



## UvA-DARE (Digital Academic Repository)

### Life at the edge: Benthic invertebrates in high altitude Andean streams

Loayza-Muro, R.A.

**Publication date**  
2013

[Link to publication](#)

#### **Citation for published version (APA):**

Loayza-Muro, R. A. (2013). *Life at the edge: Benthic invertebrates in high altitude Andean streams*.

#### **General rights**

It is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

#### **Disclaimer/Complaints regulations**

If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please Ask the Library: <https://uba.uva.nl/en/contact>, or a letter to: Library of the University of Amsterdam, Secretariat, Singel 425, 1012 WP Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.

## Resumen

Las regiones montañosas cubren alrededor del 27% de la superficie de la Tierra y abarcan valiosas reservas glaciares y de agua dulce que tienen una importante función como proveedoras de servicios ecosistémicos para las poblaciones humanas. Estas regiones son únicas por la heterogeneidad de sus ecosistemas y la diversidad de sus climas, los cuales emergen del pronunciado gradiente altitudinal. Al acercarse a las cumbres, estos factores crean condiciones de supervivencia excepcionalmente difíciles, las cuales pueden acentuarse por alteraciones de origen humano, dando lugar a los llamados ‘límites de la vida’.

El propósito de esta tesis fue identificar potenciales moduladores de la diversidad de las comunidades de invertebrados bentónicos en ríos altoandinos, poco estudiadas hasta el momento, y elucidar los mecanismos que les permiten enfrentar estos ‘límites de la vida’. Para ello, se establecieron los siguientes objetivos:

- Describir por primera vez las comunidades de invertebrados bentónicos en ríos altoandinos y relacionar su composición con un gradiente de factores abióticos.
- Elucidar la función de la melanina como una estrategia de protección contra la nociva exposición a la radiación ultravioleta B (UV-B) y metales.
- Estudiar la diversidad genética de los invertebrados bentónicos que muestran estrategias de defensa específicas bajo condiciones ambientales extremas.

La altitud crea condiciones que desafían la vida y limitan la diversidad de las comunidades bentónicas. Debido a que la contaminación ambiental puede añadir aun mayor estrés para la vida a gran altitud, en el capítulo 2 se exploró el efecto de los metales en la composición de las comunidades de macroinvertebrados en arroyos altoandinos entre 3500 y 4500 m sobre el nivel del mar (s.n.m.) durante las temporadas húmeda y seca. En los sitios contaminados, que mostraron una elevada conductividad y bajo pH, la concentración de metales fue entre 8 y 3500 veces más que en los de referencia. La unidad de criterio acumulado (CCU) permitió cuantificar la potencial toxicidad de la mezcla de metales en los lugares contaminados. El Análisis de Componentes Principales de las variables físicas y químicas mostró que los sitios de referencia estuvieron determinados por la transparencia, caudal y velocidad de corriente, mientras que los contaminados lo estuvieron por los metales y la conductividad. El Análisis de Correspondencia Canónica indicó una fuerte influencia de metales altamente correlacionados en la estructura de las comunidades de invertebrados, dominadas por dípteros, coleópteros, colémbolos y ácaros en los sitios contaminados. En los sitios de referencia, los crustáceos, efemerópteros, plecópteros y tricópteros fueron los grupos más representativos. Se concluyó que la severa contaminación por metales produjo cambios en la composición de la comunidad de macroinvertebrados en arroyos altoandinos, con un reemplazo de taxa sensibles por otros más tolerantes. Sin

embargo, aun bajo las condiciones más severas, se encontró una comunidad relativamente diversa.

En el capítulo 3 se evaluó el efecto diferencial de la contaminación por metales y la altitud en la composición de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos. Los sitios contaminados estuvieron caracterizados por altos niveles de metales y un bajo pH, y los sitios más elevados por una intensa radiación UV-B y bajas concentraciones de materia orgánica disuelta. El Análisis de Correspondencia Canónica indicó que los patrones de la composición de la macrofauna fueron mejor definidos por los metales, seguidos por la altitud, siendo los dípteros y colémbolos predominantes bajo las condiciones más severas de altitud y contaminación. Se concluyó que en arroyos altoandinos, la lixiviación natural de metales de roca y la altitud son importantes moduladores de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos, reduciendo su número y cambiando su composición hacia grupos especializados.

Las elevadas concentraciones de metales y radiación UV-B crean condiciones altamente selectivas para la vida en arroyos altoandinos, permitiendo la presencia de solo unos cuantos grupos especializados, incluyendo los quironómidos. Por ello, el propósito del capítulo 4 fue determinar los mecanismos que sustentan la persistencia de los quironómidos bajo estas condiciones de estrés múltiple, teniendo como hipótesis que la melanina puede contrarrestar los efectos adversos tanto de la radiación solar como de los metales. Se determinó la melanina en quironómidos de arroyos de referencia y contaminados a 3000 y 4000 m de altitud, siendo a 4000 m el doble que a 3000 m, y el doble en arroyos contaminados que en los de referencia a ambas altitudes. Las observaciones de campo fueron verificadas experimentalmente evaluando los efectos combinados del Cu y UV-B en la supervivencia y concentración de melanina en larvas de la especie modelo *Chironomus riparius* (Chironomidae, Diptera). En el laboratorio, la mayor concentración de melanina se encontró en larvas que sobrevivieron a concentraciones tóxicas de Cu, pero no en aquellas expuestas a la más alta radiación UV-B. La pre-exposición a UV-B redujo la sensibilidad de las larvas a UV-B y a Cu+UV-B. Se concluyó que en el campo, la melanina puede proteger a los quironómidos contra elevadas concentraciones de metales y radiación solar, permitiéndoles persistir bajo las condiciones más severas en arroyos a gran altitud.

