



SECADO DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS PARA CÁLCULO DE BIOMASA

Jorge Puchi¹, Daniela Barrientos², Pablo Fierro^{1,3*} 

¹ Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas, Universidad Austral de Chile, Independencia 631, Valdivia, Chile

² Facultad de Ciencias Ambientales y Centro EULA, Universidad de Concepción, Concepción, Chile

³ Núcleo Milenio de Salmones Invasores (INVASAL), Concepción, Chile

* Autor para correspondencia: pablo.fierro@uach.cl

Fecha de recepción: 27 de junio de 2024

Fecha de aceptación: 22 de noviembre de 2024

RESUMEN

La estimación de la biomasa en macroinvertebrados acuáticos representa una herramienta que sirve para comprender parte del funcionamiento de los ecosistemas y la dinámica de redes tróficas acuáticas. En este trabajo se evaluaron dos métodos para obtener la biomasa de macroinvertebrados bajo diferentes tipos de preservación (preservadas en etanol o congeladas), encontrando que las muestras congeladas demoran más tiempo en obtener un peso constante. Se utilizaron organismos que fueron capturados frescos y estos fueron congelados (-20°C, 24 hr) antes de pesarlos. Además, se usaron organismos que se mantenían preservados en etanol 70% por un periodo mayor a seis meses. Todos los organismos se secaron en un horno a 60°C y cada 12 hr se pesaron en una balanza digital. Los especímenes congelados tuvieron una gran pérdida de peso dentro de las primeras 36 hr. Luego a las 72 horas alcanzaron un peso constante. La mayoría de los organismos preservados en etanol al 70% tuvieron una pérdida de peso durante de las primeras 24 hr. y pesos constantes se reportaron a partir de esta misma hora. Este estudio confirma que la estimación del peso seco de los macroinvertebrados acuáticos es afectada por el etanol, alcanzando pesos constantes en menor tiempo para los individuos congelados.

Palabras clave: Chile, peso seco, preservación de organismos, invertebrados acuáticos, ríos.

ABSTRACT

Drying of aquatic macroinvertebrates for biomass calculations. The estimation of biomass in aquatic macroinvertebrates represents a tool for understanding part of the functioning of ecosystems and the dynamics of aquatic food webs. In this work,

two methods were evaluated to obtain macroinvertebrate biomass under different types of preservation (preserved in ethanol or frozen), finding that frozen samples take longer to obtain a constant weight. Organisms that were sampled fresh, were frozen (-20°C, 24 hr) before weighing were used. In addition, organisms that were kept preserved in 70% ethanol for a period longer than six months, were used. All organisms were dried in an oven at 60°C and every 12 hr were weighed on a digital balance. Frozen specimens had a large weight loss within the first 36 hr. Then at 72 hr they reached a constant weight. Most of the organisms preserved in 70% ethanol had a weight loss during the first 24 hr. and constant weights were reported from this same time. This study confirms that dry weight estimation of aquatic macroinvertebrates is affected by ethanol, reaching constant weights in a shorter time for frozen individuals.

Keywords: Chile, dry weight, organism preservation, aquatic invertebrates, streams.

INTRODUCCIÓN

Los macroinvertebrados bentónicos acuáticos son organismos que habitan en casi la totalidad de los cuerpos acuáticos. Muchas especies pasan gran parte de su ciclo de vida en el agua, y por la gran diversidad que presentan, es que los macroinvertebrados son una importante fuente de energía para eslabones superiores como peces, aves o pequeños mamíferos (Wallace y Webster, 1996). Ya que los macroinvertebrados varían naturalmente a través del año, es necesario entender las historias de vida de las especies que se relacionan su abundancia y biomasa (Benke, 1996, Fierro et al., 2021). De esta forma, la



estimación de la biomasa en macroinvertebrados se vuelve crucial para entender la ecología de ecosistemas de agua dulce.

La evaluación de la biomasa de macroinvertebrados puede proveer información útil para calcular la producción secundaria, tasas de colonización, o la influencia de los macroinvertebrados en la descomposición de hojarasca (Cressa, 1999). Más recientemente, se ha utilizado para monitorear los efectos de la variabilidad climática en ríos, como las sequías atípicas, reportándose que en ríos intermitentes se encuentra una menor diversidad y biomasa de macroinvertebrados comparado a ríos perennes (Machuca-Sepúlveda et al., 2024). No obstante, debido al esfuerzo que se requiere para obtener los resultados de biomasa, los estudios son escasos. Algunos autores han propuesto fórmulas para estimar la biomasa usando regresiones que relacionan la relación entre la longitud total corporal y la biomasa (e.g. Cummins et al., 2022). Sin embargo, en países donde no hay registros completos de la diversidad acuática, en muchos taxones estas ecuaciones son desconocidas. Dado que constantemente se están descubriendo nuevas especies en diferentes regiones, se vuelve necesario implementar métodos para obtener estas ecuaciones que relacione la longitud con el peso de los organismos. Estos procedimientos pueden ser efectivos para programas de monitoreo, ya que, obteniendo la biomasa de organismos, es posible obtener la biomasa total de los ensambles (Sabo et al., 2002) que es importante, porque así se puede calcular la producción secundaria en ríos, o caracterizar las condiciones ambientales de ecosistemas dulceacuáticos.

