



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Grupo de Investigación en Cooperación y
Desarrollo Humano - GRECDH



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Instituto Universitario de Investigación
en Ciencia y Tecnologías de la Sostenibilidad

**“ESTUDIO PARA EL DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DEL MEDIO AMBIENTE EN
LA ZONA DEL LAGO TITICACA”**

Informe final

Cristina Yacoub López

Núria Miralles Esteban

Barcelona, 25 de mayo de 2012

Resumen

El presente estudio fue llevado a cabo en la parte norte de la cuenca del Titicaca mediante un monitoreo de sedimentos y macroinvertebrados, realizado en el mes de Noviembre del 2011, además del uso de índices desarrollados para la evaluación de la calidad ecológica de la Región Puno. El estudio nace a partir de la identificación por parte de la Unidad de Gestión del PROPECA para alcanzar el objetivo transversal de la adecuada administración basada en el ecosistema, en la pesca y acuicultura en el marco del “Programa de Apoyo a la Pesca Artesanal, la Acuicultura y el Manejo Sostenible del Ambiente-PROPECA”.

La participación en el Simposio Internacional “El Estado del Lago Titicaca: Desafíos para una Gestión Basada en el Ecosistema” por parte de la Universitat Politècnica de Catalunya, permitió conocer el estado del Lago Titicaca, incluyendo la problemática, actores, acciones y estudios realizados. El Simposio representó una primera aproximación muy detallada de la problemática de Lago, así como se conoció a las diversas instituciones que trabajaban relacionadas con el medio ambiente en el Lago.

Posteriormente, se realizó un estudio preliminar para recopilar la información necesaria para la obtención de un sistema de monitoreo en la Región Puno, estableciéndose reuniones con diversas instituciones que trabajan el tema ambiental en la Cuenca permitiendo, no solo recoger información, sino ser asesorados sobre las distintas zonas de la cuenca, destacando las zonas de mayor afectación. La información recopilada fue complementada con diversas inspecciones de campo que permitieron conocer la realidad in situ, de manera que se pudo establecer mejor la ubicación de los puntos seleccionados para la evaluación de la calidad ecológica.

Índice

Resumen.....	2
Índice	3
Índice de Tablas	4
Índice de Figuras	4
Glosario.....	5
Introducción	6
Objetivos	8
Metodología del Trabajo.....	8
Metodología del monitoreo.....	8
Metodología de análisis de sedimentos.....	12
Desarrollo del protocolo de calidad ecológica	15
Resultados del Trabajo.....	16
Implementación de un monitoreo ambiental piloto.....	16
Metales traza en sedimentos.....	19
Protocolo de calidad ecológica.....	25
Conclusiones.....	32
Referencias	33
Anexos	35
Anexo 1: Fichas a rellenar en campo y fichas del Protocolo CERA	35
Anexo 2: Lista de chequeo de equipos y materiales necesarios.....	35
Anexo 3: Recopilación de los puntos muestreados y la información recogida.....	35
Anexo 4: Recopilación de los macroinvertebrados obtenidos en cada punto de muestreo	35

Índice de Tablas

Tabla 1: Coordenadas UTM y código de muestra de los puntos monitoreados.....	10
Tabla 2: Secuencia de temperatura, potencia y tiempo utilizados en la digestión por microondas.....	13
Tabla 3: Media, desviación estándar, DS, y coeficiente de variación, CV, para el punto A0.....	20
Tabla 4: Concentraciones totales de sedimentos para cada punto monitoreado.....	20
Tabla 5: Escala de valores del índice IHF.....	25
Tabla 6: Rangos de calidad de conservación de la vegetación de ribera.....	27
Tabla 7: Rangos de calidad del ABI.....	29
Tabla 8: Condiciones para el establecimiento del Estado Ecológico.....	31
Tabla 9: Índice CERA resultante de los puntos monitoreados.....	31

Índice de Figuras

Figura 1: Fotos tomadas en los puntos C1 y C2.....	15
Figura 2: Fotos tomadas en el punto A1.....	16
Figura 3: Fotos tomadas en el punto H1.....	16
Figura 4: Fotos tomadas en los puntos T1 y S1.	17
Figura 5: Fotos tomadas en los puntos R-D y C-D.....	18
Figura 6: Muestreador de sedimentos en los puntos R-D y C-D.....	19
Figura 7: Datos obtenidos para la extracción secuencial SES-BCR de 3 etapas	23
Figura 8: Datos obtenidos en cada punto de monitoreo para el índice IHF.....	26
Figura 9: Resultados del índice QBR-And en cada punto de monitoreo.....	28
Figura 10: Resultados del índice ABI en cada punto de monitoreo.....	29

Glosario

ABI: Andean Biotic Index

ANA: Autoridad Nacional del Agua

Antigua minería: minería de socavón

BCR: Bureau Community of Reference de la Comisión de las Comunidades Europeas

Bentónico: *sin. Béntico.* Organismos animales o vegetales que viven en contacto o en dependencia directa del fondo de mar o de los cuerpos de agua continentales.

BMWP: Biological Monitoring Working Parking

Calidad Ecológica, Salud Ecológica o Integridad Biológica: mide la calidad a partir de cambios estructurales medidos a nivel de comunidad de organismos (en el presente documento, específicamente macroinvertebrados).

CERA: Calidad Ambiental de Ríos Alto andinos

DMA: Directiva Marco del Agua

DIREPRO: Dirección Regional de la Producción

Elemento traza o metal traza: se encuentran en el texto indistintamente, son metales y semimetales que en pequeñas cantidades pueden ser tóxicos para la salud humana y también para la flora y la fauna.

Estado Ecológico: se considera la evaluación del estado de ecología en los ríos a partir de la medida de cambios con una visión holística del ecosistema. Incluye mediciones de cambios en la calidad ecológica, la hidrología, la hidromorfología y la físico-química, de manera que se pueda determinar si el río presenta alteraciones o se encuentra en un buen estado.

FONCHIP: Fondo de Cooperación Hispano Peruano

ICP-OES: espectrometría de emisión atómica por plasma acoplado inductivamente

ICP-MS: espectrometría de masas por plasma acoplado inductivamente

IMARPE: Instituto del Mar del Perú

Macroinvertebrados: Organismos no vertebrados, macroscópicos del agua dulce, componentes de la cadena alimenticia.

MINAM: Ministerio del Ambiente

Nueva minería: minería a cielo abierto

Perturbación o alteración: hace referencia a cualquier alteración del ecosistema acuático debido a la acción humana en el mismo.

PEL: nivel de efecto probable (probable effect level)

SQG: Standard Quality Guidelines

TEL: nivel umbral de efecto (threshold effect level)

Introducción

La actividad minera, tanto la llamada actual como antigua, ha sido considerada como fuente de contaminación, por su alta capacidad de introducir *elementos traza* en los ecosistemas acuáticos, atmosféricos y terrestres debido al proceso extractivo en sí mismo. La extensión y el grado de contaminación por metales traza en las zonas cercanas a las actividades mineras, pueden variar dependiendo de las características geoquímicas, la mineralización, las condiciones fisicoquímicas y los procesos usados para extraer los metales.

La mayor preocupación en cuanto se refiere a contaminantes en la zona de estudio es la posible presencia de metales traza en niveles altos, como posible afectación de la actividad minera. Esta preocupación se justifica por el conocimiento de los impactos que suelen generar este tipo de actividades de extracción de recursos y de la riqueza en metales por la que se caracteriza la Cordillera Andina.

En muchas partes del mundo, se han contaminado los cauces de los ríos y las llanuras de inundación, como resultado de la extracción de minerales que acaban generando concentraciones elevadas de metales, y que pueden afectar la calidad ambiental de la zona así como la salud pública, llegando a poner en peligro la vida humana y el desarrollo humano sostenible. Los metales traza están considerados como contaminantes inorgánicos peligrosos debido a sus efectos tóxicos en los organismos, hecho ampliamente difundido por la Organización Mundial de la Salud y las diversas agencias gubernamentales medioambientales del mundo, incluyendo el Perú, como el Ministerio de Ambiente y el Ministerio de Salud¹.

En los casos de contaminación de ecosistemas acuáticos, los sedimentos constituyen un material fundamental para conocer el grado de contaminación de una determinada zona; funcionan como depósitos para los metales traza provenientes de diversas fuentes, reflejando tanto la composición natural de la zona como la actividad humana de las mismas (Arain 2008). El término sedimento se refiere a los depósitos al fondo de los ecosistemas acuáticos compuestos de material (de varios tamaños, formas, mineralogía) de diferentes fuentes (terrágenas, biogénicas y autigénicas) (Canadian Council, 1999).

La contaminación de los sedimentos, prolonga el tiempo de residencia de los contaminantes en las cuencas de los ríos, retardando su transporte debido a su baja velocidad de biodegradación. La clave para entender los complejos procesos de transporte de metales en una cuenca, depende en gran medida de (i) las condiciones climáticas a las que está expuesta

¹ Se destaca la regulación de los mencionados contaminantes con el Ministerio de Salud a través de la Ley General de Salud, N° 26842, en lo concerniente a la protección del ambiente para la salud y el D.S.N° 031-2010-SA, que aprueba el reglamento de la Calidad de agua para Consumo Humano. El Ministerio del Medio Ambiente también considera la implicación de los metales y lo regula en relación a la Ley General del Ambiente, N° 28611, al D.S N° 002-2008-MINAM, que aprueba los estándares de calidad ambiental (ECA) y al D.S. N° 023-2009- MINAM, que aprueba las disposiciones para implementar los ECAs.

la cuenca (precipitaciones, humedad, etc.), (ii) el continuo intercambio entre agua y sedimentos durante las fases de asentamiento y, (iii) la re-suspensión de partículas contaminadas durante el transporte, pudiendo impactar en zonas menos contaminadas o libres de contaminación ubicadas aguas abajo. Por todo ello, en situaciones de elevada descarga hídrica, aumenta el riesgo de dispersión de los metales por la cuenca, debido al aumento de la cantidad de sedimentos atrapados en ésta. Así, es posible que los metales acumulados en las llanuras aluviales y los cauces del río sirvan como fuentes de contaminación en un futuro. Según Macklin (2006), los sedimentos contaminados por desechos de mina de las llanuras aluviales o de inundación, representan una gran fuente de contaminación difusa de metales. Es probable que se conviertan en los mayores suministradores de metales asociados a sedimentos debido al aumento del cauce en cuencas contaminadas por metales.

En los últimos años, se han publicado diversos estudios sobre metales tóxicos acumulados en sedimentos, y sus posibles efectos ecológicos y sobre la salud humana. En este sentido, se señala la necesidad de medir la disponibilidad y la movilidad de los metales en las muestras para entender su comportamiento y prevenir peligros potencialmente tóxicos (Gismera, 2004).

En resumen, en ríos contaminados por metales traza, los sedimentos consisten en una mezcla compleja de varias fases geoquímicas que contienen metales potencialmente tóxicos, debido a su resistencia a la descomposición química. Estos metales son almacenados en los sedimentos bajo unas condiciones determinadas, y en caso de alteración de las condiciones físico-químicas del sistema, es posible que los metales almacenados sean liberados y produzcan en ese caso un impacto ambiental. Cabe destacar que en el caso de los impactos producidos por actividades mineras, una de las principales fuentes de contaminación por metales está en forma de sólidos en suspensión, que acabarán depositándose en los sedimentos de los ríos.

En todo el mundo se está generalizando la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de las aguas de los ecosistemas (ríos, lagos o humedales). Es interesante el proceso abierto en la Unión Europea, donde la indicación biológica es el núcleo de todo el sistema de monitoreo y evaluación de la calidad del agua de sus 27 países, dando incluso a luz a un nuevo concepto, el "Estado Ecológico". Todos los países miembros han aplicado la Directiva Marco del Agua (DMA) la cual tiene muy presente el uso de los macroinvertebrados para la determinación de la calidad ecológica. Esto ha significado una revolución en la forma como los gobiernos europeos deben contemplar los indicadores biológicos de calidad del agua (*Directiva 2000/60/EC*).

Resulta relevante encontrar un sistema eficaz y sencillo para evaluar la calidad del ambiente, más aún en contextos asociados a fuentes de contaminación en lugares aislados y de difícil regulación, como es el caso de la minería de cielo abierto en la cabecera de la cuenca. Se considera apropiado basarse en la DMA para decidir que los macroinvertebrados son un buen indicador de la contaminación del agua, de sencilla aplicación y entendimiento que permite una

mayor implicación por parte de la sociedad civil. Además, una vez validado, presenta unos costos menores con relación a los análisis de agua o sedimentos. Por ello, se prevé la determinación de los macroinvertebrados mediante el Índice Biótico Andino, integrado en el protocolo CERA (Calidad ecológica de los Ríos Andinos). Dicho protocolo incorpora dos índices más, el índice de la vegetación de la ribera y el índice del hábitat fluvial, que determinan si la calidad del ecosistema restringe la existencia de macroinvertebrados. La intención de incorporar los análisis ecológicos, además de complementar el estudio es aportar nuevas metodologías más didácticas y menos costosas en la zona.

Objetivos

El objetivo del presente estudio es diseñar e implementar un sistema de monitoreo ambiental con un doble enfoque: (i) conocer el estado actual del medio ambiente (línea base) determinando la calidad ecológica de la zona estudiada, que permita el establecimiento de políticas y normas de protección y conservación de la calidad ambiental y los recursos naturales, y (ii) determinar la existencia de alteraciones por metales traza en la región que puedan afectar al aprovechamiento sostenible del recurso hídrico.

Se destaca la implementación de dicho estudio con la voluntad de tener un enfoque holístico que permita determinar el estado ecológico de los ríos. Es decir, monitorear el estado actual de los ríos para saber si es bueno o por el contrario, existe una afectación de éste. En este sentido se incorpora la medición de metales traza en sedimentos, así como la utilización de protocolos que permiten medir cambios en los macroinvertebrados, fauna, hidrología e hidromorfología. La presente metodología pretende ampliar el monitoreo de parámetros físico-químicos tal como está descrito en Protocolo Nacional de la Calidad de Cuerpos Naturales de Agua Superficial desarrollada por la Autoridad Nacional de Agua-ANA, al D.S N° 002-2008-MINAM, que aprueba los estándares de calidad ambiental (ECA) y al D.S. N° 023-2009- MINAM, que aprueba las disposiciones para implementar los ECAs. De esta manera se pretende mejorar e integrar otras variables de manera que se pueda ver la alteración del recurso hídrico con una visión ecosistémica.

Para ello, se pretende desarrollar y sistematizar una metodología para el monitoreo de este sector que cubra los siguientes aspectos: (i) diseño del monitoreo en la región, (ii) implementación de una primera campaña de monitoreo de sedimentos y macroinvertebrados, (iii) evaluación de la calidad ecológica de la zona de estudio mediante el análisis de datos generados y recopilados, y (iv) diseminación de los resultados obtenidos.

