



Licenciatura en Ciencias Biológicas 2025

Trabajo Final de Graduación

Estudio de comunidades de Podostemáceas e invertebrados asociados en ambientes reófilos de la Provincia de Misiones, Argentina

Milessi Micaela

Directora: Zambiasio, Violeta
Codirectora: Monti Areco, Florencia
Laboratorios: Ecología Vegetal y Biología de los Invertebrados





AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE) y a todos los docentes que participaron desde el comienzo hasta el final en mi formación como profesional.

A mi familia, que me ha brindado su apoyo incondicional a la distancia. En especial, a mis padres y a mi hermana, quienes han estado a mi lado desde aquel primer momento en que un docente del nivel secundario me habló sobre la carrera de Biología, hasta el día en que tomé la decisión de emprender el camino para alcanzar mi sueño de estudiar la profesión que amo. Si bien no fue fácil estar a 3.500 km de distancia durante tantos años, ellos han sido y seguirán siendo mi principal fuente de motivación. Su apoyo constante, sus llamadas llenas de aliento y sus palabras de amor han sido fundamentales en los momentos más difíciles. Aunque quizá no lo sepan en su totalidad, ellos han sido la razón por la que comencé este recorrido y por la que hoy he llegado hasta aquí. A pesar de las dificultades y diferencias naturales dentro de toda familia, su presencia ha sido inquebrantable, y por ello les estaré eternamente agradecida.

A mis directoras, por su constante acompañamiento, por brindarme su apoyo en cada interrogante que surgió y por proporcionarme las herramientas necesarias para llevar a cabo este trabajo.

A mis amigas de Río Gallegos, quienes nunca dejaron de acompañarme desde el inicio de este camino. Su presencia, aunque a la distancia, me reconfortó en los momentos de soledad y nostalgia, especialmente en los primeros años. Meli, Tami, Nay y Cami, sus llamadas fueron un refugio que alivió la distancia.

A los amigos que hice durante mi paso por la universidad, quienes me acompañaron en el cursado y, de una u otra manera, contribuyeron a que siguiera adelante. Gracias por los momentos compartidos, por ayudarme a despejar mi mente en tiempos de caos y por ser parte de esta etapa tan importante. Clara, Kaisa, Vicky, Flor A., Bianca, Nico y Gabi, su amistad ha sido invaluable. Asimismo, agradezco a aquellos amigos ajenos a mi carrera, pero que, a pesar del corto tiempo de conocernos, siempre estuvieron para escucharme y apoyarme cuando más lo necesité. Eze, Ivi y Magi, su compañía ha sido fundamental.

Agradezco al jurado Luciana Gallardo, Juan Manuel Coronel y Mario Ibarra Polesel, por sus valiosas sugerencias, las cuales contribuyeron significativamente a la mejora del plan de trabajo.



ÍNDICE

RESUMEN	2
INTRODUCCIÓN	3
Objetivos generales	5
Objetivos particulares	5
Hipótesis.....	5
MATERIALES Y METODOS	6
Área de estudio	6
Procesamiento de muestras en laboratorio	7
Análisis de datos	8
RESULTADOS	9
DISCUSIÓN.....	18
CONCLUSIÓN.....	20
BIBLIOGRAFÍA	22
ANEXO	24

RESUMEN

Las Podostemaceae son familias de angiospermas acuáticas adaptadas a corrientes rápidas y alta turbulencia, son elementos clave en la estabilización de sustratos y en la provisión de hábitats para macroinvertebrados acuáticos. Estas plantas, como *Podostemum muelleri*, *Podostemum distichium*, *Podostemum rutifolium*, *Apinagia riedelii* y *Tristichia trifaria*, presentan adaptaciones morfológicas que les permiten prosperar en ambientes de alta energía, donde desempeñan un rol estructural y funcional crucial. El objetivo del presente trabajo fue analizar la composición florística de las comunidades de Podostemaceae y la estructura de los ensambles de macroinvertebrados asociados que habitan ambientes reófilos de la provincia de Misiones (Argentina) para comprender su papel en la estructuración de los ecosistemas acuáticos. Las muestras fueron recolectadas en cuatro sitios representativos: Saltos del Moconá, Arroyo del Medio, Arroyo Mborá y Arroyo Yazá, en distintas épocas del año. Se registraron diferencias significativas en la composición y diversidad de macroinvertebrados asociados a las Podostemaceae, determinadas por las características morfológicas de las plantas y las condiciones específicas de cada sitio. En los Saltos del Moconá la comunidad de Podostemaceae estuvo constituida por dos especies, *T. trifaria* y *P. muelleri*, entre ambas presentan una alta complejidad estructural que generan microhábitats diversos y favorecen la coexistencia de una gran diversidad de organismos, lo que llevó a que se destaque como el área con mayor riqueza de familias (20) y abundancia de invertebrados (2327 individuos). En contraste, el Arroyo Yazá, dominado una comunidad monoespecífica formada por *A. riedelii*, mostró la menor riqueza (8) y abundancia (103 individuos) de macroinvertebrados, asociada a la menor complejidad morfológica de esta especie, lo que limita la disponibilidad de microhábitats. Por su parte, los arroyos del Medio y Mborá presentaron una riqueza y abundancia de macroinvertebrados intermedia, con comunidades estructuradas en función de las especies presentes y la heterogeneidad de los hábitats. Los resultados podrían destacar la influencia de las Podostemaceae en la configuración de las comunidades de macroinvertebrados, no solo como hábitats, sino también como estabilizadoras del ecosistema fluvial, promoviendo el reciclaje de nutrientes y la diversidad trófica. Este estudio enfatiza la necesidad de conservar estos ambientes y sus especies asociadas, ya que su degradación podría comprometer la biodiversidad y el equilibrio ecológico de los ríos de Misiones.

INTRODUCCIÓN

Las Podostemaceae se distribuyen principalmente en regiones tropicales y subtropicales del mundo, con una notable presencia en América, África y Asia (Odinetz-Collart et al., 2001; Tavares et al., 2006). En América del Sur, especialmente en la región amazónica y el noreste de Argentina, se encuentra la mayor diversidad de esta familia, favorecida por las condiciones óptimas que ofrecen los ecosistemas fluviales para su desarrollo (Fontana, 2014; Zambiasio et al., 2019).

Estas plantas desempeñan un papel crucial como componentes de la vegetación reófila, proporcionando refugio, áreas de reproducción y alimento para diversas comunidades de animales, en particular macroinvertebrados acuáticos como insectos, crustáceos y moluscos (Fontana, 2014). Además, contribuyen a la estabilización de los sustratos rocosos y a la mitigación de procesos erosivos, favoreciendo la conectividad ecológica (Odinetz-Collart et al., 2001; Fontana, 2014).

La provincia de Misiones, situada en el noreste de Argentina, es una región de gran riqueza natural. Su territorio está delimitado por los sistemas fluviales del río Paraná al oeste y el río Uruguay al este y sur, que actúan como corredores ecológicos fundamentales. Con un clima subtropical húmedo, la provincia cuenta con una extensa red hidrográfica que atraviesa paisajes de selva y rocas basálticas (Fontana, 2014; Giraudo, 2017).


Dentro de la región fitogeográfica Paranaense, Misiones alberga varias áreas protegidas, como el Parque Nacional Iguazú, el Parque Provincial Uruguá-í y la Reserva de la Biosfera Yabotí (Arana et al., 2021). Estos espacios desempeñan un papel clave en la conservación de la biodiversidad regional (Fontana, 2014; Manzo et al., 2014). La red hidrográfica de la provincia sustenta una flora y fauna especializadas, adaptadas a flujos constantes y cambios estacionales del régimen hidrológico.

Entre estos ambientes destacan los ecosistemas reófilos, caracterizados por aguas de gran velocidad, alta turbulencia y elevada saturación de oxígeno. Estos incluyen ríos de corrientes rápidas, cascadas y rápidos, en contraste con cursos de agua más lentos o temporales (Tavares et al., 2006; Fontana, 2014; Giraudo, 2017).

Las macrófitas desempeñan un papel fundamental en los ambientes acuáticos. Estas plantas presentan formas de crecimiento adaptadas a la fuerza hidráulica, predominando aquellas con hojas divididas, largas y flexibles. Entre ellas, las Podostemaceae, comúnmente llamadas "hierbas de cascada" o "plantas de ríos", destacan por su notable especialización para habitar ambientes reófilos (Tavares et al., 2006; Fontana, 2014).

La familia Podostemaceae exhibe una gran variabilidad morfológica. Algunas especies tienen hojas rígidas y grandes, como el género *Mourera*, mientras que otras, como *Apinagia*, *Podostemum* y *Marathrum*, presentan hojas finamente divididas. También existen formas semejantes a musgos, como en *Tristicha*. Por lo general, estas plantas son de color verde oscuro y poseen raíces especializadas que les permiten adherirse a sustratos rocosos.

El género *Podostemum* es el más común dentro de esta familia y forman densos mantos vegetales que cubren rocas e incluso estructuras artificiales, como represas. Estas comunidades



suelen estar representadas por una o dos especies del género, a veces acompañadas por *Tristicha* (Fontana, 2014).

