

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

ESCUELA DE POSTGRADO

MAESTRIA EN PLANIFICACION Y GESTION AMBIENTAL



“DETERMINACION DEL POTENCIAL DE *Schoenoplectus tatora* “TOTORA” COMO ESPECIE USADA PARA FITORREMEDIACION, LAGO TITICACA - 2007”

TESIS

Presentada por:

Bach. LILIAM ELIZABETH CALCINA RONDAN

Para optar el Grado Académico de:

MAGISTER EN PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN AMBIENTAL

AREQUIPA - PERÚ
2009

EPIGRAFE

“SI TODO EL MUNDO AMARA LA NATURALEZA COMO
SAN FRANCISCO DE ASÍS, NO EXISTIRÍAN PROBLEMAS
ECOLÓGICOS”

THEODORE ROSZAK

DEDICATORIA

A mi papá por su apoyo incondicional y estar a mi lado en todo momento.

A mi mamá por ser la mejor amiga, consejera y enseñarme a ser mejor madre cada día.

A mi amado esposo por nuestra familia, por sus consejos en la realización de este trabajo
y darme la fortaleza para salir adelante.

A mis queridos hijos Raquel Berenice y José Alejandro, por darme tanta alegría y ser la
luz de mi vida.

INDICE

RESUMEN	1
SUMMARY	3
INTRODUCCION	5
RESULTADOS	7
I. Descripción biológica de <i>Schoenoplectus tatora</i>	8
1.1 Clasificación taxonómica	9
1.2 Características biológicas	9
1.3 Características morfológicas	9
1.4 Descripción de <i>Schoenoplectus tatora</i>	10
1.5 Hábitat	12
1.6 Importancia económica y ecológica	12
II. Identificación de la presencia de metales pesados en la cuenca del río Ramis	14
2.1 Situación ambiental de la cuenca del río Ramis	15
2.2 Metales presentes en la cuenca del río Ramis	25
III. Cuantificación de los metales pesados en <i>Schoenoplectus tatora</i>	32
3.1 Metodología de laboratorio aplicado en <i>Schoenoplectus tatora</i>	33
3.2 Cuantificación de los metales pesados en <i>Schoenoplectus tatora</i>	40
DISCUSIONES	43
CONCLUSIONES	48
SUGERENCIAS	50

PROPUESTA PARA MINIMIZAR IMPACTOS EN LA CUENCA DEL RAMIS	51
BIBLIOGRAFIA	67
ANEXO: PROYECTO DE INVESTIGACION	72

LISTADO DE FIGURAS

Figura N° 1: <i>Schoenoplectus tatora</i> con inflorescencia	10
Figura N° 2: <i>Schoenoplectus tatora</i> de la península de Capachica – lago menor	11
Figura N° 3: Vista del Cerro Lunar de Oro	16
Figura N° 4: Explotación subterránea de manera artesanal	18
Figura N° 5: Laboreo artesanal: pallaqueo	18
Figura N° 6: Procesamiento del mineral en quimbaletes	19
Figura N° 7: Deposito de relaves cianurados a la intemperie	20
Figura N° 8: Vertimiento de aguas ácidas	22
Figura N° 9: Relaves y escombros que originan la pérdida de lagunas	22
Figura N° 10: Río Crucero frente al pueblo de San Antón	24
Figura N° 11: Laguna Cerro Lunar – Rinconada	27
Figura N° 12: Laguna Sillacunca – Ananea	27
Figura N° 13: Mujeres realizando labores de pallaqueo sin ninguna protección	30
Figura N° 14: Entrevista sobre el grado de conocimientos de los pobladores pertenecientes a la cuenca del Ramis	30
Figura N° 15: Fertilizantes y/o pesticidas considerados dañinos para la salud	31
Figura N° 16: Causas de uso de fertilizantes y/o pesticidas	31
Figura N° 17: Trabajo de campo en <i>Schoenoplectus tatora</i> realizado en la desembocadura del ríos Ramis	34
Figura N° 18: Pesado de la muestra de <i>Schoenoplectus tatora</i>	34
Figura N° 19: Lavado de las muestras de <i>Schoenoplectus tatora</i>	35
Figura N° 20: Secado en estufa de las muestras de <i>Schoenoplectus tatora</i>	35
Figura N° 21: Equipo utilizado para la determinación de Hg por absorción atómica a vapor frío –FIAS	35
Figura N° 22: Equipos utilizados para la determinación de metales pesados por absorción atómica técnica de flama y horno de grafito	36
Figura N° 23: Niveles de metales pesados en <i>Schoenoplectus tatora</i> de la desembocadura del río Ramis	41
Figura N° 24: Pobladores de San Antón realizando labores en el río Crucero	44
Figura N° 25: Residuos sólidos en la parte posterior del colegio de San Antón	44

Figura N° 26: <i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	52
Figura N° 27: Depósitos de Relaves de Tablachaca II – Centromin Perú	55
Figura N° 28: Perfil final de la revegetación de la cobertura de los depósitos de relaves de Buenaventura	56
Figura N° 29: Perfil final de la revegetación de la cobertura de los depósitos de relaves de Minera Milpo	56
Figura N° 30: Perfil final de la revegetación de la cobertura de los depósitos de relaves de Minera Centromin Perú	58
Figura N° 31: Plantas acuáticas que participan en la depuración de aguas	60
Figura N° 32: Sistema de agua superficial libre (SASL)	60
Figura N° 33: Sistema de flujo bajo la superficie (SFBS)	61
Figura N° 34: Bacterias anaerobias sulfo-reductoras	61
Figura N° 35: Vista del humedal artificial de Tucush, Cajamarca	63
Figura N° 36: Diagrama de humedal artificial a ser instalado en el curso del río Ramis	66

LISTADO DE TABLAS

Tabla N° 1: Principales pasivos ambientales de la cuenca del río Ramis	20
Tabla N° 2: Coordenadas UTM establecidas para la declaratoria de emergencia ambiental	23
Tabla N° 3: Resultados analíticos de metales pesados en los tributarios del Lago Titicaca, pertenecientes a la cuenca del Ramis	25
Tabla N° 4: Resultados analíticos de metales pesados en los sedimentos de los tributarios del Lago Titicaca	26
Tabla N° 5: Resultados analíticos de metales pesados en diferentes puntos de muestreos para la cuenca del Ramis	28
Tabla N° 6: Distribución de metales pesados en <i>Schoenoplectus tatora</i> de la desembocadura del río Ramis	40
Tabla N° 7: Distribución de metales pesados en <i>Elodea potamogeton</i> de la desembocadura del río Ramis	42
Tabla N° 8: Algunas consideraciones para la selección de especies de plantas	54

RESUMEN

La cuenca del río Ramis es la más extensa e importante del sistema fluvial de la vertiente del Titicaca, ubicada a 3810 m.s.n.m hasta los 5600 m.s.n.m en el sector norte de la altiplanicie puneña, aquí es donde se encuentra el nevado Ananea cuya explotación es realizada a través de una minería informal de apreciable magnitud provocando un impacto ambiental en suelos, aguas y paisajes de la zona; esto debido a la alta carga de sedimentos en suspensión y vertimiento de residuos y reactivos que se utilizan en el proceso para la obtención del oro. Es en este nevado donde nace el río Ramis que en su trayecto toma diferentes nombres para finalmente desembocar en el Lago Titicaca, el cual actúa como un dispersante natural para los diferentes compuestos y elementos químicos que formarán parte del lecho acuático siendo asimilados y acumulados por la biota presente en el lago. En la presente investigación quiero conocer si dentro de este ecosistema lacustre existe una especie con potencial fitorremediador, enfocándome en *Schoenoplectus tatora* "totora", por ser la macrófita más importante de la zona. Dentro de la metodología de campo las muestras fueron tomadas en la desembocadura del río Ramis, perteneciente al área de la Reserva Nacional del Titicaca, en un número de diez muestras con doble repetición; además se aplicó una encuesta sobre la problemática ambiental a los pobladores de las zonas declaradas en emergencia. En la metodología de laboratorio se desarrollaron tres procesos con la técnica de absorción atómica: Análisis de polimetálicos, As (ambos por la técnica de flama y horno de grafito) y Hg (vapor frío – FIAS); este trabajo fue realizado en el laboratorio de química analítica de INGEMMET – Lima.

Los objetivos propuestos son: **a)** Realizar la descripción biológica de *Schoenoplectus tatora*. **b)** Identificar los metales pesados presentes en la cuenca del río Ramis. **c)** Establecer la metodología de laboratorio aplicado en *Schoenoplectus tatora*. **d)** Determinar la concentración de metales pesados en *Schoenoplectus tatora*. **e)** Proponer una estrategia aplicativa para minimizar los impactos de los metales pesados en la cuenca del Ramis. Teniéndose como conclusiones: **a)** *Schoenoplectus tatora* es una macrófita acuática que crece en profundidades menores a 2 metros y sus tallos tienen un promedio de 2.5 metros de longitud. Su valor nutricional es de 11.6% de proteína cruda, 48.7% de carbohidratos y fibra 95,38%. Es el principal recurso forrajero de la ganadería circunlacustre; es utilizado como alimento, materia prima, barrera ecológica, lugar de refugio y nidificación para aves, peces y algunos roedores. **b)** Los metales pesados

presentes en las aguas de la cuenca con un alto riesgo de efecto biológico son: Pb, Cr, Cd, Ni, y As; los metales que superan los niveles dados por la ley general de aguas son: Zn, Mn, y Hg; en sedimentos los niveles que tienen un alto riesgo de efecto biológico son: Zn, Ni y As. **c)** Los niveles encontrados en *Schoenoplectus tatora* para los elementos Cu, Pb, Cd y As son considerados niveles de efecto tóxico muy bajo, mientras que el Hg es considerado de efecto tóxico moderadamente alto, estando dentro del rango normal de concentraciones en plantas sin observar efectos tóxicos, así mismo dentro de los niveles máximos tolerados por el ganado. **d)** *Schoenoplectus tatora* tiene un potencial fitorremediador de ambientes acuáticos contaminados porque muestran capacidad de acumulación de metales pesados como en Cu, Hg, Pb y As, en consecuencia su depuración de aguas contaminadas.

SUMMARY

The river basin Ramis is the largest river system and important aspect of the Titicaca, located 3810 meters to 5600 meters in the area north of the altiplano puneña, here is where the snowy Ananea whose exploitation is done through an informal mining significant magnitude causing an environmental impact on soils, water and landscapes of the area; this because of the high burden of suspended sediment and dumping of waste and reagents that are used in the process for obtaining gold. In this snowy where the river is born Ramis that his journey takes different names for eventually lead to Lake Titicaca, which acts as a dispersant natural for different chemical elements and compounds that form part of the bed and accumulated water being assimilated by the Biota present in the lake. In this research I want to know if within this lake ecosystem there is a species with potential phytoremediation, focusing on *Schoenoplectus tatora* "totora", as the most important macrophytes in the area. Within the methodology of field samples were taken at the mouth of the river Ramis, belonging to the area of the Titicaca National Reserve, in a number of ten samples with double repetition; also implemented a survey on environmental issues to the people of in areas declared emergency. In the laboratory methodology developed three processes with atomic absorption technique: Analysis of polymetallic As (both by the technique of flame and graphite furnace) and Hg (cold vapor - FIAS), this work was done in the laboratory analytical chemistry of INGEMMET - Lima.

The proposed objectives are: **a)** Perform biological description *Schoenoplectus tatora*. **b)** Identify the heavy metals present in the river basin Ramis. **c)** Establish the methodology used in laboratory *Schoenoplectus tatora*. **d)** To determine the concentration of heavy metals in *Schoenoplectus tatora*. **e)** Propose a strategic approaches to minimize the impacts of heavy metals in the basin Ramis. Ten findings as: **a)** *Schoenoplectus tatora* is an aquatic macrophytes growing in depths of less than 2 mt. and its stems have an average of 2.5 mt. long. Its nutritional value is 11.6% crude protein, 48.7% carbohydrates and fiber 95.38%. It is the principal resource for livestock forage circunlacustre; is used as food, raw materials, ecological barrier, and place of refuge for nesting birds, fish and some rodents. **b)** The levels of metals in water from the basin with a high risk of biological effect are: Pb, Cr, Cd, Ni, and As; levels that exceed the general law water are: Zn, Mn, and Hg. In sediment levels that are at high

risk of biological effect are: Zn, Ni and As. c) The levels found in *Schoenoplectus tatora* for elements Cu, Pb, Cd and As levels are considered very low toxic effect, while the Hg is considered toxic effect of moderately high, being within the normal range of concentrations in plants without observing toxic effects, also within the maximum permissible levels by livestock. d) *Schoenoplectus tatora* phytoremediation has a potential of aquatic environments contaminated because they show ability to accumulation of heavy metals like Cu, Hg, Pb and As, and hence purification of contaminated water.

INTRODUCCION

Los problemas de salud relacionados con el deterioro ambiental se han convertido en una creciente preocupación para la sociedad; desafortunadamente, estos se reconocen cuando se presentan como una crisis que afecta la salud o compromete la existencia, lo que en muchas ocasiones atrasa las acciones preventivas y encarece grandemente las acciones necesarias para lograr una remediación ambiental adecuada; así mismo una pobre política ambiental por parte de los organismos competentes, contribuye a desmejorar la capacidad de la naturaleza por corregir los desastres ocasionados por el hombre.

La actividad de mayor desarrollo en nuestro país es la minería, sin embargo hay mayor incidencia en la minería informal asentada principalmente a lo largo de la cordillera de los andes creando problemas ambientales considerables, donde los residuos y relaves son depositados cerca de la zona o en cursos de agua, lagos o quebradas. Por lo que se hace necesario el uso de técnicas de descontaminación ambiental que reúna entre otras características ser efectivas, económicas y de fácil aplicación. La fitorremediación basada en el uso de plantas y sus microorganismos asociados, son utilizadas para disminuir la concentración de elementos químicos inorgánicos u orgánicos en zonas contaminadas. Las plantas hiperacumuladoras tienen mecanismos de absorción y de tolerancia para poder resistir los elevados niveles de metales acumulados en sus tejidos que serían extremadamente tóxicos para otros organismos.

Ananea – Rinconada, distrito minero aurífero, ubicado en el departamento de Puno, desarrolla una minería informal, cuyas etapas de procesamiento para la obtención del oro, arroja ciertos metales como plomo, cobre, cadmio, zinc, etc. que no son recuperados o removidos, los cuales son evacuados como relaves a los riachuelos que son los tributarios del río Ramis. Éste en su recorrido pasa por las ciudades de Azángaro, San Antón, Crucero, aumentándose la carga de desechos a través de los drenajes y otros, desembocando al norte del Lago Titicaca.

Esta investigación da a conocer el potencial de *Schoenoplectus tatora* “totora” como planta usada para fitorremediación, de tal manera que se puedan aplicar las medidas necesarias para lograr la recuperación de los ecosistemas afectados y a su vez pueda ser utilizado en otras zonas que presenten problemas similares. La investigación comprendió tres fases en la metodología: un trabajo de campo, laboratorio y gabinete. Así mismo la observación *in situ*, y la relación directa con las comunidades aledañas es fundamental para poder tener una visión general y específica de los problemas que enfrenta la cuenca del Ramis para tomar las medidas necesarias y poder minimizarlas; motivo por el cual se desea despertar en futuras investigaciones, la profundización del tema para la contribución en soluciones concretas.

La investigación ha sido organizada en un único capítulo de resultados, que continua con las discusiones, conclusiones y sugerencias respectivas; además de presentar una propuesta de minimización de impactos.

RESULTADOS

I.- DESCRIPCIÓN BIOLÓGICA DE
Schoenoplectus tatora

1.1 Clasificación taxonómica

REINO:	Plantae
DIVISION:	Angiospermae
CLASE:	Monocotyledoneae
SUBCLASE:	Commelinidae
ORDEN:	Cyperales
FAMILIA:	Cyperaceae
TRIBU:	Scirpoideae
GENERO:	Schoenoplectus
ESPECIE:	<i>Schoenoplectus tatora</i>
N.V:	Tatora

1.2 Características biológicas

La familia de las Cyperaceas comprende cerca de 3000 especies en gran parte distribuidas por los ambientes húmedos y terrenos encharcados. El genero *Schoenoplectus* tiene una distribución cosmopolita creciendo en humedales y suelos húmedos.

1.3 Características morfológicas

Schoenoplectus son plantas anuales con raíces fibrosas o perennes de talla mediana o grande, generalmente rizomatozas. Tallos cespitosos o remotos entre sí, erectos, lisos, trígonos o acostillados, la base no tuberosa. Tienen hojas tipo gramíneas, y panojas o espigas; las hojas inferiores con vainas foliares carentes de láminas o las superiores desarrollando ocasionalmente láminas. La inflorescencia es un agregado simple pseudolateral de espiguillas, erecta, pareciendo una continuación del tallo. Espiguillas bisexuales, escasas o abundantes, sésiles o pediceladas, ovoides u oblongas. Flores bisexuales, su floración se inicia a mediados de la época lluviosa y seca y su periodo de fructificación es cada 6 meses, periodo en el cual se realiza el corte por parte de los pobladores.

<i>Características morfológicas</i>	
Altura de planta	3,20 a 4,20 m.
Espesor	0,5 a 5,0 cm de diámetro
Densidad	280 tallos aéreos/m ²
<i>Composición química</i>	
Hemicelulosa	30.71%
x-celulosa	66.79%
Lignina	27.8 %

FIGURA N° 1: *Schoenoplectus tatora* con inflorescencia

1.4 Descripción de *Schoenoplectus tatora*

Es una planta acuática emergente, denominada también anfibia, porque puede subsistir en condiciones secas, presenta dos tipos de tallos:

- Tallos aéreos, que son los que se aprecian fuera del agua y son de color verde, su parte basal tiene un color blanquecino, al que le denominamos “chullo”. Es la totora propiamente dicha, este nace de las yemas del rizoma y en su lado opuesto se encuentran las raíces adventicias que fijan a la planta al sustrato. Este tallo tiene forma triangular en la mayor parte del cuerpo, es cónica en la base y casi acicular en el ápice, posee hojas membranosas que se originan en la base, son sentadas, de vaina entera y rectinervias; por su consistencia herbácea se caracteriza por carecer de ramificaciones pues no tiene nudos.

- Rizomas, tallos que están debajo del agua y enterrados bajo el sustrato a manera de raíces. Los pobladores lo denominan “sipi” y “saka”, según sea el tallo tierno o maduro. Es de color café marrón brillante.

El tallo aéreo presenta un meristemo terminal que determina el crecimiento en longitud, este tallo está provisto de hojas trísticas, verticiladas de vaina entera, bordes enteros y rectinervias; las hojas nacen donde se desprende el tallo aéreo del rizoma, están desprovistas de peciolo y desde luego son sentadas. Las raíces de la totora nacen de los rizomas y sus flores están dispuestas en inflorescencias que es una umbela compuesta.

La totora se propaga por semillas y por transplante de vástagos o retoños, éstos son prolongaciones de rizomas; en la reproducción vegetativa mediante vástago, a los 3 meses prenden, al año florecen y a los dos años ocupan un área de 0.25m² aproximadamente; si el agua es baja en su hábitat las raíces se entrelazan formando una especie de plataforma compacta, a esta superficie se le denomina “kiles”.

FIGURA N° 2: *Schoenoplectus tatora* de la península de Capachica – lago menor.

1.5 Hábitat

Se desarrolla principalmente en lugares que tienen profundidades menores a 2 metros y sus tallos tienen un promedio de 2.5 metros de longitud, pudiendo alcanzar hasta los 6 metros excepcionalmente. El número de tallos por m² varía según el tipo de suelo y época del año, pudiendo variar entre los 30 y 250 tallos; diferenciándose los totorales en:

- *Totorales densos*: con un promedio de 290 tallos/m².
- *Totorales semidensos*: con promedios de 100 tallos/m².
- *Totorales ralos*: con promedio de 50 tallos/m².

1.6 Importancia económica y ecológica

La totora tiene una importancia ecológica determinante para el desarrollo de los demás componentes de flora y fauna lacustre. Los totorales, como hábitat de un conglomerado de flora y fauna, son parte importante del desarrollo social y económico de los pobladores asentados en las áreas circunlacustres del Lago Titicaca, por consiguiente resulta de gran importancia la conservación, manejo y uso adecuado de estos recursos, en el tiempo y el espacio; todo esto con la finalidad de crear en el poblador una actitud positiva para la sostenibilidad y aprovechamiento racional de este recurso.

Es el principal recurso forrajero de la ganadería circunlacustre; permite la subsistencia del ganado vacuno, ovino, equino y porcino, posibilitando que dicha zona sea una de las más importantes para la ganadería. Es utilizado como alimento humano; la base del tallo aéreo denominado “chullo” es utilizada para consumo directo y de los rizomas denominados “sipi” y “saka” se hacen harinas. Sus semillas sirven como alimento para algunas aves granívoras y omnívoras tales como *Lessonia oreas* (chenko) y *Phleocriptes melanops* (totorero). La zona de totorales, vienen a ser los lugares más utilizados para la construcción de nidos y búsqueda de refugio por la mayoría de aves, peces y algunos roedores. La flor de la totora llamada “chumi” se utiliza para los resfríos en infusión. También es utilizado como materia prima, para la construcción de viviendas, balsas, artesanías y leña. Los totorales actúan como una barrera ecológica que impide el avance de la contaminación desde la bahía interior de Puno hasta la bahía exterior.

Los totorales requieren más de cinco meses para recuperarse después del corte y estar en condiciones de ser nuevamente cortado y cosechado, cuando se refiere a totora verde para forraje. Durante el periodo de lluvias, (diciembre-marzo) los totorales tienen un crecimiento acelerado y se puede cortar y cosechar después de tres a cuatro meses, pero durante la época de heladas (abril-agosto) la totora entra a una etapa de dormancia vegetal y su crecimiento es muy lento, por lo que la periodicidad de los cortes será de más de seis meses, lo que en promedio representa dos cortes por año, de una misma zona, siempre que sea para forraje. Es importante remarcar que las comunidades realizan más de dos cortes por año, en una misma zona de corte, esto debido a la sobrepoblación ganadera de la zona circunlacustre, que ocasiona una gran demanda de forraje.

En cuanto al valor nutricional de la totora tenemos:

Proteína	12,20%
Grasa	2,49%
Ceniza	9,76%
Fibra	39,64%
Materia seca	29,54%

**II. IDENTIFICACIÓN DE LA
PRESENCIA DE METALES
PESADOS EN LA CUENCA DEL
RÍO RAMIS**

2.1 Situación ambiental de la cuenca del río Ramis

En la parte alta de la cuenca del río Ramis (Ananea – La Rinconada) se viene realizando una actividad minera informal de apreciable magnitud, en constante expansión con una alta disturbación provocada en los suelos y paisajes de la zona, así como la afectación de la calidad de las aguas del cauce debido a la alta carga de sedimentos en suspensión y posiblemente debido al vertimiento de residuos de mercurio y otros reactivos utilizados para el procesamiento del oro. Es inexistente o mínima la presencia de la autoridad sectorial competente (Ministerio de Energía y Minas) para atender la situación de afectación ambiental en esta zona para fiscalizar las labores que viene desarrollando la minería; asimismo es limitada la presencia de otros servicios del estado para atender las necesidades básicas de la población.

En la parte media de la cuenca del río Ramis (Crucero – San Antón – Asillo) se presenta a la fecha una evidente afectación de la calidad de las aguas del río Ramis, debido a la alta carga de sedimentos en suspensión, proveniente de las labores mineras realizadas en la parte alta, lo cual viene afectando los canales de riego que se acolmatan con este material, el cual es difícil de remover, impactando negativamente en el uso de esta agua para riego, piscicultura y población. Los pastos y cultivos agrícolas resultan afectados y los campesinos refieren problemas de mayor mortandad de crías de ganado y enfermedades de la piel en la población. Esta situación se habría incrementado a partir del año 2000 debido posiblemente al incremento de la actividad minera por los altos precios del oro a nivel mundial.

El distrito minero de la Rinconada se ubica en el flanco occidental del nevado Ananea, que pertenece a la cadena de Aricoma o pre-cordillera de Carabaya, constituyente de la cordillera oriental del sur del Perú, dentro de las alturas comprendidas entre los 4750 y 5150 m.s.n.m en los parajes denominados de la Rinconada y Cerro Lunar de Oro. Presenta un medio físico, geográfico y climático extremadamente adverso, riguroso y de alto riesgo. Las condiciones climáticas son diferenciadas: de septiembre a abril se presenta fuertes precipitaciones pluviales, nevadas y granizadas, con temperaturas que oscilan entre los 3 y 13°C; de abril a agosto el clima es mucho mas frígido y seco, con temperaturas que descienden hasta

los -15°C . La humedad relativa promedio es de 43.5%, la velocidad de los vientos alcanza a 3.8 m/sg (SENAMHI).

El nevado Ananea (4800 - 5850 m.s.n.m) en el cual se encuentra el yacimiento, ésta cubierto por un glaciar en forma de herradura, cuyos extremos avanzan en dirección norte-sur, teniendo el valle glaciar a 4 km de largo por 600 a 800 m de ancho y con varias lenguas de hielo menores; al final del valle se aprecia la laguna Rinconada con una longitud de 6 km y 11 km de ancho, el retroceso del glaciar ha labrado el valle hasta la laguna Rinconada. Este glaciar por su orientación SE-NW, ha experimentado un trabajo muy activo de erosión meteórica, pues ha actuado como barrera contra fuertes vientos altos dominantes del sur, cargados de vapores acuosos los que al tocar esta alta pared que le servía de valla y de condensador, produjeron enormes acumulaciones de hielo y copiosa precipitación de agua. La acción de estos elementos ha venido destruyendo por largas edades geológicas las crestas más salientes de la cordillera, rebajando su cima probablemente por centenares de metros en toda su longitud y transportando sus escombros a las partes bajas.

FIGURA N° 3: Vista del Cerro Lunar de Oro.

2.1.1 Descripción de la explotación del yacimiento:

Entre la laguna Rinconada y el nevado de Ananea, existen aproximadamente 4000 mineros en la zona de Cerro Lunar y 14000 mineros en la zona de la Rinconada, estos mineros artesanales trabajan en áreas donde existen derechos de terceros, en las zonas de Pampa Blanca y Chaquiminas, se estima que la zona ha sido invadida por más de 2000 mineros informales que trabajan con maquinaria pesada, explotando de manera intensiva el oro aluvial, el de vetas y de mantos: Lunar de Oro, La Rinconada, Riti Cucho, Chaquiminas, San Antonio de Poto, Ancoccala Untuca y otros. Opera también una planta de la Corporación Minera Ananea que concentra gravimétricamente por flotación y mediante cianuración el oro.

La explotación actual se realiza de acuerdo a la política de trabajo del contratista, este depende mucho del rendimiento de las labores de desarrollo, la presencia de trabajadores generalmente se realiza de 3 a 4 turnos por día de los cuales cada turno realiza trabajo de cuatro horas, esto depende del personal técnico donde perforan de una hora y media a dos horas, luego de perforar se hace la respectiva voladura. El tipo de explotación que se viene realizando en la zona de estudio es subterráneo selectivo, de cámaras y pilares circando al piso o al techo y en algunas labores el método de corte relleno es usado, el minado se realiza a partir de los inclinados y en dirección de avance en forma de tajada, dejando pilares de 2m por 2m a cada 5m – 8m de la galería. El transporte del mineral se hace desde el interior hasta la zona de chancado primario. Para el tratamiento del mineral se utiliza la amalgamación por ser un método de recuperación práctico y barato, sin embargo el porcentaje de recuperación es de +/- 60% a 70%.

FIGURA N° 4: Explotación subterránea de manera artesanal

FIGURA N° 5: Laboreo artesanal: pallaqueo

La principal contaminación ambiental producida por la minería artesanal consiste en la emisión de mercurio líquido y gaseoso durante el proceso de beneficio de mineral aurífero que es similar en todas zonas del Perú. La emisión del mercurio y la drenación de las aguas ácidas para el medio ambiente por la actividad minera artesanal constituyen uno de los mayores y más serios problemas ambientales del distrito minero de Ananea. La liberación de mercurio al medio ambiente ocurre principalmente a través de la erosión de colas de relaves y por la descarga directa de los relaves en los riachuelos, ríos y lagunas.

La contaminación con mercurio líquido se produce por la pérdida de este en los relaves durante el proceso de molienda y amalgamación de los minerales de cabeza en kimbaletes y molinos, se utiliza de 4 a 5 kg. de mercurio para realizar la recuperación del mismo; para recuperar de 3 a 10 gramos de oro se pierde aproximadamente 0.250 kg de mercurio. Los relaves no tratados discurren directamente por la laguna Rinconada, Cerro Lunar y Comuni. La contaminación con mercurio gaseoso al medio ambiente se produce a partir de la quema de la amalgama a cielo abierto para la recuperación del oro, por aplicación directa de la llama o soplete conocido como refogado de oro, por este proceso el mercurio se evapora rápidamente y es liberado al medio ambiente.

FIGURA N° 6: Procesamiento del mineral en quimbaletes

Los pasivos ambientales son otra peligrosísima fuente de contaminación minera, son instalaciones mineras abandonadas que incluyen desmontes de mina, depósitos de minerales, relave de plantas metalúrgicas, residuos de pilas de lixiviación, relaves de cianuración, relaves de placeres o lavaderos, equipos abandonados, túneles abandonados u operaciones superficiales.

FIGURA N° 7: Deposito de relaves cianurados a la intemperie

La tabla N° 3 presenta los principales pasivos ambientales inventariados en la cuenca del río Ramis:

Tabla N° 1: Principales pasivos ambientales de la cuenca del río Ramis

Tipo Pasivo/ responsabilidad	Lugar/actividad circundante	Medios impactados/ grados	Inestabilidad física y contaminación
Bocamina, escombros y depositos de relaves. Mina la Poderosa	Quebrada Huaccoto-Orurillo. Agricultura y ganadería.	Suelo, flora, fauna y agua. Leve a moderado.	Erosión en surcos, drenajes ácidos, acarreo por contacto con agua y acarreo del viento a áreas agrícolas.
Bocamina, escombros y botaderos. Mina de antimonio.	Quebrada. Agricultura, ovinos, Auquénidos y poblado rural.	Suelo, flora, fauna y paisaje. Moderado.	Erosión laminar y surcos, acarreo por contacto con agua y acarreo del viento a áreas pobladas.
Tajo abierto y botaderos. Mina no metálica.	Cerro Puruntane Tacanchaquisamán / poblacional, ganadería y agrícola.	Aire, actividad humana y paisaje. Leve a moderado.	Erosión de laderas, acarreo del viento a áreas urbanas, generación de polvo y ruido por la actividad minera y transporte de mineral.
Bocamina, escombros y depósito de relaves. MINSUR	Quebrada/ pastos, auquénidos y vivienda rural.	Suelo, flora, agua, fauna y paisaje. Moderado.	Erosión de laderas y caída de rocas, inestabilidad de canchas de relaves, drenajes ácidos, acarreo por contacto con agua de cursos periódicos, acarreo del viento a pastizales y contaminación de humedales.
Bocamina y escombros.	Cerca Hacienda Santa Rosa/ Pastos y ovinos	Suelo y paisaje. Leve.	Probable generación de drenaje ácido con aguas pluviales.
Bocamina, escombros y planta concentradora.	Ladera a la margen izquierda	Suelo, flora, agua y paisaje.	Drenajes ácidos, acarreo por contacto con agua de cursos

Mina Princesa	río Cullco – Potoni/Ganadería	Leve a moderado.	esporádicos y contaminación de bofedales.
Bocamina, escombros y depósito de relaves. Mina Cecilia.	A la margen derecha del río Cecilia – Potoni/ Ganadería	Agua, suelo, flora y aire. Intenso.	Derrumbes y erosión de laderas, reptación. Depósito de relaves, drenaje ácido, acarreo por contacto con agua de cursos periódicos.
Tajo abierto, depósito de relaves y plantas concentradoras. Mina Calvario	Ambas márgenes de Qda Lajaytira- Ajoyani/ Pastos, ganadería y población.	Suelo, agua, flora y actividades humanas. Moderado a intenso.	Erosión de laderas, drenajes ácidos, acarreo por contacto con agua de curso esporádico, acarreo del viento a áreas agrícolas.
Bocamina, escombros y botaderos. Mina San Antonio de Poto*	Pampa Blanca - San Antonio de Poto/ Pastos, auquénidos.	Suelo, agua y paisaje.	Turbidez del agua
Planta de lavado y depósito de relaves. Buena Fortuna*	Cerca de represa Laguna Sillacunca/ Pastos	Suelo, agua y paisaje.	
Depósito de relaves de cianuración. La Rinconada*	Cerro Antahuila-La Rinconada		Drenaje ácido hacia laguna Rinconada, con altos valores de mercurio.
Lavadero de oro*	Margen derecha río Crucero-Charuya/ Pastos, auquénidos.	Agua.	
Relavera, escombros. Mina Carabaya*	Al NE mina San Rafael- Quespitira/ Pastos, auquénidos.	Agua, suelo y paisaje	Drenaje ácido hacia río Trapiche.
Mina Ccera*	Relaves, botaderos.		Drenaje ácido.

