

Macroinvertebrados asociados a raíces de *Eichhornia crassipes* (Pontederiaceae) en la Ciénaga de Palagua (Colombia)*

Macro-invertebrates Associated with *Eichhornia crassipes* Roots (Pontederiaceae) in the Ciénaga de Palagua (Colombia)

Sergio Adrián Murillo-Montoya ^a
Centro Pecuario y Agroempresarial SENNOVA, Colombia
sergio.murillomontoya@gmail.com
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2923-5068>

DOI: <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd22-43.mare>
Redalyc: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=151560179007>

Edwin Santiago Restrepo-Bastidas
Centro Pecuario y Agroempresarial SENNOVA, Colombia
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6241-7758>

Fecha de recepción: 10 Agosto 2018
Fecha de publicación: 30 Diciembre 2018

Alexander Mendoza-Mora
Centro Pecuario y Agroempresarial SENNOVA, Colombia
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8595-5564>

Carlos Julio Fadul-Vázquez
Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Colombia
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9176-6666>

Xiomara Fernanda Calderón-García
Centro Pecuario y Agroempresarial SENNOVA, Colombia
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9766-9859>

Miguel Ángel Rodríguez
Centro Pecuario y Agroempresarial SENNOVA, Colombia
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1665-4565>

Resumen:

Los macroinvertebrados acuáticos son un grupo bien conocido en ecosistemas lóticos, pero poco estudiados en ecosistemas lénticos. En Colombia los estudios sobre la relación de este grupo con las raíces de macrófitas flotantes es escaso, por lo tanto, el objetivo de este trabajo es determinar la asociación entre *Eichhornia crassipes* y macroinvertebrados acuáticos, y su relación con variables fisicoquímicas, como oxígeno disuelto, pH, sólidos totales disueltos, alcalinidad, transparencia, cobre, temperatura del agua, cloro libre, cloro total, profundidad de la ciénaga y cobertura de la macrófita en la ciénaga de Palagua (Colombia). Se registraron 11.759 macroinvertebrados, pertenecientes a 37 familias, siendo los Planorbidae y los Cyclestheriidae los más abundantes. Dentro de los parámetros fisicoquímicos, la alcalinidad presentó diferencias significativas a nivel temporal, mientras que a nivel espacial solamente la cobertura de la macrófita presentó diferencias. A su vez, el coeficiente de Spearman mostró correlación significativa pero inversa entre la profundidad de la ciénaga y el oxígeno disuelto y el análisis de correspondencia canónica indica que la alcalinidad y la profundidad son las variables que más influencia tuvieron sobre los macroinvertebrados. La diversidad de familias reportada en el estudio fue alta si se compara con los datos disponibles en la literatura.

Palabras clave: biodiversidad, ecosistemas lénticos, especies invasoras, jacinto de agua macrófitas.

Abstract:

Water macro-invertebrates are a well-known group in the flowing-water ecosystems, though they have been poorly studied in the lentic ecosystems. In Colombia, studies about the relationship between this group and the floating macrophyte roots are scarce.

Notas de autor:

^a Autor de correspondencia. Correo electrónico: sergio.murillomontoya@gmail.com

Therefore, this work aims to determine association between *Eichhornia crassipes* and the water macro-invertebrates, and their relationship to the physical-chemical variables such as the dissolved oxygen, pH, total dissolved solids, alkalinity, transparency, copper, water temperature, free chlorine, total chlorine, swamp depth and macrophyte spreading in the Palagua swamp (Colombia). This way, 11.759 macro-invertebrates, belonging to 37 families, were recorded and Planorbidae and Cyclestheriidae were the most abundant. Regarding the physical-chemical parameters, alkalinity showed significant differences regarding the time, while only the macrophyte spreading showed differences regarding the space. In turn, the Spearman coefficient showed a significant but inverse correlation between the swamp depth and the dissolved oxygen. The canonic correspondence analysis indicates that alkalinity and swamp depth are the variables with the greatest influence on the macro-invertebrates. The family diversity reported in the study was high as compared to the data available in the literature.

Keywords: invasive species, macrophyte, lentic ecosystems, biodiversity, water hyacinth.

Introducción

Los macroinvertebrados acuáticos son una comunidad bien conocida en ecosistemas lóticos de Colombia, pero en ecosistemas lénticos han sido poco estudiados (Martínez-Rodríguez y Pinilla, 2014). Los organismos que pertenecen a esta comunidad, son considerados excelentes predictores ambientales, debido a que tienen ciclos de vida relativamente largos, son fáciles de coleccionar e identificar, son sedentarios, abundantes, de amplia distribución y responden rápidamente ante estímulos físicos y químicos que alteran su ecosistema. Dentro de los primeros intentos por conocer la diversidad de macroinvertebrados en estos ecosistemas en el país, se destaca el aporte de Jaramillo (2003), quien estudió los macroinvertebrados asociados a macrófitas flotantes en la Ciénaga de Colombia (Antioquia), y Quirós-Rodríguez, Dueñas-Ramírez y Ballesteros-Correa (2010), quienes evaluaron la asociación entre macroinvertebrados y *Eichhornia crassipes* en el complejo cenagoso del bajo Sinú.

Estudios sobre el efecto de la macrófita invasora *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms 1883 en ecosistemas lénticos del mundo son cada vez más importantes, entre otras razones porque autores como Rocha-Ramírez, Ramírez-Rojas, Chávez-López y Alcocer (2007); Rocha-Ramírez, Robles-Valderrama y Ramírez-Flórez (2014), en el lago Xochimilco, en México; Kouamé et al. (2011), en el lago Taabo, en Costa de Marfil, y Zhang et al. (2016), en el lago Dianchi, en China, han demostrado que al aumentar la cobertura de esta maleza acuática, aumenta la eutrofización del ecosistema, se acumula una mayor cantidad de sedimentos, nitrógeno y fósforo, lo que disminuye el oxígeno disponible, aspecto que contribuye a reducir la biodiversidad, como producto del desplazamiento de especies nativas (Marçal y Callil, 2008; Kouamé et al., 2010).