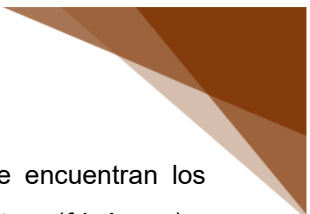
Las interacciones ecológicas entre las Podostemaceae y los macroinvertebrados han sido estudiadas en diversas regiones, aunque con una cobertura geográfica limitada. Investigaciones recientes en América Central y del Sur (p. ej., Bethin et al., 2022) han reportado una notable diversidad de artrópodos asociados a estas plantas, destacando su papel clave en el funcionamiento de los ecosistemas fluviales. Estas interacciones no solo influyen en la estructuración de redes tróficas, sino que también facilitan procesos ecológicos fundamentales, como el reciclaje de nutrientes. Además, se ha demostrado que las Podostemaceae no solo proporcionan hábitats para el desarrollo de larvas de insectos, sino que también sirven como sustrato para comunidades de invertebrados filtradores y raspadores. Estos grupos contribuyen significativamente a la dinámica de los nutrientes a la configuración de las redes tróficas en sistemas acuáticos locales.

Además, las Podostemaceae actúan como indicadores clave de la salud de los ecosistemas fluviales (Odinetz-Collart et al., 2001; Tavares et al., 2006; Domínguez, 2009; Fontana, 2014; Zambiasio et al., 2019). Sin embargo, sus funciones estructurales están amenazadas por perturbaciones humanas, como la regulación de caudales, la contaminación y la deforestación, lo que afecta negativamente la biodiversidad de estos ecosistemas (Zambiasio et al., 2019; Romero, 2022).

A pesar de los avances en el conocimiento de estas asociaciones, los estudios sobre vegetación reófila y los invertebrados asociados siguen siendo escasos y se concentran en áreas puntuales. En Sudamérica, la investigación se ha limitado a Paraguay (Tur, 1999), Brasil (Odinetz-Collart et al., 2001; Tavares et al., 1998, 2006; Jäger-Zürn et al., 2013), Venezuela (Bethin et al., 2022), Surinam (Bethin et al., 2022), Costa Rica (Bethin et al., 2022), Colombia (Jäger-Zürn et al., 2013) y México (Jäger-Zürn et al., 2013). Esto evidencia la necesidad de ampliar estos estudios a otras regiones y ecosistemas aún poco explorados.

En Argentina, existen pocos estudios publicados sobre este tema. En la provincia de Misiones, Chatellenaz (2007) describió la fauna de vertebrados e invertebrados observados en Podostemaceae de los Saltos del Moconá. Por su parte, Fontana (2014) analizó la composición y características de las comunidades de esta familia en distintos arroyos de la provincia, y Manzo et al. (2014) mencionan los conjuntos de insectos acuáticos del Parque Provincial Uruguay-í. Otros estudios relevantes incluyen el trabajo de Zambiasio et al. (2019), que analizó la relación entre las Podostemaceae y los invertebrados en los arroyos Acaraguá y del Medio, considerando la variación estacional y la función ecológica. Además, Romero (2022) registró algunas especies de lepidópteros acuáticos y semiacuáticos vinculados a estas plantas.

En el nordeste argentino, los conocimientos actuales sobre la vegetación reófila y las comunidades que incluyen Podostemaceae son limitados y, en ciertos aspectos, como el hábitat y la composición florística, prácticamente inexistentes (Fontana, 2014; Zambiasio et al., 2019). Los estudios realizados en ambientes reófilos de Misiones han revelado una alta diversidad de macroinvertebrados



asociados a estas comunidades vegetales. Entre los grupos más destacados se encuentran los insectos acuáticos, particularmente los órdenes Ephemeroptera (efímeras), Trichoptera (frigáneas) y Diptera, con especial énfasis en la familia Chironomidae (larvas de quironómidos). Estos organismos han sido ampliamente reportados como los más abundantes y diversos en hábitats reófilos. Su capacidad de adaptación a los flujos constantes y su adhesión a superficies rocosas cubiertas por estas plantas explican su predominancia (Chatellenaz, 2007; Fontana, 2014; Zambiasio et al., 2019).

El vacío de información es particularmente relevante considerando que las Podostemaceae son componentes clave en los ecosistemas fluviales, no sólo por su capacidad de adaptarse a ambientes de alta energía, sino también por su interacción con comunidades de macroinvertebrados. Estas asociaciones biológicas desempeñan un rol crucial en el equilibrio ecológico, ya que contribuyen a la estabilidad de los sustratos y al sostenimiento de redes tróficas esenciales para la biodiversidad local (Odinetz-Collart et al., 2001; Bethin et al., 2022). Por ello, resulta indispensable profundizar en el estudio de estos hábitats únicos y sus comunidades asociadas, con el fin de generar información que permita implementar estrategias de manejo y conservación efectivas.

Objetivo General

Analizar la composición florística de las comunidades de Podostemaceae y la estructura de los ensambles de macroinvertebrados asociados que habitan ambientes reófilos de la provincia de Misiones (Argentina) para comprender su papel en la estructuración de los ecosistemas acuáticos.

Objetivos particulares

1. Describir los ensambles de invertebrados asociados a las comunidades de Podostemaceae en términos de riqueza y abundancia de órdenes y familias.
2. Comparar la riqueza y abundancia de los invertebrados asociados a diferentes especies de Podostemaceae provenientes de distintos arroyos de la provincia de Misiones.

HIPÓTESIS

La diversidad biológica de los ensambles de invertebrados asociados con las comunidades de Podostemáceas en ambientes reófilos de la provincia de Misiones (Argentina) depende de la composición taxonómica de las especies vegetales.

- ✓ **Predicción 1:** los ensambles de invertebrados asociados con las Podostemaceae varían en riqueza y abundancia entre los diferentes sitios de muestreo. Sitios con mayor diversidad de Podostemaceae albergan comunidades de invertebrados más diversas.
- ✓ **Predicción 2:** la riqueza y abundancia de invertebrados difiere significativamente entre las diferentes especies de Podostemaceae. Algunas especies pueden presentar una composición característica de invertebrados diferente a la registrada en otras especies de Podostemáceas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Las muestras utilizadas en este estudio fueron recolectadas en cuatro ambientes reófilos (Arroyo Mborá, A° Yazá, A° del Medio y los Saltos del Moconá) de la provincia de Misiones, durante épocas cálidas y frías de los años 2003, 2006, 2007 y 2011 (Figura 1). Dichas muestras se obtuvieron siguiendo la metodología descrita por Zambiasio et al. (2019) y actualmente forman parte del Herbarium Humboldtianum (CTESN) de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura (FaCENA) de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). El muestreo se llevó a cabo en el marco de un proyecto de investigación con fines fitosociológicos. Las muestras se preservaron en frascos con alcohol al 70%.

Arroyo del Medio:

Localizado en la región centro-norte de Misiones (Figura 1A), este arroyo se caracteriza por una corriente moderada y una estructura de hábitats diversa que incluye zonas rocosas, arenosas y áreas con acumulación de detritos (Zambiasio et al., 2012, 2019). Según Zambiasio et al. (2019), las Podostemaceae presentes en este ambiente desempeñan un papel crucial al proporcionar refugio y áreas de alimentación para los macroinvertebrados bentónicos, promoviendo la biodiversidad y la dinámica del ecosistema acuático

Arroyo Yazá y Arroyo Mborá:

Estos arroyos del noreste misionero se enmarcan en un entorno de selva subtropical (Figura 1B y D), con agua transparente, fresca y rica en oxígeno disuelto, condiciones óptimas para el desarrollo de Podostemáceae. De acuerdo con Fontana (2014), las especies de esta familia desempeñan un papel esencial en estos arroyos, sirviendo como sustrato y refugio para comunidades de invertebrados acuáticos que dependen de estas plantas para su desarrollo y supervivencia.

Saltos del Moconá:

Ubicado sobre el curso del río Uruguay, este sitio se distingue por sus cascadas longitudinales únicas, formadas por una falla geológica (Figura 1C). Las aguas torrenciales y los sustratos rocosos del área generan hábitats ideales para la vegetación reófila, incluyendo especies de Podostemaceae. Según Chatellenaz (2007), esta vegetación, adaptada a la alta humedad y la corriente constante, constituye un microhábitat clave para diversas familias de macroinvertebrados.