Datos tomados de Zavala & Guerrero. 2005¹

* Datos tomados de la UNI – 2001¹

¹ ZAVALA B. & GUERRERO C. 2005. “Estudio geoambiental de la cuenca del río Ramis”.

¹ UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA. 2001. “Inventario de Minas Inactivas del Departamento de Puno”.

FIGURA N° 8: Vertimiento de aguas ácidas.

FIGURA N° 9: Relaves y escombros que originan la pérdida de lagunas

Ante esta situación ambiental los usuarios de agua, agrarios y municipalidades principalmente, sienten los efectos de la contaminación minera, por lo que pidieron a las autoridades regionales y nacionales dar freno a esta situación y solicitaron la declaración de emergencia a la actividad minera ya que los metales pesados (As, Pb, Cd, Hg, Zn) han llegado a la desembocadura del río Ramis en el Lago Titicaca por ende los recursos hidrófitos como llachu y totora tienen presencia de metales

pesados como Pb y As. (DIGESA. 2006²). Dándose una declaratoria de emergencia ambiental con la consecuente paralización de las actividades mineras así como la suspensión de petitorios mineros en el área comprendida entre las coordenadas UTM - zona 19.

Tabla N° 2: Coordenadas UTM establecidas para la declaratoria de emergencia ambiental

VERTICE	ESTE	NORTE
1	470 000	8 370 000
2	416 000	8 370 000
3	416 000	8 403 000
4	430 000	8 403 000
5	430 000	8 399 000
6	446 000	8 399 000
7	446 000	8 388 000
8	470 000	8 388 000

Por R.M N° 374-2006-PCM se constituye la comisión multisectorial integrada por representantes del MEM, DIGESA, INRENA, MINIINTER, SUNAT y gobierno regional de Puno encargada de proponer un plan de acción orientado a la recuperación de la cuenca del río Ramis, el cual fue aprobado por D.S N° 034-2007-EM de fecha 04 de julio del 2007.

Por resolución N° 171-2007-CONAM, se declaró en emergencia ambiental por un periodo de 90 días en las áreas de influencia de las actividades de minería informal en la cuenca del río Ramis que comprende los distritos de Ananea, Asillo, San Antón, Potoni, Azángaro y Crucero.

² Dirección general de salud ambiental. 2006. "Monitoreo de la cuenca del Río Ramis".

FIGURA N° 10: Río Crucero frente al pueblo de San Antón

Por R.D N° 026 – 2007- DREM Puno, se paraliza de inmediato las actividades mineras informales e ilegales por violación de las normas de seguridad minera y normas de contaminación del medio ambiente, en las áreas de influencia de la cuenca del río Ramis, principalmente en el distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, en las zonas de Pampa Blanca, Chaquiminas, Hancoo Cala y Huacchani. El número de concesiones existentes dentro de las coordenadas donde se suspende la admisión de petitorios mineros son:

- Productor minero artesanal : 07
- Pequeño productor minero : 39
- Mediana y gran minería : 134

Información al 04 de julio del 2007

Asi mismo tenemos que existen empresas ubicadas en el estrato de la mediana y gran minería las cuales son:

- Corporación minera San Antonio de Poto S.A (COORMIN S.A) calificado en mediana y gran minería con 5,250.4018 hectáreas.
- Central de cooperativas mineras de San Antonio de Poto – Ananea LTDA. Calificado en mediana y gran minería con 940 hectáreas
- Bravo Villaran, calificado como mediana y gran minería con 2,412.0281 hectáreas.






2.2 Metales presentes en la cuenca del río Ramis

1.- En el diagnóstico realizado por el proyecto especial lago Titicaca en el año 2004, sobre los recursos hídricos del lago Titicaca, para distintas estaciones de muestreo se tiene los siguientes resultados:

Tabla N° 3: Resultados analíticos de metales pesados en los tributarios del Lago Titicaca, pertenecientes a la cuenca del Ramis.

Estación	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)	Cr (µg/l)	Cd (µg/l)	Ni (µg/l)	As (µg/l)	Cu (µg/l)	Hg (µg/l)
Ananea - Aguas arriba	1,53	<1,80	2,84	0,09	<1,89	10,55	3,00	0,52
Ananea - Aguas abajo	12,87	7,15	69,76	2,93	173,80	401,49	7,40	<0,05
Crucero - Aguas arriba	24,26	6,00	17,50	3,03	98,46	58,11	11,00	<0,05
Crucero - Aguas abajo	11,18	3,05	12,41	0,74	21,30	44,14	5,50	<0,05
San Antón - Aguas arriba	0,92	0,40	3,73	0,09	1,75	7,76	3,00	0,24
San Antón - Aguas abajo	1,03	2,00	4,52	0,09	3,07	7,80	2,50	0,15
Azangaro - Aguas arriba (pte. Llaraja)	1,30	3,65	2,20	0,09	2,84	7,76	3,00	0,12
Azangaro - Aguas abajo	0,99	2,15	3,11	0,09	6,08	7,42	3,50	0,17
Ramis - Minas aguas abajo	1,28	<1,80	3,42	0,09	3,79	11,02	2,50	0,51

Riesgo de efecto biológico:

	ninguno
	bajo
	moderado en aguas acidas y blandas con bajas concentraciones de humus y nutrientes
	alto
	muy alto incluso con exposición corta

Fuente: Swedish Environmental Protection Agency³






³ Swedish Environmental Protection Agency. <http://www.internat.naturvardsverket.se>

En la tabla N° 3 los valores más significativos se dan en el río Ananea, para aguas arriba como abajo, que presentan niveles muy altos de As, en aguas abajo se tiene niveles muy altos de Cd; el río Crucero, aguas arriba presenta niveles muy altos de Pb y Cd.

Tabla N° 4: Resultados analíticos de metales pesados en los sedimentos de los tributarios del Lago Titicaca, pertenecientes a la cuenca del Ramis.

Estación	Pb (µg/l)	Zn (µg/l)	Cr (µg/l)	Cd (µg/l)	Ni (µg/l)	As (µg/l)	Cu (µg/l)	Hg (µg/l)
Crucero - Aguas arriba	25,9	130,0	<0,10	< 0,010	14,8	50,9	10,0	7,9
San Antón - Aguas arriba	25,1	137,6	<0,10	< 0,010	12,0	27,8	14,5	14,8
Azangaro - Aguas arriba (pte. Llaraja)	8,3	35,2	<0,10	< 0,010	< 0,18	15,3	3,4	9,9
Ramis- Aguas abajo	22,3	10141,3	<0,10	< 0,010	10,2	26,4	6,5	7,7

Riesgo de efecto biológico:

	ninguno
	bajo
	moderado en aguas acidas y blandas con bajas concentraciones de humus y nutrientes
	alto
	muy alto incluso con exposición corta

Fuente: Swedish Environmental Protection Agency⁴

En la tabla N° 4 los valores más significativos se dan en el río Crucero y San Antón que presentan niveles muy altos de Ni; mientras que el río Ramis presenta niveles muy altos para el Zn y Ni.

2.- En el monitoreo de la cuenca del río Ramis, realizado por la Dirección General de Salud Ambiental en el año 2006, al realizar la clasificación de los ríos de la cuenca, debido a que sus aguas son usadas para riego, se definen de Clase III:

⁴ Swedish Environmental Protection Agency. <http://www.internat.naturvardsverket.se>

“Aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebidas de animales”, por otro lado las lagunas Sillacunca (Ananea), Cerro Lunar y la Rinconada debido a razones de protección de la fauna acuática se definen de Clase VI: “Aguas de zona de preservación de fauna acuática y pesca recreativa o comercial”.


FIGURA N° 11: Laguna Cerro Lunar – Rinconada.


FIGURA N° 12: Laguna Sillacunca – Ananea.

Los resultados obtenidos para metales en las diferentes estaciones de muestreos de aguas son los siguientes:

Tabla N° 5: Resultados analíticos de metales pesados en diferentes puntos de muestreos para la cuenca del Ramis.

Parámetro Estación	Pb (mg/l)	Zn (mg/l)	Cr (mg/l)	Cd (mg/l)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	Cu (mg/l)	Hg (mg/l)
Ley de aguas Clase IV	0.03	0.18	0.05	0.004	0.30	0.10	0.02	0.0002
Ananea	0.029	0.115	<0.05	<0.010	33.855	0.252	0.013	<0.0001
Rinconada	<0.025	<0.038	<0.05	<0.010	0.269	0.075	<0.005	<0.0001
Cerro Lunar	0.046	1.002	<0.05	<0.010	18.635	1.728	0.035	0.00033
Ley de aguas Clase III	0.1	25	1	0.05	5.0	0.20	0.5	0.01
Río Ananea	1.403	4.371	0.652	0.016	1178.0	20.865	1.245	0.00017
Río Crucero	0.049	0.561	<0.05	<0.010	87.25	0.993	0.049	<0.0001
Río San Antón	<0.025	0.145	<0.05	<0.010	17.94	0.357	0.016	<0.0001
Río Azangaro	<0.025	<0.038	<0.05	<0.010	1.172	0.05	<0.005	<0.0001
Río Ramis	<0.025	<0.038	<0.05	<0.010	0.669	<0.025	<0.005	<0.0001

 Supera el límite permisible de la norma técnica ambiental del Ecuador

 Supera el valor límite de la ley general de aguas

Fuente: DIGESA, 2006³

Las concentraciones de mercurio y plomo en la laguna Cerro Lunar superan los valores límites establecidos en la Ley General de Aguas para la Clase VI. En las lagunas Ananea y Cerro Lunar, las concentraciones de hierro y manganeso superan los límites máximos permisibles establecidos por la Norma Técnica de Calidad Ambiental del Ecuador para preservación de la flora y fauna en aguas dulces frías. Los parámetros cobre y zinc en la laguna Cerro Lunar superan los límites máximos permisibles de la Norma Técnica de Calidad Ambiental del

³ DIRECCION GENERAL DE SALUD AMBIENTAL. 2006. "Monitoreo de la cuenca del Río Ramis".

Ecuador. Los parámetros cobre y plomo, en los ríos Ananea, Grande y Crucero, superan el valor límite establecido por la Ley General de Aguas para la Clase III. En los ríos Ananea, Grande, Crucero y San Antón, las concentraciones de hierro y manganeso superan los límites máximos permisibles establecidos por la Norma Técnica de Calidad Ambiental del Ecuador para aguas de uso agrícola.

3.- En un estudio realizado respecto a la movilidad y biodisponibilidad de metales peligrosos por el método de especiación química secuencial en la cuenca del río Ramis, realizado por el Instituto Geológico, Minero, Metalúrgico en el año 2007; se tiene que las concentraciones en los sedimentos de los elementos Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, Al y As, se encuentran preferentemente asociados a la fase residual o litogénica (f-4), que permite su estabilidad e impide su disolución, atenuando su toxicidad. Sin embargo el Cd se encuentra preferentemente en forma de iones intercambiables y carbonatos (f-1), que representa un riesgo de contaminación debido a la liberación de metales a las aguas bajo condiciones naturales.

Teniendo como base estos monitoreos y estudios realizados en los últimos años, se aplicó una encuesta a los pobladores de los lugares más importantes declarados en emergencia, con la finalidad de tener referencias sobre el conocimiento que tienen de los metales pesados así como de sus consecuencias ambientales.

En la figura N° 15 podemos observar que los entrevistados de los poblados de San Antón, Asillo – Progreso y Azángaro, tuvieron respuestas acertadas a las siguientes preguntas: conocimiento de que metales arrojan las minas a los ríos (ítems 1), daño que ocasionan los metales al medio ambiente, a la agroganadería y a su salud (ítems 2 y 5), manipulación del mercurio (ítems 3). Sin embargo referente al ítem 4, sobre acumulación del plomo en el organismo un 90% de los encuestados lo asocian más a los pulmones que a los huesos. Sin embargo, a pesar que el 90% respondió al ítem 3, que manipularían el mercurio con mascarillas y guantes, muchos indicaron que en algún momento trabajaron en las minas (especialmente Rinconada) y que no usaron estos materiales de protección (figura N° 13).

FIGURA N° 13: Mujeres realizando labores de pallaqueo sin ninguna protección

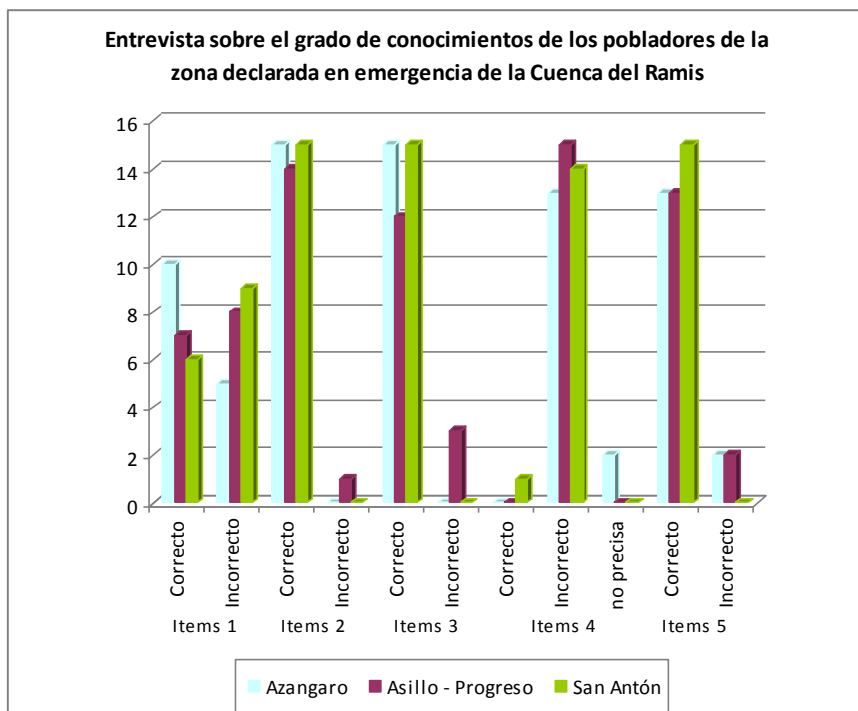


FIGURA N° 14: Entrevista sobre el grado de conocimientos de los pobladores pertenecientes a la cuenca del Ramis.

Referente a la pregunta de cuales de los fertilizantes o pesticidas causan más daño a su salud, en la figura N° 15 se refleja que el paration y los nitratos son considerados como los mas perjudiciales; esto es asociado a que son considerados económicos y efectivos, a pesar del riesgo que puedan significar (figura N° 16).

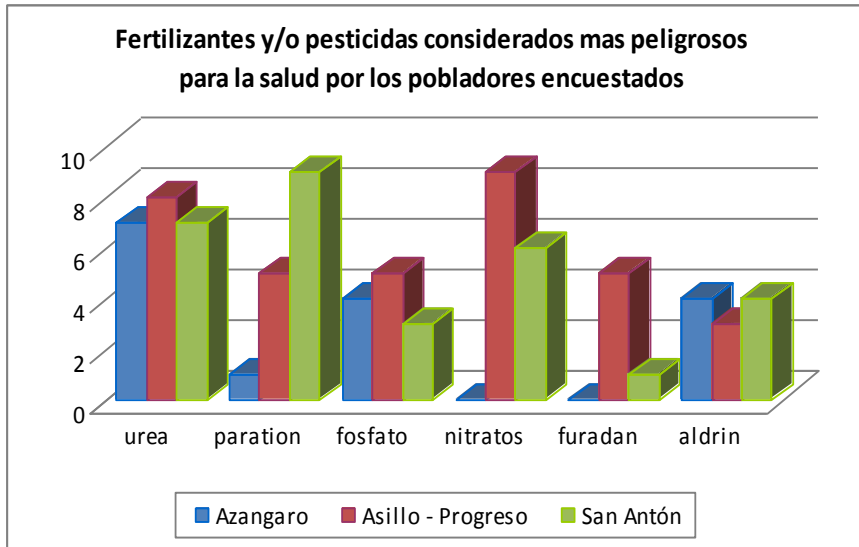


FIGURA N° 15: Fertilizantes y/o pesticidas considerados dañinos para la salud por encuestados de la cuenca del Ramis.

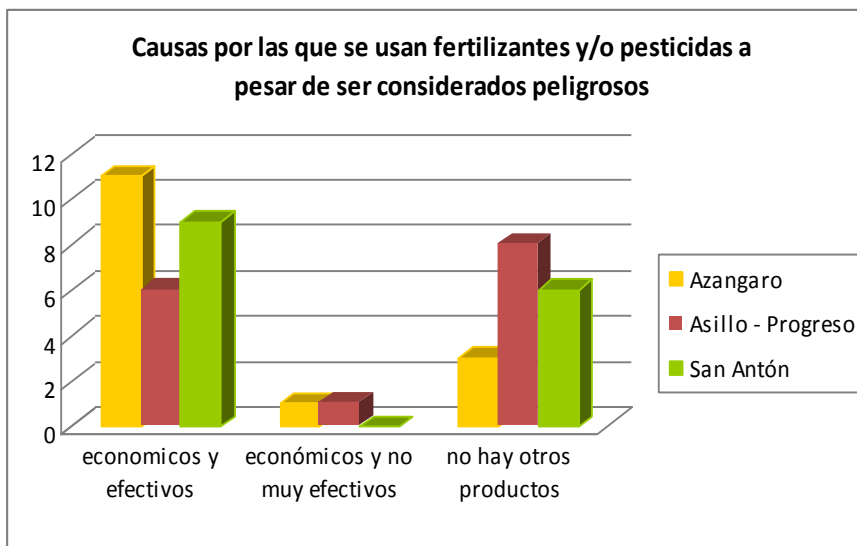


FIGURA N° 16: Causas de uso de fertilizantes y/o pesticidas a pesar de ser considerados peligrosos por los encuestados.

**III. CUANTIFICACIÓN DE LOS
METALES PESADOS EN
*Schoenoplectus tatora***

3.1 Metodología de laboratorio aplicado en *Schoenoplectus tatora*

Para obtener muestras de *Schoenoplectus tatora* se utilizó el método del cuadrante (1m²) seleccionando 1 Kg de tallo verde para su análisis (figura N° 17 y 18). Estas muestras se tomaron al azar, siendo totoras en crecimiento, cortándose el tallo aéreo (parte comestible por el ganado). Se procedió a limpiarlos y lavarlos con agua del mismo lugar de procedencia para luego ser colocados en los envases de plástico, previamente lavados y etiquetados (figura N° 19). Para transportar las muestras al laboratorio, se empacaron en bolsas de polietileno pesado protegidas con hielo triturado en un conservador de “plastoform” manteniéndose aproximadamente a 4°C. Al llegar las muestras al laboratorio fueron conservadas a la misma temperatura en un refrigerador.

Los análisis se realizaron en el laboratorio de química analítica de INGEMMET – Lima, según metodología del laboratorio de química analítica, para la determinación de metales pesados en aguas y sedimentos y modificada para muestras biológicas, teniendo como base diferentes estudios realizados en el mismo laboratorio.

Los elementos: Cu, Pb, Cd fueron secados en estufa a 105°C para luego ser sometidos a digestión, la cual se describe posteriormente. Los elementos As y Hg tuvieron una temperatura de secado 40 - 50°C, siendo fragmentadas para ser sometidos a una digestión ácida (figura N° 20). Se tuvo tres procesos: Hg, As y Cu, Pb, Cd (polimetálicos). Para determinar Hg se hizo por absorción atómica a vapor frío – FIAS (figura N° 21). Los demás elementos fueron determinados por absorción atómica, técnica de flama y horno de grafito (figura N° 22).

FIGURA N° 17: Trabajo de campo en *Schoenoplectus tatora* realizado en la desembocadura del ríos Ramis

FIGURA N° 18: Pesado de la muestra de *Schoenoplectus tatora*

FIGURA N° 19: Lavado de las muestras de *Schoenoplectus tatora*

FIGURA N° 20: Secado en estufa de las muestras de *Schoenoplectus tatora*

FIGURA N° 21: Equipo utilizado para la determinación de Hg por absorción atómica a vapor frío –FIAS

FIGURA N° 22: Equipos utilizados para la determinación de metales pesados por absorción atómica técnica de flama y horno de grafito

• **Procedimiento analítico**

Arsénico: As

Pesado de muestras:

Se pesó 2.5 gramos de muestra de totora en un vaso de vidrio de 250 ml.

Digestión de muestras:

- a. Se prepara una mezcla de HNO₃ y HClO₄ en proporción 3:1, a esto se agregó 40 ml de la mezcla a los vasos de vidrio dejándolos en ataque frío 2 horas o toda la noche; se llevó a plancha tibia (< 70°C), después de 3 horas se aumenta la temperatura entre 150 – 250°C.
- b. Se hierve la mezcla para eliminar los gases nitrosos llevando dicha solución a pastoso (±1 ml).
- c. Bajar de la plancha y dejar enfriar para agregar unas gotas de agua desionizada; llevando la muestra a un volumen de 25 ml con agua desionizada.

Mercurio: Hg

Pesado de muestras:

Se pesó 2 gramos de totora en un vaso de vidrio de 250 ml.

Digestión de muestras:

- a. Se preparó una mezcla de HNO_3 y HCl en proporción 3:1, acto seguido se agregó 40 ml de la mezcla a los vasos de vidrio dejándolos en ataque frío de un día a otro (24 horas).
- b. Después de 24 horas se calienta ligeramente la muestra en una plancha tibia (50°C) por 1 hora y se lleva a volumen de 100 ml con agua desionizada.
- c. Filtrar las muestras con papel filtro N° 41 en fioles de 100 ml.
 - A las muestras se realizaron diluciones de 5/50 con agua desionizada.
- d. A la muestra filtrada se agregó 2 ml de KMnO_4 al 20% y se llevó a baño maria por 5 minutos.
- e. Posteriormente se agrega 0.2 ml de hidroxilamina al 1%, luego se lleva las muestras a volumen de 50 ml con agua desionizada.

Polimetalicos: Cu, Pb y Cd

Pesado de muestras:

Se pesó 2 gramos de totora en un vaso de vidrio de 250 ml.

Digestión de muestras:

- a. Adicionar 12 ml de HClO_4 (para eliminar la materia orgánica). Cubrir con luna de vidrio, llevar a la plancha de calentamiento y hervir la solución por 20 minutos.
- b. Se quita la cubierta para agregar 10 ml de HNO_3 y ser llevado a plancha caliente ($\pm 120^\circ\text{C}$). Tapar y hervir hasta eliminar los gases nitrosos.
- c. Quitar la cubierta para dejar evaporar la solución hasta convertirlo en pastoso. Bajar de la plancha y enfriar un poco.
- d. Adicionarle 2 ml de HClO_4 y 5 ml de HNO_3 y llevar a plancha caliente (200°C) hasta sequedad. Bajar de la plancha y enfriar.
- e. Posteriormente se adicionó 2 ml de HNO_3 y 2 ml de HCl . Evaporar a sequedad y dejar enfriar.

- Para el Cr se tomó alícuotas de 1 ml y se le agregó 0.1 ml de cloruro de amonio al 20%, en tubos de ensayo de 10 ml.
 - Para el Zn se hace una dilución de 2/5 ml y 2/10 ml con HCl al 10%, en tubos de ensayo de 10 ml; de acuerdo a las lecturas previas efectuadas en el espectrofotómetro de absorción atómica.
 - Para el Pb y Cd se hacen diluciones de 5/25 ml con agua desionizada, en fioles de 25 ml.
- f. Llevar la muestra a un volumen de 10 ml con agua desionizada, en tubos de prueba graduados.
- **Determinación analítica por espectrofotometría de absorción atómica**

Polimetalicos:

Para realizar las lecturas de los elementos Cu, Pb y Cd a través del equipo espectrofotómetro de Absorción Atómica por la técnica flama, se requiere que las concentraciones detalladas posteriormente estén dentro del rango de calibración de cada elemento y a las longitudes de onda correspondientes.

- Las concentraciones ($\mu\text{g/ml}$) de Cu
- Las concentraciones ($\mu\text{g/l}$) de los elementos Pb y Cd en las diluciones de 5/25 ml.
- Las concentraciones de las soluciones muestra.
- Las concentraciones de los blancos

Los resultados para el espectrofotómetro PE 3100 utilizado se obtiene automáticamente a través del software Lab Benchtop.

Arsénico:

Para realizar la lectura de As por la técnica horno de grafito, requiere que las diferentes concentraciones estén dentro del rango de calibración de cada elemento y a las longitudes de onda correspondientes. Los resultados para el espectrofotómetro PE 3100 utilizado se obtiene automáticamente a través del software Lab Benchtop Las concentraciones a considerar son:

- Las concentraciones ($\mu\text{g/l}$) de As de las soluciones muestra.
- Las concentraciones de las diluciones de 5/25 ml y 2/25 ml efectuadas para evitar el efecto de matriz.
- Las concentraciones de los blancos.

Mercurio:

Los resultados de Hg aplicando la técnica de vapor frío – FIAS por el espectrofotómetro Anlyst 300 se obtuvieron automáticamente a través del software Win Lab. Para esto se requiere que las diferentes concentraciones estén dentro del rango de calibración de cada elemento y a las longitudes de onda correspondientes. Las concentraciones a considerar son:

- Las concentraciones ($\mu\text{g/l}$) de Hg de las diluciones de 5/50 ml y 5/25 ml efectuadas para evitar el efecto de matriz
- Las concentraciones de los blancos.

3.2 Cuantificación de los metales pesados en *Schoenoplectus tatora*

Los valores de metales pesados analizados en *Schoenoplectus tatora* para el río Ramis recolectado en 5 puntos diferentes de muestreo, analizados por duplicado se muestran en la tabla N° 6. En la figura N° 23, se muestran los diferentes elementos analizados y comparados entre agosto y febrero: en Cu se obtuvo valores entre 0.3 y 1.05 mg/Kg; en el Cd valores menores o iguales a 0.005 mg/Kg; As valores menores a 0.2 mg/Kg; para el Hg los valores son menores a 0.2 y 0.3 mg/Kg. En el caso del plomo debido a su alta potencialidad de contaminación sólo se considerarán los valores registrados en febrero que están entre 0.2 y 0.4 mg/Kg.

