

REVIEW ARTICLE

Aquatic macroinvertebrates as water quality bioindicators in Colombia: A systematic review

Macroinvertebrados aquáticos como bioindicadores de qualidade de água na Colômbia: uma revisão sistemática

Dennis Castillo-Figueroa¹
dennis.castillof@gmail.com

Laura L. Garzón-Salamanca¹
lauragarzons@gmail.com

Juan F. Albarracín-Caro¹
juanfel321@gmail.com

Abstract

The use of aquatic macroinvertebrates to assess water quality has been growing during the last 50 years in Colombia. We conducted a systematic review of 109 references to analyze scientific production related to the evaluation of water quality in Colombian freshwater ecosystems, using aquatic macroinvertebrates. We describe bibliographical, geographical, ecological, and methodological characteristics of these studies. In the last two decades, there was an increase of more than 50% of publications. The Andean region was the most studied, while the other regions had few research. Lotic ecosystems were widely studied, unlike the lentic ones. The main land use management was agricultural. BMWP and diversity indices were the most used in the analyses. Further research is necessary in lentic ecosystems since they are being severely impacted by anthropogenic pressures, but were not assessed yet. Different regions that harbor diverse aquatic ecosystems (e.g. Amazon, Orinoquia) have been little studied. There is a critical need to revisit traditional indices, aiming at avoiding wrong assumptions about the relation between aquatic macroinvertebrates communities and water quality. For this purpose, it is recommended that assumptions and conditions required for using the indices, high taxonomic resolution, and new approaches, such as effective number of species, are taken into account.

Keywords: aquatic insects, biotic indices, BMWP, diversity indices, lentic ecosystems, lotic ecosystems, water pollution.

Resumo

O uso de macroinvertebrados aquáticos para avaliar a qualidade da água tem crescido nos últimos 50 anos na Colômbia. Realizamos uma revisão sistemática de 109 referências para analisar a produção científica relacionada com a avaliação da qualidade da água em ecossistemas aquáticos colombianos utilizando macroinvertebrados aquáticos, descrevendo características bibliográficas, geográficas, ecológicas e metodológicas desses estudos. Nas últimas duas décadas, houve um aumento de mais de 50% das publicações. A região Andina foi a mais estudada, enquanto as demais tiveram poucas pesquisas. Ecossistemas lóticos foram amplamente estudados, ao contrário dos lênticos. O principal uso da terra dos estudos foram paisagens agrícolas. BMWP e índices de diversidade foram os mais utilizados para as análises. Pesquisas adicionais são necessárias em ecossistemas lênticos, porque eles têm sido gravemente afetados por pressões antropogênicas, mas ainda não foram avaliados. Diferentes regiões abrigando diversos ecossistemas aquáticos, tais como Amazônia e Orinoquia, foram pouco estudadas. Há uma necessidade crítica de revisar os índices tradicionais, visando evitar premissas erradas sobre a relação entre comunidades de

¹ Pontificia Universidad Javeriana. Unidad de Ecología y Sistemática (UNESIS), Departamento de Biología. Carrera 7 No. 43-82, 11001000, Bogotá, D.C., Colombia.

macroinvertebrados aquáticos e a qualidade da água. Para isso, recomenda-se levar em consideração pressupostos e condições necessárias para usar os índices, uma alta resolução taxonômica e novas abordagens, como o número efetivo de espécies.

Palavras-chave: insetos aquáticos, índices bióticos, BMWP, índices de diversidade, ecossistemas lênticos, ecossistemas lóticos, contaminação da água.

Introduction

Water is the essential resource of life on Earth. All living organisms, including humans, depend on water for survival (Nizel Halder and Nazrul Islam, 2015). However, water quantity and water quality (WQ) have been affected in the last few decades by human-induced environmental issues such as climate change (Karl *et al.*, 2009), population growth (Kirbi *et al.*, 2003; Vorosmarty *et al.*, 2000), land cover change, urbanization, industrialization, among others (Vorosmarty *et al.*, 2010). In fact, it is expected an increase of eutrophication in almost all of the water surface in 2030 (UNESCO, 2015).

Water pollution is a serious threat to nature and human population. Its effects have severe impacts on aquatic communities (Zamora, 1998a), human health (Alrumman *et al.*, 2016), food production (Kirby *et al.*, 2003) and economic development (Nizel Halder and Nazrul Islam, 2015). Therefore, assessing WQ is critical for both conservation planning and policy making in order to protect this key resource (Ouyang, 2005).

Traditional evaluation of WQ has been done using physicochemical and microbiological variables (Roldán-Pérez, 2016). Recently, researchers have included macroinvertebrates to assess WQ in freshwater ecosystems. Aquatic macroinvertebrates (AM) are useful bioindicators of WQ due to their broad distribution, high abundance, short life cycles, easy sampling, and rapid response to anthropogenic pressure (Ríos-Touma *et al.*, 2014; Gamboa *et al.*, 2008; Roldán-Pérez, 1999). Hence, the United States of America and many countries of Europe have used these organisms for monitoring lotic and lentic ecosystems, being useful in their recuperation during the last 20 years (Roldán-Pérez, 2016).

In Latin America, the interest on biomonitoring and bioindication studies using AM has been growing and may probably increase in the future (Ramírez and Gutiérrez-Fonseca, 2014). In Colombia, the use of AM in the study of WQ started in the decade of 1970s with investigations that assessed the effect of industrial and domestic pollution on rivers and streams of Medellín (Antioquia) (Roldán-Pérez *et al.*, 1973; Pérez and Roldán-Pérez, 1978). Since then, mathematical indices aiming to establish a relationship between AM and WQ have been widely used in the analysis of WQ in different aquatic ecosystems of the country. These indices include the Biotic index of Hilsenhoff (IBF) (Hilsenhoff, 1988), ETP (Klemm *et al.*, 1990), BMWP-Col (Roldán-Pérez, 2003), ASPT (Roldán-Pérez, 2003)

and diversity indices, such as Shannon-Wiener (1949) and Simpson (1949). Other approaches using AM in WQ, as for example, fuzzy logic and neural networks were implemented on waterbodies of Bogotá (Gutiérrez *et al.*, 2002). Recently, indices, such as Biotic Integrity Index of Macroinvertebrates (BIIM) (Martínez-Rodríguez and Pinilla, 2014) and Aquatic Ecological Index based on freshwater (ICERN-MAE) (Forero *et al.*, 2014), were created in order to include more variables for better assessment of WQ using AM in Colombian aquatic ecosystems.

Nowadays, there is a considerable amount of studies of AM as WQ bioindicators in Colombia, but the information is highly dispersed and, often, difficult to find, so that a systematic analysis of this issue is not only relevant but also needed. Gathering research items about this topic in the country will be useful to evaluate the progress of bioindication, define priorities in future research, and identify gaps of scientific knowledge. Hence, we conduct a systematic review to analyze scientific production related to evaluation of WQ in Colombian aquatic ecosystems using AM. We described the principal characteristics of the studies, including geographic information, land use management, ecological information, and methodological analysis. We identified biases and gaps in scientific production for future research on this topic.

Materials and methods

Data compilation

This systematic review was carried out in June of 2017. To conduct the most complete possible compilation, literature was collected using the databases ScienceDirect, Redalyc, Web of Science, Scopus, SciELO, EBSCO and Google Scholar without restricting publication year. We searched for references that contained in the title, abstract, and/or keywords the following search terms with all the possible combinations: (“water quality” OR “bioindicators” OR “biological monitoring” OR “environment indicator” OR “biomonitoring” OR “bioindication” OR “biotic index” OR “biological quality” OR “pollution”) AND (“macroinvertebrates” OR “aquatic invertebrates” OR “aquatic insects” OR “aquatic entomofauna” OR “benthic fauna”) AND (“Colombia”). The Google Scholar search produced 50 pages of results, which were completely revised. We also identified additional studies cited within this primary literature.

Results

Bibliographic information

After eliminating the duplicated documents, we selected original articles, book chapters and theoretical references (i.e. reviews, viewpoints, comments). Gray literature, such as thesis, congress memories, and technical reports were excluded from the analysis. Thus, we found 121 references. We filtered them using two exclusion criteria. First, we excluded checklist, new records, and taxonomic papers because those studies had not the aim of assessing WQ. Secondly, we did not consider studies of diet, temporal distribution, and habitat preference, because those themes are not properly bioindication research. Although these studies are important for ecological knowledge of AM, the objective of those studies was not to assess water quality as such. In total, 109 references were selected for the systematic review.

Data analysis

For quantify data, a Microsoft Excel database was compiled, in which the following attributes were included:

- (1) Bibliographic information: year, type of publication, journal, institutional affiliation of each author.
- (2) Geographic information: Colombian region, department, elevational range.
- (3) Ecological information: aquatic system, land use management.
- (4) Methodological information: taxonomic resolution, data analysis, biotic indices, other analyses (i.e. physicochemical, microbiological, ictiological, planktonic, stream channel morphology).

From 1973 to 2017, 109 references were found (Appendix 1). More than 60% (n=68) were carried out in the last two decades, showing a remarkable increase of bioindication studies using AM in the country (Figure 1c). The type of publication was mainly original articles (n=93), followed by book chapters (n=9) and theoretical references (n=7) (Figure 1a).

Papers were published in a wide variety of journals, most of them with local impact (i.e. Quartil Scores 3-4). Indeed, only 31% (n=31) of the references were indexed in SCOPUS database. Some of the Colombian scientific journals with most papers were: *Actualidades biológicas* (n=10, 10%), *Revista Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas* (n=10, 10%), *Caldasia* (n=9, 9%), and *Acta Biológica Colombiana* (n=8, 8%). Regarding to the author affiliations, the vast majority corresponded to universities (87% national and 13% international), followed by the corporative sector. Government institutions and Non-Government Organizations had little contributions (Figure 1b).

