocas) femeninas, con corola filiforme muy corta, las del centro, de 6 a 8, hermafroditas, con corola tubulosa pentadentada y cipselas velludas. Pappus blancuzco.

En esta especie, Pérez (1995) comprobó la capacidad de crecimiento en ambientes áridos, demostrando su adaptación a los mismos. También el documento final del PPO expone resultados de concentración de metales pesados en los tejidos de estas plantas.

4.3.2.- TOTORA

Nombre científico: *Scirpus totora* Kunth. Planta semiacuática de la familia Ciperaceae. Según la descripción proporcionada por Tapia (1971) crece a orillas de los lagos y lagunas del altiplano, en suelos fangosos, alcanzando una altura de hasta 4 m, variando el ancho del tallo desde 3 cm cerca de la raíz hasta 3 mm en el ápice. Nace de rizomas escamosos de color amarillo brillante y triangular. Las raíces son de textura esponjosa de color rojo oscuro, así como las hojas básicas que son casi membranosas. La inflorescencia es en cabezuela compacta formada por espiguillas de hasta 1 cm de largo, las brácteas alargadas desde el involucro de 5 cm de largo, con flores completas.

Las concentraciones de metales pesados en la totora fueron estudiados tanto por Molina (1996) como durante la realización del Proyecto Piloto Oruro, siendo utilizada como una especie indicadora del nivel de contaminación en el lago. Salm y Arze (1982) estudiaron la absorción de diferentes metales pesados por la totora, concluyendo que estas plantas pueden ser una ayuda importante para la purificación de aguas contaminadas por ingenios mineros.

4.3.3.- QUINUA

Nombre científico: *Chenopodium quinoa* Willd. Planta de la familia Chenopodiaceae. La descripción proporcionada por Segovia (2001) es la siguiente. Tallo cilíndrico a la altura del cuello y después anguloso debido a que las hojas son alternas a lo largo de cada una de las cuatro

caras. Tiene una hendidura de poca profundidad que abarca casi toda la cara.

De la axila de cada hoja nace una rama y de ésta otra. Las hojas son largas, finas, acanaladas en su lado superior y de un largo variable dentro de la misma planta. Las flores se organizan en una inflorescencia racimosa en forma de panoja. Carecen de pétalos, crecen en glomérulos pudiendo ser hermafroditas o pistilidas. Fruto en forma de aquenio cubierto de perigonio.

Varios trabajos han estudiado la adaptación de este cultivo a zonas salinas, entre ellos Fiorilo (1995) y Ocaña (2001), demostrando su capacidad de producir cosecha en suelos moderadamente salinos. También se ha estudiado durante la realización del PPO la incidencia de la contaminación de metales pesados en esta especie.

4.3.4.- MILENRAMA

Nombre científico: *Myriophyllum quitense* H.B.K. Planta acuática de la familia de Haloragaceae. Tiene el tallo largo y grueso con hojas varias veces partidas, con los segmentos filiformes. Sale del agua cuando florece, con hojas simples y borde dentado. Flor blanca, pedunculada, en las axilas de las hojas. Crece dentro del agua en ríos o lagos con poca corriente.

El informe PPO 9607 expone los resultados obtenidos en el análisis del contenido de metales pesados en esta planta y la propone como medio para retener estos contaminantes en el ecosistema y reducir su disponibilidad en el medio.

4.3.5.- KAUCHI

Nombre científico: *Suaeda fruticos* Moq. Planta de la familia Chenopodiaceae. Según Colque (1996) tiene la raíz axonomorfa, alcanzando longitudes mayores a un metro. Tallo de consistencia leñosa con alturas de 10 a 30 cm, fusiforme, la parte basal y media más desarrollada que las partes apicales. Las hojas están insertas en el tallo por un pequeño pecíolo. Consistencia carnosa, variando según la posición en el tallo y ramas. El tamaño varía de 3 a 14 mm de largo por 3.5 a 5 mm de ancho, con una

nervadura principal. La inflorescencia se ubica en la axila de las hojas. El fruto es un aquenio que al completar el desarrollo pasa de una forma esférica a otra achatada, presentando un pericarpio membranoso, casi transparente, que envuelve completamente a la semilla.

