

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES
CARRERA DE BIOLOGÍA



**Fauna béntica de lagos asociada a los sedimentos glaciales del
valle de Hichu Khota**

Por: Angela Omaira Montecinos Aspiazu

La Paz – Bolivia

2015

Universidad Mayor de San Andrés

Facultad de Ciencias Puras y Naturales Carrera de Biología

Tesis para optar al grado de Licenciatura en Biología

TITULO:

**Fauna béntica de lagos asociada a los sedimentos glaciales del valle de
Hichu Khota**

POR:

Angela Omaira Montecinos Aspiazu

TUTOR CIENTIFICO:

Lic. Rubén R. Marín Pantoja

ASESOR CIENTIFICO:

Dr. Carlos I. Molina Arzabe

Dr. Xavier Lazzaro

TRIBUNALES:

M. Sc. Julio J. Pinto Mendieta

Dr. Stéphane Guédron

JEFE DE CARRERA:

Dr. Dario Achá Cordero

La Paz, 2015

A la memoria de mi amada mamita:

Angela Espindola Notu

.... Y a mi Papá Fernando Montecinos

a quien le debo todos mis triunfos

AGRADECIMIENTOS.

A la Universidad Mayor de San Andrés, Instituto de Ecología y a la Unidad de Limnología, a los investigadores Rubén Marín, Julio Pinto y Xavier Lazzaro que contribuyeron científicamente en esta investigación. Pero especialmente mi gratitud a mi asesor científico, amigo y ahora colega Carlos Molina, por su gran apoyo científico para la realización de esta tesis.

A mis compañeros del laboratorio de la Unidad de Limnología, por su apoyo en campo y en algún punto del desarrollo de esta investigación a Susi, Karina y Jorge.

A Eiji por su apoyo en el trabajo de campo, pero además por los consejos e incentivos desde el inicio hasta el fin de este trabajo.

A mi familia, en especial a mi querido papito Fernando, quien estuvo en cada momento brindandome su apoyo incondicional en cada etapa de mi formación académica y quien es mi ejemplo de superación y de ser una mejor persona.

Finalmente un profundo agradecimiento a todos mis parientes, amigos y profesores de la vida que de una u otra manera contribuyeron en mi formación.

Índice general

1. INTRODUCCIÓN	1
2. HIPÓTESIS	6
3. OBJETIVOS	6
3.1 Objetivo General	6
3.2 Objetivos Específicos	6
4. ÁREA DE ESTUDIO	7
4.1 Geología y geomorfología	9
4.2 Clima	12
4.3 Fauna y vegetación	13
5. METODOLOGÍA	15
5.1 Caracterización física de cada lago	16
5.1.1 Estimación de la influencia glacial	16
5.1.2 Variables físicas de los lagos	17
5.2 Sedimentos	20
5.2.2 Agua	20
5.3 Composición y abundancia de macroinvertebrados	23
5.3.1 Muestreo en campo	23
5.3.2 Actividades en laboratorio	23
5.3.2.1 Identificación de macroinvertebrados	24
5.3.2.2 Identificación de los hábitos alimenticios de los invertebrados acuáticos	24
5.4 Procesamiento de la información	25
5.4.1 Comparación entre variables ambientales y biológicas	25
6. RESULTADOS	26
6.1 Caracterización física de cada lago	26

6.1.1 Estimación del porcentaje de influencia glacial (IG)	26
6.1.2 Variables físicas de los lagos	27
Trampas de sedimento	29
6.2 Análisis físico-químicos	30
6.2.1 Sedimentos	30
6.2.2 Agua	32
6.3 Composición y abundancia de macroinvertebrados	39
6.3.1 Grupos funcionales alimenticios	42
6.4 Relación entre variables ambientales y composición de macroinvertebrados	43
7. DISCUSIONES	47
7.1 Características físicas de los lagos en el valle de Hichu Khota	47
7.1.1 Influencia glacial	48
7.2 Características físico – químicas	50
7.2.1 Sedimentos	50
7.2.3 Agua	52
7.3 Composición y abundancia de macroinvertebrados	56
7.3.1 Grupos funcionales alimenticios	60
7.4 Relación entre variables ambientales y la diversidad de macroinvertebrados	62
8. CONCLUSION	65
9. RECOMENDACIONES	68
10. BIBLIOGRAFÍA	71
ANEXOS	76

1. INTRODUCCIÓN

La mayoría de los lagos de altura, en Bolivia, se originaron por movimientos glaciales y tectónicos como es el caso del lago Titicaca. El evento de mayor importancia fue el levantamiento de los Andes, producto del cual se formaron grandes lagos, llamados actualmente lagos antiguos, el lago Titicaca es un ejemplo de ello (Dejoux y Iltis 1992). Durante la última glaciación, a fines del Cuaternario, hace aproximadamente 23 000 años BP, se formaron los lagos altoandinos por arrastre de morrenas depositadas por el avance del glaciar (Argollo y Mourguiart 1995).

Estos lagos de altura, frecuentemente están distribuidos en un gradiente altitudinal, es decir alineados e interconectados por un sistema de efluentes de las mismas lagunas y lagos, en este sentido son denominados lagunas de rosario, o “lagos Paternóster” (Iltis 1988; Bórquez *et al.* 2006).

Comúnmente el sistema acuático en una laguna; es un depósito natural de agua de poca profundidad, los metros de profundidad que diferencian a una laguna de un lago varían de acuerdo a las condiciones ambientales de donde se halle el grado de colmatación (acumulación de sedimentos), esta característica no permite la formación de estratos térmicos. De acuerdo a lo estipulado en la Convención sobre los humedales (RAMSAR 1971), un lago es una cubeta profunda de agua, que de acuerdo a las latitudes donde se ubique puede tener una termoclina, tienen una profundidad mayor a los 10 metros, donde se da el cambio brusco de temperatura, y se puede distinguir la zona afótica de la fótica.

Al Noroeste de la ciudad de La Paz, se encuentran cuatro valles glaciares de la Cordillera Real, que se extienden desde la Cordillera de Tres Cruces hasta Apolobamaba (Iltis 1988). En la parte inferior se encuentra el valle de Hichu Khota, cuya denominación en el idioma nativo Aymara significa “lago de paja”, nombrado así por la presencia de abundantes pastos y gramíneas.

Los lagos de altura, incluidos los cuatro lagos del valle de Hichu Khota, se alimentan de agua que proviene principalmente del deshielo de nieve sobre las cumbres vecinas. El agua que llega a los lagos y lagunas lleva en sí material particulado orgánico e inorgánico, el cual entra a estos cuerpos de agua mediante dos principales vías:

1^{ra} Aportes laterales. Estos aportes son provenientes directamente del glacial, los cuales también contienen material particulado de la montaña, que se arrastra por erosión del deshielo del glaciar.

2^{da} Aporte longitudinal. Es el arrastre de material particulado, producto de la erosión de cuerpos de agua lóticos, los cuales nacen en la cabecera del valle y entran de forma longitudinal a través de los cuerpos de agua leníticos conectados por los ríos.

Los sedimentos contenidos en el agua, llegan por dos vías; primero como material particulado alóctono, compuesto principalmente por derivados del suelo, cuya composición está dominada por minerales inorgánicos; este material es el resultado de la fuerza erosiva de los ríos y arroyos circundantes. La segunda vía, es por el aporte autóctono de material orgánico particulado fino en suspensión, generado por procesos biológicos y químicos (Bloesch 2004).

En lagos altoandinos ubicados desde 4300 hasta 4850 msnm, las aguas superficiales suelen no congelarse debido a que se encuentran en la zona tropical de alta montaña, donde la temperatura de la masa de agua no desciende por debajo de 3°C (Dejoux y Wasson 1987). Solo en aquellos cuerpos de agua cercanos al glacial, las lagunas pueden presentar una película de agua congelada, sobre todo en época seca donde se registran las más bajas temperaturas (Dejoux y Wasson 1987; SENAMI 2013).

La fauna de macroinvertebrados, en estos cuerpos de agua, se ha adaptado a las condiciones de hábitat para su diversificación de especies, dada esta característica es posible que los organismos que habitan estos lagos y lagunas puedan conformar un grupo de bioindicación, los cuales pueden determinar cambios en el metabolismo de estos cuerpos de agua, dependiendo de las características físicas, químicas y biológicas de hábitat ya que son los que colonizan los diferentes lagos desde el nacimiento hasta la senescencia de los mismos (Dejoux y Wasson 1987; Pétur 2004).

En Bolivia los estudios publicados sobre lagos de altura son pocos y la información que se tiene sobre la composición de macroinvertebrados en estas zonas es muy escasa. Entre los principales trabajos están aquellos que utilizan a la comunidad de macroinvertebrados como indicadores de parámetros ambientales. Por ejemplo Apaza (1991), los utilizó como indicadores biológicos, para determinar la contaminación de metales producto de los efluentes mineros en lagunas de altura; también pueden ser utilizados como indicadores de los cambios en el hábitat en el que viven por cambios en la composición físico-química de un lago (Iltis 1988; Maiolini *et al.* 2006), ya que se ven influenciados por el tipo de sustrato y su composición química. El único estudio publicado que se llevó a cabo en los lagos del valle de Hichu Khota, es el trabajo realizado en 1987 por Dejoux y Wasson, considerado base importante para el presente trabajo.

Por otro lado, el tipo de sedimento asociado a parámetros físico-químicos puede indicar, como las poblaciones de estos organismos, colonizan ciertos hábitats bajo fenómenos o sucesos como el retroceso de glaciares (Bloesch 2004). También, según Stumm (2004), el flujo de agua y tipo de sedimentos son características importantes para entender, a través del ciclo de nutrientes, las características físico-químicas y composición biológica de estos ecosistemas. Al mismo tiempo, este tipo de conocimiento, ayuda a predecir el efecto sobre la biota, porque los sedimentos favorecen o desfavorecen el desarrollo de la especificidad de macroinvertebrados, dependiendo de la composición físico-química del agua (Ciamporová *et al.* 2010) y la velocidad de colmatación de los mismos sedimentos (Bloesch 2004).

Los macroinvertebrados que habitan un sistema léntico asociado a los sedimentos tienen requerimientos metabólicos específicos, de acuerdo al grupo al que pertenecen, en este sentido las características principales que definen la composición y abundancia de macroinvertebrados en estos hábitats, descritas por Pétur (2004) son:

- La calidad y cantidad de alimento.- relacionado a la capacidad que tiene el organismo de utilizar el alimento disponible, a su vez esta característica se

relaciona con:

- El sistema de flujo de nutrientes.- donde se define la cantidad de materia orgánica; esta característica está asociada a la dinámica del flujo de agua, es así que normalmente la salida de un lago contiene menor cantidad de nutrientes y materia orgánica, comparado con la entrada, ya que en el transcurso se aprovecha y precipita al fondo de la cubeta.
- La producción primaria.- la composición de organismos como fitoplancton y zooplancton determinan la diversidad de grupos funcionales alimenticios de macroinvertebrados.
- El relieve y la naturaleza geológica de la cuenca.- estas características determinan la intensidad y forma de deposición de sedimentos los cuales contienen nutrientes importantes para el desarrollo de la producción primaria.
- Aportes de sedimento.- de acuerdo a la cantidad de sedimento que entra al cuerpo de agua dependen las características anteriormente descritas y es por esta razón que es importante describir el origen de los aportantes que entran a cada lago.

Por estas características ambientales que se relacionan con los aportes de sedimentos, esta investigación es base inicial para el estudio de los macroinvertebrados como probables indicadores de la dinámica metabólica de los lagos altoandinos a consecuencia de la evolución de los sedimentos.

La clasificación de los grupos funcionales alimenticios que tiene cada grupo de macroinvertebrados (p.ej. Depredadores, Fragmentadores, Colectores-Recolectores, entre otros), da una perspectiva del entorno en el que viven (Palmer y O'Keeffe 1993), y este conocimiento ayuda a comprender las variables que explican la pregunta de investigación.

Bajo estas consideraciones, este trabajo pretende contribuir al conocimiento de las comunidades de macroinvertebrados caracterizando su hábitat y analizando la relación del proceso de colonización sobre sedimentos de origen glaciario con las características de su entorno, en tres lagos altoandinos del valle de Hichu Khota, respondiendo la siguiente pregunta:

¿Cómo influye el aporte de sedimentos en la composición y abundancia de macroinvertebrados en lagos altoandinos de origen glaciar del valle de Hichu Khota?

Sobre el aspecto socio-ecológico, los cuerpos de agua de alta montaña, son importantes reservorios de agua dulce, que están aumentando en volumen debido al deshielo de los glaciales (Bórquez *et al.* 2006). En estos cuerpos de agua se desarrollan organismos adaptados a condiciones extremas, tanto químicas como físicas, que permiten colonizar a organismos que serán importantes indicadores del cambio del metabolismo de estos lagos (Reynolds 2004; Brown y Milner 2012). Con el conocimiento adquirido, se pueden plantear bases y programas de conservación de estos reservorios de agua y de su biodiversidad, ya que estos cuerpos de agua actualmente forman parte de una estrategia, para el abastecimiento de agua a las principales ciudades de La Paz y El Alto (MMAyA 2013).

Es por esta razón, que es importante estudiar a las comunidades de macroinvertebrados acuáticos de cuerpos de agua ubicados al pie de los glaciales. Ya que, son sistemas altamente vulnerables, no solo a los cambios climáticos globales (Brittain y Milner 2001) por su efecto en el retroceso de los glaciales (Francou *et al.* 1995; Bórquez *et al.* 2006), sino también por el efecto antrópico al cual están expuestos estos ecosistemas acuáticos. En este contexto los macroinvertebrados pueden ayudar a entender los procesos de cambios ambientales, la calidad ecológica que involucra la calidad de las aguas, las cuales en un futuro serán utilizadas para el abastecimiento de las principales ciudades.

2. HIPÓTESIS

En el ultimo tiempo los glaciales tropicales estan experimentando una acelerada contracción de sus campos de nieve a consecuencia del leve y progresivo incremento de la temperatura promedio mundial. La contracción del glaciar esta generando cambios en la dinamica ecológica de las comunidades biológicas que albergan estas regiones. Uno de los principales efectos es la contribución de sedimentos que estan atrapados en la masa de nieve, que por efecto del dehieles, erosionan los suelos y contribuyen al arrastre de sedimentos hacia zonas de deposición como los lagos Altoandinos. En este sentido considero que la contribución de estos sedimentos está generando cambios en la dinamica ecológica de estos lagos y sin lugar a dudas, las comunidades de macroinvertebrados acuáticos serían los más sencibles en predecir estos cambios. Es por todo esto, que el aporte de sedimentos glaciales está influyendo en la reducción de la composición y abundancia de especies de macroinvertebrados.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Determinar la relación de la sedimentación sobre la abundancia y composición de macroinvertebrados, en dos hábitats de tres lagos de origen glaciario.

3.2 Objetivos Específicos

1. Estudiar y comparar la composición físico-química de los sedimentos y del agua, en tres lagos distribuidos a diferente altura respecto al glaciar.
2. Analizar la dinámica de sedimentación mediante depósitos artificiales de sedimentación, en la zona litoral de entrada y salida de los tres lagos.
3. Describir el efecto de las partículas suspendidas de la columna de agua en la luminosidad y producción primaria, asociado a la influencia glaciario en la cuenca a través de la cobertura glaciario en cada uno de los tres lagos.
4. Caracterizar las comunidades de macroinvertebrados en la zona litoral del afluente y del efluente de cada uno de los tres lagos.

4. ÁREA DE ESTUDIO

El valle de Hichu Khota se encuentra en la Cordillera Real al N-E de la ciudad de La Paz próximo al poblado de Peñas en la provincia Omasuyos (Figura 1). Se caracteriza por presentar un típico valle glacial, es decir; una sucesión transversal en forma de “U” y en su perfil longitudinal, una estructura en forma de gradas ocupadas por lagos y bofedales, originada por la ablación de la nieve (Coca 1972). En el perfil longitudinal, estos lagos se encuentran interconectados por ríos, riachuelos y bofedales (Ramírez 2009).

El gradiente altitudinal del valle de Hichu Khota incluye una laguna y tres lagos altoandinos: Wila Lloreta (4886 m), Jankho Khota (4699 m), Khotia (4455 m) y Khara Khota (4310m) y además de un bofedal el Hichu Khota; estos dos últimos ecosistemas no han sido considerados en el presente trabajo debido a su alta influencia antrópica, lo cual podría sesgar la toma de datos que considera el presente diseño de estudio.

Como en otras zonas montañosas, el aporte de agua a los lagos proviene del deshiele de los glaciales, de las precipitaciones pluviales y de aguas subterráneas. Estos aportes de agua regulan el flujo hídrico en el ciclo anual, los cuales son cursos de agua corrientes permanentes. Las precipitaciones se infiltran en las partes altas de laderas y cerros, y emergen en las partes bajas del nivel superior de los lagos a esta dinámica se la conoce como “Coluvio” (Coca 1972; Argollo 1980).

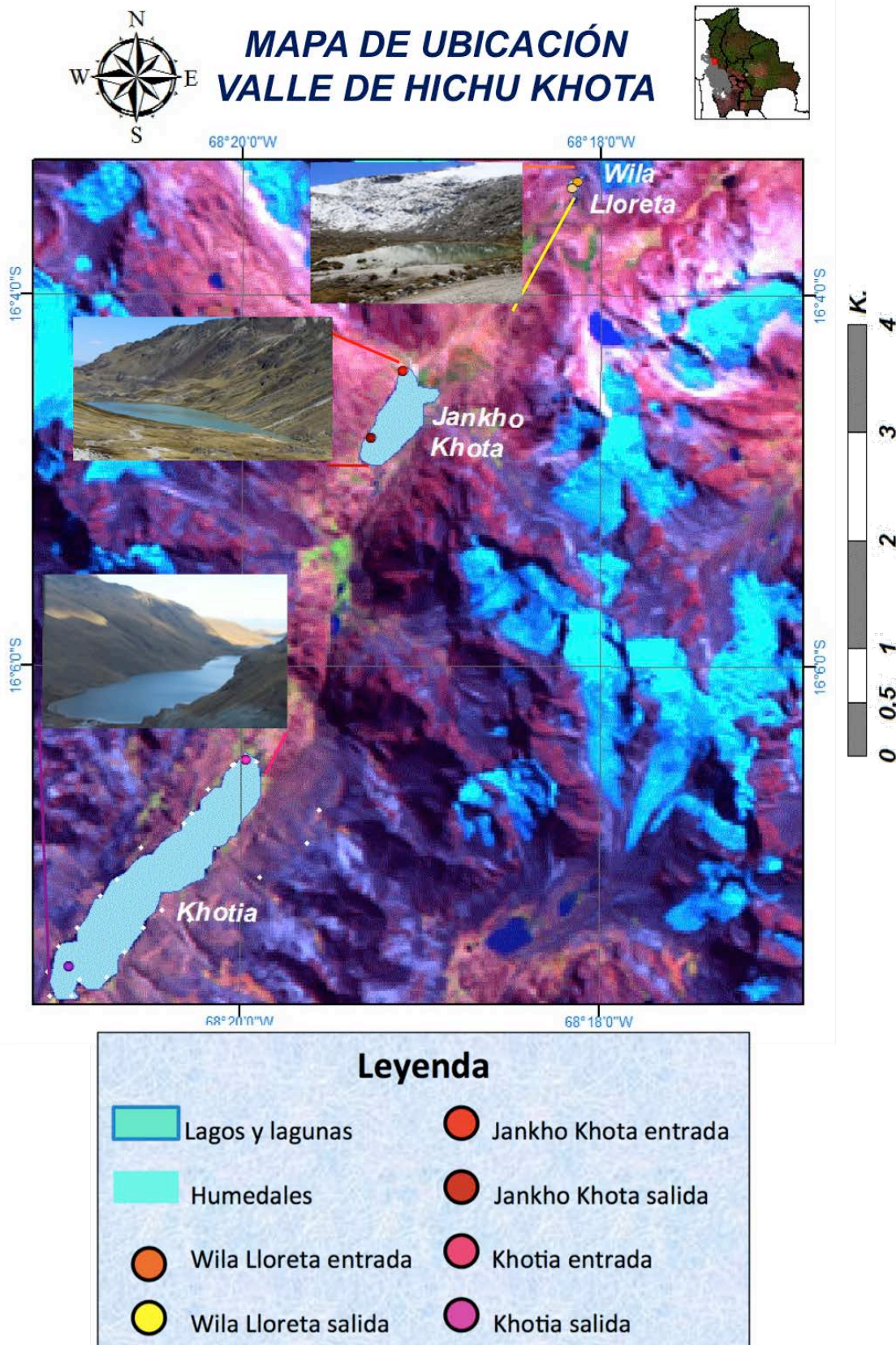


Figura 1. Mapa del valle de Hichu Khota, con los tres lagos glaciales de estudio

4.1 Geología y geomorfología

La Cordillera Real situada en la parte Oeste de los Andes, geológicamente se caracteriza principalmente por pizarras negras del Ordovícico y Silúrico, incrustadas de granito del Triásico - Jurásico (Argollo 1980).

En el Cuaternario reciente, según Gouze (1984); diferencia cuatro generaciones de morrenas que originaron los lagos que existen en el valle: Khara Khota, Khotia y Jankho Khota y a los bofedales ubicados en la parte alta del valle (Figura 2). Los sedimentos del Cuaternario cubren la mayor parte del área de estudio en forma de depósitos morrécicos, depósitos fluvio-glaciales y fluviales (Saavedra 1988).

Según descripciones geomorfológicas realizadas por Argollo (1980), el área de estudio abarca dos principales zonas (Figura 2):

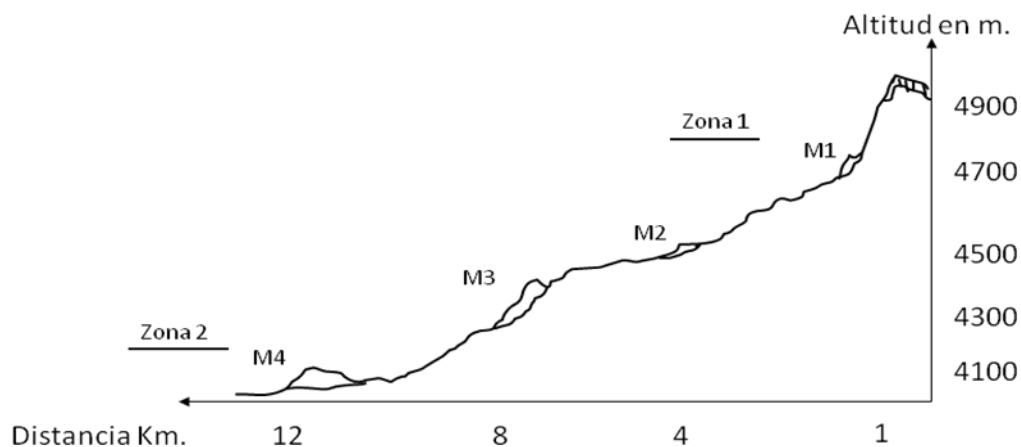


Figura 2. Posición y altitud media de las morrenas (Gouze 1984), zonas 1 y 2 descritas por Argollo (1980) en el valle de Hichu Khota.

Zona 1 (> 4800 m).- Esta causada por oscilaciones glaciales, contiene formas típicas como agujas y paredes empinadas que descienden hacia los lagos distribuidos en rosario. Las lagunas y lagos que se forman son remanentes del glacial, además presenta efectos del hielo como: fragmentación de rocas y presencia de suelos periglaciales o estructurales.