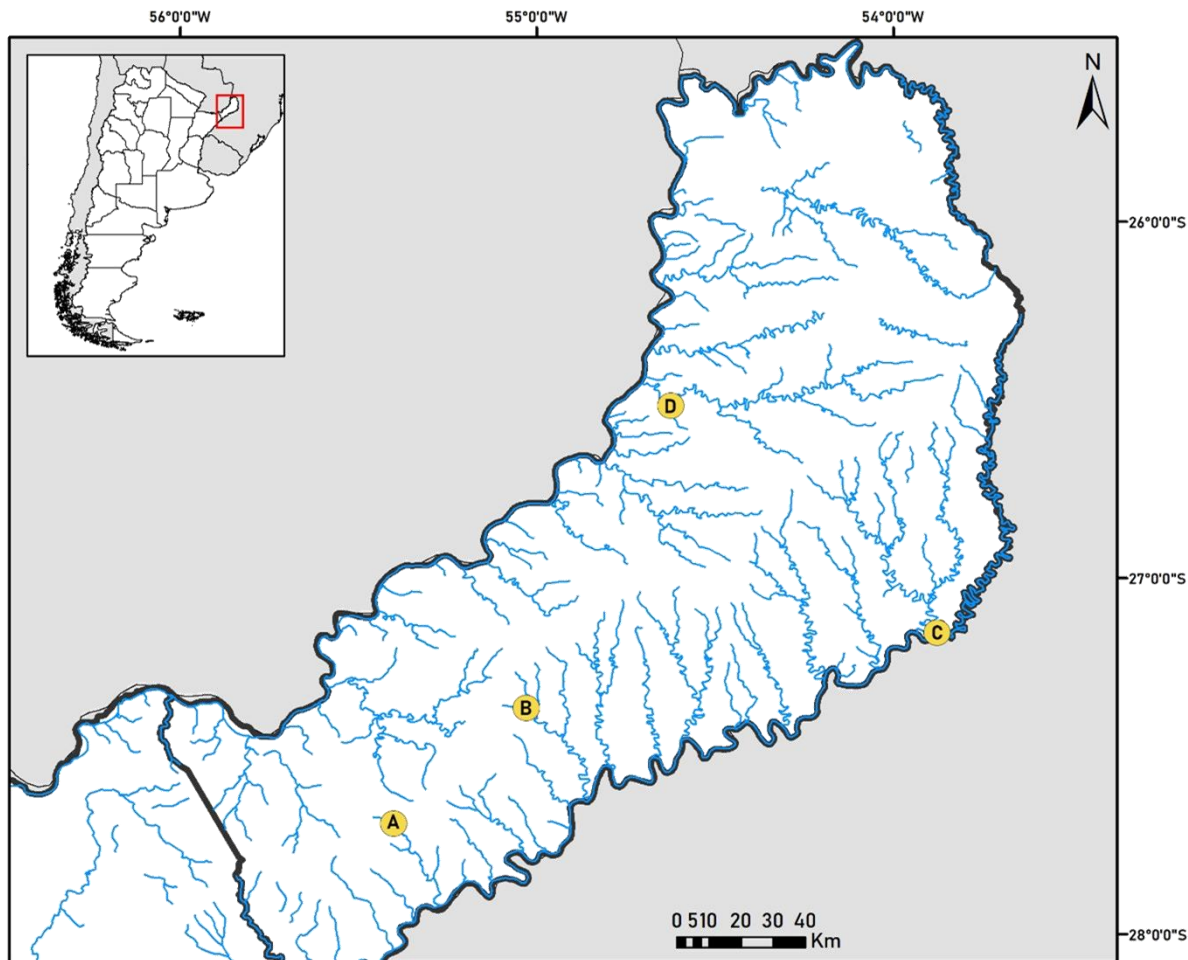


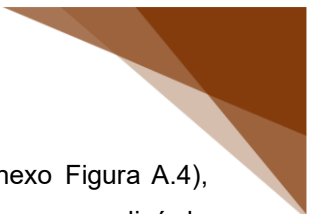
Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio en la Provincia de Misiones, Argentina.

Las letras indican los distintos sitios muestreados. A. Arroyo del Medio; B. Arroyo Yazá; C. Saltos Del Moconá; D. Arroyo Mborá.

Procesamiento de muestras en laboratorio

Identificación de las especies de Podostemaceae: se analizó detalladamente la forma y disposición de las hojas, que pueden variar desde enteras hasta altamente divididas, evidenciando una notable plasticidad fenotípica. También, se examinaron los tallos que presentan variaciones estructurales significativas, pudiendo ser muy cortos, alargados y ramificados, o incluso estar reducidos o prácticamente ausentes en algunas especies. Para la determinación taxonómica se emplearon los trabajos de Fontana (2017) y Tur (1997, 2006). La nomenclatura fue actualizada conforme a la *Flora del Cono Sur de América del Sur* (Zuloaga et al., s. f.).

Identificación de invertebrados asociados: los macroinvertebrados fueron separados manualmente de las Podostemaceae. El material fue examinado minuciosamente en cápsulas de Petri con pinzas de punta fina bajo lupa binocular. Se realizó documentación fotográfica sistemática a diferentes aumentos con cámara digital Cannon EOS Rebel T3i adaptada: 12,5x (ver Anexo Figura



A.1), 16x (ver Anexo Figura A.2), 35x (ver Anexo Figura A.3), 10x y 30x (ver Anexo Figura A.4), garantizando la resolución óptima para el análisis morfológico. Posteriormente, se realizó la determinación taxonómica de los ejemplares hasta niveles de clase, orden y familia, utilizando claves especializadas (Lopretto y Tell, 1995; Trivinho-Strixino y Strixino, 1995; Merritt y Cummins, 1996; Thorp y Covich, 2001; Domínguez y Fernández, 2009; Ramírez, 2010).

Análisis de datos

Se analizó la composición de los invertebrados asociados a las comunidades de Podostemaceae en los ambientes reófilos muestreados. Se calculó la riqueza (S) y los índices de diversidad de Shannon (H) y Dominancia de Simpson (D). Además, se confeccionó curvas de rango-abundancia (Whittaker) para comparar la estructura de las comunidades de invertebrados asociadas a los diferentes ambientes analizados. La composición de los invertebrados asociados a las comunidades de Podostemaceae entre los distintos ambientes se comparó mediante el análisis de diversidad β , utilizando el índice de Sørensen ($\beta S\text{ØR}$). Se estimó la diversidad beta múltiple, para reconocer cuál es el elemento que más estaría influyendo en las diferencias observadas. Estos elementos son: betaSIM = diversidad beta explicada por el reemplazo de familias; betaSNE = diversidad beta explicada por la pérdida / ganancia de familias (diferencias de riqueza). Todos los análisis estadísticos y representaciones gráficas fueron realizados empleando el software R (versión 4.4.2; R Core Team, 2024) y Past (versión 4.09-32).

RESULTADOS

Identificación de las diferentes especies de Podostemaceae

Se identificaron las siguientes especies de Podostemaceae: *Podostemum muelleri* Warm, *Podostemum distichum* (Cham.) Wedd., *Podostemum rutifolium* Warm, *Apinagia riedeli* (Bong.) Tul. y *Tristichia trifaria* (Bory ex Willd.) Spreng.

En el caso de *Podostemum muelleri* se distingue por sus tallos compactos y cortos (Figura 2A), junto con hojas que varían entre formas enteras y divididas dependiendo de las condiciones ambientales, evidenciando una notable plasticidad fenotípica. En este caso, las hojas muestran una división muy marcada (Figura 2C).

Por otro lado, *Podostemum distichum* se distingue fácilmente por la disposición de sus hojas, las cuales, al igual que en *P. muelleri*, están muy divididas (Figura 3C). Sin embargo, en *P. distichum*, estas se organizan en dos filas opuestas, una disposición conocida como dística. Además, sus tallos son alargados, lo que le permite adaptarse a áreas con distintas intensidades de flujo (Figura 3A).

En contraste, *Podostemum rutifolium* presenta estructuras más robustas, cuya arquitectura favorece la captura de nutrientes en ambientes de alta turbulencia (Figura 4).

En *Apinagia riedeli*, los tallos suelen ser horizontales y presentan una ramificación moderada, lo que facilita su anclaje a las rocas bajo flujos constantes. Sus hojas, generalmente laciniadas y filiformes, están adaptadas para minimizar la resistencia al agua, lo que les permite sobrevivir en corrientes rápidas. Sin embargo, el espécimen analizado carecía de hojas, como se observa en la Figura 5.

Finalmente, *Tristichia trifaria* destaca por la disposición trifaria de sus hojas, lo que significa que están dispuestas en tres filas a lo largo del tallo (Figura 6). Esta característica optimiza su exposición a la luz y la captación de recursos en entornos acuáticos complejos. Sus tallos son alargados y relativamente delgados, optimizados para el anclaje en superficies rocosas irregulares.

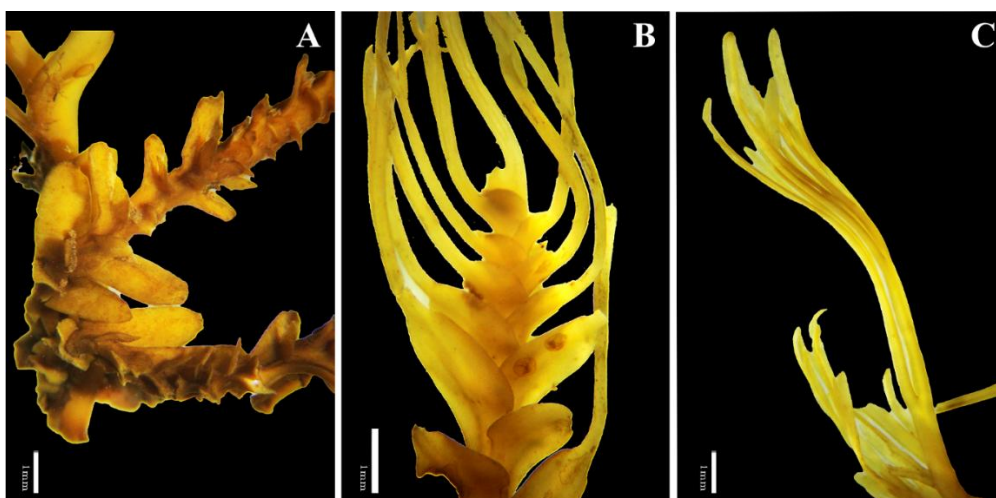


Figura 2. *Podostemum muelleri*; A. Detalle de la base del tallo; B. Detalle de la hoja; C. Sección terminal de las hojas