Geographic information

Most of the studies were carried out in Andean region (n=80, 84%), while studies in Caribbean (n=7, 7%), Pacific (n=6, 6%), Orinoquia (n=2, 2%) and Amazon regions (n=1, 1%) were notably lower. Departments with

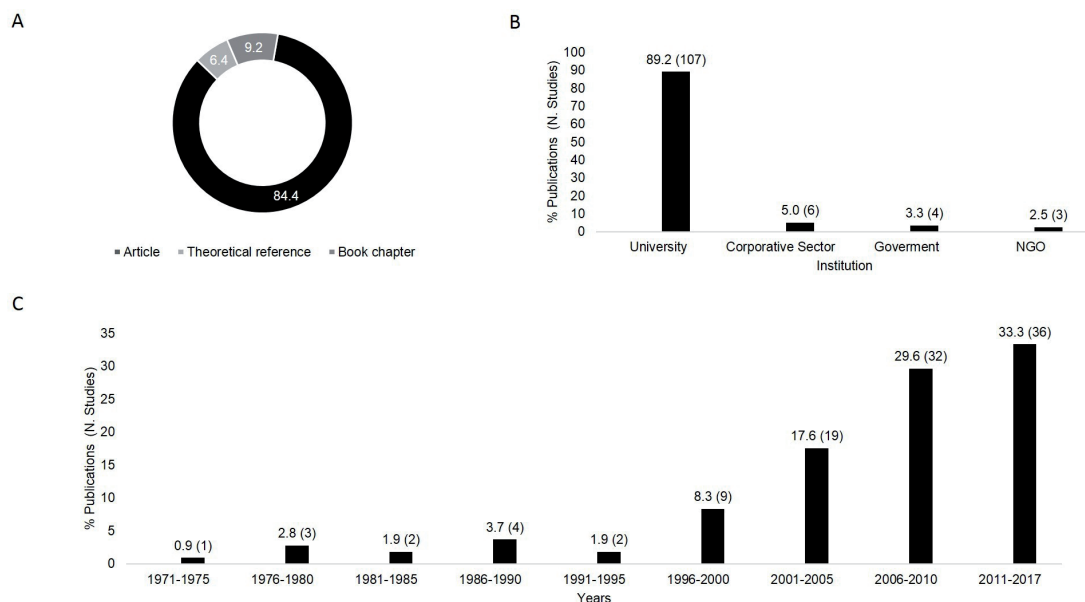


Figure 1. Bibliographic information related to evaluation of water quality in Colombian freshwater ecosystems, using aquatic macroinvertebrates: (A) type of publication, (B) institutional affiliation of each author, (C) publications in each period.

most studies were Antioquia ($n=21$, 20%), Cundinamarca ($n=15$, 15%) and Quindío ($n=13$, 13%), followed by Valle del Cauca ($n=12$, 12%), while departments with less studies (excluding the 14 departments with no studies reported) were Amazonas, and Boyacá each with 1% ($n=1$) of the studies (Figure 2).

Study sites comprise a wide variety of elevation ranges, with a slight tendency to decrease at higher elevations. Most of the study sites were located at elevations between 1000 and 3000 m ($n=88$, 70%). Fewer studies conducted in lowlands (between 0-1000m) and highlands (above 3000m) were found ($n=29$, 23% and $n=8$, 7% respectively).

Ecological information

Most of the studies focused on lotic ecosystems ($n=88$, Figure 3b), while lentic ecosystems have been notably less studied ($n=10$, Figure 3c). In relation to the context of the study sites, most of the references reported that land use management around the freshwater ecosystems were agricultural, followed by domestic and industrial. Sites that reported land use associated with mining, dam constructions and wood extraction were less reported (Figure 3a).

Methodological information

Half of the studies had a taxonomic resolution to genera level, followed by family level. However, only 2% of the publications have deepened into specific level, indicating that high taxonomic resolution for AM is scarce (Figure 4b).

Analysis methods were mainly based on biotic indices followed by diversity indices (Figure 4c). Seven biotic indices were found (Figure 4d). From these, BMWP was the most used, followed by ASPT and ETP, while the other four indices were rarely used (Figure 4d). Multivariate statistics, such as principal component analysis, non-metric dimensional scaling, cluster analysis, multiple regressions and correspondence analysis, were quite common. Fuzzy logic and network analysis were rare (Figure 4c).

Finally, other analysis included five main categories (Figure 4a). Within these, physicochemical analyses were widely used paired with AM indices for quantifying WQ. Other approaches included microbiological analysis and to a lesser extent: ichthyological analysis, plankton analysis, and stream channel morphology (Figure 4a).

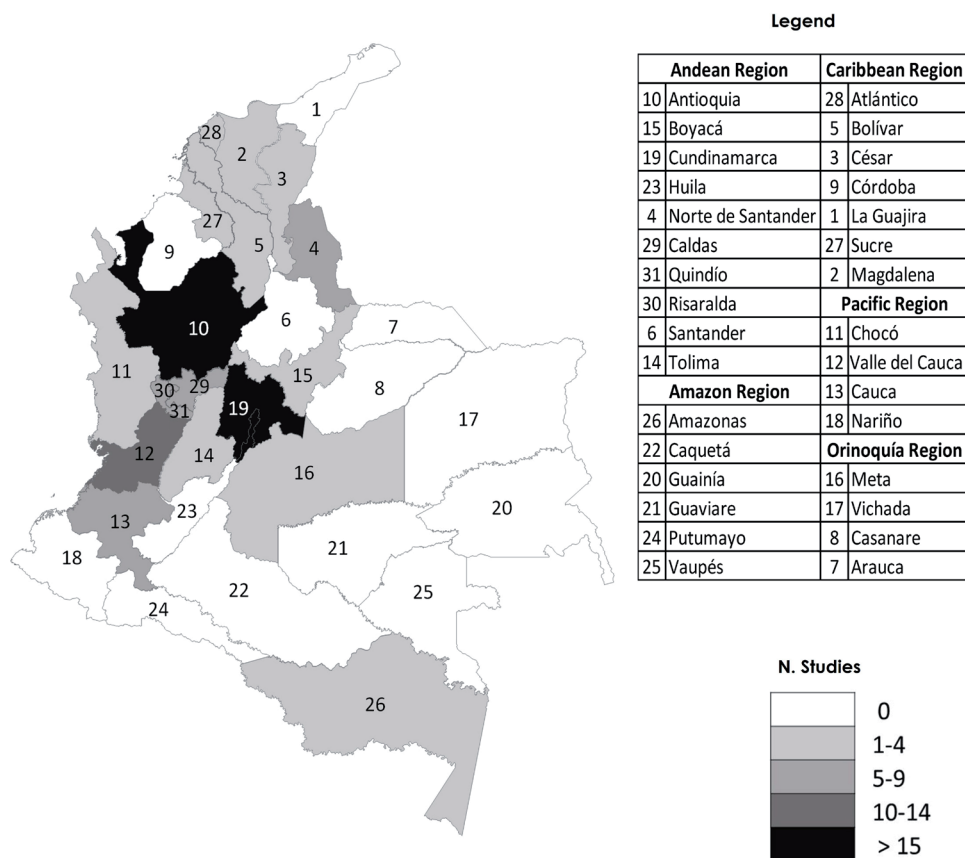


Figure 2. Number of studies related to evaluation of water quality in freshwater ecosystems, using aquatic macroinvertebrates, in each administrative region of Colombia between 1974-2016.

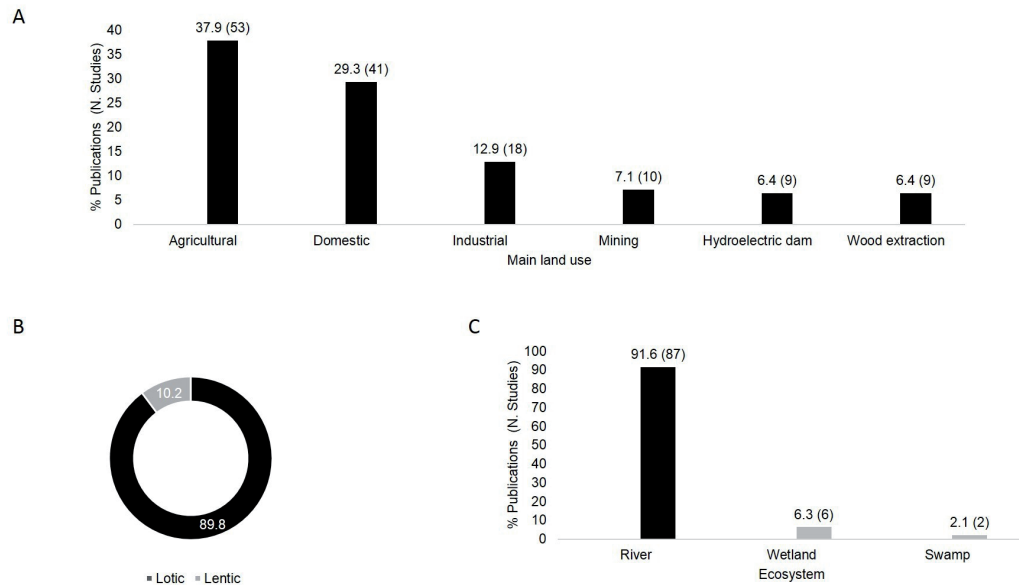


Figure 3. Limnological ecosystems and land use management: (A) main land use of the study site, (B) aquatic system (i.e. lotic and lentic), (C) ecosystem.