En Colombia, los estudios sobre este tópico son escasos, resaltándose los aportes de Quirós-Rodríguez et al. (2010) en el bajo Sinú; Rivera-Usme, Pinilla y Camacho-Pinzón (2013) en un humedal andino de Bogotá; Martínez-Rodríguez y Pinilla (2014) en tres ciénagas del Cesar; Zambrano-Polanco, Zamora-González, Vásquez-Zapata y López-Anaya (2015) en humedales del río Cauca, y Rúa-García (2015) en la ciénaga de Zapayán. Sin embargo, se desconocen los efectos en otras regiones del país, como en la ciénaga de Palagua (Boyacá), un ecosistema primario que vierte sus aguas al río Magdalena.

Debido a derrames de petróleo ocurridos en la década de los años 80, se introdujo la macrófita acuática *E. crassipes*, por su potencial como agente biorremediador en la ciénaga de Palagua. Sin embargo, el continuo aporte de nutrientes ha favorecido el incremento en la biomasa de la planta (Defensoría del Pueblo, 2007) y se han establecido condiciones óptimas para su proliferación; en consecuencia, aunque esta macrófita genera un hábitat adecuado para una gran variedad de organismos, como lo sugieren Masifwa, Twongo y Denny (2001), Arimoro, Ikomi, Ajuzioegu y Nwudukwe (2001), Copatti, Fagundes, Quaini y Copatti (2013) y Poi, Galassi, Carvenali y Gallardo (2016), también altera significativamente el ecosistema, reduciendo la concentración de oxígeno disuelto y aumentando los niveles de eutrofización. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue determinar la asociación de la macrófita *E. crassipes* con los macroinvertebrados acuáticos y variables fisicoquímicas como: oxígeno disuelto, pH, sólidos totales disueltos, alcalinidad, transparencia,

cobre, temperatura del agua, cloro libre, cloro total, profundidad de la ciénaga y cobertura de la macrófita en la ciénaga de Palagua (Colombia).

Materiales y métodos

Área de estudio

La ciénaga de Palagua se ubica en la vereda Palagua, a 5 km del lado oriental del río Magdalena y a 28 km del municipio de Puerto Boyacá. Posee un área cercana a los 2,87 km², la cual comprende 1,92 km² de espejo de agua. La ciénaga es clasificada como primaria debido a su comunicación directa con el río Magdalena. Se seleccionaron tres sitios de muestreo: caño Agualinda (6° 03' 45" N y 74° 29' 44" W), ciénaga de Palagua (6° 03' 57" N y 74° 30' 36" W) y caño Palagua (6° 03' 33" N y 74° 30' 35" W), con altitudes de 146 m s. n. m., 145 m s. n. m. y 143 m s. n. m., respectivamente (figura 1), para realizar los muestreos en campo.

Fase de campo

Se realizaron cuatro muestreos entre abril y junio de 2018, en la época de transición de lluvias al verano. Se ubicaron tres estaciones de muestreo, y en cada una se midió la profundidad y la penetración de la luz solar con disco Secchi, la cobertura de la macrófita con un cuadrante construido en PVC de 1 m x 1 m y se midieron *in situ* los siguientes parámetros: oxígeno disuelto, con un *kit* multiparámetro La Motte; conductividad eléctrica, con un conductímetro Hanna Elements; pH y temperatura del agua, con un pH-metro digital marca EZDO, y dureza total, alcalinidad, cloro libre, cloro total, cobre, hierro y nitrato, con un multiparámetro eXact® Micro 20-Well Driller Kit. Para la recolección de las macrófitas se empleó una red de deriva con ojo de malla de 625 µm; la red se introdujo en posición vertical en la columna de agua, teniendo cuidado de alcanzar toda la longitud de las raíces de *E. crassipes* (70 cm) para evitar que algún macroinvertebrado pudiera escapar. Luego se levantó rápidamente hasta alcanzar la superficie del agua. Cada una de las diez plantas colectadas por sitio fue depositada en bolsas Ziploc®, siguiendo la metodología propuesta por Martínez-Rodríguez y Pinilla (2014). El material colectado fue llevado al laboratorio de análisis fisicoquímicos del Centro Pecuario y Agroempresarial del SENA en La Dorada (Caldas) para su posterior separación e identificación.

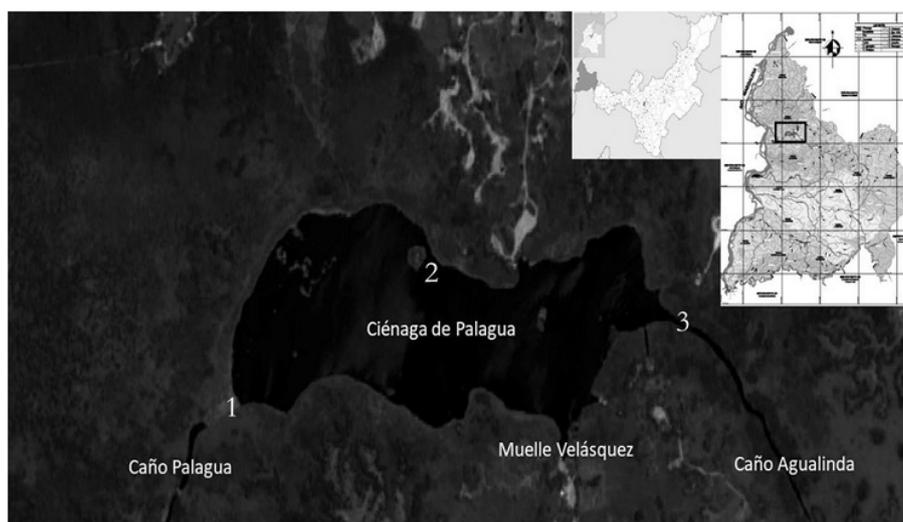


FIGURA 1

Ciénaga de Palagua, en Puerto Boyacá (Colombia)

Nota: los números indican los sitios de muestreo, ubicados, respectivamente, en 1) caño Palagua, 2) ciénaga de Palagua y 3) caño Agualinda.