Tabla N° 6: Distribución de metales pesados en *Schoenoplectus tatora* de la desembocadura del río Ramis

CODIGO DE MUESTRA	Cu mg/Kg		Pb mg/Kg		Cd mg/Kg		As mg/Kg		Hg mg/Kg	
	Agosto	Febrero	Agosto	Febrero	Agosto	Febrero	Agosto	Febrero	Agosto	Febrero
1 Ra	0.5	0.45	<0.5	<0.05	0.01	<0.005	<0.2	<0.2	<0.3	≤0.2
2 Ra	1.25	1.1	<0.5	0.07	0.01	≤0.005	<0.2	0.25	<0.3	<0.2
3 Ra	1.85	1.5	<0.5	≤0.05	0.03	≤0.005	<0.2	0.22	<0.3	<0.2
4 Ra	1.85	1.5	<0.5	0.10	0.02	0.005	<0.2	<0.2	<0.3	<0.2
5 Ra	0.3	1.7	<0.5	0.06	0.02	≤0.005	<0.2	0.23	<0.3	<0.2
L.D.M.	0.2	0.2	0.5	0.5	0.005	0.005	0.2	0.2	0.3	0.3

Concentración de metales pesados en plantas acuáticas de lagos y cursos de agua de Suecia					
BASE SECA	Cu mg/Kg	Pb mg/Kg	Cd mg/Kg	As mg/Kg	Hg mg/Kg
Nivel de efecto tóxico muy bajo	<7	<3	<0.3	<0.5	<0.04
Nivel de efecto tóxico moderadamente alto	15-50	10-30	1-2.5	3-8	0.1-0.3

METODO (Cu, Zn, Cr): Absorción atómica - Flama
(Pb, Cd, As): Absorción atómica - Horno Grafito
(Hg): Absorción atómica - Sistema Vapor Frío - Fias

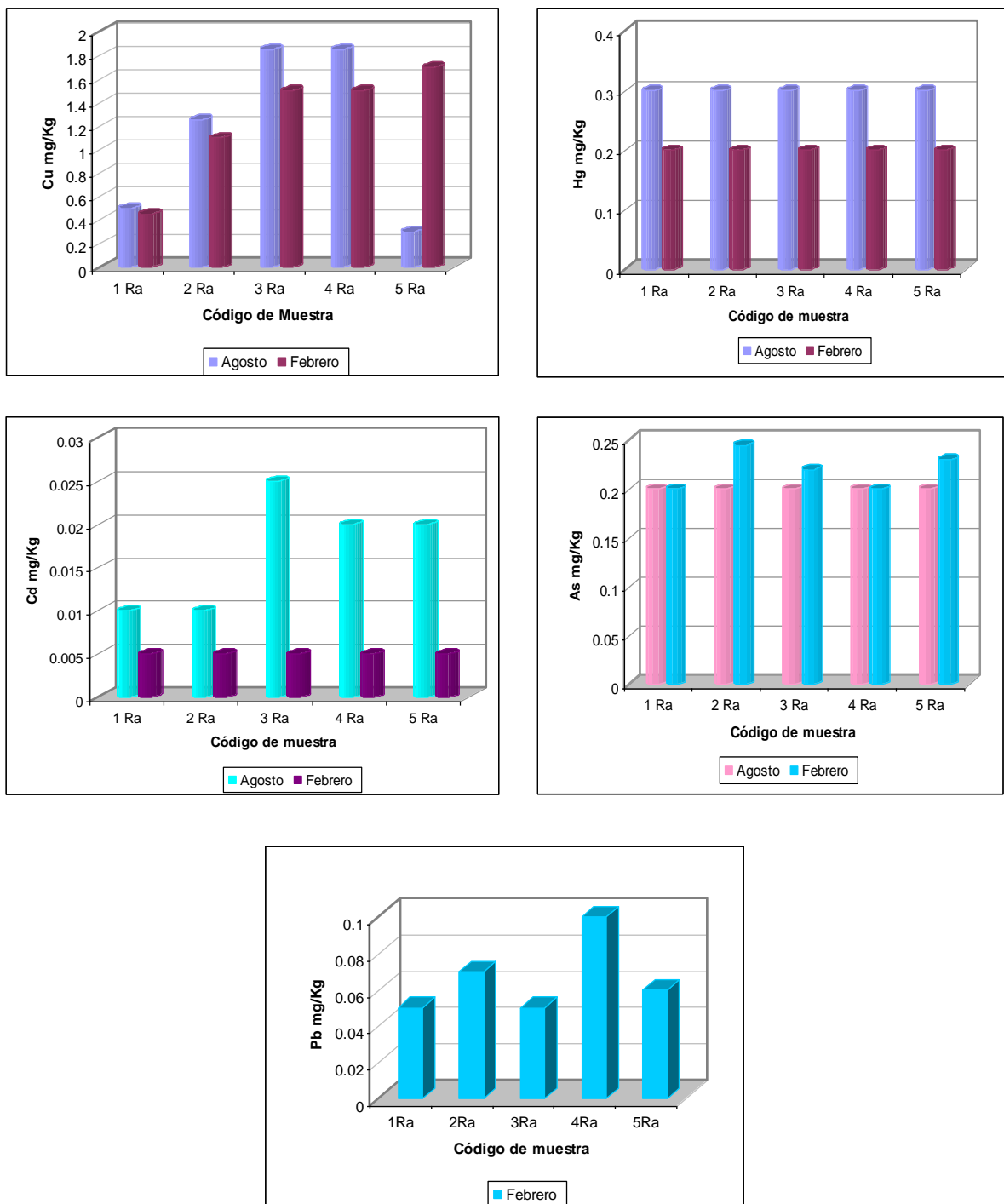


FIGURA N° 23: Niveles de metales pesados en *Schoenoplectus tatora* reportadas en agosto y febrero de la desembocadura del río Ramis

1 Ra: primer muestreo Ramis

4 Ra: cuarto muestreo Ramis

2 Ra: segundo muestreo Ramis

5 Ra: quinto muestreo Ramis

3 Ra: tercer muestreo Ramis

Al realizar la toma de muestras se recolecto e hizo el análisis correspondiente para la especie acuática *Elodea potamogeton* “Llachu”, esta especie es otro de los recursos acuáticos más importantes del lago Titicaca. Los resultados obtenidos son los

siguientes:

Tabla N° 7: Distribución de metales pesados en *Elodea potamogeton* de la desembocadura del río Ramis

Código de muestra	Cu mg/Kg	Pb mg/Kg	Cd mg/Kg	As mg/Kg	Hg mg/Kg
Ll - Ra	1.18	0.75	0.03	3.2	<0.2
L.D.M	0.2	0.5	0.005	0.2	0.3

Concentración de metales pesados en plantas acuáticas de lagos y cursos de agua de Suecia					
BASE SECA	Cu mg/Kg	Pb mg/Kg	Cd mg/Kg	As mg/Kg	Hg mg/Kg
Nivel de efecto tóxico muy bajo	<7	<3	<0.3	<0.5	<0.04
Nivel de efecto tóxico moderadamente alto	15-50	10-30	1-2.5	3-8	0.1-0.3

METODO (Cu, Zn, Cr): Absorción atómica - Flama (Pb, Cd, As): Absorción atómica - Horno Grafito (Hg): Absorción atómica - Sistema Vapor Frío - Fias

En la tabla N° 7 se muestra los valores obtenidos en *Elodea potamogeton* “Llachu”. A diferencia de la totora algo resaltante en esta especie son los valores altos encontrados en As, que fue de 3.2 mg/Kg, considerado de efecto tóxico moderadamente alto; mientras que en la totora el máximo valor fue de 0.25 mg/Kg, esto puede deberse a que las totoras están siendo permanentemente extraídas, no dejándalas madurar, por lo que la concentración de los diferentes metales no llega a su máximo potencial, pero esto no desestima su potencial fitorremediador. En caso del Pb el valor fue de 0.75 mg/Kg, mientras que en totora el máximo valor fue de 0.10 mg/Kg. Para el Cu el valor fue de 1.18 mg/Kg y en totora el máximo valor fue de 1.85 mg/Kg. La absorción de Cd para ambas especies es casi similar ya que la totora tuvo como máximo valor 0.03 mg/Kg y el llachu reportó la misma concentración; lo mismo ocurre con el Hg, ambas especies reporta <0.2 mg/Kg.

DISCUSIONES

- Por resolución N° 171-2007-CONAM, se declaró en emergencia ambiental las áreas de influencia de las actividades de minería informal en la cuenca del río Ramis que comprende los distritos de Ananea, Asillo, San Antón, Potoni, Azángaro y Crucero; por estas circunstancias se entrevistó a pobladores de San Antón, Asillo – Progreso y Azángaro, los cuales son concientes de las implicancias que genera los residuos no tratados derivados de las actividades mineras, aunque sus conocimientos sobre los peligros de los metales pesados a su salud no son tan claros, lo que no les permite plantear bien sus propuestas ante las diferentes autoridades sobre los daños que vienen sufriendo a causa de los niveles altos de metales pesados. Sin embargo, después de tantas huelgas provinciales se logró poder declarar en emergencia ambiental la zona; lo cual es corroborado por la Dirección General de Asuntos Ambientales de Puno⁵, en cuyo documento señalan que: “los usuarios de agua, agrarios y municipalidades principalmente, sienten los efectos de la contaminación minera, por lo que piden a las autoridades regionales y nacionales dar freno a esta situación y solicitan la declaración de emergencia a la actividad minera ya que los metales pesados (As, Pb, Cd, Hg, Zn) han llegado a la desembocadura del río Ramis en el Lago Titicaca por ende los recursos hidrófitos como llachu y totora presentan metales pesados como Pb y As”. Si bien es cierto que se ha formado un comité multisectorial, todos los trabajos de campo y monitoreos se realizan de manera que no se involucra a la población, no contemplándose un programa de educación ambiental para estas zonas donde puedan realmente tomar conciencia y conocimiento del problema; la cual ayudaría a enriquecer los conocimientos empíricos de la población, así como dar a conocer que tipo de estudios y actividades están ejecutándose para poder recuperar la cuenca. San Antón es una ciudad pequeña por la cual pasa la carretera transoceánica, sin embargo aun no se tiene los servicios de agua y desagüe por lo que la población hace uso del río para sus actividades domésticas, agrícolas y otros (figura N° 24), lo que es motivo de queja de los mismos ya que atribuyen la muerte del ganado y malformaciones en los mismos así como diarreas en los niños al consumo de agua. Esta zona no cuenta con un botadero municipal, acumulándose la basura en la parte posterior de la

⁵ MINISTERIO DE AGRICULTURA – INRENA. 2002. “Evaluación y Recuperación de los Recursos Naturales y Contaminación Ambiental en la Cuenca del río Ramis”.

Institución Educativa de la zona (figura N° 25), que es colindante con el río, siendo una fuente de contaminación; sin embargo la población no toma conciencia de la verdadera implicancia que tiene para su salud en un futuro muy cercano ya que se trata de un problema crónico.

FIGURA N° 24: Pobladores de San Antón realizando labores de lavado en el río Crucero

FIGURA N° 25: Residuos sólidos en la parte posterior del colegio de San Antón

- Al efectuar los respectivos análisis a las muestras de tallo de *Schoenoplectus tatora* para poder determinar si tiene un potencial fitoremediador *in situ*, se pudo obtener niveles significativos para los elementos Cu, Hg, Pb y As. Tomando en cuenta el estudio realizado por la Universidad Mayor de San Andrés - La Paz, Bolivia (2005)⁶, determinaron que *Schoenoplectus tatora* tiene un potencial fitorremediador, siendo las concentraciones obtenidas mayores cuando esta planta

⁶ UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS - LA PAZ, BOLIVIA. 2005. "Absorción de metales pesados en aguas residuales de minería con el uso de la tatora (*Schoenoplectus tatora*) en un sistema sub superficial".

acuática alcanza su madurez, inflorescencia, sin embargo en la etapa de crecimiento también capta cantidades significativas de metales pesados, así tenemos que en Cd se obtuvo 3.29 ppm, As 2.26 ppm y Zn 103.23 ppm. Esta diferencia en las concentraciones halladas con las obtenidas en la presente investigación se debe a que el muestreo corresponde a la desembocadura del río Ramis, propiamente al Lago Titicaca, kilómetros abajo de la zona de explotación minera; lo cual no sucede con el estudio de La Paz, ya que esta totora fue plantada en aguas residuales de minería con pH extremadamente ácido, lo que no permitió un desarrollo normal de la planta.

- De acuerdo a diversos estudios realizados en el mundo, se ha demostrado que la parte donde se realiza la mayor actividad de purificación de aguas es en la rizósfera de las helófitas (raíz y rizoma); en cambio en el tallo el proceso de purificación de las aguas es más lento. Al diseñar una planta de tratamiento de aguas, esta puede ser de flujo superficial, es decir, la zona del tallo de la totora es la que más actúa en el proceso de descontaminación, mientras la zona de la rizósfera va creando lentamente condiciones de oxigenación que son ideales para la producción de bacterias aeróbicas que contribuyen a la eliminación de nutrientes (fósforo, nitrógeno) y tóxicos (pesticidas, metales pesados, etc.) disueltos en el agua. Esto implica que se debe contar con la suficiente superficie de área para la instalación de la planta de tratamiento de aguas. La ventaja de estos tratamientos pasivos radica en dos aspectos fundamentales: por un lado su eficiencia, y por otro sus bajos costos de operación y mantenimiento.
- Las concentraciones obtenidas en *Schoenoplectus tatora* están relacionadas con las concentraciones reportadas en aguas y sedimentos. Así tenemos que la Universidad Nacional Agraria la Molina - Lima (1999)⁷, en muestras de agua pertenecientes a la desembocadura del río Ramis, determinó que los elementos Zn, Cu, Cd, Hg y As se encuentran por debajo de los límites permisibles, en cambio el plomo tuvo una concentración de 0.014 mg/L encontrándose por encima del límite permisible según los valores guía de la USEPA (0.0058 mg/L) referida para metales totales; para el

7 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA. 1999. "Investigación y Monitoreo de los Ríos Carabaya-Ramis, Cabanillas y del Lago Titicaca".

Ministerio de Agricultura a través de la Dirección de Asuntos Ambientales (2002)⁸, al analizar los metales pesados Pb, Cu, As y Hg no reportaron concentraciones (0.00 mg/L) en las muestras de aguas del río Ramis. El proyecto especial lago Titicaca, analizó muestras de agua en el Ramis (2004)⁹, presentando valores de efecto tóxico moderado para el Cd: 0.24 µg/l y para el As: 10.94 µg/l. Finalmente, la Dirección General de Salud Ambiental (2006)³, al tomar muestras de agua para el río Ramis, obtuvieron valores que no superan el límite dado por la ley general de aguas: clase III para los elementos Pb, Zn, Cr, Cd, Cu y Hg. En sedimentos la Universidad Nacional Agraria La Molina - Lima (1999)⁷, determinó que se tuvo en As = 17.2 – 16.3 mg/Kg y en Cd = 2.1 – 2 mg/Kg; los cuales se encuentran dentro de los niveles mas bajos y severos de toxicidad considerados por la OMEE (6-33 mg/Kg para As y 0.6 – 10 mg/Kg para Cd). El proyecto especial lago Titicaca, al analizar sedimentos del río Ramis aguas abajo, se registraron valores de efecto tóxico muy alto para el Zn, mientras que el Pb y As tuvo valores de efecto tóxico moderado.

- Las concentraciones obtenidas en *Schoenoplectus tatora*, recolectadas en 5 puntos diferentes de muestreo, analizadas por duplicado, han sido comparadas con diferentes estudios para poder determinar su nivel de toxicidad, ya que esta planta acuática es utilizada principalmente como recurso forrajero por todo el anillo circunlacustre, obteniéndose lo siguiente: los niveles en Cu, Pb, Cd y As son considerados niveles de efecto tóxico muy bajo, mientras que el Hg es considerado de efecto tóxico moderadamente alto; comparado con los estándares de criterios de calidad ambiental para lagos y cursos de agua de Suecia en plantas acuáticas. En el caso de Cu, los valores mayores a 1 mg/Kg, según Alloway B. (1995) citado por Rivera (2001)¹⁰, estarían en una concentración encima del cual los efectos tóxicos son posibles (1-3 mg/Kg); mientras los demás elementos estarían dentro del rango normal de concentraciones en plantas. Sin embargo, para Davelois (1991), citado por la Universidad Nacional Agraria la Molina (1999)⁷, indica que el rango sin observar efectos tóxicos en plantas para el caso del Cu es de 5-30 mg/Kg. Las concentraciones obtenidas en la investigación estarían dentro de los niveles

8 MINISTERIO DE AGRICULTURA – INRENA. 2002. “Evaluación y Recuperación de los Recursos Naturales y Contaminación Ambiental en la Cuenca del río Ramis”.

9 PROYECTO ESPECIAL LAGO TITICACA – PELT. 2004. “Diagnóstico del Nivel de Contaminación de los Recursos Hídricos del Lago Titicaca”

3 DIRECCION GENERAL DE SALUD AMBIENTAL. 2006. “Monitoreo de la cuenca del Río Ramis”.

10 RIVERA H. 2001. “Introducción a la geoquímica general y aplicada”.

7 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA. 1999. “Investigación y Monitoreo de los Ríos Carabaya-Ramis, Cabanillas y del Lago Titicaca”.

máximos tolerados por el ganado (ovino y bovino), según Chaney (1989) citado por Jara Maria (2003)¹¹.

- En el lago Titicaca, las plantas acuáticas del tipo macrofita, se encuentran en poblaciones asociadas. La asociación de las macrófitas están sobre la base de *Schoenoplectus tatora*, al cual se suma el grupo denominado "llachu", entre las cuales predominan *Elodea potamogeton*, *Myriophyllum elatinooides* y *Potamogeton strictus*. La distribución de la asociación de macrofitas en la parte peruana del lago Titicaca está relacionada con las características morfológicas de la zona circunlacustre y la profundidad del lago; es por este motivo que al extraer totora también se saca "llachu", lo que motivó a la realización del análisis correspondiente a esta planta acuática, que presento niveles en Cu, Pb, y Cd considerados de efecto tóxico muy bajo, mientras que el As y Hg son considerados de efecto tóxico moderadamente alto; comparado con los estándares de criterios de calidad ambiental para lagos y cursos de agua de Suecia en plantas acuáticas.

11 JARA MARIA. 2003. "Distribución de metales pesados en agua y sedimentos y sus efectos sobre la vida acuática en la cuenca superior del Río Santa".

CONCLUSIONES

1. En la parte media de la cuenca (Crucero – San Antón – Asillo) hay evidencia de la alteración de la calidad de las aguas del río Ramis, debido a la alta carga de sedimentos en suspensión, impactando negativamente en el uso de esta agua para las diferentes actividades de la población.
2. Los metales pesados presentes en las aguas de la cuenca con un alto riesgo de efecto biológico son: Pb, Cr, Cd, Ni, y As; los metales que superan los niveles dados por la ley general de aguas son: Zn, Mn, y Hg; y en sedimentos los niveles que tienen un alto riesgo de efecto biológico son: Zn, Ni y As.
3. *Schoenoplectus tatora* es una macrófita acuática que crece en profundidades menores a 2 metros y sus tallos tienen un promedio de 2.5 metros de longitud. Su valor nutricional es de 11.6% de proteína cruda, 48.7% de carbohidratos y fibra 95,38%. Es el principal recurso forrajero de la ganadería circunlacustre y es utilizado como alimento, materia prima, barrera ecológica, lugar de refugio y nidificación para aves, peces y algunos roedores.
4. *Schoenoplectus tatora* tiene un potencial fitoremediador de ambientes acuáticos contaminados porque muestran capacidad de acumulación de metales pesados como Cu, Hg, Pb y As, en consecuencia su depuración de aguas contaminadas; siendo la zona de los tallos la que más actúa en el proceso de descontaminación en un sistema de flujo superficial.
5. Los niveles encontrados en las muestras de *Schoenoplectus tatora* para los elementos Cu, Pb, Cd y As son considerados de efecto tóxico muy bajo, mientras que el Hg es considerado de efecto tóxico moderadamente alto, estando dentro del rango normal de concentraciones en plantas sin observar efectos tóxicos, así mismo dentro de los niveles máximos tolerados por el ganado. Sin embargo esto no acredita que no haya un riesgo potencial de toxicidad ya que los metales pesados son acumulados a través de la cadena trófica y sus efectos se presentan en el tiempo.

6. Al analizar una muestra de *Elodea potamogeton* se obtuvo niveles en donde el Cu, Pb, y Cd son considerados niveles de efecto tóxico muy bajo, mientras que el As y Hg son considerados de efecto tóxico moderadamente alto, que están dentro del rango normal de concentraciones en plantas sin observar efectos tóxicos.

7. Se verifica la hipótesis ya que al realizar observaciones en *Schoenoplectus tatora* se tuvo la presencia de metales pesados lo que me permitió suponer que tiene un potencial fitorremediador de aguas.

SUGERENCIAS

1. Sería necesario que los Ministerios del Medio Ambiente, Agricultura y Energía y Minas, en acciones conjuntas transdisciplinarias, establezcan los ECAs (estándares calidad ambiental) adecuados para metales pesados en especies dulceacuícolas, tanto en flora como en fauna, de acuerdo a la realidad de cada región.
2. Es necesario la implementación de programas de educación ambiental bien diseñados para ser aplicados especialmente en las zonas declaradas en emergencia, de tal manera que se involucra a toda la población con la finalidad de contribuir en la formación de valores, actitudes, modos de actuación y conductas en favor del medio ambiente.
3. Para poder realizar un tratamiento a las aguas ácidas producidas por la actividad minera se debe utilizar los tratamientos pasivos, ya que son eficaces, y tienen bajos costos de operación y mantenimiento. Este último factor es el que más se debe tomar en cuenta a la hora de realizar estudios de factibilidad técnica en materia de medio ambiente en regiones rurales, ya que los municipios no están en condiciones de afrontar elevados costos de operación y funcionamiento. Menos aun, considerando que los presupuestos asignados al saneamiento ambiental en estos lugares son muy bajos en relación a otras prioridades como educación y salud.

PROPUESTA PARA MINIMIZAR LOS IMPACTOS DE LOS METALES PESADOS EN LA CUENCA DEL RAMIS

La cuenca como parte del desarrollo sostenible incluye acciones equitativas con la participación de la comunidad y el fortalecimiento de su potencial productivo. Un adecuado manejo de la cuenca debe propiciar un mejoramiento en el uso actual de los recursos naturales y debe darse de manera gradual, con medidas que reduzcan las tendencias de pérdida de estos recursos. Dentro de estas prioridades tenemos:

1.- Tratamiento de los efluentes producidos por las actividades mineras artesanales

Como primera medida es necesario inculcar en la población de La Rinconada, Cerro Lunar de Oro y Ananea una cultura de prevención y control del proceso de generación de los drenajes ácidos de mina en los relaves producto de la extracción del oro, ya que al tomar conciencia de los problemas que estos acarrearán se estará contribuyendo a una mejor calidad de vida; para esto, es necesario que se de el cambio de los sistemas de explotación y tratamiento de los efluentes, teniendo en cuenta el cumplimiento de normas de bioseguridad y manejo ambiental, por ejemplo se debe mejorar el uso de aventaderos: sistemas que demandan un excesivo uso del recurso hídrico y que se caracterizan por ocasionar una alta concentración de sólidos disueltos en los cursos de agua donde se vierten los efluentes. Se debe realizar evaluaciones minuciosas de los pasivos ambientales, con el fin de exigir y monitorear a los concesionarios la aplicación de actividades para mitigar los impactos negativos que se viene ocasionando al ecosistema.

Una forma efectiva de evitar la generación de aguas ácidas es con el control y la eliminación de los parámetros y las condiciones que favorecen la formación de los mismos. Podemos aplicar las siguientes medidas:

- Restringir el ingreso del agua en los residuos expuestos a la meteorización; lo que puede hacerse con cambios del curso de los riachuelos o aplicando barreras físicas que van a impedir la mezcla y dilución de los distintos efluentes.

- Minimizar la penetración de oxígeno a través del aire o del agua, mediante el empleo de materiales impermeabilizantes como las geomembranas.
- Aislar los minerales sulfurosos mediante flotación u otro tratamiento previo al vertido.
- Mantener el pH de los efluentes dentro de un rango alcalino, esto se consigue añadiendo a las soluciones ácidas materiales alcalinos como caliza en polvo, cal, fosfatos y a través del método de inhibición bacteriana; ya que bacterias como el *Thiobacillus ferrooxidans* y otras contribuyen a la oxidación del hierro influyendo fuertemente en la generación ácida, pero si se logra eliminar estos microorganismos se puede llegar a reducir hasta en un 50% el proceso de acidificación. Entre los bactericidas de mayor efectividad se encuentran los surfactantes aniónicos y los ácidos orgánicos, el detergente aniónico más eficaz y económico es el sodio lauril sulfato (SLS), este tratamiento es muy efectivo a corto plazo; sin embargo no debe olvidarse que actúan únicamente sobre los procesos de oxidación biológicos pero no sobre la oxidación química de los sulfuros.

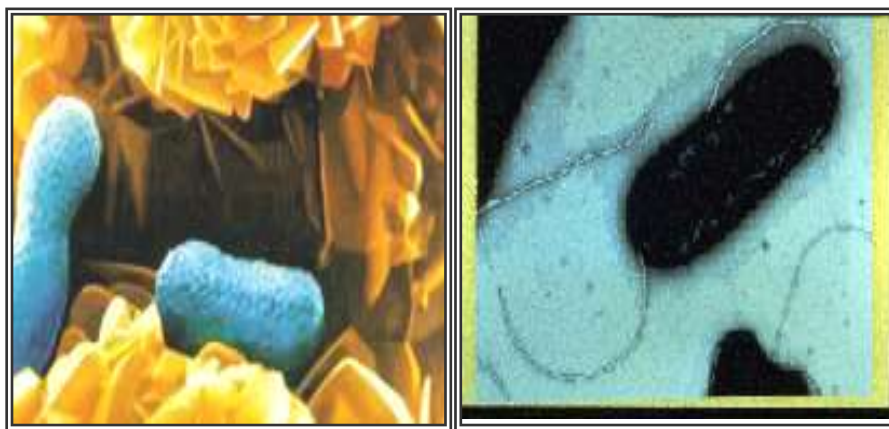


FIGURA N° 26: *Thiobacillus ferrooxidans* son bacterias que están en suspensión en el aire y que encuentran su fuente de alimento en la pirita y otros sulfuros, esto gracias a que en el citoplasma de la célula tienen una capa viscosa que les permite sobrevivir en el medio ambiente tóxico.

- El método biológico más importante es la revegetación de depósitos de relaves y rocas de desmonte con el fin de disminuir el riesgo de erosión o contaminación por lixiviados así como de integrar estas áreas al entorno ecológico y paisajístico. El principal objetivo de la revegetación es que se logre cubrir el

100% del área tratada, o sea la revegetación es un proceso continuo, esto puede durar 5 años, durante los cuales no se permite el ingreso de personas y animales al área de tratamiento. Es la única forma de evitar que la erosión comience. Las plantas van a ayudar a reforzar el suelo y van a mitigar el movimiento del agua hacia las laderas.

Durante el proceso de revegetación de canchas de relave y rocas de desmonte se debe tener en cuenta las siguientes actividades:

- Determinar el uso de la tierra previo y post actividad minera.
- Retirar, almacenar y mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo a tratar. para restablecer las propiedades biológicas se debe aplicar una capa superficial de suelo fértil (Tierra fresca de chacra, estiércol o compost) que contengan poblaciones viables y diversas de microbios. También se podría utilizar el follaje de especies forestales como fuente de abono directo por ejemplo el aliso (*Alnus jorullensis*), por ser la especie altoandina cuyo follaje es empleado como abono, además que fertiliza los pastos con el nitrógeno que proporciona la simbiosis radicular con microorganismos. Otras especies adecuadas para la producción de abono son: “quisuar” (*Buddleja incana*), “colli” (*Buddleja coriacea*), “queñoa” (*Polilepys incana*), “molle” (*Schinus molle*).
- Seleccionar especies de plantas que ya hayan sido utilizadas en programas de revegetación en el Perú, especialmente las nativas.

Tabla N° 8: Algunas consideraciones para la selección de especies de plantas

Condiciones primarias	Tipo de planta
<p><i>Tipo de Residuo:</i> Metales tóxicos en alta concentración.</p> <p>Acidez y alcalinidad extrema. Deficiencias de nutrientes.</p>	<p>Plantas tolerantes a los metales, por ejemplo: <i>Senecio</i> en las zonas altoandinas. Colonizadores naturales de áreas mineralizas. Colonizadores naturales de estos medios. Leguminosas u otras plantas fijadoras de nitrógeno ejemplo Aliso, tarhui.</p>
<p><i>Clima:</i> Fríos extremos con un periodo de corto de crecimiento. Condiciones áridas o semiáridas.</p> <p>Condiciones templadas.</p>	<p>Especies nativas o introducidas de rápido crecimiento (treboles, festucas). Especies nativas o introducidas de lento crecimiento. Especies agrícolas o forestales dependiendo del tipo de rehabilitación.</p>
<p><i>Uso del Suelo:</i> Para rápida estabilización y alta productividad. Para vida silvestre.</p> <p>Para espacios de recreación</p>	<p>Especies agrícolas (avena forrajera).</p> <p>Variedades de especies nativas, que provean semilla, fruta, y espacios de protección y anidación.</p> <p>Especies resistentes a la intervención antropica.</p>

De acuerdo a las experiencias realizadas en el Perú, para la revegetación de coberturas de relaves en las zonas altoandinas se indica que las especies vegetales a ser empleadas deben ser de preferencia especies herbáceas y en segundo caso arbustivas. Inclusive en el caso de las especies herbáceas se debe procurar no utilizar aquellas que tengan raíces profundas como la alfalfa (*Medicago sativa*). En las áreas de relaves que han sido revegetadas con pastos es posible la introducción del ganado para una fase posterior. Este aprovechamiento no es riesgoso si las áreas revegetadas tienen buen manejo y sobre todo si estas se han establecido sobre una geomembrana. La restauración final se realiza con especies nativas e introducidas; se utiliza ambos tipos de especies debido a que las especies no nativas pueden generar rápidamente una cobertura vegetal que dará un microclima adecuado para el desarrollo de las especies nativas, además de ello este tipo de revegetación considera el transplante de ichu y la instalación de plantones de especies arbustivas de la zona y tiene por finalidad restaurar áreas utilizadas en las actividades mineras que no serán utilizadas nuevamente en la operación, dejando las áreas tratadas en condiciones similares a las iniciales.

FIGURA N° 27: Depósitos de Relaves de Tablachaca II – Centromin Perú. Cuya cobertura es:

Capa A: geomembrana

Capa B: material gravo arenosos

Capa C: Tierra de cultivo, Pasto “ Rey Grass” y Ichu

Algunas experiencias a tomar en cuenta en revegetación son:

Caso A: *Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. - Unidad Minera Recuperada – Huancavelica.*

La Unidad Minera Recuperada se ubica en el distrito de Huachocollpa, provincia y departamento de Huancavelica. Los campamentos e instalaciones se extienden en la región Jalca o Puna, a 4 335 msnm. La actividad es de mediana minería - poli metálico - mina Subterránea. Los depósitos de relaves que se revegetaron, se ubican en ambos márgenes del río Pallcapampa y en las faldas de dos colinas, no tenían protección contra la erosión hídrica y eólica. Por su origen estos relaves no piríticos (ausencia de sulfuros de hierro) no generan drenaje ácido de roca (DAR) y tienen un pH promedio: 8. Las presas de relaves mencionadas tienen una antigüedad promedio de abandono de 20 años, estando sujetas a acciones erosivas (eólicas e hídricas). Debido a que el relave no tiene capacidad para generar DAR no se aplicó una barrera alcalina. Se revegetó un área total de 1,60 ha, utilizando los pastos cultivados: *Lolium perenne* y *Dactylis glomera*.

FIGURA N° 28: Perfil final de la revegetación de la cobertura de los depósitos de relaves de Buenaventura.

Caso B: Cia. Minera Milpo

La CIA Minera Milpo (MILPO) se sitúa en la cordillera central del Perú, en el distrito de Yanacancha, provincia de Cerro de Pasco a una altitud de 4 200 msnm. La actividad es de mediana minería, poli metálico - mina Subterránea. La revegetación se realizó en relaves abandonados no menos de 30 años. Los relaves mineros presentan poca cantidad de elementos solubles, y la liberación de estos sería muy lenta debido al pH (7,7). Debido a que el relave no tiene capacidad para generar DAR no se aplicó una barrera alcalina. Se utilizaron especies arbóreas tales como: *Buddleja* spp. (Colle), *Baccharis tricuneata* (Taya), y especies forrajeras tales como *Medicago sativa* (alfalfa), *Trifolium pretense* (Trébol blanco), *Avena mantaro* (*Arrhenatherum* sp.), *Dactylis glomerata* (*Dactylis*), *Lolium perenne* (Rey Grass inglés), *Lolium multiflorum* (Rey grass italiano).

FIGURA N° 29: Perfil final de la revegetación de la cobertura de los depósitos de relaves de Minera Milpo.

Caso C: Compañía Minera Centromin Perú en Quiulacocha

La ex laguna de Quiulacocha está situada en el distrito de Quiulacocha, departamento de Pasco, a una altitud de 4 300 msnm. El depósito de relaves de Quiulacocha tiene una presa principal y un dique flotante intermedio de 540 metros de largo y 4 metros de altura. El depósito está construido con material compuesto de grava, limo y arena fina (saturada de agua). El total de relaves presente en la cancha es de 78 699 777 toneladas de los cuales aproximadamente el 52% corresponden a sulfuros formadores de ácido. Los relaves de Quiulacocha tienen alto potencial para formar ácidos en presencia de agua. (el pH oscila entre 2,2 – 3,5). Todos los metales disueltos superan largamente el límite máximo permisible (LMP). El área total del ex-depósito de relaves es de 141,8 hectáreas. Para la revegetación se consideró 2 208 m². Las especies utilizadas fueron: *Stipa ichu* (ichu), *Calamagrostis vicunarum*, *Festuca dolichophyla*, *Medicago sativa* (alfalfa), también se usó semillas de *Trifolium pretense* (Trébol rojo), *Trifolium repens* (Trébol blanco), *Dactylis glomerata* (Dactylis), *Lolium perenne* (Ray Grass inglés), *Lolium multiflorum* (Ray grass italiano).

Al tomar muestras de plantas para cada especie o asociación de especies se encontró que, a pesar de que los pastos no tuvieron contacto de su sistema radicular con el relave, se produjo una evidente absorción de metales, en especial de zinc, cadmio, plomo y hierro. En *Calamagrostis vicunarum* el contenido de zinc después del experimento aumenta más de seis veces (332 ppm) y el contenido de plomo (32,9 ppm), cadmio (2,5 ppm) y hierro (3 160 ppm) es casi tres veces el valor arrojado por un análisis inicial. En esta especie todos los elementos se encuentran en concentraciones aparentemente tóxicas. En *Festuca dolichophyla* más importante fue el contenido de plomo (110 ppm), lo cual es más del doble del contenido observado en otros pastos cultivados (en promedio 38,08 ppm), ello revela una mayor capacidad de acumular este metal por parte de esta especie los resultados obtenidos en un principio, el de zinc es diez, cobre siete veces y cadmio seis veces. Estos resultados demuestran que en términos generales la *Festuca* absorbe en gran cantidad los cationes tóxicos presentes en el suelo.