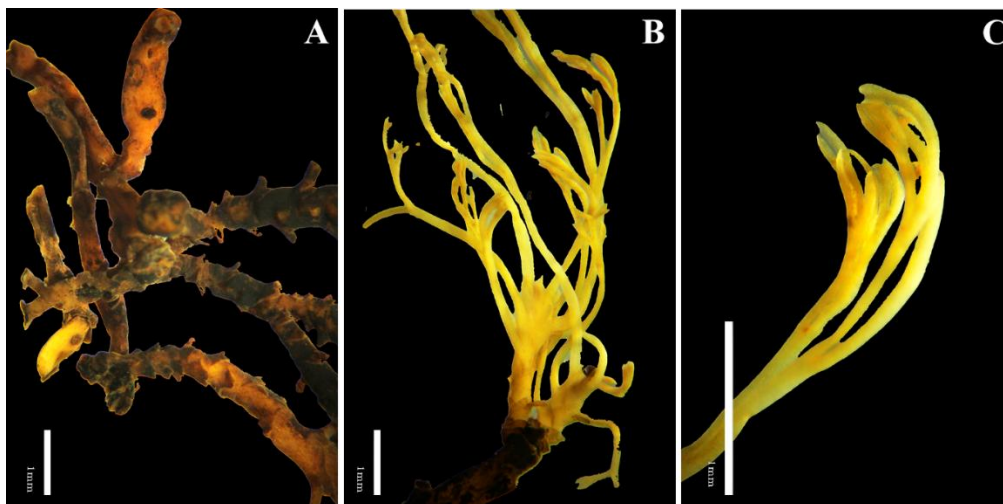


Figura 3. *Podostemum distichum*; A. Detalle de la base del tallo y B. Detalle de la hoja;
C. Sección terminal de las hojas

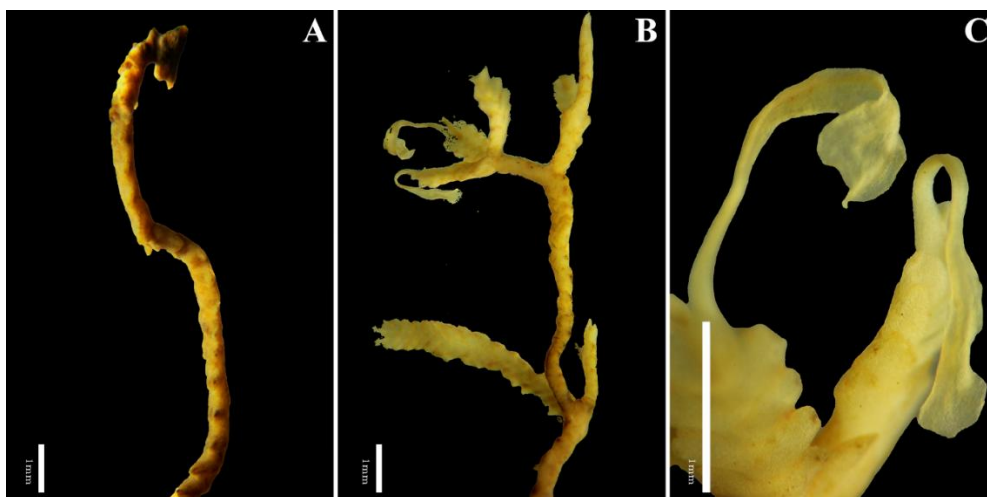


Figura 4. *Podostemum rutifolium*; A. Detalle del tallo y B. Detalle de la hoja;
C. Sección terminal de las hojas



Figura 5. *Apinagia riedeli*; A. Detalle la base del tallo; B. Detalle de la ramificación;
C. Sección terminal

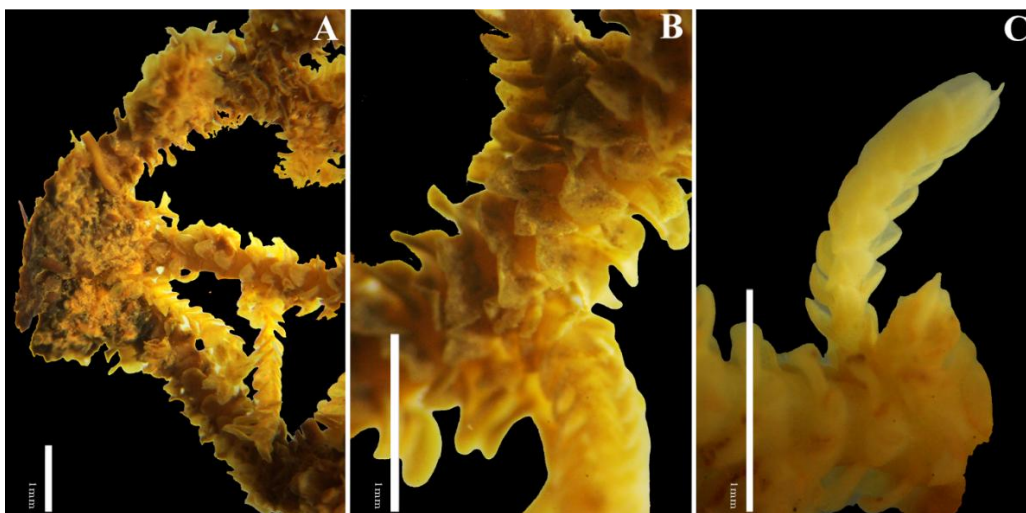


Figura 6. *Tristichia trifaria*; A. Detalle de la base del tallo; B. Detalle de la hoja; C. Sección terminal de las hojas

Ensamblajes de invertebrados asociados a las comunidades de Podostemaceae

En el análisis de los invertebrados asociados a las Podostemaceae, se identificó un total de 22 familias, distribuidas en 11 órdenes y pertenecientes a 3 phyla. La mayoría de las familias pertenecen al phylum Arthropoda, seguido por Mollusca (con dos familias) y Annelida (representado por una sola familia).


En el Arroyo del Medio, se identificó la especie *P. distichum*, a la cual estuvieron asociadas 512 individuos pertenecientes a 13 familias, donde destacaron Simuliidae, Chironomidae y Hydropsychidae (Tabla 1).

En el Arroyo Mborá, se reconocieron tres especies de Podostemaceae: *P. muelleri*, *P. rutifolium* y *T. trifaria*. Estas estuvieron asociadas a 259 individuos de 13 familias de macroinvertebrados predominando Chironomidae, Hydropsychidae y Hydroptilidae (Tabla 1).

En el Arroyo Yazá se registró la especie *A. riedelii* con 103 ejemplares de invertebrados asociados pertenecientes a 8 familias resaltando Chironomidae y Elmidae (Tabla 1).

En los Saltos del Moconá, se identificaron dos especies de Podostemaceae: *T. trifaria* y *P. muelleri*. La asociación faunística mostró patrones diferenciales entre ambas especies vegetales. *P. muelleri*, presentó una mayor abundancia (1683 individuos) y riqueza (16 familias), con dominancia de Chironomidae, Hydropsychidae y Hyalellidae. En el caso de *T. trifaria*, se contabilizó 644 individuos (14 familias), con predominio de Chironomidae, Hydropsychidae y Hydroptilidae (Tabla 1).

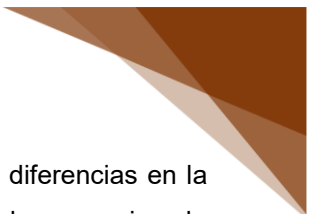
En todas las muestras analizadas se registró la presencia de Chironomidae, Baetidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae y Hydrachnidia, las cuales presentaron variaciones significativas en su abundancia. Estas diferencias se debieron, principalmente, a las características morfológicas de las distintas especies de Podostemaceae con las que estaban asociadas. En el caso de Chironomidae, todos los sitios presentaron una abundancia elevada; sin embargo, el Arroyo Yazá destacó por presentar los valores más bajos. Por otro lado, Hydropsychidae exhibió una mayor variación de sus



abundancias: la más baja se registró en el Arroyo Yazá, con solo cuatro ejemplares, en contraste con los Saltos del Moconá, particularmente en zonas donde predominaba *P. muelleri*. De igual modo, Hydrachnidia y Hydroptilidae registraron sus menores abundancias en el Arroyo Yazá, mientras que los valores más altos se documentaron en los Saltos del Moconá. Finalmente, las larvas de Baetidae presentaron una baja abundancia en la mayoría de las muestras, excepto en los Saltos del Moconá, donde su presencia se incrementó notablemente (Tabla 1).

Tabla 1: Abundancias de las familias de invertebrados asociadas a Podostemaceae de cuatro ambientes reófilos de la Provincia de Misiones (Argentina): Saltos del Moconá, Arroyos del Medio, Yazá y Mborá.