Generalmente, los macroinvertebrados acuáticos son preservados con etanol o formalina, antes de su identificación en laboratorio y su posterior estimación de biomasa. Si bien hay autores que mencionan que la pérdida de peso por preservantes es mínima al calcular la biomasa (Stoffels et al., 2003), existen otros estudios que han demostrado cómo estos preservantes afectan la estimación de la biomasa, subestimando el peso verdadero de los individuos (von Schiller y Solimini, 2005, Mährlein et al., 2016, Dekanová et al., 2023). Para calcular la biomasa como peso seco, generalmente se usan hornos convencionales con diferentes temperaturas y con diferente tiempo de exposición. Lovergrove (1962) recomienda secar a temperaturas menores a 80 °C y Crisp (1971) a temperaturas menores a 100 °C para evitar volatilizar lípidos y así evitar la pérdida de peso. Cabe mencionar que durante las últimas dos décadas el cálculo de biomasa a través de la liofilización (i.e. deshidratación a bajas temperaturas) también ha sido utilizado como una nueva herramienta, debido a que este método preserva óptimamente los tejidos orgánicos (Machuca-Sepúlveda et al., 2021). Sin

embargo, este método no es tan utilizado como los convencionales, debido al alto costo.

El propósito de este trabajo es comparar dos métodos de preservación, uno basado en etanol y el otro en congelar los individuos para calcular la biomasa de familias de macroinvertebrados acuáticos, y establecer si existen diferencias en el tiempo necesario para alcanzar el peso constante en ambos tratamientos. Las familias utilizadas en este estudio fueron escogidas debido a su alta representatividad en ríos del sur de Chile. Nuestra metodología podrá ser utilizada por programas de monitoreo para calcular la biomasa de macroinvertebrados y otros estudios ecológicos.

MATERIAL Y MÉTODOS

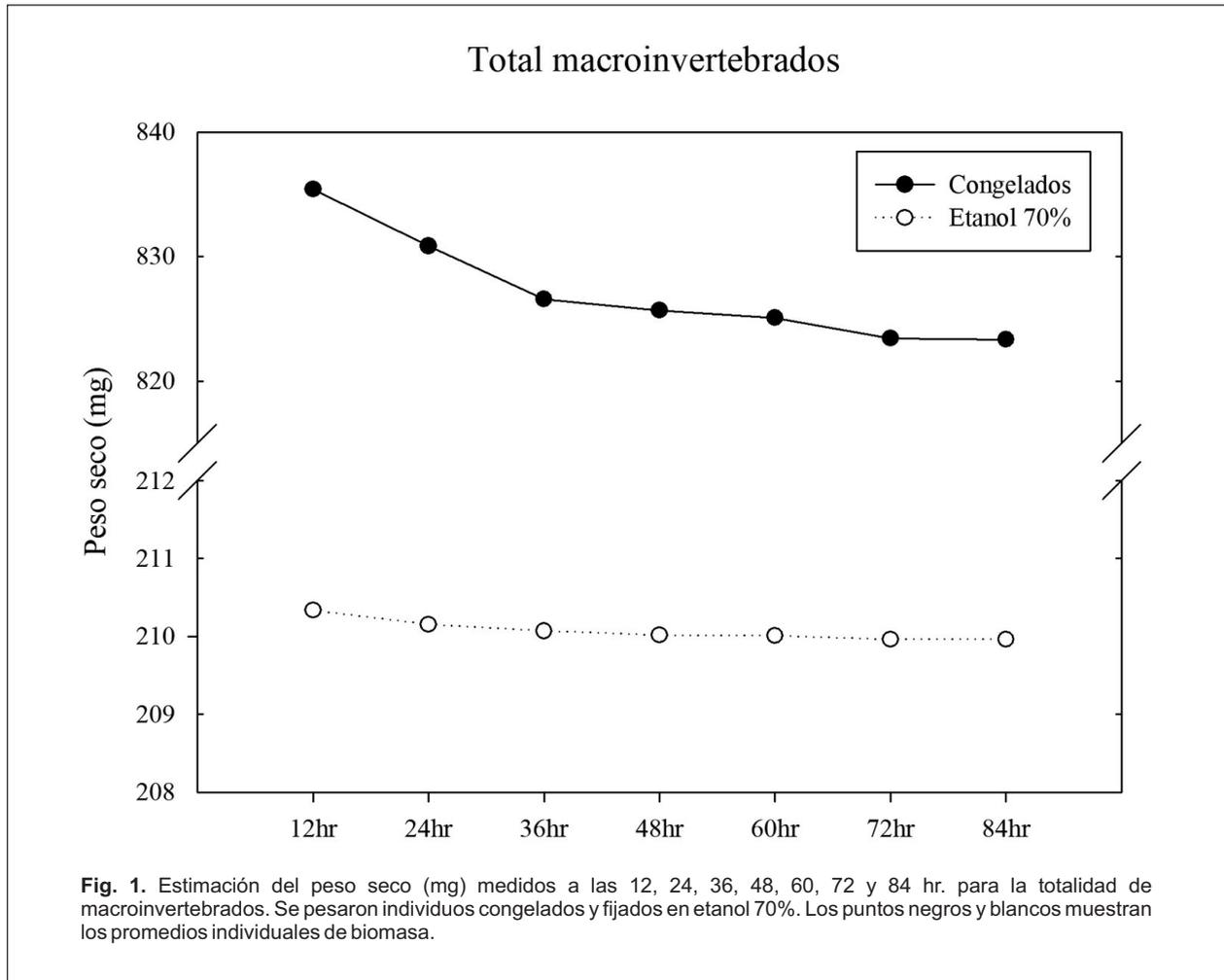
Los macroinvertebrados utilizados en este estudio fueron capturados durante la primavera del año 2023 (octubre-diciembre) en cuatro ríos del sur de Chile en la región de Los Ríos: río Pilolcura, río Santo Domingo, río Riñinahue y río Chaihuin. Visitamos estos ríos debido a que previamente se ha reportado alta diversidad de macroinvertebrados acuáticos (Fierro et al., 2017), por lo tanto, existía una mayor probabilidad de encontrar diferentes taxones. Los organismos fueron capturados con una red de patada de arrastre a contracorriente (de 250 µm de poro y 30 cm de diámetro) en el centro del canal, removiendo el sustrato con el pie y de forma zigzagueante, de manera que todo el material removido entre en ella. Los organismos se identificaron hasta el nivel taxonómico de familia durante el trabajo de campo y se almacenaron en viales plásticos con agua del mismo río, procurando seleccionar solo los organismos que estuvieran completos.