Zona 2 (4800 – 4280 m).- Los terrenos formados por oscilaciones glaciales ocurridas en el cuaternario, se manifiesta por la alternancia de fases de erosión y acumulación. La acumulación está representada principalmente por depósitos de tills que en algunos casos no presentan formas de depósito típico por efecto de erosión posterior. Sin embargo otras si presentan formas de depósito como ser morrenas laterales, frontales, de fondo entre las más importantes.

Los fenómenos de erosión están representados por la formación e individualización de valles fluviales cuya morfología fue modelada por varios avances glaciales y también por la formación de superficies planas de erosión.

El tipo de rocas del área de estudio, correspondiente al Cuaternario, fue clasificado por Saavedra (1988), en dos grandes grupos:

Rocas Sedimentarias.- La sedimentación arcillosa de diversos colores (rojizo, verdoso, azulado, entre otros) están intercaladas por pequeños bancos de areniscas calcáreas de caliza pelítica (de 5 a 10 cm., de diámetro), en su mayoría son de cuarzo y algunos minerales pesados como Zircon y Apatito.

Rocas Ígneas.- Estas son de origen volcánico de colores grises blanquecinos, compuestos por materiales claros (cuarzo y feldespatos) y minerales oscuros (biotita). El abundante cuarzo es de forma más o menos redondeada, los fenocristales de biotita son de forma tubular que se hallan corroídos y alterados principalmente a óxidos de hierro.

Las rocas de alrededor de los cuerpos de agua lóticos, son material que se desgasta por efecto de las escorrentías. Las partículas minerales, de las rocas llegan a depositarse en los cuerpos de agua leníticos.

Los aportes de agua en la zona, pueden explicarse de la siguiente manera, de acuerdo a las descripciones realizadas por Maiolini *et al.* (2006) y Cauvy-Fraunié *et al.* (2013), respectivamente:

1. Aportes laterales del glacial (Fig.3 líneas celestes).- los aportes de agua provenientes de glacial, se producen por el deshiele de la capa superficial de éste. Cuando el agua se descongela y desciende la montaña hasta desembocar en los lagos que se encuentran en superficies inferiores; a su paso arrastran material orgánico como detritos, e inorgánico producto de la erosión de las rocas y material mineral de los bordes. A los cuerpos de agua loticos, llega una fracción del material erosionado, ya que éste también, se va depositando en el transcurso del camino. El material que se arrastra y se deposita en las cubetas, contiene partículas que en su gran mayoría van a ser elementos que conforman la montaña, pero además se incluyen los elementos propios del glacial, los cuales fueron depositados en el hielo mediante el proceso de acumulación superficial, en el cual las partículas transportadas por el aire y agua son depositadas en la superficie del glacial y mediante el proceso de fusión son atrapadas en la masa glacial (Mark y Seltzer 2003).

2. Aportes de cuerpos de agua loticos (Fig.3 líneas amarillas).- los aportes de agua provenientes de los ríos y arroyos tienen una dirección longitudinal y altitudinal. Se forman en la cabecera del valle por el deshiele del glacial que desemboca sus primeras aguas al primer cuerpo de agua estacionario, que se constituye en una laguna; después esta laguna al rebalse de agua, forma una salida que conforma a su vez un arroyo o río, el cual baja hasta desembocar en otro cuerpo de agua lenítico y continua de esta forma hasta que en la planicie no encuentra una cubeta y conforma un río que continua su cauce por gravedad. El agua de este aporte contiene material de erosión del suelo como bofedales y de la roca que en su mayoría está compuesto de tipo orgánico vegetal y de material mineral respectivamente, ambos llegan a la cubeta como partículas finas.



Figura 3. Lago Jankho Khota, un ejemplo de los aportes laterales en celeste y aportes longitudinales y altitudinales en amarillo.

De acuerdo a esta dinámica de entrada de sedimentos a cada lago, el perfil de sedimentos acumulados ofrece diferentes tipos de hábitat para los macroinvertebrados. De hecho, el sedimento de acuerdo a su disponibilidad, se compone de: partículas de materia orgánica (POM) y materia orgánica disuelta (DOM), las cuales contribuyen a la alimentación y desarrollo de los macroinvertebrados (Jónasson 2004).

4.2 Clima

Por su ubicación, el clima del valle de Hichu Khota, al igual que otros valles glaciales de la región, es tropical de alta montaña (Ramírez 2009). Las precipitaciones pluviales están principalmente concentradas de diciembre a mayo (877,9 mm, época húmeda) y el resto del año es seco (114,9 mm), como se observa en la figura 4 (SENAMI 2013).

Precipitación media (mm) estación Hichu Khota

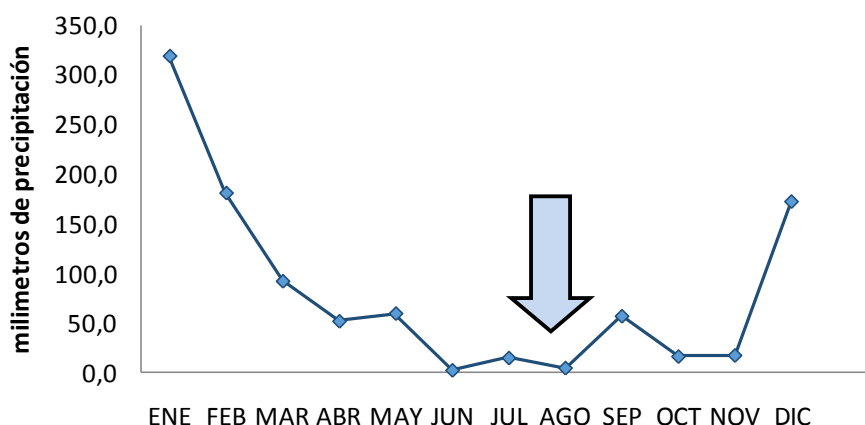


Figura 4. Precipitación mensual expresada en milímetros para el año 2013, datos estación meteorológica de Hichu Khota SENAMI. Flecha indica los meses de muestreo (julio y agosto).

El glaciar tiene influencia sobre el patrón de vientos y sobre la cantidad total de precipitaciones. La temperatura promedio varía entre 6,4 °C durante la época húmeda y 3,5 °C durante la época seca (Ostria 1987; Triau y Francou 1992; Soruco y Francou 2009). Sin embargo, al igual que otras zonas montañosas las variaciones diarias de temperatura son más amplias (Coca 1972).

4.3 Fauna y vegetación

De acuerdo a características vegetales, relieve y de altura, el área de estudio corresponde al piso altitudinal “Altoandino” (Beck y García 1991; Navarro y Maldonado 2011). La vegetación terrestre del área de estudio, difiere entre las pendientes laterales y el fondo de valle, en relación a la naturaleza del suelo y la tasa de humedad (Ostria 1987). Las “pendientes laterales”, están compuestas por una escasa vegetación que deja ver el sustrato pedregoso, constituida principalmente por: Compuestas, Gramíneas y otras herbáceas. El “fondo de valle”, está caracterizado por una vegetación densa, que no deja ver el sustrato, donde se diferencian dos

formaciones vegetales: las praderas húmedas (4340 - 4500 m) y los bofedales (4500 - 4880 m) (Meneses 2012).

Según Iltis (1988), la dominancia de la vegetación acuática de los lagos de Hichu Khota, está dada por dos especies: *Isoetes* sp. y *Elodea potamogeton*. El gradiente altitudinal influye para que algunas macrofitas sean específicas: *Nitella clavata* y *Myriophyllum elatinoides* en Khara Khota, *Lilaeopsis* sp., *Ranunculus* sp., *Callitriche* sp. y *Limosella* sp. en Khotia y *Sciaromiun* sp. en Jankho Khota. No se conoce la vegetación acuática de Wila Lloreta.

La mastofauna que habita en este rango altitudinal (4400 – 5000 m) está representada por pequeños mamíferos. Los roedores, son los más abundantes: *Akodon* (ratón negro), *Neotomys* (ratón de nariz roja), *Auliscomys* (ratón colorado), *Calomys* (ratón chiquito) y el representante más grande, *Lagidium vascaccia* (vizcacha de altura). Además la fauna domestica del lugar está compuesta principalmente por: *Lama glama* (llama) y *Lama pacos* (alpaca); entre los animales introducidos están: *Ovis aries* (oveja), *Bos taurus* (vaca), *Equus caballus* (caballo) y *Equus asinus* (burro) (Mercado y Millares 1991).

El piso Altoandino alberga 29 especies de aves, de éstas, 20 están restringidas a este piso (>4000 m). Generalmente las más comunes son: *Rollandia rolland* (zambullidor), dos tipos de *Anas* spp. (Patos silvestres) y *Cloephaga melanoptera* (huallata), entre otras (Rivera 1991). Las aves se alimentan de insectos acuáticos y terrestres, además de organismos vegetales acuáticos como macrófitas y micrófitas, (Baudoin y Pacheco 1991). No se tiene registros de anfibios para la zona, pero en cuanto a los reptiles, se tiene el registro de una especie *Liolaemus* spp. (lagartija), que se alimenta de insectos terrestres (Baudoin y Pacheco 1991).

Según el estudio realizado por Lauzanne y Franc (1979), en estos lagos, se determinó tres poblaciones de peces: *Orestias* sp. (carachi), muy posiblemente *Orestias polonorum* (Herbas 2011), la segunda población pertenece a la familia de los Trichomycteridae, y la tercera, una especie introducida *Oncorhynchus mykiss* (trucha).

En 1975, la trucha fue utilizada como medio de subsistencia, por la población aledaña (Lauzanne y Franc 1979); actualmente, se pudo observar que la especie aun es aprovechada por la comunidad, ya que cuenta con salas de incubación para la comercialización de alevinos de trucha.

5. METODOLOGÍA

De acuerdo a los objetivos de la presente investigación, el diseño metodológico contempla la evaluación de las características de la sedimentación glacial, sobre los hábitats de entrada y salida de los tres lagos próximos al nevado del valle de Hichu Khota.

La investigación se realizó en la época seca, entre los meses de julio y agosto de 2013, la primera salida abarcó el primer muestreo y el montaje de aparatos experimentales de sedimentación que se quedaron sumergidos en los tres lagos hasta el siguiente mes, donde se realizó el segundo muestreo. En el gradiente espacial de cada sitios de estudio se evaluó el gradiente de profundidad de la parte litoral tanto de entrada del afluente como en la salida del efluente; los cuales se constituyen en los hábitats de comparación entre los lagos, donde se realizaron mediciones y muestreos de los parámetros físicos, químicos y biológicos.

El presente estudio, se delimitó a estudiar la época seca del año 2013, dado que esta época es mejor para evaluar la influencia de los aportes del glacial, los resultados y todo lo que involucra este trabajo podrían ser diferentes en la época húmeda debido a las precipitaciones pluviales y a las variaciones en las condiciones climáticas en los lagos glaciales, los cuales presentan diferencias entre épocas y una mayor variación en la época húmeda que depende de la cantidad de descarga que tenga cada glacial.

5.1 Caracterización física de cada lago

El reconocimiento de la morfología del valle y de los lagos, se realizó mediante observación directa y, se describió; la forma del valle, tipo de aporte de agua a cada lago y tipo de perturbaciones. Cada lago fue georeferenciado y se registro la altura por medio de un equipo GPS (Garmin 12, Suiza), los datos luego fueron empleados para la elaboración del mapa de ubicación del área de estudio (figura 1) y el cálculo de Influencia Glacial.

Para la identificación de la zona litoral de cada hábitat en cada lago, se midió la transparencia del agua (luminosidad), mediante la profundidad de desaparición del disco de Secchi (Zs). Esta medición permite estimar la profundidad de la zona eufótica (Zue), la cual llega a penas a 1% de la radiación visible superficial ($Z_{eu} = a \cdot Z_s$ donde: $a = 2,3$, constante) delimitando la zona litoral la cual fue georeferenciada, además este dato permite estimar la profundidad media de las zonas litorales de cada hábitat en cada lago.

5.1.1 Estimación de la influencia glacial

Con los datos de georeferencia de cada punto de muestreo, además, se estimó la influencia glacial en la cuenca (IG), a través del cálculo del porcentaje de cobertura glacial (CG) el cual fue adaptado para la zona tropical por Cauvy-Fraunié *et al.* (2013). Esta técnica fue desarrollada por Jacobsen y Dangles (2012) en la zona de los Alpes, el cálculo del índice de influencia glacial (IG), es una combinación del tamaño del glaciar con la distancia terminal del glaciar y se utiliza como un registro ambiental natural o también conocido como “proxy” integrador del medio ambiente: lo que permite disociar los gradientes espaciales como la distancia del cuerpo de agua al glaciar y comparar latitudinalmente la riqueza de los organismos, en este caso macroinvertebrados.

Sobre una imagen DEM (Modelo Digital de Elevación) de 30 metros de altura, se formaron polígonos los cuales delimitan cada punto de muestreo de cada microcuenca;

es decir la entrada y salida de cada lago. Después con el registro de cobertura glacial de la base de Imágenes Satelitales Lansat (2005), se interceptó a cada microcuenca, para determinar en porcentaje de grado de influencia del glaciar sobre cada punto de muestreo. Se utilizó el programa SAGA (*System for Automates Geoscientific Analyses* versión 2.0.8.) y el programa ArcMap (versión 9.3) para realizar los cálculos correspondientes.

El resultado que se obtiene del cálculo de influencia del glaciar, es el porcentaje de influencia que tiene el glaciar sobre cada hábitat de estudio. Mediante la aplicación de la siguiente fórmula se obtuvo la influencia que tiene el glaciar, en cada uno de los lagos de acuerdo al área de la masa glacial y el área de cada lago.

$$\text{Influencia del glaciar} = \frac{\text{Área total de glaciar} * 100}{\text{Área de cuenca}}$$

5.1.2 Variables físicas de los lagos

A parte de la evaluación de las variables sobre la influencia glacial, también se tomaron otras variables físicas, para realizar una descripción detallada de las características que pueden influenciar en el proceso de sedimentación en relación a la abundancia y composición de macroinvertebrados.

Las variables que se toman en cuenta son:

- **Profundidad.**- estos datos fueron registrados en diferentes puntos de los lagos mediante un profundímetro digital (Speedtech SM5, USA). Todos estos datos posibilitaron conocer la profundidad promedio de las zonas litorales (entrada y salida) y además la máxima profundidad que tiene cada lago.
- **Superficie total de cada lago.**- medido a través del trazo de polígonos del espejo de agua, sobre imágenes satelitales, para obtener la superficie de la zona litotal se realizó una aproximación, dividiendo todo el lago en cuatro partes

iguales para tener la superficie de las dos zonas litorales, excepto para Wila Lloreta la cual es en toda su extensión zona litoral, en este caso la división se realizó en dos partes para ambos hábitats.

- Con el dato de profundidad y superficie de cada zona litoral, se calculó el volumen de agua en ambos sitios de muestreo, mediante la siguiente fórmula:
$$\text{volumen (m}^3\text{)} = \text{profundidad (m)} * \text{superficie (m}^2\text{)}$$
- Cantidad de sedimento acumulado en cada hábitat en un tiempo determinado. Esta variable proviene del método experimental que se llevó a cabo en las zonas litorales de cada lago, el cual fue calculado en peso seco, a partir de la cantidad de sedimento precipitado dentro de las trampas de sedimento en un lapso de 4 semanas, método que se detalla a continuación.

Con el fin de medir la cantidad relativa de sedimento que precipita dentro los hábitats de cada lago, se construyeron trampas de sedimento (Fig. 5). Estas trampas consistieron en la agrupación de 6 tubos destapados Falcon con un volumen de 10 ml., los cuales fueron instalados en cada hábitat a la profundidad de la zona litoral. Para su anclaje se utilizó una boya de flotación y en la parte inferior se sujetó a un lastre, que llega al fondo para mantener la verticalidad del aparato. El tiempo de permanencia de estos aparatos dentro del agua fue de 4 semanas, tiempo mínimo en el que precipitan una cantidad suficientemente cuantificable de sedimentos (Merritt y Cummins 1996), que entran a la cubeta de agua y tienen procedencia tanto del glacial como de los cuerpos de agua lóticos (Fig. 3).

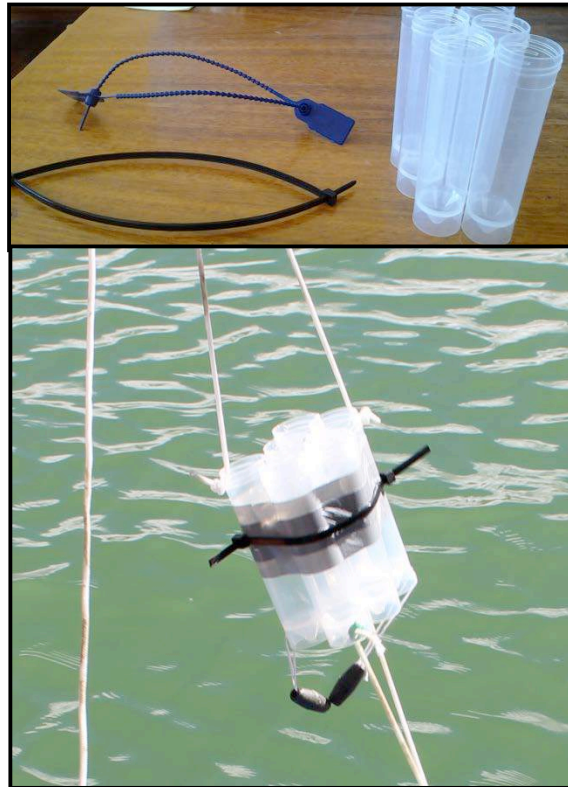


Figura 5. Trampa de sedimento, diseño propio

Transcurrido un mes los sedimentos obtenidos de las trampas (figura 5), fueron cuantificados en peso seco en el Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA) de la Universidad Mayor de San Andrés. Con la cantidad de sedimentos que precipitó dentro del área de cada tubo, se calculó el Índice de Sedimentación, el cual tiene datos de peso del sedimento precipitado en área determinada por un lapso de tiempo que corresponde a un mes.

Este trabajo contempló la evaluación de la composición físico-química en sedimentos y agua en cada hábitat, los análisis se realizaron en el LCA. Estas variables son las posibles condiciones importantes, que determinan la composición y abundancia de los macroinvertebrados en los hábitats de cada lago (Pétur 2004; Sullivan y Reynolds 2004).

5.2.1 Sedimentos

Las muestras para el análisis químico de los sedimentos, se realizaron mediante la colecta de sedimento, con ayuda de una draga (vol. \approx 1 litro) en los dos hábitat de cada lago. Los parámetros que se determinaron, como referencia fueron: la cantidad de materia orgánica (MO), la cual se realizó mediante el método de “Walkey Black - Digestión húmeda con dicromato de potasio” de una muestra de 0,5 g de sedimento seco en el laboratorio de “Suelos” del Instituto de Ecología - UMSA.

Los elementos que se analizaron son: Nitrógeno y Fósforo (N, P) como nutrientes, Sodio, Potasio y Calcio (Na, K, Ca) elementos necesarios en menor cantidad para el metabolismo de los organismos acuáticos y finalmente Plomo y Arsénico (Pb y As) como elementos tóxicos que perjudican el desarrollo de la diversidad acuática (Dejoux y Iltis 1992; Stumm 2004). Los métodos que se emplearon para los análisis de los parámetros químicos mencionados previamente se detallan en la Tabla 1.

5.2.2 Agua

Para determinar como referencia la cantidad de nutrientes presentes en estos cuerpos de agua, como: Nitrógeno y Fósforo (N y P) y la cantidad de elementos que son limitantes para el desarrollo de los organismos acuáticos como: Arsénico, Cadmio, Mercurio y Zinc (As, Cd, Hg y Zn), además algunos de estos elementos como el As representan trazadores de sedimento ya que llegan a los cuerpos de agua por la erosión del suelo (Wurtsbaugh *et al.* 1991), se colectaron muestras de un litro de agua, en cada hábitat. El método consistió mediante enjuagues con agua del mismo sitio en frascos de polietileno previamente esterilizados. Seguidamente la toma del agua se realizó inmerso en el agua de cada lago, sin filtración y fueron cerrados inmediatamente con el objetivo de impedir la entrada de partículas que puedan alterar la muestra. Todas estas muestras fueron conservadas a una temperatura por menor a 4°C, hasta llegar a la refrigeración del LCA, donde todos estos elementos fueron analizados mediante métodos estandarizados (Tabla 1).

Las mediciones *in-situ* de parámetros físico-químicos, fueron determinados con la finalidad de observar las variaciones de los parámetros en la columna de agua de cada hábitat y de esta forma identificar aquellos parámetros que están influyendo en la abundancia y composición de macroinvertebrados. Las mediciones se realizaron a lo largo de perfiles verticales en la columna de agua mediante dos sondas automáticas, el rango de tiempo del muestreo por lago aproximadamente es de una hora y se realizó entre las 11:00 a.m. y 18:00 p.m. (Figura 6):

- Fluoro Proebbe (Moldaenke, Cincinnati, USA) fig. 6a, que consta de dos sondas que miden: la fluorescencia *in-vivo* de la clorofila-a del fitoplancton, para su especiación en cuatro grupos taxonómicos: Chlorophyta, Cryptophyta, Cyanophyta y Bacillariophyta. La fluorescencia es un proxy complejo de la biomasa fitoplanctónica que integra la actividad fotosintética. Estos datos son importantes para tener una aproximación de la productividad primaria, importante como base productora de la cadena trófica, para el desarrollo de los macroinvertebrados.
- Hydrolab DS5 (OTT Hydromet, Kempten, Alemania) fig. 6b, es un multiparámetro que mide: pH, OD, turbidez, temperatura y conductividad. Además está equipada de un quantámetro PAR Li-Cor esférico (fig. 6c), que mide la luz PAR, utilizada para la absorción de la fotosíntesis.

En cuanto a las mediciones de la clorofila-a, esta es la medida de la actividad fotosintética que depende del estado fisiológico de los grupos algales; cuyos resultados que se obtienen en función de la fluorescencia que emite cada tipo de alga, por la excitación de la luz visible, depende principalmente de la presencia de clorofila-a.