FILUM/CLASE/ ORDEN	FAMILIA	Arroyo del Medio	Arroyo Yazá	Arroyo Mborá	Saltos del Moconá	
		<i>P. distichum</i>	<i>A. riedelii</i>	<i>P. muelleri</i> , <i>T. trifaria</i> y <i>P. rutifolium</i>	<i>P. muelleri</i>	<i>T. trifaria</i>
ANNELIDA Oligochaeta	No identificado			1	41	3
ARTHROPODA						
Amphipoda	Hyalellidae				361	
Arachnida Hydrachnidia	No identificado	8	2	7	12	15
Hexapoda						
Coleoptera	Elmidae	77	59	36		15
Diptera	Chironomidae	173	33	106	687	452
	Empididae	1			27	2
	Simuliidae	181		1	100	9
Ephemeroptera	Baetidae	9	1	2	13	1
	Leptohyphidae					17
	Leptophlebiidae	3	1	3		9
Hemiptera	Aphididae					1
	Naucoridae				1	
Lepidoptera	Crambidae	6		4	70	
Megaloptera	Corydalidae	2				
Odonata	Libellulidae			1	1	
Plecoptera	Gripopterygidae	1	1			
	Perlidae	7		1	3	
Trichoptera	Hydropsychidae	40	4	40	256	40
	Hydroptilidae	4	2	56	11	78
	Philopotamidae			1	12	
MOLLUSCA						
Gastropoda	Ancylidae				39	6
	Planorbidae				49	2



Entre los sitios de muestreo analizados (Tabla 2), se observaron marcadas diferencias en la diversidad alfa de los invertebrados asociados, influenciadas principalmente por las especies de Podostemaceae presentes y las características del hábitat. En particular, en los Saltos del Moconá, donde se identificaron *P. muelleri* y *T. trifaria*, se registró la mayor riqueza de familias (20) y abundancia de individuos (2327). Asimismo, este sitio presentó los valores más altos de diversidad, tanto en el índice de Shannon (1,779) como en el de Simpson (0,714), indicando una comunidad diversa y equitativa.

En el Arroyo del Medio, donde se identificó *P. distichum*, la riqueza de familias fue intermedia (13), con una abundancia total de 512 individuos. Aunque los índices de diversidad (Shannon=1,591 y Simpson=0,732), fueron elevados, estos resultaron inferiores a los registrados en los Saltos del Moconá. Esta diferencia sugiere que, a pesar de una diversidad moderada, la comunidad de invertebrados en este sitio exhibe una estructura menos compleja en comparación.

El Arroyo Mborá, donde se encontraron *P. muelleri*, *P. rutifolium* y *T. trifaria*, presentó una riqueza de familias similar al Arroyo del Medio (13), pero con una menor abundancia total (259 individuos). A pesar de esto, el índice de Shannon (1,641) fue ligeramente superior, indicando una comunidad diversa y equitativa en términos de abundancia de familias.

En contraste, el Arroyo Yazá, asociado a *A. riedeli*, mostró la menor riqueza de familias (8) y abundancia (103 individuos). Este sitio tuvo los valores más bajos en los índices de diversidad (Shannon: 1,132; Simpson: 0,572) y el mayor índice de dominancia (0,427), reflejando una comunidad dominada por unas pocas familias (Tabla 1), posiblemente debido a las características específicas de esta planta.

En todos los sitios, los índices de dominancia y equitatividad revelaron que las comunidades estuvieron influenciadas no solo por la abundancia de invertebrados, sino también por las diferencias estructurales y funcionales de las Podostemaceae presentes. Estas plantas parecen desempeñar un papel clave en la configuración de la diversidad alfa, ofreciendo hábitats que varían en complejidad y capacidad de soporte para los invertebrados.

Tabla 2: Índices de diversidad α y abundancia de las familias de macroinvertebrados registrados en las Podostemaceae pertenecientes a cuatro ambientes reófilos de la Provincia de Misiones (Argentina): Saltos del Moconá, Arroyos del Medio, Yazá y Mborá.

	A° del Medio	A° Yazá	A° Mborá	Saltos del Moconá
Riqueza de familias(S)	13	8	13	20
Abundancia (N°ind.)	512	103	259	2327
Dominancia (D)	0,267	0,429	0,255	0,285
Simpson (1-D)	0,732	0,572	0,744	0,714
Shannon (H)	1,591	1,132	1,641	1,779

Las curvas de rango-abundancia muestran diferencias significativas en la composición y estructura de las comunidades de macroinvertebrados asociados a las Podostemaceae en los cuatro ambientes lóticos estudiados (Figura 7). En los Saltos del Moconá (SM), presenta una marcada longitud y pendiente pronunciada, lo que evidencia una elevada riqueza de familias. Este patrón responde a la complejidad estructural proporcionada por *P. muelleri* y *T. trifaria*, junto con la dominancia de unas pocas familias (Chironomidae y Hyalellidae). En contraste, el Arroyo del Medio (AM) muestra una curva con características intermedias tanto en longitud como en pendiente, indicando una riqueza moderada y distribución más equitativa de los organismos. Este ambiente, sustentado principalmente por *P. ditrichium* alberga comunidades funcionales diversas, destacándose grupos tróficos como filtradores y raspadores. El Arroyo Mborá (AMb) presenta una curva con pendiente suave y longitud reducida, reflejando una menor riqueza, pero una elevada equidad. Este patrón está asociado a la presencia de *P. muelleri*, *P. rutifolium* y *T. trifaria* así como al limitado número de muestras recolectadas. Por último, el Arroyo Yazá (AY) presenta la curva más corta y con la menor pendiente, indicando la menor riqueza de macroinvertebrados entre los sitios estudiados. Esta comunidad, asociada principalmente a *Apinagia riedelii* está dominada por familias como Chironomidae, Hydropsychidae y Elmidae, mostrando una estructura comunitaria notablemente menos diversa que los demás ambientes analizados.

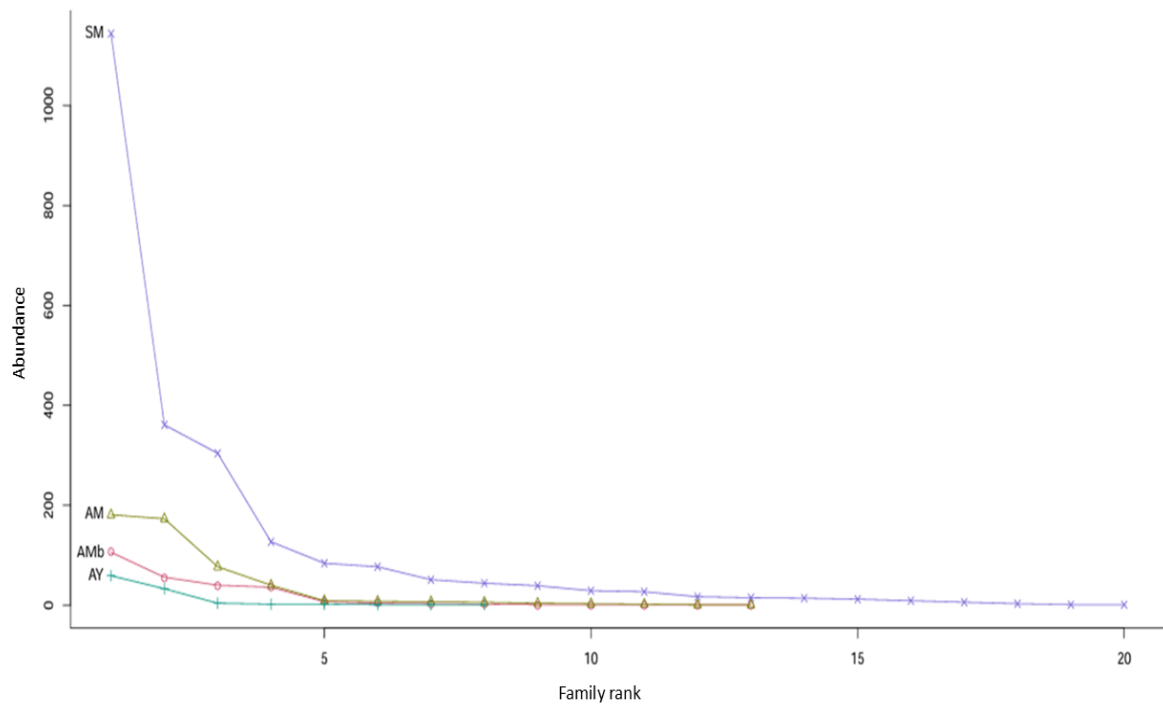


Figura 7. Curva de Rango-Abundancia para los ensambles de invertebrados asociados a Podostemaceae en los distintos ambientes analizados en la Provincia de Misiones. Saltos del Moconá (SM); Arroyo del Medio (AM); Arroyo Mbora (AMb) y Arroyo Yazá (AY)

Los resultados de los análisis de diversidad beta indican diferencias en la composición de las comunidades de invertebrados asociadas a los cuatro ambientes reófilos estudiados, mostrando una disimilitud general del 44%. El análisis de la diversidad beta múltiple reveló que el principal componente explicativo de esta variación fue la pérdida/ganancia de familias (β_{sne}), el cual contribuyó con el 25,9% de la disimilitud total observada. (Figura 8).

Los análisis por pares de sitios demostraron variaciones significativas, destacando una disimilitud entre las comunidades de invertebrados del Arroyo Yazá y Saltos del Moconá (50%). El análisis de partición de la diversidad beta reveló que el principal componente explicativo de esta variación fue la pérdida/ganancia de familias ($\beta_{sne}=37.5\%$). Por el contrario, se evidenció una notable similitud ($\beta_{sor} = 21\%$) entre las comunidades asociadas a Podostemaceae del Arroyo Mborá y los Saltos del Moconá, sugiriendo una composición faunística compartida entre estos sitios (Figura 8).