Metodología del Trabajo

Metodología del monitoreo

El diseño del monitoreo se realizó mediante la relación de tres aspectos: (i) la revisión del estado del arte del monitoreo, (ii) la búsqueda y sistematización de información en la región, y

(iii) la definición de los objetivos del presente estudio. Concretamente, el diseño comprendió de las siguientes actividades:

- Determinación del objetivo del estudio
- Determinación del espacio geográfico donde se realizará el monitoreo, seleccionando puntos que sean considerados representativos
- Determinación del período de tiempo en el cual se va a realizar el monitoreo
- Determinación de la frecuencia con la que se visita el sitio para recoger datos.
- Realización de inspecciones a los lugares donde se va a monitorear con el objetivo de conocer las condiciones físicas del lugar
- Determinación de las especies indicadoras a utilizarse
- Recoger antecedentes e información preliminar del sitio

Determinación del objetivo del monitoreo

El objetivo del presente estudio, como se ha mencionado con anterioridad, es la realización de un primer estudio e implementación de un monitoreo que permita evaluar la situación existente en la región y desarrollar una evaluación de la calidad ecológica que permita construir un sistema de monitoreo en la región. Esto determina todo el diseño del monitoreo, que se centra en esta etapa en el muestreo de sedimentos y de la calidad ecológica mediante el protocolo CERA (detallado a continuación) que incluye el análisis cualitativo de macroinvertebrados. En un segundo informe, se detallará la metodología realizada y se evaluarán los resultados de los metales asociados a los sedimentos, de manera que se pueda determinar el riesgo que puede generar al medio ambiente la presencia de estos metales en los sedimentos. Asimismo, se detallará la información obtenida del protocolo CERA. Finalmente, se correlacionarán todos los datos (los recopilados y los obtenidos mediante el monitoreo), estableciéndose por consiguiente la calidad ecológica de la región y el grado de afectación de la minería en la Región Puno.

Información recopilada

Se ha obtenido diversos informes relativos al estado ecológico del lago Titicaca y su entorno, tanto en relación a la afectación de metales traza en peces como en el medio acuático. Se destacan un total de 16 informes con datos relativos a la calidad del agua en la cuenca del Titicaca. Concretamente, se dispuso de información relativa a las concentraciones obtenidas en diversos puntos de la cuenca desde el año 2006 hasta el 2011, recopilados por varias instituciones. Se destacan los informes realizados por el Instituto del Mar del Perú (IMARPE), la Dirección de Medio Ambiente de la DIREPRO Puno y Colecbi S.A.C. Adicionalmente se dispuso de información cartográfica proporcionada por la página web del MED, del IMARPE y de la Dirección de Recursos Hidrobiológicos del PELT. Una vez procesada toda la información, se pudo concretar cuáles eran las zonas de mayor interés, facilitando la elección del área seleccionada.

Área geográfica seleccionada

En un informe previo de servicios de asistencia técnica, se inspeccionó el área geográfica seleccionada para el estudio de la calidad ambiental del lago Titicaca (Yacoub, 2011). Se visitaron un total de 6 ríos y 22 puntos posibles. Finalmente se seleccionaron nueve puntos:

Tabla 1: Coordenadas UTM y código de muestra de los puntos monitoreados.

Coordenadas UTM		Código	Subcuenca	Río
X	Y			
369685	8292676	C1	Coata	Afluente del río Coata procedente de Lampa
371562	8291093	C2	Coata	Afluente del río Coata procedente de Isla
358964	8367151	A1	Ramis	Río Azángaro aguas arriba de la ciudad de Azángaro
429120	8361120	H1	Huancané	Río Huancané aguas abajo de las mineras de la zona de Ananea
431930	8382276	A0	Ramis	Río Azángaro aguas abajo de las mineras de la zona de Ananea
460201	8350915	S1	Suches	Río Suches aguas abajo de mina La Perla
456304	8367823	T1	Suches	Río suches aguas arriba de la mina
402023	8275627	C-D	Coata	Desembocadura del río Coata
417973	8306133	R-D	Ramis	Desembocadura del río Ramis

Diseño del proyecto de monitoreo

Teniendo en cuenta todos los aspectos arriba mencionados, se diseñó una recogida de un total de 10 muestras para el presente estudio. Se debe notar que una de ellas es una réplica de campo siguiendo las consideraciones de la U.S. EPA 2001 y 2002, por lo que en realidad corresponde a 9 puntos de muestreo. Específicamente:

- Metales y metaloides a monitorear:
 - o El contenido total de As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, Al, Fe, Mn y Sb
 - o La movilidad de As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn
- Número de muestras: 9
- Periodicidad: para el presente estudio se realiza una única campaña de monitoreo, por lo que no se tendrá en cuenta la periodicidad y la frecuencia de las muestras de sedimentos y macroinvertebrados analizados. Sin embargo, se establecerá la periodicidad de los muestreos realizados con anterioridad en las cuencas de estudio.
- Zonas específicas de estudio: detalladas anteriormente.
- En todo punto a monitorear, se debe rellenar la hoja de campo (adjunta en el Anexo 1) con los datos físico-químicos y con los datos del lugar para el desarrollo del protocolo

CERA. Es necesario que la información de la estación de monitoreo quede bien clara para luego poder trabajar con los datos.

- La temperatura, la conductividad y el pH cambian de manera significativa en cuestión de minutos y por ello son medidos en campo. Se utilizó un pHímetro y un conductímetro, para la medición de los parámetros físico-químicos y una red de fitoplancton para la recogida de macroinvertebrados, todo facilitado por el IMARPE. En este caso debe resaltarse que es indistinto la utilización de un equipo multiparamétrico o un pHímetro y conductímetro, siendo lo importante para este caso la fiabilidad del equipo, por lo que resulta importante que los equipos se encuentren calibrados. Para el listado de equipos necesarios para el desarrollo del monitoreo, ver el Anexo 2.

Para las estaciones a monitorear, el interés a estudiar es la posible afectación minera en las estaciones establecidas por el presente estudio. En esas estaciones resulta necesario ir ligeramente aguas abajo del punto de la perturbación (alteración de la calidad ambiental) para hacer el monitoreo, teniendo en cuenta también las mismas condiciones que debe presentar el tramo del río que en la estaciones de monitoreo de referencia.

Para que el muestreo sea lo más representativo posible, las mediciones de los parámetros físico-químicos y la toma de muestras de macroinvertebrados deben realizarse en puntos que representen los tipos de hábitats presentes en la zona de estudio. Para ello, es importante seleccionar zonas donde el agua este bien mezclada, evitando rebosaderos de los embalses, confluencias de ríos poco importantes, lugares de pequeños vertidos, etc. Ya que solo tienen efectos muy localizados en la química del agua de ese tramo, y evaluarían erróneamente el estado del río y las características del agua en el tramo de estudio. Las medidas físico-químicas y recogidas de muestras de agua deben ser tomadas antes o en su defecto, aguas arriba de la zona donde se realicen los otros muestreos (especialmente el biológico) ya que estos pueden alterar algunas de las características del agua (Acosta *et al* 2009).

Se debe destacar la total adecuación de la metodología descrita al Protocolo Nacional de la Calidad de Cuerpos Naturales de Agua Superficial desarrollada por la Autoridad Nacional de Agua-ANA; específicamente al alcance, aplicación y metodología (Artículos 5 y 6 respectivamente). También se destaca la adecuación a la determinación de los puntos de muestreo (Artículo 7). En este estudio no se ha incorporado la totalidad de los parámetros recomendados por el Protocolo Nacional. En ese sentido, cabe resaltar que los parámetros definidos en este estudio han sido creados en base a la información obtenida específica de la Región Puno para el Lago Titicaca, por lo que no se considera necesario incorporar todos los parámetros descritos en el Protocolo Nacional. Como se ha mencionado anteriormente, este estudio incorpora la calidad ambiental, con un enfoque ecosistémico, que complementa el estudio de la calidad del agua medida únicamente con parámetros físico-químicos como se describe en el protocolo desarrollado por el ANA. En este sentido, se considera una aproximación complementaria muy útil el monitorear también mediante sedimentos y

macroinvertebrados, con la intención de que sea una base para futuros protocolos que incluyan un enfoque más holístico para la determinación de la calidad del agua de los ríos alto andino.

En el caso del monitoreo de los sedimentos, que son más sensibles en el error de muestreo, se debe tomar alguna medida de precaución. Para reducir el error de muestreo, es decir, para conseguir que las muestras recogidas representen el sitio que se está monitoreando, se recogerán muestras compuestas dentro de un mismo punto y se mezclarán *in situ*. De esta manera se intentará que la muestra represente el punto de muestreo escogido. Las réplicas de campo proporcionan precisión en las operaciones de campo y de laboratorio, pueden proveer información de la distribución espacial y la heterogeneidad de calidad de sedimento dentro de un punto e implican más número de muestras. Los resultados de las réplicas de campo dependen de la variabilidad o precisión de ambas operaciones de campo y laboratorio (además de la variabilidad misma entre las réplicas de un punto), por lo que podrían resultar difíciles de interpretar (Garau, 2009).

En relación al monitoreo de los macroinvertebrados se debe tener en cuenta varias consideraciones. Previo al muestreo, se realiza un recorrido visual a lo largo del tramo a muestrear y se identifican los diferentes hábitats para macroinvertebrados presentes: zonas lóticas o lenticas, con macrófitos o no, con raíces o con diferentes tipos de sustratos: arena, limo, etc. También es importante fijarse en la vegetación del tramo de río que vamos a estudiar. Es significativo para el monitoreo de macroinvertebrados fijarse si la zona tiene muchos claros, sombras, etc. Se debe realizar el monitoreo en una zona donde haya variedad de tramo, es decir, con zonas hombrías, soleadas, con hojarasca, con piedras, etc. ya que así se consigue tener una variedad de hábitats representativos para realizar dicho monitoreo. El tramo de río evaluado deberá tener una longitud aproximada de 100 metros, en los cuales se seleccionan 10 micro hábitats (puntos) donde se va a realizar el muestreo, teniendo en cuenta todos los tipos de hábitats presentes.

Metodología de análisis de sedimentos

A continuación, se describen los diferentes métodos analíticos utilizados para determinación de metales pesados en los sedimentos de estudio. Primeramente, las muestras siguieron un protocolo de pre-tratamiento de secado y tamizado para poder obtener resultados reproducibles y exactos. Se secaron las muestras de suelo a 105°C hasta peso constante (International Organization for Standardization, 1994), (Chen et al, 2007).

Seguidamente, se separó la muestra según el tamaño de grano mediante una tamizadora automática (FILTRA FTL 0200) separando la muestra a $T_g < 0,063\text{mm}$. La elección del tamaño de grano se basa en la hipótesis que la mayoría de metales traza que se originan debido a una fuente antropogénica probablemente se concentran en el tamaño de grano fino del sedimento y no el sedimento grueso debido a la alta superficie específica de los mismos que ofrecen una mayor superficie de adsorción, y también debido a la atracción iónica de la carga negativa de

las partículas arcillosas (Rubio 2005). Mientras que los metales pesados que se han originado de forma natural, se distribuyen equitativamente en los sedimentos, independientemente del tamaño de grano (Idris, 2008). De esta manera, al analizar el tamaño fino se está evaluando la muestra más representativa a nivel de posible contaminación de los sedimentos.

Los métodos para analizar el contenido elemental total de una muestra requieren una solución homogénea como medio de análisis, la disolución ácida por microondas representa un método sencillo y rápido para la descomposición de suelos (Martínez *et al* 2008). Por tanto, se ha utilizado la digestión ácida por microondas como método de análisis del contenido total de metales en sedimentos con la fracción menor a 0,063mm (fracción fina del sedimento).

Debido a que las muestras de sedimentos de las zonas estudiadas no contienen elevadas cantidades de materia orgánica (que puede producir sobrepresión durante la digestión) se decidió digerir 0,5g de muestra. La temperatura, la potencia y el tiempo de la digestión se decidieron a partir de las instrucciones del método 3052 de la EPA y las instrucciones del microondas (Berghoff MWS – 2) tal como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 2: Secuencia de temperatura, potencia y tiempo utilizados en la digestión por microondas.

Pasos	1	2	3
Temperatura [°C]	140	160	180
Potencia [W]	80	80	80
Tiempo [min]	5	5	20

Finalmente, el análisis ha sido realizado por el *Centro Tecnológico de Manresa CTM*, mediante espectrometría óptica y de masas por plasma acoplado inductivamente (ICP-OES e ICP-MS respectivamente), en función de los analitos.

Análisis del riesgo ecológico de la presencia de metales en sedimentos

Para poder determinar el riesgo ecológico es necesario establecer unos criterios de calidad de sedimentos (SQG por sus siglas en inglés). Considerando los criterios de calidad establecidos por el *Canadian Council of Ministers of the Environment*, se ha estudiado el riesgo de afectación al que está expuesta la cuenca del Titicaca, a partir de los resultados obtenidos en las digestiones por microondas realizadas mediante el nivel umbral de efecto (TEL) y el nivel probable de efecto (PEL).

El TEL representa el límite superior del rango de concentraciones del metal que está dominado por las entradas de datos sin efectos. En este rango de concentraciones los sedimentos ligados a metales no son considerados peligrosos para organismos acuáticos. El PEL representa el límite inferior del rango de concentraciones de metales que están asociadas, normalmente o siempre, con efectos biológicos adversos. El rango de concentraciones de metales entre los valores de estos dos parámetros representa el rango en el cual ocasionalmente se observan efectos. Se han definido rangos de concentraciones de los metales (mejor que valores

absolutos) debido a la variabilidad de los datos disponibles de toxicidad, para proveer una herramienta más flexible con amplia aplicabilidad (Canadian Council, 1999).

Análisis de la movilidad: Extracción secuencial

Los metales pueden existir en diferentes formas en el medio ambiente, donde pueden ser transformados de una forma a otra o existir en diferentes formas simultáneamente. La forma en que se encuentran los metales, también conocida como especiación química varía de forma muy amplia según las condiciones medioambientales. Estas diferencias en la especiación química, afectan al destino del medioambiente y a la biodisponibilidad y el riesgo que suponen al ambiente los metales. Es por todo esto, que el conocimiento de la especiación de los metales puede ser útil para valorar la retención de metales en suelos o sedimentos y con qué facilidad pueden ser liberados (Martínez-Sánchez *et al* 2008).

En este sentido, el esquema de extracción secuencial seleccionado en este estudio, es ampliamente usado para valorar la movilidad y la biodisponibilidad de los metales traza, aportando detalles de la distribución y las fracciones de metales traza en suelos y sedimentos. Así es como se obtiene información valiosa para valorar el riesgo, que no es posible obtener del procedimiento de la digestión total, con la cual se determina el contenido total de metal en el sedimento, pero no su forma. Por lo tanto, el conocimiento de la retención de los metales traza se obtiene de ésta metodología dada una evaluación de la disponibilidad, movilidad o persistencia (Pérez y Valiente 2005, Kartal *et al* 2006). La community bureau of reference (BCR) (ahora llamada Standards, Measurements and Testing programme, SM&T) realizó en 1987 un protocolo estándar de extracción de metales en suelos y sedimentos como una forma fiable debido a la amplia variedad de SES y la falta de comparaciones entre los resultados (Kartal 2006).

