

ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD Y ENSAMBLE DE MACROINVERTEBRADOS EN UN ARROYO DE YUNGAS CONTAMINADO POR LA ACTIVIDAD PETROLERA

COMMUNITY STRUCTURE AND MACROINVERTEBRATES ASSEMBLAGE IN A YUNGAS STREAM POLLUTED BY OIL ACTIVITY

Marcela Alejandra De Paul^{1*}, Juan Pablo Villafañe¹, Luciana Nadia Jurado Flores Varea¹ y Matías Castellón¹

¹Centro de Estudios de Calidad de Agua de Ambientes de Altura (CEICAAL). Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy (UNJu). Alberdi N° 47, San Salvador de Jujuy. Jujuy, Argentina. (C.P. 4600)

*Autor para correspondencia:
marceladepaul@fca.unju.edu.ar

Licencia:
[Licencia Creative Commons](#)
[Atribución-NoComercial-](#)
[CompartirIgual 4.0 Internacional](#)

Período de Publicación:
Diciembre 2021

Historial:
Recibido: 02/06/21
Aceptado: 07/09/21

RESUMEN

Se analizaron las condiciones de referencia e impactadas del arroyo Yuto (departamento Ledesma, Jujuy, Argentina). El impacto que recibe el arroyo es un vertido proveniente de un pozo explorado para petróleo (Caimancito E3) actualmente inactivo, que mantiene una surgencia espontánea de aguas de formación, altamente cloruro sódicas, que desagua naturalmente por la pendiente del terreno, en el arroyo. Se colectaron macroinvertebrados bentónicos con redes surber y D; se determinaron parámetros in situ (pH, conductividad, temperatura del agua y ambiental, sólidos disueltos totales, salinidad y oxígeno disuelto) y colectaron muestras de 1L para determinar la composición iónica en laboratorio. Se identificó la variabilidad espacial respecto a variables físicoquímicas, ambientales y morfométricas mediante análisis componentes principales. Previamente se calcularon las correlaciones de Pearson para eliminar las variables altamente correlacionadas. Se analizaron las relaciones entre las especies y variables físicoquímicas mediante correlación canónica. Se analizó la estructura de la comunidad mediante cálculos de riqueza, abundancia absoluta y relativa, densidad, diversidad de Shannon, dominancia de Simpson, índice de beta complementariedad, curvas de Whitaker. Se determinó la calidad biológica del agua mediante índices bióticos adaptados a las yungas (IBMWPmodificado para el NOA, EIPT, IBY-4, EPT). Los resultados señalaron que Insecta (93,3%) fue la clase mejor representada de la comunidad total de macroinvertebrados, con Diptera como orden dominante (53%). Se identificó que por encima de 4,6 mS/cm de conductividad se produce un recambio de taxa de macroinvertebrados superior al 50%. Se identificó un cambio de ensambles, *Austrelmis* fue dominante en condiciones de referencia y *Orthoclaadiinae* para los de elevada conductividad. El efecto de la salinidad sobre la comunidad de macroinvertebrados es complejo y requiere el uso de múltiples herramientas de análisis. La integración de resultados provenientes del análisis de la riqueza, diversidad, curvas de rango abundancia, beta complementariedad y algunos índices bióticos resultaron indicadores sensibles para detectar los efectos de la salinidad en la comunidad de macroinvertebrados.

Palabras clave: agua de formación, calidad ecológica del agua, macroinvertebrados bentónicos, salinización, Yungas

SUMMARY

The reference and impacted conditions of the Yuto stream (Ledesma department, Jujuy, Argentina) were analyzed. The impact received by the stream is a spill from a currently inactive well explored for oil (Caimancito E3), which maintains a spontaneous upwelling of formation waters, highly sodium chloride, which naturally drains down the slope of the land, into the stream. Benthic macroinvertebrates were collected with surber and D nets; in situ parameters were determined (pH, conductivity, water and environmental temperature, total dissolved solids, salinity and dissolved oxygen) and 1L samples were collected to determine the ionic composition in the laboratory. Spatial variability with respect to physicochemical, environmental and morphometric variables was identified by principal component analysis. Pearson correlations were previously calculated to eliminate highly correlated variables. The relationships between species and physicochemical variables were analyzed using canonical correlation. The community structure was analyzed by calculations of wealth, absolute and relative abundance, density, Shannon diversity, Simpson dominance, beta complementarity index, and Whittaker curves. The biological quality of the water was determined using biotic indices adapted to the yungas (IBMWP modified for NOA, ELPT, IBY-4, EPT). The results indicated that Insecta (93.3%) was the best represented class of the total macroinvertebrate community, with Diptera as the dominant order (53%). It was identified that above 4.6 mS / cm of conductivity there is a macroinvertebrate taxa turnover greater than 50%. A change of assemblages was identified, *Austrelmis* was dominant under reference conditions and Orthocladiinae for those with high conductivity. The effect of salinity on the macroinvertebrate community is complex and requires the use of multiple analysis tools. The results integration from the analysis of richness, diversity, abundance range curves, beta complementarity and some biotic indices were sensitive indicators to detect the effects of salinity on the macroinvertebrate community.

Keywords: benthic macroinvertebrates, ecological water quality, formation water, salinization, Yungas

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de agua dulce son esenciales para el desarrollo de las sociedades humanas resultando un recurso estratégico para el desarrollo de las regiones (Carrera Reyes & Fierro Peralbo, 2001). Las etapas de la explotación petrolera generan diferentes impactos en el ambiente. Durante la fase de exploración para petróleo se realizan excavaciones con el objetivo de determinar la calidad y cantidad disponible del recurso. Algunos de los pozos caracterizados como no productivos mantienen un flujo ascendente espontáneo de alta salinidad denominado aguas de formación, o una mezcla de agua con hidrocarburos. Éstos efluentes actúan como principales contaminantes del suelo y agua en el área de exploración, afectando la diversidad del ecosistema acuático, zona de ribera y ecosistemas productivos asociados (Abdol Hamid, Kassim, El Hishir & El- Jawashi, 2008). Las vías por las que la biodiversidad produce una amplia gama de servicios ecosistémicos esenciales para la vida y el bienestar humano son poco conocidos, pero resulta de vital importancia comprender los procesos ambientales en los que interviene. La biodiversidad no es en sí misma un servicio ecosistémico, sino que representa la capacidad del ambiente para sostener las funciones de mantenimiento (ciclo de la materia, flujo de la energía, ciclos biogeoquímicos) y la resiliencia ante los cambios (Fynlayson *et al.*, 2016). El estado ecológico de un ecosistema acuático es el resultado de la interacción de la litología, el régimen hidrológico, fisicoquímica del agua y suelo, vegetación de ribera, granulometría, morfometría del cauce, con la estructura de la comunidad de organismos acuáticos (Ward, Tockner, Arscott & Claret, 2002). Los macroinvertebrados bentónicos son los organismos más utilizados como indicadores de calidad del agua en los biomonitoreos de ambientes acuáticos (Segnini, 2003). Viven en contacto con el sedimento y en relación con las sustancias que se encuentren en él. Como resultado de sus estrategias de vida y su hábito sedentario, actúan como indicadores continuos del lugar donde habitan a través de cambios en su estructura o función (Rosenberg & Resh, 1993; Domínguez & Fernández, 2009). Varios índices bióticos de calidad de agua emplean artrópodos, en su mayoría insectos acuáticos (estados inmaduros y adultos) para evaluar la calidad de agua. Los principales índices ajustados a la ecorregión de las Yungas son: Biological Monitoring Working Party (BMWP) ajustado para el NOA por Domínguez y Fernández (1998); Ephemeroptera- Plecoptera-