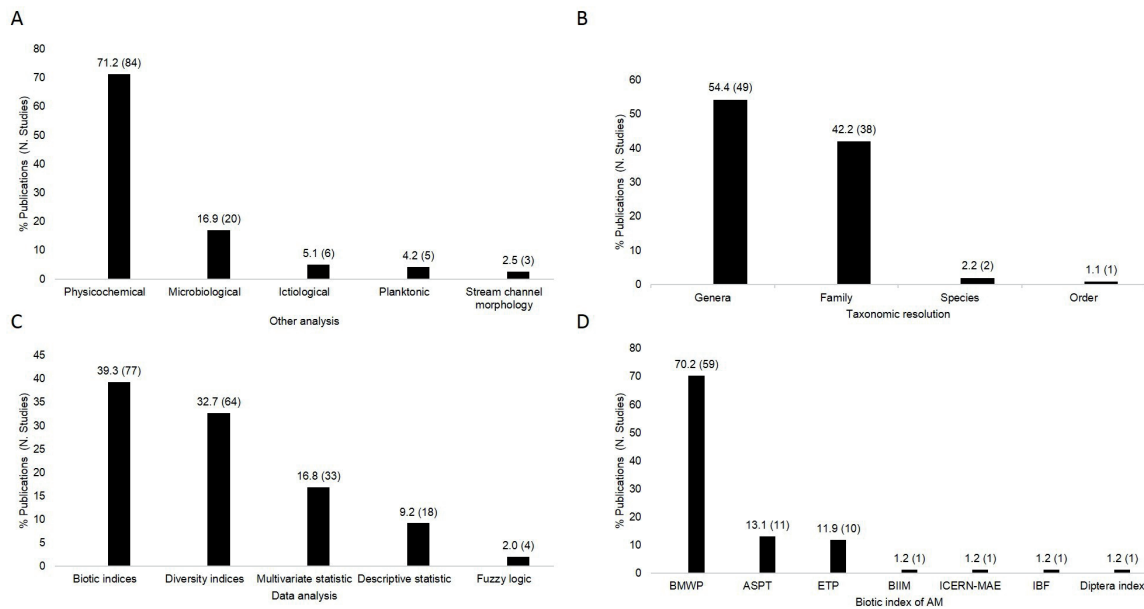


Figure 4. Methodological information in studies related to evaluation of water quality in Colombian freshwater ecosystems, using aquatic macroinvertebrates: (A) physicochemical, microbiological, ictiological, planktonic and stream channel morphology analysis, (B) taxonomic resolution, (C) data analysis, (D) biotic indices.

Discussion

Publication trends

The last decade showed a noteworthy increase in the studies of AM as bioindicators of WQ in Colombia, re-

flecting an expanding research interest in this topic (Figure 1c). This increase is more evident in the period 1997-2000 and is largely related to the formulation and application of biotic indices, specially the BMWP which had adaptations to different departments like Antioquia (Roldán-Pérez, 2003), and Norte de Santander (Sánchez-Herrera, 2005).

In terms of author affiliations, the fundamental role of Colombian universities as producers of knowledge is remarkable (Bucheli *et al.*, 2012; Figure 1b), which in most of the cases is done by Colombian researchers linked to national universities (Salazar-Acosta *et al.*, 2010). These institutions will be crucial in fostering innovation and preparing the next generations to face and overcome the new research challenges (Aldana-Domínguez *et al.*, 2017).

Advances in aquatic ecosystems

Lotic ecosystems, mainly of first order rivers, were the most evaluated, unlike lentic ecosystems such as lakes, wetlands, swamps, and hydroelectric dams (Figure 3B). Even though some physicochemical characteristics have been studied in lentic ecosystems, further research related to the grade of eutrophication and its effect on ecosystem function is lacking (Roldán-Pérez, 2009). AM could be useful for this purpose. Additionally, the evaluation of WQ in flood plain lakes (swamps), or “Ciénagas” as commonly known in Colombia, is important due to its socioeconomic relevance for the ecosystem services provided by fisheries and tourism (Montoya and Aguirre, 2009). Colombia harbors over 1900 swamps (Arias, 1985), but very few studies have evaluated WQ using AM in these ecosystems (Montoya and Aguirre, 2009).

Paramos are some of the least studied ecosystems in the world (Buytaert *et al.*, 2011). Despite some studies assessing community assembly of AM in Paramos lagoons (Alba-Hincapié *et al.*, 2016; Gómez *et al.*, 2016; Posada-García *et al.*, 2008), more research is needed in the evaluation of its WQ. Understand this ecosystem in terms of its hydrology may foster a better management of water resources (Flores-López *et al.*, 2016). Paramos ecosystems are critical for water supply in local communities, regulating water resource during seasonal variations (Alba-Hincapié *et al.*, 2016; Buytaert *et al.*, 2006), and serving as the region's headwaters for downstream users (Flores-López *et al.*, 2016). For instance, this ecosystem provides 95% of water to the capital city (Bogotá) (Buytaert *et al.*, 2011). However, key aspects such as hydrological and biological processes remain poorly understood (Flores-López *et al.*, 2016).

It is important to focus the research on lentic ecosystems because it is unknown how human impact could affect WQ in these ecosystems. Approximately 24% of the total area of Colombian wetland ecosystems have been used in livestock, agriculture, urbanization and mining (Patiño *et al.*, 2016). In addition, Paramos ecosystem for the period 1970-2014 lost 15.9% of its original coverage due to paddock and agricultural land uses (Etter *et al.*, 2015). Nevertheless, there is little data regarding the effect of anthropogenic pressures on the water resource. Further research is needed for evaluating the impact of landscape

management on Colombian lentic ecosystems, and AM are great model organisms to do this.

Scientific production in Colombian regions

The hydrological distribution of water resources is not homogenous throughout the national territory, and it is subject to strong variations that determine the availability of the water resource (Roldán-Pérez *et al.*, 2014). Study cases on WQ using AM were focused in one specific region: Colombian Andes (Figure 2). Andean region present the highest population density of the country, and is one of the most important in national economy (Roldán-Pérez *et al.*, 2014; DANE, 2005). Particularly, rivers that belong to Magdalena-Cauca watershed were most investigated. This is not a surprising finding, taking into account that Magdalena-Cauca watershed harbor over 80% of the Colombian population, provides about 80% of the national Gross Domestic Product, and generate 84% of hydroelectric power of the country (Jiménez-Segura *et al.*, 2014).

The other regions had few studies of AM as bioindicators of WQ (Figure 2). Some of the major rivers of the country, such as Amazonas, Caquetá, Vaupés, Guainía, Putumayo (Amazon region), Atrato (Pacific region), and Meta Rivers (Orinoquia region), remain poorly known in terms of their WQ, and are virtually virgins on the study of AM. On the other hand, although some scientific contributions of AM about spatial and temporal patterns have been done in Gorgona island (Gómez-Aguirre *et al.*, 2009), and community assembly studies have been developed in Providence island (Cortés-Guzmán and Ospina-Torres, 2014), Insular region lacks bioindication research.

Most of the studies of WQ using AM were developed in elevations between 1000-3000 meters, but there were also some works above 3000m. Throughout this altitudinal gradient, different Andean ecosystems are found: Subandean forest (1000-2300m), Andean forest (2300-3200m), High Andean forest (3000-3500m), and Paramo ecosystem (over 3200m) (Castaño-Urbe, 2002). Concerning lowlands (0-1000m), few studies were done. It is important to focus further research on lowland aquatic ecosystems to know the effect of water discharges on aquatic ecosystems and its associated biological communities such as AM.

Trends in land use management

Due to the geographical localization, varying topography and climate regime, Colombia has one of the most important water resources of the world (Roldán-Pérez *et al.*, 2014; Roldán-Pérez, 2009). Nonetheless, anthropogenic pressures affect hydrological cycle and WQ (Roldán-Pérez *et al.*, 2014), and it is known that landscape transformation caused by agriculture, has detrimental effects on aquatic ecosystems (Murgueitio and Ibrahim, 2009). Within

the studies analyzed, this type of land use was the most frequent (Figure 3a), as it is reported in Latin America (Ramírez and Gutiérrez-Fonseca, 2014). Agriculture may use chemical agents, contributing to water pollution, deforestation of riparian forest, soil erosion, and water flow modification (Chará *et al.*, 2007). In this sense, agricultural activities may affect the structure and function of AM communities (Giraldo *et al.*, 2014).

Urbanization and industrialization were the second land use type reported in the studies (Figure 3b). The urban and industrial expansion is increasing in Colombia (DANE, 2005), and such expansion has consequences in the discharge of wastewater, solid waste, and sediments in the waterbodies (Senhadji-Navarro *et al.*, 2017; Nizel Halder and Nazrul Islam, 2015).

Since the period 2004–2008 mining licenses have been increasing in the country (Grisales-González and Insuasty-Rodríguez, 2016; Insuasty-Rodríguez *et al.*, 2013), but it is unknown many of its real effects on the WQ of different Colombian freshwater ecosystems. Carbon mining, for example, affects diversity of AM because of acidification and pollution of heavy metals, which reduce oxygen available for biological processes in the water (Zuñiga, 1986). AM could be useful as bioindicators of water pollution in gold mining and other metals that are highly exploited in the country, as well as the Andean region of South America (Ríos-Touma *et al.*, 2014).

Finally, few studies were reported in hydroelectric dams (Figure 3a), which are important sources of energy in Colombia. In fact, 64.2% of electrical matrix in the country proceed from hydraulic energy (UPME, 2013). Further research using AM as bioindicators should assess the state of WQ altered by dam constructions, considering the government plans to duplicate the development of hydroelectric energy in the next ten years (UPME, 2013), to satisfy the population growth in the country (Jiménez-Segura *et al.*, 2014).

Methodological analysis in bioindication using AM

Many approaches in the analysis of AM as bioindicators have been found. Biotic indices were quite common (Figure 4c); BMWP index was the most used due to its easy application, and frequently was complemented with ASPT index (Roldán-Pérez, 2003, Figure 4d). However, BMWP has many limitations. For instance, BMWP uses only qualitative data (*i.e.* absence and presence) without taking into account abundance or biomass of AM. This is a major issue, considering that change in abundances (or biomass) is an indicator of species response to environmental gradients. On the other hand, in BMWP the taxonomic resolution is to family level, ignoring the high variation of tolerance ranks within genera and species belonging to the same family; in this index, the scores are based on expert

criteria, instead numerical and objective criteria (Forero *et al.*, 2014) and may not accurately reflect WQ (Ríos-Touma *et al.*, 2014). Moreover, although there are some adaptations in different locations (*e.g.* Sánchez-Herrera, 2005; Zamora, 1999), BMWP needs to be specific to the geomorphology, climate, and ecological attributes of the study region (Roldán-Pérez, 2016; Forero *et al.*, 2014).

Physicochemical and microbiological analyses were the most used complementing AM evaluations (Figure 4a). During 1970–1990, the main variables used to assess WQ were chemical (*e.g.* phosphate, nitrate, oxygen, pH), physical (*e.g.* temperature, conductivity), and microbiological variables (*e.g.* coliforms). However, these variables are not suitable for the evaluation of long temporal span in waterbodies. Due to their sedentary habits, AM are idoneous for this purpose (Gamboa *et al.*, 2008). The integration of physicochemical and biological analysis may be critical for a better understanding of the WQ. In this sense, it is important to look forward to multimetric indices. Nonetheless, the missing information about environmental tolerance of different taxonomic groups make difficult the application of multimetric indices (Ramírez and Gutiérrez-Fonseca, 2014), but there are some important efforts that can be useful as multimetric indices, such as Aquatic Ecological Index based on freshwater (ICERN-MAE) (Forero *et al.*, 2014).