Una vez en laboratorio todos los organismos separados por familias, fueron congelados a -20 °C en los mismos viales de plástico. Luego de 48 hr. Los especímenes fueron descongelados por aproximadamente 2 horas a temperatura ambiente (21°C) y fueron traspasados a envases de aluminio previamente pesados en una balanza digital AND (modelo GR-200) con una incerteza de 0,1 mg. Posteriormente los envases que contenían a todos los especímenes de una misma familia fueron secados en un horno VWR a 60 °C, y pesados a las 12, 24, 36, 48, 60, 72 y 84 horas. Cada vez que se pesaron los organismos, los envases con los organismos eran devueltos al horno a 60 °C temperatura constante.

Paralelamente, utilizamos organismos almacenados en el laboratorio de Bentos de la Universidad Austral de Chile, en frascos de vidrio de 5 ml con etanol al 70%. Estos organismos fueron capturados en la misma área de estudio, fijados en terreno con etanol 95%, luego separados e

Tabla 1. Pérdida de peso (mg) desde 24 hr hasta 84 hr para macroinvertebrados congelados a -20°C. Se considera el peso inicial medido a las 12 hr. N= cantidad total de individuos medidos en cada familia.

Taxón/tiempo de secado (hr)	N	12	24	36	48	60	72	84
Ephemeroptera								
Ameletopsidae	142	0	-1,900	-1,900	-2,200	-4,100	-4,100	0,000
Oligoneuriidae	6	0	-0,100	-0,100	-0,300	0,000	-0,900	0,000
Leptophlebiidae	698	0	-1,100	-0,200	-0,300	-0,850	-0,850	-0,500
Baetidae	176	0	-0,300	0,000	-0,200	0,000	0,000	-0,200
Plecoptera								
Gripopterygidae	165	0	-0,100	0,000	-0,100	-0,200	-0,200	0,000
Diamphipnoidae	181	0	-115,200	-115,200	-13,400	0,000	-25,400	0,000
Perlidae	23	0	-3,000	-2,400	-0,900	-0,900	-0,700	0,000
Austroperlidae	9	0	-0,300	-0,100	-0,150	-0,150	0,000	-0,300
Eustheniidae	7	0	-0,400	-0,300	-0,100	-0,100	0,000	-0,200
Trichoptera								
Hydropsychidae	230	0	-0,700	-0,700	-1,000	-0,900	-3,300	0,000
Hydrobiosidae	3	0	-0,100	-0,100	0,000	0,000	0,000	0,000
Hydroptilidae	153	0	-0,400	0,000	-0,100	-0,100	-0,100	0,000
Sericostomatidae	9	0	-0,400	-0,200	-0,050	-0,050	-0,200	0,000
Limnephilidae	3	0	-1,100	-0,400	-0,150	-0,150	-0,200	-0,200
Leptoceridae	1	0	-0,400	0,000	-0,100	-0,100	0,000	0,000
Helicophidae	1	0	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,100	-0,200
Coleoptera								
Psephenidae	122	0	-0,300	-0,200	-1,000	-1,050	-1,050	0,000
Elmidae	61	0	-0,100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Megaloptera								
Corydalidae	208	0	-3,300	-3,600	-4,100	-4,950	-4,950	-0,700
Diptera								
Simuliidae	910	0	-0,800	-0,700	-0,600	0,000	-3,800	0,000
Athericidae	48	0	0,000	0,000	-0,100	-0,250	-0,250	0,000
Tipulidae	30	0	0,000	0,000	0,000	-0,100	-0,100	0,000
Chironomidae	254	0	0,000	0,000	0,300	-0,150	-0,150	0,000
Blephariceridae	1	0	-0,100	0,000	-0,100	-0,100	0,000	-0,100
Otros								
Aeglididae	2	0	-0,900	-0,900	-1,500	-2,450	-2,450	0,000
Tubificidae	51	0	-0,200	0,000	0,000	-0,300	-0,300	0,000
Dugesiididae	24	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hirudinea	1	0	-4,800	-1,200	-0,600	-0,600	-0,300	-0,400



identificados en laboratorio, y preservados en etanol 70%. Las muestras estuvieron contenidas por más de 6 meses en los frascos de vidrio. Al igual que los organismos congelados, pesamos los organismos en etanol la misma cantidad de horas, a la misma temperatura, y utilizando el mismo horno y balanza electrónica.