Trichoptera (EPT) propuesto por Klemm, Lewis, Fulk & Lazorchak (1990); el índice Biótico de Yungas-4 (IBY-4) construido para las yungas de Tucumán por Dos Santos, Molineri, Reynaga & Basualdo (2011) y el índice Elmidae-Plecoptera- Trichoptera (EIPT) propuesto por Von Ellenrieder (2007) en el estudio de ríos y arroyos de las yungas de Salta y Jujuy. El puntaje se expresa como un valor numérico que sintetiza la tolerancia de las familias de macroinvertebrados presentes. La salinización provocada por actividades humanas, se llama salinización secundaria (Cañedo - Arguelles Iglesias, 2019) y para la comprensión del impacto de la salinidad es necesario la consideración del efecto de la mezcla de iones e interacciones bióticas entre especies tolerantes y sensibles (Bray *et al.*, 2019, Gonzalez Achem, Rolandi & Fernández, 2015). Los mecanismos osmorreguladores que subyacen a estos efectos no han sido esclarecidos en su totalidad (Cañedo - Arguelles Iglesias, 2020). El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto de la salinidad sobre la comunidad de macroinvertebrados en un arroyo de yungas de Jujuy (Argentina), afectado por el vertido de aguas de formación de tipo cloruro sódicas provenientes de un pozo de petróleo inactivo, que mantiene una surgencia espontánea de aguas de formación.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio. El área de estudio (Figura 1) se encuentra en el noroeste argentino (provincia de Jujuy; 23°34'29,3" S; 64°35'34" O; 644 m.s.n.m.) y forma parte de la Reserva de Biósfera de las Yungas. El clima se caracteriza por veranos cálidos y húmedos (diciembre-febrero; temperaturas medias, T_m : 26,2 °C; humedad relativa (:HR%=85%) e inviernos templados (junio-agosto: T_m : 15 °C; HR%: 84%). Las precipitaciones, 2500 mm anuales en promedio, se concentran en el verano (> 80%). El relieve de la zona actúa como barrera orográfica a los flujos húmedos del noroeste y determinan la distribución de las precipitaciones. Las lluvias estacionales determinan el régimen fluvial en las Yungas (Braun Wilque, 2013). El relieve de la zona de estudio es una ladera de montaña con pendiente hacia el punto altitudinal más bajo, el arroyo Yuto. El tramo analizado del arroyo corresponde a un curso de orden 1 (clasificación de Sthraler) cuyas nacientes se ubican en la Serranía de Calilegua y recorre la selva de las Yungas hasta desembocar en el río San Francisco. Se observan cambios en la composición de la vegetación con respecto a la altitud, definida por Cabrera (1976). El distrito de

las selvas montanas, se caracteriza por un tipo de relieve quebrado, con laderas de montañas entre los 500-1600 m de altura con una densa cobertura de epífitas y lianas. En el estrato arbóreo predominan: *Blepharocalyx gigantea*, *Phoebe porphyria*, *Cedrela angustifolia*, *Juglans nigra*, *Tabebuia avellaneda* y *Ilex argentina*. En el estrato arbustivo: *Chusquea lorentziana*, *Piper tucumanun*, *Bacharis tucumanensis* y en el herbáceo varias especies de bignoniáceas y Senecio.

El pozo Caimancito E3 es uno, de un total de más de 30 pozos explorados para la extracción de petróleo dentro del Parque Nacional Calilegua. Debido a sus características no productivas, fue abandonado, manteniendo el pozo, una surgencia espontánea y altamente salina (cloruro de sodio) que fluye por pendiente del terreno, vertiendo en el arroyo Yuto. El pozo E3 está ubicado en el pie oriental de la cordillera Calilegua y el contexto geológico donde se encuentra emplazado corresponde a las cordilleras subandinas, una cuenca cretácica del noroeste de Argentina (Vergani & Grosso, 2008). La zona afectada por el efluente salino se caracteriza por su inaccesibilidad y aislamiento, no existiendo caminos consolidados, condiciones que dificultan el monitoreo periódico. Tres sitios fueron seleccionados sobre el arroyo Yuto para este estudio: 500 m aguas arriba del sitio puntual del vertido (S1), reflejando las condiciones naturales de referencia, próximo a la descarga (S2), y 500 m aguas debajo del punto de descarga (S3). En S2 se observan abundantes algas verdes filamentosas (*Spirogyra*). En S3, hay abundante materia orgánica (hojas, ramas), presencia de macrófitas sumergidas y semisumergidas, la vegetación de ribera se encuentra cercana al cauce y produce abundante sombra.

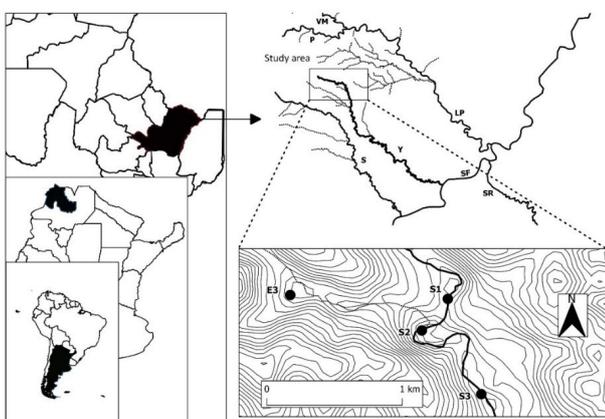


Figura 1. Área de estudio. Referencias: Y: arroyo Yuto. Sitios de monitoreo: S1, S2, S3. Junio 2018

Trabajo de campo y laboratorio. El monitoreo de macroinvertebrados y físico químico del agua, se realizó en junio del 2018 (época invernal y de bajos caudales). Los parámetros físico químicos monitoreados *in situ* fueron: pH, temperatura del agua, sólidos disueltos totales (SDT), conductividad (Ce) y salinidad. Todos ellos fueron registrados con sonda multiparamétrica (Oakton, PCSTrest 35). El oxígeno disuelto fue determinado por método de Winkler mediante fotómetro de campo (Hanna HI 96732). Para los análisis químicos de laboratorio se colectaron muestras de 1 litro de agua según metodología APHA (2005): carbonatos (técnica de cálculo), cloruros (método volumétrico), sulfatos (método gravimétrico), nitratos, nitritos (UV-VIS), sodio (ICP-OES técnica). Se determinó la velocidad del caudal mediante el uso de un caudalímetro de molinete -Global Flow Probe- y variables morfométricas del cauce: ancho y profundidad del cauce. Los macroinvertebrados fueron colectados en zona de corriente mediante red Surber (tres réplicas por sitio) y con red D se completó el monitoreo de los hábitats presentes en el río (cortocircuitos, ramas caídas, ambientes cercanos a la ribera y zonas más profundas en el centro del cauce). Las redes de ambos monitoreos presentaron un entramado de 250 μm (Domínguez & Fernández, 2009). Las muestras fueron conservadas a campo, en alcohol 96%. En laboratorio, las muestras fueron limpiadas de restos orgánicos y minerales, siendo los macroinvertebrados identificados hasta la categoría taxonómica más baja posible mediante claves taxonómicas (Domínguez & Fernández, 2009; Hamada, Thorp & Rogers, 2018). Se utilizaron microscopios estereoscópicos Leica EZ4 y EZ4W con cámara fotográfica, y óptico Motic. Los especímenes se encuentran conservados y forman parte de la colección del CEICAAL, FCA, UNJu.

Análisis de los datos. Para cada sitio se registró la riqueza de especies, el índice de diversidad de Shannon y Dominancia de Simpson mediante programa estadístico PAST, complementariedad de Colwell & Coddington (1994) (Moreno, 2001) y densidad (ind/m^2). Se analizaron los valores obtenidos mediante test t para identificar si las diferencias entre sitios fueron significativas estadísticamente. Se adoptó el criterio de Feinsinger (2004) para describir la diversidad de las comunidades a través de las curvas de rango de abundancia de especies, se adoptó el criterio de Whitaker. Para la selección de variables que fueron utilizadas en el análisis multivariado se calculó la correlación de Spearman de manera de eliminar las variables con alta correlación ($r > 0,60$). Se

analizó la variabilidad espacial mediante análisis multivariado de componentes principales (ACP). Para ello fueron consideradas como variables los parámetros físicoquímicos y morfometría de los cauces. Para el estudio de la correlación entre las variables físicoquímicas y las abundancias de las especies se utilizó el análisis de correspondencia canónica (CCA) con la prueba de permutación de Monte Carlo (999 iteraciones). La calidad ecológica del agua fue determinada mediante el cálculo de índices bióticos adaptados a la zona en estudio: BMWP NoA (Armitage et al. 1983, modificado por Domínguez y Fernández, 1998); EPT (Klemm, Lewis, Fulk & Lazorchak, 1990); ELPT (von Ellenrieder, 2007), IBY-4 (Dos Santos et al., 2011).

RESULTADOS

Caracterización físicoquímica y ambiental

El registro de pH calificó el agua de los tres sitios como alcalinas mientras que la dureza, como semiduras. La temperatura del agua del arroyo para el mes de junio registró valores entre 12,3°C y 14,5°C mientras que la ambiental entre 16 y 23,5 °C (Tabla I). Se observó que - a igual ancho del cauce- la temperatura del agua disminuyó con la profundidad. Se registraron elevadas concentraciones de Bario en el arroyo (S1, S3, Tabla I). La concentración de Bario calificó al agua como no apta para el consumo humano, ganadería y riego, según la Ley provincial de Medio Ambiente de la provincia de Jujuy. En S2 - respecto de S1-, se registró un brusco incremento en los valores de conductividad (aumentos de x6), cloruros (x113), sulfatos (x3), nitritos (x5) y nitratos (x1,2), manteniendo la tendencia hacia S3. Los cloruros en S2 y S3 excedieron el límite sugerido para consumo humano y riego según la Guía de Calidad de Agua, de la Sub-Secretaría Recursos Hídricos - Cuenca del Plata. Para el Sodio (Na⁺), Boro (B³⁺) - aunque no fueron analizados en S2-, se observaron valores altos, superando los límites sugeridos por la Ley provincial de Medio Ambiente de la provincia de Jujuy, decreto reglamentario 5980/2006 para el consumo humano, riego y ganadería. Se registró un incremento en los valores de Na⁺ del 66% entre S1 y S3 (Tabla I). El agua en S2 y S3 debido a los registros de conductividad y SDT, resultaron inapropiadas para su uso como agua de riego (James, Hansks & Jurinak, 1982).