Así pues, se estudiarán en las muestras de sedimentos a qué fases están asociados los metales mediante el protocolo SES-BCR y, a partir de ello, se podrá evaluar la posibilidad o no de que las concentraciones presentes en el sedimento pasen al agua en determinadas condiciones medio ambientales. Se ha escogido con el objetivo de cuantificar la fracción móvil para ver si hay una influencia de las zonas mineras. Concretamente, el método utilizado en el presente estudio divide el contenido total de cada metal analizado en el sedimento en las siguientes fases o etapas:

1. Intercambiable, carbonatos
2. Óxidos de Fe y Mn
3. Materia Orgánica
4. Residual

Para ello, la muestra se trata como una sucesión de agentes extractantes de agresividad creciente utilizados en diferentes etapas, que pretenden extraer exclusivamente los elementos traza de una o varias de las fases anteriores. Concretamente:

- Etapa 1: Ácido Acético 0,11 M
- Etapa 2: Cloruro de hidroxilamina 0,1 M ajustada a pH 2
- Etapa 3: Peróxido de Hidrógeno 8,8 M; Acetato de Amonio 1 M ajustado a pH 2

Para conocer la fracción residual o cuarta etapa de metal se ha realizado la diferencia entre la concentración de metal obtenida en la pseudo-digestión y la suma de las tres etapas de la extracción (Martínez-Sánchez *et al* 2008) por considerarla efectiva y económicamente viable. La fracción Residual también podría obtenerse realizando una digestión ácida por microondas al residuo de la Etapa 3 utilizando la misma metodología seguida que para la digestión de la muestra total. Se escogió el primer procedimiento para disminuir el número de muestras a analizar, y así reducir el presupuesto (Planas 2010).

Protocolo de calidad ecológica

En el presente proyecto se ha utilizado el protocolo de evaluación ecológica de ríos andinos, CERA (Acosta *et al*, 2009), una adaptación para ríos andinos del proyecto *Guadalmed* (Asociación Ibérica de Limnología 2011, Cuellar 2002).

El protocolo de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA), desarrollado en este proyecto, tiene como objeto evaluar el Estado Ecológico de los ríos alto andinos. Es decir, ríos que se sitúan a partir de 2500 m.s.n.m. en los Andes (Acosta *et al*, 2009; Ecostrimed, 2011). Para ello ha encontrado metodologías representativas mediante la adaptación de índices de medidas de la calidad de la ribera, el hábitat fluvial y los macroinvertebrados bentónicos. Este protocolo pretende elaborar un manual de toma de muestras y de cálculo de diferentes métricas de evaluación de la calidad del agua de los ríos alto andinos que incluyen los macroinvertebrados bentónicos, el hábitat fluvial y los ecosistemas de ribera.

El protocolo incluye la utilización de varios índices desarrollados en el presente estudio: (i) el índice IHF para la evaluación del hábitat fluvial, (ii) la adaptación del índice QBR a la zona andina dando lugar al QBR-And para la calificación del bosque de ribera, en este caso para comunidades de Pajonales, Páramos y Punas, (iii) la creación del índice de macroinvertebrados Andean Biotic Index (ABI) basado en el IBMWP español y (iv) el protocolo para establecer si los ríos estudiados pueden ser o no buenos candidatos a puntos de referencia. Las fichas de campo utilizadas que incluyen los mencionados índices se encuentran en el Anexo 1 y en el siguiente informe se presentaran los datos obtenidos y un análisis de éstos.

Resultados del Trabajo

Implementación de un monitoreo ambiental piloto

La recogida de las muestras analizadas tuvo lugar en noviembre del 2011. Se recogieron todas las muestras, en los puntos planificados según el estudio previo de la zona y de la información recopilada. Para el caso de las muestras de sedimentos, se homogeneizaron los sedimentos de varias partes de un mismo río antes de embotellar y preservar en hielo. Se recogieron un 10% de réplicas de campo, que corresponde a 9 muestras de sedimentos y una réplica. A continuación se detallan las salidas a campo para la recolección de las muestras.

Primera salida de monitoreo

La primera salida a campo empezó a las 5:00 de la mañana el martes 22 de noviembre del 2011. El equipo para esta salida correspondía a un total de cuatro personas. De los puntos seleccionados, se monitorearon dos puntos en la subcuenca del río Coata, aguas arriba de la ciudad de Juliaca.

Para los puntos C1 y C2 se han anotado datos de campo y de las botellas en una ficha y se ha rellenado la ficha correspondiente al protocolo CERA (Anexo 1). En cada punto, se han medido el pH, la conductividad y la temperatura del agua con los equipos facilitados por el IMARPE, se han anotado todos los demás datos de campo y se han tomado fotografías.

Se han recogido, etiquetado y preservado las muestras de sedimentos (preservadas en hielo) y de macroinvertebrados (preservadas en alcohol). Se han recogido dos muestras en cada punto de muestreo (una muestra se queda en Perú y otra se envía a Barcelona para su análisis).



Figura 1: Fotos tomadas en los puntos C1 y C2. Fuente propia

Al ser la primera salida de campo, previamente se coordinó los aspectos a llevar a cabo por cada uno de los participantes, explicando en caso necesario los detalles para la recogida de sedimentos y macroinvertebrados descritos anteriormente. El equipo, pese a ser la primera vez que trabajaba en este protocolo, respondió muy eficazmente. Los puntos eran muy cercanos

entre sí, pero debido a las condiciones climáticas no se pudo llevar a cabo la recogida de otros puntos de muestreo.

Segunda salida de monitoreo

La salida de monitoreo del miércoles 23 de noviembre del 2011, empezó a las 5:00 de la mañana. El equipo para esta salida incluyó un total de 5 personas. Se monitorearon un total de tres puntos, el A1, H1 y A0 por este orden (ver Anexo 3).



Figura 2: Fotos tomadas en el punto A1. Fuente propia

El primer punto, A1, se ubica en el río Azángaro, afluente del río Ramis a la altura del centro poblado del mismo nombre. El tercer punto, A0, se encuentra ubicado aguas arriba del A1, cercano al nacimiento del río. Debido a que la zona de nacimiento del río es actualmente una zona de minería informal, el muestreo se hizo aguas debajo de las mineras, en un lugar considerado factible para monitorear (ver Anexo 3). Se debe destacar que fue muy difícil encontrar un afluente no afectado por la minería en esa zona.



Figura 3: Fotos tomadas en el punto H1. Fuente propia

El punto H1 fue monitoreado en el río Huancané, río que nace en la misma zona minera que el Azángaro pero en otra subcuenca (ver Anexo 3). En dicho río la afectación por metales era visible en las piedras de los márgenes del río.

De igual manera que el día anterior, se ha rellenado la ficha correspondiente al protocolo CERA y se han anotado datos de campo y de las botellas en una ficha (Anexo 1). Se han recogido, preservado en hielo y etiquetado las muestras de macroinvertebrados y de sedimentos, dos en cada punto de muestreo (una muestra se queda en Perú y otra se envía a Barcelona para su análisis), a excepción del punto A0, donde se recogió una réplica de campo de sedimentos, llamada A00.

Tercera salida de monitoreo

La salida de monitoreo del jueves 24 de noviembre del 2011, empezó a las 5:00 de la mañana con el mismo equipo del día anterior. Se monitorearon un total de dos puntos, el T1 y S1. Estos puntos se encuentran localizados en el río Suches, a una altura de casi 5.000 metros, por lo que se debe notar la dificultad en el trabajo de campo debido a eso (ver Anexo 3).

El punto T1 se encuentra ubicado en una zona donde no parece haber signos de afectación antropogénica, por lo que se tomará como punto considerado blanco. En cambio el punto S1 se encuentra ubicado aguas debajo de la mina fronteriza La Perla, con signos evidentes de contaminación (ver Anexo 3).



Figura 4: Fotos tomadas en los puntos T1 y S1. Fuente propia

Se han recogido, preservado en hielo y etiquetado las muestras de sedimentos y de macroinvertebrados, dos en cada punto de muestreo (una muestra se queda en Perú y otra se envía a Barcelona para su análisis), se han anotado datos de campo y de las botellas en una ficha (Anexo 1) se ha rellenado la ficha correspondiente al protocolo CERA.

Cuarta salida de monitoreo

La salida de monitoreo del viernes 25 de noviembre del 2011, empezó a las 12:00 de la mañana debido a la realización de una reunión programada con el equipo del proyecto PROPESCA y algunos colaboradores, además del tiempo requerido para la adjudicación de todo el material necesario.



Figura 5: Fotos tomadas en los puntos R-D y C-D. Fuente propia

Los integrantes del equipo de esta salida también fueron 5, de los cuales 3 fueron los que realizaron la toma de muestras. Esto es debido a que en esta salida a campo se monitorearon dos desembocaduras, la del río Coata y la del río Azángaro (C-D y R-D respectivamente), para lo cual era necesario desplazarse en zodiac. Por lo que la mayor dificultad fue el desplazamiento a las desembocaduras.

Otra diferencia significativa fue la recogida de sedimentos. Ésta se realizó con un muestreador tipo grab facilitado por el IMARPE en las zonas del fondo del río, mientras que en los márgenes se realizó con dragas, como en el resto de puntos del estudio.



Figura 6: Muestreador de sedimentos en los puntos R-D y C-D. Fuente propia

Finalmente se recogieron, preservaron y etiquetaron las muestras de sedimentos y de macroinvertebrados, dos en cada punto de muestreo (una muestra se queda en Perú y otra se envía a Barcelona para su análisis), se rellenó la ficha correspondiente al protocolo CERA y se anotaron los datos de campo (Anexo 3).

Metales traza en sedimentos

Previo a la presentación de los resultados, se destaca la validez del análisis del laboratorio y del protocolo de recogida de muestras en campo. El análisis del laboratorio ha sido corroborado en el procedimiento, debido a los buenos resultados obtenidos mediante el material de referencia utilizado. Concretamente se ha usado el CRM320R (FUENTE) especificado para ríos, y los resultados obtenidos muestran una desviación promedio del 4%.

También se han realizado réplicas de cada punto, así como los blancos correspondientes corroborando los buenos resultados y validando así los datos obtenidos.

Por otra parte, también se ha validado la recogida de las muestras y el procedimiento de homogeneización de las muestras. Para ello se analiza la réplica de campo recogida en el punto A-0 y se observan las diferencias que presenta (Tabla 3). Se puede concluir entonces que el monitoreo es válido para todos los analitos donde el porcentaje de desviación es menor al 10%; a excepción del hierro, con una desviación del 19%.

Tabla 3: Media, desviación estándar, DS, y el coeficiente de variación, CV, para A0. Unidades en mg/kg. Fuente propia

Punto	A-0 ¹	A-0 ²	Media	DS	CV
Al	25150	25262	25206.1	79.7	0%
As	91	92	91.4	1.1	1%
Cd	<4	<4	<4	--	--
Cr	26	25	25.9	0.8	3%
Cu	24	<20	24.2	--	--
Fe	51598	39332	45465.0	8672.8	19%
Hg	<20	<20	<20	--	--
Mn	638	648	643.0	6.6	1%
Ni	33	32	32.6	0.3	1%
Pb	<20	<20	<20	--	--
Sb	5.46	4.97	5.2	0.3	7%
Zn	88	83	85.5	3.6	4%

¹Réplica de campo 1 del punto A-0 ²Réplica de campo 2 del punto A-0

Las concentraciones de metales y semi-metales en sedimentos analizados para cada punto de la cuenca del Lago Titicaca mediante la metodología de digestión por microondas son presentados en la Tabla 4.

Tabla 4: Concentraciones totales de sedimentos para cada punto monitoreado. Unidades en mg/kg. Fuente propia

Punto	C-1	C-2	C-D	A-0	A-1	H-1	R-D	T-1	S-1	TEL ¹	PEL ²
Al	14578	27000	21880	25206	15382	13566	22424	19574	22746	-	-
As	40	52	39	91	23	48	37	12	43	5.9	17
Cd	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	0.6	3.5
Cr	27	46	49	26	21	22	30	18	31	37.3	90
Cu	40	45	48	24	<20	27	22	<20	29	35.7	197
Fe	27955	36708	35486	45465	23027	32606	33387	27283	43867	-	-
Hg	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	-	-
Mn	1468	1104	965	643	880	646	531	390	420	-	-
Ni	<20	32	25	33	16	24	23	19	35	-	-
Pb	177	101	99	<20	<20	47	22	<20	<20	35	91.3
Sb	<4	<4	<4	5.2	<4	<4	<4	<4	<4	-	-
Zn	587	351	425	86	48	287	121	52	82	123	315

¹nivel umbral de efecto ²nivel probable de efecto

Se debe destacar que los puntos donde se ha encontrado menores concentraciones de metales son el T-1, A-1 y en menor medida, el H-1. Podemos por tanto considerarlos como puntos de referencia de la cuenca para distinguir si el resto de puntos presentan valores de concentración elevados (y por tanto contaminados). Por otra parte, las concentraciones de Cd, Hg y Sb obtenidas se encuentran por debajo del límite de detección y por tanto no se puede realizar un análisis sobre éstos.

Las concentraciones de Al y Fe, elementos traza considerados procedentes de la erosión natural, son consideradas relativamente homogéneas en todos los puntos. Se destacan mayores concentraciones a la media en los puntos C-2, A-0, S-1, R-D y C-D para el caso del Al y en los puntos A-0 y S-1 para el caso del Fe (ordenados de mayor a menor concentración). Esto puede ser debido a una mayor erosión natural en la zona, a una fuente antropogénica que aumente el contenido de estos elementos traza en los sedimentos o a una contribución combinada de ambos factores. En el caso del Fe, cabe destacar el gran aumento que se obtiene en los dos puntos más próximos a zonas mineras, siendo probable esta actividad la fuente de dichas concentraciones.

Los contenidos de As, Ni y Sb varían en función a la subcuenca en la que hayan sido analizados. De esta manera se destaca el aporte de estos metales en la subcuenca del Ramis, donde las concentraciones resultan especialmente elevadas en el punto A-0 para dichos metales. Debido al pico de concentración presentado en el punto A-0, y teniendo en cuenta que no existen centros poblados o asentamientos cercanos y que la única actividad productiva es la minería, se puede asociar la presencia de estos metales traza a la minería en la zona. Se debe destacar que la mayor cantidad de Ni encontrada en el estudio se encuentra en el punto S-1.

Por otra parte, el Cr, Cu, Mn, Pb y Zn muestran mayores picos de concentración en toda la cuenca para los puntos ubicados en el río Coata. El mayor pico de concentración de Cr se encuentra en la desembocadura del río Coata, mientras que elevadas concentraciones han sido también obtenidas en el punto C-2. Por el contrario, el punto C-1 presenta los mayores picos de concentración en Mn, Pb y Zn. Para el caso del Cu, las concentraciones obtenidas son similares en todos los puntos del Coata, indicando que la fuente de contaminación debe ser la misma.

Se debe destacar para el Cu, Mn y Zn también existen concentraciones elevadas en la subcuenca del río Ramis. El Mn presenta concentraciones elevadas en toda la sub-cuenca especialmente en la parte media de la cuenca, en A-1, mientras que el Cu y Zn las mayores concentraciones se encuentran en la parte media y la desembocadura, H-1 y R-D respectivamente. En la desembocadura puede ser debido a un foco de contaminación producido aguas arriba, que por la dinámica de la cuenca, haya depositado los sedimentos contaminados en ésta.

La fuente de contaminación de éstos elementos traza puede ser debida a una combinación de erosión natural y de contaminación antropogénica. En la subcuenca del Coata y del Ramis se encuentran diversas actividades productivas, por lo que establecer a que fuente es asociada la contaminación requeriría de mayores estudios. En general se asocia al Mn y al Cu a erosión natural, mientras que el Pb y el Zn están asociados a contaminación por humos de combustión debido al tráfico, pinturas, producción metalúrgica, minería, etc.