Los organismos utilizados en el estudio fueron limpiados de cualquier resto de detritus antes de ser depositados en los envases de aluminio. Los caracoles de la familia Ancyliidae, Physidae, Hydrobiidae y Chiliniidae fueron despojados de sus conchas con el uso de pinzas entomológicas, antes de pesarlos para estimar la biomasa seca (Zwarts, 1991).

Para determinar algún error humano o de los equipos, agregamos y pesamos un envase de aluminio sin ningún organismo por la misma cantidad de horas que las otras muestras (12, 24, 36, 48, 60, 72 y 84 horas) en los mismos tratamientos. Esto se hizo para detectar alguna variación positiva o negativa en el peso del envase de aluminio a lo largo de las horas.

La cantidad de organismos utilizados varió entre los diferentes métodos de preserva, sin embargo, se trató de utilizar cantidades equitativas. Esto se debió a la cantidad limitada de organismos que se mantenían almacenados en laboratorio, y para que las medidas de peso fueran las correctas, solo utilizamos organismos con el cuerpo completo (cabeza con las antenas completas, tórax con todas las patas y abdomen con los cercos completos). La cantidad exacta de individuos utilizados se muestra en la Tabla 1 y 2.

Para el análisis de datos, tabulamos los pesos obtenidos durante cada hora medida, y calculamos la pérdida de peso entre una hora medida y la anterior. Se graficó la biomasa total del ensamble de macroinvertebrados (mg) a través de las diferentes horas medidas. Para observar las diferencias gráficas entre familias, se escogieron cuatro familias que son abundantes en ríos mínimamente perturbados del sur de Chile, estas fueron los efemerópteros Leptophlebiidae, los plecópteros Gripterygidae, los tricópteros Hydropsychidae y los crustáceos Aeglidae.



Tabla 2. Pérdida de peso (mg) desde 24 hr hasta 84 hr para macroinvertebrados preservados en etanol al 70%. Se considera el peso inicial medido a las 12 hr. N= cantidad total de individuos medidos en cada familia.

Taxón/tiempo de secado (hr)	N	12	24	36	48	60	72	84
Ephemeroptera								
Leptophlebiidae	200	0	0,000	0,000	-0,200	0,000	0,000	0,000
Baetidae	140	0	-0,100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Plecopter								
Gripopterygidae	70	0	-0,100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Trichopter								
Hydropsychidae	200	0	-0,100	-0,100	0,000	0,000	0,000	0,000
Diptera								
Chironomidae	200	0	-0,100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Simuliidae	200	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Otros								
Aeglididae	2	0	-1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ancylidae	20	0	0,000	-0,200	0,000	0,000	0,000	0,000
Physidae	20	0	-0,100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Hydrobiidae	20	0	0,000	-0,100	0,000	-0,100	-0,400	0,000
Chiliniidae	20	0	-0,500	-0,500	-0,400	0,000	-0,100	0,000

RESULTADOS

En la Tabla 1 y Tabla 2 es posible observar las pérdidas de peso (mg) cada 12 horas, para la totalidad de familias de macroinvertebradas medidas en este estudio. En la Tabla 1 se presentan los organismos que estuvieron congelados a -20°C , y en la Tabla 2, los individuos que estuvieron fijados en etanol al 70%. En la Figura 1 se muestra la biomasa total de macroinvertebrados de cada tratamiento medidos cada 12 horas, observándose que las diferencias entre los métodos de preservación son mínimas.

En general, nuestros resultados muestran diferencias en el tiempo tomado para la disminución del peso de los organismos que fueron congelados y los que fueron preservados en etanol. Específicamente, los macroinvertebrados congelados mostraron una rápida disminución de peso en las primeras 36 hr y luego disminuyeron su peso muy lentamente en las siguientes 36 horas, estabilizándose a las 72 hr. La mayor parte de los macroinvertebrados preservados en etanol 70% mostraron una rápida disminución de peso durante las primeras 24 hr para luego estabilizarse a las 48 hr. En cada método encontramos variaciones por cada familia que estudiamos.

Los organismos almacenados en etanol de la familia Leptophlebiidae disminuyeron su peso hasta las 48 hr y luego mantuvieron un peso constante. Los individuos de la familia Leptophlebiidae congelados disminuyeron su peso constantemente hasta las 84 hr (Fig. 2A). Los individuos congelados de la familia Gripopterygidae disminuyeron su peso hasta las 72 hr y se estabilizaron; los individuos fijados en etanol, se estabilizaron a partir de las 24 hr. de secado (Fig. 2B). Para la familia Hydropsychidae, los individuos congelados alcanzaron un peso constante a las 72 hr, mientras que los individuos mantenidos en etanol alcanzaron un peso constante a los 36 hr. (Fig. 2C). Por último, para los Aeglidos a las 72 hr los individuos congelados alcanzaron un peso constante, mientras que los individuos conservados en etanol alcanzaron un peso constante a las 24 hr. (Fig. 2D).