La correlación de Spearman identificó las variables que mostraron elevada correlación ($r > 0,60$) por lo tanto, fueron eliminadas del

análisis multivariado. Las variables que mostraron alta correlación con la conductividad fueron los cloruros y sulfatos ($r = 0,90$). Con la temperatura del agua: la salinidad, oxígeno disuelto, dureza ($r = 0,62$) y ancho del cauce ($r = 0,71$). La profundidad y ancho del cauce ($r \geq 0,80$) con los nitratos, nitritos, cloruros y sulfatos. El ancho con el caudal ($r = 0,72$) y SDT ($r = 0,99$). Para los análisis multivariados - ACP y ACC-, se eliminaron las variables: ancho, caudal, dureza, oxígeno disuelto, salinidad, cloruros, sulfatos, temperatura ambiente y todas las variables que no fueron registradas para los tres sitios. El análisis multivariado - ACP- explicó la variabilidad los registros físicoquímicos en dos ejes, caracterizando a S2 y S3 por la elevada conductividad, SDT, nitritos y nitratos. Del otro extremo del eje, con menores valores de los parámetros se ubica S1, representando las condiciones naturales del arroyo (Figura 2).

Comunidad de macroinvertebrados bentónicos

Se registraron 1044 individuos pertenecientes a 55 taxones (Tabla II). Del total de macroinvertebrados registrados, el 93,3% fueron insectos. El orden mejor representado y con mayor riqueza fue Diptera (52,7%) con 20 morfotipos distribuidos en cinco familias, el orden con menor representación fue Megaloptera con el 0,1% y un sólo morfotipo. La representatividad de los principales órdenes indicadores -Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera- alcanzó el 18,2% mientras que la familia Elmidae (Coleoptera) por sí sola - con cuatro morfotipos-, alcanzó el 18,7%. De la comunidad de macroinvertebrados, los géneros mejor representados fueron *Austrelmis* (Coleoptera: Elmidae) que alcanzó su mayor registro en condiciones naturales del arroyo (44,9%, S1); seguido por Orthocladiinae genus 1 (Diptera: Chironomidae) con el 32% en condiciones de alta salinidad (S3). El orden Ephemeroptera estuvo representado por 8 morfotipos pertenecientes a 4 familias, de las cuales los baétidos obtuvieron la máxima representatividad (6,7%) y caénidos la mínima (0,8%). La máxima densidad (ind/m²) del orden fue en el sitio de mayor conductividad (S3: 196,2), seguido por las condiciones de referencia (S1: 163) y la menor densidad en el sitio del vertido salino (S2: 22,2). La representatividad del orden Trichoptera fue 5,3%, resultando la familia Hydroptilidae la mejor representada con cuatro morfotipos (4,9%). Se citó por primera vez para la provincia de Jujuy al género *Xiphocentron* en estadio de larva. De las 9 familias de Diptera registradas, los ceratopogónidos presentaron dos

morfotipos, estando *Atrichopogon* presente solo en condiciones naturales del arroyo y con baja densidad. De los seis morfotipos de Orthocladiinae, genus 1 fue el mejor representado en los tres sitios, seguido de *Onconeura*. Los ephyridos, simulidos y *Pentaneura* (Tanypodinae) estuvieron presentes en los tres sitios, alcanzando las mayores densidades en S3. Comparando la densidad de las comunidades de macroinvertebrados registradas respecto de S1, se observó una fuerte caída en S2 del 77% con una recuperación en S3 (un 24% de la densidad registrada en S1). El uso de dos métodos de muestreo –cuanti y cualitativo– permitió identificar las especies asociadas a la corriente (cuantitativo, red Surber) y en otros ambientes del río - con corriente, cortocircuitos, bajo las rocas cercano a la ribera, asociados a la vegetación- (cualitativo, red D). El análisis de la riqueza de organismos que viven en la corriente (método cuantitativo) permitió identificar al sitio con menor riqueza (S3: 25 taxa) y máxima a S1 (30 taxa)– sitio que reflejó las condiciones naturales del arroyo- comprendida en un rango de densidad entre 325,7 (S2) y 1410 ind/m² en S1 (Tabla II). El Test t de los registros de densidad total de la comunidad, permitió identificar diferencias entre sitios, pero no significativas estadísticamente ($p=0,1023$). El muestreo de tipo cualitativo permitió incorporar especies presentes en otros hábitats del río. En S1 se incorporaron dos taxa pertenecientes a ambientes de baja corriente y bajo las rocas: *Rhagovelia* (Insecta: Hemiptera) y *Corydalus* (Insecta: Megaloptera) (Tabla II). El S2 se incorporaron seis taxa: *B. huaico*, *N. galera* (Insecta: Ephemeroptera) en zonas de aguas rápidas; Hydroptilidae estadio inmaduro (Insecta: Trichoptera); Stratiomyidae (Insecta: Diptera); *Dryops*, *Heterelmis* (Insecta: Coleoptera) en zonas de menor corriente. En S3 se incorporaron 11 taxa; fue el sitio con mayor aporte de especies pertenecientes a la zona de baja corriente, de baja profundidad y próxima a la ribera: *C. penai*, *T. hiemalis*, *C. ludicra* (Insecta: Ephemeroptera); *Smicridea* (Insecta: Trichoptera); Dixidae, Orthocladiinae (Insecta: Diptera); *Cylloepus*, Hydraenidae (Insecta: Coleoptera); *Ambryssus*, *Limnocoris* (Insecta: Hemiptera); *A. joergenseni* (Insecta: Odonata). El test T aplicado a los registros de riqueza identificó diferencias significativas entre sitios ($p= 0,0032$). Se registraron 15 taxa comunes a los tres sitios: *B. huaico*, *C. penai*, *N. galera*, *L. eximius*, *T. hiemalis* (Insecta: Ephemeroptera); Ceratopogonidae, Orthocladiinae, Orthocladiinae genus 1, *Onconeura*, *Simulium* (Insecta: Diptera); *Austrelmis* (Insecta: Coleoptera); *Limnocoris* (Insecta: Hemiptera); ácaros morfotipos 4 y 5 (Arachnida: Acari) (Tabla

II). Entre el S1 y S2 se identificaron 22 taxa en común sobre un total de 32 taxa. Las 10 taxa que no se registraron en S2, al cambiar las condiciones del arroyo (bajó 6°C la temperatura del agua e incrementaron - principalmente-, los parámetros que miden iones en el agua, nitritos, nitratos y caudal) fueron: *T. cochunaensis*, *Xiphocentron*, *Atrichopogon*, *Gymnomectriocnemus*, *Scatella*, Hidrophiloideo, Acari6 y naididos. De las 22 taxa que permanecieron en S2, sólo tres morfotipos aumentaron su densidad demostrando que, las características ambientales y físicoquímicas en el sitio que recibe el vertido altamente salino resultaron más cercanas a su óptimo: *Metrichia*, Orthocladiinae genus 1 y nematomorfos. En S3 se mantuvieron 16 taxa registradas en S2, sobre las 36 en total. Sólo el 50% de las taxa comunes entre S2 y S3 incrementaron la densidad en S3: *L. eximius*, Orthocladiinae Genus 1, *Onconeura*, *Pentaneura*, *Simulium*, *Tipula*, *Austrelmis*, acari5. Éste conjunto de especies demostró tolerancia a condiciones físicoquímicas de elevada conductividad, sulfatos, cloruros, nitritos, nitratos, elevado contenido de Na⁺, K⁺, B⁺ y presencia de materia orgánica (DQO) (Tabla I, II). Los ensambles de macroinvertebrados bentónicos registrados en los sitios, fueron diferentes. Considerando la composición y estructura del ensamble, los sitios S2 y S3 mostraron la mayor similitud, con Orthocladiinae genus 1, *Onconeura*, *Pentaneura* y acari4 representando la mayor proporción numérica, aunque alternando su dominio e incluyendo taxa exclusivos como *Caenis ludicra* Navás 1924, *Leucotrichia*, *Smicridea*, Dixidae, *Corynoneura*, Stratiomyidae, Tipulidae, *Dryops*, *Cylloepus*, *Heterelmis*, Hydraenidae, *Psephenus*, *Ambryssus*, *A. joergenseni* Ris 1913, *P. complicatus* Selys 1854, *B. furcata* Hagen 1861. Las especies con registro exclusivo en S1 – condiciones naturales del arroyo- fueron: *Atrichopogon*, *Gymnomectriocnemus*, Hidrophiloideo, *Rhagovelia*, acari6 y naididos (ver Tabla II).