Fuente: elaborada por Alcaldía de Puerto Boyacá, 2010

Fase de laboratorio

Se separaron los macroinvertebrados asociados a las raíces de *E. crassipes* empleando un tamiz de 250 μm , agua potable y pinzas entomológicas. Se lavaron las raíces en cinco ocasiones, siguiendo las recomendaciones de Poi de Neiff y Carignan (1997). Los especímenes colectados se depositaron en viales con alcohol para su posterior identificación, la cual se llevó a cabo empleando un estereoscopio Olympus y la guía taxonómica de Domínguez y Fernández (2009). Las raíces fueron separadas del resto del material vegetal y secadas en un horno Binder GmbH durante 24 horas a 70 °C para determinar su peso seco. De esta fase se obtuvo la abundancia absoluta como número de individuos, la riqueza como número de taxones, la densidad como número de individuos en 100 g de la raíz de la macrófita y la biomasa como peso seco de la raíz.

Análisis de datos

Se hicieron análisis de varianza a una vía para determinar diferencias espaciales y temporales en las variables fisicoquímicas, mientras que para las biológicas se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis (no cumplimiento del supuesto de normalidad). Con las variables ambientales se calcularon los coeficientes de correlación de Spearman. Además, se realizó un análisis de correspondencia canónica (ACC), con la finalidad de evaluar las relaciones entre las variables fisicoquímicas y biológicas, empleando únicamente los taxones más abundantes (> 8% individuos). El ACC se realizó en el programa PAST, versión 3.20, y los demás análisis en IBM SPSS, versión 24.

Resultados

Variables físicas y químicas

Se presentaron diferencias significativas en los meses de muestreo para la profundidad de la ciénaga, alcalinidad, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno (anexo 1). La cobertura de la planta fue menor para el mes de mayo (44,22%), aspecto que se relaciona con una mayor penetración de la luz en el agua (0,39 m), mayor profundidad de la ciénaga (1,99 m), mayor pH (6,71) y concentraciones intermedias de oxígeno disuelto (4,33 mg/L).

El análisis del coeficiente de correlación de Spearman mostró que la cobertura de la macrófita y la transparencia del agua presentaron una correlación positiva, mientras que la profundidad de la ciénaga y el oxígeno disuelto, la temperatura del agua y el oxígeno y alcalinidad del agua mostraron una correlación negativa (anexo 2); las demás variables se autocorrelacionaron.

El análisis de correspondencia canónica (ACC) mostró que los planórbidos fueron más comunes en altas concentraciones de oxígeno disuelto y coberturas de *E. crassipes*. Los quironómidos fueron más comunes en altas concentraciones de cobre y bajas de oxígeno; esta familia es considerada como tolerante a la contaminación, por lo tanto no es una novedad que sea abundante en ecosistemas hipóxicos, sin embargo, otros grupos taxonómicos, como Ephemeroptera y Trichoptera, son sensibles a bajos niveles de oxígeno disuelto, aspecto que restringe su colecta en la ciénaga. A su vez, los notéridos y los ceratopogónidos se relacionaron con una mayor profundidad de la ciénaga y una mayor alcalinidad, mientras que los ciclestéridos fueron más abundantes a medida que disminuyó la transparencia del agua (figura 2).

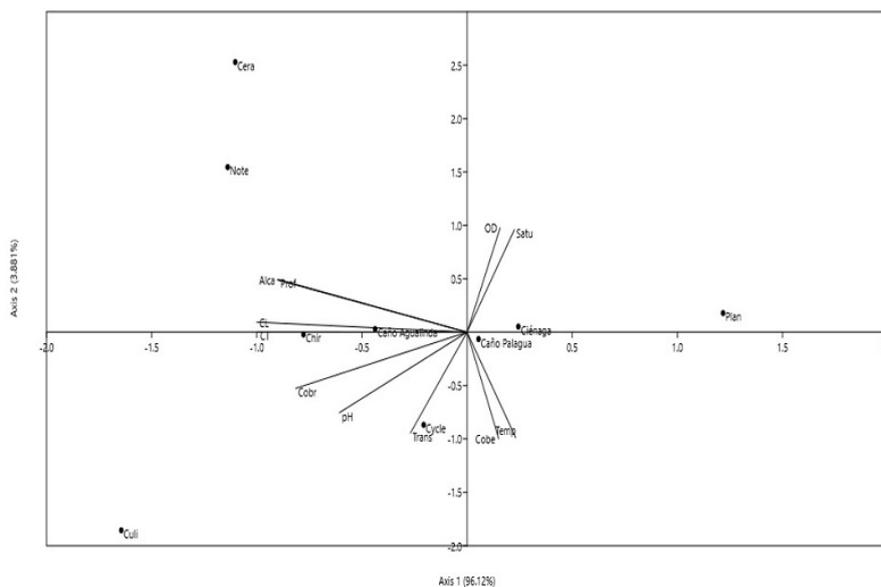


FIGURA 2

Análisis de correspondencia canónica (ACC)

Nota: relación entre los grupos abundantes de macroinvertebrados acuáticos asociados a las raíces de *E. crassipes*: Cera: Ceratopogonidae; Note: Noteridae; Culi: Culicidae; Cyl: Cyclestheriidae; Chir: Chironomidae; Plan: Planorbidae, en tres sitios de la Ciénaga de Palagua y 11 parámetros fisicoquímicos independientes: Satu: porcentaje de saturación de oxígeno; Alka: alcalinidad; Cove: cobertura de *E. crassipes*; Temp: temperatura del agua; Tran: transparencia del agua; Culp: cobre; Oxy: oxígeno disuelto; CIT: cloro total; CIL: cloro libre, y Dept: profundidad.