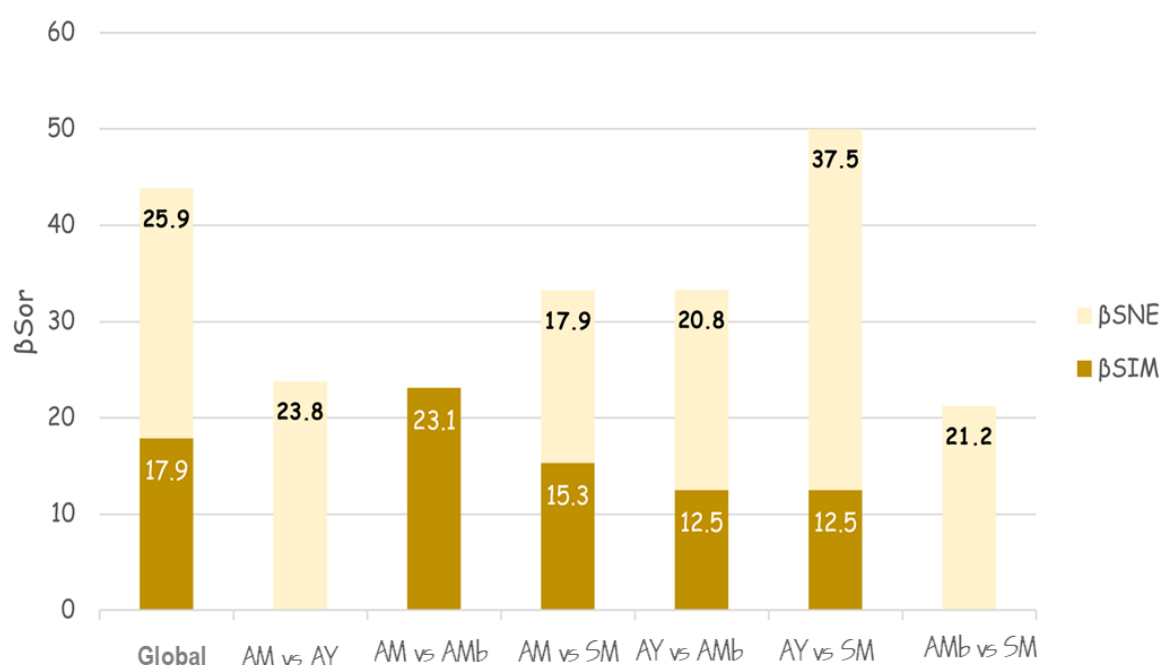


Figura 8. Diversidad β . Componentes de β Partición y análisis de los sitios muestreados de la Provincia de Misiones (Argentina): Saltos del Moconá (SM), Arroyos del Medio (AM), Yazá (AY) y Mborá (AMb) de a pares, en base al Índice de Sørensen.

DISCUSIÓN

Con respecto al objetivo general, los resultados obtenidos en este estudio destacan la influencia de la estructura morfológica de las Podostemaceae en la diversidad y abundancia de macroinvertebrados en ambientes reófilos. La complejidad estructural de estas plantas ha sido identificada como un factor clave en la generación de microhábitats y en la regulación de la comunidad biológica asociada (Chatellenaz, 2007; Fontana, 2014). Esto concuerda con estudios previos que han demostrado que las especies de Podostemaceae con estructuras más complejas favorecen una mayor riqueza y equidad de especies en comparación con aquellas de morfología simple (Tavares et al., 1998, 2006; Zambiasio et al., 2019).


Considerando el primer objetivo particular, en los Saltos del Moconá, donde predominan *Podostemum muelleri* y *Tristichia trifaria*, se registró la mayor diversidad y abundancia de macroinvertebrados. Este hallazgo refuerza la idea de que la arquitectura tridimensional de estas especies proporciona refugios y sitios de anclaje adecuados para organismos como Chironomidae e Hydropsychidae, grupos dominantes en ambientes con alta turbulencia (Fontana, 2014; Chatellenaz, 2007).

La importancia de la complejidad estructural de la vegetación en la diversidad de macroinvertebrados también ha sido observada en estudios realizados en Brasil y Paraguay, donde se ha documentado una relación positiva entre la heterogeneidad del sustrato y la riqueza de especies (Odinetz-Collart et al., 2001; Jäger-Zürn et al., 2013; Poi et al., 2021). Además, Chatellenaz (2007) destacó la relevancia de estas plantas en los Saltos del Moconá como refugio esencial para la fauna bentónica, especialmente durante períodos de alta variabilidad hidrológica.

Asimismo, el trabajo de Tavares et al. (2006) en ecosistemas amazónicos, que guardan similitudes con los arroyos misioneros, subraya la interacción estrecha entre las Podostemaceae y las larvas de Diptera, evidenciando su rol en la formación de biocenosis complejas en ambientes reófilos.

En contraste, el Arroyo Yazá, dominado por *Apinagia riedelii*, presentó la menor riqueza y abundancia de macroinvertebrados, así como los valores más bajos de diversidad. La menor complejidad morfológica de esta planta parece limitar la disponibilidad de microhábitats y reducir la capacidad de retención de sedimentos, afectando negativamente la diversidad biológica asociada (Zambiasio et al., 2019). Investigaciones previas han reportado resultados similares en otros sistemas fluviales sudamericanos, donde la reducida heterogeneidad estructural de ciertas especies de Podostemaceae restringe la colonización de organismos acuáticos (Tavares et al., 1998, 2006; Manzo et al., 2014).

El Arroyo del Medio, caracterizado por la presencia dominante de *Podostemum distichum*, exhibió valores intermedios de diversidad y abundancia de invertebrados. La arquitectura robusta de esta especie parece proporcionar microhábitats adecuados para los macroinvertebrados, aunque con menor complejidad estructural en comparación con *P. muelleri* o *T. trifaria*. Estudios realizados en otras regiones han destacado que especies con estas características pueden sostener comunidades



relativamente diversas, pero sin alcanzar los niveles de complejidad observados en ambientes con vegetación más estructurada (Chatellenaz, 2007; Manzo et al., 2014).

El Arroyo Mborá, con una combinación de *P. muelleri*, *P. rutifolium* y *T. trifaria*, mostró una riqueza similar al Arroyo del Medio, aunque con menor abundancia. Sin embargo, el índice de equidad más alto sugiere una distribución más homogénea de las familias, lo que podría estar relacionado con la diversidad estructural combinada de las plantas presentes (Tavares et al., 2006; Jäger-Zürn et al., 2013). Desde una perspectiva de diversidad beta, los resultados revelaron que las diferencias en la composición de macroinvertebrados estuvieron influenciadas principalmente por el reemplazo de familias, lo que sugiere una fuerte relación entre la heterogeneidad de los microambientes y la estructura comunitaria (Moreno, 2001).

El análisis mediante el índice de Sørensen mostró variaciones en la disimilitud de familias entre los sitios estudiados. En particular, el mayor valor de diversidad beta se registró entre Arroyo Yazá y Saltos del Moconá ($\beta = 0.5$), lo que indica que estos sitios presentan la mayor diferencia en su composición faunística. Por el contrario, la menor diferencia se observó entre Arroyo Mborá y Saltos del Moconá ($\beta = 0.212$), sugiriendo una mayor similitud en la fauna presente en estos dos sitios. En general, los valores intermedios obtenidos reflejan distintos grados de diferenciación en la composición de familias, destacándose Saltos del Moconá como el sitio con mayor variabilidad en su comunidad de macroinvertebrados. Este patrón concuerda con estudios previos que han señalado la influencia de la heterogeneidad del hábitat en la estructuración de comunidades biológicas (Lopretto et al., 1995; Sørensen, 2001; Thorp et al., 2001).

Respondiendo al segundo objetivo particular propuesto, los resultados indican que, los resultados indican que la similitud estructural de los hábitats dominados por Podostemaceae podría limitar la diferenciación de especies entre sitios y reducir la dispersión de ciertos macroinvertebrados. Investigaciones en sistemas acuáticos con mayor heterogeneidad han demostrado que las variaciones en la composición de hábitats pueden generar patrones de diversidad beta más marcados, al favorecer la coexistencia de especies con distintos requerimientos ecológicos (Thorp et al., 2001). Esto resalta la importancia de considerar la heterogeneidad del hábitat en la evaluación de la biodiversidad fluvial y su relación con la estructura de la vegetación acuática.

En síntesis, los resultados subrayan el papel fundamental de las Podostemaceae como elementos estructurales clave en los ecosistemas reófilos. Estas plantas no solo estabilizan los sustratos, sino que también proporcionan microhábitats esenciales para los macroinvertebrados, contribuyendo al reciclaje de nutrientes y al mantenimiento de redes tróficas (Zambiasio et al., 2019). Estudios previos han documentado la estrecha relación entre la arquitectura morfológica de estas plantas y la diversidad de invertebrados asociados, destacando que especies con estructuras más complejas favorecen una mayor riqueza y equidad en la distribución de familias (Tavares et al., 1998; Jäger-Zürn et al., 2013).

CONCLUSIÓN

Este estudio ha permitido caracterizar la composición florística de las comunidades de Podostemaceae en los Saltos del Moconá, Arroyo del Medio, Arroyo Yazá y Arroyo Mborá. Los resultados destacan el papel esencial que desempeñan las Podostemaceae como componentes estructurales y funcionales en los ecosistemas reófilos, proporcionando refugio, zonas de reproducción y recursos alimenticios a diversas comunidades de invertebrados.