Análisis del riesgo ecológico de la presencia de metales en sedimentos

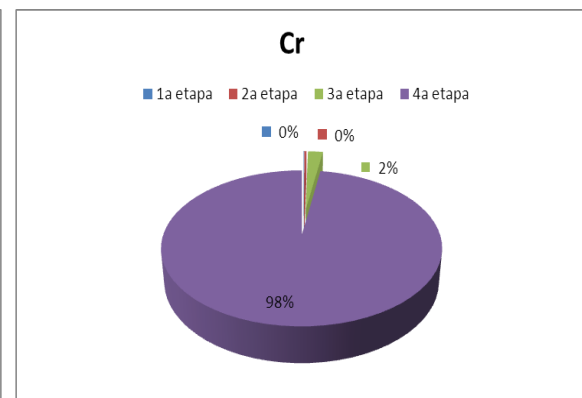
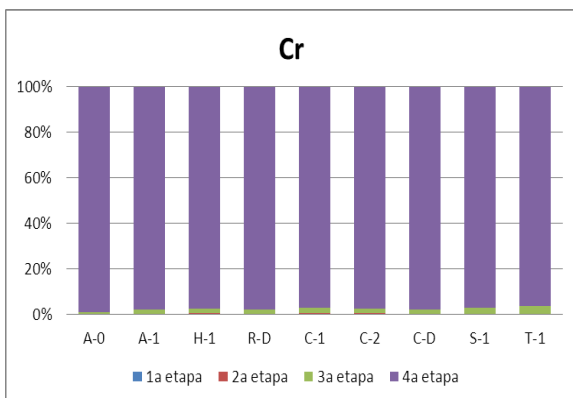
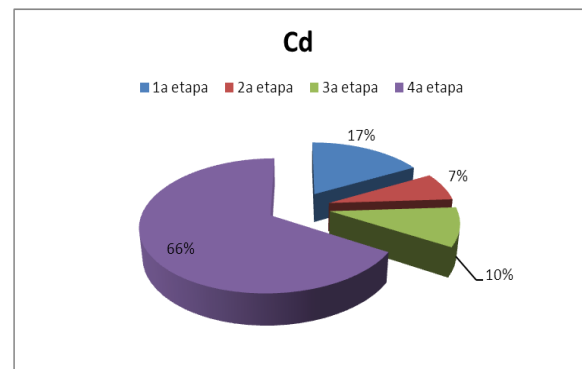
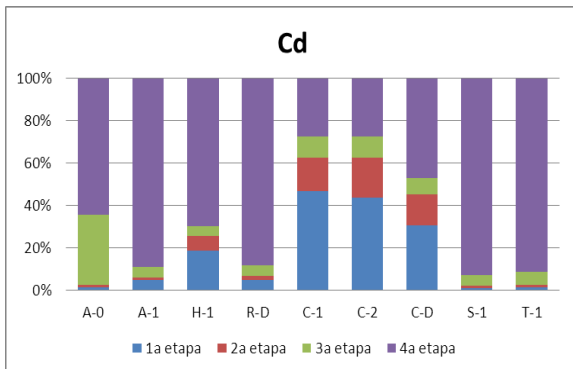
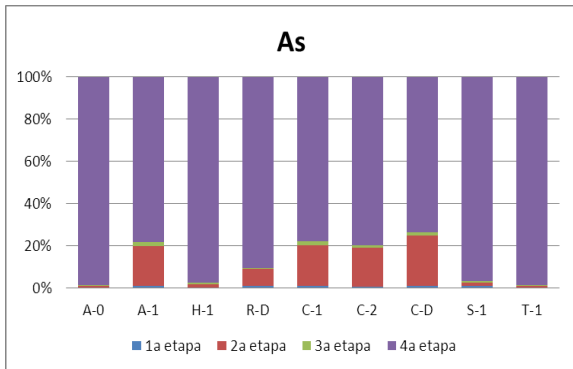
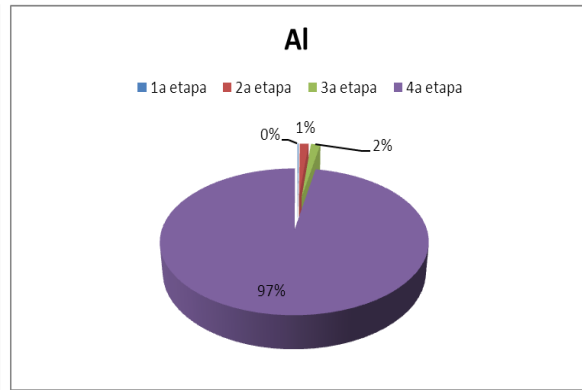
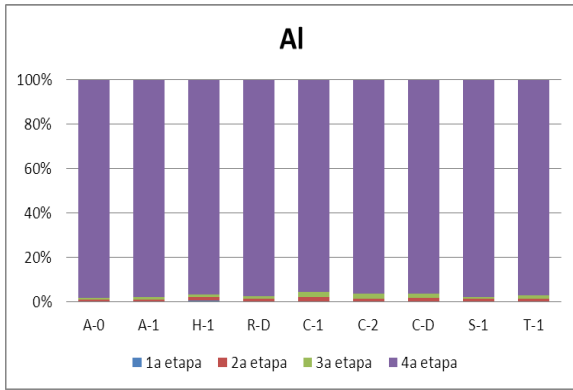
Considerando los criterios de calidad establecidos por el *Canadian Council of Ministers of the Environment*, se ha estudiado el riesgo de afectación al que está expuesta la cuenca del Titicaca, a partir de los resultados obtenidos en las digestiones por microondas realizadas mediante el nivel umbral de efecto (TEL) y el nivel probable de efecto (PEL). De esta manera los lugares en donde los metales que superan el PEL, son considerados de riesgo, puesto que la calidad de la vida acuática esta en un probable peligro de afectación.

Los elementos traza que presentan un mayor riesgo de afectación al ecosistema acuático son el As, Pb y Zn, puesto que los tres elementos superan el nivel probable de efecto PEL. El As muestra valores que exceden el PEL en todos los puntos analizados a excepción del T-1 que presenta un valor por encima del TEL. Por lo tanto, existe una afectación de la vida acuática debido al As probable en todos los puntos de la cuenca.

El resto de metales presentan cierto grado de riesgo a la vida acuática, especialmente en la sub-cuenca del río Coata y algún punto del río Ramis. El Pb y Zn muestran concentraciones que significan un riesgo a la vida acuática en todos los puntos del río Coata. También presentan una posible afectación por superar el TEL para el Pb en el punto H-1. Por otra parte, el Cr y Cu muestran niveles superiores al TEL en diferentes puntos del río Coata. Específicamente, los valores de Cr y Cu que exceden el TEL se encuentran en los puntos del Coata, mientras que los puntos que exceden el límite en el Cr están ubicados en C-2 y C-D.

Análisis de la movilidad de los metales

Se ha validado el análisis del protocolo BCR mediante las réplicas de laboratorio, de la misma manera que se procedió en la validación de las digestiones por microondas para los metales totales en sedimentos. Las réplicas obtenidas también han dado un intervalo de confianza muy bueno, siendo de alrededor del 14%. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 7 donde se puede observar el porcentaje de cada etapa para cada uno de los puntos en los gráficos de barras de cada metal. Además, se muestra el porcentaje medio de cada una de las cuatro etapas para cada metal en el gráfico circular.



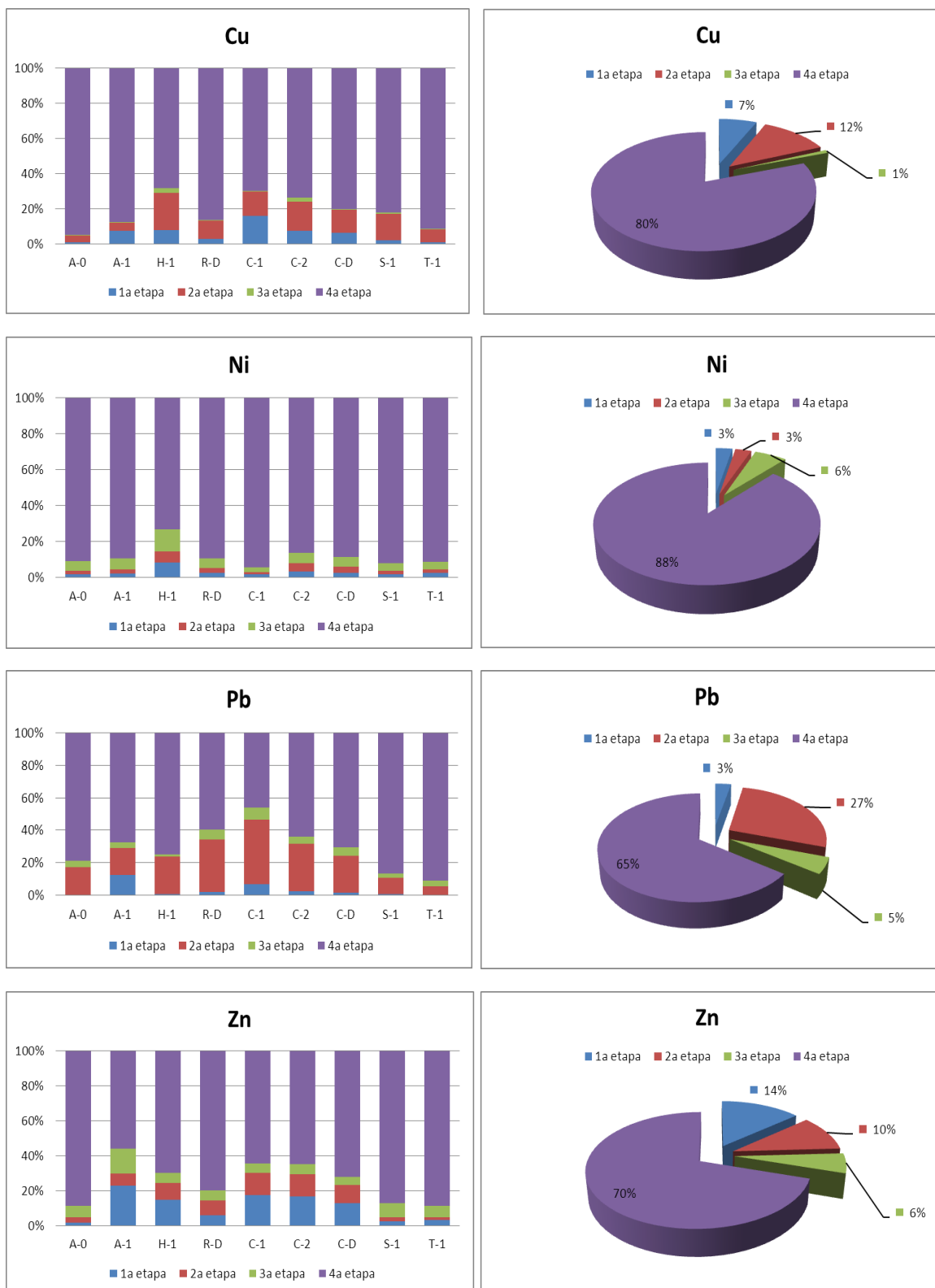


Figura 7: Datos obtenidos para la extracción secuencial SES-BCR de 3 etapas. Fuente propia

La primera etapa, es la etapa considerada más móvil y que fácilmente puede pasar al medio acuoso, es decir, puede liberarse el metal del sedimento al agua con facilidad. La segunda etapa, ligada a óxidos de hierro y manganeso principalmente, y la tercera etapa, ligada a materia orgánica, dependen de las condiciones de pH, temperatura, etc. para que pasen al medio acuoso. Se destaca que la movilidad de cada metal es, de menor a mayor:

Primera etapa: Cd (17%) > Zn (14%) > Cu (7%) > Ni ≈ Pb (3%) >> As, Al, Cr

Segunda etapa: Pb (27%) > Cu (12%) > Zn ≈ As (10%) > Cd (7%) >> Ni (3%) > Al, Cr

Tercera etapa: Cd (10%) > Zn, Ni ≈ Pb (6%) >> As, Al, Cr, Cu

Se considera la movilidad como la suma de estas tres etapas, de manera que el Cd, Pb y Zn son los metales más móviles en la zona de estudio, y por tanto que pueden causar un mayor impacto a medio o largo plazo. El Cu y el Ni también deben ser tenidos en cuenta, mientras que la movilidad del Al, As y Cr es menospreciable.

Protocolo de calidad ecológica

Índice IHF

La evaluación del hábitat fluvial se realiza mediante el índice IHF (Anexo 1). Éste se determina a partir del puntaje obtenido mediante la suma de 7 apartados, donde cada uno evalúa de manera independiente diferentes características del hábitat. Esta valoración se puede hacer en el mismo río cuando se está llevando a cabo el muestreo. La escala de valores se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 5: Escala de valores del índice IHF. Fuente: Acosta et al, 2009; Pardo et al, 2002; Prat et al, 2009).

IHF	Nivel de calidad
>75	Hábitat adecuado
40-75	Hábitat con algunas limitaciones
<40	Hábitat que puede limitar la presencia de ciertas especies

El valor máximo es de 100 puntos, y el mínimo es siempre superior a 0 ya que siempre tendremos un sustrato para valorar (Prat et al, 2009). En general, se ha establecido que los valores por debajo de 40 indican serias limitaciones de calidad de hábitat para el desarrollo de una comunidad bentónica diversa, siendo el óptimo superior a 75 (Acosta et al, 2009; Pardo et al 2002).

Los valores obtenidos se muestran en la figura 7, donde el código de colores muestra el nivel de calidad del IHF determinado según la tabla 5, mostrando si el hábitat es adecuado o presenta algún tipo de limitación para la presencia de ciertas especies.

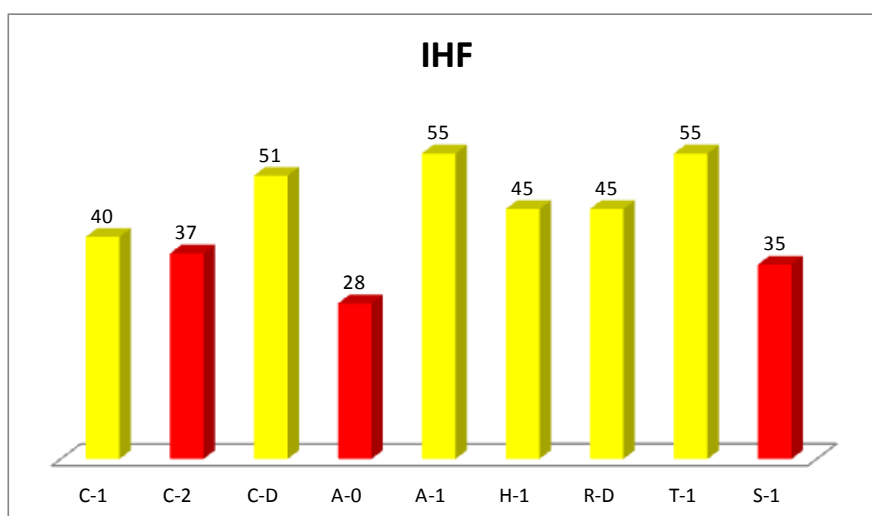


Figura 8: Datos obtenidos en cada punto de monitoreo para el índice IHF. Coloración según tabla 5. Fuente propia

Como se puede observar en la figura 7, todos los puntos muestran un hábitat fluvial con modificaciones en mayor o menor medida, por lo que se considera que todos los puntos monitoreados presentan cierta alteración. Dicha alteración puede afectar o no a la presencia de especies en el río dependiendo de la gravedad de la modificación (correspondiendo al nivel de calidad rojo o amarillo de la tabla 5 respectivamente).