Los pigmentos fotoprotectores pueden reducir el daño causado por una intensa radiación UV-B en macroinvertebrados bentónicos de arroyos altoandinos ubicados por encima de los 3500 m. Por ello, el objetivo del capítulo 5 fue determinar si la melanización en macroinvertebrados de estos arroyos es una respuesta adaptativa a la elevada radiación UV-B. Para explorar si las diferencias en la concentración de melanina entre taxa, relacionadas con la altitud, se debieron a variaciones en la composición de las comunidades o a la diferenciación de poblaciones, las especies de efemerópteros fueron identificadas genéticamente. Se determinó la radiación UV-B desde los 650 m hasta los 4000 m y se

comparó la concentración de melanina de distintos órdenes de macroinvertebrados bentónicos en estas altitudes. Cinco géneros pertenecientes a efímeras de la familia Baetidae fueron identificados genéticamente a nivel de especie. Se llevó a cabo el secuenciamiento de ADN en las patas de larvas individuales para agrupar individuos genéticamente similares antes del análisis de pigmentos en los correspondientes cuerpos. La radiación UV-B a 4000 m fue el doble que a 3200 m, cuatro veces mayor que a 1900 m, y cinco veces más que a 650 m. La concentración de melanina en las familias pertenecientes a Ephemeroptera, Trichoptera, Diptera y Turbellaria fue dos veces mayor a 4000 m que a 3200 m, pero no fue distinta entre taxa o entre temporadas. Se identificaron cinco géneros en la familia Baetidae: *Americabaetis*, *Dactylobaetis*, *Tupiara*, *Baetodes* y *Thraulodes*. Hubieron diferencias genéticas entre *Americabaetis* sp. a 4000 m en la Cordillera Blanca y a 3200 m en el valle del Río Rímac, y entre *Tupiara* a 650 y 1900 m en éste último. En *Americabaetis* la melanina aumentó cinco veces de 1900 a 4000 m, mientras que en *Dactylobaetis* y *Tupiara* fue el doble a 1900 m que a 650 m. En *Baetodes* la melanina fue el doble a 4000 m que a 650 y 1900 m, mientras que en *Thraulodes* fue casi el triple a 4000 m que a 3200 m. En *Tupiara*, las diferencias en los niveles de melanina estuvieron probablemente asociados a especies con diferente distribución vertical, mientras que en *Dactylobaetis* estas diferencias fueron interpretadas como plasticidad fenotípica. Estos resultados indican que las especies de efímeras pertenecientes a la misma familia tienen concentraciones tanto constitutivas como regulables de melanina, permitiéndoles hacer frente a ambientes con niveles de UV-B altamente selectivos. La regulación de melanina ha sido observada bajo condiciones moderadas de UV-B, mientras que su elevada concentración constitutiva sea probablemente un atributo de los invertebrados de los trópicos a gran altitud.

Como se ha descrito arriba, los quironómidos se encuentran entre los escasos grupos dominantes de insectos bajo las condiciones ambientales más severas en arroyos altoandinos contaminados. Sin embargo, persiste la pregunta si la dominancia de los quironómidos se debe a la capacidad adaptativa de unas pocas especies (diferenciación de poblaciones) o a una diversidad de especies con diferentes capacidades para hacer frente a ambientes extremos (composición de especies). Para responder esta pregunta, en el capítulo 6 la composición genética de las comunidades de quironómidos de arroyos de referencia y contaminados por metales a 3000 y 4000 m fue determinada mediante el secuenciamiento del gen de la citocromo oxidasa I mitocondrial (COI) y la construcción de un árbol filogenético. El sitio de referencia a 3000 m estuvo habitado por seis especies filogenéticas completamente diferentes de las tres presentes a 4000 m, indicando una fuerte selección de las especies por la altitud. En los lugares contaminados solo se encontró una especie tolerante a los metales. Esta especie, única para los sitios contaminados, estuvo presente a 3000 y 4000 m, indicando que la extrema presión de selección de los metales predominó sobre la altitud. Se concluyó que la altitud crea límites estrictos para la distribución de

quironómidos y una fuerte zonificación vertical en los Andes. Sin embargo, la selección en aguas ácidas contaminadas con metales es mayor, y conlleva a la predominancia de un único taxón tolerante a los metales.

Los arroyos altoandinos albergan una diversa comunidad bentónica representada por los mayores grupos de invertebrados. Se ha proporcionado evidencia que muchas especies de insectos no han sido aun descritas taxonómicamente, y que existen genotipos únicos, probablemente como resultado de la historia geológica de los Andes y de la fuerte selección para tolerar las grandes altitudes. Se demostró que la pigmentación cuticular de las larvas es una protección inducible contra una elevada radiación UV, y que la melanina es efectiva para mitigar el estrés producido por los metales. Así, un único atributo permitiría a estas especies hacer frente a la exposición combinada a la radiación UV y metales lixiviados de roca. La única especie entre los quironómidos tolerantes al estrés, que sobrevivió las condiciones más severas de radiación y contaminación, fue una no identificada, que se caracterizó como un nuevo haplotipo. Además de la fuerte zonificación vertical de la fauna de insectos en los Andes, se identificaron múltiples factores de estrés, como los regímenes de oxígeno propio de las montañas, la elevada radiación UV-B y la lixiviación de metales como moduladores de la composición de las comunidades bentónicas en arroyos altoandinos. Finalmente, existe una fuerte selección en todos los niveles altitudinales en los Andes, la cual es más evidente en las partes más altas y más contaminadas, esto es, en los ‘límites de la vida’.