Las especies de Podostemaceae estudiadas, como *Podostemum muelleri*, *Tristichia trifaria*, *Podostemum distichum*, *Podostemum rutifolium* y *Apinagia riedelii*, muestran adaptaciones morfológicas que les permiten prosperar en ambientes de alta turbulencia y corrientes rápidas. Estas plantas actúan como sustratos fundamentales para los macroinvertebrados, promoviendo su fijación en superficies rocosas y facilitando interacciones ecológicas clave, como el reciclaje de nutrientes y la estructuración de redes tróficas.


En los Saltos del Moconá, el papel de *P. muelleri* y *T. trifaria* es especialmente notable, ya que forman comunidades densas que albergan una amplia diversidad de macroinvertebrados. Estas especies crean microhábitats complejos que favorecen la coexistencia de organismos filtradores, raspadores y predadores, contribuyendo significativamente al equilibrio ecológico del sistema.

En contraste, *A. riedelii*, presente en el Arroyo Yazá, muestra una morfología más sencilla, con tallos horizontales y menor ramificación, lo que resulta en una capacidad limitada para sostener comunidades complejas. Esto resalta la relación directa entre las características estructurales de las Podostemaceae y la biodiversidad de los macroinvertebrados asociados.

Los Arroyos del Medio y Mborá, con combinaciones de especies como *P. distichum*, *P. rutifolium* y *T. trifaria*, también demuestran cómo las Podostemaceae modulan las comunidades acuáticas. En estos ambientes, los invertebrados se benefician de los hábitats proporcionados por estas plantas, que facilitan tanto el refugio como la disponibilidad de alimento en un entorno dinámico.

Por lo expuesto anteriormente, este trabajo destaca el papel crítico que las Podostemaceae desempeñan en la configuración de las comunidades de macroinvertebrados, actuando como estabilizadoras del sustrato y proveedoras de microhábitats esenciales. Los macroinvertebrados asociados no solo son indicadores de la calidad del agua, sino también actores clave en la dinámica ecológica de los ambientes lóticos, contribuyendo al reciclaje de nutrientes y al mantenimiento de redes tróficas equilibradas. La conservación de estas plantas y sus hábitats asociados es esencial para proteger la biodiversidad y la funcionalidad de los ecosistemas fluviales de Misiones.


Finalmente, los hallazgos de este estudio confirman la hipótesis planteada, evidenciando que la diversidad biológica de los ensambles de macroinvertebrados asociados a las comunidades de Podostemaceae depende de la composición taxonómica de las especies vegetales de cada sitio. Se demuestra que especies con mayor complejidad estructural sustentan comunidades más diversas y equilibradas, mientras que aquellas con morfologías más simples presentan una menor riqueza de



familias. Estos resultados resaltan la importancia de continuar con investigaciones que profundicen en la ecología de estas asociaciones y sus implicaciones para la conservación de los ecosistemas reófilos.

BIBLIOGRAFÍA

- APHA. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater (23rd ed.). American Public Health Association.
- Arana, M. D., Natale, E. S., Ferretti, N. E., Romano, G. M., Oggero, A. J., Martínez, G., ... & Morrone, J. J. (2021). Esquema biogeográfico de la República Argentina.
- Bethin, J., Krell, R. K. y Philbrick C. T. (2022) New arthropod-Podostemaceae associations in Central and South America. *ZooKeys* 1129: 45–54.
- Catálogo de las Plantas vasculares del Cono Sur on line:
<http://www2.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/FA.asp>
- Chatellenaz, L. M. (2007). Fauna vinculada a la vegetación reófila del Parque Provincial Moconá Misiones, Argentina. *Facena*, 23, 41-54.
- Domínguez, E. y Fernández, H. R. (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. *Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillio.
- Fontana, J. L. (2014). La vegetación reófila del Nordeste argentino: Las comunidades vegetales con Podostemaceae de la Provincia de Misiones. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 49(1), 115- 136.
- Giraud, A. L. (2017). Región Humedales misioneros; Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de los Humedales; 93-110
- Jäger-Zürn, I., Spies, M., Philbrick, C. T., Bove, C. P., y Mora-Olivo, A. (2013). Plant galls (cecidia) in the neotropical water plant family Podostemaceae induced by larvae of Chironomidae. *Spixiana*, 36(1), 97-112.
- Lopretto, E. C. y G. Tell. (1995). Ecosistemas de aguas continentales. Metodología para su estudio. Ediciones Sur, La Plata, Argentina.
- Manzo, V., Romero, F., Rueda Martin, P., Molineri, C., Nieto, C., Rodriguez, J., y Dominguez, E. (2014). Insectos acuáticos del Parque Provincial Uruguá-I, Misiones, Argentina. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 73(3-4), 155-170.
- Merritt, R.W. y Cummins, W. (1996). An introduction to the Aquatic Insects of North America. 3rd Ed. Kendall-Hunt Publ. 862 pp.
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. Ediciones CYTED. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. México. 86 p
- Odinetz-Collart, O. Tavares, A. S. y A. Enriconi. (2001). Response of Podostemaceae aquatic biocenosis to environmental perturbations in central Amazonian waterfalls. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 27:7, 4063-4068, DOI: 10.1080/03680770.1998.11901758



Poi, AS, Gallardo, LI, Casco, SL, Sabater, LM y Úbeda, B. (2021). Influencia de la complejidad de macrófitos y variables ambientales en los ensambles de macroinvertebrados en un sistema de humedales subtropicales. *Humedales*, 41 (8), 105.

R Core Team. (2024). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>

Ramírez, A. (2010). Odonata. *Revista de Biología Tropical*, 58: 97-136.

Romero, F. (2022). "Lepidópteros acuáticos y semiacuáticos en Argentina: lista actualizada, distribución y hábitos de vida". *Acta zoológica lilloana* 66 (2): 121-148.

Tavares, A. S., Enriconi, A., y Collart, O. O. (1998). Insect communities associated with aquatic macrophytes Podostemaceae in amazonian waterfalls. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 26(4), 2158-2158.

Tavares, A. S., Odinetz, O., y Enricone, A. (2006). A família Podostemaceae em rios amazônicos e comunidades de insetos associados. *INSULA Revista de Botânica*, 35, 19-50.

Thorp, J. H. y Covich, A. P. (eds.) (2001). *Ecology and classification of North American Freshwater Invertebrates*. Second edition. Academic Press, New York, NY, USA. 1056 pp.

Trivinho-Strixino, S. y Strixino, G. (1995). *Larvas de Chironomidae (Diptera) do estado de São Paulo: guia de identificação e diagnose dos gêneros*. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, Brasil.

Tur, N. M. (1999). Podostemaceae. En: *Flora del Paraguay* 29: 1-35. Edit.des Cons.et Jard.Bot. de la ville de Genève y Miss.Bot.Gard. Ginebra.

Tur, N. M. (2006). Una nueva especie de *Marathrum* (Podostemaceae) y nueva cita del género para la Argentina. *Hickenia* 3 (38-47): 151-198. San Isidro.

Zambiasio, V.A., J.L. Fontana & E. Laffont. 2012. Podostemáceas e invertebrados asociados en dos arroyos de la Provincia de Misiones, Argentina. XXXIII Jornadas Argentinas de Botánica. *Bol.Soc.Arg.Bot.* 46 (supl.): 213. Córdoba

Zambiasio, V. A., Gallardo, L. I., Poi, A. S., y Coronel, J. M. (2019). Las Podostemaceae como hábitat para los macroinvertebrados en arroyos de Misiones (Argentina). *Iheringia. Série Zoologia*, 109.

Zuloaga, F. O., Belgrano, M. J. y Anton, A. M. (Eds.). (s. f.). *Flora del Cono Sur de América del Sur*. Instituto de Botánica Darwinion. <http://www2.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/FA.asp>

ANEXO

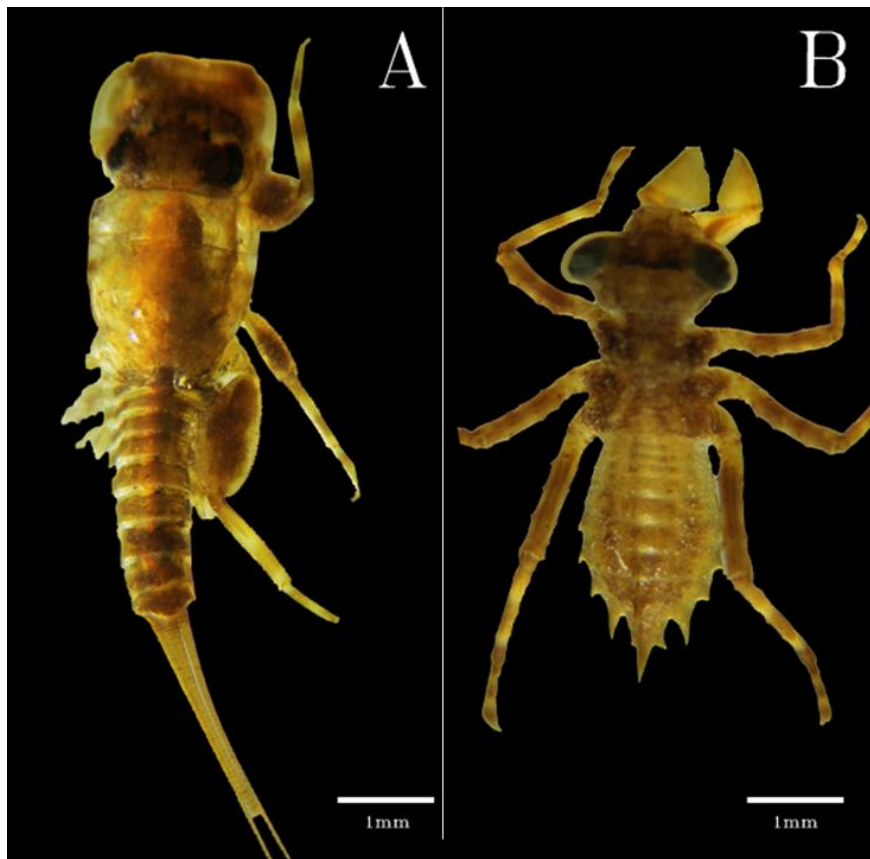


Figura A.1. Macroinvertebrados encontrados en las diferentes especies de Podostemaceae. A. Leptophlebiidae; B. Libellulidae. Magnificación: 12,5x.