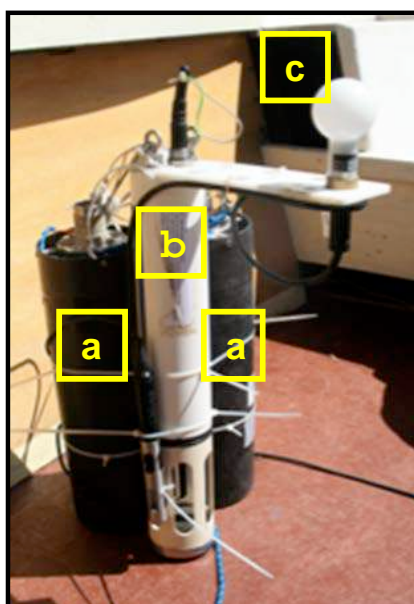


Figura 6. Sondas de medición de parámetros químicos y físicos: a) FluoroProebbe, b) Multiparamétrico Hydrolab DS5 y c) Quantámetro PAR Li-Cor esférico

El método, los parámetros y las unidades consideradas en los análisis tanto *in-situ* como *ex-situ* de los sedimentos y del agua, se resumen en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros químicos determinados *in-situ* y *ex-situ*

	PARAMETRO	UNIDAD	MÉTODO DE ANÁLISIS
Sedimento	Nitrógeno total	% peso	ISRIC 6
	Fosforo disponible	mg P/Kg	ISRIC 14-3
	Sodio total	mg/Kg	Microwave Reaction System/EPA 273,1
	Potasio total	mg/Kg	Microwave Reaction System/EPA 258,1
	Calcio total	mg/Kg	Microwave Reaction System/EPA 215.1
	Arsénico total	mg/Kg	Microwave Reaction System/EPA 206.2
	Plomo total	mg/Kg	Microwave Reaction System/EPA 239.2
	Materia Orgánica	%	Walkey Black – Digestión húmeda con $K_2Cr_2O_7$
Agua <i>ex-situ</i>	Nitrógeno total	mg/L	EPA 351.1
	Fosforo total	mg P-PO4/l	EPA 365.2
	Arsénico	mg/l	EPA 206.2
	Cadmio	mg/l	EPA 213.2
	Mercurio	mg/l	EPA 245.2

	Zinc	mg/l	EPA 289.2
	Turbidez	UTN	EPA 180.1
	Sólidos sedimentables	ml/l	Cono milimetrado <i>Cono de Imhoff</i>
	Clorofila	µg/l	Sonda de fluorescencia <i>in-vivo</i> de la clorofila <i>Fluoro Proebbe</i>
	pH	pH	
Agua <i>in-situ</i>	Oxígeno Disuelto	mg/l	Multiparámetro <i>Hydrolab DS5</i>
	Turbidez	NTU	
	Temperatura	°C	
	Conductividad	µS/cm	
	PAR	µE/m ² /s	

5.3 Composición y abundancia de macroinvertebrados

5.3.1 Muestreo en campo

En cada lago, se muestreó de manera cuantitativa y cualitativa la fauna de macroinvertebrados en la zona litoral, (en los hábitats de entrada y salida de cada lago), a través de una draga de tipo Eckman (0,02 m² de área de muestreo efectivo). Para tal finalidad, se obtuvo seis submuestras de draga, es decir seis muestras en cada hábitat de cada uno de los tres lagos y de esta manera obteniendo una imagen integral sobre la abundancia y riqueza de macroinvertebrados.

Una primera separación, de los macroinvertebrados se realizó a través de un tamiz de 0,250 mm malla de apertura, suficiente para retener a organismos muy pequeños. La muestra fue depositada en un frasco de 1 litro de volumen y conservada con etanol al 96%. Todas estas muestras fueron transportadas al laboratorio de Limnología (Instituto de Ecología – UMSA), para su identificación taxonómica.

5.3.2 Actividades en laboratorio

Las muestras de macroinvertebrados fueron sometidas a limpieza con abundante agua,

a través de cuatro tamices de separación (2,5 mm, 1 mm, 0,630 mm y 0,250 mm de apertura de malla) con el objetivo de facilitar la separación de los individuos. Luego con ayuda de un estéreomicroscopio (Wild 205791, Suiza), se procedió a la separación y preservación de los macroinvertebrados.

5.3.2.1 Identificación de macroinvertebrados

La identificación fué realizada mediante claves dicotómicas de; Domínguez y Fernández (2009), Gonzáles (2003) y Epler (2001) para la identificación de los grupos de insectos, para los que no pertenecen al grupo de insectos se utilizaron: Merritt y Cummins (1996), Dejoux y Iltis (1992), Garitano - Zabala (1994) y Lopretto y Tell (1995) (claves disponibles en la Unidad de Limnología del Instituto de Ecología). Para la identificación del nivel de género, fue necesario la elaboración de placas con las estructuras morfológicas importantes como: piezas bucales, abdomen, patas entre otros.

Para la elaboración de placas, se realizó un proceso de aclaramiento de estructuras quitinosas y digestión de tejidos blandos, sometiendo a los individuos a una solución de hidróxido de potasio (KOH) al 10%, que se trata en baño maría por cinco minutos. Después que el baño maría se enfría, los organismos se lavan con agua destilada y reposan en solución concentrada de ácido acético, para su deshidratación. Posteriormente se diseccionó a cada individuo en bálsamo de cedro. Las estructuras importantes fueron montadas en placas con fijador Euparal (BioQuip, USA), bajo un estéreomicroscopio (Wild Mod. 205791, Suiza) y observadas para identificación a nivel de género, en un microscopio (Leitz Laborlux S, Alemania).

5.3.2.2 Identificación de los hábitos alimenticios de los invertebrados acuáticos

Los macroinvertebrados identificados, fueron categorizados dentro de cada grupo funcional alimenticio (Depredadores, Fragmentadores, Detritívoros, Colectores-recolectores, y Raspadores). La información de tales grupos fué obtenida por bibliografía (Prat et al. 2009; Palmer y O`Keeffe 1993; Rodríguez Barrios 2011; J. J.

Rivera, Pinilla, y Camacho 2013; Uwadiae 2010) y corroborada con las placas de las piezas bucales de cada grupo de macroinvertebrados montados para la identificación taxonómica a nivel de género.

5.4 Procesamiento de la información

Para comparar la presencia de macroinvertebrados, a través de la composición y abundancia en los hábitats de entrada y salida de cada lago, se realizaron curvas de rango abundancia de acuerdo a Feinsinger (2003). Estas curvas consideran la abundancia total de taxones por hábitat, los datos son expresados como $\text{LN}(X+1)$ del respectivo taxón.

Con las listas faunísticas de macroinvertebrados y la abundancia por hábitat, se calculó el índice de diversidad de Simpson y su inverso. Estos cálculos permitieron evaluar el grado de similitud, diferencias en la distribución y abundancia de la diversidad de macroinvertebrados, comparando los diferentes hábitats de los tres lagos.

Para visualizar gráficamente se elaboró dendrogramas de análisis de clusters con el método de pares de grupos UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean) y una agrupación estratigráfica restringida (Constrained), la cual permite unir los grupos (índice de diversidad de inverso de Simpson) con las filas (hábitats de los tres lagos) dentro del agrupamiento, este procedimiento se realizó en el paquete estadístico PAST (PAleontological STatistics versión 2.17).

5.4.1 Comparación entre variables ambientales y biológicas

Teniendo en cuenta la naturaleza de las variables, se realizó una previa discriminación de las variables que no contribuyeron significativamente a la explicabilidad del análisis multivariado. Esta discriminación fue realizada por el análisis de correlación de Spearman (Rho – Spearman), con los datos de las variables de la columna de agua (pH, luz PAR, DO%, Conductividad, Turbidez y Temperatura), de los sedimentos

(Nitrógeno, Fosforo, Sodio, Potasio, Calcio, Arsénico, Plomo, Materia Orgánica y Peso del sedimento), y con datos físicos de los lagos (Volumen, Superficie, Profundidad de las zonas litorales y peso de sedimento). Tanto en la parte química de los sedimentos como en la parte física de los lagos donde se incluye la medida de la influencia glacial.

Para describir cual(es) de los parámetros ambientales están operando en la distribución de las comunidades de macroinvertebrados de cada hábitat (entrada y salida), se realizó un Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) (Legendre y Legendre 1998; Gower 2005). El CCA es un análisis de gradiente directo que relaciona dos juegos de matrices, como los parámetros ambientales (elegidos a través de la previa correlación) y biológicos (abundancia, riqueza y diversidad de grupos funcionales alimenticios). Los valores del gradiente de las variables ambientales, son revelados de los análisis de las muestras de agua y de sedimentos, y la abundancia de especies es considerada como una respuesta a esta distribución. Este análisis fue procesado en el paquete estadístico CANOCO (Braak y Smilauer 1998 Version 4.5).

6. RESULTADOS

6.1 Caracterización física de cada lago

La identificación de las zonas litorales de los dos hábitats por lago, mediante el grado de penetración de la luz medida con el disco de Secchi, mostró los resultados que se detallan en la tabla 2. De acuerdo a estas medidas de profundidad de ingreso de luz (zona fótica), los resultados muestran: la laguna Wila Lloreta en toda su extensión es zona litoral (3,6 m), el litoral del lago Jankho Khota tiene en promedio 3 m de profundidad y el lago Khotia en promedio tiene 11,5 m, hasta donde es la zona litoral.

6.1.1 Estimación del porcentaje de influencia glacial (IG)

El resultado que se obtuvo, de la estimación de las áreas de influencia del glaciar (IG),

a través del porcentaje de cobertura glacial (PCG) y la delimitación de microcuencas, se muestra en la figura 7. En general, se puede observar que las entradas en las lagunas son las que presentan la mayor IG, respecto a las salidas. Además, la entrada de Jankho Khota tiene la mayor IG y la salida de Khotia es el punto donde existe menor IG.

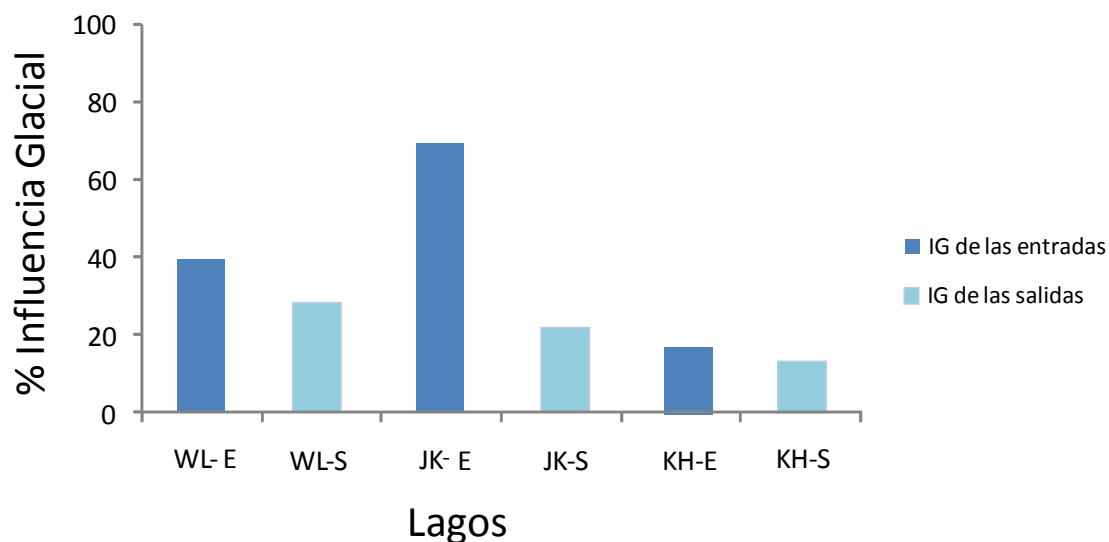


Figura 7. Porcentaje de influencia glacial (IG) de los puntos de muestreo delimitados en microcuencas de influencia glacial (IG), a través del porcentaje de cobertura glacial (PCG).

6.1.2 Variables físicas de los lagos

Los resultados para las variables físicas de los lagos para cada hábitat en la zona litoral, fueron considerados a partir de la superficie total de cada lago, donde: Wila Lloreta tiene una superficie de 3 547 m², Jankho Khota tiene 309 024 m² y Khotia 1 336 107 m². Las demás variables calculadas se describen a continuación y se resumen en la tabla 2:

- Los resultados para la superficie de la zona litoral, tienen el mismo patrón que la profundidad, es decir, cuanto menor es la profundidad del lago es más extensa la zona litoral. A partir de la superficie total, la superficie para los hábitats de entrada y salida de Wila Lloreta es 1 773 m², en Jankho Khota los

hábitats tienen 77 256 m² y en Khotia la superficie es de 334 027 m² tanto para la entrada como para la salida.

- Para la Profundidad (Tabla 2), de manera general se observa que la laguna de mayor altitud posee menores profundidades y esta profundidad a su vez incrementa cuando el rango altitudinal disminuye. A nivel de hábitat la profundidad varía de acuerdo a la morfología de la cubeta, podemos observar que en Wila Lloreta la entrada es más profunda que la salida, lo que es inverso en Khotia donde la salida presenta los mayores registros de profundidad. En Jankho Khota la diferencia entre hábitats es mínima (0,03 m de diferencia)
- El volumen calculado mediante la superficie y profundidad de la zona litoral para la entrada y salida de cada lago es: en Wila Lloreta 6 987 m³ y 5 994 m³, en Jankho Khota es 235 939 m³ y 233 313 m³ y por último en Khotia el volumen es de 3 634 212 m³ y 4 055 086 m³, respectivamente.

Tabla 2. Variables físicas de cada lago, donde WL-E: Wila Lloreta entrada, WL-S: Wila Lloreta salida, JK-E: Jankho Khota entrada, JK-S: Jankho Khota salida, KH-E: Khotia entrada y KH-S: Khotia salida

	WL-E	WL-S	JK-E	JK-S	Kh-E	Kh-S
Altitud (m.s.n.m.)	4886		4699		4455	
Profundidad máxima (m)	4		18		38	
Profundidad media de la zona litoral (m)	3,9	3,4	3,1	3,0	10,9	12,1
Superficie de la zona litoral (m ²)	1773,3	1773,3	77255,9	77255,9	334026,9	334026,9
Volumen (m ³)	6987	5994	235939	233313	3634212	4055086

Trampas de sedimento

Otra variable que se relaciona con los hábitats de cada zona litoral de los lagos es la que se obtuvo mediante las trampas de sedimento, ya que podría estar relacionada a las variables físicas antes mencionadas. Los resultados son:

La superficie de apertura de las trampas de sedimento se relacionó directamente con el peso del sedimento que precipitó dentro de las trampas (Peso de sedimento, Anexo 2), y se extrapola a un metro cuadrado (m^2) durante el tiempo de estancia (1 mes), esta relación corresponde al Índice de sedimentación para cada hábitat

Los resultados para el índice de sedimentación (Figura 8), muestran una tendencia a incrementar el valor en relación a la superficie de los lagos; Wila Lloreta presentó valores mínimos los cuales están entre 0,14 g para la entrada y 0,15 g para la salida. Los valores intermedios le corresponden a Jankho Khota (0,82 y 0,43 g) y los máximos a Khotia (1,97 y 0,57 g). En estos dos últimos lagos, los hábitats de las entradas presentaron valores más altos de índice de sedimentación, respecto a las salidas.

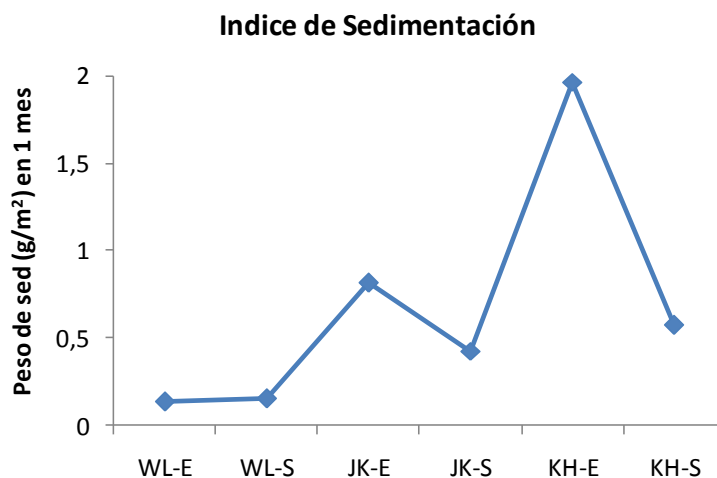


Figura 8. Peso en gramos (g) de sedimento depositado en las trampas de sedimento en cada hábitat de entrada (E) y salida (S) de los tres lagos.

6.2 Análisis físico-químicos

6.2.1 Sedimentos

Las muestras colectadas con draga, fueron secadas y luego se procedió al análisis de los diferentes parámetros considerados, cuyos resultados se describen a continuación.

Tanto el Fósforo, Potasio, Sodio, Calcio y Arsénico, siguen la misma tendencia de patrón de concentraciones. Donde inicialmente los valores son similares dentro de Wila Lloreta, luego se registra un descenso a la entrada de Jankho Khota, y a partir de la salida de Jankho Khota hasta llegar a la salida de Khotia los valores se van incrementando. Por ejemplo el Arsénico, hasta Jankho Khota presenta una concentración de 39 mg/Kg, luego se va incrementando hasta 71 mg/Kg en la salida de Khotia.

La concentración de Nitrógeno total en los sedimentos analizados, para todos los hábitats, se encuentra por debajo de 2 mg/Kg. En Wila Lloreta la concentración es homogénea entre sus hábitats (1,4 mg/Kg), en Jankho Khota aunque el valor disminuye respecto al primer lago, dentro de él no varía ($E - S = 0,1$ mg/Kg), solo en Khotia existe diferencia entre la entrada y salida (de 0,87 a 1,2 mg/Kg respectivamente) valores que son mayores al segundo lago.

En el gradiente altitudinal la Materia Orgánica sigue un patrón constante de incremento de los valores; excepto en Jankho Khota donde se registra los valores mínimos de esta variable. La salida de Khotia es el punto con mayor cantidad de MO (72 mg/Kg), seguido de la salida de Wila Lloreta con un valor de 52 mg/Kg, pero la menor cantidad de MO se registró en el lago Jankho Khota donde la salida presenta un valor de 4,3 mg/Kg, seguido de su entrada con 7,2 mg/Kg.

Para el caso del plomo (Fig. 9H) el menor valor es registrado para la salida de Jankho Khota (15 mg/Kg) y el máximo valor se registró en la salida de Khotia (28 mg/Kg), los demás hábitat tienen valores de 18 mg/Kg.

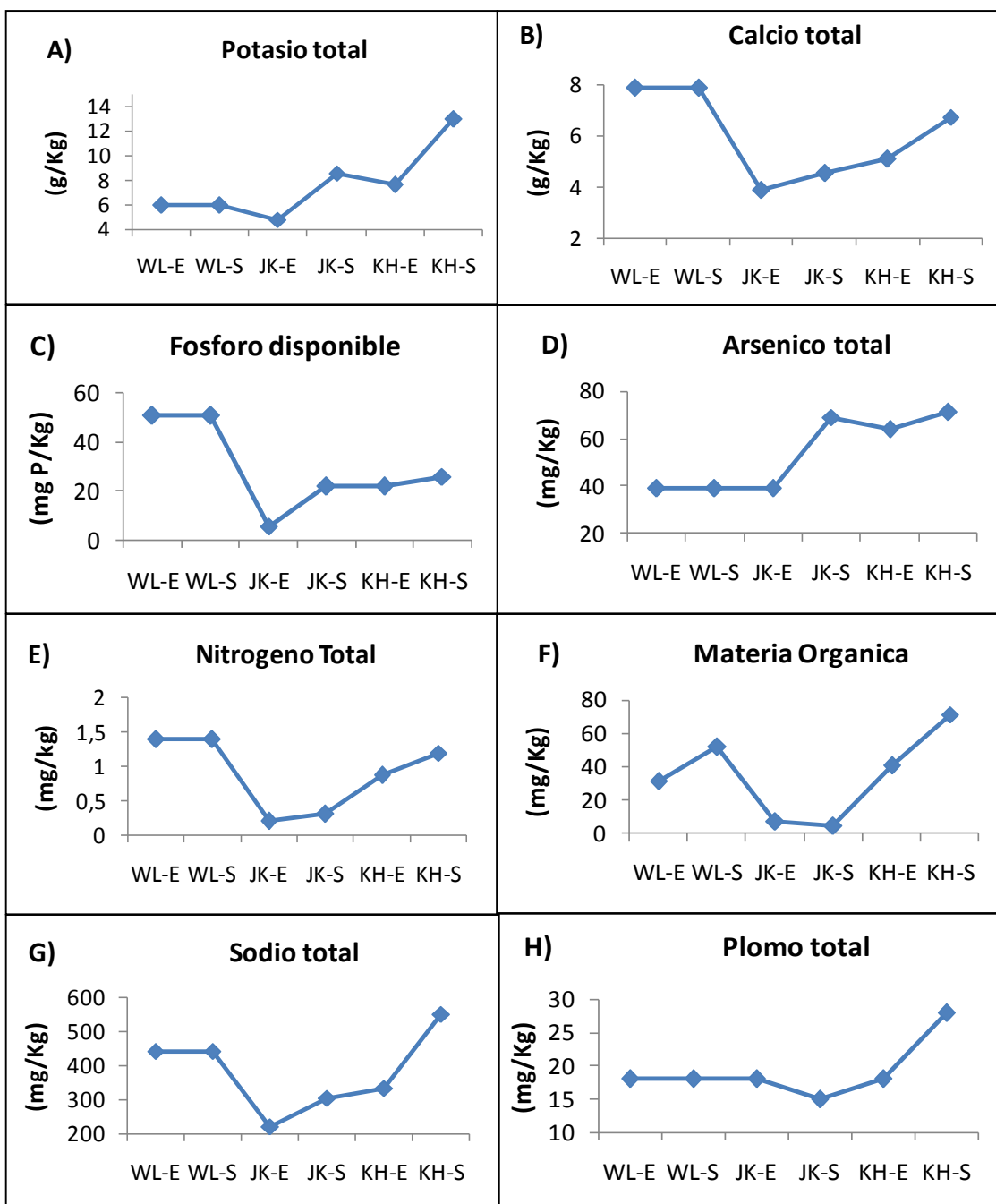


Figura 9. Parámetros químicos analizados en sedimentos de cada hábitat de los tres lagos, donde WL-E: Wila Lloreta entrada, WL-S: Wila Lloreta salida, JK-E: Jankho Khota entrada, JK-S: Jankho Khota salida, KH-E: Khotia entrada y KH-S: Khotia salida

6.2.2 Agua

El Nitrógeno estuvo al límite de detección (0,34 mg/L) para los tres lagos. El valor más alto para el Fósforo, fué registrado en Wila Lloreta con un valor 0,08 mg P-PO₄/l, seguido de Khotia con 0,035 mg P-PO₄/l y el mínimo fué para Jankho Khota de 0,010 mg P-PO₄/l. El análisis de metales pesados, reveló que para el caso del Cadmio y del Mercurio las cantidades están por debajo del límite detectable analítico (0,00020 mg/L) y para el caso del Zinc los valores incrementan en 0,01 de lago a lago, así el mínimo valor se registro en Wila Lloreta con 0,06 mg/L, seguido de un valor de 0,06 mg/L en Khotia y finalmente en Jankho Khota el máximo valor de 0,07 mg/L (Anexo 3).

En cuanto a los parámetros físico-químicos: oxígeno disuelto (OD), conductividad (Cond.), pH y temperatura (Fig. 10) de cada habitat, en la parte superior de la gráfica se puede observar que todos los parámetros están en el mismo eje con fines gráficos de comparación, asumiendo que cada uno de ellos tiene diferentes unidades. Si se observa las gráficas de lago a lago se puede diferenciar una tendencia de incremento de los valores de los parámetros.

Algunos registros presentan el mismo valor para todos los hábitats, por ejemplo; el oxígeno disuelto, para todos los casos se mantiene en el rango de 7 mg/L con un promedio de 7,2 mg/L, el pH tiende a ser neutro a básico (pH entre 7,2 y 8,6) y la temperatura promedio de todos los hábitat es 7,8 °C, pero en Khotia se presentan las mayores temperaturas promedio de 9,5 °C. En específico la temperatura en Wila Lloreta entada tiene una variación en el perfil de profundidad, empezando con 6,5 °C en la superficie y terminando en el fondo con el mínimo registro (4,29 °C a 3,28 m), lo que no sucede en los demás hábitats, debido a que Wila Lloreta es poco profunda (Profundidad media máxima 3,5 m) las condiciones del agua tienden a cambiar de acuerdo a las condiciones ambientales, la radiación incide en la temperatura de la superficie de acuerdo al periodo del día, las horas de muestreo para cada habitat son: WL-E 11:20, WL-S 11:45, JK-E 13:30, JK-S 14:25, Kh-E 17:10 y Kh-S 17:53.