5.- PROPUESTA DE TAREAS A REALIZAR PARA LA REHABILITACIÓN AMBIENTAL DEL LAGO

Tras realizar un diagnóstico del estado de la vegetación y del suelo en la zona del lago Uru Uru, es necesario determinar algunas medidas que puedan paliar, corregir o al menos frenar el deterioro que sufre el agua, la vegetación, el suelo y el aire del lago Uru Uru.

5.1.- EL AGUA

De una vez por todas, Oruro debe contar con una planta de tratamiento de aguas residuales urbanas de alta eficiencia técnica en la eliminación de contaminantes; de modo que, sus efluentes descarga no alteren la calidad de las aguas de lago y permitan regular un balance hídrico ecológico, en especial en la épocas de poca precipitación fluvial.

Se debe poner en marcha la planta de tratamiento de aguas ácidas de la mina San José a objeto de disminuir la carga por metales pesados que ingresa al lago y altera la calidad de sus aguas y vegetación.

Las aguas que se emplean para el riego deben ser suministradas conforme a la necesidad y demanda hídrica, con una adecuada lámina de riego que favorezca el normal desarrollo de las plantas y permita en lavado efectivo de las sales (Challgua, 2000).

5.2.- EL SUELO

Dado la enorme superficie de suelo afectada por contaminación de metales pesados y exceso de sales, es imposible pensar en el tratamiento del mismo para eliminar la contaminación por metales pesados tóxicos. Por ello, lo más lógico y práctico es realizar enmiendas con algunas sustancias sobre los suelos con mayor interés económico o ecológico, de forma que los cultivos obtenidos permitan

realizar la tarea de fitoremediación (adsorción y estabilización). Algunas de estas adiciones o enmiendas podrían ser las siguientes.

a) Adición de yesos

Los sulfatos cálcicos neutralizan el elevado contenido en sodio al sustituirlo en el complejo de cambio del suelo y red en los efectos de un elevado contenido de sodio disponible (Challgua, 2000; Blanco, 2000).

b) Realización de labores culturales

La existencia de surcos favorece la infiltración, aliviando al suelo de la salinidad y del efecto de la contaminación de algunas sustancias nocivas, ya que permiten incorporar aguas de lluvia, las cuales pueden promover una lixiviación adecuada de los elementos contaminantes (Challgua, 2000).

c) Adición de carbonato de calcio

En particular, los agricultores que cultivan quinua deberían evitar los suelos contaminados con cadmio (como los de las cercanías de Vinto) o tratarlos con carbonato cálcico antes de cultivarlos, para disminuir la posibilidad de incorporación de este metal a las plantas (PPO 9607).

d) Adición de materia orgánica

Principalmente en forma de estiércol procedente de instalaciones de cría intensiva de ganado. Con esta medida se pueden retener las sustancias tóxicas en la materia orgánica del suelo, disminuyendo su disponibilidad para las plantas. Además se mejora la estructura del suelo, contrarrestando los efectos perjudiciales del sodio (Alloway, 1995; Blanco, 2000). Bustos (1997) también comprobó cómo la porosidad que existe en las enmiendas con turba o estiércol favorece la impermeabilización del suelo, debido a que estos materiales absorben el agua que es captada de las precipitaciones. Por lo tanto, debería recubrirse el suelo con una cama de estos materiales de 10 cm de grosor, evitando de este modo la infiltración.

e) Adición de arena y arcilla

Bustos (1997) recomienda la utilización de dos capas como sustratos ya que es lo más adecuado para este tipo de suelos contaminados. Con un material como la arena bajo la capa orgánica del suelo se evita la ascensión de sales y contaminantes por capilaridad y facilita la infiltración de las precipitaciones con una altura

de 10 a 20 cm. Si se utiliza la cal apagada, la dolomita o la arcilla bajo la capa de suelo orgánico se evitarían una infiltración excesiva y se mantendría el aislamiento con el suelo contaminado sobre el que se realizan las enmiendas.

5.3.- EL AIRE

El Proyecto Piloto Oruro, así como Challgua (2000) han comprobado que las emisiones atmosféricas de la planta metalúrgica de Vinto afectan a gran parte de la zona del lago Uru Uru, alcanzando tanto a los suelos como a la vegetación. Las medidas para reducir estas emisiones tendrían un rápido y claro efecto en la mejoría de la situación ambiental de la zona. Por lo tanto, es recomendable estudiar a fondo la composición y origen de las emisiones en esta planta para poder proponer unas medidas correctoras eficaces. Posiblemente significaría la modernización o renovación de la tecnología utilizada en el proceso que actualmente se lleva a cabo en esta planta (Informe final PPO, 1997).