El índice de complementariedad resultó alto, mayor al 51% (Tabla II). Lo que indicó que, si bien los valores de riqueza fueron altos y similares, subyace un elevado recambio de especies sensibles por tolerantes, reflejo del cambio en las condiciones que ofrecen los sitios. La complementariedad entre S1 y S2 fue 51,2%; entre S1 y S3 alcanzó el 70% y resultó máxima entre S2 y S3 (78 %).

El cálculo de Diversidad mediante el índice de Shannon identificó valores altos de diversidad en un rango de entre 2,2- 2,3 resultando significativas las diferencias entre sitios (test t, $p= 0,0076$) (Tabla II).

La comparación de las curvas de Whitaker (Figura 3) permitió identificar diferencias en los ensambles de los macroinvertebrados. En S1, en condiciones naturales, *Austrelmis* (Coleoptera: Elmidae) resultó dominante, mientras que las comunidades en S2 y S3 están dominadas por Orthocladiinae genus 1 (Diptera: Chironomidae). El quironómido *Tanytarssus* - fue la segunda especie mejor representada en S1-, siendo registrada también en S2 con una pérdida del 80% de representatividad, no existiendo registros para éste género en S3. El ensamble de las diez primeras taxa que caracterizó a S1 estuvo en un rango de densidad entre 633,3- 40,7 ind/m² estuvo formado por: *Austrelmis*, *Tanytarssus*, *Gymnometriocnemus*, *L. eximius*, acari 4, *Onconeura*, *Simulium*, *T. hiemalis*, *Camptocladius* (Tabla II, Figura 3). El ensamble en S2, de las primeras diez taxa registraron densidades entre 51,9-14,8 ind/m², estuvo conformado por: Orthocladiinae genus1, acari 4, *Onconeura*, *Metricchia*, ceratopogónido, *Simulium*, *Pentaneura*, *Tanytarssus*, nematomorfo (Tabla II, Figura 3). Si bien se registraron taxa comunes a ambos sitios, se observó una disminución en la densidad en S2, que se detalla a continuación: *Tanytarssus* 80%; acari 4, *Onconeura* y *Simulium* 50% (Tabla II). Las diez taxa mejor representadas en S3 registraron un rango de densidad entre 340,7-25,9 ind/m²: Orthocladiinae genus 1, *B. huaico*, *Simulium*, *Scatella*, *Pentaneura*, *Austrelmis*, Leucotrichidae, *Onconeura*, *L. eximius* y acari 4.

Influencia de las variables físicoquímicas en la distribución de macroinvertebrados

El ACC explicó el 90% de la varianza acumulada en dos ejes, poniendo en evidencia una elevada correlación entre las variables físicoquímicas consideradas y las abundancias de las especies (Figura 4). La correlación fue mayor para el eje 1 (0,71) respecto al eje 2 (0,28). *Baetodes huaico*, *T. cochunaensis*, *Corydalis* y *Scatella* mostraron preferencia por valores altos de nitratos y nitritos mientras que Orthocladiinae genus 1 y *Tipula* por valores altos de conductividad y SDT. Estas variables físicoquímicas caracterizaron a S3. Mientras que la preferencia por registros menores de éstas variables - incluida la temperatura del agua-, fueron: *Austrelmis*, Hidrofiloideos, ácaros, *Nais*, *T. hiemalis*, *Camptocladius*, *C. penai* y pérlidos. Las especies que mostraron preferencia por registros intermedios, como los obtenidos en S2 fueron *Paratanytarssus*, *C. ludicra*, *P. complicatus*, *Metricchia*, nematomorpha, *Limnocois*, Orthocladiinae, *Hydroptila*, Ceratopogonidae, Acari y *Onconeura*.

Indices bióticos

El test t, detectó diferencias significativas para los puntajes obtenidos para cada sitio, en tres de los cuatro índices considerados. Para BMWP modificado (p=0,0083), EPT (p= 0,010) y IBY-4 (p=0,0034).

Tabla 1. Caracterización de los sitios: georreferenciación, parámetros físicoquímicos del agua, granulometría del sustrato, morfometría del canal. Referencia: -:- no hay datos.

	S1	S2	S3
Ubicación	23°34'30,0"S 64°35'13,5"W	23°34'34,0" S 64°35'16,5"W	23°34'42,4"S 64°35'8,1"W
Altitud	611	598	573
pH	8,4	8,5	8,5
Temperatura del agua (° C)	14,5	14,5	12,3
Temperatura ambiente (°C)	23	16,5	16
Conductividad (mS /cm)	0,8	4,6	7,3
Sólidos Disueltos Totales (ppt)	0,5	4,6	5,2
Salinidad (ppt)	0,2	3,3	2,6
Oxígeno Disuelto (mg/L)	5,9	>10,0	9,1
Dureza (mg/L)	159	188	181
Cloruros (mg/L)	7	795	1432
Sulfatos (mg/L)	17	51	67
Nitratos (mg/L)	0,5	0,6	1,2
Nitritos (mg/L)	<0,02	0,1	0,22
Ag (mg/L)	< 0,02	-:-	< 0,02

Al (mg/L)	<0,06	--	<0,06
As (mg/L)	<0,10	--	<0,10
B (mg/L)	3,9	--	5,33
Ba (mg/L)	0,32	--	0,31
Be (mg/L)	<0,01	--	< 0,01
Ca (mg/L)	55,82	--	53,82
Cd (mg/L)	< 0,03	--	< 0,03
Co (mg/L)	< 0,006	--	< 0,006
Cr (mg/L)	< 0,01	--	< 0,01
Cu (mg/L)	0,01	--	0,01
Fe (mg/L)	0,05	--	0,3
Hg (mg/L)	< 0,03	--	< 0,03
K (mg/L)	30,09	--	50,86
Li (mg/L)	2,42	--	3,67
Mg (mg/L)	11,92	--	11,18
Mn (mg/L)	0	--	0,01
Mo (mg/L)	< 0,01	--	< 0,01
Na (mg/L)	476,3	--	720,58
Ni (mg/L)	< 0,03	--	< 0,03
P (mg/L)	<0,15	--	< 0,15
Pb (mg/L)	<0,08	--	< 0,08
Pd (mg/L)	< 0,04	--	< 0,04
Sb (mg/L)	< 0,06	--	< 0,06
Se (mg/L)	< 0,15	--	< 0,15
Si (mg/L)	9	--	8,54
Sn (mg/L)	0,11	--	< 0,05
Sr (mg/L)	1,3	--	1,63
Th (mg/L)	< 0,09	--	< 0,09
Tl (mg/L)	< 0,08	--	< 0,08
U (mg/L)	< 0,45	--	< 0,45
V (mg/L)	0,02	--	< 0,01
Zn (mg/L)	0,01	--	0,02
DQO (mg/L)	< 10,00	--	25
Profundidad promedio (m)	0,05	0,45	0,27
Ancho del cauce (m)	5,55	3,1	5,75
Caudal (m ³ /s)	0,087	0,139	0,14

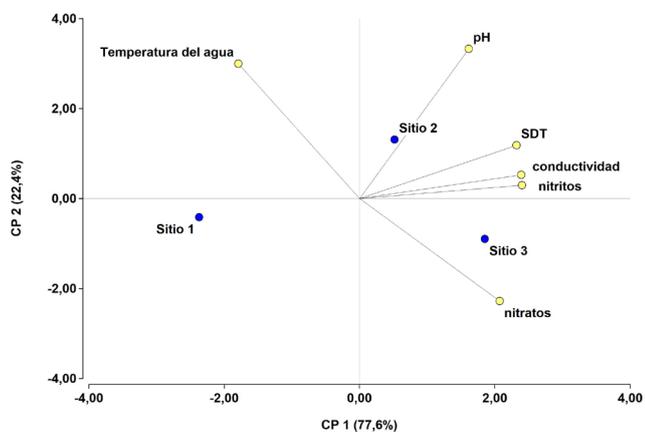


Figura 2. Variabilidad espacial de los sitios respecto las variables físicoquímicas (ACP)

Tabla 2. Densidad (ind/m²), código de morfotipo/especie, atributos comunitarios: riqueza de especies, Índices de Diversidad (Shannon) y complementariedad con respecto al S1. Referencia: xx: taxa registrada por método cualitativo.