Fuente: elaboración propia, 2018

Composición y abundancia de macroinvertebrados asociados a las raíces de *E. crassipes*

Los 11.759 macroinvertebrados acuáticos asociados al sistema radicular de *E. crassipes* colectados en la ciénaga de Palagua (en Puerto Boyacá, Colombia) correspondieron a 11 órdenes y 37 familias. Las familias más abundantes fueron Planorbidae y Cyclestheriidae, con el 34,76% y el 25,29% de la abundancia total, respectivamente (anexo 1). Los taxones Planorbidae, Cyclestheriidae, Noteridae, Culicidae, Chironomidae y Ceratopogonidae corresponden al 94,59% de los macroinvertebrados colectados.

Dentro de los sitios de muestreo se encontraron diferencias en términos de abundancia ($p < 0,05$), siendo mayor en el caño Palagua (4563 individuos) y menor en el caño Agualinda (3077 individuos). En cambio, a nivel temporal se observaron diferencias significativas en la biomasa de la macrófita, la riqueza a nivel de familia, la abundancia y la densidad de macroinvertebrados acuáticos ($p < 0,05$). La biomasa de *E. crassipes* presentó una media de $3,02 \pm 2,40$ g de peso seco, con valores en promedio más bajos durante el mes de abril (2,42 g) y máximos en el mes de mayo (4,60 g). La riqueza, evaluada a nivel de familia, fue mayor en el mes de mayo, con un promedio de 9,53 taxones, aspecto que se relaciona con una mayor abundancia de macroinvertebrados (128,67 individuos por planta) y una menor densidad 3597 in/100 g, mientras que la mayor densidad se encontró en el mes de abril, con 7464 in/100 g. Los Planorbidae durante el mes de mayo presentaron la mayor densidad, con 5625 in/100 g de raíces secas.

Discusión

El oxígeno disuelto presentó niveles de concentración más altos durante el mes de abril y menor en el mes de junio. Este tipo de variaciones se debieron al aumento de la cobertura de la macrófita y al periodo climático de transición entre lluvias y verano, cuando en el mes de junio disminuyeron las precipitaciones en la zona de estudio. En este sentido, Quirós, Arias y Rodríguez (2010) y Rivera-Usme et al. (2013) observaron que durante la temporada seca los ecosistemas lénticos tienden a volverse hipóxicos, debido al incremento de la productividad primaria. En términos generales, las concentraciones de este gas en la ciénaga de Palagua se pueden considerar como bajas, coincidiendo con reportes de otras regiones del mundo, como Argentina (Poi et al., 2016), Brasil (Marçal y Callil, 2008; Lopes, De Paula, Mardegan, Hamada y Piedade, 2011), Nigeria (Arimoro et al., 2001; Uwadiae, Okunade y Okosun, 2011; Olomukoro y Osuinde, 2015) y Costa de Marfil (Kouamé et al., 2011), que indican que la macrófita contribuye a reducir las concentraciones de oxígeno disponible, incluso el porcentaje de saturación de oxígeno en la ciénaga estuvo por debajo del mínimo óptimo (80%) durante los meses de mayo y junio.

Las aguas de la ciénaga de Palagua se caracterizaron por pH ligeramente ácidos (6,74), bajos niveles de cobre, temperaturas altas (> 30 °C) y alcalinidad baja (< 63 mg/L). Resultados similares han sido reportados por Quirós-Rodríguez et al. (2010) en ciénagas del Bajo Sinú, por Arimoro et al. (2001) en lagos del delta del río Níger, en Nigeria, y por Kouamé et al. (2010) y Kouamé et al. (2011) en el lago Taabo, en Costa de Marfil. De igual manera, la profundidad de la ciénaga varió temporalmente, siendo mayor en el mes de mayo, aspecto que está relacionado con el aumento de la precipitación y la reducción de la concentración del oxígeno (Rivera-Usme et al., 2013).

Debido a que los muestreos se realizaron en la época de transición de las lluvias al verano (abril-junio), el aumento de las precipitaciones permitió que el arrastre de componentes químicos, como nitratos y metales pesados, provenientes de la extracción de hidrocarburos, disminuyera los niveles de oxígeno y aumentara la cobertura del jacinto de agua, aspecto que se vio reflejado en correlaciones negativas entre la cobertura y el oxígeno disuelto. Además, se observó que la macrófita coloniza la ciénaga desde el caño Agualinda hacia el caño Palagua y que, cuando aumentan las lluvias, otras malezas acuáticas, como la *Pistia stratiotes* y la *Salvinia sprucei*, también empiezan a ocupar el espejo de agua, lo que impide la entrada de luz y aumenta la hipoxia y la

eutrofización en la ciénaga. En este sentido, Franco y Takeda (2002) han encontrado que la disminución de los ítems presa (larvas de dípteros y crustáceos) afectan principalmente a los depredadores, como los odonatos. Sin embargo, a medida que la competencia por luz y nutrientes entre las macrófitas se intensifica, las plantas con raíces voluminosas se convierten en un refugio y en fuente de alimento para los macroinvertebrados.