El parámetro que más varía entre lagos, y no así en el perfil de profundidad ni entre

entradas y salidas, es la conductividad eléctrica. Estos valores de conductividad incrementan en relación a la extensión de la laguna, es decir que Wila Lloreta registró 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Jankho Khota entre 16 y 17 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Finalmente Khotia entrada presenta una conductividad eléctrica de 48 a 52 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y la salida 51 a 53 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

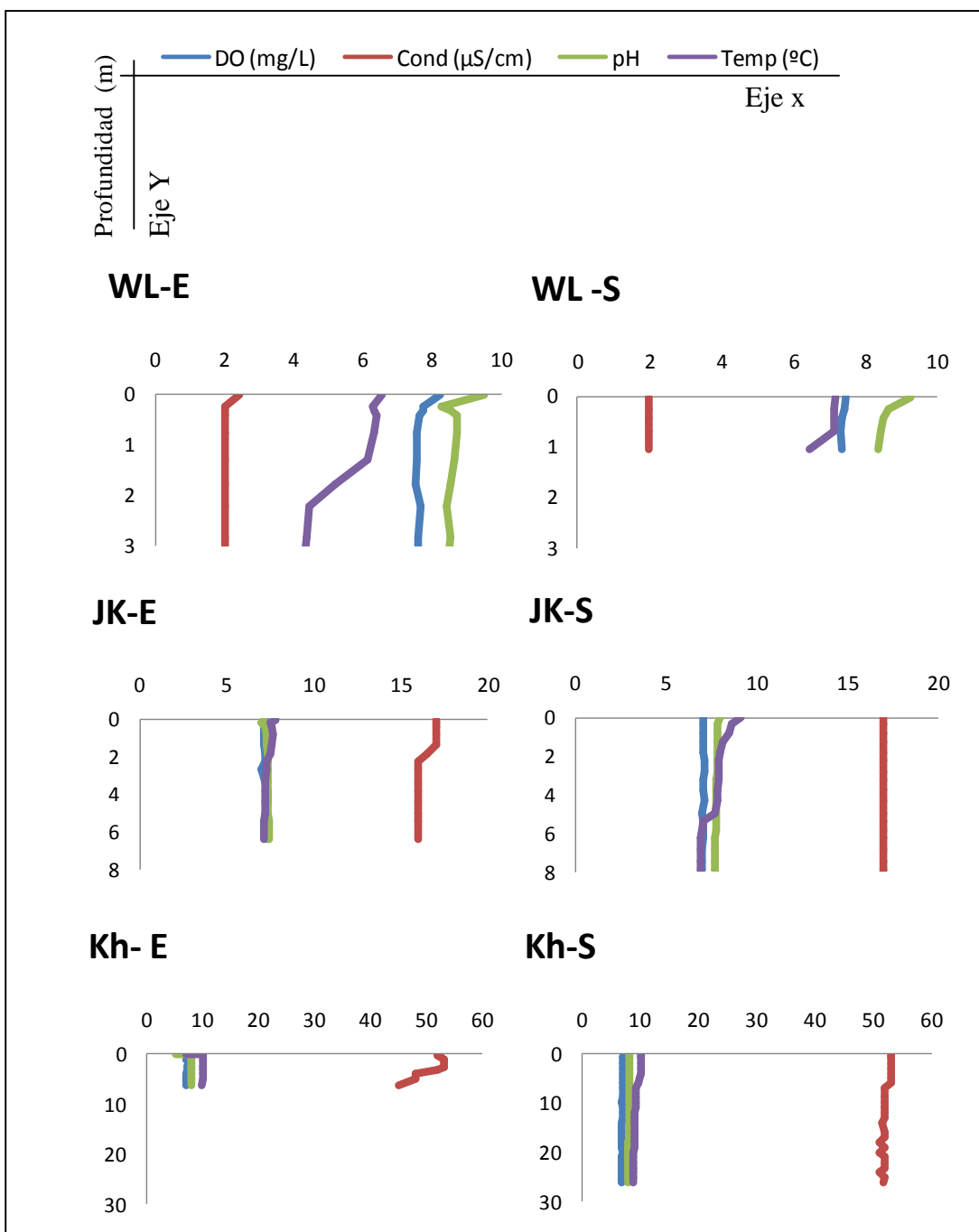


Figura 10. Perfiles verticales de parámetros físico-químicos de los hábitats de entrada (E) y salida (S) de los tres lagos WL: Wila Lloreta, JK: Jankho Khota y KH: Khotia.

Los resultados para la turbidez, muestran que no existe diferencia entre los hábitats dentro de los lagos, pero sí entre ellos. Estos valores de turbidez fueron para Wila Lloreta entre 80 – 100 NTU, Jankho Khota entre 70 -100 NTU y para Khotia de 4 a 80 NTU. En este último lago existe una variación de acuerdo a la profundidad, es decir que en la entrada de Khotia, hasta los 3 m el valor está entre 3 y 8 NTU, de los 4 a los 6 m la turbidez se incrementa a 32 NTU y la parte más profunda registra un valor de 81 NTU; para la salida del mismo lago, la turbidez está entre 2 – 10 NTU y se va incrementando paulatinamente hasta los 25 m (fig. 11).

Los valores para la luz PAR, muestran para la entrada de Wila Lloreta valores que descienden paulatinamente hasta los 50 cm de profundidad llegando a $3\,375\ \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ y a partir de ese punto, disminuyen bruscamente llegando a $6\ \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ a los 3 metros de profundidad; para la salida están entre 80 – 100 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ hasta 1 m de profundidad. Para Jankho Khota, ocurre el mismo patrón tanto en la entrada como en la salida, los valores disminuyen poco a poco hasta 1 m, pasando este punto, los valores cambian en un aproximado de $1000\ \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ entre 1 m y 1,5 m de profundidad, hasta llegar a $1\ \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ a los 4 m. En Khotia la medida en la superficie de entrada fué de $272,56\ \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ y de salida $516,00\ \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$, pero además en este lago se registraron los mínimos valores de luz PAR, para la entrada a los 6 m de profundidad y para la salida a los 16 m ($1,5\ \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ y $1,0\ \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ respectivamente), estos valores están por debajo de los registros de los otros dos lagos.

En los tres lagos antes de llegar a 1 metro de profundidad, la disminución de los valores de luz PAR es gradual, pero pasando el metro de profundidad, los valores medidos cambian drásticamente disminuyendo rápidamente en cuanto más profundo es el registro en la columna de agua.

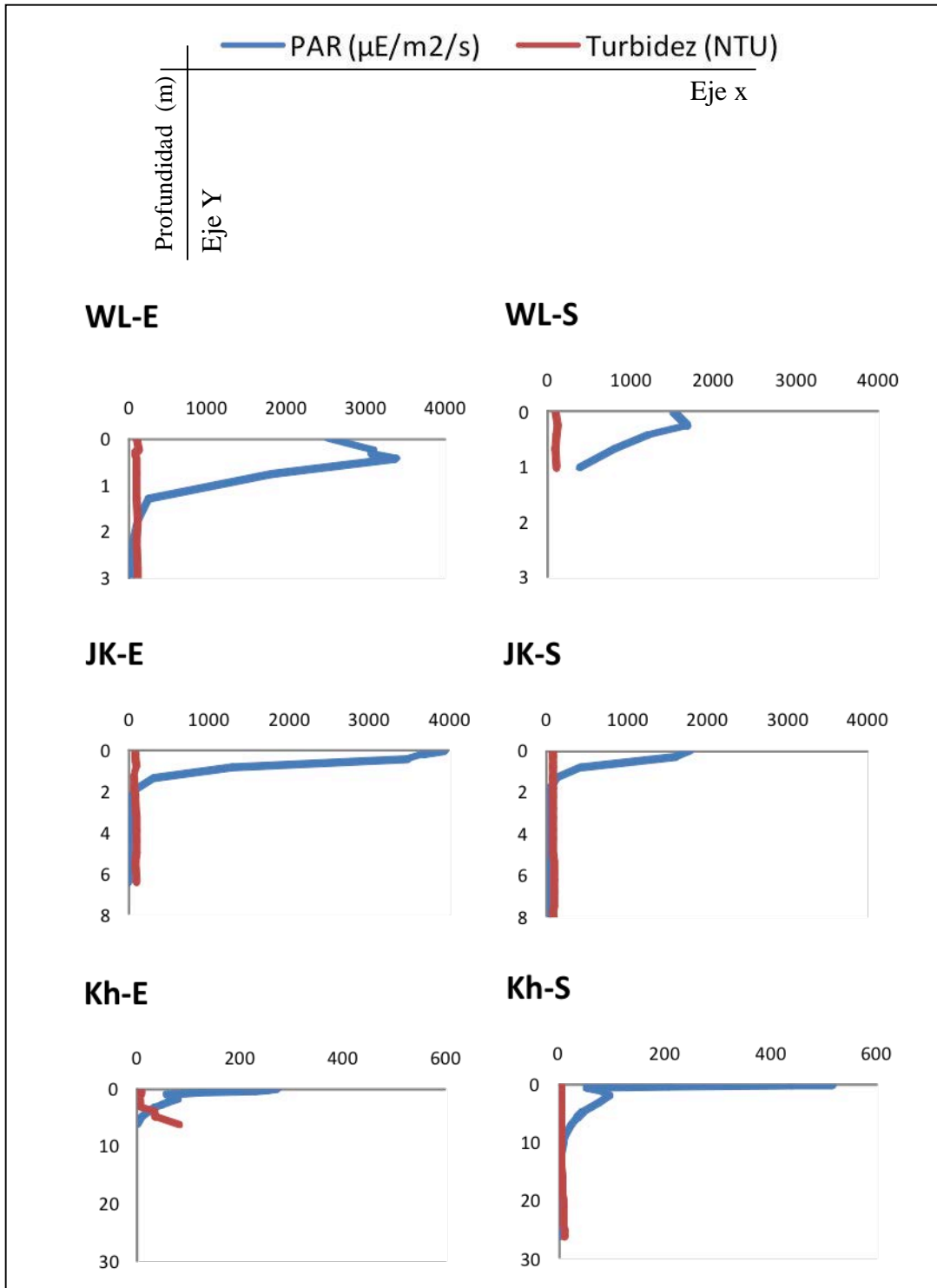


Figura 11. Atenuación vertical de la penetración de la luz solar visible PAR ($\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$), en azul y perfiles de turbidez (NTU) en rojo, de los hábitats de entrada (E) y salida (S) de los tres lagos WL: Wila Lloreta, JK: Jankho Khota y KH: Khotia.

Los resultados de un perfil de profundidad para las mediciones de fluorescencia de la clorofila-a (fig. 12) en Wila Lloreta, muestran que en la entrada a medio metro de profundidad la actividad fotosintética disminuye, para que luego de un metro se incremente de nuevo de aproximadamente 1,5 hasta 2 $\mu\text{g/l}$, en la salida la concentración está entre 1 y 2 $\mu\text{g/l}$, pero en este hábitat las variaciones no tienden a disminuir más bien van incrementándose, hasta un metro lugar donde la sonda pudo medir el ultimo valor, debido a factores de intervención como por ejemplo que la sonda de medición topa con algún sustrato compacto como piedras o rocas o incluso con macrófitas. Hora de muestreo en la entrada 11:17 y en la salida 11:43, para este caso los cuatro grupos de algas, son:

- La entrada de Wila Lloreta, presenta los cuatro tipos de algas hasta una profundidad promedio de 3,27 m. A medio metro de profundidad los tres grupos de algas conformados por las Chlorophytas, Cyanophytas y Cryptophytas disminuyen en casi un 90% de concentración e inversamente el grupo de las Bacillariophytas se incrementa en aproximadamente 70%. Este incremento se vé reflejado a nivel porcentual donde las Bacillariophytas tienen aproximadamente el 55% del total de concentración, los otros tres grupos suman 45% (Cyanophytas 33%, Chlorophytas 10% y las Cryptophytas 2%).
- Los resultados para el hábitat de salida muestran que el grupo de algas con mayor concentración son las Cyanophytas (48%), seguidas por las Chlorophytas con 35% y las Cryptophytas con el 10%, y de forma inversa a la entrada las Bacillariophytas tienen el porcentaje más bajo de concentración con aproximadamente 6%. Esta disminución de la concentración de Bacillariophytas se hace evidente a los 40 cm de profundidad, donde los demás grupos de algas se incrementan y las Bacillariophytas disminuyen.

Para el lago Jankho Khota, la actividad fotosintética se extiende en promedio hasta 6,74 m para la entrada y 8,69 m para la salida. En ambos casos la mayor cantidad de actividad se dá en la superficie; en la entrada disminuye hasta las 3 m, punto en el cual vuelve a incrementarse, en la salida el incremento es constante hasta los 2,5 m desde

esta profundidad la actividad se mantiene por los 3 $\mu\text{g/l}$ hasta llegar al fondo con un mínimo de 2,5 $\mu\text{g/l}$ a los 8,5 m de profundidad, la hora de muestreo en la entrada fue 13:40 y en la salida 14:20, para las algas:

- En la entrada de este lago el grupo de algas con mayor concentración es el de las algas Chlorophytas con aproximadamente el 73%, el restante lo suman los otros tres grupos (Las Cyanophytas 20%, Bacillariophytas 4% y las Cryptophytas 3%)
- En la salida también el grupo de las algas Chlorophytas es el que tiene el mayor porcentaje de concentración con el 82%, las Cyanophytas tienen 17%, seguidas de las Bacillariophytas con el 0,6% y las Cryptophytas tienen 0,4%.

En Khotia existe diferencia entre entrada y salida, ya que en la entrada la actividad fotosintética en promedio llega hasta los 6,3 m de profundidad, con la menor concentración a medio metro de profundidad y el máximo en lo más profundo con 2,5 $\mu\text{g/l}$, en la salida la actividad llega hasta los 26,5 m aproximadamente, esta diferencia se debe a los mismos factores que se explicaron para Wila Lloreta, en este caso la mínima concentración está a los 60 cm con 1 $\mu\text{g/l}$ y la máxima concentración está a los 7,5 m con 1,40 $\mu\text{g/l}$. La hora de muestreo en la entrada fue 17:10 y la salida 17:50, para las algas los resultados son:

- En la entrada a 4,5 m las Bacillariophytas y las Cyanophytas muestran una disminución de la concentración en 100%, pero a los 5 m vuelven a incrementar su concentración registrando las mayores concentraciones en lo más profundo (6,3 m). El grupo con mayor concentración son las Chlorophytas con 44%, seguidas por las Bacillariophytas con 22%, las Cyanophytas con 19% y finalmente las Cryptophytas con el restante 15%
- En la salida solo el grupo de las Bacillariophytas tiene una disminución constante hasta llegar a su mínimo valor (0,04 $\mu\text{g/l}$) en lo más profundo (26,5m). Al igual que en la entrada el grupo con mayor concentración son las Chlorophytas con el 58%, los otros tres grupos suman el restante (Cryptophytas 29%, Bacillariophytas 12% y las Cyanophytas 0,3 %)

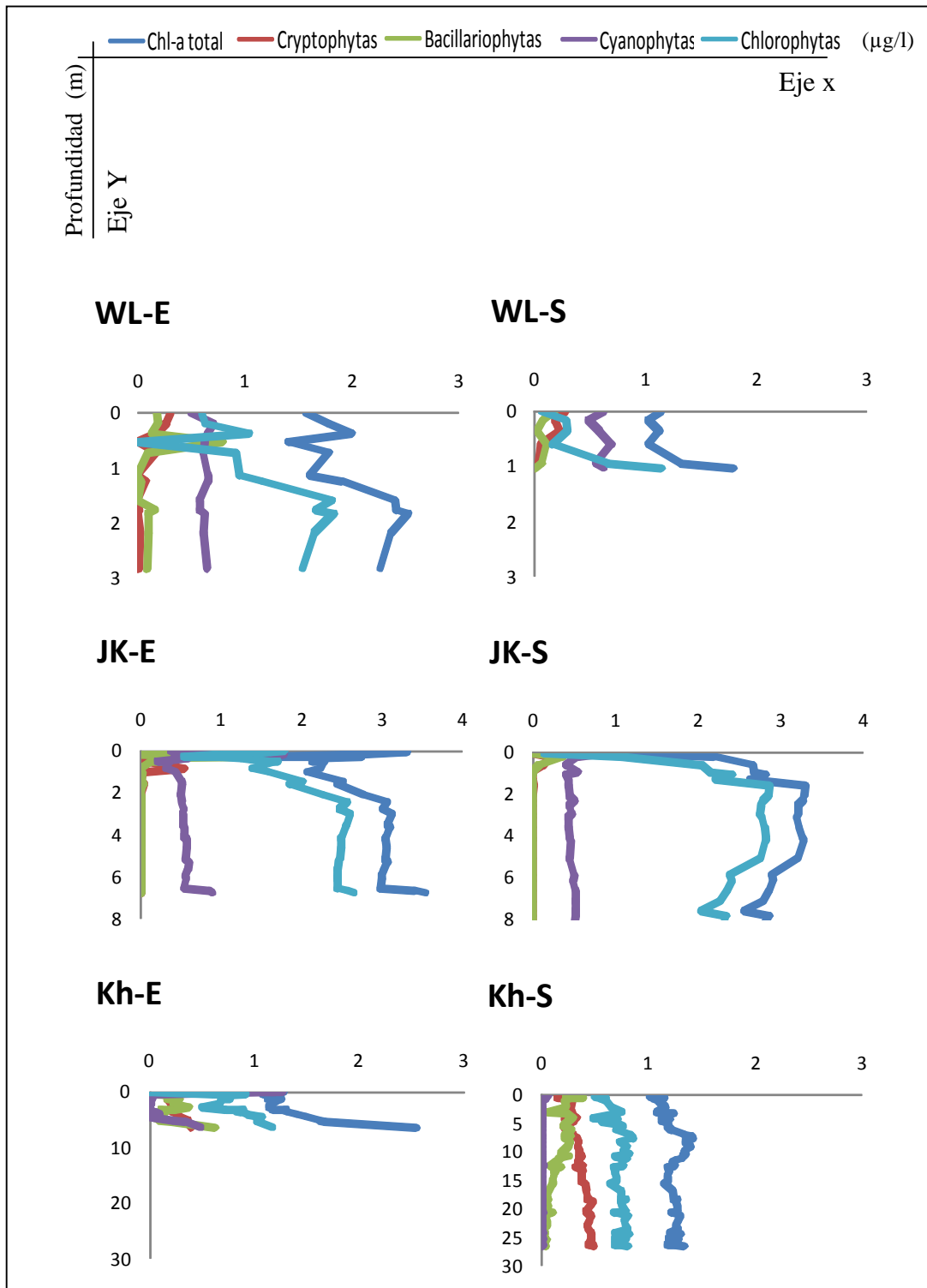


Figura 12. Perfiles verticales de la composición de grupos de algas a partir de la fluorescencia in vivo de la clorofila-a ($\mu\text{g/l}$), de los tres lagos (WL: Wila Lloreta, JK: Jankho Khota, KH: Khotia) en las entradas (E) y salidas (S).

6.3 Composición y abundancia de macroinvertebrados

La lista taxonómica de las muestras cuantitativas de macroinvertebrados, se encuentra detallada en los anexos (Anexo 4). De manera general, se registraron 29 880 individuos (m2), de los cuales el 47% de individuos se encuentra en Wila Lloreta, en Jankho Khota está el 22% y en Khotia el 31 % de los individuos. Los taxones más abundantes pertenecen al grupo de los Oligochaetas con tres géneros (*Homochaeta*, *Pristina* y *Dero*) pertenecientes a la familia Naididae con un porcentaje del 45% del total de los individuos por área muestreada. Otra familia abundante perteneciente a los ostrácodos, es Limnocytheridae con un genero *Limnocythere* que cuenta con el 15,5% de individuos por área muestreada.

Respecto a la riqueza de macroinvertebrados (a nivel de género), en cada hábitat hay una tendencia de mayor cantidad de taxones en las entradas y menor cantidad de taxones en las salidas, como se describe a continuación por hábitats: Wila Lloreta en la entrada tiene 18 taxones y en la salida 19, en Jankho Khota entrada se registraron 20 taxones y en la salida 19 y por ultimo Khotia en la entrada tiene 30 taxones y en la salida 19.

La figura 13 muestra la comparación de las comunidades de macroinvertebrados registrados en los hábitats de los tres lagos. La distribución de las curvas de rango abundancia, fueron ordenados en función al tipo de hábitat de cada lago (entrada y salida), donde se muestran los cinco taxones más abundantes y en el ítem “otros” se agrupan los restantes taxones no dominantes presentes en cada hábitat.

En la figura, se observa que en las entradas de los tres lagos existe diferencia en los taxones más abundantes, así en Wila Lloreta fueron los Oligochaeta con su género *Pristina* (Pri) los más abundantes, en Jankho Khota los Nematoda *Monhystrella* (Moh) y en Khotia es *Polypedilum* (Pol) perteneciente al grupo de los Diptera. En las salidas tanto de Wila Lloreta como en Jankho Khota los taxones más dominantes fueron los Ostracoda con un género *Limnocythere* (Lim) y en Khotia fue *Polypedilum* (Pol).

En resumen la figura 13, muestra que la abundancia y composición de macroinvertebrados en estos lagos, no es similar entre si y que cada lago alberga un tipo de fauna específica. Existen algunos taxones, que están presentes en los tres lagos o al menos en dos, que no son precisamente en la misma cantidad (abundancia) ni son los más representativos (cantidad de taxones), tabla 3. Pero los taxones más abundantes sin duda son los que pertenecen a los Oligochaetas.

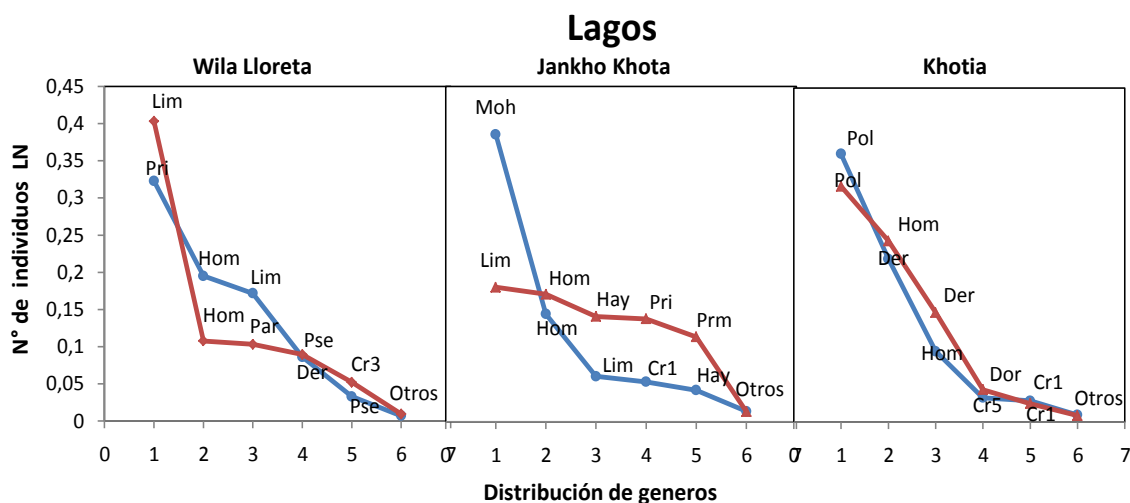


Figura 13. Curvas de rango abundancia de los grupos más abundantes de macroinvertebrados, en los hábitat de entradas (círculos azules) y salidas (triángulos rojos). Donde: Lim. *Limnocythere*, Pri. *Pristina*, Hom. *Homochaeta*, Par. *Paramermis*, Pse. *Pseudoaulolaimus*, Der. *Dero*, Cr3. *Cricotopus sp.3*, Moh. *Monhystrella*, Hay. *Hyaella*, Cr1. *Cricotopus sp.1*, Prm. *Parametriocnemus*, Pol. *Polypedilum*, Dor. *Dorylaimus*, Cr5. *Cricotopus sp.5*. “Otros” son los restantes taxones (Anexo 4)

Posteriormente, los valores del índice de diversidad fueron sometidos a un análisis de conglomerados (Clúster, figura 14), y de esta manera los lagos con sus hábitats mostraron un ordenamiento espacial en relación a la altura. En este sentido, el lago Khotia en sus hábitats de entrada y salida posee una diversidad substancialmente mayor a las demás sitios y esta diversidad tiende a disminuir hacia la laguna ubicada cerca al glaciar (Wila Lloreta).