FIGURA N° 30: Perfil final de la revegetación de la cobertura de los depósitos de relaves de Minera Centromin Perú.

Caso D: Experiencias de Revegetación en Minera Yanacocha

La Empresa Minera Yanacocha tiene sus operaciones ubicadas entre los 3500 a 4200 msnm, en la región Jalca o Puna del departamento de Cajamarca. Su actividad es de gran Minería – explotación de oro a tajo abierto. El proyecto de revegetación tiene como objetivo generar tecnologías de revegetación con especies nativas altoandinas, para restaurar áreas disturbadas por la actividad minera, además, la empresa ha realizado actividades de fortalecimiento de capacidades humanas y los pobladores ahora conocen equipos mecánicos apropiados para la revegetación.

En Yanacocha se realiza el mejoramiento de las propiedades del suelo superficial con la aplicando de coberturas orgánicas al inicio de la siembra: 25 sacos de estiércol de gallina/Ha en suelos superficiales y 62 sacos/Ha en suelos minerales. Las especies introducidas fueron: *Dactylis potomac* con un 67 % promedio de cobertura y Ray grass; en el caso de especies nativas la especie que tiene mayor porcentaje de cobertura fue *Poa annua*.

Los métodos de tratamiento convencionales o activos de aguas ácidas tienen un costo elevado, por lo que no pueden ser mantenidos por un período prolongado una vez finalizada la vida de la mina, teniendo en cuenta que el problema de las aguas ácidas puede perdurar varios cientos de años. En la última década se han investigado diversos métodos de tratamiento pasivo y se ha comprobado que dan buenos rendimientos en la neutralización del pH y en la eliminación de metales pesados. Además requieren poco mantenimiento y su bajo costo puede ser asumido durante largos períodos de tiempo (20 a 40 años) una vez clausurada la instalación minera.

Los métodos de tratamiento pasivo se basan en los mismos procesos físicos, químicos y biológicos que tienen lugar en los humedales naturales (wetlands), en donde se modifican favorablemente ciertas características de las aguas contaminadas, consiguiendo la eliminación de metales y la neutralización del pH; estos métodos operan en condiciones aerobias o anaerobias y se emplean solos o combinados dependiendo del tipo de drenaje ácido y de los requerimientos de tratamiento. Pero principalmente los procesos anaerobios tales como reducción del sulfato muestran un funcionamiento mejor en la reducción de acidez y de los metales pesados. La presencia de plantas y de microorganismos es muy importante en un sistema de humedales. La presencia de plantas proporciona sitios para la conexión microbiana, libera oxígeno de sus raíces, y provee de materia orgánica para los microorganismos heterotróficos.

Humedales aerobios: Los humedales aerobios se emplean para el tratamiento de aguas que presenten una alcalinidad neta, que sea capaz de neutralizar la acidez generada en la hidrólisis de los metales. Se pretende reproducir los fenómenos y procesos de los humedales naturales creando un ambiente propicio para el desarrollo de ciertas plantas (*Tipha*, *Equisetum*, *Scirpus*) comunidades de organismos (algas, protozoos y bacterias) y musgos, los cuales participan en la depuración del agua. Estos humedales ocupan una gran superficie y el lento fluir del agua en el humedal permite alcanzar el tiempo de retención necesario para que tengan lugar los lentos procesos depuradores del agua. El substrato oxigenado del humedal propicia la formación de un hábitat para que se desarrollen ciertas colonias de bacterias que actúan como catalizadoras en la reacción de oxidación de los contaminantes presentes en el humedal. Entre los numerosos procesos que se dan en un humedal aerobio se tienen la filtración de la materia en suspensión, la bioacumulación de metales en las raíces y partes emergentes de las plantas.

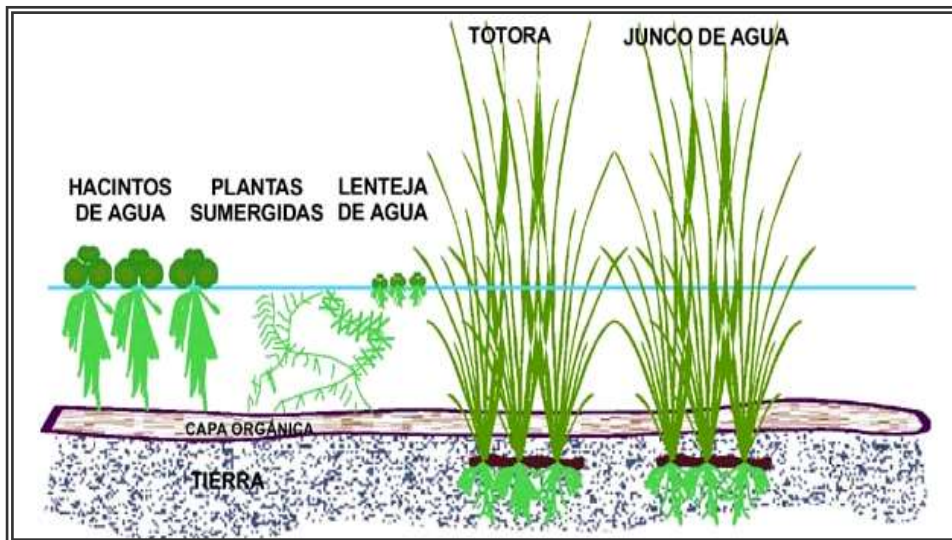


FIGURA N° 31: Plantas acuáticas que participan en la depuración de aguas contaminadas

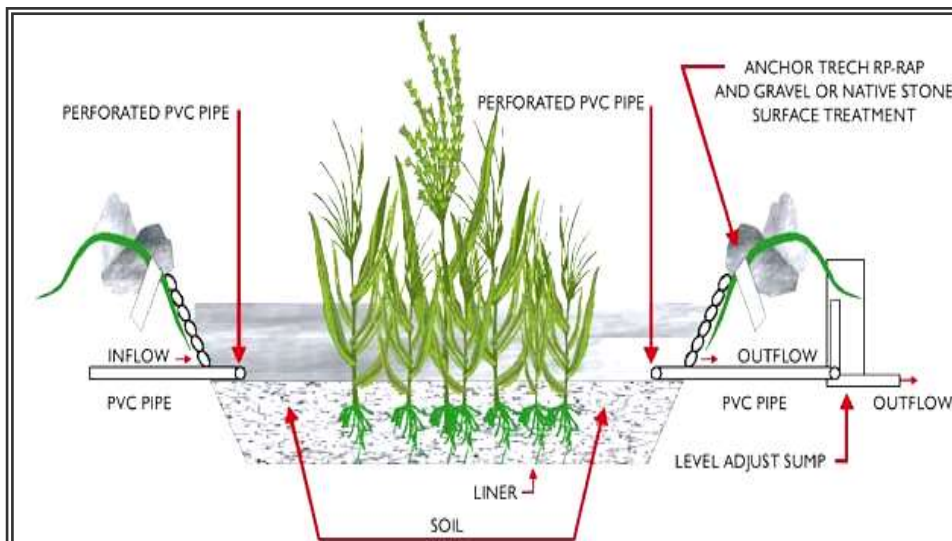


FIGURA N° 32: Sistema de agua superficial libre (SASL)

Humedales anaerobios o balsas orgánicas: En los humedales anaerobios, para favorecer las condiciones anóxicas que se requieren para su correcto funcionamiento, la altura de la lámina de agua ha de superar los 30 cm. Esta lámina cubre un substrato permeable de un espesor de 30-60 cm formado mayoritariamente por material orgánico (70-90 % de estiércol, compost, turba, heno, serrín, etc.), que está entremezclado o bien dispuesto sobre una capa de caliza. La finalidad del substrato orgánico es eliminar el oxígeno disuelto, reducir el Fe^{3+} a Fe^{2+} , y generar alcalinidad mediante procesos químicos o con intervención de microorganismos. Sobre el conjunto de este substrato se desarrolla la vegetación emergente característica de los humedales, la cual ayuda a estabilizar el substrato además de aportar materia orgánica adicional. Estos sistemas

operan en permanente inundación, en éste, se desarrollan bacterias anaerobias sulfo-reductoras (*Desulfovibrio* y *Desulfomaculum*) capaces de utilizar el sulfato disuelto en el agua como fuente de energía para su metabolismo. Los humedales anaerobios al generar alcalinidad admiten drenajes de mina con un $\text{pH} < 4$.

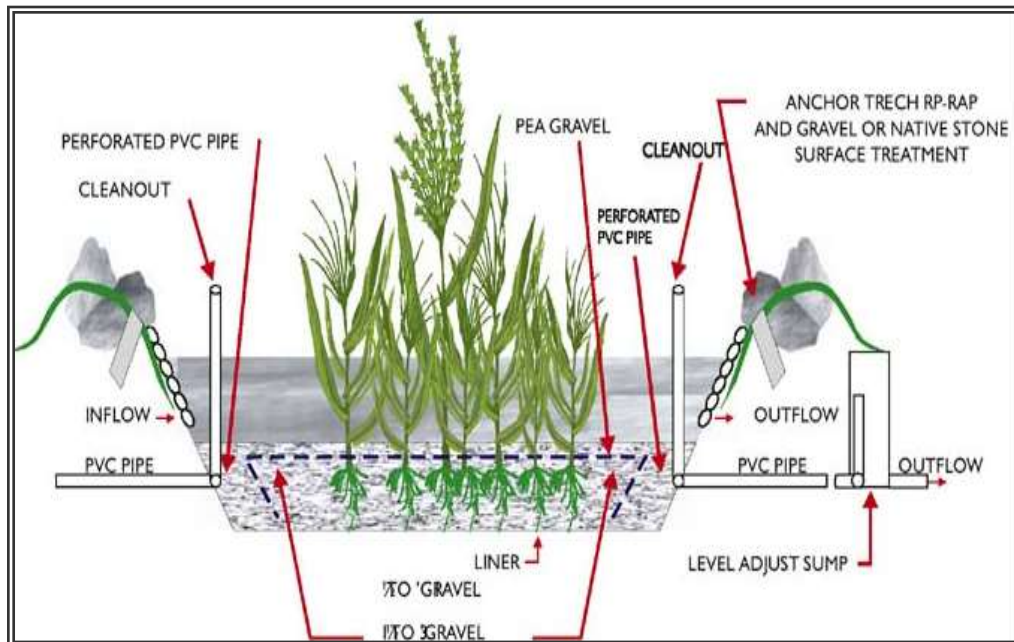


FIGURA N° 33: Sistema de flujo bajo la superficie (SFBS)

FIGURA N° 34: Bacterias anaerobias sulfo-reductoras. Derecha: *Desulfovibrio* Izquierda: *Desulfomaculum*

Como experiencias de estos humedales aplicados en el Perú podemos mencionar:

Caso 1: Mina Orcopampa – Arequipa

Se ha utilizado un tratamiento pasivo para tratar DAM consistente en un sistema de empozamiento, donde las plantas acuáticas como *Juncus imbricatus* "totora" y el alga del género *Cyanophyta* y *Clorophyta* contribuyeron en la oxigenación del proceso. Los agentes contaminadores presentes en el DAM tales como pH, Fe, Cu, Pb y Zn fueron reducidos considerablemente y el efluente final fue utilizado para propósitos agrícolas.

Caso 2: Programa Humedal Artificial de Tucush, Mina Yanacocha - Cajamarca

Este proyecto surgió por la necesidad de contar con un mecanismo efectivo que garantice el cumplimiento de los estándares ambientales nacionales y mantener así la calidad del agua proveniente de la quebrada de Tucush de manera autosostenible, conservando además la armonía con el entorno. Luego de un estudio realizado se concluyó que el sistema de humedales artificiales es el más efectivo para remover una serie de contaminantes, incluyendo sólidos totales en suspensión, nutrientes (amonio y nitrato) y metales. El Humedal de Tucush consta de tres secciones que el agua debe recorrer para su tratamiento; una poza de sedimentación, canalizada dentro del lecho natural de la quebrada, un serpentín construido a base de roca e impermeabilizado con arcilla y geomembrana, y el humedal propiamente dicho, construido utilizando arcilla, suelo compactado, top soil o suelo superficial y roca. El Humedal tiene en total un área de 4.2 hectáreas divididas en 30 celdas, de tres tipos diferentes: de sacrificio, paralelas y profundas.

Las celdas de sacrificio, son las que reciben el agua con casi ningún tratamiento. Son las celdas de mayor tamaño, fomentando la sedimentación y la reducción de la velocidad del agua; además, en ellas se efectúa el primer tratamiento sobre los agentes contaminantes.

El tratamiento continúa por las celdas paralelas, 20 en total que son más pequeñas que las anteriores y permiten la oxigenación de las aguas por medio de entradas y salidas construidas en piedras y empozamiento de las mismas dentro de las celdas.

Las celdas profundas, 8 en total; son alargadas y su finalidad es tener mayor capacidad de retención de las aguas y acrecentar el ambiente anóxico en el sistema, útil para la

degradación de ciertos compuestos como el nitrato, alberga bacterias facultativas y/o anaeróbicas.

Luego de pasar por todo el sistema, las aguas discurren un trecho de 1,000 metros aproximadamente hasta llegar al cauce del río Ayash. Todos los monitoreos en la zona muestran que el humedal es capaz de reducir el nitrato entrante en un 14.30%, con una tendencia constante y creciente. Asimismo, es capaz de tratar el amonio con un porcentaje de remoción del 48.89%, también con una tendencia creciente. Desde mediados del 2005 a la fecha, este proyecto ha mostrado una sustancial mejora en la calidad de agua y, por consiguiente, asegura que el agua que hoy llega a la cuenca de Ayash es de buena calidad y apropiada para formar parte de un hábitat para la fauna y flora de la zona.

FIGURA N° 35: Vista del humedal artificial de Tucush, Cajamarca

2.- Monitoreo permanente a los recursos naturales de la cuenca

Al desarrollarse una minería informal en la parte alta de la cuenca del río Ramis el gobierno regional en acción conjunta con el ministerio de energía y minas y otras instituciones involucradas han realizado la evaluación de impactos ambientales, donde se han identificado las consecuencias ambientales que genera dicha actividad por lo que implementar medidas correctivas para mitigar estos impactos es lo fundamental, a través de un plan de gestión ambiental.

Para controlar los efectos negativos visibles que se dan en la parte alta como media de la cuenca y prevenir el avance de estos efectos a la parte baja de la misma, la cual ya muestra contaminación; es necesario que se incluyan programas de mitigación y recuperación, monitoreo, participación de la comunidad, comunicación social y educación ambiental. La mejor manera de mitigar estos impactos negativos es aplicando métodos de tratamiento en la zona donde se realiza la explotación del mineral, como se mencionó al iniciar esta propuesta, pero el problema que actualmente se presenta es a lo largo de la cuenca, lo que va a comprometer no solo al medio ambiente sino también a la salud de las personas y otras actividades como son la ganadería, agricultura que dependen o hacen uso de los recursos de la cuenca, entonces se hace necesario ofrecer propuestas concretas que ayuden a corregir estos problemas, podemos mencionar:

- **Programas de mitigación y recuperación:** Se deben diseñar y ejecutar actividades orientadas a reducir los impactos ambientales significativos, así como de nuevas fuentes de contaminación; por ejemplo para controlar los niveles de metales pesados en aguas se pueden instalar humedales artificiales a lo largo del curso del río (figura N°37), ubicadas después de las ciudades más importantes de la cuenca. Estos humedales no solo contribuirán a reducir los niveles de metales pesados, generados por la actividad minera de la zona alta, sino también aquellos elementos generados por los residuos sólidos domésticos y especiales que son añadidos a lo largo de la cuenca por las diferentes actividades antrópicas. Así mismo servirán como patrón de control para ver si las acciones tomadas en la fuente de contaminación están siendo eficaces. Se debe tener una estrategia de manejo de las subcuencas y microcuencas de tal manera que se administre

eficientemente los sistemas de riego y drenaje, con un buen manejo de especies nativas de forestales, cultivos, ganadería y de los pastizales naturales con criterios de sostenibilidad.

- **Monitoreos:** Es importante tener una visión holística para realizar los diferentes monitoreos a los recursos de la zona (agua, suelo aire y biodiversidad), por donde discurre la cuenca; en cumplimiento a un sistema de gestión ambiental de control y acciones correctivas en lo referente a estándares de calidad ambiental (ECAs), límites máximos permisibles (LMP) los cuales deben ser realizados de manera periódica, con la participación de especialistas de diferentes áreas profesionales de manera que se asegure, la toma de decisiones adecuada para una permanente y mejora continua; no solo de las personas involucradas en el problema sino también de su entorno ambiental.
- **Participación de la comunidad y comunicación social:** Es importante tener una perspectiva de cuales son las necesidades de los pobladores asentados a lo largo de la cuenca, con especial énfasis en aquellos de las zonas declaradas en emergencia. La participación de la comunidad no solo debe ser de una manera pasiva como son las reuniones informativas, sino deben tomar consciencia de la problemática ambiental que compromete no solo a sus actividades que desarrolla sino también a su propia salud es por esto que deben verse involucrados en las diferentes acciones que se desarrollan para corregir estos problemas ya presentados. La potencialización de los servicios de salud y educación son importantes ya que no solo involucraría al estado, sino también a entidades privadas y principalmente la comunidad. La comunicación logrará el establecimiento de consensos entre las comunidades directamente involucradas con el gobierno regional sobre aspectos relacionados con el cuidado del medio, la preservación de la vida y el desarrollo local, todo esto mediante acciones de planificación a corto y mediano plazo.
- **Educación ambiental:** Se debe realizar un trabajo de educación ambiental tanto formal como informal a todos los centros poblados de la cuenca, de tal manera que los pobladores tengan una buena información y se sientan involucrados en las diferentes actividades que se llevan a cabo por mejorar y recuperar el ecosistema. Estas actividades deben estar orientadas al fortalecimiento de sus capacidades y a lograr una mejor calidad de vida. Una buena estrategia para que la población se sienta parte de las acciones en pro por recuperar la cuenca es a través de la

conformación de comités de gestión ambiental, brigadas ecológicas y otros, donde se de una vigilia constante frente a todo indicio que pueda revelar alteraciones en el ambiente por efecto de las operaciones mineras u otros actividades, a efecto de que los organismos competentes apliquen las medidas preventivas y correctivas necesarias.

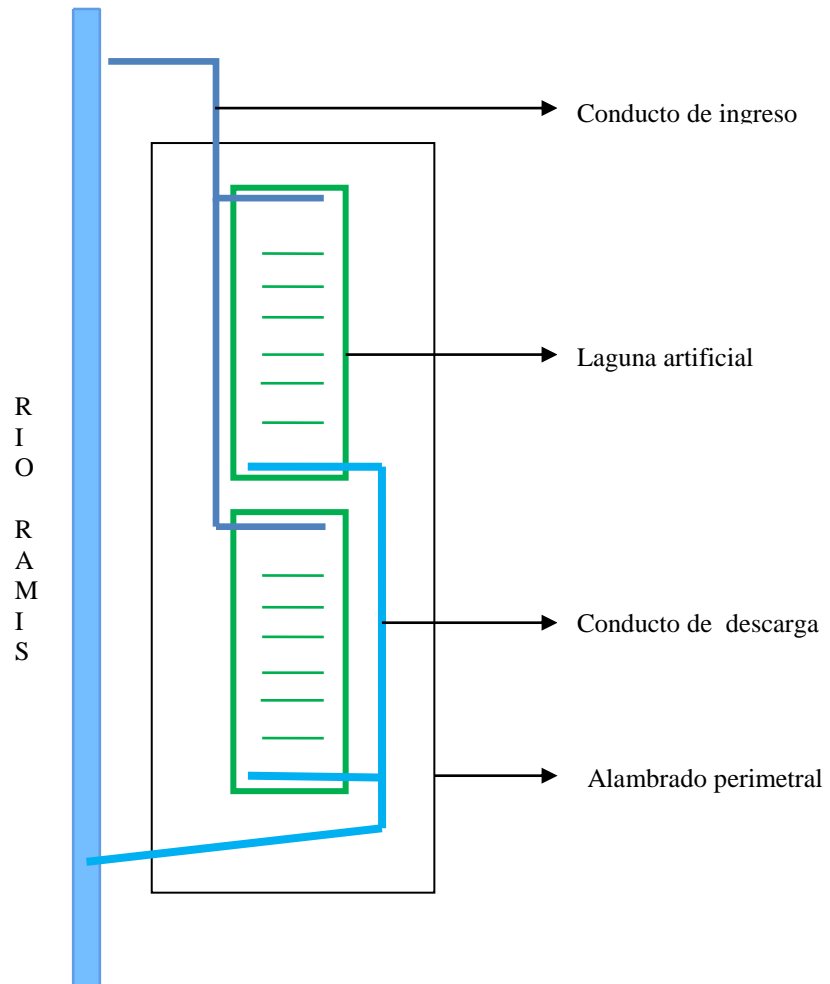


FIGURA N° 36: Plano de humedal artificial propuesto para la cuenca del río Ramis

BIBLIOGRAFIA

- BRACK A. y CECILIA MENDIOLA. 2000. "Ecología del Perú". Editorial Bruño. Lima – Perú; 494 pp.
- CASTRO J. y M. MONROY. 2002. "Parámetros Geológicos de Protección Ambiental, Geoquímica, Minería y Medio Ambiente". San Luis de Potosí, México. UNESCO – INGEMMET – Perú.
- CURTIS HELENA y SUE BARNES. 2001. "Biología". 6º Edición en español. Editorial Médica Panamericana. Madrid – España; 1498 pp.
- DEJOUX C. y ILTIS A. "El Lago Titicaca. Síntesis del conocimiento limnológico actual. ORSTOM. La Paz – Bolivia; 578 pp.
- GOYZUETA R y MARON J. 2001. "Totora *Schoenoplectus tatora* como descontaminante de plomo y hierro en lechos acuáticos, Puno – Perú." Tesis – UCSM; 76 pp.
- JARA MARIA. 2003. "Distribución de metales pesados en agua y sedimentos y sus efectos sobre la vida acuática en la cuenca superior del Río Santa". Tesis presentada a la Universidad Nacional de Ingeniería para obtener el grado de Magíster en Ciencias. Lima, Perú; 168 pp.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA – INRENA. 2002. "Evaluación y Recuperación de los Recursos Naturales y Contaminación Ambiental en la Cuenca del río Ramis". Dirección General de Asuntos Ambientales - Puno.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA – INRENA. 2003. "Monitoreo de la Calidad de Aguas Superficiales del Río Crucero". Perú; 45 pp.
- MILLER y TYLLER. 2002. "Introducción a la Ciencia Ambiental". Editorial Thompson. Madrid, España; 456 pp.
- NOGALES J. 1991. "Evaluación de especies forrajeras hidrófitas del Lago Titicaca". Universidad Mayor de San Simón - Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias Cochabamba, Bolivia; 82 pp.
- PEÑA C. *et al.* 2001. "Toxicología Ambiental: Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental". University of Arizona. 150 pp.
- PELT.1999. "Investigación y monitoreo de los Ríos Carabaya-Ramis, Cabanillas y del Lago Titicaca". Puno - Perú; 62pp.

- PROYECTO DE CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD DEL SISTEMA TDPS. 2003. “Manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas servidas – Desaguadero”. Fundación MEDMIN. La Paz, Bolivia.
- RESERVA NACIONAL DEL TITICACA. 2002. “Plan Maestro”. Puno – Perú; 81 pp.
- RIVERA H. 2001. “Introducción a la geoquímica general y aplicada”. Lima- Perú, 279.
- RYTUNA J. 2000. “Mercury Geoenvironmental Models, In Progress on Geoenvironmental Models for Selected Deposit Types. U.S Geological Survey. File Report 02-195, online version 1.0.
- UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO Y UNIVERSIDAD MONTANA TECH, CALIFORNIA – USA. 2003. “Evaluación Ambiental de Procesamiento de Oro por Amalgamación por Mercurio”. Puno.
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA. 2001. “Inventario de Minas Inactivas del Departamento de Puno. Ministerio de Energía y Minas: Proyecto de eliminación de Pasivos Ambientales”. Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica.
- UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO y UNIVERSIDAD DE BRITISH, COLUMBIA – CANADÁ. 1988. “Experimentos con la totora *Schoenoplectus tatora* como agente purificador del agua”. Puno.
- UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA. 1999. “Investigación y Monitoreo de los Ríos Carabaya-Ramis, Cabanillas y del Lago Titicaca”. Lima, Perú.
- UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS. 2005. “Absorción de metales pesados en aguas residuales de minería con el uso de la totora (*Schoenoplectus tatora*) en un sistema sub superficial”, La Paz – Bolivia.

HEMEROGRAFIA

- AQUINO E. *et al.* 2003. “Contaminación por mercurio y cianuro en el Distrito Minero de Ananea – Puno”. Reflexiones y Propuestas: Revista de investigación de estudiantes, egresados, docentes y administrativos - Oficina Universitaria de Investigación. Universidad Nacional del Altiplano – Puno. Editorial Universitaria; Puno – Perú; 153 pp.
- BAKER, A., MCGRATH, S, REEVES,, D y SMITH, J. 2000. “Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal-polluted soils”. En: *Phytoremediation of Contaminated Soil and Water* (eds. Terry, N. y Bañuelos, G.), Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA. 85-107 pp.
- BARCELÓ, J. y POSCHENRIEDER, C. 2003. “Phytoremediation: principles and perspectives”. *Contributions to Science* 2(3). Institut d’Estudis Catalans, Barcelona; 333-344 pp.
- BEHMER, S., LLOYD, C., RAUBENHEIMER, D., STEWART-CLARK, J., KNIGHT, J., LEIGHTON, R., HARPER, F. Y SMITH, J. 2005. “Metal hyperaccumulation in plants: mechanisms of defence against insect herbivores”. *Functional Ecology* 19: 55-66 pp.
- CHANEY, R., REEVES, P., RYAN, J., SIMMONS, R., WELCH, R. y SCOTT ANGLE, J. 2004. “An improved understanding of soil Cd risk to humans and low cost methods to phytoextract Cd from contaminated soils to prevent soil Cd risks”. *BioMetals* 17: 549-553 pp.
- DIRECCION REGIONAL ENERGIA Y MINAS, INRENA y MINSA. 2001. “Evaluación ambiental preliminar del CPM La Rinconada – Ananea” – Puno.
- DIRECCION GENERAL DE SALUD AMBIENTAL. 2006. “Monitoreo de la cuenca del Río Ramis”. Dirección Ejecutiva de Ecología y Protección del Ambiente, Lima.
- FILBRIN G. y R. HOUGH. 1979. “The effects of exceso copper sulphate on the metabolism of the duckweed *Lemna minor*”. *Aquatic Botany*. Volumen 7; 79 – 86 pp.
- GUTIERREZ A. 1997. “Concentraciones de metales pesados en la vegetación autóctona desarrollada sobre suelos del entorno de una mina abandonada (sistema Iberico, Bubberca-Zaragoza)”. En *Boletín Geológico y Minero*. Volumen 108. N° 1; 69-74 pp.

- LEWANDER M. 1996. "Macrophytes as indicators of bioavailable Cd, Pb and Zn flor in the river Przemsza, Katowice Región. En Applied Geochemistry. Vol.11. Copyright Elsevier Science Ltd; 169- 173 pp.
- MACNAIR, M. 2003. "The hyperaccumulation of metals by plants". *Advances in Botanical Research* 40: 63-105 pp.
- MARTÍNEZ, M., BERNAL, P., ALMELA, C., VÉLEZ, D., GARCÍA-AGUSTÍN, P., SERRANO, R. Y NAVARRO-AVIÑÓ, J. 2006. "An engineered plant that accumulates higher levels of heavy metals than *Thlaspi caerulescens*, with yields of 100 times more biomass in mine soils." *Chemosphere* 64(3): 478-485 pp.
- MCGRATH, SP., LOMBI, E., GRAY, CW., CAILLE, N ., DUNHAM, SJ . y ZHAO, F.J . 2006. "Field evaluation of Cd and Zn phytoextraction potential by the hyperaccumulators *Thlaspi caerulescens* and *Arabidopsis halleri*". *Environmental Pollution* 141(1): 115-125 pp.
- MCGRATH, SP., SIDOLI, C., BAKER, A.. y REEVES, R. 1993. "The potential for the use of metal-accumulating plants for the in situ decontamination of metal-polluted soils". En: *Integrated Soil and Sediment Research: A Basis for proper Protection*, (eds. Eijsackers, H.J.P. y Hamers, T.). Kluwer Academic Publishers, 673-676 pp.
- MEAGHER, R., RUGH, C., KANDASAMY, M., GRAGSON, G. y WANG, N. 2000. "Engineered phytoremediation of mercury pollution in soil and water using bacterial genes". En: *Phytoremediation of Contaminated Soil and Water* (eds. Terry, N. y Bañuelos, G.). Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA; 201-220 pp.
- MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS. 1997. "Informe de Inspección Especial de Verificación del Cumplimiento de las Normas de Seguridad e Higiene Minera y Medio Ambiente, dentro de las concesiones mineras de Corporación Minera Ananea S.A, Audita S.A.". Lima - Perú.
- MEDINA G. 2001. "Mitigación del mercurio en la minería artesanal y pequeña minería aurífera del Perú". En la Jornada internacional sobre el impacto ambiental de la utilización del mercurio utilizado por minería aurífera artesanal en Iberoamérica. Proyecto PEMIN – MEM. Lima – Perú.
- POSCHENRIEDER, C., TOLRÀ, R. y BARCELÓ, J. 2006. "Can metals defend plants against biotic stress?" *Trends in Plant Science* 11: 288-295 pp.
- ROJAS L. 2001. "Problemática de la mina Rinconada y su formalización". I Foro sobre la Minería Informal en el Perú. Nazca – Perú.
- SAMECKA A. 1998. "Background concentrations of heavy metals in aquatic

briophytes used for biomonitoring in basaltic areas (a cases study from central France)”. En *Environmental Geology* Vol.39. Nº 2; 119-122 pp.

SCHAT, H., LLUGANY, M., VOOIJS, R., HARTLEY-WHITAKER, J. y BLEEKER, PM. 2002. “The role of phytochelatins in constitutive and adaptive heavy metal tolerances in hyperaccumulator and non-hyperaccumulator metallophytes.” *J. Exp. Bot.* 53: 2381-2392 pp.

ZAVALA B. & GUERRERO C. 2005. “Estudio geoambiental de la cuenca del río Ramis”. Informe en edición. Instituto Geológico, Minero – Metalúrgico. Lima.

PÁGINAS WEB

BARCELÓ, J., POSCHENRIEDER, C., LOMBINI, A., LLUGANY, M., BECH, J. y DINELLI, E. 2001. “Mediterranean plant species for phytoremediation”. Universidad Complutense Madrid, Faculty of Chemistry, Madrid – España. <http://Ibewww.epfl.ch>

BEAUREGARD G. <http://personales.com/mexico/villahermosa/fitorem>.