La mayoría de los individuos que estuvieron congelados mostraron las mayores pérdidas de peso en las primeras 48 hr. Sin embargo, los taxones que presentaron la mayor biomasa, como los efemerópteros (las familias Ameletopsidae y Leptophlebiidae), los plecópteros (Diamphipnoidae), los tricópteros (Hydropsychidae), los megalópteros (Corydalidae), o los dípteros (Simuliidae), mostraron pérdidas de peso hasta las 72 hr. (Tabla 1). Los

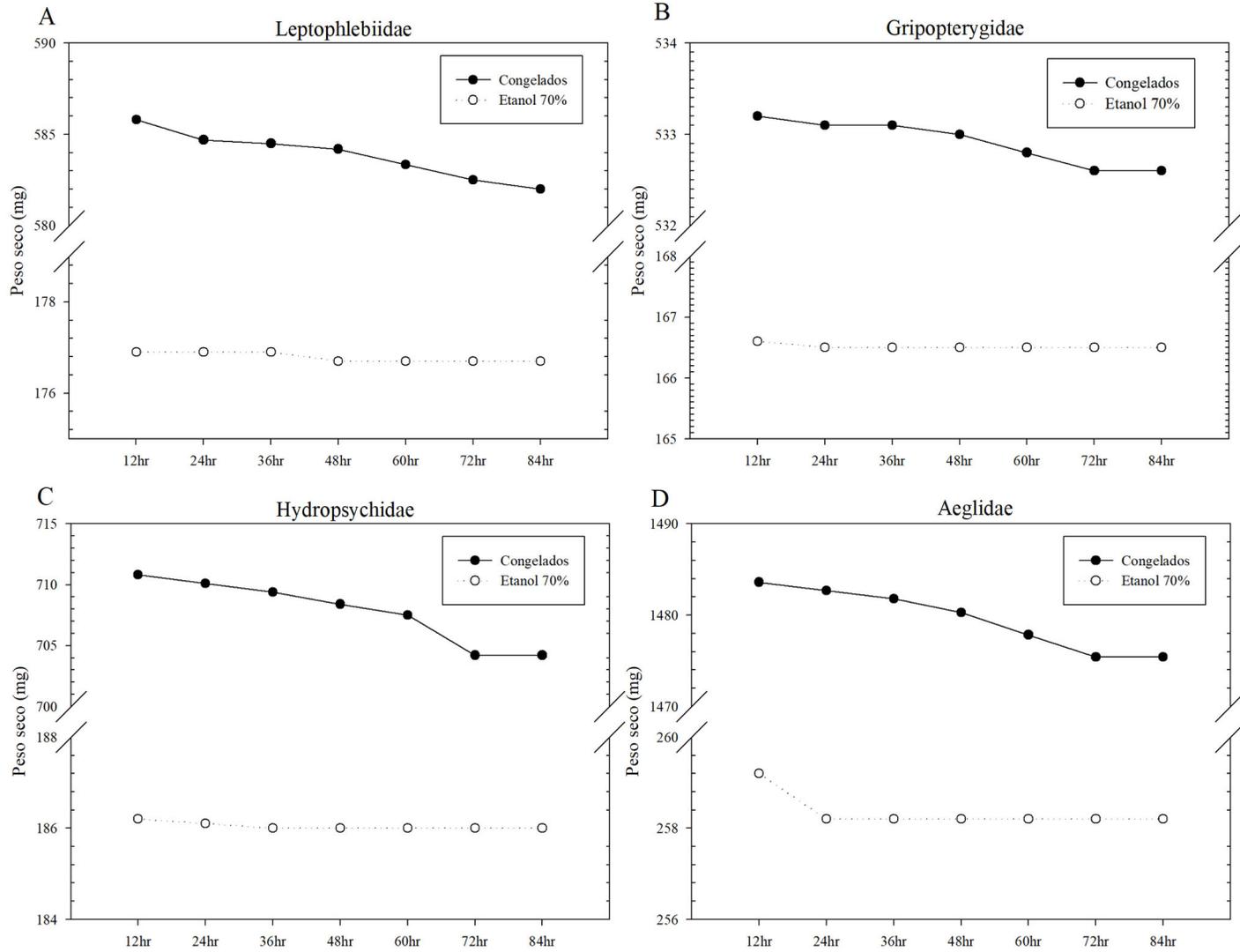


Fig. 2. Estimación del peso seco (mg) medidos a las 12, 24, 36, 48, 60, 72 y 84 hr para cuatro taxones de macroinvertebrados abundantes en ríos del sur de Chile. Se pesaron individuos congelados y fijados en etanol 70%. Los puntos negros y blancos muestran los promedios individuales de biomasa.



organismos preservados en etanol al 70% mostraron las mayores pérdidas de peso dentro de las primeras 24 hr, exceptuando las familias Leptophlebiidae (efemerópteros), Hydrobiidae y Chiliniidae (caracoles), los cuales mostraron pérdidas de peso hasta las 72 hr. (Tabla 2).