Tabla 3. Índices de diversidad con la fauna de macroinvertebrados en todos los hábitats de los tres lagos

Parámetro	WL-E	WL-S	JK-E	JK-S	KH-E	KH-S
Taxa_S	9,5	8,7	8,2	8,2	11,7	10,3
Individuals	1840,8	498,3	423,3	670	950	597,5
Simpson	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7
Inversa de Simpson	2,5	3,1	3,5	3,0	3,6	3,5

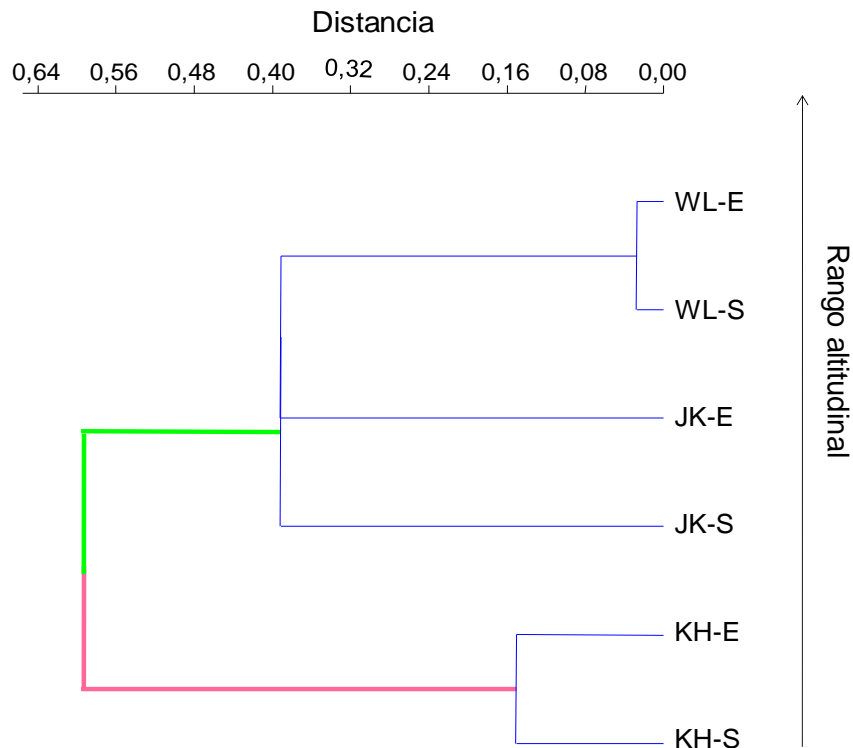


Figura 14. Dendrograma del análisis de Cluster (ligamiento aritmético UPGMA), en base al índice de diversidad Inverso de Simpson, con un coeficiente de correlación 0,72

6.3.1 Grupos funcionales alimenticios

La figura 15 muestra los resultados de porcentajes de items alimenticios de los grupos funcionales de los macroinvertebrados en cada habitat de los tres lagos. De manera general se observa que los grupos funcionales alimenticios que estan presentes en mayor porcentaje son los Colectores-Recolectores (63%) y los Detritivoros (33,5%), los que tienen menor porcentaje de presencia son los depredadores (3%), seguidos de los raspadores (0,4) y por ultimo muy pocos fragmentadores (0,1%) presentes solo en el lago Jankho Khota.

Si observamos cada hábitat: en Wila Lloreta entrada los colectores-recolectores ocupan el 73% y en la salida con 79% estan los detritivoros al igual que para la entrada de Jankho Khota con el 58%, en la salida de este lago los colectores tienen el mayor porcentaje (68%), por ultimo tanto en la entrada como en la salida de Khotia el mayor porcentaje lo ocupan los colectores-recolectores con 92% y 89% respectivamente.

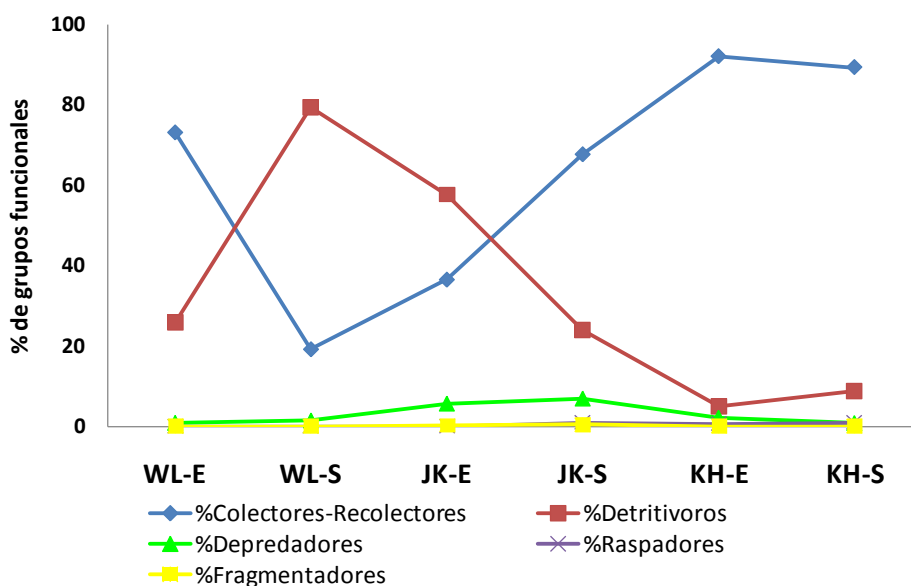


Figura 15. Porcentaje de grupos funcionales alimenticios de los macroinvertebrados en cada habitat de los tres (WL: Wila Lloreta, JK: Jankho Khota, KH: Khotia) en las entradas (E) y salidas (S).

6.4 Relación entre variables ambientales y composición de macroinvertebrados

Con la finalidad de predecir la relación en la distribución y composición de macroinvertebrados en relación a los demás parámetros ambientales, se realizó un análisis de Correspondencia Canónica (CCA). Inicialmente se realizó una previa discriminación de variables físicas, del sedimento y de la columna del agua; a través de una correlación de Spearman (Anexo 5).

En el caso de los sedimentos, se considera al Nitrógeno total, al Potasio y a la materia orgánica; si bien el Calcio y el Fósforo pueden entrar al análisis, pero éstos están explicados por la presencia de la materia orgánica la cual llega a los lagos mediante los canales principales.

En cuanto a la columna de agua se considera al oxígeno disuelto, la luz PAR y la turbidez dentro del análisis. El pH es un parámetro que no se correlaciona con ninguna otra variable pero sus valores cambian levemente de lago a lago (menor valor 7,3 y máximo 8,5) y por esta razón que no se incluye en el análisis de CCA. En las variables físicas se incluyen la influencia glacial, el volumen, la profundidad y el índice de sedimentación.

Para las variables biológicas se considera a todos los grupos funcionales excepto a los depredadores ya que este ítem está presente substancialmente en todos los lagos. También se incluye a la riqueza y abundancia de macroinvertebrados, y como un indicador de la producción primaria se incluye a la concentración total de algas medida a través de la concentración total de clorofila.

De acuerdo a la agrupación en los ejes 1 y 2 con 65% de explicancia y un valor significativo de $p < 0.05$ (1000 permutaciones de Monte Carlo) y con el volumen de agua como variable que tiene una mayor contribución significativa ($p < 0,05$) en el análisis CCA para cada habitat (figura 16), los resultados son:

La fauna de macroinvertebrados en Wila Lloreta esta explicada por la alta significancia de la turbidez y luz PAR (influencia en el eje 1: 92% y 98% respectivamente, Anexo 6) y como tercer variable esta la influencia de altas concentraciones de oxígeno disuelto. En cuanto a lo biológico se puede observar que en esta laguna es donde se registró la mayor abundancia de macroinvertebrados (1841 individuos) en el hábitat de entrada, el mayor porcentaje de taxones (53%) se alimentan principalmente de detritos (p.ej. Ostrácoda y Nematoda). En cuanto a los parámetros medidos en el sedimento se observa la presencia de Nitrógeno como nutriente importante en la contribución de la abundancia de macroinvertebrados, lo cual está asociado a la baja profundidad que tiene este cuerpo de agua.

Para el lago Jankho Khota comparado con los otros dos lagos, se observan valores intermedios, donde la fauna de macroinvertebrados esta explicada principalmente por la influencia del glacial, especialmente en el hábitat de entrada (IG = 68,6% en Jankho Khota). La IG tiene relación con la concentración de algas, ya que las partículas suspendidas que provienen del deshielo del glacial y conforman la turbidez son las que permiten que una mayor concentración de algas esté presente en este lago. La abundancia de macroinvertebrados está representada por el grupo funcional de los depredadores (p.ej. Hirudinea) y fragmentadores, este último grupo fué registrado solo en este lago con la presencia de Trichoptera en ambos habitats del lago. Esta fauna no está asociada directamente a ningún parámetro medido en el sedimento o en la columna de agua.

Para los habitats del lago Khotia, la fauna responde inversamente a los parámetros que explican la fauna en Wila Lloreta. En Khotia, la profundidad asociada al volumen de agua, tienen alta explicabilidad en el eje 2 (90% y 91% respectivamente, Anexo 6) donde las comunidades de macroinvertebrados tienen alta riqueza representados por los grupos funcionales alimenticios especializados en raspar y en coleccionar (colectores-recolectores, p.ej. Coleoptera y Diptera). Respecto a las variables físico-químicas el Potasio tiene alta explicación en el primer eje con 77%, relacionado con el porcentaje de materia orgánica (explicación en el eje 2 con 62%) y en menor grado con la cantidad de deposición de sedimento (explicación en el eje 2 con 28%).

Las características en conjunto en cada lago, aportan para que la diversidad de macroinvertebrados presenten grupos específicos, además de acuerdo a las condiciones en el sedimento y en el agua, la riqueza y abundancia también son particulares para cada lago, por ejemplo en Wila Lloreta existe gran abundancia de macroinvertebrados que se ven favorecidos por elementos nutritivos y características del agua, el lago Khotia presenta características inversas con una mayor riqueza, generada por un conjunto de variables asociadas a las características físicas y elementos nutritivos del lago. Y de manera intermedia el segundo lago no tiene características extremas comparadas con los otros dos lagos y conforma un nivel intermedio en todas las variables, esta característica aporta una diversidad diferente a la que presentan los otros dos lagos e incluso presenta grupos taxonómicos únicos de todo el rango muestreado.

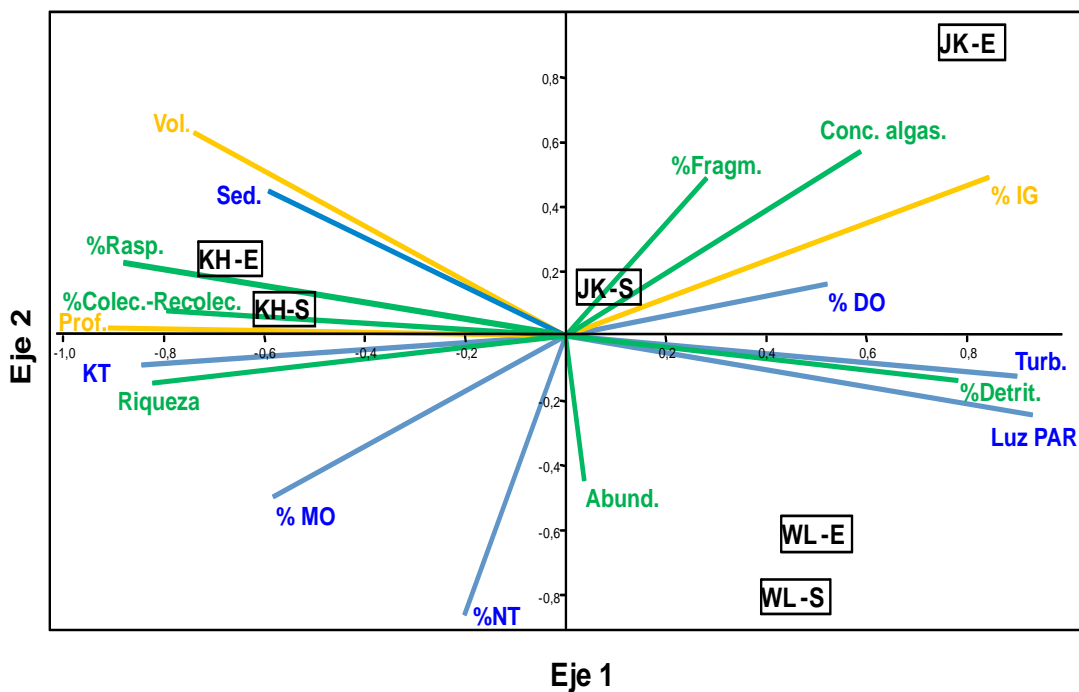


Figura 16. Análisis de Correspondencia Canónica (CCA – eje 1 y 2) de los hábitats de los tres lagos, con los parámetros ambientales: Físicos líneas naranjas; donde Prof: profundidad del litoral, Vol.: Volumen de agua de cada hábitat y %IG: porcentaje de influencia glacial. Las variables de sedimentos y columna de agua en líneas azules; donde: KT: potasio total, Sed.: índice de sedimentación, %DO: porcentaje de oxígeno disuelto, Turb.: Turbidez, Luz PAR, %NT: porcentaje de nitrógeno total y %MO:

porcentaje de Materia Orgánica. En líneas verdes se presentan las variables biológicas; donde: se presentan los grupos funcionales alimenticios en porcentaje para, Colec.-Recolec.: Colectores-Recolectores, Rasp.: Raspadores, Fragm.: Fragmentadores, Detrit.: Detritívoros, además de la Riqueza, Conc. algas: Concentración total de algas y la Abund.: abundancia

La figura 17 resume gráficamente la explicancia de las variables asociadas a los aportes de sedimentos, sobre la abundancia y composición de macroinvertebrados en cada lago. Las variables que se incluyen son: la turbidez donde más blanquecina la tonalidad es más turbio, cantidad de sedimentos que precipitan al fondo, cantidad de materia orgánica, OD de mayor a menor cantidad, cantidad de luz PAR que logra penetrar y los aportes longitudinales y laterales. La riqueza se esquematiza por un número mayor de individuos diferentes en Khotia (3er lago), la abundancia por el tamaño de los individuos presentes en Wila Lloreta (1ra laguna)

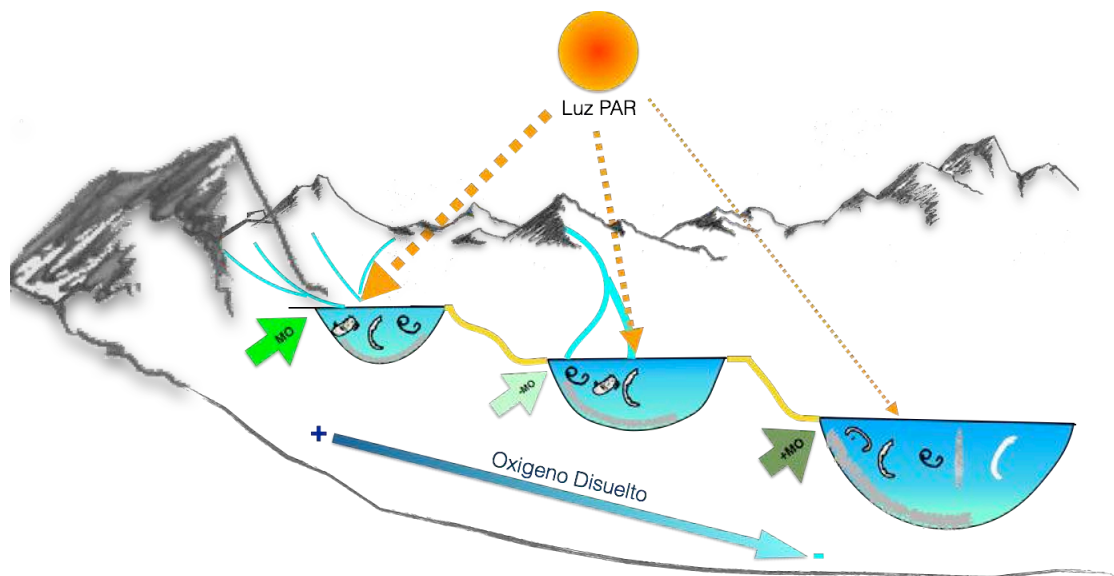


Figura 17. Variables asociadas a los sedimentos que explican la abundancia y composición de macroinvertebrados en cada lago

7. DISCUSIONES

7.1 Características físicas de los lagos en el valle de Hichu Khota

El valle de Hichu Khota, como otros valles glaciales, presenta una típica forma de “U” (Argollo 1980; Iltis 1988). En el fondo, se forman los lagos distribuidos en forma de rosario. Los lagos están rodeados de la cadena montañosa que aporta material inorgánico y orgánico, acompañado por un sistema de transporte de agua, que va a definir la composición físico-química del agua y de los sedimentos y de esta forma la composición biológica.

Los lagos profundos de Hichu Khota, definidos así en el trabajo de Servant (1979), con más de 10 metros de profundidad tienen pendientes abruptas, las cuales condicionan diferentes aspectos que van desde la deposición de sedimentos hasta el desarrollo de la fauna y flora en condiciones específicas. Las pendientes abruptas presentes en la zona litoral, se evidenciaron en el lago Jankho Khota, donde la profundidad cambia muy rápidamente, como se puede observar en la batimetría que realizó Dejoux y Wasson (1987) en estos lagos, a partir de la clasificación propuesta por Hutchinson (1957). Las pendientes abruptas son una característica que resulta importante para condicionar la especificidad de la biota, ya que se crean microhábitats específicos, en donde no hay mucho sedimento ya que todo precipita al fondo, así en estos lugares colonizaran taxones que no dependen de un sustrato fino.

Reynolds (2004), demuestra que la entrada de sedimentos a un cuerpo de agua léntico se da por dos vías: una mediante el arrastre de partículas por acción de la lluvia y la segunda por medio del movimiento erosivo del agua que proviene del deshiele de los glaciales aledaños, que transporta partículas que conforman la geología del lugar. La figura 3, muestra las diversas formas de entrada de agua a los lagos: la primera por el cauce directo de aporte de los ríos (de forma longitudinal); también existen aportes de riachuelos que bajan de la cadena montañosa (laterales), que cuentan en su parte más alta con masa glacial; otro tipo de entrada de partículas, que no se puede evidenciar a simple vista, es agua subterránea proveniente de los bofedales aledaños.

Las partículas sedimentables van a conformar el sedimento depositado en los sitios de estudio. Es por esta razón que el diseño experimental de este trabajo toma en cuenta los diferentes aportes de agua, muestreando los afluentes y efluentes de cada lago de estudio, y al mismo tiempo evidenciar el efecto que tiene la dinámica de los sedimentos sobre la comunidad de macroinvertebrados acuáticos.

7.1.1 Influencia glacial

Si se realiza una comparación cuantitativa de la fauna de macroinvertebrados utilizando el cálculo de influencia glacial (IG) en cada microcuenca, se necesitará un número elevado de submuestras, que cubra todo el lago, aunque este trabajo se delimitó geográficamente a los puntos de muestreo en la zona litoral, el análisis no es significativo y solo muestra un comportamiento aproximado o de tendencia.

Los resultados de la figura 7, muestran que en Wila Lloreta la influencia glacial tiene valores intermedios comparados con los otros dos lagos. El porcentaje de influencia glacial como se describe en el trabajo de Cauvy-Fraunié *et al.* (2013), condiciona varios aspectos de las características no solo físico-químicas sino también biológicas. En Wila Lloreta el porcentaje de IG para la entrada es de 40% y para la salida es de 28%, siendo la extensión de esta laguna muy pequeña (3547m²), hay diferencia en el porcentaje de IG ya que la entrada está más próxima a la lengua de deshielo del glacial.

En Jankho Khota entrada, se registró el mayor porcentaje de influencia glacial (68 %). De acuerdo a lo descrito en el trabajo de Cauvy-Fraunié *et al.* (2013); en este caso, los aportes directos del glacial están influyendo a la composición de los sedimentos con algunos elementos químicos, los cuales de acuerdo a la correlación (Anexo 5b) que llegarían a influir son el Potasio y el Arsénico.

El Arsénico está presente como un contaminante de forma natural en la cuenca del Altiplano (Quintanilla *et al.* 1995), este elemento incrementa su concentración inversamente a la altitud, es por eso que en Khotia se registra las mayores

concentraciones en comparación a los otros dos lagos, ya que estaría siendo transportado al lago por erosión del suelo por el agua que viene directamente de las cumbres glaciales y los aportes longitudinales.

Además se registró que las entradas de los tres lagos presentan mayor porcentaje de influencia glacial, esto se debe a que las entradas reciben una suma de aportes de agua (longitudinal y lateral). En cambio para las salidas se debe considerar la distancia desde el aporte longitudinal principal y la profundidad de cada lago, ya que a lo largo del lago se depositan los sedimentos llegando al fondo de la cubeta y los sedimentos que llegan hasta la salida están en menor proporción a la que están en la entrada.

7.1.2 Variables físicas de los lagos

Las variables físicas explican la riqueza de macroinvertebrados en Khotia, el cual tiene la mayor: profundidad, superficie y por ende el mayor volumen de agua, estas características inciden sobre la diversidad de la fauna de macroinvertebrados (Sullivan y Reynolds 2004; Maiolini *et al.* 2006), ya que se crean hábitats de mayor extensión tanto horizontalmente como verticalmente.

Las trampas de sedimento, ayudaron a cuantificar la cantidad de sedimento que precipita en cada sitio de estudio y de esta forma poder contar con el índice de sedimentación para cada hábitat. Debido a que estos aparatos se montaron a la altura donde se tomó la muestra biológica y de acuerdo a los resultados de la figura 8, la cantidad de sedimento está relacionada al tamaño del lago (Anexo 5a) y a la cantidad de aportes laterales, donde:

- Wila Lloreta, tiene la menor cantidad de sedimentos registrados, lo cual depende de la cantidad de aportes de agua que tiene cada sitio de estudio.
- La mayor cantidad de sedimentos registrados está en Khotia – entrada, dado que en este lugar, es donde se almacena sedimento del aporte longitudinal de los lagos en rosario, debido a que cuenta con pocos aportes laterales importantes. Además la distancia entre la entrada y salida, permite dispersar los sedimentos en el fondo de la cubeta, por eso la salida tiene registros menores en la entrada.