BIORREMEDIACIÓN: organismos que limpian el ambiente. <http://www.porquebiotecnologia.com.ar>

CONTAMINANTES QUÍMICOS: Comunes de los Abastecimientos de Aguas Municipales. <http://espanol.ei-resource.org/contaminantes-de-aqua.asp>

CONTAMINACIÓN DE AGUAS Y ALIMENTOS. <http://www.alimentosysalud.cl>

HIPERACUMULACIÓN DE METALES: ¿una ventaja para la planta y para el hombre? <http://www.revistaecosistemas.net/pdfs>

MINERALES, METALES, COMPUESTOS QUÍMICOS Y SERES VIVOS: Una difícil pero inevitable convivencia. 2000. <http://www.science.mcmaster.ca/Biology>

LA FITOEXTRACCIÓN Y FITOESTABILIZACIÓN en la recuperación de suelos. <http://www.ecotropia.com>

RECURSOS NATURALES: vegetación acuática del Lago Titicaca. <http://alt-perubolivia.org>

SWEDISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. <http://www.internat.naturvardsverket.se>

SALT, D. 2006. An extreme Plant Lifestyle: Metal Hyperaccumulation. <http://plantphys.net/article>

ANEXO

PLAN DE TESIS

DETERMINACION DEL POTENCIAL DE
Schoenoplectus tatora **“TOTORA” COMO**
ESPECIE USADA PARA
FITORREMEDIACION, LAGO TITICACA -
2007

I. PREAMBULO

Existen muchos estudios de la cuenca del río Ramis, especialmente de las concentraciones de metales pesados en aguas y sedimentos; pero los estudios referidos a las concentraciones en la biota acuática son pocos y más aún de los recursos pertenecientes al Lago Titicaca. En lo referente a implicancias de los metales pesados a la salud, peligros y riesgos, no se tienen estudios detallados, así como que tecnologías limpias pueden ser aplicadas para mitigar los impactos de los mismos.

Una de estas tecnologías limpias es la fitoremediación. Sabiendo que el Lago Titicaca es fuente de vida no sólo para especies acuáticas, sino también para especies terrestres, aéreas y el ser humano, actúa como un dispersante natural para diferentes elementos químicos que van a ser asimilados y acumulados por la biota acuática, a través de la cadena alimenticia; por lo que es necesario conocer si dentro de este ecosistema existe una especie con potencial fitoremediador.

Teniendo conocimiento de las diferentes actividades mineras desarrolladas en la cuenca, así como de las condiciones de la explotación de los yacimientos, es inminente que se arroja al ambiente metales tóxicos como plomo, mercurio, cadmio, zinc, cromo y arsénico; muy dañinos para la salud humana y para la mayoría de formas de vida; agravándose esta situación porque las aguas residuales no tratadas son vertidas directamente a los ríos acumulándose en plantas y tejidos orgánicos. Es por esto que propongo el tema de tesis denominado: “Determinación del potencial de *Schoenoplectus tatora* “totora” como especie usada para fitoremediación – Lago Titicaca – 2007”.

II. PLANTEAMIENTO TEORICO

1.- PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.-ENUNCIADO DEL PROBLEMA:

Determinación del potencial de *Schoenoplectus tatora* “Totora” como especie usada para fitorremediación – Lago Titicaca - 2007

1.2.-DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA:

1.2.1 ÁREA:

Área de ciencias naturales - medio ambiente.

1.2.2 VARIABLE:

Potencial de *Schoenoplectus tatora* como especie usada para la fitorremediación.

1.2.3 INDICADORES:

- Descripción botánica de *Schoenoplectus tatora*
- Identificación de la presencia de metales pesados en la cuenca del río Ramis.
- Cuantificación de los metales pesados en *Schoenoplectus tatora*

1.2.4 INTERROGANTES:

- 1.¿Qué metales pesados habrá en la cuenca del río Ramis?
- 2.¿Cuáles son los niveles de metales pesados en *Schoenoplectus tatora*?
- 3.¿Qué características visibles se observan como consecuencia de la presencia de metales pesados en la cuenca del río Ramis?
- 4.¿Qué estrategia aplicativa se puede aplicar para minimizar los impactos de los metales pesados en el ecosistema?

1.2.5 NIVEL DE LA INVESTIGACION:

Exploratorio

1.2.6 TIPO DE INVESTIGACION:

Descriptivo, de campo y laboratorio

1.3.- JUSTIFICACION

Los metales pesados pueden ser tóxicos como cualquier otro elemento pero la peligrosidad de estos es mayor al no ser química ni biológicamente degradables; una vez emitidos pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años, además, su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros. (www.science.mcmaster.ca/Biology. 2000)¹.

La fitoremediación basada en el uso de plantas y sus microorganismos asociados, son utilizadas para disminuir la concentración de elementos químicos inorgánicos u orgánicos en suelos contaminados. La reducción del contenido de metales pesados hasta niveles óptimos permitiría la reutilización del suelo tratado con un fin agrícola, forestal, hortícola o lúdico, evitando la transferencia de éstos a aguas subterráneas o zonas cercanas por acción del viento y/o erosión del agua. Las plantas hiperacumuladoras tienen mecanismos de absorción y de tolerancia para poder resistir los elevados niveles de metales acumulados en sus tejidos que serían extremadamente tóxicos para otros organismos. (Baker *et al.*, 2000; Schat *et al.*, 2002; Macnair, 2003)².

La actividad minera arroja al ambiente metales tóxicos como plomo, mercurio, cadmio, zinc, cromo, selenio, níquel y arsénico; muy dañinos para la salud humana y para la mayoría de formas de vida. Las aguas residuales no tratadas provenientes de minas llegan a los ríos acumulándose en plantas y tejidos orgánicos, por ejemplo, la utilización de mercurio en el proceso de amalgamación, por la sencillez de su técnica,

¹ Minerales, metales, compuestos químicos y seres vivos: Una difícil pero inevitable convivencia. 2000.

² BAKER, A., MCGRATH, S., REEVES, D y SMITH, J. 2000. "Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal-polluted soils".

SCHAT, H., LLUGANY, M., VOOJS, R., HARTLEY-WHITAKER, J. y BLEEKER, PM. 2002. "The role of phytochelatins in constitutive and adaptive heavy metal tolerances in hyperaccumulator and non-hyperaccumulator metallophytes".

MACNAIR, M. 2003. "The hyperaccumulation of metals by plants".

su relativa eficacia y poca inversión; es el método más difundido, preferido y aplicado por los mineros artesanales y lavadores auríferos peruanos (DREM – PUNO. 2001)³. Esto se ve reflejado en el centro minero de Ananea – Rinconada del cual baja un riachuelo que es afluente de la laguna Rinconada, naciente del Río Grande y aguas abajo toma el nombre de Río Ramis afluente del Lago Titicaca. Además este río pasa por las ciudades de Azángaro, San Antón, Crucero alimentándose de diferentes desechos a través de los drenajes que arrastran diferentes tipos de sustancias químicas: hidrocarburos, sales, ácidos. Todos estos compuestos desembocan al norte del Lago Titicaca.

Por lo tanto el presente trabajo es original porque no se ha efectuado una evaluación de que especies nativas pueden ser utilizadas como fitoremediadoras para zonas con problemas de contaminación, por lo tanto es relevante ya que contribuye a la mejora de los suelos y aguas, por ende a una mejor calidad de vida de las poblaciones aledañas. Es actual porque las diferentes actividades mineras no solo se dan desde el pasado sino hacia un futuro por lo que tratar de buscar opciones para minimizar los impactos ocasionados son prioritarios, lo que lo hace factible ya que se cuenta con las especies adaptadas a la zona y que pueden ser utilizadas para la fitoremediación.

Por lo expuesto anteriormente, se deduce que es necesario determinar el potencial de *Schoenoplectus tatora* “tatora” como una especie usada para fitoremediación, siendo la evaluación en la desembocadura del río Ramis, por tener este sus orígenes en un centro minero metalúrgico, donde se emiten diferentes metales pesados a las aguas sin control alguno. Esto demuestra la peligrosidad de esta situación y la necesidad de contar con un estudio de que plantas podrían ser utilizadas para mitigar estos impactos y así poder aplicar las medidas necesarias en el lugar directamente afectado como también en el departamento de Puno.

Además *Schoenoplectus tatora*, es una fuente de alimentación principal de la zona circunlacustre del Lago Titicaca; debido al consumo directo (humano) o indirecto (vacunos). Por otro lado, la zona de estudio pertenece a La Reserva Nacional del Titicaca, área natural protegida que se encarga de conservar los recursos

³ DIRECCION REGIONAL ENERGIA Y MINAS, INRENA y MINSA. 2001. “Evaluación ambiental preliminar del CPM La Rinconada – Ananea” – Puno

biológicos por su importancia ecológica, por ser fuente de vida y trabajo (RNT. 2002)⁴.

2.- MARCO CONCEPTUAL

2.1 GEOGRAFÍA, GEOLOGÍA E HIDROLOGÍA DE LA CUENCA DEL RIO RAMIS

2.1.1 Marco geográfico de la cuenca del río Ramis:

La cuenca del río Ramis es la más extensa e importante del sistema fluvial de la vertiente del Titicaca y está ubicada en el sector norte de la altiplanicie puneña extendiéndose sobre los 3810 m.s.n.m hasta alcanzar alturas cercanas a los 5600 m.s.n.m (nevado Ananea). Geográficamente está comprendida entre los paralelos 14°03' y 15°24' latitud sur y los meridianos 71°07' y 69°34' longitud oeste. Ocupa un área de 14 930 km², aproximadamente el 30% de la hoya del Titicaca, limitando por el norte con la cuenca del río Inambari, por el sur con la cuenca del río Coata y lago Titicaca, por el este con las cuencas de Huancané y Suches y por el oeste con las cuencas de los ríos Vilcanota y Colca. Políticamente la cuenca comprende territorios de las provincias de Melgar, Azángaro y parte de Carabaya, Lampa, Sandia y Huancané (Mapa 1).

2.1.2 Parámetros climáticos:

El sector de la cuenca es el que tiene las temperaturas medias más elevadas del sistema TDPS, para todas las altitudes (2,9°C para 5000m) en el sector noreste y 0.1°C en el noroeste. A nivel del altiplano las temperaturas medias anuales varían entre 8,2°C y 9,2°C. La estacionalidad térmica es moderada con temperaturas más altas de diciembre a marzo y más bajas de junio a agosto. El mes más frío es por lo general julio y el más cálido diciembre.

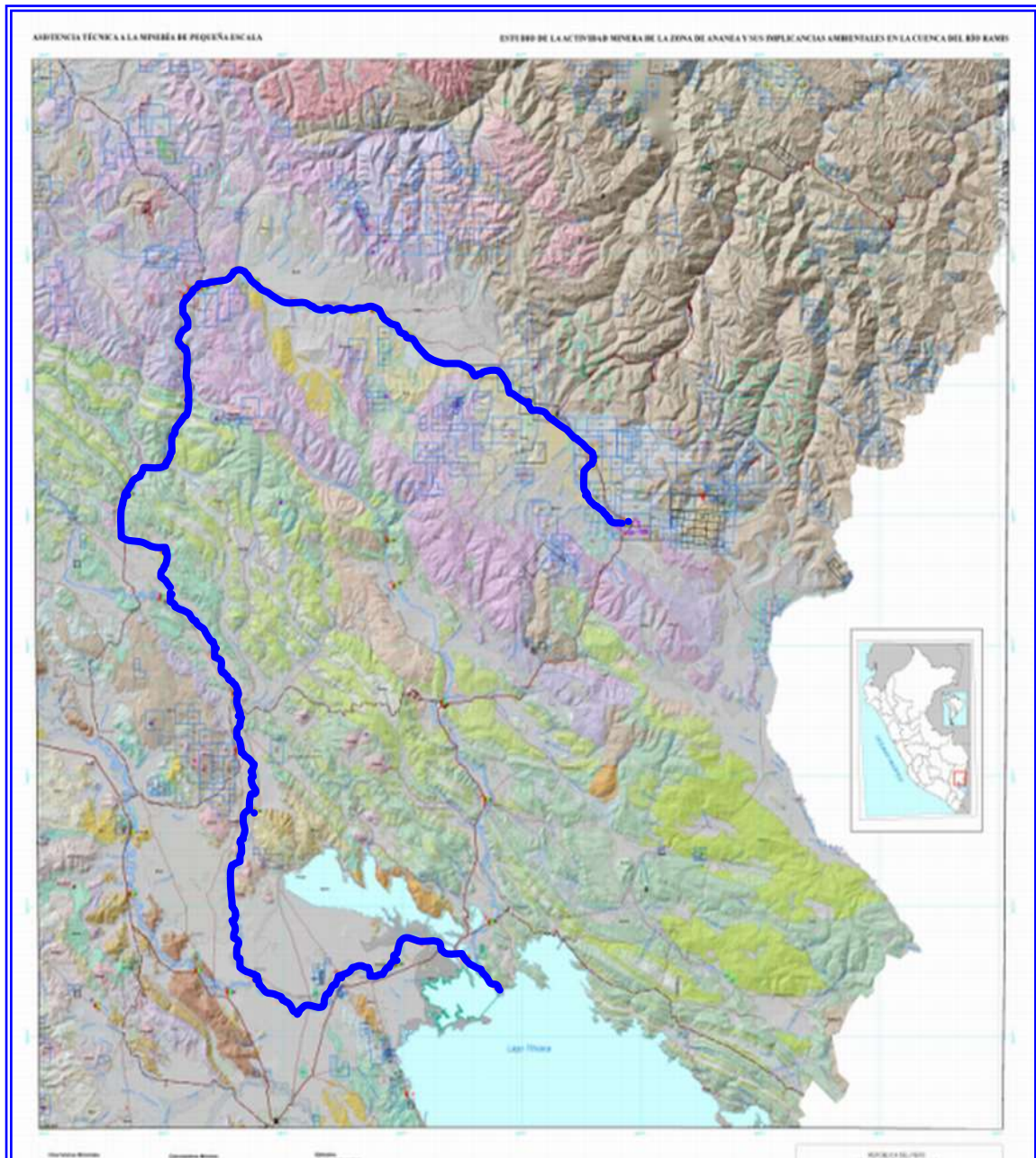
La distribución espacial de la precipitación media anual en el ámbito regional, muestra:

⁴ RESERVA NACIONAL DEL TITICACA. 2002. "Plan Maestro".

- Un patrón decreciente de norte a sur con sus máximos valores, entre 800 y 1400 mm, sobre el lago Titicaca, debido a la influencia propia de la gran masa de agua lacustre sobre la humedad atmosférica.
- La zona más lluviosa fuera del lago, se encuentra en el extremo norte de la región (cabeceras de los ríos Coata y Ramis), donde se alcanzan valores entre 800 y 1000 mm. En los bordes longitudinales del altiplano la precipitación muestra una tendencia a aumentar, debido a la influencia de las cordilleras occidental y oriental. Esta influencia es más marcada en la cordillera oriental debido a la influencia de los vientos húmedos procedentes de la Amazonía, mas no así en la cordillera occidental.

Los vientos de superficie son principalmente el resultado de los patrones locales de relieve, los cuales tienden a canalizar los vientos en direcciones específicas. En la zona del lago Titicaca se genera además una circulación lago- tierra - lago, resultado de las diferencias de temperatura entre la tierra y la superficie acuática. Durante el día los vientos soplan del lago hacia las riberas, debido a que la tierra se calienta más que el lago, generándose así una zona de más baja presión sobre la primera. Durante la noche se invierte la circulación, debido a que la tierra se enfría más que el lago.

En las cabeceras del río Ramis predominan las calmas frecuentemente por encima del 50% del tiempo, no obstante en los meses de invierno la velocidad del viento tiende a ser mayor en cerca de 1m/s a las velocidades de verano. En la zona del lago Titicaca los vientos predominantes vienen del lago con velocidades entre 2 y 4 m/s aunque las calmas pueden alcanzar localmente valores bastante altos. La velocidad del viento más bajo es de 1.55 m/s en Progreso y los máximos de 6,13 m/s en Ayaviri. La humedad relativa es baja, siendo para la cuenca los valores más altos entre noviembre y abril con 61 a 70% y la humedad más baja esta entre mayo y octubre de 46 a 56%.



MAPA 1: Cuenca del río Ramis - tomado de INGEMMET.

2.1.3 Características físicas de la cuenca del río Ramis:

La cuenca del río Ramis se ubica en la zona norte naciendo en la cordillera Oriental, exactamente en la precordillera Carabaya, siendo su pendiente media de 0.0007; debido a esta baja pendiente, el curso del río presenta una serie de meandros, los que en época de lluvias favorecen para que la caja del río se mantenga bastante ancha y profunda, llegando en algunos casos a 10 m de altura, en razón de que los suelos que atraviesan son de arcillas profundas fácilmente erosionables. Su recorrido inicial es de SE a NW, tomando como nombre inicial río

Crucero, para después denominarse Río Carabaya. La subcuenca crucero se une con la subcuenca Ñuñoa para dar origen al río Azángaro el que también recibe aporte del río San José, entonces la dirección del flujo del cauce varía y se torna de NW-SE. Los ríos Santa Rosa y Llallamayo en el sector NW dan origen al río Ayaviri el que finalmente se une al río Azángaro dando origen al Ramis que desemboca en el Titicaca, perteneciendo al lago mayor.

Tabla N° 1: Descripción general de la cuenca del Ramis

Cuenca	Superficie en Km ²	% de la cuenca total del lago	Altitud Inicial	Subcuencas	Pendiente	Caudal m ³ /seg.
Ramis	14930	30.3%	5800	-Azángaro -Ayaviri -Crucero -Ñuñoa -Llallimayo -San José -Santa Rosa -Ramis	0.27	74

2.1.4 Características Mineralógicas:

Dentro del área que abarca la cuenca, se encuentran el área metalogénica aurífera de Ananea-Sandia, donde existen yacimientos primarios (Endógenos) de tipo veta (Quince Mil, Manco Cápac, Benditani y Santo Domingo, etc.) y mantos (Gavilán de Oro, Untuca, Ana Maria y La Rinconada), así mismo producto en muchos casos del intemperismo y meteorización de los anteriores tenemos yacimientos secundarios (Exógenos) denominados placeres (San Antonio de Poto y Antocala). La actividad minera en la región Puno, corresponde mayoritariamente a la minería artesanal y pequeña minería. Se registra 135 derechos mineros registrados en la provincia de San Antonio de Putina, 24 en Azángaro y 4 en la provincia de Huancané; provincias que pertenecen a la cuenca del Ramis.

2.1.5 Hidrografía de la cuenca:

La vertiente del Titicaca es una típica cuenca endorreica de montaña, donde la porción del Altiplano es amplia y las vertientes circundantes, oriental y occidental son muy irregulares, con pendientes moderadas a altas. De los ríos que desembocan en el Lago Titicaca, el Ramis es el más importante y abarca el 26% de su cuenca, extendiéndose desde los 5828 m en el nevado Ananea, hasta 3815 m de altitud comprendiendo varias subcuencas con ríos principales. En general, la cuenca

presenta una crecida anual por precipitaciones en verano (diciembre a abril) y mantiene un caudal regular entre el invierno y primavera por los deshielos de la zona de cordillera y de las infiltraciones.

La cuenca presenta una superficie irregular y ocupa una extensión de 14930,2 Km². Se origina al pie de los nevados Ananea y Ccorhuani, cuyos deshielos originan la laguna Rinconada, la cual desagua en el curso principal del río Inambari, hasta el sector de Chaupiminas, donde se une a otro curso de agua que nace de filtraciones y lagunas al pie de los cerros Huincho y Suchuta, dando origen al río Grande.

Este río discurre con dirección sureste a noroeste hasta cerca de Crucero donde recibe el nombre de Crucero, recibiendo aportes de algunos ríos; posteriormente discurre con dirección este – oeste hasta su confluencia con el río Antauta y luego gira con dirección norte-sur hasta su confluencia con el río Grande en el sector de Ñaupapampa, donde toma el nombre de Azángaro. El río Grande discurre con dirección noroeste y sureste. Las principales localidades surcadas por los cursos fluviales son: Crucero, San Antón y Progreso (río Crucero) y Nuñoa, Acllamayo, Asillo (río Grande) existiendo una bocatoma de agua para irrigación en el paraje Inampu (entre Progreso y San Antón).

El río Azangaro discurre aguas abajo en dirección norte, noreste – sur, suroeste, uniéndose en el sector de Achaya con el río Pucará que viene del sector noreste de la cuenca y da origen al río Ramis. En el curso inferior el río Ramis discurre en forma divagante con una dirección promedio oeste–este. En sus orillas se ubican los poblados de Caminaca, Samán y Taraco hasta su desembocadura en el lago Titicaca, presentando cierta interconexión por infiltración con la laguna Arapa por infiltración y los terrenos circundantes.



FIGURA N° 1: Puente Ramis, lugar de desembarque de pescadores.

2.1.6 Cobertura vegetal y usos del suelo:

En la cuenca existen cinco zonas con tipos de vegetación diferenciada:

- *Zona sin vegetación:* escasa o nula vegetación, correspondiente a altitudes mayores a 5000 msnm, corresponde al piso ecológico nival subtropical y representa un porcentaje del 3% de la cuenca.
- *Pastizales y cultivos de secano:* vegetación escasa a consecuencia del uso agrícola y ganadero, existiendo lugares de bosques sobre laderas de baja a moderada pendiente. Corresponde al piso ecológico bosque humedo montano bajo subtropical. Ocupa la mayor cantidad de zonas altiplánicas, terrazas y planicies con desarrollo de sembrío de pastizales que abarcan un 29% de la cuenca.
- *Praderas de pastos naturales:* corresponde a un área con vegetación de especies arbóreas, asociadas con gramíneas altas que constituyen las praderas de pastos naturales cuya especie más característica es la *Stipa ichu*. Corresponde a gran parte de la vertiente de la cordillera oriental y occidental, ecológicamente pertenece al bosque muy húmedo montano subtropical (47%).
- *Vegetación herbácea, arbustiva y semiarbustiva natural:* con vegetación abundante y florística diversificada que contiene: arbustos, semiarbustos y hierbas tipo graminal. Líquenes en los terrenos pedregosos y arbustos erguidos cuya altura no pasa los 0.50 m. y carece de vegetación en los suelos terrosos (4%). Esta zona se asocia al piso ecológico de tundra pluvial alpino subtropical.

- *Gramíneas, herbáceas y bosques residuales con poca intervención:* abundantes gramíneas, bosques de “Keñuas”, de “Puyas de Raimondi”; ubicadas entre los 3900 y 4000 msnm. Zona de vida páramo muy húmedo subalpino subtropical (5%).

Uso del suelo: Los movimientos en masa generalmente se desencadenan con el máximo de su energía y con distribución uniforme o bien se manifiestan localmente con niveles de mayor o menor intensidad; la cobertura vegetal en el primer caso puede ofrecer poca o ninguna protección a los efectos altamente destructores mientras que para el segundo caso tendrá un rol muy eficiente. Bajo cobertura de pasto, el suelo se humedece más rápidamente al inicio de la precipitación debido a que la evapotranspiración será menor en vegetación de pasto que con bosque. El tipo de cobertura provoca que haya una menor interceptación de la vegetación, por lo que el agua se infiltra rápidamente y como la conductividad hidráulica es más baja que con cobertura de bosque da como resultado que un mayor porcentaje de áreas con pasto se conviertan en inestables con menos cantidad de precipitación, que bajo cobertura de bosque. Por lo que se puede inferir que la cantidad de áreas inestables es mayor para pastos que para bosques habrá más lluvia que será interceptada por la vegetación y que no infiltrará en el suelo, lo que también favorecerá la estabilidad de la pendiente. De acuerdo a lo señalado las unidades existentes más representativas en la cuenca en orden de ocupación de superficie se presentan en el siguiente cuadro.

Tabla N° 2: Cobertura vegetal en la cuenca del Ramis.

Unidad		Suceptibilidad	
PPN	Praderas de pastos naturales	Alta	4
PCS	Pastizales y cultivos de secano	Baja	1
VHAS	Vegetación herbácea, arbustiva y semiarbustiva natural	Baja	1
GHBR	Gramíneas, herbáceas y bosques residuales con poca intervención antrópica	Media	2
MSV	Montañas sin vegetación	Media	2
ZU	Zonas urbanas	Baja	1
ZR	Zonas rurales	Media	2
AAM	Áreas con actividad minera	Media	2
LEH	Lagunas y embalses	Muy baja	1
RNT	Reserva Nacional del Titicaca	Nula	0

Fuente: Zavala & Guerrero. 2005⁵

⁵ ZAVALA B. & GUERRERO C. 2005. “Estudio geoambiental de la cuenca del río Ramis”.

Esta tabla nos muestra una susceptibilidad alta a los movimientos en masa de la unidades de praderas y pastos naturales (PPN); moderada en la unidades GHBR, MSV, AAM, VHAS y ZR mientras uqe las unidades de baja y muy baja susceptibilidad corresponden a las áras de PCS, ZU, LEH y nula en RNT. Las áreas con actividad minera (AAM) por la naturaleza de sus operaciones como: eliminación de material superficial, trabajos de corte y relleno en taludes para carreteras de accesos, utilización de explosivos y voladura en rocas, tipos de explotación (tajo abierto y minería subterránea); son frecuentes la ocurrencia de movimientos en masa, con generación de caída de rocas o derrumbes, flujos o como en la Rinconada aludes o avalanchas de hielo. Para el caso de lagunas, embalses y humedales (LEH), se considera una susceptibilidad muy baja dentro de la cuenca, su entorno se ve influenciada por desbordes e inundaciones (lago Titicaca).

Actividad agropecuaria: La producción agropecuaria generalmente no es planificada, debido a las formas tradicionales de vida, sin cambio por asumir nuevas tecnologías de producción, donde las comunidades campesinas y propietarios individuales acusan una serie de problemas como el mal manejo de los suelos destinados al pastoreo, descapitalización de la ganadería, reduciéndose a una ganadería de subsistencia, sin mayor productividad, originando en muchos casos el abandono de las tierras en busca de otras fuentes de ingresos y trabajo. La ganadería de vacunos, camélidos y ovinos es extensiva, carente en muchos casos de asistencia técnica, con rendimientos de regulares a buenos, con un proceso de deterioro de los suelos por sobre pastoreo, la crianza de animales menores no es relevante existiendo sólo una crianza familiar. En las partes bajas algunas tierras son empleadas para actividades agrícolas bajo el sistema de secano, ubicados en pendientes y llanos que presentan microclimas especiales que permiten el cultivo de papa, quinua, cebada, cañihua y otros; esta producción no tiene significación económica por ser de autoconsumo o de subsistencia.

2.2 FITORREMEDIACION

La fitoremediación es el empleo de plantas para convertir a los contaminantes del suelo o aguas a formas no tóxicas, a menudo se le denomina biorremediación. La idea de usar las plantas para remover selectivamente el exceso del metal del medio en quie

se encuentra fueron introducidas en 1983 (Goyzueta R. y Marón J. 2001)⁶. Una gran variedad de contaminantes pueden ser eliminados por bioremediación: pesticidas, herbicidas, petróleo y sus hidrocarburos derivados, gasolina y metales pesados, entre otros. Los procesos mediante los cuales funciona la bioremediación podemos agruparlos en:

- degradación enzimática
- remediación microbiana
- fitoremediación

2.2.1 La Degradación Enzimática

Las enzimas son biocatalizadores encargados de acelerar cambios químicos con un gasto energético mínimo y una elevada velocidad de reacción. Las enzimas son componentes esenciales de todo proceso metabólico en sistemas vivos.

Las enzimas son producidas por células como resultado de los procesos que acompañan a la traducción de la información genética. Mediante el uso de técnicas de la biología molecular se puede inducir la producción de enzimas en sistemas bacterianos con características genéticas que permiten una expresión del gen enzimático de forma constante. Con esto se logra obtener un sistema productor de enzima a gran escala. En el campo de la aplicación a la protección ambiental, se han diseñado muchos de estos sistemas biotecnológicos, y muchas empresas ofrecen tanto enzimas que degradan sustancias de importancia ambiental como sistemas bacterianos inmovilizados en determinados soportes (biofiltros) (<http://personales.com/mexico/villahermosa/fitorem>)⁷.

2.2.2 La Degradación Microbiana

La utilización de microorganismos que degradan o transforman diferentes compuestos nocivos en otros de menor impacto ambiental ha experimentado un gran

⁶ GOYZUETA R y MARON J. 2001. "Titora *Schoenoplectus titora* como descontaminante de plomo y hierro en lechos acuáticos, Puno – Perú."

⁷ Beauregard G. <http://personales.com/mexico/villahermosa/fitorem>

desarrollo. Importantes investigaciones han sido dirigidas a ampliar la versatilidad metabólica en algunas especies bacterianas, para la degradación de contaminantes.

Son bastantes y variadas las aplicaciones que se han dado a los microorganismos en el campo ambiental. Basta con mencionar los conocidos procesos aerobios y anaerobios para tratamientos de residuos industriales líquidos. Actualmente, tanto la microbiología ambiental como la genética bacteriana, contribuyen al diseño de sistemas microbianos con capacidades metabólicas mejoradas y aumentadas (<http://personales.com/mexico/villahermosa/fitorem>)⁶.

El metabolismo microbiano consiste en que los microorganismos ingieren contaminantes como fuente de carbono y algunos nutrientes como fósforo y nitrógeno. La digestión de estos compuestos en sustancias más simples como parte del metabolismo del microorganismo, puede resultar en la degradación del compuesto en forma parcial (transformación) o total a dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O).

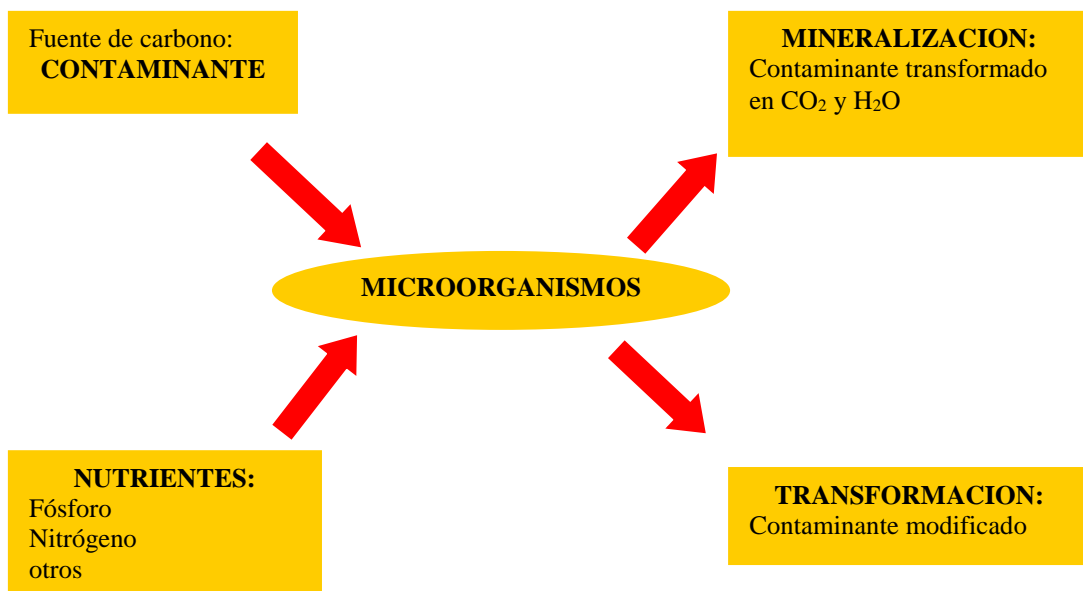


FIGURA N° 2: Metabolismo Microbiano

Fuente: <http://www.porquebiotecnologia.com.ar>⁸

⁸ Biorremediación: organismos que limpian el ambiente. <http://www.porquebiotecnologia.com.ar>

2.2.3 Fitorremediación

La idea de que las plantas, ya sean árboles, arbustos o hierbas, pueden atrapar y retener distintas sustancias químicas del medio ambiente, incluidas algunas de reconocida peligrosidad, no es nueva. Recientemente en distintos lugares del mundo se está comenzando a investigar y aplicar la fitorremediación con plantas que aparentemente poseen metabolismos capaces de eliminar xenobióticos. Se ha comenzado a investigar con plantas y especies arbóreas con capacidad para retener metales pesados (<http://personales.com/mexico/villahermosa/fitorem>)⁶.