5.4.- LA VEGETACIÓN

El principal objetivo de este trabajo es intentar ayudar a mantener la biodiversidad de la zona del lago Uru Uru, pero sin olvidar la necesidad de la población local de utilizar sus recursos. Por ello, con las cuatro especies destacadas anteriormente por su interés se pueden conseguir tres objetivos diferentes:

- Preservar el funcionamiento del lago como un ecosistema acuático sostenible.
- Evitar el deterioro de las zonas aledañas al lago y cuya erosión provoca la entrada de más sedimentos.
- Conseguir un rendimiento económico de las amplias zonas de inundación que sólo están ocupadas ocasionalmente por el lago, así como de las zonas que rodean al Uru Uru.

Estos objetivos pueden conseguirse con la revegetación de ciertas zonas del lago con las cuatro especies destacadas.

- a) Milenrama (*Myriophyllum quitense*
H.B.K.)

La milenrama es una especie fundamental en el lago, ya que en algunas zonas es la principal especie vegetal presente (Collot, 1982). El asegurar su continuidad en el lago supone la viabilidad del hábitat que esta planta crea. Además, los estudios realizados con esta especie durante el Proyecto Piloto Oruro indican que tiene gran capacidad para inmovilizar metales pesados y de esta forma reducir su concentración en el agua, disminuyendo así los efectos nocivos de los mismos sobre la fauna béntica (PPO 9607). Las zonas a revegetar serían las que mantienen un nivel de agua suficiente de forma permanente. Sin embargo, la principal dificultad para esta medida deriva de la naturaleza del lugar en el que crece la misma planta, ya que deberían evaluarse cuidadosamente las dificultades prácticas del trabajo en zonas inundadas o con suelo muy fangoso.

- b) Totora (*Scirpus totora* Kunth.)

La revegetación con esta planta de zonas del lago cumple una triple función. Por un lado asegura la permanencia del hábitat creado por estas plantas (el totoral) con el resto de la flora y fauna asociado al mismo. En segundo, ayuda a la retirada de las aguas de altas cantidades de metales pesados (Salm y Arce, 1982; Alloway, 1995). Por último, proporciona forraje para la alimentación del ganado de la zona. Sin embargo, con este último uso hay que ser precavido por la posibilidad de la llegada de metales pesados a los animales y por consiguiente a la carne destinada a consumo humano. Aunque Molina (1996) concluye que la mayor parte de los metales pesados que absorbe la totora se queda en la raíz y no llega al tallo consumido por los animales, Salm y Arce (1982) desaconsejan el uso de totoras para el forraje tras haber sido utilizadas en la absorción de metales pesados.

- c) Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd)

El uso del principal cultivo de la región en las zonas de inundación que están la mayoría de los años libres de agua tiene su justificación como forma de lograr un rendimiento económico de unas amplias zonas que con frecuencia carecen de vegetación. Además, la quinoa es un cultivo especialmente adaptado a las condiciones del altiplano y en especial a la salinidad (Fiorilo, 1995; Ocaña, 2001). Sería necesario utilizar aquellas variedades más resistentes al alto

contenido salino de los suelos, que precisamente pueden ser algunas de las utilizadas en la provincia Cercado. Sin embargo, debido a su finalidad para consumo humano, el cultivo de la quinua debería estar restringido a las zonas menos contaminadas de las llanuras de inundación del lago Uru Uru, probablemente la orilla Suroeste. También sería muy recomendable aplicar las diferentes enmiendas al suelo antes descritas. En particular, el informe PPO 9607 recomienda la aplicación de carbonato cálcico en aquellos suelos en los que el cadmio se presenta en alta concentración, concretamente en la orilla Sureste, en los alrededores de Vinto.

d) Thola (*Baccharis incarum* Wedd.y *Parastrephia lepidophylla* Wedd.)