Especies/morfotipos	código	S1	S2	S3
Baetidae. <i>Baetodes huaico</i>	BH	29,6	xx	148,1
Baetidae. <i>Camaelobaetidius penai</i>	CP	11,1	3,7	xx
Baetidae. <i>Nanomis galera</i>	NG	14,8	xx	11,1
Leptohyphidae. <i>Leptohyphes eximius</i>	LE	59,3	3,7	29,6
Leptohyphidae. <i>Tricorythodes hiemalis</i>	TH	40,7	7,4	xx
Caenidae. Morfotipo inmaduro	Ci	0	3,7	0
Caenidae. <i>Caenis ludrica</i>	CL	0	3,7	xx
Leptophlebiidae. <i>Thraulodes cochunaensis</i>	TC	7,4	0	7,4
Perlidae. Morfotipo inmaduro	Pi	11,1	3,7	0
Hydroptilidae inmaduro. Morfotipo	Hi	0	xx	18,5
Hydroptilidae <i>Metrichia</i>	ME	3,7	22,2	0
Hydroptilidae. <i>Hydroptila</i>	HY	7,4	7,4	0
Hydroptilidae. <i>Leucotrichia</i> inmaduro	Li	0	0	33,3
Hydropsychidae. <i>Smicridea</i>	SM	0	0	xx
Xiphocentronidae. <i>Xiphocentron</i>	XI	11,1	0	3,7
Ceratopogonidae. Morfotipo	Cei	22,2	22,2	7,4
Ceratopogonidae. <i>Atrichopogon</i>	AT	3,7	0	0
Dixidae. Morfotipo	DX	0	0	xx
Orthoclaadiinae. Morfotipo	Oi	14,8	11,1	xx
Orthoclaadiinae. <i>Camptocladius</i>	CM	40,7	11,1	0
Orthoclaadiinae. <i>Corynoneura</i>	CN	0	0	3,7
Orthoclaadiinae. <i>Gymnomectriocnemus</i>	GY	81,5	0	0
Orthoclaadiinae. <i>Orthoclaadiinae Genus 1</i>	OG	14,8	51,9	340,7
Orthoclaadiinae. <i>Onconeura</i>	ON	51,9	25,9	33,3
Tanypodinae. Morfotipo.	Ti	0	0	3,7
Tanypodinae. <i>Pentaneura</i>	PE	40,7	18,5	74,1
Chironominae. Morfotipo	Ch	0	0	7,4
Chironominae. <i>Stenochironomus</i>	ST	0	3,7	3,7
Chironominae. <i>Paratanytarssus</i>	PT	0	11,1	0
Chironominae. <i>Tanytarssus</i>	TY	92,6	18,5	0
Ephydriidae. <i>Scatella</i>	SC	3,7	0	85,2
Simuliidae. <i>Simulium</i>	SI	44,4	22,2	148,1
Stratiomyidae. Morfotipo	ST	0	xx	0
Tipulidae. Morfotipo 2	Ti	0	0	7,4
Tipulidae. <i>Tipula</i>	TI	0	3,7	7,4
Dryopidae. <i>Dryops</i>	DR	0	xx	0
Elmidae. Morfotipo.	Ei	51,9	7,4	0
Elmidae. <i>Austrelmis</i>	AU	633,3	3,7	44,4
Elmidae. <i>Cylloepus</i>	CY	0	0	xx
Elmidae. <i>Heterelmis</i>	HT	0	xx	0
Hidrophiloideo. Morfotipo	Hp	3,7	0	0
Hydraenidae. Morfotipo	HY	0	0	xx
Psephenidae. <i>Psephenus</i>	PS	0	0	7,4
Naucoridae. <i>Ambryssus</i>	AM	0	0	xx
Naucoridae. <i>Limnocoris</i>	LI	3,7	3,7	xx
Veliidae. <i>Rhagovelia</i>	RH	xx	0	0

Coenagrionidae. <i>Argia joergenseni</i>	AJ	0	0	xx
Gomphidae. <i>Progomphus complicatus</i>	PC	0	3,7	0
Libellulinae. <i>Brachymesia furcata</i>	BF	0	0	3,7
Corydalidae. <i>Corydalus</i>	CD	xx	0	3,7
Acari. Morfotipo 4	A4	59,3	29,6	25,9
Acari. Morfotipo 5	A5	37	7,4	11,1
Acari. Morfotipo 6	A6	3,7	0	0
Naididae <i>Nais</i>	NS	3,7	0	0
Nematomorpha morfotipo	NM	7,4	14,8	0
Densidad de la comunidad		1411	325,7	1070
Riqueza método cuantitativo		30	27	25
Indice de Diversidad (Shannon)		2,334	2,272	2,338
Indice de Dominancia (Simpson)		0,2259	0,2523	0,16
Método cualitativo incrementa taxa (xx)		2	6	11
Riqueza total ambos métodos		32	33	36
Indice complementariedad, respecto S1		1	0,5	0,7

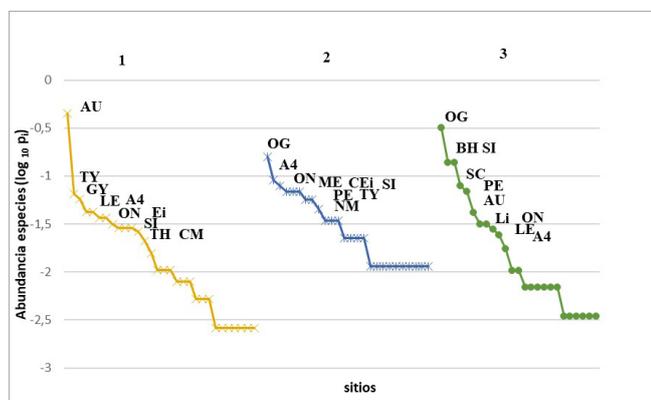


Figura 3. Rango - abundancia de las especies capturadas en los sitios. Ver códigos de sitios y especies en la Tabla 2.

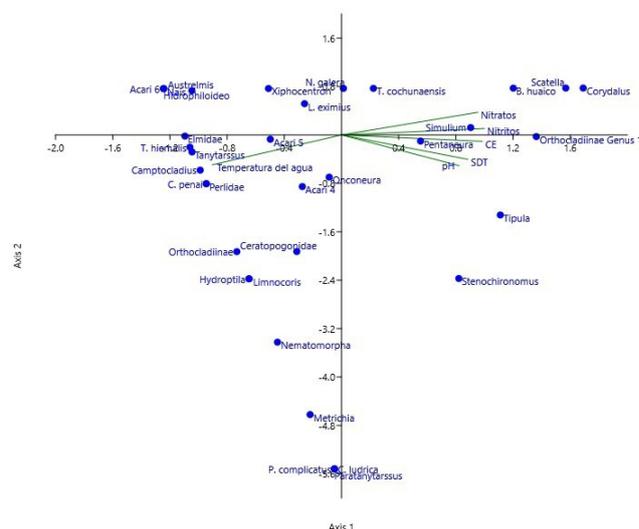


Figura 4. Correlación entre variables físicoquímicas y abundancias de las especies. Análisis de correspondencia canónica: abundancia absoluta de cada especie y principales variables explicativas. (código de especies: ver Tabla 2)

Tabla 3. Índices bióticos para cada sitio

sitio	BMWP modif.		EPT		IBY-4		EIPT	
	puntaje	Calificación	puntaje	Calificación	puntaje	Calificación	puntaje	Calificación
S1	72	no contaminado	10	levemente impactado	3	no impactado	6	mejor calidad
S2	67	no contaminado	8	levemente impactado	3	no impactado	5	menor calidad que sitio 1
S3	90	no contaminado	7	levemente impactado	3	no impactado	5	menor calidad que sitio 1

DISCUSIÓN

Físicoquímica del agua

El presente trabajo permitió caracterizar la físicoquímica del agua del arroyo Yuto en condiciones naturales y en condiciones impactadas por el vertido salino, durante el mes de junio de 2018. Para ríos españoles, la temperatura y salinidad son factores que condicionan la distribución de las familias de macroinvertebrados (Vivas & otros, 2002). En el presente estudio, los registros de temperatura del agua resultaron similares, no así la conductividad, salinidad, cloruros, sodio que mostraron un incremento brusco en S2 y una tendencia al incremento de los valores aguas abajo. Los valores de conductividad, los SDT y la concentración de sales en el arroyo Yuto fueron altos en el sitio prístino – reflejo de la compleja interacción de factores ambientales- y aumentaron al disminuir la altitud como resultado del vertido salino puntual. Un comportamiento opuesto al patrón observado - de las variables que miden la presencia de iones disueltos- fue registrado a lo largo del río Chama, Venezuela, por Segnini & Chacón (2005). Por lo tanto, podríamos aseverar que no existe un patrón general para éstas variables en los cauces de montaña. El estudio de ríos de montaña en Cochabamba (Bolivia) por Maldonado & Goitia (2003) y en los Andes de Ecuador (Monaghan et al., 2000) permitieron concluir que conjunción de factores como la geografía regional, química del suelo, régimen de precipitaciones y el impacto de las actividades humanas explicaron mejor las variaciones químicas del agua de los ríos. Comparando el registro de conductividad, salinidad y SDT registradas en el arroyo Yuto - en condiciones naturales-, estos resultaron entre cuatro a diez veces superior a las registradas para otros ríos de yungas de Jujuy, Tucumán y Catamarca (Colla, César & Salas, 2013; Zelarayán Medina & Salas, 2014; Gonzalez Achem et al., 2015; De Paul, Neder de Román, Vitorro & Villafañe, 2021). También resultaron altos los valores de conductividad del arroyo Yuto, comparados con los obtenidos en ríos otras ecorregiones, como el Monte en Tucumán (Tejerina & Molineri, 2007) y Chaco seco de La Rioja (Hankel, Emmerich & Molineri, 2018). Déjoux (1993) en el estudio de arroyos salinos del altiplano boliviano propuso una relación matemática entre conductividad y salinidad. Estudios realizados en la cuenca del río Salí (Tucumán) proponen que el efecto combinado de las lluvias y conductividad por debajo de los 800 μ S/cm favorecieron la equitatividad en la comunidad de