De acuerdo a lo que se esperaba, y según el ACC, la ciénaga de Palagua es un ecosistema con bajos niveles de oxígeno disuelto, relacionado con el aumento de los niveles de eutrofización que se ha reportado en las últimas décadas (Defensoría del Pueblo, 2007), acontecimiento derivado de la extracción de hidrocarburos y prácticas agrícolas deficientes. Otras variables, como la profundidad del espejo de agua y la alcalinidad, son las que modelan el funcionamiento del ecosistema. En este sentido, la alta densidad de planórbidos y ciclostéridos asociados al sistema radicular de *E. crassipes* sugiere que la planta aporta refugio y alimento a una gran variedad de organismos, como lo han reportado Pegado-Albilio, Fonseca-Gessner, Lunginho-Leite y Leite de Melo (2006), Rocha-Ramírez et al. (2007) y Orwa, Omondi, Ojwang y Mwanjhi (2015); incluso muchos de ellos, como los quironómidos, puede sobrevivir bajo condiciones de estrés, debido a la presencia de hemoglobina en su linfa, aspecto que se corrobora por la coloración rojiza que adquieren.

La abundancia de taxones asociados a las raíces de *E. crassipes* fue de 37 familias. Estos resultados coinciden con las registradas por otros autores en diversos ecosistemas lénticos. En África, Uwadiae et al. (2011), en un lago tropical de Nigeria, encontraron 34 familias, con una alta abundancia de crustáceos; y Kouamé et al. (2010), en el lago Taabo, en Costa de Marfil, y Arimoro et al. (2001), en el delta del Níger, encontraron 34 y 38 familias, respectivamente, en ambos casos la clase Insecta fue la más abundante. Esa misma tendencia se observa en el continente americano. En un estudio realizado en el lago Catalão (en Brasil) por Lopes et al. (2011), se reportaron 35 familias de macroinvertebrados, siendo las más abundantes la Chironomidae y la Hydrophilidae. En la laguna de Moronacocha (en Perú), Perea-Saavedra, Bocanegra-Chung y Alvan-Aguilar (2011) registraron 31 familias, con una alta abundancia de Chironomidae y Noteridae. A su vez, la riqueza a nivel de familias encontrada en el presente estudio es mayor a la reportada por Rocha-Ramírez et al. (2014) en una laguna de México, donde encontraron 24 familias; Pan, Wang, Pusch y Wang (2015), en un lago hipereutrofizado de China, hallaron 18 familias, mientras que estudios realizados en Colombia por Rivera-Usme et al. (2013) encontraron 27 familias, con una alta abundancia de glosifónidos en un humedal andino eutrofizado.

La composición de macroinvertebrados asociados a las raíces de *E. crassipes* en los tres sitios de muestreo de la ciénaga de Palagua presentó una alta abundancia de Planorbidae, aspecto que coincide con los registros de otros autores. Olomukoro y Osuinde (2015), en áreas urbanas de Nigeria, encontraron una alta prevalencia de gasterópodos; Pegado-Albilio et al. (2006) hallaron, en una represa hipertrófica de Brasil, una alta abundancia de Thiaridae (80%), y Pan et al. (2015), en el lago Dianchi, en China, encontraron que los gasterópodos representaron el 93,1% de la abundancia total. La presencia de estos caracoles en la ciénaga de Palagua está relacionada con niveles intermedios de alcalinidad, los cuales son necesarios para la formación de su concha; además, la macrófita le ofrece refugio y alimento, aportándoles un hábitat estable. Estas apreciaciones coinciden con Copatti et al. (2013), Pegado-Albilio et al. (2006) y Marçal y Callil (2008).

Otros macroinvertebrados acuáticos importantes en el presente estudio fueron los ciclostéridos y quironómidos. Estos grupos se caracterizaron por estar asociados a bajas concentraciones de oxígeno disuelto y porcentajes de saturación de oxígeno por debajo del nivel óptimo permisible. Resultados similares fueron documentados por Orwa et al. (2015) en el lago Victoria, en Kenia; Kouamé et al. (2011) en el lago Taabo, en Costa de Marfil; Zhang et al. (2016) en el lago Dianchi, en China; Rocha-Ramírez et al. (2007) en el sistema lagunar Alvarado, en México, y Quirós-Rodríguez et al. (2010) y Rúa-García (2015) en ciénagas de Colombia.

La densidad de macroinvertebrados asociados al sistema radicular de *E. crassipes* fue alta si se compara con los estudios realizados por Pan et al. (2015) en un lago eutrofizado de China; Kouamé et al. (2010) y Kouamé et al. (2011) en el lago Taabo, en Costa de Marfil, y mayor a lo reportado por Martínez-Rodríguez y Pinilla

(2014) para tres ciénagas del departamento del Cesar; pero menor a lo reportado por Poi de Neiff y Carignan (1997) en planicies de inundación del río Paraná, en Argentina, y a lo registrado por Marçal y Callil (2008) en Brasil, mientras que la biomasa de *E. crassipes* fue media si se compara con los registros de Lopes et al. (2011) para el lago Catalão, en Brasil.