Para los puntos monitoreados en el río Coata, (C-1, C-2 y C-D) se presentan limitaciones en el hábitat fluvial en todos los puntos. En el punto C-1 y en la desembocadura del río Coata (C-D) la limitación es parcial con un puntaje de 40 y 51 respectivamente, considerando que existe alteración en el río. Para el punto C-1, la limitación es considerada parcial, pero debe destacarse que se encuentra en el límite de la puntuación. Por el contrario, el punto C-2 obtiene una puntuación de 37, donde la limitación en el hábitat fluvial realmente puede afectar a la presencia de ciertas especies.

Los puntos analizados en la subcuenca del río Ramis, A-0, A-1, H-1 y R-D también presentan ciertas limitaciones en el hábitat fluvial. El punto A-1 ubicado en el río Azángaro obtiene un IHF de 55, mientras que los puntos H-1, ubicado en el río Huancané y R-D, ubicado en la desembocadura del río Ramis, obtienen una puntuación de 45. De esta manera los tres puntos presentan una limitación relativa del hábitat fluvial, siendo el punto menos afectado el ubicado en el río Azángaro (A-1). La mayor limitación es para el punto A-0 ubicado en la zona minera de Ananea, obteniendo un resultado de 28, la peor puntuación de toda la subcuenca. Así, para A-0 la limitación del hábitat fluvial puede afectar la vida de ciertas especies.

En el río Suches, el punto T-1 ubicado aguas arriba de la zona minera de La Perla, se encuentra una puntuación de 55, presentando por tanto cierta alteración en el hábitat fluvial. Se

destaca que este punto T-1 y el A-1 en la subcuenca del Ramis, presentan los valores más altos del presente estudio, indicando por tanto que son los puntos con menores alteraciones. Por otra parte, el punto S-1 ubicado aguas debajo de la zona minera La Perla, obtiene una puntuación para el IHF de 35, siendo por tanto una ubicación donde el hábitat fluvial puede limitar la presencia de especies en la zona.

Se resalta que los puntos más próximos a las actividades mineras extensivas (A-0 y S-1) obtiene la peor puntuación en la cuenca, y por tanto las mayores alteraciones en el hábitat fluvial. Otra alteración considerada importante se encuentra en el punto C-2, donde una posible explicación a esta alteración es su proximidad a centros poblados y actividades de ganadería. Por otro lado, actividades de extracción de material presentes cerca al punto C-2 modifican el hábitat fluvial considerado como parcial.

El índice de hábitat fluvial presenta una condición previa no vinculante para el desarrollo de la evaluación de la calidad ecológica. De esta manera, en los puntos que existe una afectación en el hábitat que puede limitar la presencia de especies en la zona implicando una mala calidad ecológica. Por tanto es de esperar que en los puntos A-0, S-1 y C-2 la calidad ecológica no sea buena, como se muestra a continuación.

Índice QBR-And

La clasificación de las formaciones vegetales de ribera se efectúa a partir del índice QBR-And, valorando aspectos relativos al recubrimiento de diferentes formaciones, la permanencia del agua, la proporción de sustratos, el inventario de hidrófilos, etc. El valor global del índice QBR-And es la suma de la puntuación de cada apartado, siendo 100 el valor máximo.

Los rangos de calidad y conservación de las riberas se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 6: Rangos de calidad de conservación de la vegetación de ribera. Fuente Acosta et al, 2009

QBR-And	Nivel de calidad
≥ 96	Bosque de ribera sin alteraciones, calidad muy buena, estado natural
76 - 96	Bosque ligeramente perturbado, calidad buena
51 - 75	Inicio de alteración importante, calidad intermedia
26 - 50	Alteración fuerte, mala calidad
≤25	Degradación extrema, calidad pésima

Al presentar los ríos una ribera típica de páramos y punas, conformada por pajonal de gramíneas, pudiendo contener matorrales bajos, almohadillas y turberas de altura (bofedales) (considerados de tipo 2 por el protocolo CERA), se han ponderado a 100 los resultados del índice QBR-And para ríos de más de 3500 m.s.n.m (Anexo 1). Los valores obtenidos para el

índice se muestran en la figura siguiente. El código de colores muestra el nivel de calidad del QBR-And determinado según la tabla 6.

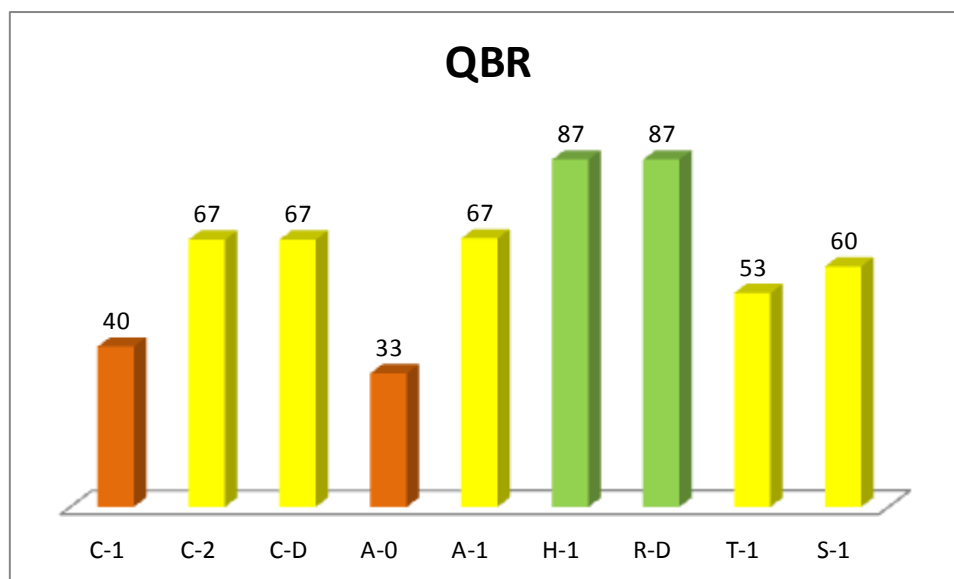


Figura 9: Resultados del índice QBR-And en cada punto de monitoreo. Coloración según tabla 6. Fuente propia

Los resultados obtenidos muestran distintos niveles de calidad para las formaciones vegetales de ribera en cada una de las subcuencas de estudio, mostrando valores de calidad buena, intermedia y mala dependiendo del punto monitoreado, como se discute a continuación.

La subcuenca del río Coata presenta calidad mala para el punto C-1 con una puntuación de 40, y calidad intermedia para los puntos C-2 y C-D, obteniendo ambos una puntuación de 67. Esto indica que existe en la subcuenca una alteración importante o fuerte en la vegetación presente en la ribera del río.

En los puntos monitoreados de la subcuenca del río Ramis se observan puntos de buena calidad, de calidad intermedia y de mala calidad. Específicamente, se obtiene una puntuación del QBR-And de 87 para los puntos H-1 y R-D, ubicados en la parte media y desembocadura de la sub-cuenca respectivamente. Esto indica que la calidad de la vegetación de ribera en H-1 y R-D es buena y la afectación que se encuentra es pequeña. El punto A-1 obtiene 67, mostrando una alteración mayor correspondiente a una calidad intermedia. El punto A-0, ubicado en la parte alta, tiene una puntuación de 33 implicando una afectación fuerte, por lo que es considerado un punto de mala calidad de vegetación de ribera.

Los puntos monitoreados en la subcuenca del río Suches presentan una calidad intermedia, por lo que se considera la alteración importante. Concretamente el punto T-1 obtiene una puntuación de 53 mientras que el punto S-1 obtiene una puntuación de 60.

En los puntos donde se ha encontrado una alteración mayor de la calidad de la vegetación de la ribera son aquellos ubicados en la parte cercana a la minera en Ananea, punto A-0, y en el punto C-1, que se encuentra próximo a una cantera.

Índice ABI

Para la determinación del índice biótico andino, ABI, son asignadas una serie de puntuaciones a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos presentes en cada muestreo. La obtención del índice se obtiene sumando la puntuación total para cada muestra. Las puntuaciones específicas en cada familia, así como las familias encontradas en cada muestra se pueden consultar en el Anexo 4. En la tabla 7 se muestran los valores del ABI para la determinación del nivel de calidad del río en relación a la presencia de macroinvertebrados:

Tabla 7: Rangos de calidad del ABI. Fuente Acosta et al, 2009

ABI	Nivel de calidad
>74	Muy bueno
45-74	Bueno
27-44	Moderado
11-26	Malo
<11	Pésimo

Se presentan los valores para el índice biótico andino en la figura siguiente, siendo el código de colores el nivel de calidad adquirido determinado según la tabla 7.

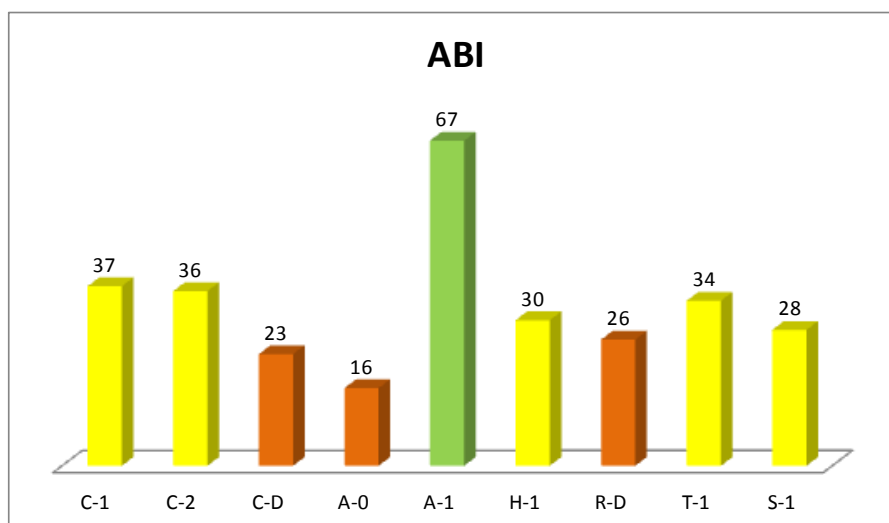


Figura 10: Resultados del índice ABI en cada punto de monitoreo. Coloración según tabla 7. Fuente propia

Los datos obtenidos en la subcuenca del río Coata muestran valores de calidad moderados o malos indicando una clara alteración al medio acuático. Concretamente, los valores obtenidos son 37 y 36 para los puntos C-1 y C-2 respectivamente, considerando ambos de calidad moderada en relación a la diversidad de los macroinvertebrados. Por otra parte la

desembocadura, ubicada aguas abajo de la ciudad de Juliaca, C-D, obtiene una puntuación de 23, significando entonces una mala calidad. Teniendo en cuenta que la ciudad de Juliaca es la ciudad de mayor población en la región de Puno, y que no tiene sistemas de tratamiento urbanos, se considera que la calidad del agua afecta a la vida acuática, tal como se evidencia con el resultado de éste índice. También se destaca que la mayoría de las familias encontradas se repiten en los tres puntos monitoreados (Anexo 4).

En la subcuenca del río Ramis, la peor puntuación (16) la obtiene el punto A-0, evidenciando una mala calidad biótica en dicho punto. El punto ubicado en la desembocadura, R-D, resulta en un valor de 26 también considerado de mala calidad. Este hecho no resulta sorprendente debido a que la alteración es visualmente evidente (Anexo 3) tanto en el punto A-0, que se encuentra justo aguas abajo de una zona minera, como en el punto R-D en la desembocadura de dicho río. El punto H-1 con una puntuación de 30, es considerado un nivel de calidad moderado, donde la afectación es relativa. Por otra parte, el punto A-1 con el mayor puntaje obtenido, 67. Así, A-1 presenta buena calidad de presencia y diversidad de macroinvertebrados. Las familias encontradas para cada punto se encuentran detalladas en el Anexo 4.

Los valores obtenidos en el río Suches son similares entre sí, 34 y 28 para T-1 y S-1 respectivamente, muestran un nivel de calidad intermedio, donde la alteración a los macroinvertebrados existente es considerada como moderada. Se debe destacar sin embargo que las familias encontradas en estos puntos son distintas, por lo que el nivel de afectación es el mismo, pero la diversidad en cada punto es diferente, por lo que las causas de las afectaciones evidenciadas pueden ser distintas.

Como se ha detallado con anterioridad, los puntos donde se han encontrado mayores alteraciones en la cuenca han sido, por orden de mayor a menor alteración, en el A-0, C-D y R-D. Se debe destacar que la alteración en A-0 es clara, mientras que en las desembocaduras no se puede determinar. Teniendo la consideración de cuenca, las desembocaduras acumulan todos los sedimentos arrastrados aguas arriba, por ello, la contaminación resultante puede ser debido a una contaminación puntual o difusa, cercana o proveniente de las partes altas y medias de la cuenca.

Protocolo Calidad Ecológica de Ríos Alto Andinos (CERA)

Se analiza la calidad ecológica de los ríos para cada estación mediante la combinación de los diferentes índices y las medidas físico-químicas. Se caracteriza así el estado ecológico, de los puntos de muestreo en función de los resultados de los índices ABI y QBR-And descritos anteriormente. Concretamente, se describe si el estado ecológico es muy bueno, bueno, regular, malo o pésimo según las indicaciones de la Tabla 8:

Tabla 8: Condiciones para el establecimiento del Estado Ecológico. Fuente Acosta et al, 2009

ABI	QBR-And		
	> 75	45-75	<45
> 74	Muy bueno	Bueno	Regular
45-74	Bueno	Regular	Malo
27-44	Regular	Malo	Pésimo
<27	Malo	Pésimo	Pésimo

En la tabla 9 se muestra el índice CERA obtenido a partir de los índices QBR-And y ABI, tal como se muestra en la tabla 8. También se muestra los resultados del índice IHF para una mejor interpretación de los resultados.

Se observa como todos los puntos monitoreados obtienen un índice que fluctúa entre un estado ecológico regular y un estado ecológico pésimo, indicando la mala calidad ecológica generalizada de todos los puntos en los tramos de ríos seleccionados en el presente estudio.

Tabla 9: Índice CERA resultante de los puntos monitoreados. Fuente propia.

	IHF	QBR	ABI	CERA
C-1	40	40	37	Pésimo
C-2	37	67	36	Malo
C-D	51	67	23	Pésimo
A-0	28	33	16	Pésimo
A-1	55	67	67	Regular
H-1	45	87	30	Regular
R-D	45	87	26	Malo
T-1	55	53	34	Malo
S-1	35	60	28	Malo

Concretamente, los puntos relacionados a la subcuenca del río Coata, el estado ecológico es malo para el punto C-2 y pésimo para los puntos C-1 y C-D. Como se ha mencionado con anterioridad, la afectación en el estado ecológico de la cuenca del río Coata es grave. A partir de los resultados obtenidos en los puntos C-1 y C-2 se demuestra que la afectación en la

desembocadura no es únicamente debida a la contaminación producida por la ciudad de Juliaca, ya que aguas arriba de la ciudad el estado ecológico del río es muy malo o pésimo.