Diversity indices were highly used for analyzing WQ using AM (Figure 4c). Most of the indices were applied as entropy measure, but not as effective number of species or genera. Furthermore, many studies showed clear misconceptions on the theoretical framework around diversity and its assumptions. It is important to make a scale transformation in diversity indices, such as Simpson and Shannon, for better ecological interpretation (Jost 2006, 2007; Jost and Cutid-Medina 2016). In this systematic review, only 2% ($n=1$) of the publications used the *effective number of species* (also called “true diversity”). Also, in most of the studies misinterpretations of diversity indices were found. Approximately 67% of the studies ($n=32$) made wrong inferences relating diversity and pollution, in fact, some authors mention a score that corresponds to a level of pollution in Shannon index (*e.g.* Pino-Chalá *et al.*, 2003; Zamora, 1998b), and Margalef index (*e.g.* Pérez and Roldán-Pérez, 1978). The 25% ($n=4$) made numerical comparisons between sites but no statistical comparisons (*e.g.* *t*-test, CI 95%), and the 8% made random categories of high and low diversity (*e.g.* Zamora, 1998a; Longo *et al.*, 2004).

However, some criticisms on the use of diversity indices as a measure of WQ have been done before (Jost and Cutid-Medina, 2016). For instance, Ramírez (2005) argue a spurious relation between pollution and diversity. Diversity indices are only descriptors of community structure, including species richness and distribution of its abundances (Ramírez,

2005). Nevertheless, diversity indices can be useful if are well applied and interpreted. It has been proposed to use the measure of *effective number of species or genera*, utilizing AM in which high taxonomic resolution is easy to achieve (i.e. species or genera level) (Jost and Cutid-Medina, 2016).

Regarding taxonomic resolution, biotic indices were applied considering the family level (e.g. BMWP, ASPT) or even the order (e.g. ETP) in most studies. Few studies determined their specimens at species level (Figure 4b). A possible explanation is that the Neotropical region has a great diversity of AM within the families, genera and even at intraspecific level, increasing the difficulty in taxonomic resolution. In addition, it is necessary to advance in the taxonomic study of larval stages of AM species (Springer, 2010), to allow accuracy about individual counts and therefore on bioindication of WQ.

With the advances of taxonomic knowledge, it would be important to modify biotic indices or create new indices, using genera level at least to be more accurate in the analysis of WQ and taking into account the new frontiers on the diversity measures (i.e. *effective number of species*). Other analysis like saprobic approach, which describes the tolerance of organisms in polluted conditions (Kolkwitz and Marsson, 1908), could be applied with additional data to species level, but this information is not available yet in the Neotropical region (Roldán-Pérez, 2016).

Concluding remarks

AM are useful as WQ bioindicators. Despite the remarkable increase of publications in the last years, further research is necessary in different aspects. Additional data is needed in lentic ecosystems; even though lakes, wetlands, swamps, and dams are facing several anthropogenic pressures, WQ of many of them have not been assessed yet. Andean region has most of the publications, but other important regions that harbor diverse and highly important aquatic ecosystems, such as Amazon, Orinoquia and Caribbean, have been little studied.

The main analysis methods were biotic indices, specifically BMWP, ASPT and ETP for its low taxonomic resolution and easy analysis. Diversity indices were quite common, but it is important to consider *effective number of species or genera*, assumptions of indices and better taxonomic resolution for data analysis. It is important to improve the taxonomic resolution for the application of other analysis, such as saprobic approach and multimetric indices. Nonetheless, high diversity of AM throughout the Neotropical region, as well as scarce knowledge of larval stages, make difficult the taxonomy of these organisms.

Acknowledgments

We are thankful to the library Alfonso Borrero Cabal S.J from Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá, Co-

lombia) for giving bibliographical material restricted online. William Figueroa reviewed the English version of the manuscript. We also thank the two reviewers for comments and corrections in the manuscript.

References

- ALBA-HINCAPIÉ, A.; GONZÁLEZ-REY, G.; LONGO. 2016. Macroinvertebrados asociados a macrófitas en la laguna La Virginia, páramo Sumapaz, Colombia. *Biota Colombiana*, **17**(Supl. 2):3-19.
- ALDANA-DOMÍNGUEZ, J.; MONTES, C.; MARTÍNEZ, M.; MEDINA, N.; HAHN, J.; DUQUE, M. 2017. Biodiversity and Ecosystem Services Knowledge in the Colombian Caribbean: Progress and Challenges. *Tropical Conservation Science*, **10**:1-41.
<https://doi.org/10.1177/1940082917714229>
- ALRUMMAN, S.A.; EL-KOTT, A.F.; KESHK, S.M. 2016. Water Pollution: Source & Treatment. *American Journal of Environmental Engineering*, **6**(3):88-98.
- ARIAS, P. 1985. Las ciénagas en Colombia. *Revista Divulgación Pesquera Inderena*, **22**:39-70.
- BUCHELI, V.; DIAZ, A.; CALDERÓN, J.P.; LEMOINE, P.; VALDIVIA, J.A.; VILLAVECES, J.L.; ZARAMA, R. 2012. Growth of scientific production in Colombian universities: an intellectual capital-based approach. *Scientometrics*, **91**(2):369-382.
<https://doi.org/10.1007/s11192-012-0627-7>
- BUYTAERT, W.; CÉLLERI, R.; DE BIÈVRE, B.; CISNEROS, F.; WYSEURE, G.; DECKERS, J.; HOFSTEDTE, R. 2006. Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth Science Review*, **79**(1-2):53-72.
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.06.002>
- BUYTAERT, W.; CUESTA-CAMACHO, F.; TOBÓN, C. 2011. Potential impacts of climate change on the environmental services of humid tropical alpine regions. *Global Ecology and Biogeography*, **20**(1):19-33.
<https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00585.x>
- CASTAÑO-URIBE, C. 2002. Colombia Alto Andina y la significancia ambiental del bioma páramo en el contexto de los andes tropicales: una aproximación a los efectos futuros por el cambio climático global. In: C.A. JARAMILLO (ed.), *Memorias Congreso Mundial de Páramos Tomo 1*. Boyacá, Gente Nueva Editorial, p. 24-50.
- CHARÁ, J.; PEDRAZA, G.; GIRALDO, L.P.; HINCAPIÉ, D. 2007. Efecto de corredores ribereños sobre el estado de quebradas en la zona ganadera del río La Vieja, Colombia. *Agroforestería de las Américas*, **45**:72-78.
- CORTÉS-GUZMÁN, D.; OSPINA-TORRES, R. 2014. Comunidades de macroinvertebrados acuáticos en quebradas de la isla de providencia, mar Caribe Colombiano. *Intropica*, **9**:9-22.
<https://doi.org/10.21676/23897864.1421>
- DANE, 2005. Atlas estadístico de Colombia. Available at: <http://sigedane.gov.co/atlasestadistico/>. Accessed on: November 5th, 2017.
- ETTER, A.; AMAYA, P.; AREVALO, P. A. 2015. Bosques, Sabanas y Paramos. In: M.F. GÓMEZ; L.A. MORENO; G.I. ANDRADE; C. RUEDA (eds.), *Biodiversidad 2015. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia*. Bogota, D.C., Instituto Alexander von Humboldt, p. 207.
- FLORES-LÓPEZ, F.; GALAITSI, S.E.; ESCOBAR, M.; PURKEY, D. 2016. Modeling of Andean Páramo Ecosystems' Hydrological Response to Environmental Change. *Water*, **8**(3):94.
<https://doi.org/10.3390/w8030094>
- FORERO, L.C.; LONGO, M.; RAMÍREZ, J.J.; CHALAR, G. 2014. Índice de calidad ecológica con base en macroinvertebrados acuáticos para la cuenca del río Negro (ICERN-MAE), Colombia. *Revista de Biología Tropical*, **62**(Suppl. 2):233-247.
<https://doi.org/10.15517/rbt.v62i0.15790>
- GAMBOA, M.; REYES R.; ARRIVILLAGA, J. 2008. Macroinverteb-