Los organismos preservados en etanol al 70% mostraron las mayores pérdidas de peso dentro de las primeras 24 hr, exceptuando los efemerópteros de la familia Leptophlebiidae, los caracoles Hydrobiidae y Chiliniidae, los cuales mostraron pérdidas de peso hasta las 72 hr. (Tabla 2).

DISCUSIÓN

En la literatura es posible encontrar diferentes métodos que usan el secado de macroinvertebrados en hornos para estimar la biomasa. Algunos autores utilizan organismos frescos o congelados, otros calculan biomasa con organismos fijados en etanol, formalina u otro preservante. Nosotros corroboramos que dependiendo del método de preservación (congelándose o preservándose en etanol), incide en la cantidad de horas que los ejemplares identificados hasta el nivel taxonómico de familia deben estar secándose a 60°C para obtener un peso constante.

Diversos autores han seguido metodologías para el secado de macroinvertebrados a diferentes temperaturas y cantidad de horas que se exponen los individuos. En Argentina, Miserendino (2001) para calcular relaciones de longitud-peso de macroinvertebrados acuáticos, secó a una temperatura de 105 °C por 4 hr., Gualdoni et al. (2013) secaron a 60 °C por 48 hr., mientras que Hanket et al. (2023) secaron a 60 °C por 24 hr. En Colombia, Rivera-Usme et al. (2014) y Hurtado-Borrero et al. (2020) secaron a 60 °C por 24 hr. En Brasil Moreyra y Padovesi-Fonseca (2015) secaron a 60 °C por 48 hr, mientras que Ribeiro Ferreira et al. (2023) secaron a 60 °C por 72 hr. En estudios del hemisferio norte, la cantidad de horas y el tiempo de secado también varía. Estudios clásicos como los de Malone y Nelson (1969) secaron macroinvertebrados a 90°C por 24 hr. Por otra parte, Smock (1980) secó los macroinvertebrados a 105°C por 4 hr, mientras que Mason et al. (1983) secaron a 103°C por 4 hr. Si bien estos últimos estudios secan a altas temperaturas por periodos cortos de tiempo, esto no es recomendable, ya que se pueden perder compuestos sólidos fácilmente volátiles (Keil et al., 2022). Todos estos estudios nos llevan a concluir que no existe una metodología estándar para las horas de secado de macroinvertebrados para obtener su biomasa. Sin embargo, al igual que nuestro trabajo, la mayor parte de los autores secaron a una temperatura de 60°C.

La obtención de la biomasa es una herramienta crucial para poder calcular la producción secundaria, y poder entender de mejor manera el funcionamiento de

los ecosistemas acuáticos continentales. Diversos autores recomiendan pesar los organismos frescos o congelados, en lugar de preservarlos en algún líquido como formalina o etanol, ya que esto último afecta la medición de la biomasa (Machuca-Sepúlveda et al., 2021; Dekanová et al., 2023). Nuestro estudio demostró que organismos preservados en etanol 70% alcanzaron un peso constante al menos 24 hr antes que organismos congelados. Ya que nuestras muestras estuvieron al menos seis meses en etanol, nosotros creemos que puede haber ocurrido una pérdida de peso interno en los ejemplares, lo que produjo que el peso constante de los ejemplares se obtuviera mucho más rápido. Mantener a individuos mucho tiempo en etanol puede solubilizar los lípidos de tejidos internos, lo que resultaría en la pérdida de peso de estos tejidos dentro de los organismos y así, la estimación de la biomasa puede ser subestimada (Edwards et al., 2009). Además, los líquidos preservantes no solo afectan la biomasa, sino que también se ha demostrado que puede disminuir significativamente los tamaños de los especímenes producto de la contracción, a través de la deshidratación de tejidos internos y descalcificación (von Shiller y Solimini, 2005).

Los macroinvertebrados acuáticos han sido ampliamente utilizados como bioindicadores, ya que debido a su ciclo de desarrollo lo suficientemente largo en los cuerpos acuáticos, son capaces de detectar cualquier alteración (Alba-Tercedor, 1996). Ante efectos de contaminación en cuerpos acuáticos, las respuestas se dan primeramente en cambios en la diversidad y abundancia de las especies, mientras que, en términos de biomasa, los macroinvertebrados pueden responder de diferente manera (Luek et al., 2015). En ríos contaminados algunos estudios han mostrado que la biomasa del ensamble de macroinvertebrados disminuye a medida que aumenta la contaminación, debido a la disminución de invertebrados sensibles (Woodcock y Hury, 2007). Mientras que, en otros estudios, no han encontrado diferencias en cambios en la biomasa frente a la contaminación orgánica (Ortiz y Puig, 2007). Es necesario calcular correctamente la biomasa de diferentes taxones en diferentes gradientes de contaminación, para establecer precisamente la respuesta de la biomasa a los impactos antropogénicos en los ecosistemas acuáticos.