En la subcuenca del río Ramis, el estado ecológico varía de regular a pésimo. Para los puntos ubicados en la parte media de la cuenca (A-1 y H-1), ambos aguas abajo de actividades mineras, se obtiene una calidad ecológica regular. El punto A-0, ubicado inmediatamente aguas abajo de emplazamientos mineros de la zona de Ananea, presenta un estado ecológico pésimo, por lo que se puede establecer que la causa es debida a la afectación minera. En la desembocadura, punto C-D, el estado ecológico es malo. Como se mencionó anteriormente, la afectación a la desembocadura puede ser la resultante de toda la afectación en la cuenca del río Ramis, incluyendo tanto la parte alta como la parte baja.

A partir de los resultados obtenidos en los puntos T-1 y S-1, ambos presentan un estado ecológico malo. Aunque el IHF y el QBR-And presenten valores de afectación moderada para el punto T-1, el estado ecológico en este punto es considerado malo. Así, se destaca el mal estado ecológico de la parte alta de la cuenca del río Suches.

Conclusiones

El presente informe ha mostrado como se ha desarrollado una metodología para el monitoreo de metales traza en el ecosistema, incorporando el análisis de sedimentos y de macroinvertebrados y teniendo en cuenta factores físico-químicos complementando las directrices marcadas por el ANA en el protocolo diseñado para el monitoreo de la calidad de aguas superficiales.

Los resultados obtenidos del análisis de sedimentos muestran como las subcuencas de los ríos Coata, Ramis y Suches se encuentran afectadas por la presencia de metales traza. La subcuenca del Coata es la más contaminada, mostrando picos de concentración de Cr, Cu, Mn, Pb y Zn para todos los puntos monitoreados. La subcuenca del Ramis presenta concentraciones elevadas de As, Cu, Ni y Sb, especialmente en la zona cercana a Ananea. La presencia de los metales traza en los sedimentos puede generar un riesgo para la vida acuática, especialmente debido al As para todos los puntos monitoreados en este estudio, y causado por Pb y Zn para todos los puntos del río Coata.

Se considera el Pb y Zn los metales más móviles en la zona de estudio, y por tanto que al incrementar la concentración existente, pueden causar un mayor impacto a medio o largo plazo. El Cu y el Ni también deben ser tenidos en cuenta, mientras que la movilidad del Al, As y Cr es menospreciable.

Los análisis de la concentración de metales en sedimentos y su posible afectación, son respaldados con los resultados obtenidos mediante el protocolo de Calidad Ecológica de los

Ríos Alto Andinos, CERA. De este protocolo se extrae un índice que permite establecer el estado ecológico global del río con un enfoque ecosistémico, incluyendo la consideración del hábitat fluvial, la calidad de la vegetación de la ribera y la diversidad de macroinvertebrados.

Según el índice CERA, todos los puntos considerados tienen algún tipo de alteración, obteniendo un estado ecológico regular, malo o pésimo. Los puntos presentes en el río Coata tienen un estado malo o pésimo, los puntos presentes en el río Suches presentan un estado malo y los puntos relativos a la subcuenca del río Ramis varían entre regular, malo y pésimo para los puntos ubicados en la parte media, baja (desembocadura) y alta de la subcuenca respectivamente.

La interpretación de estos análisis ha permitido observar la afectación de los ríos Coata, Ramis y Suches. En los dos primeros, se ha monitoreado en diversos puntos de la cuenca, para establecer si existía un foco de contaminación puntual. Se ha observado para el caso de la subcuenca del Coata, que la afectación es grave en todos los puntos, mientras que en la subcuenca del Ramis, la afectación más grave se encuentra en la parte alta, cercana a las mineras, y en la parte baja. Para el caso del río Suches, únicamente se ha monitoreado la parte peruana del río correspondiente a la subcuenca alta, donde se han encontrado menores niveles de metales traza, pero el estado ecológico del río es considerado malo. El hecho de que se encuentren las peores alteraciones en las desembocaduras de los ríos implica que la contaminación producida en los ríos acaba depositándose en el Lago Titicaca, pudiendo afectar considerablemente el estado ecológico de éste, y por tanto a su ecosistema.

Mediante el presente estudio se ha podido observar la afectación ecosistémica de los ríos obteniendo la afectación de éstos de manera más global a los análisis convencionales de agua que describen afectaciones puntuales del momento de recogida de las muestras, por lo que necesitan un monitoreo constante para poder determinar el estado del río. Por otra parte, la realización de estudios más exhaustivos en la región del Lago Titicaca es de gran interés tanto para el establecimiento del estado ecológico de la región como para la determinación de las causas de las afectaciones, de manera que permitan acciones de conservación y remediación.

Referencias

Acosta R., Ríos B., Rieradevall M., Prat, N. (2009). Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*, 28 (1): 35-64.

Arain MB., Kazi TG, Jamali MK, Afridi HI, Jalbani N, Sarfraz RA, et. al. (2008) Time saving modified BCR sequential extraction procedure for the fraction of Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in sediment samples of polluted lake. *J Hazard Mat* 160, 235–9.

Bonada N., Prat N, Resh V.H. y Statzner B., (2006) Developments In Aquatic Insect Biomonitoring: A comparative Analysis of Recent Approaches. *Annu. Rev. Entomol.* 51: 495-523

Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME); Canadian Sediment Quality

Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Summary Tables. Canada: The council, Updated 2002.

Chen, C.W., et al, 2007. Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan. *Chemosphere*, 66, p 1431-1440.

Domínguez E. y Fernández H.R. (2009) Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina

D.O.C.E, 2000. Directiva 2000/60/EC del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas

U.S. Environmental Protection Agency. (USEPA) (2001). Methods for Collection, Storage and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses: Technical Manual. Report N° 823-B-01-002.

U.S. Environmental Protection Agency. (USEPA) (2002). Guidance on Choosing a Sampling Design for Environmental Data Collection. Report N° 240/R-02/005

Garau, M. (2009) Control de la calidad de aguas y sedimentos para el estudio del impacto por metales en la cuenca con actividad minera del Jequetepeque, Perú, Proyecto Final de Carrera, ETSEIB, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.

M.J. Gismera, J. Lacala, P. Da Silva, R. García, MT. Sevilla, JR. Procopio, (2004) Study of metal fractionation in river sediments. A comparison between kinetic and sequential extraction procedures, *Environmental Pollution* 127 175–182.

Gurrieri, J.T., (1998) Distribution of metals in water and sediment and effects on aquatic biota in the upper Stillwater River basin, Montana. *Journal of Geochemical Exploration* 64, 83-100.

Jáimez Cuéllar P. (2002) Protocolo GUADALMED (PRECE)

Kartal, S., Aydın, Z., Tokalioglu, S. (2006). Fractionation of metals in street sediment samples by using the BCR sequential extraction procedure and multivariate statistical elucidation of the data. *Journal of Hazardous Materials*, 136, 80–89.

Macklin, M.G., Brewer, P.A., Hudson-Edwards, K.A., Bird, G., Coulthard, T.J., Dennis, I.A., et.al. (2006) A geomorphological approach to the management of rivers contaminated by metal mining. *Geomorphology*, 79, 423–447.

Ministerio de Educación del Perú. <http://escale.minedu.gob.pe/descargas/mapa.aspx>

Melo A. S. (2005) Effects of taxonomic and numeric resolution on the ability to detect ecological patterns at a local scale using stream macroinvertebrates. *Arch. Hydrobiol.* 164 (3): 309-323.

Martínez-Sánchez MJ, Navarro MC, Pérez-Sirvent C, Marimón J, Vidal J, García-Lorenzo ML, et. al. (2008) Assessment of the mobility of metals in a mining-impacted coastal area (Spain, Western Mediterranean). *J Geochem Expl* 96, 171–182.

Pardo, I., Álvarez M., Casas J., Moreno J.L., Vivas S., Bonada N., Albatercedor J., Jáimez-cuéllar P., Moyà G., Prat N., Robles S., Suárez M. L., Toro M. & Vidal-Abarca M. R. (2002) El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat. *Limnetica*, 21: 115-132.

Planas, M, (2010) Estudio de metales traza en sedimentos en la cuenca del Jequetepeque, Perú. Proyecto Final de Carrera, ETSEIB, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.

Pérez, G., Valiente, M. (2005). Determination of pollution trends in an abandoned mining site by application of a multivariate statistical analysis to heavy metals fractionation using SM&T-SES. *Journal of Environmental Monitoring*, 7, 29-36.

Prat N., Fortuño P., Rieradevall M, 2009. Manual d'utilització de l'Índex d'Hàbitat Fluvial (IHF). Diputació Barcelona.

Puntí T. (2007) Ecologia de les comunitats de quironòmides en Rius mediterranis de referència. Tesis doctoral. Departament d'Ecologia. Universitat de Barcelona. 151 pp.

RESH, V.H., (2008). Which group is best? Attributes of different biological assemblages used in freshwater biomonitoring programs. *Environ.Monit.Assess.* 138:131-138.

Web asociación Ibérica de Limnología: <http://www.limnetica.com/> [Consultada Febrero y marzo 2011]

Web Xarxa temàtica Ecostrimed: <http://ecostrimed.net> [Consultada Febrero y Marzo 2011]

Yacoub C. (2011) Informe de servicios de asistencia técnica para el estudio de la calidad ambiental del lago Titicaca. Contrato de locación de servicios 229-2011.

Anexos

Anexo 1: Fichas a rellenar en campo y fichas del Protocolo CERA

Anexo 2: Lista de chequeo de equipos y materiales necesarios

Anexo 3: Recopilación de los puntos muestreados y la información recogida

Anexo 4: Recopilación de los macroinvertebrados obtenidos en cada punto de muestreo

Anexo 1: Hojas de campo para el monitoreo del Titicaca

Fecha:
Responsable de muestreo:

Hora:
Firma:

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Número de la muestra:
Tipo de muestra:
Cantidad de muestra:

LOCALIZACIÓN

Cuenca: Subcuenca: Río:
Estación:
Coordenadas GPS:
Código fotografía:
Descripciones de acceso al lugar:

Descripción física del lugar:

Registro de los cambios observados en el lugar:

Actividades en la zona cercana al punto de muestreo:

PARÁMETROS DE CAMPO

pH del agua: T del agua:
Conductividad eléctrica del agua: T del aire:
OD: Caudal:

CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Precipitaciones:
Nubosidad:
Viento:

PARÁMETROS FÍSICOS Y ORGANOLÉPTICOS

Olor: Color:
Materia flotante: Otras observaciones:

HISTORIA DEL LUGAR

Acontecimientos:
Fauna y flora:

HERRAMIENTAS DE MUESTREO

Tipo de muestreador: Prelavado del muestreador:
Tipo del recipiente: Material del recipiente:
Prelavado del recipiente:

ENVÍO DE LA MUESTRA

Preservación de la muestra: Medio de transporte de la muestra:
Destino de la muestra:

REQUERIMIENTOS PARA EL LABORATORIO:

Análisis necesarios:

OTRAS OBSERVACIONES

Condiciones de referencia en Ríos Andinos. Protocolo CERA

Apartado		Poco	Medio	Mucho
	CUENCA	Puntuación		
1.1	Cobertura de especies introducidas (Eucaliptos y pinos especialmente)	5	3	1
1.2	Porcentaje de cobertura en pastos artificiales	5	3	1
1.3	Porcentaje de cobertura en usos urbanos	5	3	1
1.4	Ausencia de vegetación autóctona	5	3	1
1.5	Explotaciones mineras	5	3	1
1.6	Explotaciones ganaderas intensivas (intensivas)	5	3	1
	HIDROLOGÍA	Puntuación		
2.1	Presencia de grandes presas aguas arriba del lugar	5	3	1
2.2	Derivaciones de agua para hidroeléctricas azudes (< 10m)	5	3	1
2.3	Trasvases a otras cuencas o desde otras cuencas	5	3	1
2.4	Derivaciones para usos en agricultura y ganadería	5	3	1
2.5	Derivaciones para uso en minería	5	3	1
2.6	Derivaciones para uso urbano (usos domésticos e industriales)	5	3	1
	TRAMO (incluye ribera y zona inundación)	Puntuación		
3.1	Canalización del río por infraestructuras rígidas (escolleras, etc...)	5	3	1
3.2	Canalización del río por terraplenes	5	3	1
3.3	Presencia de cultivos y/o vacas y pasto en la llanura de inundación	5	3	1
3.4	Infraestructuras laterales (carreteras, construcciones...)	5	3	1
3.5	Falta de cubierta de la zona de ribera (árboles o arbustos)	5	3	1
3.6	% Cubierta vegetal por especies introducidas (árboles o arbustos)	5	3	1
	LECHO	Puntuación		
4.1	Sustrato del lecho totalmente artificial (p.e. cemento, escollera...)	5	3	1
4.2	Infraestructuras transversales (p.e. azudes, vados)	5	3	1
4.3	Presencia de efluentes directos al río	5	3	1
4.4	Contaminación orgánica evidente	5	3	1
4.5	Contaminación minera evidente	5	3	1
4.6	Presencia de basuras y escombros (sea en la ribera o en el mismo lecho)	5	3	1
Puntuación total				

El valor máximo del índice es de 120, el mínimo 24.

Se considera que valores superiores a 100 son necesarios para poder considerar un punto como de referencia.

De todas formas un punto de referencia debe obtener como mínimo 20 puntos de cada apartado.

Condiciones de referencia en Ríos Andinos para zonas de Pajonal (> 3500m). Protocolo CERA

Apartado		Poco	Medio	Mucho
	CUENCA	Puntuación		<input type="text"/>
1.1	Degradación de la cobertura de pajonal	5	3	1
1.2	Porcentaje de cobertura en usos urbanos	5	3	1
1.3	Presencia de plantaciones de árboles introducidos (Pino/Eucaliptos)	5	3	1
1.4	Explotaciones mineras	5	3	1
1.5	Explotaciones ganaderas intensivas	5	3	1
	HIDROLOGÍA	Puntuación		<input type="text"/>
2.1	Presencia de grandes presas aguas arriba del lugar	5	3	1
2.2	Derivaciones de agua para hidroeléctricas azudes (< 10m)	5	3	1
2.3	Trasvases a otras cuencas o desde otras cuencas	5	3	1
2.4	Derivaciones para usos en agricultura y ganadería	5	3	1
2.5	Derivaciones para uso en minería	5	3	1
2.6	Derivaciones para uso urbano (usos domésticos e industriales)	5	3	1
	TRAMO (incluye ribera y zona inundación)	Puntuación		<input type="text"/>
3.1	Canalización del río por infraestructuras rígidas (escolleras, etc...)	5	3	1
3.2	Canalización del río por terraplenes	5	3	1
3.3	Presencia de cultivos y/o vacas y pasto en la llanura de inundación	5	3	1
3.4	Infraestructuras laterales (carreteras, construcciones...)	5	3	1
3.5	Degradación del pajonal en la zona de ribera	5	3	1
3.6	% Cubierta vegetal por especies introducidas (árboles o arbustos)	5	3	1
	LECHO	Puntuación		<input type="text"/>
4.1	Sustrato del lecho totalmente artificial (p.e. cemento, escollera...)	5	3	1
4.2	Infraestructuras transversales (p.e. azudes, vados)	5	3	1
4.3	Presencia de efluentes directos al río	5	3	1
4.4	Contaminación orgánica evidente	5	3	1
4.5	Contaminación minera evidente	5	3	1
4.6	Presencia de basuras y escombros (sea en la ribera o en el mismo lecho)	5	3	1
Puntuación total				<input type="text"/>

El valor máximo del índice es de 110 en el caso de pajonal, el mínimo 24.