macroinvertebrados y por encima de ese valor se favoreció la dominancia de taxa tolerantes (Gonzalez Achem et al., 2015). En el presente estudio no se pudo comprobar la capacidad descriptiva de la línea de corte de conductividad propuesta para la cuenca del Salí sobre la estructura de la comunidad de macroinvertebrados, aun cuando ambas áreas de estudio comparten similar régimen de precipitaciones, porque el S1 presentó ese valor como punto de partida. En el arroyo Yuto - con una salinidad en condiciones naturales mayor que otros ríos de yungas, monte y chaco seco- la inflexión y cambio en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados se observó a los 4,6 mS/cm (Romero et al., 2010; Colla et al., 2013; Pero et al., 2019). El referente de concentración de conductividad que marcó un cambio en la comunidad fue mayor (4,6 mS/cm) marcando una inflexión en el reemplazo de taxa, evidenciado en un índice de complementariedad entre sitios \geq 50%. Los valores de oxígeno fueron altos (5,9- 10 mg/L) no imponiendo restricciones a las especies respecto a su disponibilidad, coincidiendo con los registros de ríos de yungas de Jujuy y Catamarca y de otras ecorregiones como monte y chaco de Catamarca y La Rioja (Colla et al., 2013; Hankel et al., 2018; Gomez & Molineri, 2021). Respecto de la concentración de nitratos registrada en el arroyo Yuto permitió afirmar que las aguas no se encuentran eutrofizadas según la Organización Mundial de la Salud (< 50 mg/L), resultando no aptas para consumo humano y riego. Los nitritos y nitratos en el presente estudio fueron variables con importante capacidad para explicar la variabilidad espacial y correlación con las abundancias de las especies a diferencia de lo obtenido por Mesa (2010) en la cuenca del Lules.

Estructura de la comunidad de macroinvertebrados

El presente trabajo permitió identificar la estructura de la comunidad de macroinvertebrados y ensambles característicos de las condiciones naturales y con elevada salinidad, en la época invernal y estiaje del arroyo Yuto. La elevada representatividad de Insecta en el arroyo Yuto (93,3%) coincidió con lo observado en otros cursos de agua con características ecológicas comparables (Salas 2005; Romero et al. 2010; Zelarayán Medina & Salas, 2014; Pero et al. 2019) y fue superior comparada con la obtenida para el río Grande Jujuy (60%) (Gómez & Molineri, 2021). Asimismo, la contribución relativa de los órdenes Diptera, Trichoptera, Ephemeroptera y Coleoptera,

se correspondió con la esperada para ríos subtropicales (Flecker & Fleifarek, 1994; Jacobsen & Encalada, 1998). Diptera, Ephemeroptera y Coleoptera representaron el 90,7% de los individuos colectados en el presente estudio, mientras que Trichoptera y Plecoptera representaron solo el 3,8%. Los resultados obtenidos en el presente estudio contrastaron con los realizados en el mismo arroyo en el año 2012, en el cual los Trichoptera y Plecoptera alcanzaron alta representatividad (Pizzolini et al., 2012). La representatividad de los órdenes de Insecta obtenida para el arroyo Yuto resultó similar a ríos de yungas de Catamarca, con la excepción que los Trichoptera e Hydrachnida que resultaron mejor representados comparados con el arroyo Yuto (Colla et al., 2013; Zelayarán Medina y Salas, 2014). El orden Diptera fue el más diverso en el arroyo Yuto y coincidió con lo registrado para el río Grande de Jujuy y ríos del monte seco de Catamarca y La Rioja (Hankel et al., 2018; Gómez & Molineri, 2021). En el río Tala de Catamarca, en un rango de altitudinal comprendido entre 1424-864 msnm, también fue el orden Diptera el mejor representado a igual que en el Yuto, pero con la diferencia que el orden Trichoptera fue el más diverso (Colla et al., 2013). En los ríos y arroyos de Salta y Jujuy estudiados por von Ellenrieder (2007) el orden Coleoptera fue el más diverso. De lo anterior se podría afirmar que, si bien no hay un patrón general claro para ríos de Yungas, el orden Diptera sería el mejor representado en la comunidad de macroinvertebrados y la familia Elmidae sería un buen indicador de calidad del agua con una importante representatividad y diversidad en cursos de montaña. El análisis de las curvas de Whitaker evidenció dos grandes grupos de ensambles. El presente en las condiciones naturales del arroyo (S1) dominado por *Austrelmis*, quironómidos de las subfamilias Orthocladiinae, Chironominae y la familia Leptohyphidae. El ensamble tolerante a conductividades elevadas, presente en S2 y S3, con diferencias de representatividad de algunas especies y otras exclusivas, estuvo dominado por Orthocladiinae genus 1, acari4, Diptera – chironomidae, ephyrididae- Ephemeroptera (baetidae, leptohyphidae), hidrotípidos. Los ensambles de especies registradas en el arroyo Yuto coincidieron con algunas diferencias al patrón de distribución propuesto por Pero et al. (2019) para las yungas, estribaciones del bosque (FH). El registro en el arroyo Yuto de Orthocladiinae, *Onconeura*, Chironominae, *Pentaneura*, *Corynoneura* coincidió con el patrón propuesto por Tejerina & Molineri (2007) para las Yungas bajas. Sin embargo, la representatividad de *Tanytarssus*

resultó baja en el Yuto comparada a la registrada para las sierras de San Luis (Medina & Paggi, 2004). Se identificaron similares características de tolerancia a la salinidad para los ephyrididae, coleópteros, odonatos y hemípteros en cuencas del sureste de la península ibérica (río Aguas, Segura y Almanzora) con condiciones xéricas, altitudes bajas y elevada mineralización (Vivas y otros, 2002). Si bien Orthocladiinae genus 1 fue común a los tres sitios, la mayor densidad la alcanzó en S2 (51,9 ind/m²) y S3 (340,7 ind/m²) demostrando con el análisis de correspondencia, la eutolerancia de la especie a las condiciones presentes en el arroyo, especialmente a variaciones de conductividad, nitritos y nitratos. Los géneros que estuvieron mejor representados y comunes a los sitios - *Austrelmis* y Orthocladiinae genus 1- demostraron a través del análisis de la variabilidad de la densidad y correlación, ser eutolerantes a las condiciones presentes en el arroyo Yuto, pero presentando preferencias por condiciones físicoquímicas distintas. *Austrelmis* registró la mayor densidad en condiciones de menor conductividad mientras que Orthocladiinae en el sitio con máximos registros.

Similar comportamiento fue registrado para *Austrelmis* en ríos del chaco seco, resultando ser un género común a todos los sitios tanto en los de máxima como mínima salinidad (Hankel et al., 2018). El rol indicador de la familia Elmidae para los ríos de yungas de Jujuy y Salta fue destacado previamente por Von Ellenrieder (2007) e identificada su sensibilidad al aporte de sedimentos en ríos de Bolivia por Fossati et al. (2001).

Atributos ecológicos

Los valores de riqueza en el arroyo Yuto (55 taxa) fueron superiores a los registrados en el río Las Juntas de Catamarca (19 taxa) y menores a los registrados para la cuenca del Salí y Lules de Tucumán (76 taxa) y para ríos y arroyos de yungas de Salta y Jujuy (143 taxa) (Von Ellenrieder, 2007; Romero et al., 2010). El análisis de la riqueza mediante test t identificó diferencias significativas entre los sitios ($p=0,0032$). La riqueza fue una herramienta eficaz para analizar el efecto de la salinidad sobre las comunidades. Coincidió ésta valoración con la obtenida en el estudio de ríos y arroyos de Tucumán (Gonzalez Achem et al., 2015). Los valores de diversidad obtenidas en el arroyo Yuto son comparables a los obtenidos por Fernández et al., (2001) y Von Ellenrieder (2007) en ríos de yungas del noroeste de Argentina y levemente

menor con el registrado para el río Las Juntas de Catamarca (Zelarayán Medina y Salas, 2014). El análisis t identificó diferencias significativas para la diversidad de Shannon ($p=0,0076$) en el arroyo Yuto, pero no para la densidad. El estudio en ríos españoles permitió identificar el complejo efecto de la salinidad sobre las comunidades biológicas provocando la eliminación de taxones de agua dulce y el reemplazo por especies tolerantes (Cañedo-Arguelles et al., 2019). La composición de la comunidad de macroinvertebrados en el arroyo Yuto evidenció diferencias espaciales. La mayor diferencia del índice de complementariedad se identificó entre las condiciones de referencia y las impactadas, 78% (entre S1 y S3 respectivamente). La riqueza y los índices de diversidad de Shannon y de complementariedad resultaron buenos indicadores de cambios entre sitios, detectando diferencias en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados (Tabla 2).