Una de las limitaciones de nuestro estudio es que nosotros calculamos la biomasa hasta las 84 hr, y si bien en organismos congelados la mayoría de los pesos se estabilizaron a las 72 hr, hubo familias donde se siguió perdiendo peso en las siguientes 12 horas. Por ende, nosotros recomendamos que se estudie la pérdida de peso durante más horas, sobre todo en organismos de gran biomasa, como en megalópteros o plecópteros de gran tamaño (e.g. Austroperlidae o Eustheniidae). Otro aspecto para considerar a futuro es que los individuos sean medidos individualmente, y

no varios individuos de una misma familia como en este estudio. Debido a las variaciones inherentes a cada organismo (e.g. individuos de una misma familia con diferente tamaño) introducen variación a nuestros resultados, por lo que la aproximación metodológica que hemos tomado puede mal interpretar nuestros resultados. Al pesar varios organismos de una misma familia en un mismo vial, sobre todo de gran tamaño, puede provocar que los tejidos que queden en el centro tomen más tiempo en secarse, debido a que la humedad se puede concentrar. Sin embargo, en la mayoría de las familias hemos tratado de estudiar similar cantidad de organismos colocados en cada vial, lo que nos permite hacer comparaciones adecuadas entre familias y métodos de preservación.

Al estimar la biomasa de macroinvertebrados de agua dulce, la variación en el peso seco es uno de los elementos que se debe tener en cuenta debido a la gran variabilidad que hay entre taxones (Méthot et al., 2012). En nuestro estudio, la variabilidad observada en cada tratamiento fue menor que la variabilidad entre tratamientos (Fig. 2), por lo que para estimar correctamente la biomasa de macroinvertebrados acuáticos, recomendamos que (1) se evite la preservación de organismos, pero si éstos han sido previamente preservados, los autores deberían indicar el preservante, la concentración y el tiempo al cual estuvieron preservados en la interpretación de sus resultados; (2) en muestras frescas se recomienda al menos 72 hr a 60°C para calcular la biomasa; (3) en muestras preservadas en etanol 70% se recomienda al menos 48 hr a 60°C para calcular la biomasa y (4) en organismos de gran tamaño, como megalópteros, crustáceos o caracoles, deberían estar un mayor periodo de tiempo secándose para obtener una temperatura constante (Al menos 72 hr).

Nuestros resultados proveen información que puede ser usada por investigadores para estimar valores de la biomasa más cercana a la real. Sin embargo, debido a que solo trabajamos con algunas familias presentes en ríos del sur de Chile, es posible encontrar diferencias entre ecosistemas de agua dulce. Además, nuestros resultados podrían cambiar si se trabajan con otras familias diferentes a las utilizadas en este estudio. Es por esto que recomendamos que otras investigaciones estudien otros ecosistemas y familias, géneros o especies de macroinvertebrados para obtener conclusiones generales de estimación de biomasa.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a Erwin Lienlaf por su ayuda en terreno. Esta investigación fue financiada por el proyecto ANID FONDECYT 1240497. También se agradece al proyecto ANID-Millennium Science Initiative Program-Center code "ICN2021_002". Se

agradece al comité editorial y a los dos revisores anónimos por sus valiosos comentarios.

REFERENCIAS

- Alba-Tercedor, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. *IV Simposio sobre el Agua en Andalucía: Almería* (Vol. 2, p. 203). IGME.
- Benke, A. (1996). 'Secondary production of macroinvertebrates', in F. R. Hauer and G.A. Lamberti (eds.), *Methods in stream ecology*: Academic, New York, 557-578 pp.
- Crisp, D.J. (1971). 'Energy Flow Measurements', in N. A. Holme and A. D. McIntyre (eds.), *Methods for the Study of Marine Benthos, International Biological Programme Handbook No. 16*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 334 pp.
- Cummins, K.W., Wilzbach, M., Kolouch, B. y Merritt, R. (2022). Estimating macroinvertebrate biomass for stream ecosystem assessments. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, 3240.
- Dekanová, V., Strebevorá, Z., Novikmec, M. y Svitok, M. (2023). The effect of preservation on biomass and length estimates and its variation within and between two mayfly species. *Limnology*, 24, 181–191.
- Fierro, P., Bertrán, C., Tapia, J., Hauenstein, E., Peña-Cortés, F., Vergara, C., Cerna, C. y Vargas-Chacoff, L. (2017). Effects of local land-use on riparian vegetation, water quality, and the functional organization of macroinvertebrates assemblages. *Science of the Total Environment*, 609, 724–734.
- Fierro, P., Hughes, R.M. y Valdovinos, C. (2021). Temporal variability of macroinvertebrate assemblages in a Mediterranean coastal stream: Implications for Bioassessment. *Neotropical Entomology*, 50, 873–885.
- Gualdoni, C., French, P.W. y Oberto, A.M. (2013). Relaciones longitud-biomasa en macroinvertebrados bentónicos de un arroyo serrano del sur de Córdoba, Argentina. *Ecología Austral*, 23, 194–201.
- Hankel, G.E., Nieto, C., Romero, F., Gultemirian, M.L., Reynaga, M.C., Taboada M. de los A., Martín P.A.R., Rodríguez J.S., Manzo V. y Molineri C. (2023). Structure, biomass, and secondary production of benthic macroinvertebrates in subtropical Andean rivers. *Anais da Academia Brasileira de Ciência*, 95, 1.
- Hurtado-Borrero, Y., Pinilla-A, G., Tamaris-Turizo, C.E. (2020). Relaciones talla-peso de ninfas de *Anacronuria caraca* Stark, 1995 y *A. marta* Zuñiga & Stark, 2002 (Plecoptera: Perlidae) de