El diseño de muestreo en la entrada y salida, permitió determinar que existe una diferencia en cuanto a la deposición de sedimentos dentro de cada lago. En la figura 8, se observa que la laguna Wila Lloreta, presenta una mínima diferencia en la cantidad de sedimentos (0,007 g) entre la entrada y la salida, esto debido a que la extensión de la laguna no permite que los sedimentos se extiendan conformando aproximadamente la misma dinámica de precipitación de sedimentos en ambos hábitats y al mismo nivel ya que no es muy profunda (promedio 3,6 m) y la zona litoral de entrada y salida aproximadamente está al mismo nivel (Entrada= 3,9 m y Salida=3,4 m). En los otros dos lagos, son las entradas las que cuentan con la mayor cantidad de sedimentos registrados, debido a que estos lugares reciben la mayor cantidad de aportes: longitudinales, subterráneos y laterales, además juega un papel muy importante el tamaño del lago y la distancia entre la entrada y la salida (Anexo 5a), características que también se mencionaron para la IG.

Se esperaría que los aportes laterales, provenientes de la cadena montañosa, tuvieran más efecto en las salidas, como ocurre en el trabajo realizado por Maiolini *et al.* (2006), pero en el caso de los lagos del presente estudio, no ocurre así, debido principalmente, a que los lagos son de una gran extensión, donde los sedimentos se dispersan hasta llegar a la salida, quedando la gran mayoría en el fondo.

7.2 Características físico – químicas

7.2.1 Sedimentos

El análisis de los elementos químicos del sedimento (figura 9), mostraron que estos parámetros (K, Ca, P, Na, Pb y MO) siguen un patrón inverso de acuerdo a la altitud en la que se encuentra cada hábitat; es decir, que si el hábitat está a mayor altitud los elementos químicos estarán en menor concentración que los hábitats que están a menor altitud. Pero para el punto de Jankho Khota – entrada existe una diferencia, allí se registraron las menores concentraciones de tales elementos, esto puede deberse a que: en este lugar se deposita la mayor cantidad de sedimentos provenientes de las cumbres

laterales expresado como la influencia del glacial (figura 8), y que a su vez esta forma de aporte es mayor que el aporte longitudinal es por eso que en este hábitat los registros de las concentraciones son menores que en los demás hábitat analizados.

En cuanto a la materia orgánica Servant (1979) y Rodrigo *et al.* (1979) determinaron que el sector del litoral presenta un fango de color gris a negro, en el actual estudio este patrón se evidenció, solo para el caso de Khotia, donde evidentemente el fango era muy fino y de color gris a negro, pero para los otros dos lagos, el fango donde se aloja la materia orgánica era fino pero de color blanquecino, este color se debe a las partículas que provienen principalmente de las cumbres del glacial.

Servant (1979), determinó que Khotia tiene un bajo porcentaje de materia orgánica (10%), en comparación a un lago más abajo (Khara Khota), que tiene 13%, pero sugiere que la cantidad de materia orgánica es mayor en lugares que albergan mayor cantidad de vegetación acuática, aseveración que coincide con los resultados de Seltzer *et al.* (1995). En el trabajo realizado por Dejoux y Wasson (1987), se determinó los sectores con vegetación acuática, donde Jankho Khota y Khotia son los lagos que presentan mayores zonas con vegetación.

Cabe recalcar que el trabajo que realizó Rodrigo *et al.* (1979), fue del lago Khotia y del Khara Khota, este último no se incluye en nuestro trabajo debido a que actualmente se encuentra represado y no aplica para el diseño de muestreo, referido a las entradas y salidas de cada lago

Los resultados de la figura 9f, muestran que la mayor concentración de materia orgánica se encuentra en la salida de Khotia, precisamente donde Dejoux y Wasson (1987) e Iltis (1988) registraron una mayor diversidad tanto de macrófitas como de algas. Pero en Wila Lloreta, encontramos aproximadamente los mismos valores de materia orgánica que en Khotia, siendo este lago el que menor vegetación alberga, además es el que cuenta con la menor extensión, posiblemente es la razón por la cual contiene una mayor concentración de materia orgánica que los lagos más profundos, ya que al ser un lago poco profundo permite que el material detrítico se acumule.

La materia orgánica, es uno de los principales elementos que se constituye la base de la alimentación de los macroinvertebrados. Trabajos como el realizado por Ciamporová *et al.* (2010), analiza la relación de la materia orgánica con la diversidad de macroinvertebrados en lagos con influencia glacial, determinando que este componente, es menor donde existe mayor aporte de afluentes del glacial, como se describe también en el trabajo de Silva (2006). Este comportamiento es exactamente lo que se observa para Jankho Khota, pero esta falta de materia orgánica, determina que otros componentes estén presentes, por lo que la dinámica química es diferente y es una razón para determinar la especificidad biológica.

7.2.3 Agua

Los análisis químicos del agua, que se describen en el Anexo 3, presentan valores bajos en comparación a los límites de la norma boliviana de calidad para la preservación de flora y fauna en aguas dulces frías y para la calidad de posibles fuentes de abastecimiento de agua potable (con base en las normas EPA), incluso algunos valores están bajo del límite detectable analítico. Esto quiere decir que en general los valores de los parámetros químicos se encuentran dentro de los rangos registrados anteriormente en otros estudios, por ejemplo autores como Dejoux y Wasson (1987) y otros autores que realizaron estudios en ríos de la zona andina como Molina (2004) y Wasson y Marín (1988). Todos ellos reportaron que los cuerpos de agua, de regiones pertenecientes a la cordillera occidental, son pobres en minerales, debido a la conformación geológica de la cadena montañosa y especialmente por la baja productividad de nutrientes lo que influye en la cadena trófica disminuyendo la diversidad de los grupos productores como fitoplancton y zooplancton.

En cuanto a los nutrientes disponibles en la columna de agua de los lagos de Hichu Khota, podemos observar que las mediciones de Fósforo y Nitrógeno (Anexo 3) estuvieron al límite de detección del método EPA (351 y 365, Anexo 3) siendo la razón estequiométrica N:P inferior a la razón de Redfield (1934) 16:1, debida a esta baja concentración de nutrientes la productividad primaria también es baja, es por esta razón que estos lagos se consideran oligotróficos.

Los resultados para el análisis físico-químico del agua (figura 10), muestran el comportamiento de cuatro parámetros (OD, Conductividad, pH y Temperatura), que responden a las condiciones geológicas correspondientes a la cordillera occidental, de acuerdo a los estudios realizados por Wasson y Marín (1988) y Franken y Sivila (1992). Los resultados describen: un pH neutro llegando a ser básico, el oxígeno disuelto se mantiene en el mismo valor para todos los casos, aunque este valor es muy bajo (~7 mg/l), la conductividad eléctrica es la que muestra valores diferentes entre lagos, siguiendo un patrón longitudinal, que es explicado porque las aguas son poco mineralizadas, los valores registrados coinciden con los registrados por Dejoux y Wasson (1987) y por Iltis (1988).

De igual forma la temperatura en los lagos Jankho Khota y Khotia se encuentra alrededor de 7°C en la columna de agua, pero en Wila Lloreta se registro una variación en la temperatura de acuerdo al perfil de profundidad, siendo la parte más profunda la más fría (4,3°C a 3,8 m de profundidad) incrementando aproximadamente 2°C en la superficie con un registro de 6,5°C. En el trabajo de Iltis (1988), se registra una temperatura mínima promedio de 3.6°C para Wila Lloreta, nuestros registros muestran 4,3°C como temperatura mínima para esta laguna. Estos datos indican que: cuando el cuerpo de agua es menos profundo, existe mayor variación térmica, como se describe en el trabajo de Dejoux y Wasson (1987), pero tambien se debe tomar en cuenta datos de la radiación que llega al espejo de agua, dependiendo de la hora de muestreo.

En cuanto a la turbidez, la figura 11 muestra que este parámetro sigue un patrón longitudinal. Los resultados muestran que: cuanto más profundo es el lago menor es la turbidez, lo cual se evidencia en mayor grado en Khotia que es el lago más profundo en comparación a los otros dos. La turbidez, está conformada por partículas suspendidas en la columna de agua y es un factor que va a determinar la producción primaria que condiciona la luz (PAR), ya que es una barrera, que no impide del todo, pero puede llegar a influir el paso de la luz.

La característica referida a la turbidez, afecta a la abundancia de macroinvertebrados y así mismo puede llegar a influir a la composición de algunas comunidades detritívoras o colectoras recolectoras, que dependerían de la producción primaria. Además el reciclaje de los nutrientes también se ve comprometido, ya que las comunidades productoras como las algas y grupos de zooplancton actúan fuertemente dentro de la cascada de producción de nutrientes e influyen directamente en niveles superiores de la cadena trófica porque dependerá de ellos la producción y ciclaje de los nutrientes, los cuales deben estar disponibles para niveles superiores como los macroinvertebrados (Carpenter *et al.* 1985).

Sobre la relación de la turbidez con la diversidad de macroinvertebrados Van de Meutter *et al.* (2005), mencionan que las comunidades de macroinvertebrados están indirectamente relacionadas con el grado de turbidez de las aguas, pero que en sí la turbidez es una variable del conjunto de características químicas que se relacionan a la disponibilidad alimenticia, sobre todo cuando el material particulado es el que conforma la materia orgánica, lo cual es importante para grupos que dependen de la producción primaria. El grado de turbidez, como se observa en la figura 11, es mayor en Wila Lloreta que tiene la menor profundidad, los otros dos lagos que son más profundos tienen una menor turbidez.

En cuanto a la atenuación en la columna de agua en los tres lagos, aproximadamente a 1m de profundidad disminuye la penetración de la luz PAR, la diferencia en Jankho Khota es que este lago, presenta menor variación a lo largo de la columna de agua, debido a que tiene uno de los menores grados de turbidez, por ende la penetración de luz será más estable (luz PAR y Turbidez altamente correacionadas, ver Anexo 5), además en este caso se debe considerar que este lago tiene la mayor influencia glacial (Figura 7).

La influencia glacial asociada a las comunidades acuáticas, es una variable que solo se ha medido en sistemas de aguas corrientes (Cauvy-Fraunié *et al.* 2013; Jacobsen *et al.* 2009; Brown y Milner 2012). Estos estudios consideran que las condiciones químicas y físicas son las que influyen en la composición de los macroinvertebrados acuáticos,

las medidas que se realizaron en los sedimentos de los lagos de Hichu Khota mostraron que éstos son los que determinan la fauna que coloniza en estos ambientes, pero además es un conjunto de asociaciones entre características físicas y químicas del agua. Se debe tener en cuenta la diferencia que existe entre la turbidez, la cual se mide en la columna de agua como partículas suspendidas y la influencia glacial la cual es una medida indirecta de las partículas suspendidas pero que son de procedencia únicamente del glacial, ambos términos están relacionados pero la procedencia y la forma en que se calculan estos valores es diferente (tal como se detalla en la metodología).

La luz PAR, penetra en la columna de agua dependiendo de dos factores: el primero, por la Materia Orgánica disuelta, el segundo por las partículas suspendidas. Como se describe en el trabajo realizado por Villafañe *et al.* (2013), las partículas suspendidas son las encargadas de dar la característica de turbidez en el agua.

Es así que cuantas más partículas suspendidas exista en la columna del agua (mayor turbidez) la luz PAR debe disminuir, en este sentido los resultados de la penetración de la luz PAR en la columna de agua muestran ese comportamiento, solo en la superficie (hasta 1m de profundidad).

El efecto de la fuerte radiación solar sobre los espejos de agua (Zaratti y Forno 2003) y el movimiento del agua en la superficie que mezcla continuamente las partículas que se encuentran suspendidas, permite que la luz PAR penetre hasta aproximadamente 1m de profundidad (Vergara 2009), pero si el ecosistema acuático tiene muy baja profundidad, como en el caso de la laguna Wila Lloreta, el movimiento del agua permitirá que una mayor cantidad de luz PAR penetre en la columna de agua.

Esta luz PAR es una variable importante ya que determina la actividad fotosintética para la producción primaria, de la cual dependen muchos de los macroinvertebrados como fuente de alimento, especialmente los detritívoros y los colectores recolectores, constituyéndose en un factor importante dentro de la cadena trófica y en la producción inicial.

También es importante porque puede determinar la dinámica de un cuerpo de agua léntico, sobre todo si éste se encuentra a grandes altitudes como los lagos que son objeto de estudio, ya que son susceptibles a recibir mayor cantidad de rayos ultravioletas, lo que perjudicaría a la biota acuática desde el punto de vista molecular, con el daño en el material genético (ADN) producido por la formación de “ciclobutane pirimidine dimers” (CPDs), especialmente en forma de dímeros de timina (Villafañe y Helbling 2003).

En relación a la fluorescencia de clorofila-a y la abundancia de cuatro grupos de algas, la figura 12 muestra que la actividad fotosintética es baja en los tres lagos (medida por la composición de algas. Coincidiendo con las descripciones de Dejoux y Wasson (1987), la baja abundancia y composición de algas está sujeta a la cantidad de nutrientes en el medio, y como ya se discutió anteriormente la productividad primaria en estos lagos es baja (figura 9, Anexo 2), además se debe tomar en cuenta la reducida penetración de la luz, como se observa en la figura 11. Ambos factores (cantidad de nutrientes y la luz) son los que determinan la diversidad de fitoplancton como base de la cadena (Wurtsbaugh *et al.* 1991).

Algo que se evidencia en los resultados, es que Jankho Khota presenta la mayor actividad fotosintética y la menor variación en cuanto a la presencia de algas en el perfil de profundidad. Este efecto se explica porque las partículas suspendidas en la columna de agua no varían en cantidad (Variación promedio cada 0,5 m = 1 NTU), lo que permite que la luz PAR penetre, facilitando la fotosíntesis de una forma constante, hasta llegar a atenuarse completamente (Villafañe *et al.* 2013).

7.3 Composición y abundancia de macroinvertebrados

Wila Lloreta es la única laguna que tiene mayor cantidad de taxones en la salida, pero la superficie de esta laguna es mucho menor a los otros dos lagos, por lo cual hay aproximadamente la misma cantidad de taxones tanto en la entrada como en la salida.

Para apreciar de forma gráfica como está estructurada la diversidad de macroinvertebrados en los diferentes hábitats, se realizó un dendrograma (Figura 14), donde se confirma que Khotia presenta la mayor diversidad ya que se separó en una rama diferente. El comportamiento esta dado por la dinámica longitudinal en la cual se encuentran distribuidos los lagos, tal como se explica en los capítulos del libro paisajes glaciales de Sullivan y Reynolds (2004).

Comparando la diversidad de macroinvertebrados con el estudio que realizaron Dejoux y Wasson (1987) en la misma zona, se observa que existen los mismos grupos a nivel de familia; pero en cuanto a los géneros la lista taxonómica se incrementa en el presente trabajo. Por ejemplo: en Wila Lloreta encontramos: *Austrelmis* (Coleoptera), *Tanypodinae* (Diptera) e Hydracarina (Acari), que no fueron encontrados por Dejoux y Wasson (1987); en el caso de Jankho Khota registramos a *Polypedilum* (Diptera), un género que no se había encontrado para este lago anteriormente y de la misma forma en Khotia encontramos a la familia Empididae (Diptera) como nuevo registro.

Algunos de los taxones registrados por Dejoux y Wasson (1987) están como morfotipos, como es el caso de los Anphipodos y los Hydracarina, en la presente investigación todos los individuos están identificados a nivel taxonómico de género lo que hace que la lista taxonómica se incremente. Además en los antiguos registros del año 1987 los grupos de los Oligochaeta, Nematoda e Hirudinea están reportados al grado taxonómico de Orden, en cambio en el presente estudio los resultados para estos grupos registraron: 3 géneros de Oligochaetas, 7 de Nematoda y 2 géneros de Hirudinea. Un grupo que tiene gran riqueza como morfotipos en el trabajo de Dejoux y Wasson, son los Hidracarina con 16 morfotipos que en su mayoría fueron registrados en la zona de vegetación y dado que nuestro trabajo se limita a la zona litoral solo se registraron tres géneros de Hidracarina al igual que los reportados por los mencionados autores para la zona litoral.

Los nuevos grupos taxonomicos a nivel de género que registramos para estos lagos son: Ostracoda con 3 géneros, dentro de los Nematomorphos 1 género de Gordioidea, para los Diptera: Chironominae *Rheotanytarsus*, 5 morfotipos de *Cricotopus* que

pertenecen a los Orthocladinae y Ceratopogonidae *Culicoides*, en cuanto a los Moluscos 2 generos *Antillorbis* y *Helobia* pertenecientes a las familias Planorbiidae e Hydrobiidae y por último en Khotia se registró al género *Anomalocosmoecus* de la familia Limnephilidae (Trichoptera). Este último género es reconocido por habitar específicamente cuerpos de agua rápidos que le brindan los requerimientos biológicos que exige, como se describe en el trabajo de Molina (2004), estos individuos que se encontraron en Jankho Khota debieron llegar al lago por la deriva de los afluentes aportantes, ya que en los mismos lugares se encontraron estructuras de protección en los que ellos viven, que llegaron al lugar por acción de la corriente de los arroyos.

Además registramos nuevos taxones para la zona, como es el caso del grupo de los Tardígrados (micrometazoos protostomados hidrófilos). Según previo trabajo de Garitano - Zabala (1994), los tardígrados en Bolivia son muy poco conocidos y solo algunas expediciones extranjeras los han reportado. Las dos especies de Tardígrados reportadas en el presente trabajo, viven en ambientes acuáticos y una de ellas (*Milnesium tardigradum* Doyere 1840), puede ser indicador de alcalinidad, mediante aumento de la abundancia en su población; la otra especie (*Dactylobiotus parthenogeneticus* Bertolani 1981), solo ha sido reportada en Italia y Grecia (Garitano - Zabala 1994).

Dactylobiotus parthenogeneticus es una especie de fácil reconocimiento en estado adulto, ya que presenta dos secciones del cuerpo marcadas por diferente pigmentación como se observa en la figura 18a, la parte posterior del individuo contiene los huevo que posteriormente serán liberados cerca de las macrofitas con toda la sección posterior de la madre (Bertolani 1981). Esta especie prefiere habitar lugares que tengan algas y fanerógamas; esta especie fué reportada en Jankho Khota – entrada, y en ningún otro sitio (figura 17).

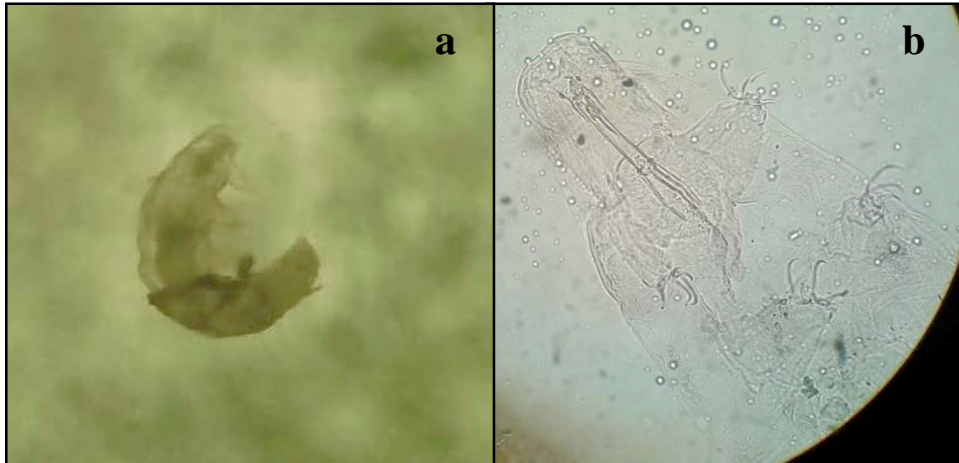


Figura 18. Individuo perteneciente al grupo de los Tardigrados (*Dactylobiotus parthenogeneticus*), **a.** individuo visto bajo estereomicroscopio, **b.** individuo en placa visto bajo microscopio, detalle del aparato bucal y de las diplouñas.

Dado que los Oligochaetas son el grupo con mayor abundancia el tipo de hábitat que ellos necesitan para establecerse es: sedimentos finos que contengan materia orgánica ya que tienen hábitos alimenticios colectores y recolectores. Estos necesitan contar con materia orgánica particulada fina (MOPF) tal como mencionan Marchese (2009) y Rivera *et al.* (2013). Además Lafont y Juget (1991), determinaron que los Oligochaetas tienen gran éxito en ambientes ricos en cloruros con sedimentos finos que contengan detritos, mientras la conductividad eléctrica se mantenga por debajo de los 400 μS ; comunidades como Naididae se mantendrán vigentes, pero si la conductividad eléctrica sube, estas poblaciones serán reemplazadas por otras como por ejemplo Tubificidae, esta característica puede servir en el futuro para determinar a través de la presencia o ausencia de estas familias de Oligochaetas las variaciones en los niveles de sales medidas a través de la conductividad eléctrica tanto para el agua como para los sedimentos.

Los Diptera, empiezan a ser dominantes en Khotia y son el segundo grupo dominante después de los Oligochaetas, el máximo representante de los Diptera es el género *Polypedilum* que se caracteriza por presentar un color rojo, que de acuerdo con Hanson *et al.* (2010), las larvas de la tribu Chironomini, complementan la respiración cutánea

maximizando la captura de oxígeno mediante pigmentos respiratorios parecidos a la hemoglobina, la cual le da un color rojo brillante cuando están vivos (Figura 19a); lo que les ayuda a colonizar sitios como estos lagos, donde el agua tiene bajos niveles de oxígeno.

Coincidiendo con los reportes de Dejoux y Wasson (1987), el género *Polypedilum* está presente solo Khotia, ya que a pesar de que el sedimento fino (Domínguez y Fernández 2009), el hecho de que en la columna de agua exista un menor grado de turbidez, hace que la actividad fotosintética primaria dada por la luz PAR brinde un ambiente propicio para que puedan existir estos organismos. Estas características del hábitat de estos organismos nos pueden servir como indicador de las variaciones de la luz PAR y su relación con la turbidez en la columna de agua, además de la concentración de oxígeno disuelto en el agua.

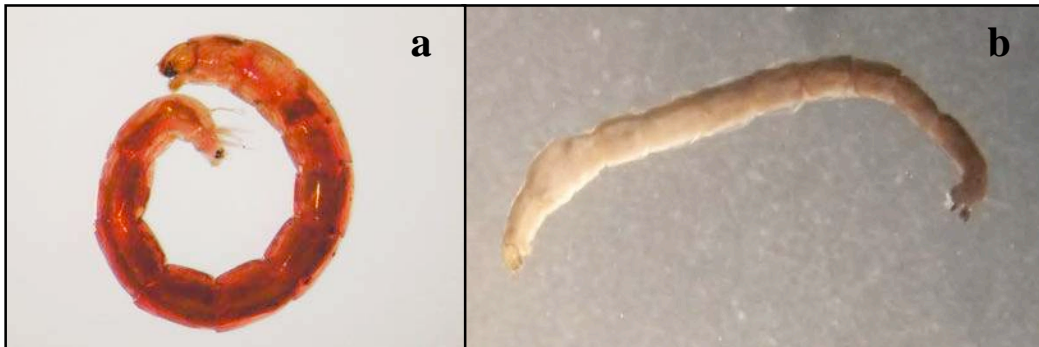


Figura 19. Individuo del género *Polypedilum*, perteneciente a la subfamilia Chironominae, **a.** individuo vivo, **b.** individuo fijado

7.3.1 Grupos funcionales alimenticios

El grupo funcional (alimenticio) de los colectores-recolectores es el que tiene mayor porcentaje de presencia en los lagos de estudio (63%). De acuerdo a Rodríguez (2011), este grupo se alimenta principalmente de partículas finas de materia orgánica las cuales tienen la propiedad de depositarse en el fondo y el lago que tiene mayor cantidad de

representantes taxonómicos de este grupo (Oligochaetas de la familia Naididae) se encuentran en Khotia, sitio donde la cantidad de materia orgánica analizada en los sedimentos también es mayor respecto a los otros hábitats de los otros dos lagos.