- rados bentónicos como bioindicadores de la salud ambiental. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, **48**(2):109-120.
- GIRALDO, L.P.; CHARÁ, J.; ZUÑIGA, M.C.; CHARÁ-SERNA, A.M.; PEDRAZA, G. 2014. Impacto del uso del suelo agropecuario sobre macroinvertebrados acuáticos en pequeñas quebradas de la cuenca del río La Vieja (Valle del Cauca, Colombia). *Revista de Biología Tropical*, **62**(Suppl. 2):203-219. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i0.15788>
- GÓMEZ, S.; SALAZAR, C.; LONGO, M. 2016. Diversidad y biomasa de macroinvertebrados asociados a cuatro tipos de sustratos en la laguna La Virginia, páramo Sumapaz, Colombia. *Biota Colombiana*, **17**(2):20-38. <https://doi.org/10.21068/c2016v17s02a02>
- GÓMEZ-AGUIRRE, A.M.; LONGO-SÁNCHEZ, M.C.; BLANCO, J. 2009. Macroinvertebrate assemblages in Gorgona island streams: spatial patterns during two contrasting hydrologic periods. *Actualidades Biológicas*, **31**(91):161-178.
- GRISALES-GONZÁLES, D.A.; INSUASTY-RODRÍGUEZ, A. 2016. *Minería, conflictos territoriales y derechos de las víctimas*. Medellín, Kavilando, 63 p.
- GUTIÉRREZ, J.D.; RISS, R.; OSPINA, R. 2002. Bioindicación de la calidad del agua con lógica difusa sugeno y macroinvertebrados acuáticos en la sabana de Bogotá. *Acta Biológica Colombiana*, **7**(2):37-51.
- HILSENHOFF, W. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family level biotic index. *Journal of the North American Benthological Society*, **7**(1):65-68. <https://doi.org/10.2307/1467832>
- INSUASTY-RODRÍGUEZ, A.; GRISALES GRAJALES, D.; GUTIÉRREZ LEÓN, E.M. 2013. Conflictos asociados a la gran minería en Antioquia. *El Agora USB*, **13**(2):371-397.
- JIMÉNEZ-SEGURA, L.F.; RESTREPO-SANTAMARÍA, D.; LÓPEZ-CASAS, S.; DELGADO, J.; VALDERRAMA, M.; ALVAREZ, J.; GÓMEZ, D. 2014. Ictiofauna y desarrollo del sector hidroeléctrico en la cuenca del río Magdalena-Cauca, Colombia. *Biota Colombiana*, **15**(2):3-25.
- JOST, L. 2006. Entropy and diversity. *Oikos*, **113**(2):363-375. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x>
- JOST, L. 2007. Partitioning diversity into independent alpha and beta components. *Ecology*, **88**(10):2427-2439. <https://doi.org/10.1890/06-1736.1>
- JOST, L.; CUTID-MEDINA, A. 2016. Índices de bioindicación, índices de entropía y medidas de diversidad: ¿cuál es el grado de consistencia entre estas tres aproximaciones de análisis en estudios de impacto ambiental con macroinvertebrados acuáticos? In: *Memorias Tercer Congreso Latinoamericano de Macroinvertebrados de Agua Dulce*, Santa Marta, 2016. *Proceedings...* Macrolatinos, p. 21-23.
- KARL, T.R.; MELILLO, J.M.; PETERSON, T.C. 2009. *Global Climate Change Impacts in the United States*. New York, Cambridge University Press, 188 p.
- KIRBY, R.M.; BARTRAM, J.; CARR, R. 2003. Water in food production and processing: quantity and quality concerns. *Food Control*, **14**(5):283-299. [https://doi.org/10.1016/S0956-7135\(02\)00090-7](https://doi.org/10.1016/S0956-7135(02)00090-7)
- 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*. Cincinnati, Environmental Protection Agency, 256 p.
- KOLKOWITZ, R.; MARSSON, W.A. 1908. Ecology of plant saprobia. *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft*, **26**:505-519.
- LONGO, M.C.; CEBALLOS, V.E.; ZAMORA, H.; VÁSQUEZ, G. 2004. Diversidad, similitud y carácter bioindicador de macroinvertebrados acuáticos epicontinentales de tres ecosistemas lóticos en el piedemonte llanero. *Unicauca Ciencia*, **8**:15-20.
- MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ, M.A.; PINILLA, G. 2014. Valoración de la calidad del agua de tres ciénagas del departamento de César mediante macroinvertebrados asociados a *Eichhornia crassipes* (Pontederiaceae). *Caldasia*, **36**(2):305-321. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v36n2.47489>
- MONTÓYA, Y.; AGUIRRE, N. 2009. Estado del arte de la limnología de lagos de planos Inundables (Ciénagas) en Colombia. *Gestión y Ambiente*, **12**(3):85-106.
- MURGUEITIO, E.; IBRAHIM, M. 2009. Ganadería y medio ambiente en América Latina. In: E. MURGUEITIO; C. CUARTAS; J. NARANJO (eds.), *Ganadería del futuro: Investigación para el desarrollo*. Cali, Fundación CIPAV, p. 19-39.
- NIZEL HALDER, J.; NAZRUL ISLAM, J. 2015. Water Pollution and its Impact on the Human Health. *Journal of environment and human*, **2**:2373-8324.
- OUYANG, Y. 2005. Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis. *Water research*, **39**(12):2621-2635. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.04.024>
- PATÍÑO, J.; ESTUPIÑAN, L.M.; JARAMILLO, U. 2016. Humedales y actividades antropogénicas. In: M.F. GÓMEZ; L.A. MORENO; G.I. ANDRADE; C. RUEDA (eds.), *Biodiversidad 2015. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia*. Bogotá D.C., Instituto Alexander von Humboldt, p. 205. <https://doi.org/10.21068/B001.2015.205>
- PÉREZ, G.; ROLDÁN-PÉREZ, G. 1978. Niveles de contaminación por detergentes y su influencia en las comunidades bénticas del Río Rionegro (Antioquia). *Actualidades Biológicas*, **7**(24):27-36.
- PINO-CHALÁ, W.; MENA-GARCÍA, D.; MOSQUERA, M.L.; CAICEDO, K.P.; PALACIOS, J.A.; CASTRO, A.A.; GUERRERO, J.E. 2003. Diversidad de macroinvertebrados y evaluación de la calidad del agua de la quebrada La Bendición, Municipio de Quibdó (Chocó, Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, **8**:23-30.
- POSADA-GARCÍA, J.A.; ABRIL-RAMÍREZ, G.; PARRA-SÁNCHEZ, L.N. 2008. Diversidad de los macroinvertebrados acuáticos del páramo de Frontino (Antioquia, Colombia). *Caldasia*, **30**(2):441-455.
- RAMÍREZ, A. 2005. *Ecología Aplicada, diseño y análisis estadístico*. Bogotá D.C., Editorial Universidad Jorge Tadeo Lozano, 325 p.
- RAMÍREZ, A.; GUTIÉRREZ-FONSECA, P.E. 2014. Estudios sobre macroinvertebrados acuáticos en América Latina: avances recientes y direcciones futuras. *Revista de Biología Tropical*, **62**(Suppl. 2):9-20. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i0.15775>
- RÍOS-TOUMA, B.; ACOSTA, R.; PRAT, N. 2014. The Andean Biotic Index (ABI): revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation. *Revista Biología Tropical*, **62**(Suppl. 2):249-273. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i0.15791>
- ROLDÁN-PÉREZ, G. 2003. *La bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Uso del método BMWP/Col*. Medellín, Editorial Universidad de Antioquia, 170 p.
- ROLDÁN-PÉREZ, G. 1999. Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*, **23**(88):375-387.
- ROLDÁN-PÉREZ, G. 2009. Desarrollo de la limnología en Colombia: cuatro décadas de avances progresivos. *Actualidades Biológicas*, **31**:227-237.
- ROLDÁN-PÉREZ, G. 2016. Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*, **40**(155):254-274. <https://doi.org/10.18257/raccefy.335>
- ROLDÁN-PÉREZ, G.; BUILES, J.; TRUJILLO, C.M.; SUÁREZ, A. 1973. Efectos de la contaminación industrial y doméstica sobre la fauna béntica del río Medellín. *Actualidades Biológicas*, **2**(5):54-64.
- ROLDÁN-PÉREZ, G.; ZUÑIGA, M.C.; ZAMORA, H.; ÁLVAREZ, L.F.; REINOSO, G.; LONGO, M. 2014. Capítulo de Colombia. In: P. ALONSO-EGUALIS; J.M. MORA; B. CAMPBELL; M. SPRINGER (eds.), *Diversidad, conservación y uso de los macroinvertebrados dulceacuícolas de México, Centroamérica, Colombia, Cuba y Puerto Rico*. Jiutepec, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), p. 63-116.
- SALAZAR-ACOSTA, M.; LUCIO, J.; RIVERA, S.C.; BERNAL, E.; RUIZ, C.; USGAME, D.; CAICEDO, S.D.; ARIAS, D.L.; ALBIS, N.; COLADORO, L.; GUERRERO, J.; LEÓN, A.; USGAME, G.; BUENO, E.; PEREA, G.I.; GARCÍA, M.; PARDO, M. 2010. *Indicadores de ciencia y tecnología, Colombia 2010*. Bogotá, Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología, 340 p.

- SÁNCHEZ-HERRERA, M. 2005. El índice BMWP (Biological Monitoring Working Party Score) modificado y adaptado al cauce principal del río Pamplonita Norte de Santander. *Bistua*, **3**(2):54-67.
- SENHADJI-NAVARRO, K.; RUÍZ-OCHOA, M.A.; RODRÍGUEZ-MIRANDA, J.P. 2017. Estado ecológico de algunos humedales colombianos en los últimos 15 años: Una evaluación prospectiva. *Colombia Forestal*, **20**(2):181-191.
<https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.2.a07>
- SHANNON, C.E.; WEAVER, W. 1949. *The mathematical theory of communication*. Illinois, The University of Illinois Press, 125 p.
- SIMPSON, E. 1949. Measurement of diversity. *Nature*, **163**:688.
<https://doi.org/10.1038/163688a0>
- SPRINGER, M. 2010. Capítulo 3: Biomonitorio acuático. *Revista de Biología Tropical*, **58**:53-59.
- UNESCO. 2015. Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo 2015. Available at: http://www.unesco.org/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015Facts_Figures_SPA_web.pdf Accessed on: August 26th, 2017.
- UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA (UPME). 2013. Plan de expansión de referencia Generación-Trasmisión 2013-2027. Available at: http://www.upme.gov.co/docs/plan_expansion/2013/plan_gt_2013-2027_vdefinitiva.pdf accessed on: August 7th, 2017.
- VOROSMARTY, C.; GREEN, P.; SALISBURY, J.; LAMMERS, L.B. 2000. Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth. *Science*, **289**(5477):284-288.
<https://doi.org/10.1126/science.289.5477.284>
- VOROSMARTY, C.J.; MCINTYRE, P.B.; GESSNER, O.; DUDGEON, D.; PRUSEVICH, A.; GREEN, P.; GLIDDEN, S.; BUNN, S.E.; SULLIVAN, C.A.; REIDY LIERMANN, C.; DAVIES, P.M. 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, **467**:555-561. <https://doi.org/10.1038/nature09440>
- ZAMORA, H. 1998a. Niveles de alteración de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos del río molino por efecto de las actividades antrópicas y la contaminación doméstica. *Unicauca Ciencia*, **3**:35-46.
- ZAMORA, H. 1998b. Evaluación rápida de la calidad ambiental en ecosistemas líticos mediante el análisis de sus macroinvertebrados. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, **10**:22-26.
- ZAMORA, H. 1999. Adaptación del índice BMWP para la evaluación biológica de la calidad de las aguas epicontinentales en Colombia. *Unicauca Ciencia*, **4**:47-60.
- ZUÑIGA, M.C. 1986. Efluentes de minas de Carbon efectos sobre la fauna bentónica y la ecología de agua dulce. *ACODAL*, **128**(578):22-32.