Correlación entre variables físicoquímicas y abundancias

El análisis CCA permitió identificar correlaciones entre las especies que toleran elevados registros de conductividad y concentraciones elevadas de nitritos y nitratos: Orthocladiinae, *Tipula*, *Stenochironomus*; *Simulium*, *Scatella*, *Pentaneura*, *B. huaico* y *Corydalus*. En el presente estudio las variables morfométricas fueron importantes para caracterizar y diferenciar sitios – ancho, profundidad, velocidad de la corriente, caudal – como la temperatura del agua, pero fueron eliminadas del análisis de ACC, debido a que demostraron presentar una elevada correlación entre ellas. La familia Elmidae (Insecta: Coleoptera) con un género dominante *Austrelmis* y el orden Diptera fueron los mejor representados en el arroyo Yuto tanto por la densidad como por la riqueza. La representatividad de los dípteros en el arroyo Yuto mostró una tendencia creciente desde S1 a S3, con la familia Chironomidae como dominante, demostrando poseer una gran plasticidad para adaptarse tanto a condiciones naturales propias del arroyo como impactadas (Merritt & Cummins 1996). Los quironómidos alcanzaron la máxima representatividad en el S3, con la subfamilia Orthocladiinae como dominante. La tendencia creciente de la densidad de los Orthocladiinae hacia S3 coincidió con la tendencia de algunas variables físicoquímicas y morfométricas como la salinidad, materia orgánica, oxígeno disuelto, caudal y ancho del cauce y presencia de macrófitas. Estas variables, algunas fueron incluídas en el ACC,

otras eliminadas por evidenciar correlación entre ellas, afectando a la microdistribución de las larvas favoreciendo a los Orthocladiinae y afectando a otras. La presencia de elementos que aumentaron la heterogeneidad del ambiente, como hojas, ramas, macrófitos contribuyeron no sólo a ofrecer una mayor oferta de hábitat y refugio para las larvas, sino que representan una mayor disponibilidad de alimentos. Ramirez & Pringle (2006) y García & Añón Suarez (2007) sostienen que en ríos tropicales los valores altos de nitratos favorecen a la población de quironómidos. En el arroyo Yuto se observó un incremento en los valores de nitratos hacia S3, coincidiendo con el incremento en la densidad del grupo y con el análisis de correspondencia canónica.

La correlación entre máxima conductividad y densidad de quironómidos Orthocladiinae, como se registró en el arroyo Yuto ha sido observada también en ríos de Catamarca por Rodríguez Garay et al. (2020). En el arroyo Yuto se observó que la presencia de macrófitos aumentó desde S1 hacia S3, componente que fue analizado en ríos patagónicos y mostró una correlación positiva con la densidad de macroinvertebrados y chironómidos especialmente (Velásquez & Miserendino, 2003). Coincidió el patrón observado en el arroyo Yuto con el presente en los ríos patagónicos. El rol de la vegetación sumergida o semisumergida es favorecer tanto la disponibilidad de alimento, como la oxigenación y refugio para las larvas de macroinvertebrados en general y en particular para las de quironómidos. En el arroyo Yuto, durante época seca analizada predominó la subfamilia Orthocladiinae sobre la Chironominae, coincidente este patrón con lo observado para la estación seca de los ríos y arroyos de la ecorregión del chaco en Catamarca (Rodríguez Garay et al., 2020).

Índices bióticos

Para el análisis de la calidad del agua se utilizaron índices bióticos de uso común y adaptados a la ecorregión de Yungas. Los índices BMWPmodificado, EPT y ELPT permitieron identificar diferencias significativas entre sitios, coincidentes con un patrón de variabilidad observado en la riqueza, diversidad y físicoquímica del agua.

Pero si bien el análisis estadístico permitió encontrar diferencias de puntaje significativas entre sitios, el puntaje obtenido no fue suficiente diferente como para cambiar la calificación en BMWP y EPT. Para los tres sitios, según BMWP, la

calidad del agua fue como “no contaminada” y para EPT, los tres calificaron como sitios levemente impactados. El índice EIPT resultó sensible para marcar diferencias entre dos grupos, S1 con máxima calidad y los restantes sitios (S2 y S3) con menor calidad, pero igual entre ellos. El IBY-4 fue el menos sensible de los índices analizados y no permitió identificar diferencias de calidad del agua entre sitios. La calificación obtenida por éste índice fue la de sitios no impactados, valoración que no coincide con los cambios detectados por el análisis de la riqueza, curvas de Whitaker, diversidad, y complementariedad.

CONCLUSIONES

El estudio se basa en un muestreo acotado sin repetición anual, aspecto que restringe el análisis y conclusiones. Se destaca la importancia de publicar los únicos datos provenientes de un biomonitoreo que refleja tanto las condiciones de referencia del arroyo Yuto como las impactadas por el efluente del pozo E3-Caimancito. Estos resultados constituyen un punto de partida para posteriores investigaciones. El efecto de la salinidad sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos es complejo y plantea un desafío para la evaluación a través de métricas ecológicas de manera individual. La evaluación del efecto de la salinidad sobre la comunidad de macroinvertebrados requiere el uso de varias herramientas y un análisis integrado de los resultados. La riqueza, diversidad de Shannon, curvas de Whitaker, complementariedad y los índices bióticos adaptados a la región (BMWP modificado para el NOA; EPT, EIPT) fueron útiles para discriminar los cambios entre los sitios. Este trabajo contribuyó a conformar una línea de base preliminar del arroyo Yuto que podrá ser utilizada para la gestión de la biodiversidad y calidad del agua. La identificación de especies tolerantes a la salinidad y correlación con variables físicoquímicas del agua podrán ser utilizados para el ajuste de los índices bióticos de la región.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Ing. Pedro Campero por su asistencia con la logística de campo y coordinación para facilitar el acceso al área de selva. Agradecemos a la Facultad de Ciencias Agrarias por el préstamo de equipamiento de laboratorio y apoyo presupuestario de la Secretaría de Ciencia y Tecnología y Estudios Regionales de la Universidad

Nacional de Jujuy (proyectos B 039).

BIBLIOGRAFÍA

- Abdol Hamid, H. R., Kassim, W. M. S., El Hishir, A. & El-Jawashi, S. A. S. (2008). Risk assessment and remediation suggestion of impacted soil by produced water associated with oil production. *Environ Monit Assess.* 145: 95-102. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-0018-3>.
- APHA. (2005) American Public Health Association. *Standard Methods for the Examination of Water, Sewage and Wastewater.* 21th edition. Washington DC.
- Armitage, P. D., Moss, D., Wright, J. F. & Furse, M. T. (1983). The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running water sites. *Water Research*, 17(3), 333-347.
- Braun Wilke, R., Santos, E., Picchetti, L., Larrán, M., Guzmán, G., Colarich, C. & Casoli, C. (2013). Carta de aptitud ambiental de la provincia de Jujuy. Ediunju. San Salvador de Jujuy.
- Bray, J. P., Reich, J., Nichols, S. J., Kon Kam King, G., Mac Nally, R., Thompson, R., O'Reilly-Nugent, A. & Kefford, B. J. (2019). Biological interactions mediate context and species specific sensitivities to salinity. *Phil. Trans. R. Soc. B* 374: 20180020. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2018.0020>
- Cabrera, A. L. (1976). Regiones fitogeográficas argentinas. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería.* Ed. Acme. Buenos Aires.
- Cañedo-Argüelles Iglesias, M. (2020). A review of recent advances and future challenges in freshwater salinization. *Limnetica*, 39(1): 185-211. DOI: 10.23818/limn.39.13
- Cañedo-Argüelles, M., Kefford, B. & Schafer, R. (2019). Salt in freshwater: causes, effects and prospects- introduction to theme issue. *Phil. Trans. R. Soc. B.*, 374: 20180002. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2018.0002>.
- Carrera Reyes, C. & Fierro Peralbo, K. (2001). *Manual*