El segundo grupo funcional con mayor porcentaje son los detritívoros con el 33,5% estos se alimentan de materia orgánica particulada gruesa y microflora del sustrato además ocasionalmente consumen Macrófitas (Rivera *et al.* 2013; Uwadiae 2010). Estos organismos están presentes en todos los hábitat de los tres lagos, pero el lago que registro el mayor porcentaje es Wila Lloreta (53%) y menor porcentaje es para Khotia (7%); es decir que la cantidad disminuye en el trayecto longitudinal. Esta característica puede estar asociada a la turbidez que como observamos en la figura 11 la primera laguna tiene la mayor turbidez la cual está conformada por partículas suspendidas en la columna de agua en donde pueden estar presentes las partículas gruesas de materia orgánica las cuales no llegan a precipitar.

El taxón *Dactylobiotus parthenogeneticus* es un tardígrado detritívoro que solo se registro en Jankho Khota, el cual está asociado a las macrófitas ya que utiliza las plantas para depositar sus huevos; a través de estas características descritas para la especie la dinámica de estos individuos será de la siguiente manera: los individuos de esta especie de tardígrados fueron colectados aproximadamente a 1,9 m de profundidad de la zona litoral en Khotia, a esta profundidad los tardígrados habitan hasta que el adulto se desarrolla y cuando debe depositar los huevos en cercanías de las Macrófitas, los individuos bajan hasta el cinturón de plantas las cuales están a 5 m de profundidad como se describe en el trabajo realizado por Dejoux y Wasson (1987). Se debe tomar en cuenta que este lago presenta pendientes abruptas que varían en toda la orilla del litoral, esta puede ser una razón para que se creen hábitats específicos los cuales son ocupados por fauna específica y única como es el caso de los tardígrados, respecto a los demás hábitats de los tres lagos.

El grupo funcional de los depredadores esta representado mayormente por el grupo de los Hirudinea, aunque algunos autores como Rivera *et al.* (2013) clasifican a estos organismos como detritívoros, pero Rivera *et al.* (2013) afirman que los hirudíneos que

viven en los lagos son depredadores ya que se alimentan de Moluscos, Oligochaetas, larvas de insectos y Crustacea. En el lago Jankho Khota fué el único lugar donde se registro a *Helobdella stagnalis* perteneciente al grupo de los Hirudinea y *Monhystrella* perteneciente a los Nematoda, estas especies fueron registradas únicamente en el hábitat de entrada de Jankho Khota, los cuales pueden estar presentes en este lugar por las mismas razones que el taxón antes descrito perteneciente a los Tardígrados.

7.4 Relación entre variables ambientales y la diversidad de macroinvertebrados

El análisis de correspondencia canónica que se describe en la grafica 16, muestra la interacción de las variables ambientales y biológicas, donde de manera general se puede ver tres grupos de variables relacionadas para cada uno de los lagos, las cuales responden a la composición y abundancia de macroinvertebrados en cada hábitat de cada lago; es decir que cada lago tiene características específicas por las cuales la fauna de macroinvertebrados colonizan estos sitios.

Para la primera laguna se puede observar que la turbidez y la luz PAR tienen efecto para que el grupo funcional alimenticio de los detritívoros se desarrolle en esta laguna, cuyo tema de la turbidez asociada a los detritos ya se discutió previamente. Pero dado que el grupo de detritívoros esta representado por los Ostracoda y Nematoda existe la disponibilidad del alimento en el sedimento donde ellos colonizan y si observamos la figura 9f veremos que la disponibilidad de materia orgánica en los sedimentos de esta laguna tiene un porcentaje intermedio comparado con los otros dos lagos (%MO en WL=2,1; JK=0,3 y Kh=2,8); es decir que existe el alimento disponible para estas comunidades de macroinvertebrados.

Para el segundo grupo que pertenece al lago Jankho Khota se presentan el grupo funcional alimenticio fregmentadores y las mayores concentraciones de algas medidas a través de la fluorescencia de la clorofila-a. En el eje canónico que describe esta lago solo podemos observar la influencia glacial como parámetro físico que explica la presencia de la fauna y en menor grado el oxígeno disuelto que fue levemente mayor. Como se describe en el trabajo realizado por Villafañe y Helbling (2003) la producción

primaria depende de la cantidad de luz que penetre a lo largo de la columna de agua, pero en nuestro caso también se debe tomar en cuenta la turbidez y la influencia glacial.

De acuerdo con Brown y Milner (2012), la turbidez asociada a la diversidad de macroinvertebrados, dependen de la cantidad del aporte del glacial y IG es considerada como un indicador de deshielo, pero gracias a que su estudio puede compararse entre décadas se puede ver que el aporte del glacial cambia las comunidades de macroinvertebrados, lo cual nos permite evaluar mediante la riqueza y abundancia de las comunidades de macroinvertebrados, como se va acelerando el deshielo de los glaciales a partir de sus aportes de sedimento.

En Khotia se encuentra la mayor riqueza de macroinvertebrados, además de la mayor diversidad (índice inverso de Simpson, Tabla 3), esta fauna está relacionada positivamente con variables físicas como la profundidad y el volumen de agua lo cual está relacionado con el tamaño del ecosistema (Anexo 5), además se presenta al Potasio como elemento limitante de respuesta importante para que los grupos funcionales alimenticios raspadores y los colectores-recolectores estén en mayor porcentaje en estos sitios por la disponibilidad de alimento, además podemos ver que inversamente a Wila Lloreta, Khotia es el menos turbio y además tiene el mayor grado de deposición de sedimentos ya que cuenta con diferentes aportantes: los laterales, los que bajan de forma longitudinal por deriva y las aguas subterráneas que desembocan, esto hace que el aporte de materia orgánica también sea mayor que en los otros dos lagos y sea fuente alimenticia de los macroinvertebrados.

La presencia de altas concentraciones de Potasio, respecto a los demás lagos, y sumado a las concentraciones de Nitrógeno y Fósforo, nos muestran que Khotia es un lago muy fértil en cuanto al desarrollo del plancton y por consiguiente es un ambiente adecuado para el desarrollo de una cadena trófica más rica (Rodríguez *et al.* 2002), en comparación a los otros dos lagos.

La materia orgánica es una variable que está relacionada con la diversidad de organismos acuáticos, como se describe en los trabajos de Silva (2006) y Stumm (2004), si la producción primaria es alta las comunidades de macroinvertebrados tienden a aumentar esto explica la mayor diversidad en Khotia que en los otros lagos. Según Jónasson (2004) cuerpos de agua con mayor cantidad materia orgánica, van a producir una dinámica productiva mayor a los que carecen de materia orgánica ya que no se puede crear producción primaria.

Con esta información, la relación de los sedimentos sobre la abundancia y composición de los macroinvertebrados tiene un conjunto de variables que determinan esta diversidad como se ya se discutió. Pero algunas variables son más importantes para la determinación de la composición y abundancia de macroinvertebrados entre las que están: las variables físicas como la profundidad, extensión y por ende el volumen de agua asociado a la cantidad de aportes de sedimentos.

Los nutrientes contenidos en los sedimentos y las características físico-químicas tanto de la columna de agua como del sedimento son los parámetros que determinan hábitats específicos para la colonización de los macroinvertebrados. Los sedimentos contenidos en los aportantes de agua, dependiendo de la procedencia, llevan consigo determinadas características dando una composición también específica en cuanto a concentración y composición de los parámetros químicos. De esta forma se debe tomar en cuenta los afluentes para determinar la composición que tendrán los sedimentos en cada lago, para que a partir de ello se pueda determinar las características de los hábitats donde se encuentran los macroinvertebrados y su diversidad.

8. CONCLUSION

Los parámetros químicos medidos, siguen un patrón longitudinal de acuerdo a la distribución en rosario de los lagos, excepto para el lago Jankho Khota el cual recibe varios aportes laterales de la cadena montañosa, característica que define de manera diferente la dinámica química, física y biológica.

La cantidad de sedimentos que se deposita en cada sitio de estudio, depende directamente de los aportes laterales de la cadena montañosa y los aportes longitudinales de los lagos en forma de rosario, además se debe tomar en cuenta el grado de dispersión de estos sedimentos dentro del lago.

Los lagos distribuidos en rosario, presentan un proceso de sucesión de sedimentos a lo largo del valle glacial, así como aportes laterales, como material grueso y fino. Esta conectividad, genera un sistema “buffer”, donde los lagos con mayor altitud reciben mayor cantidad de aportes laterales, atrapan las partículas provenientes del glacial dando al siguiente lago aguas con menos partículas que provienen de la erosión de los riachuelos laterales, en este caso Jankho Khota recibe más aportes laterales el cual es un buffer para dar menor cantidad de partículas a Khotia el cual tiene menor turbidez.

El sistema de conexión de los lagos mantiene el ciclaje de los nutrientes permitiendo que mediante la producción primaria, los macroinvertebrados tengan una mayor composición y abundancia.

La conexión de los lagos es determinante en la filtración de los sedimentos arrastrados por el deshielo del glacial. En este sentido cada lago posee una estructura particular de macroinvertebrados y que dependen de los aportes de sedimentos longitudinales para el aporte de materia orgánica. Si esta conexión se rompe, a consecuencia del represamiento de unos de los lagos; no solo se afectará a la dinámica biótica del lago sino también a los que se hallaban en la distribución de rosario.

Además se debe considerar que el valle desde la parte más alta hasta llegar al último lago se abre, disminuyendo los aportes laterales directos ya que las cumbres laterales están más alejadas del lago, como es el caso de Khotia.

La turbidez llegó a ser perjudicial para la entrada de luz PAR afectando la fotosíntesis de los grupos primarios, desestabilizando la dinámica de la cadena trófica.

En cuanto a la dinámica de cada lago, se concluye que:

La luz PAR, la turbidez y la cantidad de oxígeno, aparte de la composición física y química de los sedimentos glaciales, van a determinar las características importantes para conformar la producción primaria a través de la composición de algas (fluorescencia de clorofila), en el lago Jankho Khota especialmente en el hábitat de entrada.

Se ha podido evidenciar un efecto directo de la influencia glacial con la turbidez que existe en los lagos dependiendo de la procedencia del aporte de agua y a su vez estas variables tienen un efecto con el porcentaje de oxígeno producido por la fotosíntesis principalmente por los grupos de fitoplancton, como ocurre en Jankho Khota.

En cuanto a la cantidad de materia orgánica en los sedimentos de estos lagos, se registraron valores bajos con un registro máximo de 3,6 % para el punto de salida del lago Khotia.

Los componentes químicos como el Nitrógeno, Fósforo y Potasio contenidos en los sedimentos, son determinantes para la producción primaria, la cual es base alimenticia de los macroinvertebrados, esto para el lago Khotia y menor grado para la laguna Wila Lloreta.

En cuanto a la composición de macroinvertebrados: Los Oligochaetas están presentes en los tres lagos, en dos de ellos son los más representativos (Wila Lloreta y Khotia), la dinámica en la abundancia de las familias de Oligochaeta pueden indicar cambios en la

química del agua especialmente en el incremento de las concentraciones de sales en los sedimentos por ende la medida de conductividad eléctrica del agua se incrementará. Ya que cuando Naididae desaparece, quiere decir que la conductividad eléctrica de las aguas ha alcanzado 420 μS y son remplazados a partir de este límite por Tubificidae, como se evidenció en el lago Titicaca.

Los individuos del género *Polypedilum*, solo fueron registrados para Khotia, constituyéndose en un indicador de la cantidad de algunos parámetros medidos, entre los cuales están: alta saturación de oxígeno disuelto en el agua (Anexo 7), la reducida penetración de luz PAR y valores bajos de turbidez (estos tres parámetros están asociados para que los individuos de *Polypedilum* puedan colonizar estos hábitats).

El lago Jankho Khota por tener altas concentraciones de algas, valores elevados de turbidez así como de la luz PAR asociadas al alto porcentaje de influencia glacial, presenta cinco registros únicos de macroinvertebrados de acuerdo a los grupos funcionales en relación al alimento, de los cuales: dos son detritívoros (Monhysteridae *Monhystrella* y Macrobiotidae *Dactylobiotus parthenogeneticus*) otros dos son depredadores (Glossiphonidae *Helobdella stignalis* y Oxidae *Oxus*) y un fragmentador (Limnephilidae *Anomalocosmoecus*), estas especies han hallado condiciones muy específicas en estos hábitats, como altas concentraciones de algas, turbidez y luz PAR, todas estas variables asociadas.

Los parámetros que influyen en la composición y abundancia de macroinvertebrados son los componentes y cantidad de elementos químicos que llegan a los lagos mediante la erosión de los riachuelos de diferentes direcciones (longitudinales y laterales) y se acumulan conformando el sedimento, entre los parámetros más importantes están:

La cantidad de materia orgánica contenida en los sedimentos alojados en la zona litoral de los lagos de estudio son los que determinan la alta diversidad de macroinvertebrados, representado por la riqueza como se evidenció en Khotia.

Existe una relación inversa entre la diversidad de macroinvertebrados y la turbidez, en relación a la procedencia de las partículas que son transportadas por los afluentes de entrada a cada lago; si las partículas proceden de las cumbres laterales serán partículas que se queden suspendidas en la columna de agua y conforman la turbidez, pero si las partículas proceden de los aportes longitudinales y subterráneos conformaran los sedimentos depositables.

El estudio, revela las primeras pautas de indicadores biológicos (macroinvertebrados), que se pueden utilizar para analizar la dinámica de retrocesos glaciales, destinados a ser estudiados en cuerpos de agua leníticos que alberga este valle, mediante el estudio de la dinámica a nivel de sedimentos glaciales y como se relaciona con las comunidades de macroinvertebrados.

9. RECOMENDACIONES

Dentro del análisis de diversidad de macroinvertebrados, dentro del diseño del presente estudio se considero un metodo artificial llamado “Sustratos Artificiales”, para determinar la colonización de los macroinvertebrados a traves de la agregación, los resultados que se obtubieron se muestran en la tabla 4



Figura 3. Ejemplar de sustratos artificiales, diseño y elaboración propia

Tabla 4. Diversidad de macroinvertebrados a nivel de género, recuperados de los sustratos artificiales para la entrada (E) y salida (S) de Wila Lloreta (WL) y Jankho Khota (JK)

Orden	Familia	Género	WL-E	WL-S	JK-E	JK-S
Oligochaeta	Naididae	<i>Homochaeta</i>		2		
Oligochaeta	Naididae	<i>Pristina</i>	1	4		
Ostracoda	Limnocytheridae	<i>Limnocythere</i>		1		
Ostracoda	Darwinulidae	<i>Darwinula</i>	1			
Diptera	Orthocladinae	<i>Cricotopus sp.1</i>	5	1	1	8
Diptera	Orthocladinae	<i>Cricotopus sp.2</i>				
Diptera	Orthocladinae	<i>Cricotopus sp.3</i>	11	4	22	1
Diptera	Chironominae	<i>Polypedilum</i>		1		
Diptera	Podonominae	<i>Podonomus</i>		1		3
Hemiptera	Corixidae	<i>Ectemnostega</i>	1			
Tardigrado	Milnesiidae	<i>Milnesium tardigradum</i>				3
Trichoptera	Limnephilidae	<i>Anomalocosmoecus</i>				2

Como se puede observar en la tabla 4, no se obtuvieron datos para el lago Khotia, debido a que los aparatos fueron extraídos arbitrariamente de los sitios de estudio, es por esta razón que no se lo considera dentro de los resultados ya que no se pudo realizar el análisis para los todos los lagos.

Este método artesanal (fig. 19) para la determinar la colonización de macroinvertebrados estuvo suspendido durante un mes en la columna de agua a la altura de la zona litoral y como se puede observar colonizaron varios grupos de macroinvertebrados. El estudio de la agregación debe hacerse ya que cierra el círculo para explicar la dinámica de aprovechamiento de los nutrientes.

Con los resultados de la agregación de especies se puede explicar la ecología de algunos grupos que son nuevas descripciones de estos ambientes, como por ejemplo los Tardigrada y Trichoptera.

Si se considera a la dinámica de agregación de macroinvertebrados como una variable respuesta, se debe mantener un diseño experimental representativo; es decir, considerar replicas para que la información sea significativa.

Las sugerencias que se proponen a continuación, representan los futuros intereses sobre la tematica de estudio, de manera que la investigación tenga continuidad.

Sobre la variable de influencia glacial medida en este estudio, se debe tomar en cuenta que es un parámetro de aproximación relativo que puede ser utilizado como referencia de la relación del deshiele de los glaciales cercanos a los lagos de estudio y la dinamica de los macroinvertebrados y su diversidad, pero es importante considerar la relación de los sistemas loticos que aportan sedimentos provenientes del glacial. Dentro de esta optica se debe considerar mediciones de los parametros como caudal y composición físico-química del agua y diversidad que aportan los rios y riachuelos.

Además fruto de los resultados de esta investigación es muy importante la procedencia de los aportes de agua que tiene cada lago y la cantidad de los aportes laterales que bajan desde las cumbres glaciales, ya que de esta característica dependerá la especificidad de la composición de macroinvertebrados.

A consecuencia del crecimiento de la influencia antropogénica, existen muchos proyectos para el represamiento de los lagos con el objetivo de proveer agua potable a la ciudadanía. En este sentido y por medio de esta investigación propongo que el represamiento de lagos distribuidos en rosario no es la solución, ya que estos lagos poseen una conectividad natural, lo cual posee una dinámica de depuración natural de sedimentos y al mismo tiempo el ultimo lago (Khotia) al presentar mayor diversidad de macroinvertebrados, es importante en la contribución de la cadena trófica superior como peces. Lo más apropiado es mantener esta dinamica natural ya que los lagos contienen el agua durante largos periodos de tiempo sin la necesidad de una estructura que contenga el efluente en cambio se pueden desarrollar programas de criaderos de peces para la dotación de proteínas, favorablemente mientras la dinamica natural esté activa.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Apaza, R. 1991. “Incidencia de una contaminación por efluentes mineros sobre la fauna béntica en un complejo fluvio-lacustre Altoandino, Milluni, La Paz - Bolivia.” La Paz - Bolivia: Mayor de San Andrés.
- *ArcMap* (versión 9.3). s/f.
- Argollo, J. 1980. “Los pies de Montes de la Cordillera Real entre los valles de La Paz y de Tuni. Estudio geológico, evolución Plio-Cuaternaria.” La Paz - Bolivia.
- Argollo, J., y Ph Mourguiart. 1995. “Cambios cuaternarios en América del Sur. Cap. 8. Los climas cuaternarios de Bolivia.” *Instituto de Investigaciones Geológicas - ORSTOM*, 135–55.
- Baudoin, M., y L. Pacheco. 1991. “Reptiles.” En *Historia natural de un valle de los Andes*, 421–52. La Paz - Bolivia.
- Beck, S., y E. García. 1991. “Flora y vegetación de los diferentes pisos altitudinales.” En *Historia natural de un valle de los Andes*, 65–79. La Paz - Bolivia.
- Bloesch, J. 2004. “Sedimentation and Lake Sediment Formation.” En *The Lakes Handbook – Limnology and Limnetic Ecology*, 1:207–39.
- Bórquez, L., S. Larraín, R. Polanco, y Juan Carlos Urquidi. 2006. “Glaciares Chilenos Reservas estratégicas de agua dulce para la sociedad, los ecosistemas y la economía”, 125.
- Braak, Ter, y Smilauer. 1998. *CANOCO* (versión 4.5.).
- Brittain, J.E., y A. Milner. 2001. “Ecology of glacier-fed rivers: current status and concepts.” *Freshwater Biology* 46: 1571–78.
- Brown, L., y A. Milner. 2012. “Rapid loss of glacial ice reveals stream community assembly processes.” *Global Change Biology* 18: 10. doi:10.1111/j.1365-2486.2012.02675.x.
- Cardozo, A., M. Ismael, L. Rodrigo, A. Muñoz, y J. Telleria. 2004. “Procesos de salinización en el Altiplano Central: Una contribución a su conocimiento.” *Academia Nacional de Ciencias de Bolivia, La Paz*, 326.
- Carpenter, S.R., J.F. Kitchell, y J.R. Hodgson. 1985. “Cascading Trophic Interactions and Lake Productivity.” *Biological Sciences* 35 (10): 634–39.
- Cauvy-Fraunié, S., T. Condom, A. Rabatel, M. Villacis, D. Jacobsen, y O Dangles. 2013. “Technical Note: Glacial influence in tropical mountain hydrosystems evidenced by the diurnal cycle in water levels.” *Hydrology and Earth System Sciences* 17: 4803–16. doi:10.5194/hess-17-4803-2013.
- Ciamporová, Z., L. Hamerlík, F. Sporka, y P. Bitusik. 2010. “Littoral benthic macroinvertebrates of alpine lakes (Tatra Mts) along an altitudinal gradient: a basis for climate change assessment.” *Hydrobiologia* 648: 19–34. doi:10.1007/s10750-010-0139-5.