Submitted on January 28, 2018

Accepted on July 19, 2018

Appendix

Appendix 1. Bibliography to aquatic macroinvertebrates as bioindicators of water quality in Colombia.

- ALVAREZ-PARRA, J.C.; ARIAS-LLOREDA, J.H. 2007. Valoración de la calidad del agua mediante indicadores ambientales en el río Purré, Quibdó, Chocó - Colombia. *Lyonia*.
- ARANGO, M.C.; ÁLVAREZ, L.F.; ARANGO, G.A.; TORRES, O.E.; MONSALVE, A.D.J. 2008. Calidad del agua de las quebradas La Cristalina y la Risaralda, San Luis, Antioquia. *Revista EIA*, **9**:121-141.
- ASPRILLA, S.; MOSQUERA, Z.; RIVAS, M. 2006. Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad ecológica del agua en la parte media del río Cabí (Quibdó-Chocó). *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, **18**(18):43-50.
- BUSTAMANTE, C.A.; MONSALVE, E.A.; GARCÍA, P. L. 2008. Análisis de la calidad del agua en la cuenca media del río Quindío con base en índices físicos, químicos y biológicos. *Rev. Invest. Univ. Quindío*, **1**(18):22-31.
- BUSTAMANTE-TORO, C.A.; MARÍN VILLEGAS, N.D.; CORREDOR-COY, N.V. 2011. Estudio de calidad ambiental en la quebrada La Florida, Unidad de Manejo de Cuenca del río Quindío. Armenia–Quindío, Colombia. *Asoc. Col. Cienc. Biol.*, **23**:65-76.
- CADENA, J.J.; GÓMEZ, R.D. 2016. Evaluación de la calidad del agua del río Tejo (Ocaña, Colombia) mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos. *Revista Ingenio UFPSO*, **9**(1):121-132.
- CAICEDO, O.; PALACIO, J. 1998. Los macroinvertebrados bénticos y la contaminación orgánica en la quebrada La Mosca (Guarne, Antioquia, Colombia). *Actualidades Biológicas*, **20**(69):61-73.
- CASTELLANOS, K.; PIZARRO, J.; CUENTAS, K.; COSTA, J.C.; PINO, Z.; GUTIERREZ, L.C.; FRANCO, O.L.; ARBOLEDA, J.W. 2017. Lentic water quality characterization using macroinvertebrates as bioindicators: An adapted BMWP index. *Ecological Indicators*, **72**:53-66. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.07.023>
- CHARÁ, J.; PEDRAZA, G.; GIRALDO, L.; HINCAPIÉ, D. 2007. Efecto de los corredores ribereños sobre el estado de quebradas en la zona ganadera del río La Vieja, Colombia. *Agroforestería en las Américas*, **45**:72-78.
- CHARÁ, J.; ZÚÑIGA, M.D.C.; GIRALDO, L.P.; PEDRAZA, G.; ASTUDILLO, M.; RAMÍREZ, L.; POSSO, C.E. 2009. Diversidad y abundancia de macroinvertebrados acuáticos en quebradas de la cuenca del río La Vieja, Colombia. In: J.M. RODRÍGUEZ; J.C. CAMARGO; J. NIÑO; A.M. PINEDA; L.M. ARIAS; M.A. ECHEVERRY; C.L. MIRANDA, (eds.), *Valoración de la biodiversidad en la ecorregión del eje cafetero*. Pereira, Ciebreg, p.127-142.
- CHARÁ-SERNA, A.M.; CHARÁ, J.; GIRALDO, L.P.; ZÚÑIGA, M.D.C.; ALLAN, J.D. 2015. Understanding the impacts of agriculture on Andean stream ecosystems of Colombia: a causal analysis using aquatic macroinvertebrates as indicators of biological integrity. *Freshwater Science*, **34**(2):727-740. <https://doi.org/10.1086/681094>
- CONTRERAS, J.; ROLDÁN, G.; ARANGO, A.; ÁLVAREZ, L. F. 2008. Evaluación de la calidad del agua de las microcuencas La Laucha, La Lejía y La Rastrojera utilizando los macroinvertebrados como bioindicadores. Municipio de Durania, departamento Norte de Santander, Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, **32**(123):171-193.
- DÍAZ, J.; ORTIZ, G.; CAICEDO, R.; ZAMBRANO, L.; ZAMORA, H.; NAUNDORF, G. 2017. Estado trófico de la madre vieja Gota e' Leche, Yotoco, Valle del Cauca, Colombia. Basada en parámetros físicos, químicos y biológicos. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, **9**(1):38-44. <https://doi.org/10.24188/recia.v9.n1.2017.496>
- ESCOBAR-NIEVES, A. 1989. Estudio de las comunidades macrobénticas en el río Manzaneros y sus principales afluentes y su relación con la calidad del agua. *Actualidades Biológicas*, **18**(65):45-60.
- FORERO, L.C.; LONGO, M.; RAMÍREZ, J.J.; CHALAR, G. 2014. Índice de calidad ecológica con base en macroinvertebrados acuáticos para la cuenca del río Negro (ICE RN-MAE), Colombia. *Revista de Biología Tropical*, **62**:233-247. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i0.15790>
- FORERO-CÉSPEDAS, A.M.; REINOSO-FLÓREZ, G. 2013. Estudio de la familia Baetidae (Ephemeroptera: Insecta) en una cuenca con influencia de la urbanización y agricultura: río Alvarado-Tolima. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, **25**:12-21.
- FORERO-CÉSPEDAS, A.M.; REINOSO-FLÓREZ, G.; GUTIÉRREZ, C. 2013. Evaluación de la calidad del agua del río Opía (Tolima-Colombia) mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos. *Caldasia*, **35**(2):371-387.
- GARCÍA, J.C.; GALINDEZ, L.F. 2011. Caracterización ecológica de la microcuenca que abastece de agua al acueducto municipal de San Jose del Guaviare. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, **10**:31-43.
- GARCÍA-PÉREZ, J.F.A.; BAQUERO, S.M.; DIAS, G.; SARMIENTO, C. 2013. Estudio de la calidad del agua en tramos del río Paguay empleando macroinvertebrados acuáticos. *Revista de la Facultad de Ciencias Agropecuarias*, **1**(1):1-9.
- GARCÍA-ALZATE, C.A.; ROMÁN-VALENCIA, C.; VANEGAS-RIOS, J.A.; ARCILA-MESA, D.K. 2007. Análisis fisicoquímico y biológico comparado en dos quebradas de alta montaña neotropical. *Revista de Investigaciones de la Universidad del Quindío*, **17**:57-80.
- GARCÍA-ALZATE, C.A.; ROMÁN-VALENCIA, C.; LOPERA, D.X.; GONZÁLEZ, M.I.; SIMUNOVIC, M. 2008. Physico-chemical and biological variables of San José Creek, Otún river drainage/upper Cauca, Colombia. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, **18**:38-48.
- GARCÍA-ALZATE, C.A.; ROMÁN-CALECIA, C.; GONZÁLEZ, M.I.; BARRERO, A.M. 2010. Composición y variación temporal de la comunidad de insectos acuáticos (Insecta) en la quebrada Sardineros, afluente Río Verde, Alto Cauca, Colombia. *Revista de Investigaciones de la Universidad de Quindío*, **21**:21-28.
- GARCÍA-ALZATE, C.A.; ROMÁN-VALENCIA, C.; TAPHORN, D.C.; GONZÁLEZ, M.I. 2010. Physicochemical and biological characterization of the Roble river, Upper Cauca, western Colombia. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, **12**(1):4-16. <https://doi.org/10.22179/REVMACN.12.247>
- GARCÍA-ALZATE, C.A.; VILLEGAS-ACOSTA, P.A.; ROMÁN-VALENCIA, C. 2017. Análisis fisicoquímico y biológico del río santo Domingo, afluente río verde, cuenca del río La Vieja, Alto Cauca, Colombia. *Boletín Científico del Museo de Historia Natural*, **21**(1):31-51.
- GIRALDO, V.A.; LONDOÑO, C.; BUSTAMANTE, C.A. 2008. Diagnóstico de la calidad ambiental del agua para uso agrícola de la quebrada “Los Micos” afluente de la microcuenca “El Pencil” Filandia-Quindío. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, **1**(20):144-163.
- GIRALDO, L.P.; CHARÁ, J.; ZÚÑIGA, M.D.C.; CHARÁ-SERNA, A.M.; PEDRAZA, G. 2014. Impacto del uso del suelo agropecuario sobre macroinvertebrados acuáticos en pequeñas quebradas de la cuenca del río La Vieja (Valle del Cauca, Colombia). *Revista de Biología Tropical*, **62**:203-219. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i0.15788>
- GONZÁLEZ MELÉNDEZ, V.; CAICEDO QUINTERO, O.; AGUIRRE RAMÍREZ, N. 2013. Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMWP en la quebrada La Ayurá, Antioquia, Colombia. *Gestión y Ambiente*, **16**(1):97-108.
- GONZÁLEZ, M.; MENDEZ, M.M.M.; PARODI, E. 2015. Determination of the quality of the Juan Amarillo wetlands water using the macroinvertebrates analysis method Bmwp/Col for two defined biotopes. *El Astrolabio*, p. 66-76.
- GONZÁLEZ, S.M.; RAMÍREZ, Y.P.; MEZA, A.M.; DIAS, L.G. 2012. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y calidad de agua de quebradas abastecedoras del municipio de Manizales. *Boletín Científico del Museo de Historia Natural*, **16**(2):135-148.