Esta novedosa tecnología tiene muchas ventajas con respecto a los métodos convencionales de tratamientos de lugares contaminados; en primer lugar es una tecnología económica, de bajo costo, en segundo lugar posee un impacto regenerativo en los lugares donde se aplica y en tercer lugar su capacidad extractiva se mantiene debido al crecimiento vegetal, además es capaz de ser modificada para aumentar su capacidad y selectividad extractiva. La fitorremediación se puede dar por:

- *Fitoacumulación:* O fitoextracción, utiliza la biomasa vegetal-extractiva para remediar suelos contaminados. Consiste en la absorción y translocación de los metales desde las raíces hasta las partes aéreas de las plantas, que posteriormente se cortarán y serán incineradas o bien acumuladas con el objetivo de reciclar los metales. Una gran cantidad de contaminantes pueden ser captados del suelo, entre ellos metales pesados y algunos compuestos radiactivos. Hay indicios de la existencia de ciertos transportadores específicos en las raíces de las plantas y, en algunos casos, la simbiosis microbiana en la rizosfera jugaría un importante papel en la inespecificidad de la absorción de oligoelementos. El resultado del proceso de la fitoextracción en suelos y aguas contaminadas, es la eliminación de tóxicos, cualidad que permanece en el tiempo. Las plantas contaminadas con estos tóxicos, después de ser arrancadas, son gestionadas debidamente. Las plantas adecuadas para llevar a cabo acciones de este tipo deben cumplir algunas características como la tolerancia al metal que se desea eliminar (plantas

⁶ Beauregard G, <http://personales.com/mexico/villahermosa/fitorem>

hiperacumuladoras), que la acumulación se produzca fundamentalmente en la parte aérea de la planta, y que presenten un rápido crecimiento, así como una alta producción de biomasa en la parte aérea. (<http://www.ecotropia.com>)⁹.

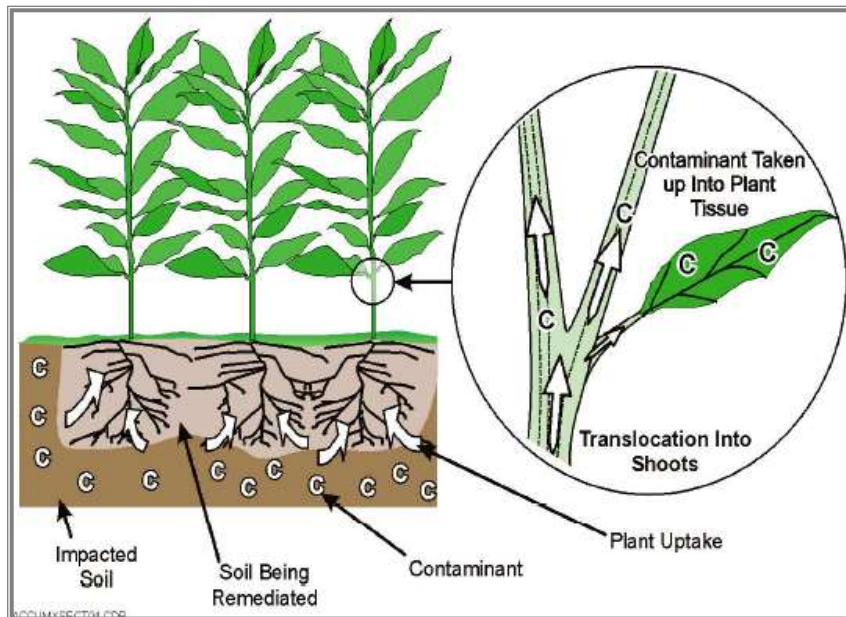


FIGURA N° 3: Proceso de fitoacumulación en plantas

Fuente: Bocardo E. 2007¹⁰

- *Fitoestabilización:* La fitoestabilización se utiliza en los suelos donde la gran cantidad de contaminantes imposibilita la fitoextracción, y se basa en el uso de plantas tolerantes a los metales para inmovilizarlos a través de su absorción y acumulación en las raíces o precipitación en la rizosfera, ya sean de aguas subterráneas, del suelo o sedimentos, reduciendo así su movilidad y su biodisponibilidad para otras plantas o microorganismos (Bocardo E. 2007).⁸

⁹ La fitoextracción y la fitoestabilización en la recuperación de suelos. <http://www.ecotropia.com>

¹⁰ BOCARDO E. 2007. "Manejo de residuos sólidos urbanos e industriales".

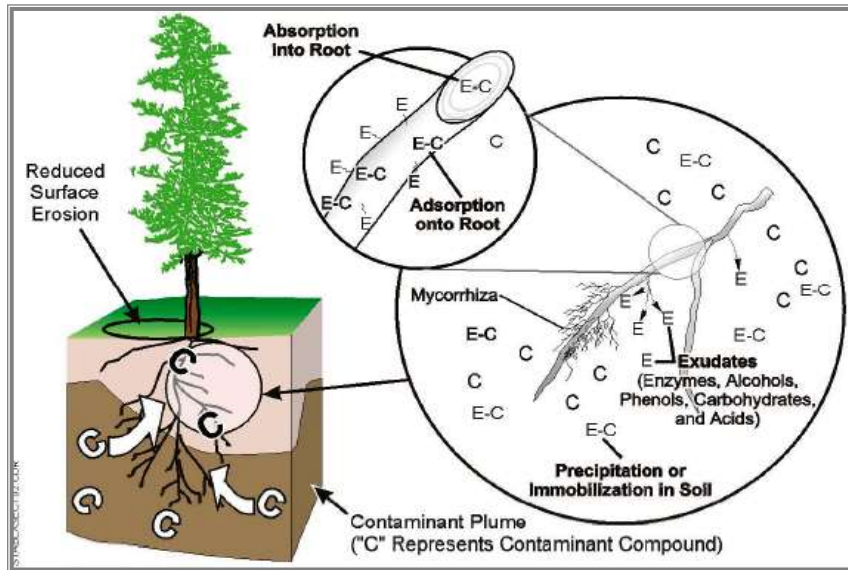


FIGURA N° 4: Proceso de fitoestabilización en plantas

Fuente: Bocardo E. 2007⁹

- *Rizodegradación*: También se llama fitoestimulación o degradación de la rizosfera. Es la descomposición de los contaminantes en el suelo por la bioactividad que existe en la rizosfera para la reducción de metales pesados o la eliminación de aceites del suelo. Esta bioactividad se deriva de las proteínas que se producen mediante los exudados de las plantas o de los organismos del suelo tales como bacterias, hongos, levaduras (Bocardo E. 2007).⁹

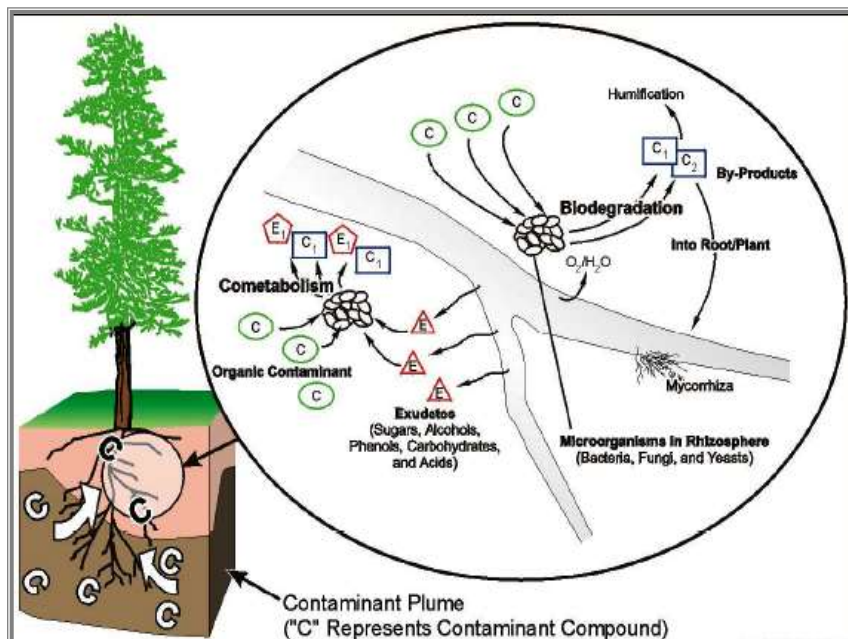


FIGURA N° 5: Proceso de rizodegradación en plantas

Fuente: Bocardo E. 2007⁹

⁹ BOCARDO E. 2007. "Manejo de residuos solidos urbanos e industriales".

- **Fitodegradación:** También llamada fitotransformación, esta referida a la metabolización de contaminantes orgánicos del suelo, de sedimentos y del agua, con la transformación subsecuente de las plantas (Bocado E. 2007).⁹

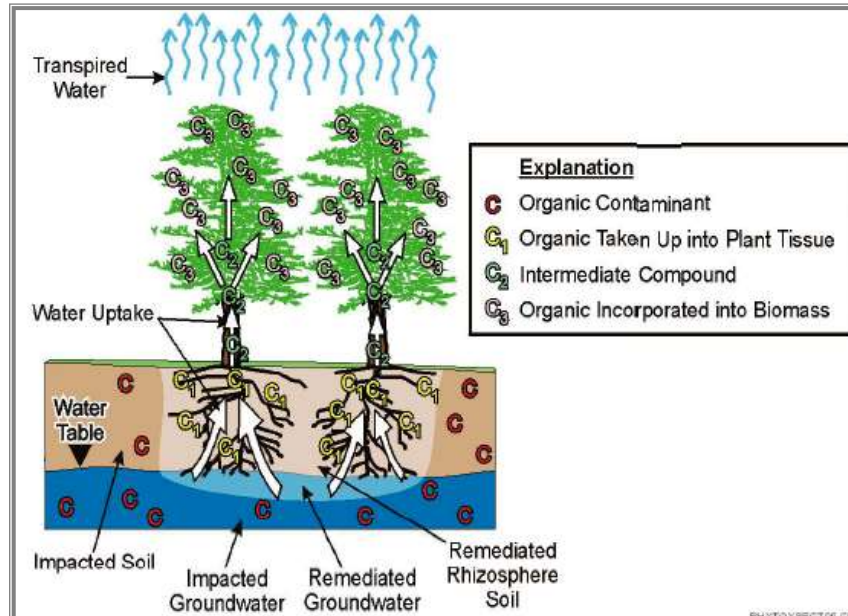


FIGURA N° 6: Proceso de fitodegradación en plantas

Fuente: Bocado E. 2007⁹

- **Fitovolatilización:** Es un mecanismo que comienza con la absorción del contaminante disuelto; la característica química del contaminante se puede alterar en la rizosfera antes de la absorción o en la planta después de la absorción. Una vez dentro de la planta el contaminante o una forma modificada de el, se desplaza hacia las hojas donde se lanza a la atmósfera mediante el proceso denominado transpiración (Bocado E. 2007).⁹

⁹ BOCARDO E. 2007. "Manejo de residuos solidos urbanos e industriales".

⁹ BOCARDO E. 2007. "Manejo de residuos solidos urbanos e industriales".

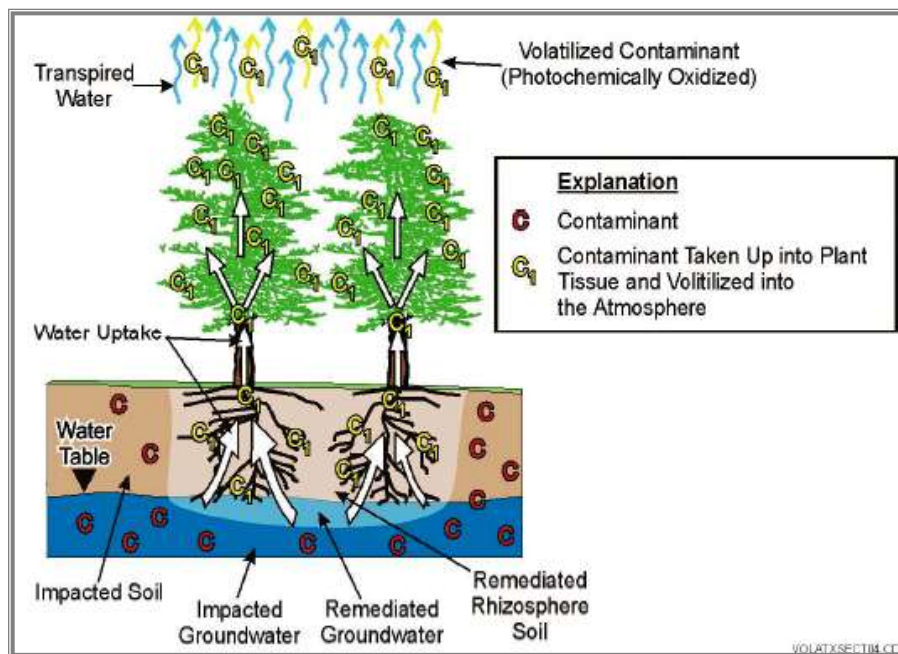


FIGURA N° 7: Proceso de fitovolatilización en plantas
 Fuente: Bocardo E. 2007⁹

Tabla N° 3: Tipos de fitoremediación, indicando la zona de la planta donde ocurre el proceso

Tipo	Proceso Involucrado	Contaminación Tratada
Fitoextracción	Las plantas se usan para concentrar metales en las partes cosechables (hojas y raíces)	Cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, plomo selenio, zinc
Rizofiltración	Las raíces de las plantas se usan para absorber, precipitar y concentrar metales pesados a partir de efluentes líquidos contaminados y degradar compuestos orgánicos	Cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, plomo selenio, zinc isótopos radioactivos, compuestos fenólicos
Fitoestabilización	Las plantas tolerantes a metales se usan para reducir la movilidad de los mismos y evitar el pasaje a napas subterráneas o al aire.	Lagunas de deshecho de yacimientos mineros. Propuesto para fenólicos y compuestos clorados.
Fitoestimulación	Se usan los exudados radiculares para promover el desarrollo de microorganismos degradativos (bacterias y hongos)	Hidrocarburos derivados del petróleo y poliaromáticos, benceno, tolueno, atrazina, etc
Fitovolatilización	Las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración.	Mercurio, selenio y solventes clorados (tetraclorometano y triclorometano)

Fitodegradación	Las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos menos tóxicos o no tóxicos.	Municiones (TNT, DNT, RDX, nitrobenzeno, nitrotolueno), atrazina, solventes clorados, DDT, pesticidas fosfatados, fenoles y nitrilos, etc.
-----------------	--	--

Fuente: <http://www.porquebiotecnologia.com.ar>⁷

2.3 HIPERACUMULACIÓN DE METALES

La hiperacumulación es la capacidad que tienen algunas plantas para concentrar metales en sus tejidos a niveles muy por encima de los normales sin presentar síntomas de toxicidad. Estas plantas hiperacumuladoras han desarrollado mecanismos internos de tolerancia a la toxicidad por metales. Esta peculiaridad las hace útiles para el hombre como herramienta en las nuevas tecnologías de fitoremediación. Sin embargo, ¿cual es el beneficio de esta hiperacumulación de metales para la propia planta? Se han propuesto distintas hipótesis entre las que destaca la ventaja adaptativa de estas plantas frente al estrés biótico. Esta propuesta es una de las más atractivas para explicar la "razón de ser" de estas especies hiperacumuladoras. En este artículo se plantean dos aspectos esenciales: los mecanismos de acumulación y tolerancia de las plantas a la toxicidad por metales y si para la planta la hiperacumulación es realmente una ventaja adaptativa. Por otra, la hiperacumulación es un proceso activo que parece estar implicado en la protección de la planta contra patógenos y herbívoros, confiriéndole una posible ventaja adaptativa que aún no está firmemente establecida (Behmer *et al.*, 2005; Poschenrieder *et al.*, 2006; Salt, 2006).¹¹

Podemos diferenciarlas en:

- Plantas capaces de acumular altas concentraciones de metales contaminantes hasta 1000 veces más la concentración del metal en su organismo que las especies normales, absorbiendo de esta forma metales que no necesitan para su nutrición y acumulándolos en las vacuolas de las hojas y raíces.
- Capacidad de acumular altas concentraciones de metales pesados potencialmente fitotóxicos tales como cadmio, plomo, cobre y cobalto. El criterio de

⁷ Biorremediación: organismos que limpian el ambiente, <http://www.porquebiotecnologia.com.ar>

¹¹ BEHMER, S & et al 2005. "Metal hyperaccumulation in plants: mechanisms of defence against insect herbivores".

POSCHENRIEDER, C., TOLRÀ, R. y BARCELÓ, J. 2006. "Can metals defend plants against biotic stress?".

SALT, D. 2006. "An extreme Plant Lifestyle: Metal Hyperaccumulation".

hiperacumulador varía para diferentes metales y representa la concentración en el tejido vegetal. (Goyzueta R. y Marón J. 2001).⁵

2.3.1 Las plantas frente a los metales pesados

Todas las plantas absorben metales del suelo donde se encuentran pero en distinto grado, dependiendo de la especie vegetal, y de las características y contenido en metales del suelo. Las plantas pueden adoptar distintas estrategias frente a la presencia de metales en su entorno (Barceló *et al.*, 2003)¹². Unas basan su resistencia a los metales con la estrategia de una eficiente exclusión del metal, restringiendo su transporte a la parte aérea. Otras prefieren acumular el metal en la parte aérea en una forma no tóxica para la planta. La exclusión es más característica de especies sensibles y tolerantes a los metales, mientras que la acumulación es más común de especies que aparecen siempre en suelos contaminados o metalíferos.

Las plantas hiperacumuladoras pueden superar en 100 ó más veces los valores normales de metales acumulados. Estas plantas son especies muy tolerantes a uno o más metales pesados y a menudo su distribución está restringida a suelos ricos en un amplio rango de concentraciones de metales, pues no son competitivas en zonas no contaminadas. La hiperacumulación ha evolucionado en más de 400 especies de plantas repartidas en 45 familias botánicas, siendo la familia *Brassicaceae* una de las que cuenta con más géneros de este tipo. Se encuentran distribuidas por todo el mundo, predominando en Nueva Caledonia, Cuba y la región Mediterránea, entre otros lugares (Baker *et al.*, 2000)¹³.

Esta capacidad de sobrevivir y crecer en suelos contaminados, acumulando gran cantidad de metales convierte a las hiperacumuladoras en organismos muy indicados para la fitoextracción. La hiperacumulación implica la existencia de mecanismos internos de detoxificación de los iones metálicos libres para evitar que puedan causar daño oxidativo a las células. La planta puede protegerse formando complejos metálicos estables menos tóxicos con quelantes (como fitoquelatinas, ácidos orgánicos, aminoácidos o fenoles de tipo flavonoides) y/o secuestrando los metales desde zonas

5 GOYZUETA R y MARON J. 2001. "Totora *Schoenoplectus tatora* como descontaminante de plomo y hierro en lechos acuáticos, Puno – Perú."

12 BARCELÓ, J. y POSCHENRIEDER, C. 2003. "Phytoremediation: principles and perspectives".

13 BAKER, A & et al. 2000. "Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal-polluted soils"

con un metabolismo activo (citoplasma) hacia el interior de vacuolas o en la pared celular, dónde no puedan ocasionar efectos adversos (Barceló *et al.*, 2001; Schat *et al.*, 2002; Vázquez *et al.*, 2006)¹⁴. Parece ser que la tolerancia en estas plantas no viene determinada por la acción de un solo mecanismo interno, sino de varios, que actuarían conjuntamente. En general, las hiperacumuladoras presentan una tasa de crecimiento baja, poca producción de biomasa y un sistema radicular pobre, posiblemente debido al coste energético que supone acumular niveles de metales en su interior que pueden exceder valores tan altos como el 1% del peso seco de la planta.

Existen varias hipótesis sobre el valor adaptativo de la hiperacumulación, pero la más actual es su función en la protección de la planta contra el estrés biótico causado por patógenos y herbívoros. Esta propuesta es muy atractiva para explicar la razón de ser de las plantas hiperacumuladoras, y difiere de la defensa química natural existente en todas las plantas, basada en la síntesis de productos orgánicos procedentes del metabolismo secundario (Martens *et al.*, 1994)¹⁵. Este tipo de protección requiere ciertas condiciones: la primera es que el metal sea más tóxico para el patógeno o herbívoro que para la planta; la segunda, que el metal impida la virulencia del patógeno o herbívoro, y finalmente, la tercera, que el metal incremente la resistencia de la planta frente al factor causante del estrés biótico. Para que el ataque o la agresión del patógeno o herbívoro progrese, es necesaria una interacción a tres bandas: huésped, patógeno y entorno (Fig. 1). A parte de la virulencia del patógeno y la susceptibilidad del huésped, los factores ambientales más relevantes que determinan la intensidad del ataque son el clima, las propiedades del suelo, la competencia y la actividad humana. El nivel de metales en el suelo puede tener una influencia positiva o negativa en la virulencia del patógeno y la susceptibilidad de la planta. La deficiencia de elementos esenciales amenaza el buen desarrollo de ambos organismos mientras que la resistencia a la toxicidad por metales determinará el tipo de interacción huésped-patógeno.

14 BARCELÓ & *et al.* 2001. "Mediterranean plant species for phytoremediation".

SCHAT, H. & *et al.* 2002. "The role of phytochelatins in constitutive and adaptive heavy metal tolerances in hyperaccumulator and non-hyperaccumulator metallophytes."

VÁZQUEZ, S. & *et al.* 2006. "Assessing the relative contributions of phytochelatin and the cell wall to cadmium resistance in white lupin".

15 MARTENS, S. y BOYD, R. 1994. "The ecological significance of nickel hyperaccumulation-a plant chemical defense".

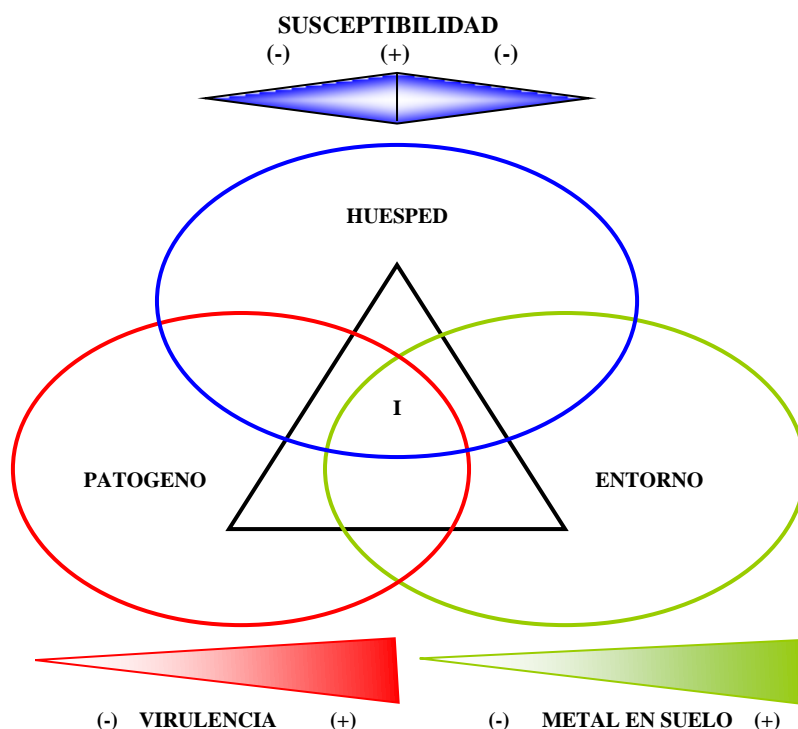


FIGURA N° 7: Interacción (I) entre los tres factores que determinan la intensidad de un ataque biótico: la susceptibilidad del huésped, la virulencia del patógeno y el entorno.

Fuente: <http://www.revistaecosistemas.net/pdfs>¹⁶

Hay muy poca información de la influencia de un exceso de metales en la relación planta-patógeno. En algunos estudios se ha observado que los herbívoros que consumen plantas con altos contenidos en metal responden a su presencia viéndose afectados por su toxicidad (efecto plaguicida) o con una aversión posterior a la planta debido a su palatabilidad disuasiva (receptores del sabor) o por indigestión. Este aprendizaje asociativo reduce consecuentemente la intensidad del ataque. En otros trabajos realizados con caracoles (Noret *et al.*, 2005)¹⁷, la reacción de aversión no se observó hacia plantas con un alto contenido en Zn, sino a elevados niveles de glucosinolatos, moléculas relacionadas con el contenido del metal. La disponibilidad de una elevada concentración de metales tóxicos puede tener, por lo tanto, un impacto positivo, negativo o nulo en el desarrollo del estrés biótico.

¹⁶ Hiperacumulación de metales: ¿una ventaja para la planta y para el hombre?. <http://www.revistaecosistemas.net/pdfs>

¹⁷ NORET, N., TOLRÀ, R., POSCHENRIEDER, C., BARCELÓ, J. 2005. "Palatability of *Thlaspi caerulescens* for snails: influence of zinc and glucosinolates".

2.3.2 Ventaja de la hiperacumulación para el hombre

Los metales pesados están presentes de forma natural en los suelos, pero en los últimos años las actividades industriales y la deposición de residuos tóxicos de todo tipo han contribuido a la acumulación de estos elementos en los suelos. A menudo la contaminación por metales pesados está directamente causada por la actividad industrial y minera, pero los casos más graves se han dado de forma accidental (Ej. Minas de Aznalcóllar). Metales como el Pb, Hg, Cd, As, Se y Cr son muy dañinos para la salud humana y para la de la mayoría de organismos vivos. Son elementos no degradables, ni química ni biológicamente, con lo que acaban acumulándose en los suelos. Si además se filtran a las aguas subterráneas, su control se hace muy difícil y acaban entrando en la cadena alimenticia, sea a través del agua de bebida o a través de los cultivos en suelos agrícolas contaminados, suponiendo un riesgo potencial para la salud.

En 1993 se realizaron los primeros experimentos utilizando plantas hiperacumuladoras para extraer metales de lugares contaminados (McGrath *et al.*, 1993 y 2006)¹⁸, y desde entonces se han descubierto muchas plantas con esta capacidad, que acumulan distintos metales (*Alyssum sp.*-Ni, *Thlaspi caerulescens*-Zn/Cd, *Melastoma malabanthricum*-Al, etc.). La capacidad de absorción por parte de la planta varía según el tipo de contaminante, tipo de suelo y pH del mismo, por lo que aparece la posibilidad de adaptar la elección del cultivo al nivel y tipo de contaminación (generalmente hojas > semillas).

Una ventaja del uso de plantas hiperacumuladoras es que pueden ser tolerantes a más de un metal y, por lo tanto, tienen una gran flexibilidad, es decir, una gran habilidad para adaptarse a ellos en los lugares de contaminación. La extracción de los metales del suelo por parte de las plantas no supone ningún daño para la zona tratada a diferencia de otras técnicas ya existentes y más caras (vitrificación, eliminación y reposición, etc.) que eliminan los organismos vivos asociados al suelo o alteran su estructura; todo lo contrario, el sistema radicular de las plantas tampona el suelo

¹⁸ MCGRATH, SP. & et al. 1993. "The potential for the use of metal-accumulating plants for the in situ decontamination of metal-polluted soils".

MCGRATH, SP. & et al. 2006. "Field evaluation of Cd and Zn phytoextraction potential by the hyperaccumulators *Thlaspi caerulescens* and *Arabidopsis halleri*".

químicamente y lo estabiliza frente a la erosión y la presencia de vegetación es estéticamente placentera (Meagher *et al.*, 2000¹⁹ y Barceló *et al.*, 2003¹¹).

Pero para que esta técnica sea efectiva, se requiere una planta con gran producción de biomasa aérea, para acumular mayor cantidad de metal y para facilitar su recogida con técnicas agrícolas tradicionales, y de un sistema radicular bien desarrollado que explore y limpie extensas áreas de suelo. También es conveniente que presente una tasa de crecimiento elevada. Sin embargo, estas características no siempre conviven en las plantas hiperacumuladoras (Meagher *et al.*, 2000¹⁸; Barceló *et al.*, 2001 y 2003¹¹).

La selección y el cultivo convencional de variedades con una combinación de las propiedades más útiles serían una solución a este problema, así como la transferencia por ingeniería de los genes responsables de la hiperacumulación (absorción, transporte a la parte aérea y acumulación) a plantas con mayor tolerancia, capacidad de acumular o degradar diversos contaminantes, y una mayor producción de biomasa (Martínez *et al.*, 2006)²⁰. Este objetivo no está todavía logrado, pero empiezan a conocerse algunos genes responsables de un mayor transporte de metales (Zn) hacia la parte aérea en comparación con la raíz en la hiperacumuladora *Thlaspi caerulescens* (Lasat *et al.*, 2000)²¹. Sin embargo, estas soluciones crean una preocupación general, bien por el uso de plantas transgénicas, como por la bioacumulación de estos metales en las plantas que pueden pasar a niveles superiores de la cadena trófica.

Algunos metales pesados son esenciales para mantener el metabolismo del cuerpo humano (Zn, Se, Cu). Sin embargo, a concentraciones más altas pueden conducir a toxicidad. Otros, en cambio (Cd, Hg, Pb) son extremadamente tóxicos, incluso en muy bajas cantidades (Chaney *et al.*, 2004)²². La creciente concentración de metales pesados en la cadena alimenticia puede provocar daños en la salud (cancerígenos o mutagénicos) aunque se sabe poco de su efecto crónico por consumo de pequeñas dosis durante largos

19 MEAGHER, R., RUGH, C., KANDASAMY, M., GRAGSON, G. y WANG, N. 2000. "Engineered phytoremediation of mercury pollution in soil and water using bacterial genes".

11 BARCELÓ, J. y POSCHENRIEDER, C. 2003. "Phytoremediation: principles and perspectives".

BARCELÓ, J. & et al. 2001. "Mediterranean plant species for phytoremediation.

20 MARTÍNEZ, M. & et al. 2006. "An engineered plant that accumulates higher levels of heavy metals than *Thlaspi caerulescens*, with yields of 100 times more biomass in mine soils."

21 LASAT, M., PENCE, N., GARVIN, D., EBBS, S. y KOCHIAN, L. 2000. "Molecular physiology of zinc transport in the Zn hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*".

22 CHANEY, R., REEVES, P., RYAN, J., SIMMONS, R., WELCH, R. y SCOTT ANGLE, J. 2004. "An improved understanding of soil Cd risk to humans and low cost methods to phytoextract Cd from contaminated soils to prevent soil Cd risks".

periodos (Birley *et al.*, 1999)²³. Se han sugerido varias medidas de prevención, como definir las normas referentes a los niveles y tipos de contaminación para agua y suelos destinados a uso agrícola, establecer unas distancias mínimas de los cultivos a las rutas principales de comunicación por carretera, tratamiento del suelo para inmovilizar los metales pesados, lavado y procesado del gran volumen de vegetación contaminada, para reducir el contenido de metales pesados de forma efectiva.

2.4 METALES PESADOS

Se denomina metales pesados a aquellos elementos químicos que poseen un peso atómico comprendido entre 63.55 (Cu) y 200.59 (Hg) y que presentan un peso específico superior a 4 (g/cm³). Lo que hace tóxicos a los metales pesados no son en general sus características esenciales, sino las concentraciones en las que pueden presentarse y más importante el tipo de especie que forman en un determinado medio (Rivera, H. 2001)²⁴.