Se considera que valores superiores a 100 son necesarios para poder considerar un punto como de referencia.

De todas formas un punto de referencia debe obtener como mínimo 20 puntos de cada apartado.

Especificaciones de cada apartado

El significado de Poco, Medio o Mucho en cada caso se explica a continuación.

CUENCA

- 1.1 Poco < 10%, Medio 10 – 30%, Mucho > 30%
- 1.2 Poco < 10%, Medio 10 – 30%, Mucho > 30%
- 1.3 Poco < 1%, Medio 1 – 10%, Mucho > 10%. Incluye la presencia de floriculturas
- 1.4 Poco < 10%, Medio 10 – 50%, Mucho > 50%
- 1.5 Poco: inexistente o de muy baja intensidad, Medio: 1 grande o varias de poca intensidad, Mucho: 2 grandes o muchas de pequeña intensidad
- 1.6 Poco: inexistente o mínimas, Medio: presencia de una gran explotación, Mucho: varias explotaciones grandes

HIDROLOGÍA

- 2.1 Grandes presas (> 10m). Poco: inexistente, Medio: 1, Mucho >1
- 2.2 Reducción caudal. Poco < 10%, Medio 10 – 50%, Mucho > 50%
- 2.3 Reducción caudal. Poco: sin trasvase, Medio < 25%, Mucho >25%. Incluir también trasvases de otras cuencas
- 2.4 Reducción caudal. Poco: sin desvío, Medio < 25%, Mucho > 25% (Atención si hay múltiples pequeñas pasar de medio a mucho)
- 2.5 Reducción caudal. Poco: sin desvío, Medio < 25%, Mucho > 25% (Atención si hay múltiples pequeñas pasar de medio a mucho)
- 2.6 Reducción caudal. Poco: sin desvío, Medio < 25%, Mucho > 25% (Atención si hay múltiples pequeñas pasar de medio a mucho)

TRAMO (incluye ribera y zona inundación)

- 3.1 Poco: sin canalización, Medio < 25%, Mucho >25%
- 3.2 Poco: sin canalización, Medio < 50%, Mucho >50%
- 3.3 Poco: sin cultivos, Medio < 50%, Mucho > 50%
- 3.4 Poco: no hay, Medio: en uno de los lados, Mucho: en los dos lados (cubriendo > 10% superficie)
- 3.5 Poco: totalmente cubierto por vegetación nativa, Medio < 50%, Mucho > 50%
- 3.6 Poco: sin especies introducidas, Medio < 50%, Mucho > 50%

LECHO

- 4.1 Poco: nada, Medio < 10%, Mucho > 10%
- 4.2 Poco: ninguno, Medio: 1, Mucho > 1 (los puentes que cruzan el río no se incluyen)
- 4.3 Poco: no hay, Medio 1 o 2 efluentes de poco caudal, Mucho: varios de poco caudal o uno de mucho caudal relativo al río
- 4.4 Poco: río transparente y sin olor, Medio: río turbio y poca olor, Mucho: río con espuma y mucha olor
- 4.5 Poco: no hay minas, Medio: río con sedimentos en suspensión, Mucho: sedimentos muy abundantes y conocimiento de pH muy ácido o muy básico
- 4.6 Poco: no hay o solo aisladamente, Medio: acumulaciones de forma aislada, Mucho: vertedero

Apartados restrictivos

Apartados que pueden constituir por ellos mismos una restricción para no declarar un punto como referencia por su afectación grave (puntuación 1 en el apartado):

- | | |
|----------|--|
| Bloque 1 | 1.3, 1.5 |
| Bloque 2 | 2.1, 2.3. (Respecto a los apartados 2.2, 2.4, 2.5, 2.6, solo se aplica si la derivación es próxima, pero no si se ha producido ya el retorno al río del agua derivada en puntos aguas debajo de la cuenca) |
| Bloque 3 | 3.1 |
| Bloque 4 | 4.1, 4.4 y 4.5 si el valor es 1. |

Evaluación del Hábitat Fluvial para ríos Andinos, Índice IHF

Muestra:

Fecha:

Operador:

Bloques

Puntuación

1. Inclusión rápidos

Rápidos	Piedras, cantos y gravas no fijadas por sedimentos finos. Inclusión 0 – 30%	10	
	Piedras, cantos y gravas poco fijadas por sedimentos finos. Inclusión 30 – 60 %	5	
	Piedras, cantos y gravas medianamente fijadas por sedimentos finos. Inclusión > 60%	0	

TOTAL (una categoría)

2. Frecuencia de rápidos

Alta frecuencia de rápidos. Relación distancia entre rápidos / anchura del río <7	10	
Escasa frecuencia de rápidos. Relación distancia entre rápidos / anchura del río 7 - 15	8	
Ocurrencia ocasional de rápidos. Relación distancia entre rápidos / anchura del río 15 – 25	6	
Constancia de flujo laminar o rápidos someros. Relación distancia entre rápidos / anchura > 25	4	
Sólo pozas	2	

TOTAL (una categoría)

3. Composición del sustrato (en caso de ausencia absoluta el valor debe ser 0 para cada apartado)

% Bloques y piedras	1 – 10%	2	
	> 10 %	5	
% Cantos y gravas	1 – 10%	2	
	> 10 %	5	
% Arena	1 – 10%	2	
	> 10 %	5	
% Limo y arcilla	1 – 10%	2	
	> 10 %	5	

TOTAL (sumar categorías)

4. Regímenes de velocidad / profundidad

Somero: < 0.5 m	4 categorías. Lento-profundo, lento-somero, rápido-profundo y rápido-somero	10	
Lento: < 0.3 m/s	Sólo 3 de las 4 categorías	8	
	Sólo 2 de las 4 categorías	6	
	Sólo 1 de las 4 categorías	4	

TOTAL (una categoría)

5. Porcentaje de sombra en el cauce

Sombreado con ventanas	10	
Totalmente en sombra	7	
Grandes claros	5	
Expuesto	3	

TOTAL (una categoría)

6. Elementos heterogeneidad (si hay ausencia de hojarasca el valor debe ser 0 puntos)

Hojarasca	> 10% ó < 75%	4	
	< 10% ó > 75%	2	
Presencia de troncos y ramas		2	
Raíces expuestas		2	
Diques naturales		2	

TOTAL (una categoría)

7. Cobertura de vegetación acuática (en caso de ausencia absoluta el valor debe ser cero para cada apartado)

% Plocon + briófitos	10 – 50%	10	
	< 10% ó > 50%	5	
	Ausencia absoluta	0	
% Pecton	10 – 50%	10	
	< 10% ó > 50%	5	
	Ausencia absoluta	0	
% Fanerógamas	10 – 50%	10	
	< 10% ó > 50%	5	
	Ausencia absoluta	0	

TOTAL (sumar categorías)

PUNTUACIÓN FINAL (suma de las puntuaciones anteriores)

Evaluación de la Calidad del Bosque de Ribera para Comunidades arbóreas, Índice QBR

Muestra:

Fecha:

Operador:

La puntuación de cada uno de los 4 apartados no puede ser negativa ni exceder de 25 puntos

Bloques	Puntuación
1. Grado de cubierta de la zona de ribera	
> 80% de cubierta vegetal de la zona de ribera (las plantas anuales no se contabilizan)	25
50 – 80% de cubierta vegetal de la zona de ribera	10
10 – 50% de cubierta vegetal de la zona de ribera	5
< 10% de cubierta vegetal de la zona de ribera	0
Si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es total	+10
Si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es superior al 50%	+5
Si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente esta entre el 25 y 50%	-5
Si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es inferior al 25%	-10
TOTAL	<input type="text"/>
2. Estructura de la cubierta (se contabiliza)	
Recubrimiento de árboles superior al 75%	25
Recubrimiento de árboles entre el 50 y 75% o recubrimiento de árboles entre el 25 y 50% y en el resto de la cubierta los arbustos superan el 25%	10
Recubrimiento de árboles inferior al 50% y el resto de la cubierta con arbustos entre el 10 y 25%	5
Sin árboles y arbustos por debajo el 10%	0
Si en la orilla la concentración de helófitos o arbustos es superior al 50%	+10
Si en la orilla la concentración de helófitos o arbustos es entre el 25 y 50%	+5
Si existe una buena conexión entra la zona de arbustos y árboles con un sotobosque	+5
Si existe una distribución regular (linealidad) en los pies de los árboles y el sotobosque es > 50%	-5
Si los árboles y arbustos se distribuyen en manchas, sin una continuidad	-5
Si existe una distribución regular (linealidad) en los pies de los árboles y el sotobosque es < 50%	-10
TOTAL	<input type="text"/>
3. Calidad de la cubierta	
Todos los árboles de la zona de ribera son autóctonos	25
Como máximo un 25% de la cobertura es de especies de árboles introducidas	10
Del 26 a 50% de los árboles de ribera son especies introducidas	5
Más del 51% de los árboles de la ribera son especies introducidas	0
> 75% de los arbustos son de especies autóctonas	+10
51 – 75% o más de los arbustos es de especies autóctonas	+5
26 – 50% de la cobertura de arbustos es de especies autóctonas	-5
Menos del 25% de la cobertura de los arbustos es de especies autóctonas	-10
TOTAL	<input type="text"/>
4. Grado de naturalidad del canal fluvial	
El canal del río no ha estado modificado	25
Modificaciones de las terrazas adyacentes al lecho del río con reducción del canal	10
Signos de alteración y estructuras rígidas intermitentes que modifican el canal del río	5
Río canalizado en la totalidad del tramo	0
Si existe alguna estructura sólida dentro del lecho del río	-10
Si existe alguna presa o otra infraestructura transversal en el lecho del río	-10
Si hay basuras en el tramos de muestreo de forma puntual pero abundantes	-5
Si hay un basurero permanente en el tramo estudiado	-10
TOTAL	<input type="text"/>
PUNTUACIÓN FINAL (suma de las puntuaciones anteriores)	
	<input type="text"/>

Evaluación de la Calidad de Ribera para Comunidades de Pajonales, Páramos y Punas(<3500 msnm), Índice QBR

Muestra:

Fecha:

Operador:

La puntuación de cada uno de los 3 apartados no puede ser negativa ni exceder de 25 puntos

Bloques		Puntuación
1. Grado de cubierta de la zona de ribera		
> 80% de cubierta vegetal de la zona de ribera (Gramíneas y/o matorral y/o “almohadillas”)	25	
50 – 80% de cubierta vegetal de la zona de ribera	10	
10 – 50% de cubierta vegetal de la zona de ribera	5	
< 10% de cubierta vegetal de la zona de ribera	0	
Si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es total	+10	
Si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente es superior al 50%	+5	
Si la conectividad entre el bosque de ribera y el ecosistema forestal adyacente esta entre el 25 y 50%	-5	
Si se presentan evidencias de quema de pajonal de gramíneas de ribera < 50%	-5	
Si se presentan evidencias de quema de pajonal de gramíneas de ribera > 50%	-10	
TOTAL		

2. Calidad de la cubierta

Todas las especies vegetales de ribera autóctonas (gramíneas, matorral o almohadillas)	25	
Ribera con < 25% de la cobertura con especies introducidas (Eucalyptus spp., Pinus spp) o especies arbustivas secundarias (por efecto de sobrepastoreo)	10	
Ribera entre 25 – 80% de la cobertura con especies introducidas o con arbustivas secundarias	5	
Ribera con > 80% de especies introducidas o arbustivas secundarias	0	
TOTAL		

3. Grado de naturalidad del canal fluvial

El canal del río no ha estado modificado	25	
Modificaciones de las terrazas adyacentes al lecho del río con reducción del canal	10	
Signos de alteración y estructuras rígidas intermitentes que modifican el canal del río	5	
Río canalizado en la totalidad del tramo	0	
Si existe alguna estructura sólida dentro del lecho del río	-10	
Si existe alguna presa o otra infraestructura transversal en el lecho del río	-10	
Si hay basuras en el tramos de muestreo de forma puntual pero abundantes	-5	
Si hay un basurero permanente en el tramo estudiado	-10	
TOTAL		

PUNTUACIÓN FINAL (suma de las puntuaciones anteriores)

Especies vegetales nativas e introducidas en los Andes

Especies nativas	
Familia	Especie
	Árboles
Actinidaceae	Sauraria spp
Anarcadiaceae	Schinus spp
Apocynaceae	Aspidosperma quebracho-blanco
Araliaceae	Oreopanax spp
Asteraceae	Barnadesia spinosa
Asteraceae	Gynoxis spp
Berberidaceae	Berberis spp
Betulaceae	Alnus acuminata
Buddlejaceae	Buddleja spp
Caesalpinaceae	Senna weddelliana
Clethraceae	Clethra spp
Clusiaceae	Clusia spp
Cunoniaceae	Weinmannia spp
Ealocarpaceae	Vallea stipulans
Ealocarpaceae	Vallea spp
Fabaceae	Cercidium andicola
Fabaceae	Acacia feddeana
Mimosaceae	Prosopis spp
Poaceae	Cortaderia nitida
Podocarpaceae	Podocarpus spp
Podocarpaceae	Prumnopitys spp
Rosaceae	Polylepis spp
Rosaceae	Hesperomeles spp
Rutaceae	Schinopsis haenkeana
Saxifragaceae	Escallonia spp
Solanaceae	Solanum culcullatum
Solanaceae	Solanum felinum
Verbenaceae	Citharexylum spp
Zygophyllaceae	Bulnesia rivas-martinezii
	Arbustos
Asteraceae	Parastrephia spp
Asteraceae	Baccharis spp
Asteraceae	Diplostephium spp
Grossulariaceae	Ribes spp
Melastomataceae	Brachyotum spp
Melastomataceae	Miconia spp
	Hierbas y arbustos sumergidos
Apiaceae	Archa sculenta
Brassicaceae	Nasturtium spp
Gesneriaceae	Koehleria spp
Gesneriaceae	Besteria spp
Gesneriaceae	Gunnera spp

Especies introducidas	
Familia	Especie
	Árboles
Fabaceae	Robinia pseudo - acacia
Myrtaceae	Eucalyptus spp
Pinaceae	Pinus spp
Platanaceae	Platanus x hispanica
Salicaceae	Populus deltoides
Salicaceae	Populus nigra spp italica
Salicaceae	Populus x canadensis
Salicaceae	Salix babylonica
Simaroubaceae	Ailanthus altísima
Ulmaceae	Celtis australis
Frutales diversos	

Evaluación de la Calidad del agua de los ríos andinos .Índice Biótico Andino (ABI)

Muestra:
Fecha:
Operador:

Orden	Familia	ABI	Abundancia	Orden	Familia	ABI	Abundancia
Turbellaria		5		Lepidoptera	Pyralidae	4	
Hirudinea		3		Coleoptera	Ptilodactylidae	5	
Oligochaeta		1			Lamproyidae	5	
Gasteropoda	Ancylidae	6			Psephenidae	5	
	Physidae	3			Sciuridae (Helodidae)	5	
	Hydrobiidae	3			Staphylinidae	3	
	Limnæidae	3			Elmidae	5	
	Planorbidae	3			Dryopidae	5	
Bivalvia	Sphaeriidae	3			Gyrinidae	3	
Amphipoda	Hyalellidae	6			Dytiscidae	3	
Ostracoda		3			Hydrophilidae	3	
Hydracarina		4			Hydraenidae	5	
Ephemeroptera	Baetidae	4		Diptera	Blepharoceridae	10	
	Leptophlebiidae	10			Simuliidae	5	
	Leptohyphidae	7			Tabanidae	4	
	Oligoneuridae	10			Tipulidae	5	
Odonata	Aeshnidae	6			Limoniidae	4	
	Gomphidae	8			Ceratopogonidae	4	
	Libellulidae	6			Dixidae	4	
	Coenagrionidae	6			Psychodidae	3	
	Calopterygidae	8			Dolichopodidae	4	
	Polythoridae	10			Stratiomyidae	4	
					Empididae	4	
Plecoptera	Perlidae	10			Chironomidae	2	
	Gripopterygidae	10			Culicidae	2	
Heteroptera	Veliidae	5			Muscidae	2	
	Gerridae	5			Ephydriidae	2	
	Corixidae	5			Athericidae	10	
	Notonectidae	5			Syrphidae	1	
	Belostomatidae	4					
	Naucoridae	5					
Trichoptera	Helicopsychidae	10					
	Calamoceratidae	10					
	Odontoceridae	10					
	Leptoceridae	8					
	Polycentropodidae	8					
	Hidrottilidae	6					
	Xiphocentronidae	8					
	Hydrobiosidae	8					
	Glossosomatidae	7					
	Hydropsychidae	5					
	Anomalopsychidae	10					
	Philopotamidae	8					
	Limnephilidae	7					

Anexo 2: Lista de chequeo de equipos y materiales para las salidas de campo del monitoreo de la cuenca del Titicaca, Perú.