Conclusiones

Dentro de los parámetros físicos y químicos medidos en la ciénaga de Palagua, solamente la cobertura de la macrófita presentó diferencias dentro de los sitios de muestreo, mientras que a nivel temporal la mayoría de parámetros presentaron diferencias significativas. Esto indica que las características ambientales y la influencia antrópica son las principales variables que afectan la diversidad de macroinvertebrados acuáticos de la ciénaga y no la presencia de la macrófita *E. crassipes*. En términos generales, la ciénaga de Palagua tiene una alta diversidad de macroinvertebrados acuáticos asociados al sistema radicular del jacinto de agua, siendo incluso mayor a la reportada para ecosistemas similares y más estudiados, como los lagos Dianchi, en China; Tonle Sap, en Camboya; Taabo, en Costa de Marfil; Cubhu y Nsezi, en Sudáfrica; Victoria en Uganda y Kenia; el lago Xochimilco, en México, el lago Catalão, en Brasil, y la laguna de Moronacocha, en Perú. Con respecto a los estudios realizados a nivel nacional, la ciénaga de Palagua tiene una mayor diversidad que la reportada para las ciénagas de Zapayán, el complejo cenagoso del Bajo Sinú, el complejo de Zapatosa (Zapatosa, Mata de Palma y La Pachita) y el humedal de Jaboque, pero menor a lo reportado para la ciénaga de Colombia, ubicada en el departamento de Antioquia.

Agradecimientos

A la comunidad del muelle Velásquez por facilitar el ingreso a la ciénaga de Palagua y por la ayuda logística durante la fase de campo. Al Centro Pecuario y Agroempresarial, regional Caldas, por la financiación de la presente investigación y al laboratorio de análisis fisicoquímicos y microbiológicos del SENA, regional Caldas, por permitirnos procesar en sus instalaciones el material colectado en campo.

Referencias

- Arimoro, F., Ikomi, R., Ajuzioegu, I., y Nwadukwe, F. (2001). Temporal and spatial variability in macroinvertebrate community structure in relation to environmental variables in Ajijiguan Creek, Niger Delta, Nigeria. *Afr J Aquat Sci*, 36(1), 57–66.
- Copatti, C., Fagundes, L., Quaini, J., y Copatti, B. (2013). Diversity of aquatic arthropods on *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms roots before and after removal of substrate in a reservoir in southern Brazil. *Panam J Aquat Sci*, 8(4), 265–275.
- Defensoría del pueblo. (2007). Resolución Defensorial n.º 50, Ciénaga de Palagua: Recuperación de las zonas de ronda y preservación ambiental. Recuperado de <http://bit.ly/2Z4AT1N>
- Domínguez, E., y Fernández, H. (2009). *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos, sistemática y taxonomía*. Tucumán: Fundación Miguel Lillo.
- Franco, G., y Takeda, A. (2002). Spatial and temporal variation on Odonata larvae associated with macrophytes in two floodplain lake from the upper Paraná-River, Brasil. *Acta Sci Biol Sci*, 24(2), 345–351.
- Jaramillo, J. (2003). Estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos asociados a macrófitas flotantes y su relación con la calidad del agua de la ciénaga Colombia. Caucasia, Antioquia. *Revista Ingenierías*, 2, 106–120.

- Kouamé, M., Diétoa, M., Da Costa, S., Edia, E., Ouattara, A., y Gourène, G. (2010). Aquatic macroinvertebrates assemblages associated with root masses of water hyacinths, *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms-Laubach, 1883 (Commelinales: Pontederiaceae) in Taabo lake, Ivory Coast. *J Nat Hist*, 44(5-8), 257–278.
- Kouamé, M., Diétoa, M., Edia, E., Da Costa, S., Ouattara, A., y Gourène, G. (2011). Macroinvertebrates communities associated with macrophyte habitats in a tropical man-made lake (Lake Taabo Côte d'Ivoire). *Knowl Managt Aquatic Ecosyst*, 400, 1–8.
- Lopes, A., De Paula, J., Mardegan, S., Hamada, N., y Piedade, M. (2011). Influência do hábitat na estrutura da comunidade de macroinvertebrados aquáticos associados às raízes de *Eichhornia crassipes* na região do Lago Catalão, Amazonas, Brasil. *Acta Amaz*, 41(4), 493–502.
- Marçal, S., y Callil, C. (2008). Structure of invertebrates community associated with *Eichhornia crassipes* Mart. (Solms-Laubach) after the introduction of *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Bivalvia-Mytilidae) in the upper Paraguay River, MT, Brazil. *Acta Limnol Bras*, 20(4), 359–371.
- Martínez-Rodríguez, M., y Pinilla, G. (2014). Valoración de la calidad del agua de tres ciénagas del departamento del Cesar mediante macroinvertebrados asociados a *Eichhornia crassipes* (Pontederiaceae). *Caldasia*, 36(2), 305–321.
- Masifwa, W., Twongo, T., y Denny, P. (2001). The impact of water hyacinth, *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms on the abundance and diversity of aquatic macroinvertebrates along the shores of northern Lake Victoria, Uganda. *Hidrobiología*, 452, 79–88.
- Olomukoro, O., y Osuinde, A. (2015). Associations of benthic macroinvertebrate assemblages with environmental variables in a creek flowing through an urban area in southern Nigeria. *Egerton J Sci & Technol*, 15, 141–156.
- Orwa, P., Omondi, R., Ojwang, W., y Mwanchi, J. (2015). Diversity, composition and abundance of macroinvertebrates associated with water hyacinth mats in Lake Victoria, Kenia. *Afr J Environ Sci Technol*, 9(3), 202–209.
- Pan, B., Wang, H., Pusch, M., y Wang, H. (2015). Macroinvertebrate responses to regime shifts cauces by eutrophication in subtropical shallow lakes. *Freshw Sci*, 34, 942–952.
- Pegado-Albilio, F., Fonseca-Gessner, A., Lunginho-Leite, R., y Leite de Melo, R. (2006). Gastrópodes e outros invertebrados do sedimento e asociados no macrófita *Eichhornia crassipes* de una açude hipertrófico do semi-árido Paraibano. *Bioterra*, 1, 165–178.
- Perea-Saavedra, Z., Bocanegra-Chung, I., y Alvan-Aguilar, M. (2011). Evaluación de comunidades de macroinvertebrados asociados a tres especies de macrófitas acuáticas en la laguna de Moronacocha, Iquitos. *Cienc Amaz*, 1(2), 96–103.
- Poi, A., Galassi, M., Carvenali, R., y Gallardo, L. (2016). Leaf litter and invertebrate colonization: The rol of macro consumers in a subtropical wetland (Corrientes-Argentina). *Wetlands*, 37(1), 135–143.
- Poi de Neiff, A., y Carignan, R. (1997). Macroinvertebrates on *Eichhornia crassipes* root in two lakes of the Parana river floodplain. *Hydrobiologia*, 345, 185–196.
- Quirós, J., Arias, J., y Rodríguez, E. (2010). Gastrópodos asociados a *Eichhornia crassipes* en el complejo cenagoso del bajo Sinú (Córdoba-Colombia). *Temas Agrarios*, 15(1), 84–95.
- Quirós-Rodríguez, J., Dueñas-Ramírez, P., y Ballesteros-Correa, J. (2010). Macroinvertebrados asociados a las raíces de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, en dos sectores del sistema cenagoso del Bajo Sinú, departamento de Córdoba Colombia. *Rev Asoc Col Cien*, 22, 147–157.
- Rivera-Usme, J., Pinilla, G., y Camacho-Pinzón, D. (2013). Grupos tróficos de macroinvertebrados acuáticos en un humedal urbano andino de Colombia. *Acta Biol Colomb*, 18(2), 279–292.
- Rocha-Ramírez, A., Ramírez-Rojas, A., Chávez-López, R., y Alcocer, J. (2007). Invertebrate assemblages associated with root masses to *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms-Launbach 1883 in the Alvarado lagoonal system, Veracruz México. *Aquat Ecol*, 41, 319–333.
- Rocha-Ramírez, A., Robles-Valderrama, E., y Ramírez-Flórez, E. (2014). Invasive alien species water hyacinth *Eichhornia crassipes* as abode for macroinvertebrates in hypertrophic ramsar site, lake Xochimilco Mexico. *J Environ Biol*, 35, 1071–1080.