- un río neotropical de montaña. *Hidrobiológica*, 30, 203–209.
- Keil, C., Grebenteuch, S., Kröncke, N., Kulow, F., Pfeif, S., Kanzler, C., Rohn, S., Boeck, G., Benning, R. y Haase, H. (2022). Systematic studies on the antioxidant capacity and volatile compound profile of yellow mealworm larvae (*T. molitor* L.) under different drying regimes. *Insects*, 13, 166.
- Lovergrove, T. (1962). The Effects of Various Factors on Dry Weight Values. *Rapports et Proces-verbaux des Réunions de la Mer*, 153, 86–91.
- Luek, A., Morgan, G.E. y Ramcharan, Ch.W. (2015). Biomass of benthic invertebrates unaffected by industrial damage to lakes despite effects on species composition. *Hydrobiologia*, 744, 101–114.
- Machuca-Sepúlveda, J., Fierro, P. y Nimptsch, J. (2021). Variability of benthic macroinvertebrate biomass in two contrasting streams in southern Chile. *Hydrobiologia*, 849, 641–660.
- Machuca-Sepúlveda, J., López, M., Fierro, P., Beltrán, J.F., Norambuena, J.-A., Pinheiro S. Oliviera, R., Zamorano, M. y Farias J.G. (2024). Ecological responses of freshwater macroinvertebrates to augmented drought: A literature review and projections. *Ecological Indicators*, 164, 112153.
- Mährlein, M., Pätzig, M., Brauns, M. y Dolman, A.M. (2016). Length-mass relationships for lake macroinvertebrates corrected for back-transformation and preservation effects. *Hydrobiologia*, 768, 37–50.
- Malone, C.R. y Nelson, D.J. (1969). Feeding rates of freshwater snails (*Goniobasis clavaeformis*) determined with cobalt. *Ecology*, 5, 728–730.
- Mason, W.T., Lewis, P.A. y Weber, C.I. (1983). An evaluation of benthic macroinvertebrate biomass methodology. *Environmental Monitoring and Assessment*, 3, 29–44.
- Méthot, G., Hudon, C., Gagnon, P., Pinel-Alloul, B., Armellin, A. y Tourville Poirier, A.-M. (2012). Macroinvertebrate size-mass relationships: how specific should they be. *Freshwater Science*, 31, 750–764.
- Miserendino, M.L. (2001). Length-mass relationships for macroinvertebrates in freshwater environments of Patagonia (Argentina). *Ecología Austral*, 11, 3–8.
- Moreyr, A.K. y Padovesi-Fonseca, C. (2015). Environmental effects and urban impacts on aquatic macroinvertebrates in a stream of central Brazilian Cerrado. *Sustain. Water Resource Manager*, 1, 125–136.
- Ortiz, J.D. y Puig, M.A. (2007). Point source effects on density, biomass and diversity of benthic macroinvertebrates in a mediterranean stream. *River Research and Applications*, 23, 155–170.
- Ribeiro Ferreira, W., de Souza Rezende, R., Tavares Martins, R., Gonçalves, Jr, J.F., Hamada, N. y Callisto, M. (2023). Effects of predation risk on invertebrate leaf-litter shredders in headwater streams in three Brazilian biomes. *Aquatic Sciences*, 85, 28.
- Rivera-Usme, J.J., Pinilla-Agudelo, G.A., Camacho-Pinzón, D.L., Castro-Rebolledo, M.I. y Rangel-Churio, J.O. (2014). Relaciones entre el peso seco y la longitud total de los géneros de invertebrados acuáticos *Helobdella* (Hirudinea: Glossiphoniidae) y *Asellus* (Crustacea: Asellidae) de un humedal andino de Colombia. *Actualidades Biológicas*, 36, 39–45.
- Sabo, J.L., Bastow, J.L. y Power, M.E. (2002). Length-mass relationships for adult aquatic and terrestrial invertebrates in a California watershed. *Journal of the North American Benthological Society*, 21, 336–343.
- Smock, L.A. (1980). Relationships between body size and biomass of aquatic insects. *Freshwater Biology*, 10, 375–383.
- Stoffels, R.J., Karbe, S. y Paterson, R.A. (2003). Length-mass model for some common New Zealand littoral-benthic macroinvertebrates, with a note on within-taxon variability in parameter values among published models. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 37, 449–460.
- Von Schiller, D. y Solimini, A.G. (2005). Differential effects of preservation on the estimation of biomass of two common mayfly species. *Archiv für Hydrobiologie*, 164, 325–334.
- Wallace, J.B. y Webster, J.R. (1996). The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function. *Annual Review of Entomology*, 41, 115–139.
- Woodcock, T.S. y Huryn, A.D. (2007). The response of macroinvertebrate production to a pollution gradient in a headwater stream. *Freshwater Biology*, 52, 177–196.
- Zwarts, L. (1991). Seasonal variation in body weight of the bivalves *Macoma balthica*, *Scrobicularia plana*, *Mya arenaria* and *Cerastoderma edule* in the Dutch Wadden Sea. *Netherlands Journal of Sea Research*, 20, 231–245.

Editores de Sección:

Natalia Vargas López, Juan David González-Trujillo,
Jeymy Milena Walteros-Rodríguez