Todos los metales pesados se encuentran presentes en los medios acuáticos, aunque sus concentraciones son muy bajas. Los compuestos orgánicos pueden constituir fases con gran capacidad de captura de cationes metálicos, que en ocasiones dan lugar a fases extremadamente tóxicas (ejemplo el metilmercurio). Dentro de los metales pesados importantes tenemos: Be, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Ag, Cd, Sn, Sb, Hg, Tl, Pb, U y Hg (Castro y Monroy 2002)²⁵.

El **plomo**, forma una variedad de complejos orgánicos y compuestos metal-orgánicos. Debido a su tamaño y carga el Pb puede sustituir al calcio siendo su sitio de acumulación los tejidos óseos, además de causar daño en riñones, tracto gastrointestinal, neurológicos, sistema reproductor; siendo el Pb un metal difícilmente movilizable. El plomo se fija en partículas sobre el esqueleto donde se encuentra en estrecha dependencia, con el metabolismo cálcico. En las plantas su concentración es <5 mg/Kg (base seca), un incremento ocasiona disminución de las funciones de crecimiento y fotosíntesis (Castro y Monroy 2002)²⁴.

23 BIRLEY, N. y LOCK, K. 1999. "Health and peri-urban natural resource production".

24 RIVERA H. 2001. "Introducción a la geoquímica general y aplicada".

25 CASTRO J. y M. MONROY. 2002. "Parámetros Geológicos de Protección Ambiental, Geoquímica, Minería y Medio Ambiente".

24 CASTRO J. y M. MONROY. 2002. "Parámetros Geológicos de Protección Ambiental, Geoquímica, Minería y Medio Ambiente".

La presencia de plomo en el agua dulce generalmente indica la contaminación con desechos metalúrgicos o venenos industriales que contienen plomo; sin embargo, el plomo puede aparecer como el resultado de la corrosión de amalgamas que contienen plomo; en las aguas de desecho, donde el plomo puede estar acomplejado con materia orgánica, puede hallarse solubilizado y se puede requerir de la oxidación de la materia orgánica para lograr la eliminación total del plomo (Ministerio de Agricultura 2003).²⁶

Cuando es consumido, el plomo puede causar el daño serio al cerebro, al sistema nervioso, los altos niveles de la exposición pueden también interrumpir las enzimas y los otros procesos teniendo como efectos daños sobre los riñones, el aparato gastrointestinal, los empalmes y el sistema reproductivo (<http://espanol.ei-resource.org>)²⁷.

El *cadmio*, se recupera principalmente como un subproducto de la minería, se encuentra en abastecimientos de agua como el cloruro del cadmio y sulfato del cadmio.

El cadmio se utiliza en un número de procesos industriales, incluyendo la soldadura y soldar, y la producción del hierro, del acero, del cinc y del cemento. Es el uso más extenso sin embargo está en las baterías de níquel-cadmio que se utilizan en electrónica sin cuerda. Está también presente como impureza de fertilizantes organofosfatados, así que puede incorporarse al sistema del agua a través de la región agrícola. Debido a su toxicidad se encuentra sujeto a una de las legislaciones más severas en términos ambientales y de salud humana; en la vida acuática, puede incorporarse a los peces por dos rutas: ingestión e introducción en las agallas acumulándose en el hígado, riñones y tracto gastrointestinal. Los alimentos que más contribuyen a la ingesta de cadmio son los vegetales en conjunto, seguidos por los pescados. En las plantas su concentración es <0.1 a 1 mg/Kg en base seca (Castro y Monroy, 2002²⁴; Brack y Mendiola 2000²⁸).

26 MINISTERIO DE AGRICULTURA – INRENA. 2003. “Monitoreo de la Calidad de Aguas Superficiales del Río Crucero”

27 Contaminantes Químicos Comunes de los Abastecimientos de Agua Municipales. <http://espanol.ei-resource.org/contaminantes-de-aqua.asp>

24 CASTRO J. y M. MONROY. 2002. “Parámetros Geológicos de Protección Ambiental, Geoquímica, Minería y Medio Ambiente”.

28 BRACK A. y CECILIA MENDIOLA. 2000. “Ecología del Perú”.

El cadmio es muy tóxico y se le han atribuido algunos casos de intoxicación con alimentos, se encuentra en concentraciones por debajo de 0.01ppm, en aguas y se introducen en el agua por descargas de desechos industriales y por lo general se encuentran en aguas superficiales (Ministerio de Agricultura 2003).

Los peligros de salud del cadmio son el resultado de la semejanza química con el zinc, un microalimento esencial. La ingestión crónica del cadmio del abastecimiento de agua puede causar síntomas tales como desórdenes gastrointestinales y gripe-como enfermedad. Puede causar eventual falla del riñón, como lo ocasionan la mayoría de los metales pesados. El cadmio es también un agente carcinógeno fuerte (cáncer que causa el agente) y se le ha ligado a enfermedades tales como osteoporosis. Como a los otros metales pesados, el cadmio se ha asociado en un número de estudios, a la debilitación del sistema inmune, esta implicado con el síndrome crónico de la fatiga, fibromialgia y otras enfermedades ambientales. Se podría tener una función pobre de la tiroides debido al envenenamiento del cadmio; los infantes y los niños son los más susceptibles al daño de los metales pesados, así que el cadmio junto con otros metales tales como mercurio se está estudiando para su implicación en el autismo y otros desórdenes de desarrollo (<http://espanol.ei-resource.org>)²⁶.

También se puede ingerir por la ingesta de carnes de animales alimentados con pastos contaminados con cadmio, siendo el hígado y el riñón de los animales los que más concentran el cadmio. Los efectos agudos de la ingestión de cadmio pueden manifestarse como daño del riñón con la consiguiente falla en la reabsorción y excreción de proteínas. Efectos en los huesos (osteoporosis) han sido descritos por ingestión elevada y crónica de cadmio contenida en alimentos y agua. En el caso de madres fumadoras el tabaco puede estar contaminado con cadmio (por uso de fertilizantes que contienen fosfatos) que pasa a la leche y puede ser responsable de la menor talla observada en los hijos de fumadoras. La cantidad de cadmio que pasa por la leche humana es significativamente menor que la exposición intrauterina a través de la placenta. Sin embargo, si la madre fuma, los niveles de Cadmio en la leche humana

26 Contaminantes Químicos Comunes de los Abastecimientos de Agua Municipales. <http://espanol.ei-resource.org/contaminantes-de-aqua.asp>

pueden ser mayores y tener un efecto sobre el crecimiento del niño (<http://www.alimentosysalud>)²⁹.

El *mercurio*, las intoxicaciones se caracterizan por limitación del campo visual, alteración del oído y la palabra, inseguridad en la marcha, ataxia, alteraciones sensitivas, reflejos anormales, salivación y trastornos mentales ligeros. El mercurio es acumulado en el hígado, riñón, cerebro, sangre y cabellos. Tiene efectos teratogénicos y especialmente fetotóxicos. Los factores que determinan los efectos tóxicos en humanos, son la velocidad y la cantidad absorbida, las propiedades fisicoquímicas de los compuestos y la susceptibilidad del individuo. El mercurio y sus compuestos pueden ingresar al cuerpo a través de la piel y el tracto gastrointestinal y respiratorio. Se ha observado que el mercurio traspasa la placenta, en estudios con monos expuestos a vapores del metal. También se han reportado, en mujeres ocupacionalmente expuestas al mercurio, complicaciones en el embarazo, en el parto, bebés de bajo peso, disturbios en la menstruación, abortos espontáneos y en el caso de incidencia, malformaciones en el feto (WHO 1990)³⁰. Por lo general su concentración en aguas superficiales está por debajo de 0.01 ppm (Ministerio de Agricultura 2003)²⁵.

El mercurio metálico, depositados en los fondos de los ríos, lagos y mares, es transformado en compuestos organometálicos por acción de la bacteria anaeróbica *Metanobacterium amelanskis* (Brack y Mendiola 2000)²⁷. De las sustancias formadas el metilmercurio (CH₃Hg) es la especie más peligrosa formando varios complejos organometálicos – Hg los que son extremadamente móviles (volátiles) y tóxicos. Estas bacterias que contienen metilmercurio pueden ser rápidamente adsorbido por el fitoplancton y de ahí pasar a los organismos superiores. Debido a que los animales acumulan más rápido de lo que puedan excretarlo, se produce un incremento sostenido de las concentraciones en la cadena trófica (biomagnificación) convirtiéndose el metilmercurio en una amenaza real para la salud humana. Los niveles más altos se presentan en los peces carnívoros de gran tamaño tanto de agua dulce como de agua

29 Contaminación de aguas y alimentos. <http://www.alimentosysalud.cl>

30 WHO. 1990. "Methylmercury. Environmental Health".

25 MINISTERIO DE AGRICULTURA – INRENA. 2003. "Monitoreo de la Calidad de Aguas Superficiales del Río Crucero".

27 BRACK A. y CECILIA MENDIOLA. 2000. "Ecología del Perú".

salada. El metilmercurio constituye aproximadamente un 75% del mercurio total de los pescados de agua marina y cerca del 90% de los de agua dulce (Rytuba 2000)³¹.

El mercurio orgánico es totalmente absorbido por los humanos y además es soluble en lípidos o grasas, por lo cual atraviesa las membranas de las células fácilmente, entrando al cerebro, médula espinal, nervios periféricos y cruzando la placenta. Diversos estudios de contaminación relatan compromiso neurológico cuando se consumen peces y cereales tratados con fungicidas que contienen derivados de mercurio. Para prevenir, se recomienda limitar el consumo de vísceras y huevo de pescados, especialmente, en embarazadas para evitar efectos adversos en su salud y en el feto (<http://www.alimentosysalud.28>)

El **cobre**, en grandes dosis ejerce una acción tóxica e irritante, también puede resultar nocivo en cantidades mucho menores por ser uno de los metales más activos entre los catalizadores oxidantes, destruye de un modo especial el carbono y además inhibe fuertemente el desarrollo bacteriano, por esta razón, cabe pensar en la acción sobre la flora intestinal produciendo trastornos en la digestión o el metabolismo. (Castro y Monroy 2002²⁴).

El cobre puede estar presente en el agua por el contacto de ésta con minerales que contienen cobre o con desechos minerales en la producción de cobre. Sin embargo, es más probable que el cobre que se encuentra en el agua sea un producto de corrosión de las tuberías o de amalgamas de cobre (Ministerio de Agricultura - INRENA 2003²⁵).

El **arsénico**, es uno de los más tóxicos elementos que pueden ser encontrados. Debido a sus efectos tóxicos, los enlaces de Arsénico inorgánico ocurren en la tierra naturalmente en pequeñas cantidades. Los humanos pueden ser expuestos al Arsénico a través de la comida, agua y aire. La exposición al Arsénico puede ser más alta para la gente que trabaja con Arsénico, para gente que bebe significantes cantidades de vino, para gente que vive en casas que contienen conservantes de la madera y gente que viven en granjas donde el Arsénico de los pesticidas han sido aplicados en el pasado.

31 RYTUNA J. 2000. "Mercury Geoenvironmental Models, In Progress on Geoenvironmental Models for Selected Deposit Types."

28 Contaminación de aguas y alimentos. <http://www.alimentosysalud.cl>

24 CASTRO J. y M. MONROY. 2002. "Parámetros Geológicos de Protección Ambiental, Geoquímica, Minería y Medio Ambiente".

25 MINISTERIO DE AGRICULTURA – INRENA. 2003. "Monitoreo de la Calidad de Aguas Superficiales del Río Crucero"

La exposición al Arsénico inorgánico puede causar varios efectos sobre la salud, como es irritación del estómago e intestinos, disminución en la producción de glóbulos rojos y blancos, cambios en la piel, e irritación de los pulmones. Es sugerido que la toma de significantes cantidades de Arsénico inorgánico puede intensificar las posibilidades de desarrollar cáncer, especialmente las posibilidades de desarrollo de cáncer de piel, pulmón, hígado, linfa (<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/As.htm>)³³.

A exposiciones muy altas de Arsénico inorgánico puede causar infertilidad y abortos en mujeres, puede causar perturbación de la piel, pérdida de la resistencia a infecciones, perturbación en el corazón y daño del cerebro tanto en hombres como en mujeres. Finalmente, el Arsénico inorgánico puede dañar el ADN. El Arsénico orgánico no puede causar cáncer, ni tampoco daño al ADN. Pero exposiciones a dosis elevadas puede causar ciertos efectos sobre la salud humana, como es lesión de nervios y dolores de estómago (<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/As.htm>)³².

El arsénico es un componente que es extremadamente duro de convertir en productos solubles en agua o volátil. El arsénico no se puede movilizar fácilmente cuando este es inmóvil. El arsénico es mayoritariamente emitido por las industrias productoras de cobre, pero también durante la producción de plomo y zinc y en la agricultura. Este no puede ser destruido una vez que este ha entrado en el ambiente, así que las cantidades que hemos añadido pueden esparcirse y causar efectos sobre la salud de los humanos y los animales en muchas localizaciones sobre la tierra. (<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/As.htm>)³².

Las plantas absorben arsénico bastante fácil, así que alto rango de concentraciones pueden estar presentes en la comida. Las concentraciones del peligroso arsénico inorgánico que está actualmente presente en las aguas superficiales aumentan las posibilidades de alterar el material genético de los peces. Esto es mayormente causado por la acumulación de arsénico en los organismos de las aguas dulces consumidores de plantas. Las aves comen peces que contienen eminentes cantidades de arsénico y morirán como resultado del envenenamiento por arsénico como consecuencia de la descomposición de los peces en sus cuerpos (<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/As.htm>)³².

³³ Arsenico. <http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/As.htm>

2.4.1 Acumulación de Metales Pesados

Las vías de incorporación de los metales pesados a los organismos acuáticos son las siguientes (Smith y Huyck 1998³⁴):

- Cationes metálicos libres que son absorbidos a través de los órganos respiratorios externos (agallas), los cuales pasan directamente a la sangre.
- Cationes metálicos libres que son adsorbidos por el cuerpo y luego pasivamente difundidos al torrente sanguíneo.
- Metales que son adquiridos durante la ingesta de organismos (otros peces, bivalvos, o algas) contaminados.

Kelly y Whitton (1989), citado en Plumlee y Logsdon 1999³⁵; al realizar la comparación entre tres algas y cuatro Bryophytas en función a concentraciones del metal en el agua, las Bryophytas, acumularon más Zn, Cd y Pb que las algas; aunque las algas verdes (*Cladophora glomerata*, *Stigeoclonium tenue*) tenían niveles altos; la alga roja *Lemanea fluviatilis* tenía niveles similares a las Bryophytas pero a las concentraciones totales más bajas obtenidas. En plantas vasculares arraigadas, Galés y Denny (1979) citado en Plumlee y Logsdon 1999³⁴, indican que el metal también entra a las plantas vía sedimentos y en general, concentraciones más altas se encuentran en raíces que en brotes. En *Potamogeton crispus* y *P. pectinatus*, el Cu, un elemento esencial, fue desplazado de las raíces a los brotes, mientras que el Pb, que no es esencial, fue conservado en las raíces (Plumlee y Logsdon 1999³⁴).

Algunos metales pesados forman parte de los organismos como el Cu, Zn, Fe; sin embargo, los metales no esenciales como el mercurio o el cadmio son excretados con mayor dificultad (Curtis y Barnes 2001³⁶). Las plantas acuáticas (algas) y los bivalvos (como mejillones, ostras, etc.) no son capaces de regular con éxito las concentraciones de metales pesados y de ahí puede derivarse una serie de problemas. Así por ejemplo, el mercurio puede hacer decrecer dramáticamente la capacidad de fotosíntesis de una alga (ejemplo *Macrocytes*). Los bivalvos por su parte acumulan los metales pesados,

34 SMITH K. y H. HUYCK. 1998. "An Overview of the abundante, relative mobility, bioavailability and human toxicity of metals".

35 PLUMLEE G. y M. LOGSDON. 1999. "The environmental geochemistry of mineral deposits".

36 CURTIS HELENA y SUE BARNES. 2001. "Biología".

pudiendo pasar éstos directamente al ser humano por ingesta (Plumlee y Logsdon 1999)³⁴.

2.4.2 Límites máximos permisibles

La calidad de agua afecta la abundancia, composición de especies, estabilidad, productividad y la condición fisiológica de poblaciones de organismos acuáticos. Por consiguiente, la naturaleza y la salud de las comunidades acuáticas son una expresión de la calidad del agua (Jara 2003)³⁷.

Para la caracterización del agua superficial se toma como patrón de comparación los Valores Guía para la Protección de la Vida Acuática de la United States Environmental Protection Agency (USEPA) referidos a metales totales, guías para la calidad del agua potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y criterios de calidad del agua para hábitat de peces comunes de la Unión Europea, junto con la ley general de aguas (clase III y VI). A continuación el cuadro que se adjunta, presenta estos valores.

Tabla N°4 : Valores guía de calidad de agua para hábitat de peces y consumo humano (ug/l)

PARAMETRO	METALES DISUELTOS LEY GENERAL DE AGUAS			TOTALES USEPA*	TOTALES OMS**	TOTALES UE***
	I	III	VI			
As	100	200	50	190	10	60 (disuelto)
Cd	10	50	4	1.6	3	
Cr	50	1000	50	11	50	
Cu	1000	500	NP	17.7	1000	
Fe	NP	1000	NP	1000	300	
Pb	50	100	30	5.8	10	
Hg	2	10	0.2	0.025	1	
Ni	2	2	2	137	20	
Se	10	50	10	35		
Zn	5000	25000	NP	47	3000	
Mn		500			100/500	
Amonio	NP	NP	NP	1330	1500	
Oxígeno disuelto	3mg/L	3mg/L	4mg/L			5-9
pH						6-9
Sulfato					250000	
Nitrato	10	100	NP		50000	

I = Criterio de calidad de aguas para uso doméstico con simple desinfección.

III = Criterios de calidad de agua para uso en agricultura.

VI = Criterios de calidad de agua para zonas de preservación de fauna acuática y pesca recreativa o comercial

NP= No Propuesto, NA= No Aplicable.

34 PLUMLEE G. y M. LOGSDON. 1999. "The environmental geochemistry of mineral deposits".

37 JARA MARIA. 2003. "Distribución de metales pesados en agua y sedimentos y sus efectos sobre la vida acuática en la cuenca superior del Río Santa".

- * Concentraciones basadas en aguas promedios de dureza 160 mg/L. Para metales los límites de la Ley General de Aguas están referidos a concentraciones de metales disueltos, mientras que los valores guía de USEPA están referidos a concentraciones de metales totales.
- ** Guía para Calidad de Agua Potable de la Organización Mundial de la Salud Vol. 1996
- *** Criterios sobre Calidad de Aguas para la población de peces de la Unión Europea 1978
- Fuente: Jara M. 2003³⁶

Tabla N°5: Límites permisibles de contaminación en sedimentos para la protección de la vida acuática (mg/Kg)

ELEMENTO	OMEE	USEPA	GRESSARD	FAO
Fe	20.000-40.000	17.000-25.000	15.100	
Zn	120-820	90-200	94	300
Cu	16-110	25-50	26	100
Mn	460-1110	360-500	341	1500
Pb	31-150	40-60	50	100
Cd	0.60-10	6	2.1	3
Hg	0.20-2	1	0.26	
As	6-33			10
Sb				5
Cr			22	

Fuente: Gerencia Regional de Recursos Naturales y Medio Ambiente -Puno, 2005.

Tabla N°6: Rangos de contenidos de metales en plantas sin observar efectos tóxicos (mg/kg)

Mg/Kg	VARIEDAD DE PLANTAS			TUBERCULO PAPA
	Fuente 1 Chapman (1965)	Fuente 2 Davelois (1991)	Fuente 3: Morrey David. (1994)	Fuente 4 Fernández (1990)
HIERRO	Algunos cientos	300-800		155-167
MANGANESO	10-300	30-200		27
ZINC	5-75		10-100	58-82
PLOMO			0.5-3	<12
COBRE	1-25	5-30		7-10
CADMIO				0-8
BORO	10-200			<19
ALUMINIO	2-10%			<2.5

Fuente: Universidad Nacional Agraria la Molina, 1999³⁸.

36 JARA MARIA. 2003. "Distribución de metales pesados en agua y sedimentos y sus efectos sobre la vida acuática en la cuenca superior del Río Santa".

38 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA. 1999. "Investigación y Monitoreo de los Ríos Carabaya-Ramis, Cabanillas y del Lago Titicaca".
Lima, Perú.

Tabla N°7: Concentración de metales pesados en plantas (mg/Kg).

Elemento	Rango normal en plantas	Concentración crítica en plantas*	
		A	B
Ag	0,1-0,8	--	1-4
As	0,02-7	5-20	1-20
Au	0,0017	--	<1
Cd	0,1-2,4	5-30	4-200
Co	0,02-1	15-50	4-40
Cr	0,03-14	5-30	2-18
Cu	5-20	20-100	5-64
	0,005-0,17	1-3	1-8
Mn	20-1000	300-500	100-7000
Mo	0,03-5	10-50	--
Ni	0,02-5	10-100	8-220
Pb	0,2-20	30-300	--
Sb	0,0001-0,2	--	1-2
Se	0,001-2	5-30	3-40
Sn	0,2-6,8	60	63
Tl	0,03-3	20	--
U	0,005-0,06	--	--
V	0,001-1,5	5-10	1-13
W	0,005-0,15	--	--
Zn	1-400	100-400	100-900

Tomado de Alloway B. 1995

*La concentración crítica en las plantas es el nivel encima del cual los efectos de la toxicidad son posibles.

(A) y (B) son valores establecidos por varios autores.

Fuente: Rivera H. 2001³¹.

Tabla N°8: Rango de concentración de metales en plantas acuáticas de lagos y cursos de agua de Suecia (mg/Kg).

METAL	Mg/Kg				
	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3	CLASE 4	CLASE 5
	MUY BAJO	BAJO	MODERADAMENTE ALTO	ALTO	MUY ALTO
As	<0.5	0.5-3	3-8	8-40	>40
Cd	<0.3	0.3-1	1-2.5	2.5-15	>15
Co	<3	3-10	10-30	30-150	>150
Cr	<1.5	1.5-3.5	3.5-10	10-50	>50
Cu	<7	7-15	15-50	50-250	>250
Hg	<0.04	0.04-0.1	0.1-0.3	0.3-1.5	>1.5
Ni	<4	4-10	10-30	30-150	>150
Pb	<3	3-10	10-30	30-150	>150
Zn	<60	60-160	160-500	500-2500	>2500

Riesgos de efectos biológicos

CLASE 1: Ninguno o muy poco

CLASE 2: Poco

CLASE3: Primariamente en aguas acidificadas y aguas dulces con concentraciones bajas de humus y nutrientes

CLASE 4: Riesgo incrementado

CLASE 5: Alto riesgo aún con breve exposición

* Tabla tomada de Jara María, 2003³⁶.

31 RIVERA H. 2001. "Introducción a la geoquímica general y aplicada".

36 JARA MARIA. 2003. "Distribución de metales pesados en agua y sedimentos y sus efectos sobre la vida acuática en la cuenca superior del Río Santa".

Tabla N°8: Intervalos normales en plantas, concentraciones fototóxicas y niveles tóxicos para el ganado de algunos elementos traza (según Chaney, 1989 y otros autores especificados a pie de tabla).

ELEMNT	NIVELES NORMALES (mg Kg ⁻¹ , materia seca)	NIVELES FITOTOXICOS (mg Kg ⁻¹ , materia seca)	NIVELES MAXIMOS TOLERADOS POR EL GANADO (mg Kg ⁻¹ , SOBRE DIETA SECA)			
			BOVINO	OVINO	PORCINO	AVICOLA
As inorg.	0.01-1	3-10	50	50	50	50
Cd	0.1-1	5-700	0.5	0.5	0.5	0.5
Cu	3-20	25-40	100	25	250	300
Pb	2-5	10-70 ^a			300-500 ^b	
	5-10 ^c	30-300 ^c	30	30	30	30
Tl	0.02-0.04 ^d	-	-	-	-	-
	0.03-0.2 ^e					
Zn	15-150	500-1500	500	300	1000	1000
				1000 ^b	2000 ^b	

^a Niveles tóxicos para cultivos (Gupta y Gruta, 1998)

^b Niveles tóxicos (Annekov, 19829)

^c Niveles normales y tóxicos para las plantas (Barceló y Poschenrieder, 1992)

^d Niveles presentes en la mayoría de los cultivos sobre suelos no contaminados (Adriano, 1986)

^e Composición elemental de especies herbáceas (Bowen, 1979)

Fuente: Jara M. 2003³⁶.

CONCEPTOS BÁSICOS

Comunidades Bióticas: Son el conjunto de plantas y animales de un determinado espacio en interdependencia; así el Lago Titicaca es una comunidad biótica con especies de plantas como la totora (*Schoenoplectus tatora*) y animales como carachis (*Orestias* sp.) (Brack y Mendiola 2000²⁴).

Biota: Todos los seres vivos, sean plantas o animales superiores o microorganismos (Brack y Mendiola 2000²⁴).

Bioremediación: La "bioremediación" es el proceso que se ocupa de la utilización de sistemas biológicos para producir rupturas, cambios moleculares o separación de tóxicos, contaminantes y sustancias de importancia ambiental en suelos, aguas y aire, generando compuestos de menor o ningún impacto ambiental, o bien separando la sustancia tóxica. Estas degradaciones o cambios ocurren usualmente en la naturaleza (y entonces se denomina "atenuación natural"), sin embargo la velocidad de tales cambios es baja. Mediante una adecuada manipulación estos sistemas biológicos pueden

³⁶ JARA MARIA. 2003. "Distribución de metales pesados en agua y sedimentos y sus efectos sobre la vida acuática en la cuenca superior del Río Santa".

²⁴ BRACK A. y CECILIA MENDIOLA. 2000. "Ecología del Perú".

ser optimizados para aumentar la velocidad de cambio o degradación y así usarlos en sitios con una elevada concentración de contaminantes.

Biodisponibilidad: Es el grado de disponibilidad por el cual un contaminante en una fuente potencial se halla libre para ser captado por un organismo; está en función de la dispersión, movilidad, modo de exposición y la susceptibilidad individual de un organismo (Rivera 2001³¹). La biodisponibilidad, es generalmente un pre-requisito para ser tomado por las plantas, mientras, los animales pueden ingerir, inhalar, etc. tóxicos que subsecuentemente pasan a través de sus cuerpos, sin toma sistémica. Para los animales se distinguen dos niveles de biodisponibilidad: 1) tomados por el sistema y 2) tomados dentro de los órganos, donde los tóxicos pueden acumular y crear síntomas específicos de toxicidad; para las plantas, los metales pueden estar directamente absorbidos del ambiente y guardados por los órganos de la planta en el punto de absorción (ejm: raíces y hojas) o translocalizados y acumulados entre tejidos de las plantas (Smith y Huyck 1998³⁹).

Bioacumulación: Proceso por el cual organismos que viven en un medio que contiene una concentración relativamente baja de una sustancia química pueden llegar a acumular en sus tejidos dicha sustancia, alcanzando concentraciones considerablemente más altas que las existentes en el medio, con el consiguiente perjuicio para la salud del organismo. Además, los animales herbívoros del medio se alimentan de plantas que ya están contaminadas con esta sustancia y a su vez son alimento de animales carnívoros, por lo que, si consideramos una cadena alimenticia, la concentración de la sustancia contaminante irá aumentando a medida que se ascienda en cada nivel de la cadena trófica (Curtis y Barnes 2001⁴¹).

Contaminación: Presencia de sustancias extrañas en el medio ambiente que causen un desequilibrio ecológico. Sustancias extrañas que produzcan alteraciones en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas (Brack y Mendiola 2000²⁴).

31 RIVERA H. 2001. "Introducción a la geoquímica general y aplicada".

39 SMITH K. y H. HUYCK. 1998. "An Overview of the abundance, relative mobility, bioavailability and human toxicity of metals".

41 CURTIS HELENA y SUE BARNES. 2001. "Biología".

24 BRACK A. y CECILIA MENDIOLA. 2000. "Ecología del Perú".

Tóxico: Son los xenobióticos que producen efectos adversos en los organismos vivos. Un xenobiótico es cualquier sustancia que no ha sido producida por la biota (Peña *et al.* 2001⁴⁴).

Toxina: Es un material tóxico de origen biológico (Rivera 2001³¹)

Metilmercurio: (CH₃Hg), compuestos organometálicos transformados por acción de la bacteria anaeróbica *Metanobacterium amelanskis*. Es la especie más peligrosa formando varios complejos organometálicos – Hg los que son extremadamente móviles (volátiles) y tóxicos (Brack y Mendiola 2000²⁴).

Riesgo: El término “peligroso” define la capacidad de una sustancia de producir efectos adversos en los organismos y el término “riesgo” describe la probabilidad de que, en una situación dada, una sustancia peligrosa produzca un daño (Peña *et al.* 2001³⁹).

Dosis: Cantidad de una sustancia potencialmente perjudicial para los seres vivos que ha podido ser inhalada o absorbida. La dosis determina el tipo y magnitud de la respuesta biológica. El efecto adverso o daño es una función de la dosis y de las condiciones de exposición (Miller y Tyller 2002⁴⁰; Peña *et al.* 2001⁴⁴).

Espectrometría de Absorción Atómica (AAS): El método de espectrometría de absorción atómica; es una técnica de análisis instrumental capaz de detectar y determinar cuantitativamente la mayoría de los elementos químicos comprendidos en la tabla periódica.

Se basa en la propiedad de los átomos o iones en estado básico o fundamental, de absorber discretas longitudes de ondas, las cuales, coinciden con los espectros de emisión del elemento a investigar. La energía de excitación puede ser administrada al átomo en estado fundamental, de diferentes maneras (térmicamente, eléctricamente, mediante rayo láser o por inducción electromagnética). Cuando un átomo excitado vuelve a su estado fundamental, éste cede una determinada cantidad de energía

31 RIVERA H. 2001. “Introducción a la geoquímica general y aplicada”.

24 BRACK A. y CECILIA MENDIOLA. 2000. “Ecología del Perú”.

39 PEÑA C. *et al.* 2001. “Toxicología Ambiental: Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental”

40 MILLER y TYLLER. 2002. “Introducción a la Ciencia Ambiental”.

cuantitativamente idéntica a su energía de excitación, pero siempre de una misma forma, emitiendo radiaciones que ellos mismos han emitido, se producirá una absorción de las radiaciones a determinadas longitudes de onda, por cualquier medio absorbente (Rivera, 2001³¹). El límite de detección es de valores menores de 10 ppm y en algunos elementos puede detectar contenidos en ppb. Las técnicas que presenta este método son:

Flama: La fuente de radiaciones características del elemento que deseamos analizar, se obtiene para cada elemento mediante una lámpara que contiene un cátodo, exactamente de la misma naturaleza que el elemento que queremos analizar. La muestra en solución se atomiza en el quemador del fotómetro donde los elementos presentes se reducen en la flama, al estado atómico, una lámpara catódica hueca emite un espectro característico para el elemento utilizado en su construcción; la luz emitida por la lámpara catódica al atravesar la flama del quemador sufre una absorción por los átomos del elemento buscado en estado neutro, luego esta luz pasa a través de un monocromador de rejilla o de prisma para aislar la línea sensible de absorción y la lectura se hace con un simple medidor de nivel calibrado en % de absorción (Rivera 2001³¹).

Horno de grafito: Es la absorción atómica sin flama, en la cual se usa un horno de grafito para la atomización electrotérmica de las muestras, el vapor pasa a través de la luz de una lámpara de tipo cátodo o descarga sin electrodos. Mediante esta técnica, los límites de detección de los elementos disminuyen significativamente, así como también los efectos de la matriz cuando se alcanzan temperaturas elevadas y uniformes. Sin embargo, todos los aparatos para atomización electrotérmica pueden experimentar interferencias espectrales y químicas y problemas de radiación de fondo (Rivera 2001³¹).