- Rúa-García, G. (2015). Macroinvertebrados acuáticos asociados a raíces de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, en la ciénaga de Zapayán, Magdalena, Colombia. *Rev Intropica*, 10, 52–59. doi: <http://dx.doi.org/10.21676/23897864.1647>
- Uwadiae, R., Okunade, G., y Okosun, A. (2011). Community structure, biomass and density of benthic phytomacrobenthic communities in a tropical lagoon infested by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Panam J Aquat Sci*, 6(1), 44–56.
- Zambrano-Polanco, L., Zamora-González, H., Vásquez-Zapata, G., y López-Anaya, A. (2015). Determinación del estado sucesional de humedales en la cuenca alta del río Cauca, departamento del Cauca y Valle del Cauca, Colombia. *Rev Colombiana Cienc Anim*, 7(1), 58–69.
- Zhang, Z., Wang, Z., Zhang, Z., Zhang, J., Guo, J., Li, E., ... Yan, S. (2016). Effects of engineered application of *Eichhornia crassipes* on the benthic macroinvertebrate diversity in Lake Dianchi, an ultra-eutrophic lake in China. *Environ Sci Pollu Res*, 23, 8388–8397.

Anexos

ANEXO 1
Resumen de los parámetros fisicoquímicos medidos en la ciénaga de Palagua durante los meses de muestreo

Variable	Meses de muestreo						Sig.
	Abril		Mayo		Junio		
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	
Cobe (%)	53,333	± 23,049	44,222	± 22,230	58,333	± 15,207	NS
Tran (m)	0,347	± 0,054	0,389	± 0,046	0,347	± 0,172	NS
Prof (m)	1,393 ¹	± 0,212	1,987 ²	± 0,410	1,808 ^{1,2}	± 0,435	**
pH	6,662	± 0,115	6,711	± 0,137	6,558	± 0,235	NS
Temp (°C)	32,111	± 1,210	32,211	± 0,996	33,133	± 1,309	NS
CIT (mg/L)	0,762	± 0,076	0,756	± 0,194	0,887	± 0,257	NS
CIL (mg/L)	0,543	± 0,074	0,507	± 0,133	0,688	± 0,267	NS
Alca (mg/L)	62,556 ²	± 7,552	62,889 ²	± 12,859	49,111 ¹	± 12,374	*
Cobr (mg/L)	0,087	± 0,046	0,131	± 0,074	0,131	± 0,119	NS
Oxig (mg/L)	6,522 ²	± 0,608	4,333 ¹	± 0,911	4,033 ¹	± 0,915	***
Satu (%)	87,333 ²	± 6,028	60,889 ¹	± 10,240	56,889 ¹	± 13,090	***

Fuente: elaboración propia, 2018

Nota: en cada línea, la media con el mismo número como superíndice no son significativos. NS ($p > 0,05$); * ($p < 0,05$); ** ($p < 0,01$), y *** ($p < 0,001$). DE: desviación estándar; Cobe: porcentaje de cobertura de la macrófita; Tran: turbidez indirecta; Prof: profundidad de la ciénaga; Temp: temperatura del agua; CIT: cloro total; CIL: cloro libre; Alca: alcalinidad; Cobr: cobre; Oxig: oxígeno disuelto y Satu: porcentaje de saturación de oxígeno.