- GRANADILLO, J.A. 2013. Entomofauna bioindicadora del río Algodonal, La Ermita, Norte de Santander. *Revista Ingenio UFPSO*, 6(1):112-117.
- GUERRERO-BOLAÑO, F.; MANJARRÉS-HERNÁNDEZ, A.; NUÑEZ-PADILLA, N. 2003. Los macroinvertebrados bentónicos de Pozo Azul (Cuenca del Río Gaira, Colombia) y su relación con la calidad del agua. *Acta Biológica Colombiana*, 8(2):43-55.
- GUTIÉRREZ-GARAVIZ, J.; ZAMORA, H.; ANDRADE-SOSSA, C.E. 2014. Efecto de la actividad antrópica sobre la composición y diversidad de macroinvertebrados acuáticos en el río Cofre (sistema lótico andino colombiano). *Revista Biodiversidad Neotropical*, 4(2):113-123. <https://doi.org/10.18636/bioneotropical.v4i2.137>
- GUTIÉRREZ, J.D.; RISS, W.; OSPINA, R. 2002. Bioindicación de la calidad del agua con lógica difusa Sugeno y macroinvertebrados acuáticos de la Sabana de Bogotá. *Acta Biológica Colombiana*, 7(2):37-51.
- GUTIÉRREZ, J.D.; RISS, W.; OSPINA, R. 2004. Bioindicación de la calidad del agua con macroinvertebrados acuáticos en la sabana de Bogotá-Colombia, utilizando redes neuronales artificiales. *Caldasia*, 26(1):151-160.
- GUTIÉRREZ, J.D.; RISS, W.; OSPINA, R. 2004. Lógica difusa como herramienta para la bioindicación de la calidad del agua con macroinvertebrados acuáticos en la sabana de Bogotá-Colombia. *Caldasia*, 26(1):161-172.
- GUTIÉRREZ, J.D.; RISS, W.; OSPINA, R. 2006. Bioindicación de la calidad del agua en la Sabana de Bogotá-Colombia, mediante la utilización de la lógica difusa neuroadaptativa como herramienta. *Caldasia*, 28(1):45-56.
- HAHN-VONHESSBERG, C.M.; TORO, D.R.; GRAJALES-QUINTERO, A.; DUQUE-QUINTERO, G.M.; SERNA-URIBE, L. 2009. Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos, en la estación piscícola, Universidad de Caldas, Municipio de Palestina, Colombia. *Boletín Científico Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 13(2):89-105.
- HOLGUIN-GONZALEZ, J.E.; EVERAERT, G.; BOETS, P.; GALVIS, A.; GOTHALS, P.L. 2013. Development and application of an integrated ecological modelling framework to analyze the impact of wastewater discharges on the ecological water quality of rivers. *Environmental Modelling & Software*, 48:27-36. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.06.004>
- JARAMILLO-LONDOÑO, J.C. 2002. Importancia de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad de agua. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 1(1):93-98.
- JARAMILLO-LONDOÑO, J.C. 2003. Estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos asociados a macrófitas flotantes y su relación con la calidad del agua en la ciénaga Colombia. Caucasia, Antioquia. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 3:105-120.
- JARAMILLO LONDOÑO, J.C. 2006. Estudio de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en el área del embalse Porce II y su relación con la calidad del agua. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 5(8):45-58.
- LATORRE-BELTRÁN, I.T.; NOVELO-GUTIÉRREZ, R.; FAVILA, M.E. 2014. Diversidad genérica de Trichoptera (Insecta) en dos microcuencas del Páramo Rabanal (Cundinamarca-Boyacá, Colombia). *Revista de Biología Tropical*, 62:97-110. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i0.15781>
- LONDOÑO, A.; ARRUBLA, J.; TORO, J.; TORRES, D.; ZARATE, M.; BELTRÁN, M.; MORALES, I. T. 2005. Determinación de la calidad ambiental en la quebrada Agua Bonita, corregimiento de Barcelona, Departamento del Quindío. *Revista de investigaciones Universidad del Quindío*, 15:55-64.
- LONDOÑO, A. 2006. Caracterización de la calidad ambiental de la Quebrada El Congal, corregimiento de Barcelona, departamento del Quindío. Armenia. *Revista de investigaciones*, 16:93-103.
- LONGO, M.; CEBALLOS, V.; ZAMORA, H.; VÁSQUEZ, G. 2004. Diversidad, similitud y Carácter bioindicador de los Macroinvertebrados Acuáticos Epicontinentales de tres Ecosistemas lóticos en el Piedemonte Llanero. *Unicauca Ciencia* 8:15-20.
- LOZANO ORTIZ, L. 2005. La bioindicación de la calidad del agua: Importancia de los macroinvertebrados en la cuenca alta del Río Juan Amarillo, Cerros Orientales de Bogotá. *Umbrales científicos*, 7:5-11.
- MACHADO, T.; ROLDÁN, G. 1981. Estudio de las características fisicoquímicas y biológicas del río Anorí y sus principales afluentes. *Actualidades Biológicas*, 10(35):3-19.
- MADERA, L.C.; ANGULO, L.C.; DÍAZ, L.C.; ROJANO, R. 2016. Evaluación de la Calidad del Agua en Algunos Puntos Afluentes del río Cesar (Colombia) utilizando Macroinvertebrados Acuáticos como Bioindicadores de Contaminación. *Información tecnológica*, 27(4):103-110. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000400011>
- MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ, M.D.A.; PINILLA, G.A. 2014. Valoración de la calidad del agua de tres ciénagas del departamento de Cesar mediante macroinvertebrados asociados a *Eichhornia crassipes*. *Caldasia*, 36(2):305-321. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v36n2.47489>
- MATTHIAS, U.; MORENO, H. 1983. Estudio de algunos parámetros fisicoquímicos y biológicos del río Medellín y sus principales afluentes. *Actualidades biológicas*, 12(46):106-117.
- MEDELLÍN, F.; RAMÍREZ, M.; RINCÓN, M.E. 2004. Trichoptera del Santuario de Iguaque (Boyacá, Colombia) y su relación con la calidad del agua. *Revista Colombiana de Entomología*, 30(2):197-203.
- MEZA-S., A.M.; RUBIO-M., J.; G-DÍAS, L.; M.-WALTEROS, J. 2012. Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná, Colombia. *Caldasia*, 34:443-456.
- MILÁN VALOYES, W.Y.; CAICEDO QUINTERO, O.; AGUIRRE RAMÍREZ, N.J. 2011. Quebrada La Popala: un análisis de calidad del agua desde algunas variables fisicoquímicas, microbiológicas y los macroinvertebrados acuáticos. *Revista Gestión y Ambiente*, 14:85-94.
- MONTOYA-MORENO, Y.; ACOSTA-GARCÍA, Y.; ZULUAGA-ZULUAGA, E.; GARCÍA, A. 2007. Evaluación de la biodiversidad de insectos acuáticos y de calidad fisicoquímica y biológica del Río Negro (Antioquia-Colombia). *Revista Universidad Católica de Oriente*, 23:71-84.
- MONTOYA MORENO, Y. 2008. Caracterización de la biodiversidad acuática y de la calidad de las aguas de la quebrada Los Andes, El Carmen de Viboral, Antioquia. *Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó Investigación Biodiversidad y Desarrollo*, 27(1):85-91.
- MONTOYA MORENO, Y.; AGUIRRE RAMÍREZ, N.; CAICEDO, O.; PALACIO, J. 2010. Dinámica multianual de los macroinvertebrados acuáticos bentónicos en la Quebrada Vegas de la Clara. *Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó Investigación Biodiversidad y Desarrollo*, 29(2):201-210.
- MONTOYA MORENO, Y.; ACOSTA, Y.; ZULUAGA, E. 2011. Evolución de la calidad del agua en el río Negro y sus principales tributarios empleando como indicadores los índices ICA, el BMWP/COL y el ASPT. *Caldasia*, 33(1):193-210.
- MOSQUERA, D.R.; PALACIOS, M.L.; SOTO, A. 2008. Bioindicación de la calidad del agua del río Cali, Valle del cauca, Colombia; usando Macroinvertebrados acuáticos. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 20:130-143.
- MOSQUERA-GUERRA, F. 2015. Estructura y composición de las comunidades de macroinvertebrados en la cuenca alta del río Caquetá. *Momentos de Ciencia*, 12(1): 25-38.
- PEDRAZA, G.X.; GIRALDO, L.P.; CHARÁ, J.D. 2008. Efecto de la restauración de corredores ribereños sobre características bióticas y abióticas de quebradas en zonas ganaderas de la cuenca del río La Vieja, Colombia. *Zootecnia tropical*, 26(3):179-182.
- PÉREZ, G.; ROLDÁN-PÉREZ, G. 1978. Niveles de contaminación por detergentes y su influencia en las comunidades bénticas del río Rionegro. *Actualidades Biológicas*, 7(24):27-36.
- PÉREZ-OSORNO, M.; BETANCUR-VARGAS, A.; OROZCO-CARDONA, N.; LEZCANO-ARANGO, J. 2016. Caracterización de las comunidades de macroinvertebrados en la fuente hídrica quebrada Carepero de la Vereda la Chuscalita ubicada en el corregimiento de Güítar en área empleada para la explotación aurífera, municipio de Anzá, Antioquia, 2015. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, 47:1-27.
- PINILLA, G. 2010. An index of limnological conditions for urban wet-