Vapor frío: Esta técnica se utiliza para determinar mercurio (Hg) utilizando un equipo accesorio que por arrastre a través de una corriente de aire conduce los vapores de Hg producidos a una celda de cuarzo donde son analizados por el equipo de AAS a niveles de ppb (1×10^9) (Rivera a 2001³¹).

31 RIVERA H. 2001. "Introducción a la geoquímica general y aplicada".

2.5 ANALISIS DE ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

- UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS - LA PAZ, BOLIVIA. 2005. “Absorción de metales pesados en aguas residuales de minería con el uso de la totora (*Schoenoplectus tatora*) en un sistema sub superficial”.

El estudio se realizó en Potosí, el centro minero más importante de Bolivia; los metales pesados analizados fueron: Fe, Zn, Cd, Pb y As. Las concentraciones para la etapa de floración fueron: Cd 14.78 ppm, As 5.70 ppm, Pb 3.72 ppm, Fe 5334.32 ppm, Zn 351.84 ppm; mientras que en la etapa de crecimiento se obtuvo: Cd 3.29 ppm, As 2.26 ppm, Pb 1.61 ppm, Fe 1761.69 ppm, Zn 103.23 ppm. Por lo tanto la totora presenta mayor concentración en sus tejidos en la etapa de floración.

- PROYECTO ESPECIAL LAGO TITICACA – PELT. 2004. “Diagnóstico del Nivel de Contaminación de los Recursos Hídricos del Lago Titicaca”. Puno – Perú.

El Proyecto Especial Lago Titicaca realizó investigaciones referidas a la contaminación del Lago Titicaca y sus afluentes encontrando como resultados para la sub cuenca del río Ramis (aguas abajo) en muestras de agua para los elementos pesados las siguientes concentraciones: As = 12.54 ug/l; Cd = 0.09 ug/l; Cr = 3.42 ug /l; Ni = 3.79 ug /l; Pb = 1.28 ug /l; Hg = 0.51 ug /l; Cu = 2.50 ug /l; los cuales superan los límites permisibles.

- UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO Y UNIVERSIDAD MONTANA TECH, CALIFORNIA – USA. 2003. “Evaluación Ambiental de Procesamiento de Oro por Amalgamación por Mercurio”.

En el estudio realizado encontraron en muestras de tejidos de *Basilichthys bonaerensis* (pejerrey), que tres especímenes exceden los estándares de la Environmental Protection Agency (EPA) americano para el consumo humano (0.3 ug/g de Hg). La mayor concentración fue de 0.42 ug/g que está cerca del límite de 0.5 ug/g adoptado por la mayoría de los países para el consumo humano.

- MINISTERIO DE AGRICULTURA – INRENA. 2002. “Evaluación y Recuperación de los Recursos Naturales y Contaminación Ambiental en la Cuenca del río Ramis”. Dirección General de Asuntos Ambientales - Puno.

El Ministerio de Agricultura a través de la Dirección de Asuntos Ambientales realizó una macroevaluación de la cuenca del río Ramis encontrando como resultado en la muestra de agua perteneciente al río Ramis para los elementos pesados Pb, Cu, As, Hg, concentraciones de 0.00 mg/l; en Zn se tuvo 0.01 mg/l, cantidades que se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles aprobados por el Ministerio de Energía y Minas para efluentes de líquidos minero – metalúrgicos.

- UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA. 2001. “Totora *Schoenoplectus tatora* como descontaminante de plomo y hierro en lechos acuáticos - Arequipa, Perú.

En el estudio experimental realizado determinaron que *Schoenoplectus tatora* efectuó una remoción de plomo de 11.32% a partir de una solución de plomo de concentración inicial de 7,3 ug/ml.

- UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA.1999. “Investigación y Monitoreo de los Ríos Carabaya-Ramis, Cabanillas y del Lago Titicaca”. Lima, Perú.

En el estudio realizado determinaron en muestras de agua para el Lago Titicaca – desembocadura del río Ramis que el plomo (0.014 mg/l) se encuentra por encima del límite permisible según los valores guía de USEPA (0.0058 mg/l) referida para metales totales, mientras los elementos Fe, Zn, Cu, Mn, Cd, Hg y As se encuentran por debajo de los límites permisibles. En sedimentos se tuvo para el As = 17.2 – 16.3 mg/kg; Cd = 2.1 – 2 mg/kg; los cuales se encuentran dentro de los niveles mas bajos de toxicidad considerados por la OMEE (6-33 mg/kg para As y 0.6 – 10 mg/kg para Cd). En vegetación correspondiente a *Schoenoplectus tatora* muestra valores de Fe = 935.2 mg/kg; Mn = 2569 mg/kg; Pb = 14.7 mg/kg; B = 22911 mg/kg y Al = 8687 mg/kg; en *Elodea potamogeton* para el As se tuvo 122.5 mg/kg.

Estas concentraciones sobrepasan los valores referenciales para plantas sin observar efectos tóxicos.

- UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO y UNIVERSIDAD DE BRITISH, COLUMBIA – CANADÁ .1988. “Experimentos con la totora *Schoenoplectus tatora* como agente purificador del agua”. Puno.

En el estudio realizado determinaron que la totora tiende a concentrar mayor cantidad de contaminantes en las raíces seguido por el tallo y finalmente el rizoma. Los niveles encontrados en el tallo son: Cu = 5.9 mg/kg; Mn = 18.3 mg/kg; Zn = 6.2 mg/kg; Pb = 9.5 mg/kg; Cr = 11.8 mg/kg; Fe = 5.6mg/kg. Así mismo, la totora es muy resistente a cualquier tipo de contaminación y es capaz de eliminar una gran cantidad de metales y otros agentes contaminantes del agua.

4.- OBJETIVOS

Objetivo General:

- Determinar el potencial de *Schoenoplectus tatora* “Totora” como especie usada para fitoremediación en el Lago Titicaca, Puno.

Objetivos Específicos:

1. Realizar la descripción biológica de *Schoenoplectus tatora*.
2. Identificar los metales pesados presentes en la cuenca del río Ramis.
3. Establecer la metodología de laboratorio aplicado en *Schoenoplectus tatora*.
4. Determinar la concentración de metales pesados en *Schoenoplectus tatora*.
5. Proponer una estrategia aplicativa para minimizar los impactos de los metales pesados en la cuenca del Ramis.

5.- HIPOTESIS

- Debido a la conexión de las actividades antropogénicas: minera y agrícola principalmente, con la desembocadura del río Ramis, la presencia de metales pesados es perceptible por lo que: LA REALIZACIÓN DE OBSERVACIONES EN *Schoenoplectus tatora* “TOTORA” PERMITE SUPONER QUE TIENE UN POTENCIAL FITORREMIADOR DE AGUAS CON METALES PESADOS.

III. PLANTEAMIENTO OPERACIONAL

1. TECNICA, INSTRUMENTOS Y MATERIALES DE VERIFICACION

1.1. VARIABLE: Potencial de *Schoenoplectus tatora* como especie usada para la fitoremediación.

a) Indicador: Descripción biológica de *Schoenoplectus tatora*

Técnica: Observación documental

Instrumento: Guía de observación documental

Materiales: Formato de observación documental

INSTRUMENTO N° 1

VARIABLE	INDICADOR	GUIA DE OBSERVACION
Potencial de <i>Schoenoplectus tatora</i> como especie usada para la fitoremediación	Descripción biológica de <i>Schoenoplectus tatora</i>	<ul style="list-style-type: none">• Características biológicas de <i>Schoenoplectus tatora</i>:<ul style="list-style-type: none">○ Descripción botánica de <i>Schoenoplectus tatora</i>○ Hábitat○ Importancia ecológica○ Importancia económica

b) Indicador: Identificación de la presencia de metales pesados en la cuenca del río Ramis.

Técnica: Observación directa y documental

Instrumento: Guía de observación directa y documental. Encuesta

Materiales:

- Cédula de encuesta
- Fotografías
- Cámara fotográfica

INSTRUMENTO N° 2

VARIABLE	INDICADOR	GUIA DE OBSERVACION DOCUMENTAL	ENCUESTA
Potencial de <i>Schoenoplectus tatora</i> como especie usada para la fitoremediación	Identificación de la presencia de metales pesados en la cuenca del río Ramis.	<ul style="list-style-type: none"> • Características físicas de la cuenca del río Ramis <ul style="list-style-type: none"> ○ Ubicación ○ Hidrología ○ Clima ○ Tipo de suelo • Centros mineros presentes en la cuenca del río Ramis • Desechos mineros 	Grado de conocimiento del peligro y riesgo de los metales pesados para la salud y el ecosistema.

CEDULA DE ENCUESTA

Edad:.....

Lugar:.....

Fecha:.....

1.- ¿Cuál de los siguientes metales son arrojados a los ríos por las mineras?

- mercurio, cobre, plomo, oro, aluminio
- mercurio, cobre, plomo, zinc, cadmio
- zinc, cromo, plomo, boro, calcio

2.- ¿Cree usted que estos metales causen daño a su salud y al medio ambiente?

- causa daño solo a mi salud
- no causa ningún daño
- daña mi salud y al lugar donde vivo

3.-¿ Si Usted trabajaría en un centro minero manipularía el mercurio:

- sin guantes ni mascarilla
- con guantes de lavar ropa
- con plástico
- con guantes y mascarilla para la boca y nariz

4.- ¿Dónde cree Usted que se acumula el plomo en el organismo?

- se acumula en la piel
- se acumula en los pulmones
- se acumula en los huesos

5.- ¿Cree usted que los metales pesados causan daños a sus cosechas y su ganado?

- si a ambos
- solo al ganado
- solo a mis cosechas
- no causa daño

7.- ¿De los fertilizantes y pesticidas que usted usa cuales cree que sean los más dañinos?

.....
.....

8.- ¿Por qué motivo los usa?

- son económicos y efectivos
- son económicos pero no muy efectivos
- no hay otros productos

c) **Indicador: Cuantificación de los metales pesados en *Schoenoplectus tatora***

Técnica: Análisis por espectrofotometría de absorción atómica (vapor frío – FIAS, horno de grafito, flama)

Instrumento: Espectrofotómetro de absorción atómica

Materiales:

- Instrumental de laboratorio
- Materiales de laboratorio
- Fotografías
- Cámara fotográfica

INSTRUMENTO N° 3

VARIABLE	INDICADOR (mg/Kg)	ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATOMICA
Potencial de <i>Schoenoplectus tatora</i> como especie usada para la fitoremediación	Cuantificación de los metales pesados en <i>Schoenoplectus tatora</i> : Cu, Pb, Cd, As y Hg	<ul style="list-style-type: none">• Vapor frío – FIAS• Horno de grafito• Flama

2.- CAMPO DE VERIFICACION

2.1.- UBICACIÓN ESPACIAL

El estudio se desarrollará en la desembocadura del río Ramis que pertenece a la provincia de Huancané, región Puno, ubicada al extremo norte del Lago Titicaca (lago mayor), que pertenece al Área Natural Protegida - Reserva Nacional del Titicaca - sector Ramis que cuenta con 7030 hectáreas. A continuación describiremos su accesibilidad y sus principales características físicas:

- **Accesibilidad:** Por vía terrestre desde Puno se viaja por la carretera asfaltada a Juliaca, de ahí se toma la carretera a Huancané hasta el puente Ramis; el viaje dura aproximadamente 2 horas. Desde el puente Ramis se toma lancha río abajo hasta

la desembocadura, con un tiempo de viaje aproximado de 2 horas; de ahí a los puntos de muestreo.



FIGURA N° 8: Desembocadura del río Ramis – lago mayor.

- **Características físicas:** El área de estudio es un área exclusivamente acuática con profundidades promedio que no sobrepasan los 2.5 m. El fondo lacustre posee una gran cantidad de materia orgánica cuyo aporte proviene principalmente por la descomposición permanente de la totora y otras macrófitas; debajo de dicho estrato es frecuente encontrar un estrato arcilloso de coloración plomiza (RNT 2002).

El clima pertenece al sub tipo climático “A” circunlacustre. El origen de esta variante climática se encuentra en la acción termoreguladora del Lago Titicaca, la cual consiste en la absorción de calor durante las horas de sol y su pérdida lenta en las noches, permitiendo que los vientos del SE, que soplan sobre el lago, se calienten y humedezcan, elevando y manteniendo constantemente las temperaturas, cuyo promedio oscila entre 9.5°C y 5.5 °C, siendo los meses con temperaturas más bajas junio y julio. Este sub tipo climático es el más favorable

de todos para las actividades agrícolas, debido a que el fenómeno descrito evita las caídas extremas de las temperaturas mínimas (INRENA 2002⁴¹).

La humedad relativa presenta una variación uniforme durante el año, su valor medio oscila alrededor del 60 al 70 %, el cual es bastante adecuado para el altiplano, constituyendo la más clara comprobación de las condiciones climáticas, ya que este factor meteorológico es un verdadero termo-regulador medio ambiental. El total de horas de sol alcanza su máximo valor, de 280 horas, durante los meses invernales; la nubosidad es de 5/8 a 8/8 en primavera y verano debido a que el cielo permanece parcial o totalmente cubierto, mientras que en otoño e invierno se tiene frecuentemente un cielo despejado (INRENA 2002⁴⁶).

Se identifica un periodo de lluvias y un periodo seco; la precipitación promedio es de 700 mm al año, teniéndose como meses más lluviosos entre enero y marzo, el periodo seco generalmente se da entre los meses de mayo y agosto (INRENA 2002⁴⁶), efectuándose en cada periodo la toma de muestras.



FIGURA N° 9: *Schoenoplectus tatora* de la desembocadura del río Ramis

41 MINISTERIO DE AGRICULTURA – INRENA. 2002. “Evaluación y Recuperación de los Recursos Naturales y Contaminación Ambiental en la Cuenca del río Ramis”.

2.2.- UBICACIÓN TEMPORAL

La presente investigación se desarrollará entre el 2005 – 2007.

2.3.- UNIDAD DE ESTUDIO

Población: *Schoenoplectus tatora* de la desembocadura del río Ramis

Muestras: Aleatorio simple. Diez (10) muestras de *Schoenoplectus tatora* con doble repetición.

3.- ESTRATEGIA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

- **Descripción biológica de *Schoenoplectus tatora*:**

Esta se realizará utilizando información documentada: libros, estudios realizados, tesis.

- **Identificación de la presencia de metales pesados en la cuenca del río Ramis:**

Para determinar la existencia de metales pesados en la cuenca del río Ramis, se hará uso de los datos de informes técnicos y/o de estudios realizados. Así mismo se hará una inspección ocular desde los orígenes de la cuenca hasta la desembocadura del río con el fin de conocer la realidad ambiental de la cuenca. Se realizará una encuesta a los pobladores para determinar el grado de conocimiento del peligro y riesgo de los metales pesados tanto para la salud como para el ecosistema.

- **Cuantificación de los metales pesados en *Schoenoplectus tatora*:**

Se tomarán las correspondientes muestras, disponiéndolas en envases de plástico previamente lavados dos o tres veces e identificándolas adecuadamente. Para minimizar la biodegradación de las muestras, se debe guardar la muestra a baja temperatura sin congelación. Antes del envío al laboratorio, se empacará las muestras en hielo triturado en conservadores de plastofom y deben mantenerse a 4° C antes y después de la llegada al laboratorio. El transporte de las muestras deberá efectuarse con el suficiente cuidado al efecto de evitar derrames, pérdidas o contaminación de las mismas por otras sustancias, así como posibles

alteraciones debidas a acciones mecánicas, calentamiento excesivo o exposición a luz intensa.

Se utilizará el método del cuadrante (1m²), seleccionando 1 Kg de tallo verde para su análisis. Estas muestras serán tomadas al azar. El trabajo de laboratorio consistirá en el secado y digestión de las muestras. Para determinar Hg será por absorción atómica en un sistema de vapor frío – FIAS. El Cu, Pb, As y Cd serán determinados por absorción atómica, técnica de flama y horno de grafito.

Las muestras al llegar al laboratorio serán nuevamente lavadas con agua desionizada. Estas muestras serán secadas en estufa a 105°C para los elementos: Cu, Pb y Cr; mientras que en Hg y As la temperatura será de 40 - 50°C sometidos a una digestión ácida; las muestras secas serán fragmentadas. La concentración de metales pesados se dará en miligramos/kilogramo de las muestras recolectadas.

IV. CRONOGRAMA

Tiempo Actividad	Meses						
	Jun	Jul	Agos	Set	Oct	Nov	Dic
Elaboración del proyecto	X	X					
Aprobación del proyecto			X				
Recolección de datos			X	X			
Estructuración:							
o Ordenamiento de datos					X		
o Estudio y resultados					X	X	
Presentación de tesis							X
Aprobación y sustentación de tesis							X

V. BIBLIOGRAFIA BASICA

- ANDERSON R. 1977. "Concentration of cadmium, copper, lead and zinc in thirty – five genera of freshwater macroinvertebrates from the Fox river, Illinois and Wisconsin: Bulletin of Environmental contamination and toxicology". Volumen 18; 345 – 349 pp.
- AQUINO E. *et al.* 2003. "Contaminación por mercurio y cianuro en el Distrito Minero de Ananea – Puno". Reflexiones y Propuestas: Revista de investigación de estudiantes, egresados, docentes y administrativos - Oficina Universitaria de Investigación. Universidad Nacional del Altiplano – Puno. Editorial Universitaria; Puno – Perú; 153 pp.
- BAKER, A., MCGRATH, S, REEVES,, D y SMITH, J. 2000. "Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal-polluted soils". En: *Phytoremediation of Contaminated Soil and Water* (eds. Terry, N. y Bañuelos, G.), Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA. 85-107 pp.
- BARCELÓ, J., POSCHENRIEDER, C., LOMBINI, A., LLUGANY, M., BECH, J. y DINELLI, E. 2001. "Mediterranean plant species for phytoremediation. En: Abstracts Cost Action 837 WG2 workshop on Phytoremediation of Trace Elements in Contaminated Soils and Waters with Special Emphasis on Zn, Cd, Pb and As". Ed. Universidad Complutense Madrid, Faculty of Chemistry, Madrid. 23 pp. Disponible en: <http://Ibwww.epfl.ch/COST837>.
- BARCELÓ, J. y POSCHENRIEDER, C. 2003. "Phytoremediation: principles and perspectives". Contributions to Science 2(3). Institut d'Estudis Catalans, Barcelona; 333-344 pp.
- BEHMER, S., LLOYD, C., RAUBENHEIMER, D., STEWART-CLARK, J., KNIGHT, J., LEIGHTON, R., HARPER, F. Y SMITH, J. 2005. "Metal hyperaccumulation in plants: mechanisms of defence against insect herbivores". *Functional Ecology* 19: 55-66 pp.
- BIRLEY, N. y LOCK, K. 1999. "Health and peri-urban natural resource production". *Environment and Urbanisation* 10(1): 89-106 pp.
- BOCARD E. 2007. "Manejo de residuos solidos urbanos e industriales". Curso de post grado. Universidad Católica de Santa Maria, Arequipa.
- BONALY J. *et al.* 1986. "Cadmium effects on the energetics of *Euglena* during the development of cadmium resistance: Journal of plant physiology". Volumen 123; 349 – 358 pp.
- BRACK A. y CECILIA MENDIOLA. 2000. "Ecología del Perú". Editorial Bruño. Lima – Perú; 494 pp.

- BURTON D. *et al.* 1972. “Acute zinc toxicity to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) confirmation of the hipótesis that death is related to tissue hypoxia: Journal of the Fisheries research board of Canada.” Volumen 29; 1463 -1466 pp.
- CASTRO J. y M. MONROY. 2002. “Parámetros Geológicos de Protección Ambiental, Geoquímica, Minería y Medio Ambiente”. San Luís de Potosí, México. UNESCO – INGEMMET – Perú.
- CARPENTER K. 1924. “A study of the fauna of rivers polluted by lead mining in the Aberystwyth District of Cardiganshire: Annals of Applied Biology”. Volumen 11; 1-23 pp
- CARPENTER K. 1926. “The lead mine as an active agent in river pollution: Annals of Applied Biology”. Volumen 13; 395-401 pp
- CURTIS HELENA y SUE BARNES. 2001. “Biología”. 6º Edición en español. Editorial Médica Panamericana. Madrid – España; 1498 pp.
- CHANEY, R., REEVES, P., RYAN, J., SIMMONS, R., WELCH, R. y SCOTT ANGLE, J. 2004. “An improved understanding of soil Cd risk to humans and low cost methods to phytoextract Cd from contaminated soils to prevent soil Cd risks”. *BioMetals* 17: 549-553 pp.
- DIRECCION REGIONAL ENERGIA Y MINAS, INRENA y MINSA. 2001. “Evaluación ambiental preliminar del CPM La Rinconada – Ananea” – Puno.
- DEJOUX C. y ILTIS A. “El Lago Titicaca. Síntesis del conocimiento limnológico actual. ORSTOM. La Paz – Bolivia; 578 pp.
- DEVORE J. 1998. “Probabilidad y Estadística: para ingeniería y ciencias”. Cuarta Edición. Editorial Internacional Thomson. Mexico; 712 pp.
- FILBRIN G. y R. HOUGH. 1979. “The effects of exceso copper sulphate on the metabolism of the duckweed *Lemna minor*”. Aquatic Botany. Volumen 7; 79 – 86 pp.
- GUTIERREZ A. 1997. “Concentraciones de metales pesados en la vegetación autóctona desarrollada sobre suelos del entorno de una mina abandonada (sistema Iberico, Bubberca-Zaragoza)”. En Boletín Geológico y Minero. Volumen 108. Nº 1; 69-74 pp.
- GOYZUETA R y MARON J. 2001. “Totora *Schoenoplectus tatora* como descontaminante de plomo y hierro en lechos acuáticos, Puno – Perú. Tesis – UCSM; 76 pp.
- HUGHES G. 1988. “Changes in blood of fish following exposure to heavy metals and acid”. En Yasuno M. y B. Whitton. Biological monitors of environmental pollution: Tokai University. Press, Tokai; 11 – 17 pp.

- HUGHES G y L. TORT. 1985. "Cardio – respiratory responses of rainbow trout during recovery from zinc treatment: Environmental pollution . Serie A. Volumen 37; 560 – 562 pp.
- JARA MARIA. 2003. "Distribución de metales pesados en agua y sedimentos y sus efectos sobre la vida acuática en la cuenca superior del Río Santa". Tesis presentada a la Universidad Nacional de Ingeniería para obtener el grado de Magíster en Ciencias. Lima, Perú; 168 pp.
- KUEHL R. 2001. "Diseño de experimentos". Segunda edición. Editorial Thomson Learning. Mexico; 661 pp.
- LASAT, M., PENCE, N., GARVIN, D., EBBS, S. y KOCHIAN, L. 2000. "Molecular physiology of zinc transport in the Zn hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*". *J. Exp. Botany* 51: 71-79 pp.
- LEWANDER M. 1996. "Macrophytes as indicators of bioavailable Cd, Pb and Zn flor in the river Przemsza, Katowice Región. En Applied Geochemistry. Vol.11. Copyright Elsevier Science Ltd; 169- 173 pp.
- MACNAIR, M. 2003. "The hyperaccumulation of metals by plants". *Advances in Botanical Research* 40: 63-105 pp.
- MARTENS, S. y BOYD, R. 1994. "The ecological significance of nickel hyperaccumulation-a plant chemical defense". *Oecologia* 98: 379-384 pp.
- MARTÍNEZ, M., BERNAL, P., ALMELA, C., VÉLEZ, D., GARCÍA-AGUSTÍN, P., SERRANO, R. Y NAVARRO-AVIÑÓ, J. 2006. "An engineered plant that accumulates higher levels of heavy metals than *Thlaspi caerulescens*, with yields of 100 times more biomass in mine soils. *Chemosphere* 64(3): 478-485 pp.
- MCGRATH, SP., SIDOLI, C., BAKER, A. y REEVES, R. 1993. "The potential for the use of metal-accumulating plants for the in situ decontamination of metal-polluted soils". En: *Integrated Soil and Sediment Research: A Basis for proper Protection*, (eds. Eijsackers, H.J.P. y Hamers, T.). Kluwer Academic Publishers, 673-676 pp.
- MCGRATH, SP., LOMBI, E., GRAY, CW., CAILLE, N ., DUNHAM, SJ . y ZHAO, F.J . 2006. "Field evaluation of Cd and Zn phytoextraction potential by the hyperaccumulators *Thlaspi caerulescens* and *Arabidopsis halleri*". *Environmental Pollution* 141(1): 115-125 pp.
- MEAGHER, R., RUGH, C., KANDASAMY, M., GRAGSON, G. y WANG, N. 2000. "Engineered phytoremediation of mercury pollution in soil and water using bacterial genes". En: *Phytoremediation of Contaminated Soil and Water* (eds. Terry, N. y Bañuelos, G.). Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA, 201-220 pp.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA – INRENA. 2002. "Evaluación y Recuperación de los Recursos Naturales y Contaminación Ambiental en la Cuenca del río Ramis". Dirección General de Asuntos Ambientales - Puno.

- MINISTERIO DE AGRICULTURA – INRENA. 2003. “Monitoreo de la Calidad de Aguas Superficiales del Río Crucero”. Perú; 45 pp.
- MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS. 1997. “Informe de Inspección Especial de Verificación del Cumplimiento de las Normas de Seguridad e Higiene Minera y Medio Ambiente, dentro de las concesiones mineras de Corporación Minera Ananea S.A, Audita S.A.”. Lima - Perú.
- MILLER y TYLLER. 2002. “Introducción a la Ciencia Ambiental”. Editorial Thompson. Madrid, España; 456 pp.
- MEDINA G. 2001. “Mitigación del mercurio en la minería artesanal y pequeña minería aurífera del Perú”. En la Jornada internacional sobre el impacto ambiental de la utilización del mercurio utilizado por minería aurífera artesanal en Iberoamérica. Proyecto PEMIN – MEM. Lima – Perú.
- NORET, N., TOLRÀ, R., POSCHENRIEDER, C., BARCELÓ, J. 2005. “Palatability of *Thlaspi caerulescens* for snails: influence of zinc and glucosinolates”. *New Phytol.* 165: 763-772 pp.
- PEÑA C. *et al.* 2001. “Toxicología Ambiental: Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental”. University of Arizona. 150 pp.
- PELT.1999. “Investigación y monitoreo de los Ríos Carabaya-Ramis, Cabanillas y del Lago Titicaca”. Puno - Perú; 62pp.
- PLUMLEE G. y M. LOGSDON. 1999. “The environmental geochemistry of mineral deposits”. Part A: processes, techniques and health issues. Volume 6A. Michigan – USA; 369 pp.
- POSCHENRIEDER, C., TOLRÀ, R. y BARCELÓ, J. 2006. “Can metals defend plants against biotic stress?” *Trends in Plant Science* 11: 288-295 pp.
- RESERVA NACIONAL DEL TITICACA. 2002. “Plan Maestro”. Puno – Perú; 81 pp.
- RESERVA NACIONAL DEL TITICACA. 2003. “Guía Metodológica de Educación Ambiental”. Puno – Perú; 133 pp.
- RIVERA H. 2001. “Introducción a la geoquímica general y aplicada”. Lima- Perú, 279.
- RYTUNA J. 2000. “Mercury Geoenvironmental Models, In Progress on Geoenvironmental Models for Selected Deposit Types”. U.S Geological Survey. File Report 02-195, online version 1.0.
- ROJAS L. 2001. “Problemática de la mina Rinconada y su formalización”. I Foro sobre la Minería Informal en el Perú. Nazca – Perú.
- SAMECKA A. 1998. “Background concentrations of heavy metals in aquatic bryophytes used for biomonitoring in basaltic areas (a cases study from central France)”. En *Environmental Geology* Vol.39. Nº 2; 119-122 pp.

- SALT, D. 2006. "An extreme Plant Lifestyle: Metal Hyperaccumulation". En: Plant Physiology Online. Chapter 26. Essay 26.2. Disponible en: <http://4e.plantphys.net/article.php?ch=&id=356>
- SCHAT, H., LLUGANY, M. y BERNHARD, R. 2000. "Metal-specific patterns of tolerance, uptake and transport of heavy metals in hyperaccumulating and nonhyperaccumulating metallophytes". En: *Phytoremediation of Contaminated Soil and Water* (eds. Terry, N. y Bañuelos, G. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA), 171-200 pp
- SCHAT, H., LLUGANY, M., VOOIJS, R., HARTLEY-WHITAKER, J. y BLEEKER, P.M. 2002. The role of phytochelatins in constitutive and adaptive heavy metal tolerances in hyperaccumulator and non-hyperaccumulator metallophytes. *J. Exp. Bot.* 53: 2381-2392 pp.
- SMITH K. y H. HUYCK. 1998. "An Overview of the abundance, relative mobility, bioavailability and human toxicity of metals". En Plumlee and Longsdon: The environmental geochemistry of mineral deposits. Part A: Processes, techniques and health issues. Vol. 6^a. Michigan – USA; 29-70 pp.
- TEWARI H. y J. PANT. 1987. "Impact of chronic lead poisoning on the haematological and biochemical profiles of a fish, *Barbas conchoniis*: Bulletin of environmental contamination and toxicology. Volumen 38; 748 – 752 pp.
- UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO Y UNIVERSIDAD MONTANA TECH, CALIFORNIA – USA. 2003. "Evaluación Ambiental de Procesamiento de Oro por Amalgamación por Mercurio". Puno.
- UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO y UNIVERSIDAD DE BRITISH, COLUMBIA – CANADÁ .1988. "Experimentos con la totora *Schoenoplectus tatora* como agente purificador del agua". Puno.
- UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA. 1999. "Investigación y Monitoreo de los Ríos Carabaya-Ramis, Cabanillas y del Lago Titicaca". Lima, Perú.
- VÁZQUEZ, S., GOLDSBROUGH, P. y CARPENA, R.O. 2006. "Assessing the relative contributions of phytochelatin and the cell wall to cadmium resistance in white lupin". *Physiologia Plantarum* 128 (3): 487-495 pp.
- VAUX P., *et al.* 1988. "Ecology of the pelagic fishes of Lake Titicaca, Perú - Bolivia". *Biotropica* N° 20; 220-229 pp.
- WUST W. 2003. "Santuarios Naturales del Perú: El Titicaca y la Magia de los Andes del Sur". Primera edición. Ediciones PEISA S.A.C. Lima – Perú; 152 pp.
- WHO. 1990. "Methylmercury. Environmental Health". Geneva.

Páginas web

BIORREMEDIACIÓN: organismos que limpian el ambiente.
<http://www.porquebiotecnologia.com.ar>

BEAUREGARD G. <http://personales.com/mexico/villahermosa/fitorem>.

CONTAMINANTES QUÍMICOS: Comunes de los Abastecimientos de Agua Municipales. <http://espanol.ei-resource.org/contaminantes-de-aqua.asp>

CONTAMINACIÓN DE AGUAS Y ALIMENTOS. <http://www.alimentosysalud.cl>

MINERALES, METALES, COMPUESTOS QUÍMICOS Y SERES VIVOS: Una difícil pero inevitable convivencia. 2000. www.science.mcmaster.ca/Biology

LA FITOEXTRACCIÓN Y FITOESTABILIZACIÓN en la recuperación de suelos.
<http://www.ecotropia.com>

HIPERACUMULACIÓN DE METALES: ¿una ventaja para la planta y para el hombre? <http://www.revistaecosistemas.net/pdfs>

ARSENICO. <http://www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/As.htm>