ANEXO 2
 Coeficiente de correlación de Spearman entre los parámetros físicos y químicos medidos en la ciénaga de Palagua

Variables	Cobe	Tran	Prof	pH	Temp	CIT	CIL	Alca	Cobre	OD	Sat
Cobe	1										
Tran	0,558**	1									
Prof	0,106	-0,146	1								
pH	0,012	0,032	-0,079	1							
Temp	0,372	0,042	0,261	-0,284	1						
CIT	0,080	-0,176	0,055	-0,113	0,135	1					
CIL	0,125	-0,137	0,239	-0,008	0,266	0,835**	1				
Alca	-0,049	-0,244	-0,001	0,382*	-0,474*	-0,295	-0,374	1			
Cobre	0,295	-0,160	0,136	-0,298	0,372	0,201	0,251	-0,187	1		
Oxig	-0,172	-0,225	-0,518**	0,243	-0,401*	-0,121	-0,054	0,246	-0,133	1	
Satu	-0,113	-0,200	-0,504**	0,280	-0,259	-0,073	0,013	0,155	-0,182	0,962**	1

Fuente: elaboración propia, 2018

Nota: en cada línea, los coeficientes sin asterisco o superíndices no presentaron diferencia significativa ($p > 0,05$); * ($p < 0,05$), y ** ($p < 0,01$). Cobe: porcentaje de cobertura de la macrófita; Tran: turbidez indirecta; Prof: profundidad de la ciénaga; Temp: temperatura del agua; CIT: cloro total; CIL: cloro libre; Alca: alcalinidad; Cobre: cobre; Oxig: oxígeno disuelto, y Satu: porcentaje de saturación de oxígeno.

ANEXO 3
 Abundancia de macroinvertebrados acuáticos asociados a las raíces de *E. crassipes* durante los meses de muestreo en tres sitios de la ciénaga de Palagua (Colombia)

Taxón/sitio de muestreo	Familia	Caño Aguilinda				Ciénaga				Caño Palagua				Total
		M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	
Amphipoda	Hyalellidae	9	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	11
	Hydrobiidae	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Bassomatophora	Physidae	0	1	0	3	0	0	0	1	0	1	4	11	21
	Planorbidae	107	47	194	129	63	258	1095	471	56	440	756	471	4087
Coleoptera	Carabidae	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	Curculionidae	1	0	1	1	2	0	1	2	1	0	1	0	10
	Dytiscidae	0	0	8	0	6	4	0	2	1	0	0	0	21
	Hydrophilidae	31	2	11	8	5	2	21	4	9	7	5	1	106
	Lampyridae	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	Lutrochidae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Noteridae	136	30	80	130	73	49	90	68	51	40	113	127	987
	Scirtidae	0	0	4	0	2	10	1	3	1	10	1	2	34
	Staphylinidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Conchostraca	Cyclestheriidae	295	114	140	233	349	327	92	183	494	498	121	128	2974
	Ceratopogonidae	99	3	113	32	76	23	87	10	25	32	83	60	643
Diptera	Chironomidae	141	22	385	51	201	157	142	18	442	164	42	46	1811
	Culicidae	15	1	162	102	68	36	5	12	53	33	9	7	503
	Psychodidae	0	0	1	0	0	0	0	0	71	0	0	0	72
	Tabanidae	12	1	1	0	1	3	5	6	4	2	0	0	35
	Tipulidae	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1

Fuente: elaboración propia, 2018

ANEXO 3 (CONT.)

Abundancia de macroinvertebrados acuáticos asociados a las raíces de *E. crassipes* durante los meses de muestreo en tres sitios de la ciénaga de Palagua (Colombia)

Taxón/sitio de muestreo		Caño Agualinda				Ciénaga				Caño Palagua				Total
Orden	Familia	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4	
Ephemeroptera	Baetidae	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Glossiphoniiformes	Glossiphoniidae	2	0	3	1	2	0	8	0	1	0	0	0	17
Haplotaxida	Haplotaxidae	0	3	1	0	3	3	1	0	1	0	0	0	12
	Tubificidae	0	0	0	48	0	0	0	11	0	0	0	35	94
Hemiptera	Belostomatidae	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2
	Hebridae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Naucoridae	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2
	Nepidae	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	Notonectidae	5	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	7
	Pleidae	10	0	2	8	3	0	2	1	0	1	1	0	28
	Veliidae	0	0	1	0	0	0	0	0	3	0	0	0	4
Odonata	Calopterygidae	5	0	0	3	1	2	1	0	20	0	0	0	32
	Coenagrionidae	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	1	5
	Lestidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	Libellulidae	6	4	11	7	6	9	2	4	6	16	5	1	77
Trombidiformes	Hydrachnidae	21	0	0	0	2	0	0	0	12	3	0	0	38
	Hygrobatidae	5	0	36	25	4	5	4	10	1	8	1	12	111
Total		907	228	1162	783	868	889	1557	806	1258	1256	1143	902	11.759

Fuente: elaboración propia, 2018

Notas

- * Artículo de investigación Este artículo es producto del proyecto Valoración del Estado de Conservación de la Ciénaga de Palagua-Puerto Boyacá, a partir de los Macroinvertebrados Asociados a las Raíces de *Eichhornia crassipes*. Periodo de Ejecución: Abril-Julio.

Financiamiento

Fuente: Centro Pecuario y Agroempresarial, regional Caldas

Beneficiario: Macroinvertebrados asociados a raíces de *Eichhornia crassipes* (Pontederiaceae) en la Ciénaga de Palagua (Colombia)

Licencia Creative Commons CC BY 4.0

Cómo citar este artículo: Murillo-Montoya, S. A., Restrepo-Bastidas, E. S., Mendoza-Mora, A., Fadul-Vázquez, C. J., Calderón-García, X. F., y Rodríguez, M. Á. (2018). Macroinvertebrados asociados a raíces de *Eichhornia crassipes* (Pontederiaceae) en la Ciénaga de Palagua (Colombia). *Ambiente y Desarrollo*, 22(43). <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd22-43.mare>