- Coca, A. 1972. “Estudio geotécnico Zona Tuni Condoriri.” La Paz - Bolivia: Mayor de San Andrés.
- Dejoux, C. y A. Iltis (ed.). 1992. *Lake Titicaca – a synthesis of limnological knowledge*. Monographiae biologicae Kluwer Academic Publishers.
- Dejoux, C. y J. G Wasson. 1987. “La faune benthique de quelques lacs d’altitude des Andes boliviennes”, ORSTOM, 34.
- Domínguez, E., y H. Fernández. 2009. *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: sistemática y biología*. 1a ed. Tucumán - Argentina.
- Epler, J. 2001. “Identification manual for the larval Chironomidae (Diptera) of North and South Carolina.”
- Feinsinger, P. 2003. *El diseño de estudios de campo para la conservación de la Biodiversidad*. Santa Cruz - Bolivia: FAN.
- Francou, B., P. Ribstein, R. Saravia, y E. Tiriau. 1995. “Monthly balance and water discharge of an inter-tropical: Zongo Glacial, Cordillera Real, Bolivia.” *Glaciology*, 41: 61–67.
- Franken, M., y R. Sivila. 1992. “Estudio limnológico de los ríos del valle de La Paz en relación a su calidad de agua” 19: 97–132.
- Garitano - Zabala, A. 1994. “Distribución de la tardigradifauna muscicola (Phylum Tardigrada) en una transecta altitudinal en la vertiente occidental de la Cordillera Real de Los Andes.” La Paz - Bolivia: Mayor de San Andrés.
- Gonzáles, E. 2003. “The fresh wáter amphipods Hyalella Smith, 1874 in Chile (Crustacea: Amphipoda).” *Revista Chilena de Historia Natural* 76: 623–37.
- Gouze. 1984. “Cartographie du piémont de la Cordillere d’Apolobamba (Bolivie). Les mouvements glaciaires holocenes. Relations avec la paléoclimatologie.” *UMSA - ORSTOM*, 109.
- Gower, J.C. 2005. *Principal Coordinates Analysis Encyclopedia of Biostatistics*. Copyright Jhon Wiley & Sons, Ltd.
- Hanson, P., M. Springer, y A. Ramirez. 2010. “Cap. 1.” En *Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos*. Vol. 58. Biología Tropical.
- Herbas, K. 2011. “Variabilidad morfológica y régimen alimenticio de Orestias agassii (Pisces - Cyprinodontidae) en sistemas acuáticos de altura, La Paz – Bolivia.” Universidad Mayo de San Andrés.
- Hutchinson, G. E. 1957. “A treatise on Limnology.” *Fonds Documentaire IRD*, 1: 10.
- Iltis, A. 1988a. “Datos sobre las lagunas de altura de la region de La Paz (Bolivia)”, 14. La Paz - Bolivia: Convenio UMSA - ORSTOM.
- Jacobsen, D, y O Dangles. 2012. “Environmental harshness and global richness patterns in glacier-fed streams.” *Global Ecology and Biogeography* 21: 647–56. doi: 0.1111/j.1466-8238.2011.00699.x.
- Jacobsen, D., O Dangles, P. Andino, R. Espinosa, L. Hamerlík, y E. Cadier. 2009. “Longitudinal zonation of macroinvertebrates in an Ecuadorian glacier-fed stream:

- do tropical glacial systems fit the temperate model?” *Freshwater Biology* 10: 1365–2427.
- Jónasson, M. 2004. “Benthic Invertebrates.” En *The Lakes Handbook – Limnology and Limnetic Ecology*, P.E. O’Sullivan y C.S Reynolds, 1:351–426.
 - Lafont, M., y J. Juget. 1991. “Los Oligoquetos bénticos.” En *El lago Titicaca, síntesis del conocimiento limnológico actual*, Claude Dejoux y A. Iltis (ed.), OSRTOM - HISBOL, 311–15.
 - Lauzanne, J., y J. Franc. 1979. “Las Truchas de los lagos del valle de Hichu Kkota.” *Fonds Documentaire IRD*, 27–37.
 - Legendre, P., y L. Legendre. 1998. *Numerical Ecology*. 2nd English. Elsevier.
 - Lopretto, E., y G. Tell. 1995. “Ecosistemas de Aguas continentales – Metodologías para su estudio”, 1388.
 - Maiolini, B., V. Lencioni, A. Boggero, B. Thaler, A. F. Lotter, y B. Rossaro. 2006. “Zoobenthic communities of inlets and outlets of high altitude Alpine lakes.” *Hydrobiologia* 562: 13. doi:10.1007/s10750-005-1812-y.
 - Marchese, M. R. 2009. “Cap. 17 Annelida Oligochaeta.” En *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: sistemática y biología*, E. Domínguez y H. Fernández (ed.), 551–65. Tucumán - Argentina.
 - Mark, B. G., y G.O Seltzer. 2003. “Tropical glacier meltwater contribution to stream discharge: a case study in the Cordillera Blanca, Peru.” *Glaciology*, 49: 11.
 - Meneses, R. 2012. “Estado de arte de los bofedales en la cordillera Real en el área que abarca la cuenca de Khara Kota hasta la cuenca de Choqueyapu.” *Banco Internacional de Desarrollo (BID), Herbario Nacional de Bolivia (LPB) y Unidad de Limnología (IE). La Paz – Bolivia*, 19.
 - Mercado, I., y J. Millares. 1991. “Mamíferos.” En *Historia natural de un valle de los Andes*, E. Forno y M. Baudoin, 293–343. La Paz - Bolivia: Instituto de Ecología – UMSA.
 - Merritt, R., y K. Cummins. 1996. *An introduction to the aquatic insects of North America*. 3a ed. Iowa – Estados Unidos: Kendall/Hunt, 1050 p.
 - MMAyA, Informe de recursos hídricos. 2013. “Planes maestros metropolitanos de La Paz - El Alto.” MMAyA.
 - Molina, C. 2004. “Estudio de los rasgos biológicos y ecológicos en poblaciones de los ordenes: Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (Clase Insecta), en un río al pie del glaciar Mururata.” La Paz - Bolivia: Mayor de San Andrés.
 - Navarro, G., y M. Maldonado. 2011. “Propuesta metodológica para la clasificación de los humedales altoandinos de Bolivia.” *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental* 29: 1–22.
 - Ostria, C. 1987. “Phytoécologie et Paléoécologie de la vallée alto-andine de Hichu Kkota (Cordillera Oriental, Bolivie).” En *Datos sobre las lagunas de altura de la región de La Paz (Bolivia)*, 180. La Paz - Bolivia: ORSTOM en Bolivia.
 - Palmer, C., y J. O’Keeffe. 1993. “Macroinvertebrate functional feeding groups in

- the middle and lower reaches of the Buffalo River, eastern Cape, South Africa. I. Dietary variability.” *Freshwater Biology* 29: 13.
- PAST, *PAleontological STatistics* (versión 2.17). s/f.
 - Péter, M. J. 2004. “Benthic Invertebrates.” En *The lakes Handbook - Limnology and Limnetic Ecology*, P. E. Sullivan y C.S Reynolds, 1:351–426.
 - Prat, N., B. Ríos, R. Acosta, y M. Rieradevall. 2009. “Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de las aguas.” En *Macroinvertebrados Bentónicos Sudamericanos.*, 1a ed., 656. Argentina.
 - Quintanilla, J., A. Coudrain-Ribstein, J. Martínez, y V. Camacho. 1995. “Hidroquímica de las aguas del altiplano de Bolivia.” *Inst. fr. Etudes andines* 3 (24): 461–71.
 - Ramírez, E. 2009. *Cambio Climático, Disponibilidad de Recursos Hídricos y Medidas de Adaptación en Bolivia*. 3a ed. Vol. 10. La Paz - Bolivia: Instituto de Hidráulica e Hidrología – (IHH-UMSA).
 - RAMSAR. 1971. “Convención relativa a los Humedales de importancia internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas.”
 - Redfield, A. C. 1934. “On the proportions of organic derivations in sea water and their relation to the composition of plankton”, 177–92.
 - Reynolds, S. 2004. “Lakes, Limnology and Limnetic Ecology: Towards a New Synthesis.” En *The Lakes Handbook – Limnology and Limnetic Ecology*, P.E. O’Sullivan y C.S Reynolds, 1:11–17.
 - Rivera, J., G. Pinilla, y D. L. Camacho. 2013. “Grupos tróficos de macroinvertebrados acuáticos en un humedal urbano andino de Colombia.” *Acta Biológica Colombiana, Universidad Nacional de Colombia* 18 (2): 15.
 - Rivera, M. 1991. “Aves.” En *Historia natural de un valle de los Andes*, E. Forno y M. Baudoin, 345–420. La Paz - Bolivia: Instituto de Ecología – UMSA.
 - Rodrigo, L. A., F. Ortuño, y C. Vargas. 1979. “Características geológicas, morfológicas y sedimentológicas de los lagos Khara Kkota y Khotia.” *Instituto de Geodinámica y Limnología Convenio UMSA - ORSTOM*, 15.
 - Rodríguez, J. A. 2011. “Descriptores funcionales en un sistema fluvial de montaña. Santa Marta, Colombia.” Bogotá - Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias.
 - Rodríguez, M., M. Granero, M.A. Bustamante, M. Avena, E. Bonfanti, F. Busso, y A. Girbal. 2002. “Análisis de la composición iónica de las aguas del embalse San Roque, Córdoba.” *Instituto Nacional del Agua, Córdoba - Argentina*.
 - Saavedra, B. E. 1988. “Estudio palinológico de una turbera del Valle de Hichu Kkota. Interpretación de las variaciones climáticas en el holoceno superior.” La Paz - Bolivia: Mayor de San Andrés.
 - SAGA, *System for Automates Geoscientific Analyses* (versión 2.0.8.). s/f.
 - Seltzer, G.O., D. T. Rodbell, y M. Abbott. 1995. “Andean glacial lakes and climate variability since the last glacial maximum.” *Inst. fr. Etudes andines* 24 (3): 539–49.

- SENAMI. 2013. “Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - Bolivia.” La Paz - Bolivia.
- Servant, S. 1979. “Paleoclimatología del lago Khara Khota. Cordillera Oriental de los Andes.” *Inf. general Hichu Khota, I.G.L. - UMSA*.
- Silva, N. 2006. “Características físicas y químicas de los sedimentos superficiales de canales y fiordos australes.” En *Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a cabo de Hornos*, N. Silva y S. Palma (ed.), Comité Oceanográfico Nacional - Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 69–75. Valparaíso - Chile.
- Soruco, A. C., y B. Francou. 2009. “Glacier decline between 1963 and 2006 in the Cordillera Real, Bolivia.” *Geophysical Research Letters* 36: 1–6.
- Stumm, W. 2004. “Chemical Processes Regulating the Composition of Lake Waters.” En *The Lakes Handbook – Limnology and Limnetic Ecology*, P.E. O’Sullivan y C.S Reynolds, 1:89–116.
- Sullivan, P. E., y C. S. Reynolds. 2004. *The lakes Handbook - Limnology and Limnetic Ecology*. Vol. 1. Blackwell.
- Triau, E. P., y B. Francou. 1992. “Régimen hidrológico de un glaciar tropical en Bolivia: el glaciar Zongo del Huayna Potosi.” *ORSTOM*.
- Uwadiae, R. E. 2010. “Macroinvertebrates functional feeding groups as indices of biological assessment in a tropical aquatic ecosystem: implications for ecosystem functions.” *New York Science Journal* 3 (8): 10.
- Van de Meutter, F., R. Stoks, y L. De Meester. 2005. “The effect of turbidity state and microhabitat on macroinvertebrate assemblages: a pilot study of six shallow lakes.” *Hydrobiologia* 542: 12. doi:10.1007/s10750-005-4941-4.
- Vergara, O. 2009. “Entomofauna lítica bioindicadora de la calidad del agua.” *Universidad Nacional de Colombia*, 88.
- Villafañe, V.E, y W. E. Helbling. 2003. “Cap. 7.” En *La radiación ultravioleta en Bolivia*, Francesco Zaratti y Ricardo Forno, OPS/OMS, LFA – UMSA, 85–99. La Paz - Bolivia.
- Villafañe, V.E, W. E. Helbling, y X. Lazzaro. 2013. “Efectos de la radiación ultravioleta en el plancton del Lago Titicaca: Una base de datos necesaria para inferir el impacto del cambio global en lagos de altura.”
- Wasson, J. G, y R. Marín. 1988. “Tipología y potencialidades biológicas de los ríos de altura en la región de La Paz (Bolivia): Metodologías y primeros resultados.” *Memorias de la Sociedad de Ciencias Naturales de La Salle* 48: 97–122.
- Wurtsbaugh, W.A., W.F. Vincent, C.L. Vincent, H.J. Carney, P.J. Richerson, X. Lazzaro, y R. Alfaro. 1991. “Nutrientes y su limitación del crecimiento del fitoplancton.” En *El lago Titicaca, síntesis del conocimiento limnológico actual*, Claude Dejoux y André Iltis (ed.). Vol. 7.
- Zaratti, F., y R. Forno (ed.). 2003. *La radiación ultravioleta en Bolivia*. 1ra ed. Bolivia.

Anexos

Anexo 1. Lista de organismos descritos en el trabajo de Iltis 1988 en los cuatro lagos del Valle de Hichu Khota

Ítems	Khara Khota	Khotia	Jankho Khota	Wila Lloreta
Macrófitas	Isoetes sp.	Isoetes sp.	Isoetes lacustris?	Vegetación desconocida
	Nitella clavata	Nitella clavata	Sciaromium sp.	
	Elodea Potamogeton	Lilaeopsis sp.	Elodea Potamogeton	
	Myriophyllum elatinoides	Myriophyllum elatinoides		
		Ranunculus sp.		
		Callitriche sp.		
		Limosella sp.		
Elodea Potamogeton				
Zooplankton	Copépodos	Copépodos	Copépodos	Copépodos
	Rotíferos	Rotíferos	Rotíferos	Cladóceros
			Cladóceros	
Fitoplankton	Chlorophyceas	Chlorophyceas	Chlorophyceas	Chlorophyceas
	Dinophycea	Dinophycea	Dinophycea	Cyanophyceas
			Cyanophyceas	
Chrysophyceas				
Peces	Orestias sp.	Orestias sp.	Orestias sp.	Peces
	Salmo gardneri	Salmo gardneri	Salmo gardneri	desconocidos

Anexo 2. Concentraciones de elementos químicos analizados en el sedimento de la entrada (E) y salida (S) de cada lago (WL: Wila Lloreta, JK: Jankho Kkota y KH: Khotia)

SEDIMENTOS									
LAGO	N Total (% peso)	P disponible (mg P/Kg)	Na total (mg/Kg)	K total (mg/Kg)	Ca total (mg/Kg)	As total (mg/Kg)	Pb total (mg/Kg)	MO (%/Kg)	Peso Sed (g/m²/mes)
WL-E	0,14	51	443	5930	7877	39	18	3,097	0,136
WL-S	0,14	51	443	5930	7877	39	18	5,192	0,153
JK-E	0,021	5,7	221	4798	3882	39	18	0,718	0,817
JK-S	0,031	22	305	8562	4529	69	15	0,432	0,426
KH-E	0,087	22	334	7654	5103	64	18	4,066	1,965
KH-S	0,12	26	553	12945	6729	71	28	7,150	0,575

Anexo 3. Concentraciones de componentes químicos de las aguas de los tres lagos de Hichu Khota

AGUA							
	N Total (mg/l)	P total (mgP-PO4/l)	Turbidez (UTN)	Arsénico (mg/l)	Cadmio (mg/l)	Mercurio (mg/l)	Zinc (mg/l)
Método	EPA 351.1	EPA 365.2	EPA 180.1	EPA 206.2	EPA 213.2	EPA 245.2	EPA 289.2
Limite detección	0,3	0,01	0,1	0,001	0,0003	0,0002	0,038
WL	0,34	0,076	35	<0,0010	<0,00030	<0,00020	0,06
JK	0,34	0,01	0,62	0,0021	<0,00030	<0,00020	0,067
KH	0,34	0,035	19	0,0024	<0,00030	<0,00020	0,057

Anexo 4. Densidad promedio de taxones de macroinvertebrados, presentes en las entradas y salidas de los tres lagos de Hichu Khota

Orden	Familia	Género	WL-E	WL-S	JK-E	JK-S	KH-E	KH-S
Oligochaeta	Naididae	<i>Homochaeta</i>	396,67	56,67	65,83	125	95	165
Oligochaeta	Naididae	<i>Pristina</i>	701,67	1,67	16,67	99,17	0	0
Oligochaeta	Naididae	<i>Dero</i>	165,83	0,83	0	5,833	233,33	95
Ostracoda	Limnocytheridae	<i>Limnocythere</i>	345	247,5	26,67	132,5	12,5	8,33
Ostracoda	Darwinulidae	<i>Darwinula</i>	15	5	0	0	0	0
Ostracoda	Ilyocypridae	<i>Ilyocypris</i>	0	0	0	0	4,167	0
Nematoda	Dorylaimidae	<i>Dorylaimus</i>	19,17	4,17	0,83	13,33	18,33	26,67
Nematoda	Mononchidae	<i>Mononchus</i>	19,17	12,5	0,83	0	0	0
Nematoda	Cryptonchidae	<i>Pseudoaulolaimus</i>	61,67	46,67	1,67	0	1,67	0
Nematoda	Mermithidae	<i>Paramermis</i>	0,83	54,17	0	2,5	0	11,67
Nematoda	Monhysteridae	<i>Monhystrella</i>	0	0	199,17	0	0	0
Nematoda	Cephalobidae	<i>Eucephalobus</i>	0	0	0	0	0,83	0
Nematoda	Rhabditidae	<i>Rhabditis</i>	0	0	0	0	2,5	0
Gordioidea	Gordiidae	<i>Acutogordius</i>	0	23,33	0	0	5	6,67
Diptera	Orthocladinae	<i>Cricotopus sp.1</i>	13,33	5	23,33	14,17	27,5	15
Diptera	Orthocladinae	<i>Cricotopus sp.2</i>	0	0	12,5	0	2,5	0
Diptera	Orthocladinae	<i>Cricotopus sp.3</i>	60	26,67	11,67	4,167	17,5	11,67
Diptera	Orthocladinae	<i>Cricotopus sp.4</i>	4,17	3,33	2,5	22,5	10,83	0
Diptera	Orthocladinae	<i>Cricotopus sp.5</i>	0	0	0	0	31,67	8,33
Diptera	Orthocladinae	<i>Parametriocnemus</i>	0	0	0	80,83	21,67	3,33
Diptera	Orthocladinae	<i>Corynoneura</i>	0	0	0	0	0,83	2,5
Diptera	Tanypodinae	<i>Alotanypus</i>	2,5	0,83	1,67	0	1,67	0
Diptera	Chironominae	<i>Polypedilum</i>	0	0	1,67	0	413,33	223,3
Diptera	Chironominae	<i>Rheotanytarsus</i>	0	0	0	0	0,83	0

Diptera	Chironominae	<i>Tanytarsus</i>	0	0	0	0	8,33	3,33
Diptera	Podonominae	<i>Podonomus</i>	0	0	0	0	0,83	0
Diptera	Empididae	<i>Chelifera</i>	0	0	0	0	0,83	0
Diptera	Ceratopogonidae	<i>Culicoides</i>	0	0,83	0	0	0	0
Hemiptera	Corixidae	<i>Ectemnostega</i>	0,83	3,33	0	0	0,83	0
Hirudinea	Glossiphonidae	<i>Helobdella</i>	15,83	2,5	10	30	11,67	2,5
Hirudinea	Glossiphonidae	<i>Helobdella stagnalis</i>	0	0	1,67	0	0	0
Molusco	Panorbiidae	<i>Antillorbis</i>	0	0	0	2,5	0	0,83
Molusco	Spheridae	<i>Sphaerium</i>	0	0	0	3,33	6,67	4,17
Molusco	Hydrobiidae	<i>Helobia</i>	0,83	0	0	0	0	0
Tardigrado	Milnesiidae	<i>Milnesium tardigradum</i>	16,67	2,5	0	13,33	2,5	0
Tardigrado	Macrobiotidae	<i>Dactylobiotus parthenogeneticus</i>	0	0	15	0	0	0
Coleoptera	Elmidae	<i>Austrelmis</i>	1,67	0	0	0	1,67	0
Acari	Limnesidae	<i>Limnesia</i>	0	0,833	10,83	13,33	5,83	0,83
Acari	Oribatidae	<i>Hydrozetes</i>	0	0	1,67	1,67	1,67	1,67
Acari	Oxidae	<i>Oxus</i>	0	0	0	1,67	0	0
Crustacea	Hyalloleidae	<i>Hyalella Curvispina</i>	0	0	18,33	101,6 7	7,5	6,67
Trichoptera	Limnephilidae	<i>Anomalocosmoec us</i>	0	0	0,83	2,5	0	0

Anexo 5. Correlación de Spearman con variables: (a) parametros fisicos, (b) medidas de los sedimentos y (c) en la columna de agua, en rojo las variables correlacionadas

a		% IG	Superficie	Volumen	Profundidad
Superficie	Coef. de correlación	-,717			
	Significancia	,109			
Volumen	Coef. de correlación	-,600	,956**		
	Significancia	,208	,003		
Profundidad	Coef. de correlación	-,600	,478	,543	
	Significancia	,208	,338	,266	
Peso Sed.	Coef. de correlación	-,314	,837*	,771	,200
	Significancia	,544	,038	,072	,704

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral)

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

b		Nitrógeno Total	Fosforo disponible	Sodio total	Potasio total	Calcio total	Arsénico total	Plomo total	Materia Orgánica	Peso Sed.
Fosforo disponible	Coef. de correlación	,985**								
	Significancia	,000								
Sodio total	Coef. de correlación	,824	,806							
	Significancia	,044	,053							
Potasio total	Coef. de correlación	,059	,090	,471						
	Significancia	,912	,866	,346						
Calcio total	Coef. de correlación	1,000**	,985**	,824*	,059					
	Significancia	,000	,000	,044	,912					
Arsénico total	Coef. de correlación	-,216	-,188	,277	,955**	-,216				
	Significancia	,682	,722	,595	,003	,682				
Plomo total	Coef. de correlación	,343	,261	,686	,171	,343	,180			
	Significancia	,506	,617	,132	,745	,506	,733			
Materia Orgánica	Coef. de correlación	,609	,530	,841*	,319	,609	,213	,845		
	Significancia	,200	,280	,036	,538	,200	,686	,034		
Peso Sed.	Coef. de correlación	-,696	-,794	-,406	,116	-,696	,334	,169	,029	
	Significancia	,125	,059	,425	,827	,125	,518	,749	,957	
% IG	Coef. de correlación	-,116	-,088	-,522	-,928**	-,116	-,880	-,338	-,543	-,314
	Significancia	,827	,868	,288	,008	,827	,021	,512	,266	,544

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral)

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

C		Temp	pH	Conductividad	DO%	Luz PAR
pH	Coef. de correlación Significancia	-,423 ,404				
Conductividad	Coef. de correlación Significancia	,897* ,015	-,564 ,244			
DO%	Coef. de correlación Significancia	,060 ,911	,445 ,377	-,209 ,691		
Luz PAR	Coef. de correlación Significancia	-,928** ,008	,555 ,252	-,986** ,000	,206 ,695	
Turbidez	Coef. de correlación Significancia	-,928** ,008	,555 ,252	-,986** ,000	,206 ,695	1,000**

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral)

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Anexo 6. Correlación de las variables en los ejes 1 y 2 del Análisis de Correspondencia Canónica.

Nº	Variable	Eje 1	Eje 2
1	NT	-0.0745	-0.8789
2	KT	0.7723	-0.2490
3	Materia Orgánica	0.4339	-0.6195
4	DO. Sat	-0.5080	0.2786
5	Luz PAR	-0.9759	-0.0424
6	Turbidez	-0.9198	0.0695
7	IG	-0.7070	0.6125
8	Volumen Lit.	0.9097	0.4099
9	Prof. Lit	0.8956	-0.2008
10	Indice Sed.	0.7226	0.2762
11	Abundancia	-0.2147	-0.4418
12	Riqueza	0.7654	-0.3048
13	Colect - Recolect	0.7784	-0.1291
14	Detrit.	-0.7859	0.0629
15	Raspad.	0.8989	0.0090
16	Fragment.	-0.1579	0.5529
17	Conc.tot. algas	-0.4563	0.6710

Anexo 7. Datos numericos de las variables analizadas en la columna de agua

	Profundidad	Temp °C	pH	SpCond μS/cm	DO% Sat	DO mg/l	PAR μE/m2/s	TurbSC NTU
WE	2,7	4,6	8,5	2,0	58,7	7,6	49,7	88,1
WS	2,3	4,9	8,5	2,0	58,7	7,6	87,2	91,9
JE	1,9	7,5	7,3	16,7	59,5	7,2	84,8	77,3
JS	1,9	7,9	7,8	17,7	59,0	7,0	38,3	82,1
KE	8,1	9,9	8,0	46,0	62,2	7,1	4,2	56,9
KS	9,3	9,2	8,1	52,0	59,7	6,9	12,7	4,8

	Chlorophytas	Cyanophytas	Bacillariophytas	Cryptophytas	Sustancias amarillas	total conc.μg/l
WE	1,4	1,1	1,0	0,0	0,3	3,5
WS	0,9	0,6	0,0	0,0	0,3	1,6
JE	1,9	0,6	0,0	0,0	0,6	2,5
JS	2,8	0,5	0,0	0,0	0,5	3,4
KE	1,3	2,2	4,8	0,9	0,4	9,1
KS	0,8	0,0	0,2	0,3	0,2	1,4