La thola no es una especie vegetal propia de los ambientes acuáticos, pero su capacidad para sobrevivir en ambientes áridos y salinos (Pérez, 1995) la convierten en una especie candidata ideal para su uso en la revegetación de las orillas del lago, en especial de las colinas circundantes, las cuales están sometidas a un alto peligro de erosión (Jarmusz et al., 1996). De esta forma se evitaría la entrada de sedimentos al lago, alargando el tiempo necesario para la colmatación del Uru Uru. Además, el valor económico de la thola como fuente de combustible proporcionaría un uso a las laderas de estos cerros para la población local, si bien su explotación debería realizarse de una forma racional y planificada, de forma que se asegurase la sostenibilidad de las nuevas plantaciones de thola.

e) Kauchi (*Suaeda fruticosa* Moq.)

El kauchi es una importante especie en la ganadería del Altiplano (Rojas, 1999), ya que está entre las escasas especies forrajeras tolerantes a la salinidad del suelo, heladas y sequías, todas ellas características del Altiplano Central de Oruro. En la actualidad, esta especie ocupa 150.000 ha (Alzérreca, 1982). Dado que puede proporcionar gran cantidad de forraje con un alto porcentaje de proteína, buena palatabilidad y en épocas en las cuales disminuye el forraje de otras especies (Julio-Noviembre) es una gran candidata para ser utilizada en trabajos de revegetación de las orillas del Uru Uru donde predominan los suelos salinos, ya que el kauchi puede soportar suelos con contenidos de 36 g/kg de sal y de 55

mmhos/cm de conductividad eléctrica (Lorini y Liberman, 1984). También sería interesante su plantación en los cerros circundantes, proporcionando un valor económico a esas zonas a la vez que reduciría el peligro de erosión (Colque, 1996). Como en el caso de la thola, la explotación de este recurso debería hacerse de forma planificada para asegurar la continuidad de las plantaciones.

8.- BIBLIOGRAFÍA

Alloway, B. J. (Ed.) (1995) *Heavy metals in soil*. Chapman & Hall, Glasgow, Reino Unido.

Alzérreca, A. (1992) *Producción y utilización de los pastizales de la zona andina de Bolivia*. Red de pastizales andinos. La Paz, Bolivia.

Bustos, V. L. (1997) *Evaluación de sustratos de cubierta para el control de residuos tóxicos en suelos afectados por desmontes minerales*. Tesis de Grado, Facultad de Agronomía. Oruro, Bolivia.

Canqui, M. E. (1993) *Determinación de la Evapotranspiración Potencial (ETP) por lisimetría en la estación experimental de Patacamaya*. Tesis de Grado, Facultad de Agronomía, Oruro, Bolivia.

Challgua, N. R. (2000) *Acumulación de metales pesados en suelos y vegetación por efecto de riego del Desaguadero en la zona del Choro (Prov. Cercado, Dep. Oruro)*. Tesis de Grado, Facultad de Agronomía, Oruro, Bolivia.

Collot, D. D. (1982) *Vegetación acuática del lago Poopó*. Ecología en Bolivia, n° 1, Enero 1982, páginas 47 a 54. La Paz, Bolivia.

Colque, L. (1996) *Épocas de cosecha y calidad de semilla del Kauchi en la localidad de El Choro*. Tesis de Grado, Facultad de Agronomía. Oruro, Bolivia.

Cortés, J. (2002) *Criterios sobre el tipo de plantas y plantaciones adecuadas para la ciudad de Oruro y su entorno*. Comunicación personal.

Dugan, P. J. Ed. (1992) *Conservación de humedales*. UICN, Gland, Suiza.

Fiorilo, E. R. (1995) *Tolerancia de diez variedades de Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) a suelos salinos y salinos-sódicos*. Tesis de Grado. Facultad de Agronomía. Oruro, Bolivia.

Flores, D. S. (1996) *Estudio de las comunidades vegetales y formas de vida en la provincia Cercado del departamento de Oruro*. Tesis de Grado, Facultad de Agronomía, Oruro, Bolivia.

INCORD, ENGEES, U.T.O., H. Alcaldía de Oruro, Prefectura Dept. Oruro (2002) *Convenio para el desarrollo de Oruro. Convenio subsidiario n° 1. Proyecto para rehabilitación Lago Uru Uru Fase 1: Reconilación y síntesis*
Gerardo Zamora, Juan Antonio Calvo

Iquize, E. (1994) *Componentes del rendimiento en materia seca del Kauchi*. Tesis de Grado, Facultad de Agronomía. Oruro, Bolivia.

Lara, R.; Alzerreca, H. (1982) *Contribuciones al conocimiento de la vegetación de las Tierras Altas de Bolivia*. Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios. La Paz. Bolivia.