LISTA DE CHEQUEO DE EQUIPOS Y MATERIALES

Para la medición de parámetros de campo

- ☐ Multiparámetro
- ☐ pHímetro portátil
- ☐ Conductímetro portátil
- ☐ Termómetro
- ☐ Metro (wincha)
- ☐ Calculadora
- ☐ Pilas de recambio
- ☐ Destornillador
- ☐ Cronómetro

Para la toma de muestras

- ☐ Muestreador de sedimentos
 - ☐ Muestreador de macroinvertebrados, de luz de malla menor a 200 micras
 - ☐ Recipientes suficientes y extras
 - ☐ Hielo
 - ☐ Papel absorbente
 - ☐ Bolsas plásticas negras y rojas
 - ☐ Etiquetas
 - ☐ Marcadores indelebles
 - ☐ Neveras
 - ☐ Hojas de campo
 - ☐ Balde
 - ☐ Frasco lavador con agua destilada
 - ☐ Cinta adhesiva
 - ☐ Tijeras
-

- ☐ Lapicero
- ☐ Carpeta de plástico
- ☐ ~~AR~~ Recipiente para todo el material

Para la localización física

- ☐ GPS
- ☐ Mapas
- ☐ Cámara fotográfica con tarjeta de memoria y pilas de repuesto




Para supervivencia en campo




- ☐ Sombrero, bloqueador solar
- ☐ Agua para beber
- ☐ Cuerda
- ☐ Botiquín de primeros auxilios
- ☐ Teléfono móvil
- ☐ Ropa de recambio
- ☐ Toalla

Para protección y seguridad del equipo de personas



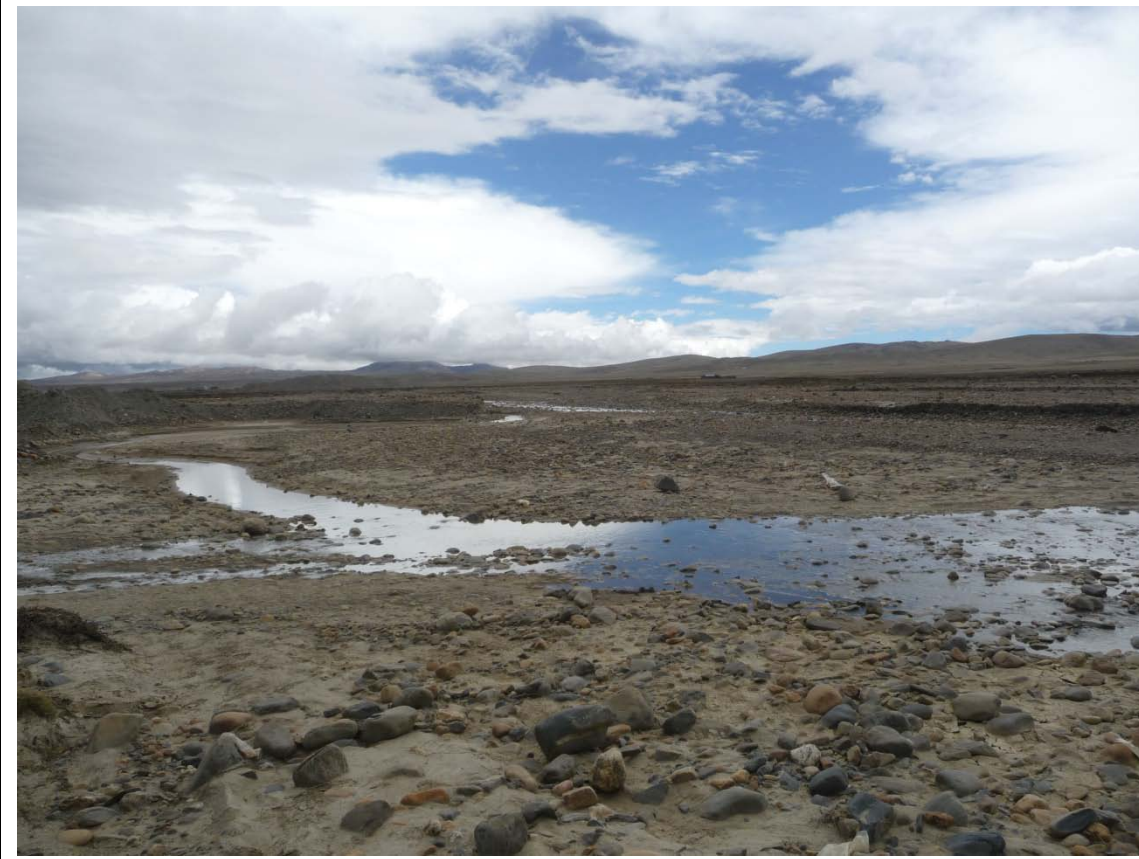
- ☐ Lentes de seguridad
- ☐ Guantes de látex
- ☐ Botas
- ☐ Impermeable para lluvia
- ☐ Documentos de permiso de acceso al lugar si es requerido




Anexo 2: Recopilación de los puntos muestreados y la información recogida




Ficha de campo		
Punto de muestreo: C1	Fecha: 22/11/11	Hora: 13.18
Ubicación del punto de muestreo		
Situación hidrológica Curso fluvial: Afluente del río Coata procedente de Lampa Subcuenca: Coata		
Situación geográfica Coordenadas UTM X: 369685 Y: 8292676		
Mapa de localización 		Mapa de detalle 
Fotografía 		
Parámetros medidos en campo		
pH: 8.75 SDT: 356 mg/L		Conductividad eléctrica: 713 $\mu\text{S}/\text{cm}$ Temperatura del agua: 16.8 °C




Ficha de campo		
Punto de muestreo: C2	Fecha: 22/11/11	Hora: 10.38
Ubicación del punto de muestreo		
Situación hidrológica		
Curso fluvial: Afluente del río Coata procedente de Isla		
Subcuenca: Coata		
Situación geográfica		
Coordenadas UTM	X: 371562	Y: 8291093
Mapa de localización	Mapa de detalle	
		
Fotografía		
		
Parámetros medidos en campo		
pH: 8.29		Conductividad: 1321 µS/cm
SDT: 660 mg/L		Temperatura del agua: 13.7 °C




Ficha de campo		
Punto de muestreo: C-D	Fecha: 25/11/11	Hora: 18.20
Ubicación del punto de muestreo		
Situación hidrológica Curso fluvial: Desembocadura del río Coata Subcuenca: Coata		
Situación geográfica Coordenadas UTM X: 402023 Y: 8275627		
Mapa de localización		Mapa de detalle
		
Fotografía		
		
Parámetros medidos en campo		
pH: 8.59 SDT: 706 mg/L		Conductividad eléctrica: 1399 $\mu\text{S/cm}$ Temperatura del agua: 16.6 $^{\circ}\text{C}$



Ficha de campo Punto de muestreo: A0 Fecha: 23/11/11 Hora: 13.44		
Ubicación del punto de muestreo		
Situación hidrológica Curso fluvial: Río Ramis Subcuenca: Ramis		
Situación geográfica Coordenadas UTM X: 431930 Y: 8382276		
Mapa de localización 		Mapa de detalle 
Fotografía 		
Parámetros medidos en campo pH: 9.49 Conductividad eléctrica: 229 µS/cm SDT: 115 mg/L Temperatura del agua: 14.5 °C		

Ficha de campo		
Punto de muestreo: A1	Fecha: 23/11/11	Hora: 7.54
Ubicación del punto de muestreo		
Situación hidrológica Curso fluvial: Río Azángaro Subcuenca: Ramis		
Situación geográfica Coordenadas UTM X: 358964 Y: 8367151		
Mapa de localización 		Mapa de detalle 
Fotografía 		
Parámetros medidos en campo		
pH: 8.06 SDT: 498 mg/L		Conductividad eléctrica: 997 $\mu\text{S}/\text{cm}$ Temperatura del agua: 13.03 $^{\circ}\text{C}$

Ficha de campo		
Punto de muestreo: H1	Fecha: 23/11/11	Hora: 12.02
Ubicación del punto de muestreo		
Situación hidrológica Curso fluvial: Río Huanacán Subcuenca: Ramis		
Situación geográfica Coordenadas UTM X: 429120 Y: 8361120		
Mapa de localización 		Mapa de detalle 
Fotografía 		
Parámetros medidos en campo		
pH: 8.56 SDT: 227 mg/L		Conductividad eléctrica: 455 µS/cm Temperatura del agua: 14.1 °C

Ficha de campo		
Punto de muestreo: R-D	Fecha: 25/11/11	Hora:
Ubicación del punto de muestreo		
Situación hidrológica Curso fluvial: Desembocadura del río Ramis Subcuenca: Ramis		
Situación geográfica Coordenadas UTM X: 417973 Y: 8306133		
Mapa de localización 		Mapa de detalle 
Fotografía 		
Parámetros medidos en campo		
pH: 8.40 SDT: 484 mg/L		Conductividad eléctrica: 968 $\mu\text{S}/\text{cm}$ Temperatura del agua: 17.1 $^{\circ}\text{C}$

Ficha de campo		
Punto de muestreo: S1	Fecha: 24/11/11	Hora:
Ubicación del punto de muestreo		
Situación hidrológica Curso fluvial: Río Suches Subcuenca: Suches		
Situación geográfica Coordenadas UTM X: 460201 Y: 8350915		
Mapa de localización 		Mapa de detalle 
Fotografía 		
Parámetros medidos en campo		
pH: 7.14 SDT: 41 mg/L		Conductividad eléctrica: 83 μ S/cm Temperatura del agua: 18.7 °C

Ficha de campo		
Punto de muestreo: T1	Fecha: 24/11/11	Hora:
Ubicación del punto de muestreo		
Situación hidrológica Curso fluvial: Río Suches Subcuenca: Suches		
Situación geográfica Coordenadas UTM X: 456304 Y: 8367823		
Mapa de localización 		Mapa de detalle 
Fotografía 		
Parámetros medidos en campo		
pH: 7.36 SDT: 48 mg/L		Conductividad eléctrica: 97 μ S/cm Temperatura del agua: 14.1 °C

Anexo 4: Recopilación de los macroinvertebrados obtenidos en cada punto de muestreo

Macroinvertebrados			Puntos								
Clase	Orden	Familia	C-1	C-2	C-D	A-0	A-1	H-1	R-D	T-1	S-1
	Hydracaruba										
	Ostracoda										
	Amphipoda	Hyalellidae	6	6	6		6		6	6	6
	Bivalvia	Sphaeriidae	3		3				3		
	Gasteropoda	Ancylidae									
		Physidae					3				
		Hydrodiidae							3		
		Limnaeidae									
		Planorbidae								3	
	Oligochaeta							1		1	1
	Hirudinea		3								
	Turbellaria		5	5							5
Insecta	Diptera	Simuliidae					5				
		Chironomidae	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Tipulidae		5		5			5	5	
		Blepharoceridae									
		Tabanidae									
		Limoniidae		4				4			4
		Ceratopogonidae	4	4	4		4	4	4		
		Stratiomyidae									
		Dixidae									
		Psychodidae									
		Dolichopodidae									
		Empididae									
		Culicidae									
		Muscidae									
		Ephydriidae									
		Athericidae									
			Syrphidae								
Oligochaeta		Annelidae									
Hirudinea											
Turbelaria	Tricladia	Planariidae									
Nematoda	Nematoda	Gordioidaea									
Crustacea	Decapoda	Palaeomonidae									
Aracnida	Acari	Hydrachnidae									
		Hygrobatidae									
		Spercomidae									
Insecta	Lepidoptera	Pyalidae									
	Odonata	Aeshnidae									
		Gomphidae									
		Libellulidae									
		Coenagrionidae									
		Calopterygidae									
		Polythoridae									
	Neuroptera	Corydalidae									
	Coleoptera	Psephenidae	5				5				
		Elmidae	5	5		5	5	5		5	
		Ptilodactylidae									
		Lampyridae									
		Scirtidae									
		(Helodidae)									
		Staphylinidae									
		Dryopidae									
		Gyrinidae									
		Dytiscidae			3						
		Hydrophilidae									
		Hydraenidae									
	Hemiptera (Heteroptera)	Naucoridae									
		Veliidae		5	5						

	Gerridae									
	Corixidae									
	Notonectidae									
	Belostomatidae									
Plecoptera	Perlidae					10			10	10
	Gripopterygidae									
Ephemeroptera	Leptohyphidae									
	Baetidae	4			4	4	4			
	Euthyplocidae									
	Oligoneuridae									
	Leptophlebiidae						10			
Trichoptera	Leptoceridae					8				
	Glossosomatidae					7				
	Hydropsychidae								5	
	Philopotamidae									
	Hydrobiosidae					8				
	Helicopsychidae									
	Calamoceratidae									
	Odontoceridae									
	Polycentropodidae									
	Hidroptilidae									
	Xiphocentronidae									
	Anomalopsychidae									
	Limnephilidae									
	Limnephilidae									
PUNTUACIÓN TOTAL ABI		37	36	23	16	67	30	26	34	28