Figura A.2. Macroinvertebrados encontrados en las diferentes especies de Podostemaceae. A. Crambidae; B. Perlidae C. Corydalidae; D. Philopotamidae. Magnificación: 16x.

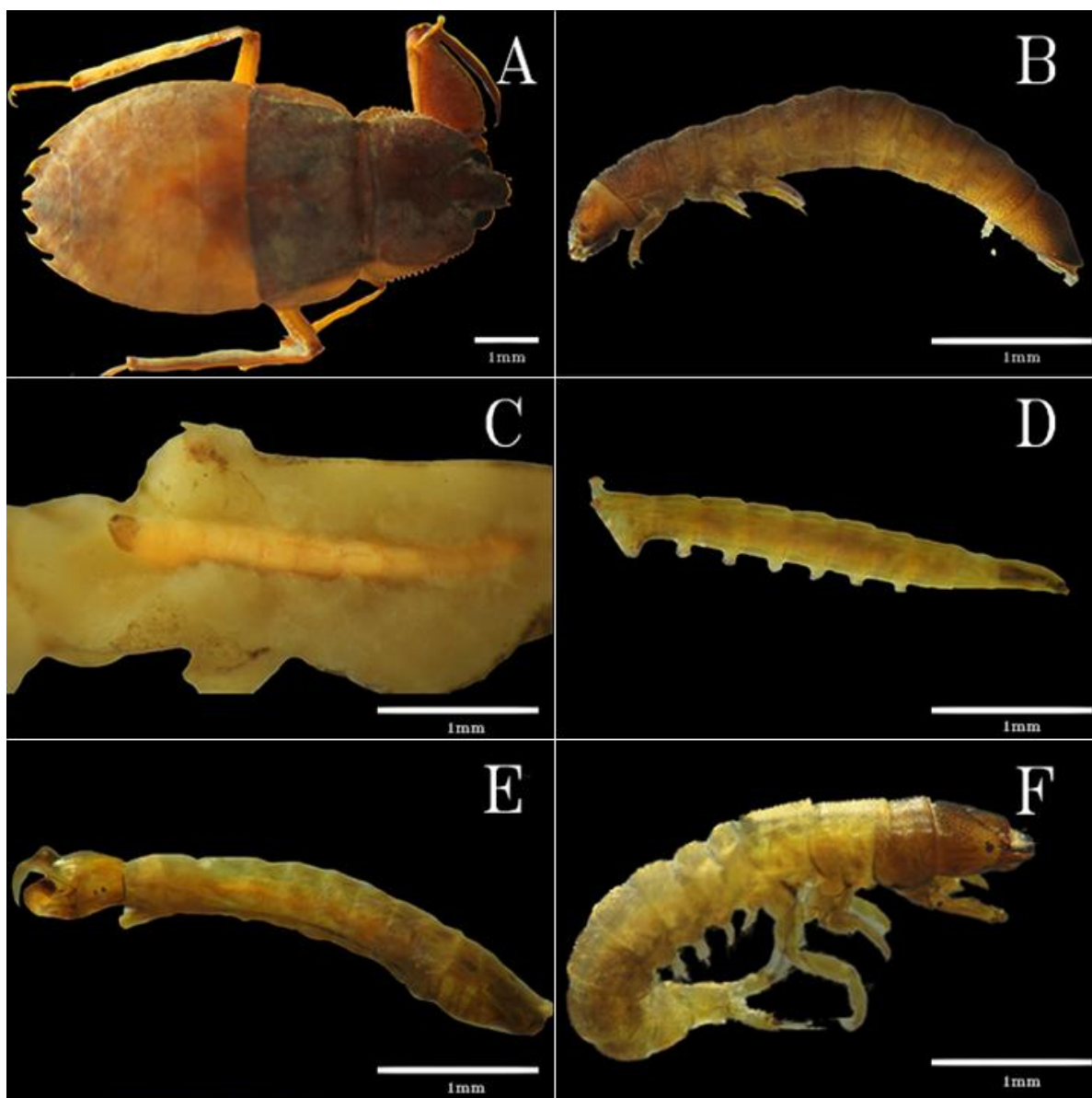


Figura A.3. Macroinvertebrados encontrados en las diferentes especies de Podostemaceae. A. Naucoridae. Magnificación: 10x. B. Larva de Elmidae; C. Chironomidae en agalla; D. Empididae; E. Simuliidae; F. Hydropsychidae. Magnificación 30x.

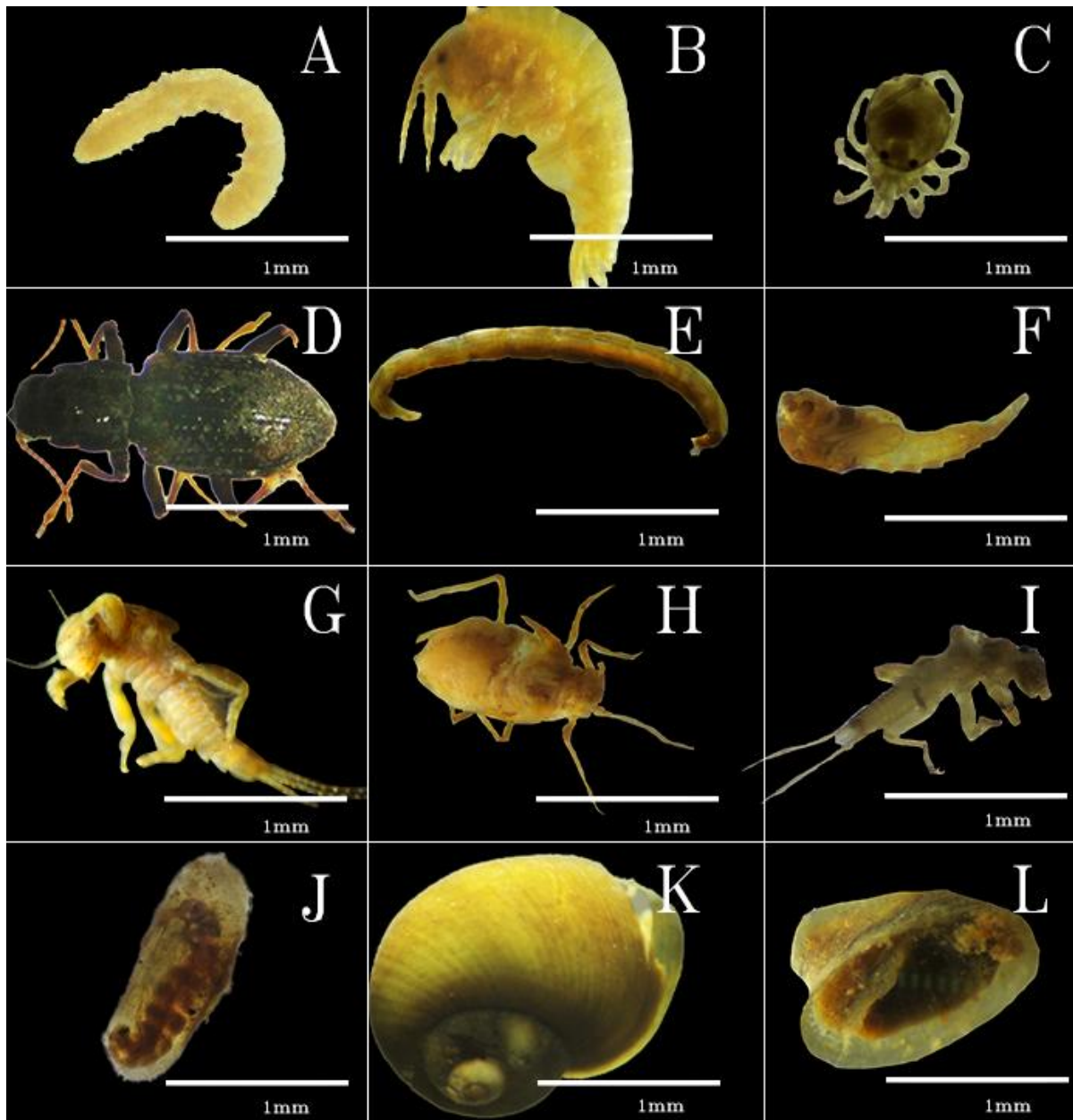


Figura A.4. Diversidad de macroinvertebrados encontrada en las diferentes especies de Podostemaceae. A. Oligochaeta; B. Hyalellidae; C. Hydrachnidia; D. Adulto de Elmidae; E. Chironomidae; F. Pupa de Chironomidae G. Leptoypidae H. Aphididae; I. Gripopterygidae; J. Pupa de Hydroptilidae; K. Planorbidae; L. Ancyliidae. Magnificación: 35x.