- de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. 1°ed. EcoCiencia. Ecuador. 70pp
- Colla, M. F., Cesar, I. I. & Salas, L. B. (2013). Benthic insects of the El Tala River (Catamarca, Argentina): longitudinal variation of their structure and the use of insects to assess water quality. *Brazilian Journal of Biology* 73 (2): 357-36
- Déjoux, C. (1993). Benthic invertebrates of some saline lakes of the Sud Lipez region, Bolivia. In *Saline Lakes V* (pp. 257-267). Springer, Dordrecht
- De Paul, M. A., Neder de Román, E. L., Víturro, C. I. & Villafañe, J. P. 2021. Distribución espacio - temporal de Ephemeroptera (Arthropoda: Insecta) en ríos de Yungas de Jujuy (Argentina). *Biología Acuática* 36: 1-13
- Domínguez, E. & Fernández, H. R. (1998). Calidad de los ríos de la cuenca del Salí (Tucumán, Argentina) medida por un índice biótico. *Serie Conservación de la Naturaleza*, Fundación Miguel Lillo. Tucumán.
- Domínguez, E. & Fernández, H. R. (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. *Sistemática y Biología*. Tucumán, Argentina: Fundación Miguel Lillo.
- Dos Santos, D. A., Molineri, C., Reynaga, M. C. & Basualdo, C. (2011). Which index is the best to assess stream health? *Ecological Indicators*, 11, 582-589.
- Feinsinger, P. (2004). Diseño de estudios de campo para la conservación de la biodiversidad. FAN Fundación Amigos de la Naturaleza, Bolivia. funk.
- Finlayson, C. M., Everard, M., Irvine, K., McInnes, R. J., Middleton, B. A., van Dam, A. A. & Davidson, N. C. (2016). *El Libro de los Humedales*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6172-8_257-2
- Flecker, A. & Fleifarek, B. (1994). Disturbance and the temporal variability of invertebrate assemblages in two Andean streams. *Freshwater Biology*. 31: 131-142.
- Fossatti, O, Wasson JC, Hery C, Salinas G & R Marin. (2001). Impact of sediment releases on water chemistry and macroinvertebrate communities in clear water Andean streams (Bolivia). *Arch. Hydrobiol.* 151(1): 33-50.
- García, P. E. & Añón Suárez, D. A. (2007). Community structure and phenology of chironomids (Insecta: Chironomidae) in a Patagonian Andean stream. *Limnologica* 37: 109-117.
- Gomez, G. C. & Molineri, C. (2021). Water quality assessment through biotic indices in a heterogeneous basin (Río Grande, Jujuy, Argentina). *Ecología Austral* 32: 1-9
- Gonzalez Achem, A. L., Rolandi & Fernández, H. R. (2015). Saline waters and macroinvertebrates in subtropical Andean streams. *Ecología Austral*, 25:26-36.
- Hankel, G. E., Emmerich, D. & Molineri, C. (2018). Macroinvertebrados bentónicos de ríos de zonas áridas del noroeste argentino. *Ecología Austral* 28:435-445.
- Hamada, N., Thorp, J. H. & Rogers, D. C. (Eds.). (2018). Thorp and Covich's *Freshwater Invertebrates: Volume 3: Keys to Neotropical Hexapoda*. Academic Press.
- Jacobsen, D. & Encalada, A. (1998). The macroinvertebrate fauna of Ecuadorian Highland streams and the influence of wet and dry seasons. *Archiv für Hydrobiologie*. 142: 53-70.
- James, D., Hansks, R. & Jurinak, J. (1982). *Modern irrigated soils*. Wiley, New York
- Klemm, D. J., Lewis, P. A., Fulk, F. & Lazorchak, J. M. (1990). Macroinvertebrate field and laboratory methods for evaluating the Biological Integrity of Surface Waters. EPA/600/4-90/030. U. S. Environmental protection Agency. Environmental Monitoring. Systems Laboratory, Cincinnati, Ohio, Washington D. C.
- Ley provincial de medio ambiente de la provincia de Jujuy. (2017). http://www.ambientejujuy.gob.ar/wp-content/uploads/2017/12/COMPENDIO-DE-LEYES-AMBIENTALES-IUJUY_2017.pdf

- Maldonado, M. & Goitia, E. (2003). Las hidrorregiones del departamento de Cochabamba. *Revista Boliviana de Ecología*, 13, 117-141.
- Medina, A. I. & Paggi, A. C. (2004). Composición y abundancia de Chironomidae (Diptera) en un río serrano de zona semiárida (San Luis, Argentina). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina* 63: 107-118.
- Merritt, R. & Cummins, K. (Eds). (1996). *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. Kendall/Hunt Publishing Company, Iowa, 862 p
- Mesa, L. M. (2010). Effect of spates and land use on macroinvertebrate community in Neotropical Andean streams. *Hydrobiologia*, 641:85-95.
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. M&T-Manuales y Tesis SEA (p.84) vol. 1. Zaragoza, España
- Monahan, K. A., Peck, M. P., Brewin, P. A., Masiero, M., Zarate, E., Turcotte, P. & Ormerod, S. J. (2000). Macroinvertebrate distribution in Ecuadorian hill streams: the effects of altitude and land use. *Arch. Hydrobiol.*, 149(3): 421-440.
- Pero, E. J. I., Hankel, G. E., Molineri, C. & Domínguez, E. (2019). Correspondence between stream benthic macroinvertebrate assemblages and ecoregions in northwestern Argentina. *Freshw Sci* 38:64-76
- Pizzolini, I., Vargas Rodríguez, N., Alancay, G., Apumaita, T., Alejo, G., Torrejón, S. E., Morales López, T., Jurado, N., Romero, C. & Alfaro, A. (2012). Comunidades bentónicas indicadoras de calidad en ríos afectados por actividad petrolera en cercanías del Parque Nacional Calillegua Jujuy. *Acta Reunión Argentina de Ecología*. Universidad Nacional de Luján. Bs. As. https://www.conicet.gov.ar/new_scp/detalle.php?keywords=&id=47227&congresos=yes&detalles=yes&congr_id=5272279
- Ramírez, A. & Pringle, C. M. (2006). Fast growth and turnover of chironomid assemblages in response to stream phosphorus levels in a tropical lowland landscape. *Limnol Oceanogr* 51: 189-196.
- Romero, F., Fernández, H. R., Molineri, C., Domínguez, E. & Grau, H. R. (2010). Ecología de ríos y arroyos de la Sierra de San Javier. *Ecología regional de una interfase natural-urbana. La Sierra de San Javier y el Gran San Miguel de Tucumán*, 77-92.
- Rodríguez Garay, G. N., Paggi, A. C. & Scheibler E. E. (2020). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 92(2): DOI 10.1590/0001-3765202020190953
- Rosenberg, D. M. & Resh, V. H. (1993). *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. New York Chapman & Hall. 488 pp.
- Salas, L. (2005). Biodiversity of mountain stream benthonic insects and their application to test the biological quality of the water. *Biocell* 29(1): 85.
- Segnini, S. (2003). El uso de macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente. *Ecotrópicos*, 16(2): 45-63.
- Segnini, S. & Chacón M. M. (2005). Caracterización físicoquímica del hábitat interno y ribereño de los ríos andinos en la cordillera de Mérida, Venezuela. *Ecotropicos*, 18(1), 38-61.
- Tejerina, E. & Molineri, C. (2007). Comunidades de Chironomidae (Diptera) en arroyos de montaña del NOA: comparación entre Yungas y Monte. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*. 66 (3-4): 169-177
- Velásquez, S. M. & Miserendino, M. L. (2003). Habitat type and macroinvertebrate assemblages in low order Patagonian streams. *Arch Hydrobiol* 158: 461-483.
- Vergani, G. & Grosso, S. (2008). Geología del petróleo en la Provincia de Jujuy. In: B. Coira, & E. O. Zappettini (Eds.). *Relatorio del XVII Congreso Geológico Argentino* (pp. 542-550). Buenos Aires, Imprenta del S.R.L.
- Vivas, S., Casas, J., Pardo, I., Robles, S., Bonada, N., Mellado, A, ... & Moya, G. (2002). Aproximación multivariante en la exploración de la tolerancia ambiental de las familias de macroinvertebrados de los ríos mediterráneos del proyecto GUADALMED. *Limnetica*, 21(3-4):

149-173.

- von Ellenrieder, N. (2007). Composition and structure of aquatic insect assemblages of Yungas mountain cloud forest streams in NW Argentina. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 66 (3-4), 57-76.
- Ward, J., Tockner, K., Arscott, D. & Claret, C. (2002). Riverine landscape diversity. *Freshwater Biology* 47: 517-539.
- Zelarayán Medina, G. F. & Salas, L. B. (2014). Estructura y Variación Espacial de las Colectividades de Artrópodos en el Río "Las Juntas" (Catamarca, Argentina) *Huayllu-Bios* 8:15-39