Ledezma, V. C. (1993) *Análisis comparativos de varios métodos indirectos para determinar la Evapotranspiración Potencial en localidades del departamento de Oruro*. Tesis de Grado, Facultad de Agronomía, Oruro, Bolivia.

Lorini, J.; Liberman, M. (1984) *Estudio de la ecofisiología de algunas halófitas en un ambiente especial del Altiplano Central de Bolivia*. *Ecología en Bolivia*, n° 5, páginas 1 a 28.

Luther, S. (1993) *Análisis situacional de los suelos de la región de Oruro*. Oruro, Bolivia.

Mendizábal, M. (1998) *Oruro, del desastre a la esperanza ambiental*. Ed. Instituto Latinoamericano de Investigaciones Sociales. La Paz. Bolivia.

Ministerio de Desarrollo sostenible y Medio ambiente. Secretaría Nacional de Minería. Proyecto Piloto Oruro. 1996-1997. Oruro, Bolivia.

PPO 9603 *Apreciación global de la fisiografía y geología del área del Proyecto Piloto*.

PPO 9607 *Aspectos ambientales de los metales y metaloides en el sistema hidrológico del Desaguadero*.

PPO 9608 *Flora terrestre y contaminación de suelos*.

PPO 9610 *Contaminación en cultivos de quinua*.

PPO 9611 *Depósitos de colas de minerales en el área del PPO*.

PPO 9612 *Impacto de la minería y el procesamiento de minerales en cursos de agua y lagos*.

Molina, M. A. (1995) *Evaluación ambiental de la actividad productiva aurífera sobre la ecología en la región de la Joya (Dept. de Oruro)*. Tesis de Grado, Facultad de Agronomía, Oruro, Bolivia.

Morón, E. (1992) *Morfología, anatomía y variabilidad del Kauchi del altiplano central de Oruro*. Tesis de Grado. Facultad de Agronomía, Oruro, Bolivia.

Navarro, G. (1993) *Vegetación de Bolivia. El Altiplano meridional*. Rivagodoya 7:108

Neveu, M. (1909) *Los lagos del Altiplano de la América del Sud*. Ed. Ismael Argote. La Paz, Bolivia.

Ocampo, W. D. (1999) *Estudio comparativo del nivel de degradación de especies en relación a la cobertura vegetal en las localidades de Vinto y Caracollo*. Tesis de Grado, Facultad de Agronomía, Oruro, Bolivia.

Ocaña, A. M. (2001) *Tolerancia a diferentes concentraciones salinas en la fase de germinación de 284 accesiones de quinua en el laboratorio de biotecnología de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Tesis de Grado, Facultad de Agronomía, Oruro, Bolivia.

Pérez, R. M. (1995) *Comportamiento hídrico-fisiológico y fases fenológicas de la thola*. Tesis de Grado, Facultad de Agronomía, Oruro, Bolivia.

Pestalozzi, H. V. (1998) *Flora ilustrada Altoandina*. Cochabamba, Bolivia.

PROBONA (1995) *Formaciones vegetacionales del área andina de Bolivia*. La Paz, Bolivia

Rivera, M. O.; Libermann, M.; Beck, S.; Moraes, M. (1994) *Mapa de la Vegetación y Áreas Protegidas de Bolivia E 1:1,500,000*. La Paz, Bolivia.

Rojas, A. (1999) *Sostenibilidad de la Actividad lechera en el Altiplano*. En *Análisis de la Ganadería lechera en el Departamento de Oruro*. Ed. Programa de desarrollo lechero del Altiplano, Universidad Técnica de Oruro, Oruro, Bolivia.

Salm, H.; Arze, C. (1982) *Schoenoplectus totora (totora) para la purificación de aguas contaminadas*. *Ecología en Bolivia*, Junio 1982, n° 2, páginas 47 a 58.

Segovia, F. (2001) *Presencia de metales pesados en suelos influenciados por trabajos mineros y cultivados con quinua (Chenopodium quinoa Willd.)* Tesis de Grado, Facultad de Agronomía, Oruro, Bolivia.

Zabaleta, V.; Segovia, F.; Ocampo, W. (1996) *Descripción de suelos de Oruro*. Oruro, Bolivia.

Artículo recibido en: 26.03.2021

Manejado por: Elvis Trujillo.

Artículo aceptado: 19.04.2021