- lands of Bogota city, Colombia. *Ecological Indicators*, **10**(4):848-856. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.01.006>
- PINILLA, G.A. 1998. *Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia: compilación bibliográfica*. Bogotá, Universidad Jorge Tadeo Lozano, 67 p.
- PINILLA, G.A.; DUARTE COY, J.; VEGA MORA, L. 2010. Índice de Estado Limnológico (IEL) para evaluar las condiciones ecológicas de las ciénagas del canal del dique, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, **15**(2):169-188.
- PINILLA, G.A. 2016. Algunas experiencias en el uso de índices limnológicos en Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, **21**(1Supl):241-248. <https://doi.org/10.15446/abc.v21n1Supl.51073>
- PINO-CHALÁ, W.P.; GARCÍA, D.M.; MOSQUERA, M.L.; CAICEDO, K.P.; PALACIOS, J.A.; CASTRO, A.A.; GUERRERO, J.E. 2003. Diversidad de macroinvertebrados y evaluación de la calidad del agua de la quebrada La Bendición, municipio de Quibdó (Chocó-Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, **8**(2):23-30.
- POSADA, J.A.; ROLDÁN, G.; RAMÍREZ, J.J. 2000. Caracterización fisicoquímica y biológica de la calidad de aguas de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, **48**(1):59-70.
- RAMÍREZ, D.F.; TALERO, G.M.; LÓPEZ, R.H. 2013. Macroinvertebrados bentónicos y calidad del agua en un tramo del río Bogotá. Cajicá-Colombia. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, **16**(1):205-214.
- RAMÍREZ, J.J.; ROLDÁN, G. 1989. Contribución al conocimiento limnológico y de los macroinvertebrados acuáticos de algunos ríos de la región del Urabá antioqueño. *Actualidades Biológicas*, **18**(66):113-121.
- REINOSO-F., G.; GUEVARA-G., G.; VEJARANO-D., M.; GARCÍA-M., J.; VILLA-N., F. 2008. Evaluación del río Prado a partir de los macroinvertebrados y de la calidad del agua. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, **1**(20):102-116.
- RISS, W.; OSPINA, R.; GUTIÉRREZ, J.D. 2002. Establecimiento de valores de bioindicación para macroinvertebrados acuáticos de la sabana de Bogotá. *Caldasia*, **24**(1):135-156.
- RISS, W.; OSPINA, R.; GUTIÉRREZ, J.D. 2002. Una metodología para el cálculo de valores primarios de bioindicación. *Acta Biológica Colombiana*, **7**(2):29-35.
- RIVERA-RONDÓN, C.; VALDERRAMA, L.T.; BAENA, S.; PRADA-PEDRERO, S.; CHARÁ, J.; VALDÉS, C.; DÍAZ, Y.; GOMEZ, M.; MUÑOZ, S.; PEDRAZA, E.; PEREZ-MAYORGA, A.; GIRALDO, L. 2009. Efecto de los Sistemas Productivos Sobre la Calidad del Agua y la Diversidad en Ríos de la Ecorregión Cafetera. In: J.M. RODRÍGUEZ; J.C. CAMARGO; J. NIÑO; A.M. PINEDA; L.M. ARIAS; M.A. ECHEVERRY; C.L. MIRANDA (eds.), *Valoración de la biodiversidad en la ecorregión del eje cafetero*. Pereira, Ciebre, p.111-126.
- RIVERA-USME, J.J.; CAMACHO-PINZÓN, D.L.; BOTERO-BOTERO, A. 2008. Estructura numérica de la entomofauna acuática en ocho quebradas del departamento del Quindío-Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, **13**(2):133-146.
- RIVERA-USME, J.J.; PINILLA-AGUDELO, G.; CAMACHO-PINZÓN, D.L. 2013. Grupos tróficos de macroinvertebrados acuáticos en un humedal urbano andino de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, **18**(2):279-292.
- RIVERA-USME, J.J.; PINILLA-AGUDELO, G.A.; RANGEL-CHURIO, J.O. 2013. Ensamblaje de macroinvertebrados acuáticos y su relación con las variables físicas y químicas en el humedal de Jaboque-Colombia. *Caldasia*, **35**(2):389-408.
- ROCHA, Z. 2004. Los macroinvertebrados como indicadores de calidad del agua. *Cultura científica*, **2**(2):34-40.
- ROLDÁN-PÉREZ, G.; BUILES, J.; TRUJILLO, C.M.; SUÁREZ, A. 1973. Efectos de la contaminación industrial y doméstica sobre la fauna bética del río Medellín. *Actualidades biológicas*, **2**(5):54-64.
- ROLDÁN-PÉREZ, G. 1980a. Estudios limnológicos de cuatro ecosistemas neotropicales diferentes con especial referencia a su fauna de Efemeropteros. *Actualidades Biológicas*, **9**(34):103-117.
- ROLDÁN-PÉREZ, G. 1980b. Los invertebrados acuáticos como indicadores ecológicos. *Actualidades Biológicas*, **9**(33):86-91.
- ROLDÁN-PÉREZ, G. 1999. Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Academia Colombiana de Ciencia*, **23**(88):375-387.
- ROLDÁN-PÉREZ, G.; POSADA-GARCÍA, J.A.; GUTIERREZ, J.C. 2001. Los macroinvertebrados y su valor como bioindicadores. In: G. ROLDÁN-PÉREZ; J.A. POSADA-GARCÍA; J.C. GUTIERREZ (eds.), *Estudio Limnológico De Los Recursos Hídricos Del Parque De Piedras Blancas*. Bogotá. Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, p. 37-63.
- ROLDÁN-PÉREZ, G. 2003. *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Propuesta para el uso del método BMWP Col*. Medellín, Editorial Universidad de Antioquia, 170 p.
- ROLDÁN-PÉREZ, G. 2006. Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. In: J.G. TUNDISI; T.M. TUNDISI; C.D. GALLI (eds.), *Eutrofización En Sudamérica: Causas, Consecuencias Y Tecnologías Para Manejos Y Control*. Sao Carlos, Instituto Internacional de Ecología de Sao Carlos, p. 255-271.
- ROLDÁN-PÉREZ, G.; RAMÍREZ, J. J. 2008. El ensamble de macroinvertebrados acuáticos: Los macroinvertebrados acuáticos y su uso como bioindicadores de la calidad del agua. In: G. ROLDÁN-PÉREZ; J.J. RAMÍREZ (eds.), *Fundamentos de limnología neotropical*. Medellín, Editorial Universidad de Antioquia, p. 339-343.
- ROLDÁN-PÉREZ, G.; ZÚÑIGA, M.C.; ZAMORA, H.; ÁLVAREZ, L.F.; REINOSO, G.; LONGO, M. 2014. Capítulo de Colombia. In: P. ALONSO-EGUÍALIS; J.M. MORA; B. CAMPBELL; M. SPRINGER (eds.), *Diversidad, conservación y uso de los macroinvertebrados dulceacuícolas de México, Centroamérica, Colombia, Cuba y Puerto Rico*. México, IMTA, p. 63-118.
- ROLDÁN-PÉREZ, G. 2016. Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, **40**(155):254-274. <https://doi.org/10.18257/racefyn.335>
- SÁNCHEZ-HERRERA, M.J. 2005. El índice biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party Score), modificado y adaptado al cauce principal del río Pamplonita norte de Santander. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, **3**(2):54-67.
- SÁNCHEZ-HERRERA, M.J.; AVENDAÑO-SÁNCHEZ, M. 2005. Macroinvertebrados del norte de Santander. *Respuestas*, **10**(1):3-20.
- SERNA, D.J.; TAMARIS-TURIZO, C.E.; GUTIÉRREZ MORENO, L.C. 2015. Distribución espacial y temporal de larvas de Trichoptera (Insecta) en el río Manzanares, Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia). *Revista de Biología Tropical*, **63**(2):465-477. <https://doi.org/10.15517/rbt.v63i2.15604>
- TORRES, Y.; ROLDÁN, G.; RIVAS, T.S. 2006. Estudio preliminar de algunos aspectos ambientales y ecológicos de las comunidades de peces y macroinvertebrados acuáticos en el río Tutunendo, Chocó, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*, **30**(114):66-76.
- VALVERDE, N.; CAICEDO, O.; AGUIRRE, N. 2009. Análisis de calidad de agua de la quebrada La Ayurá, con base en variables fisicoquímicas y macroinvertebrados acuáticos. *Revista Producción+ Limpia*, **4**(1):44-60.
- VÁSQUEZ-RAMOS, J.; GUEVARA-CARDONA, G.; REINOSO-FLÓREZ, G. 2013. Impactos de la urbanización y agricultura en cuencas con bosque seco tropical: influencia sobre la composición y estructura de larvas de tricópteros. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias*, **25**(1):61-70.
- WALTEROS-RODRÍGUEZ, J.M.; DAZA CASTRO, J.F. 2008. Caracterización Hidrobiológica y Evaluación Ecológica de la Calidad del Agua del Río Guarino, Departamento de Caldas. *Revista de Ciencias*, **12**:31-44.
- WALTEROS-RODRÍGUEZ, J.M.; PAIBA-ALZATE, J.E. 2010. Estudio preliminar de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la

- reserva forestal Torre Cuatro. *Boletín Científico del Museo de Historia Natural*, **14**(1):137-149.
- WALTEROS-RODRÍGUEZ, J.M.; CASTAÑO ROJAS, J.M.; MARULANDA GÓMEZ, J.H. 2016. Ensamble de macroinvertebrados acuáticos y estado ecológico de la microcuenca Dalí-Otún, Departamento de Risaralda, Colombia. *Hidrobiológica*, **26**(3):359-371.
- ZAMORA, H. 1998. Evaluación rápida de la calidad ambiental en ecosistemas lóticos mediante el análisis de sus macroinvertebrados. *Revista de la asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, **10**(1-2): 22-26.
- ZAMORA, H. 1998. Niveles de alteración de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos del río Molino por efectos de las actividades antrópicas y la contaminación doméstica. *Unicauca Ciencia*, **3**:11-30.
- ZAMORA, H. 1999. Adaptación del índice BMWP para la evaluación biológica de la calidad de las aguas epicontinentales en Colombia. *Revista Unicauca Ciencia*, **4**:47-60.
- ZAMORA, H.; SARRIA, H. 2001. Calidad biológica de dos ecosistemas lóticos afectados por aguas residuales de rallanderías de yuca mediante la utilización de sus macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores, comparando además la aplicación de los índices de Shannon-Weaver y BMWP. *Unicauca Ciencia*, **6**:21-42.
- ZAMORA, H. 2007. El índice BMWP y la evaluación biológica de la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos epicontinentales naturales de Colombia. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, **19**:73-81.
- ZAMORA, H.; SANDOVAL, J.; VÁZQUEZ, G.; NAUNDORF, G.; ZAMBRANO, L.; GONZÁLEZ, J. 2012. Estructura de la comunidad de Macroinvertebrados y caracterización de la calidad del agua mediante bioindicación en la cuenca baja del río Ovejas. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, **1**(24):81-89.
- ZAMORA, H. 2015. Macroinvertebrados acuáticos registrado durante la época de lluvias en tres ríos del piedemonte llanero de Colombia. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, **7**(2):139-147.
- ZUÑIGA, M.D.C. 1985. Estudio de la ecología del río Cali con énfasis en su fauna bentónica como indicador biológico de calidad. *Revista Ainsa*, **5**(1):63-85.
- ZUÑIGA, M.C. 1986. Efluentes de minas de Carbón efectos sobre la fauna bentónica y la ecología de agua dulce. *ACODAL*, **128**(578):22-32.
- ZUÑIGA, M.D.C.; ROJAS, A.M.; CAICEDO, G. 1993. Indicadores ambientales de calidad de agua en la cuenca del río Cauca. *Revista Ainsa*, **13**(2):17-28.
- ZUÑIGA, M.D.C.; ROJAS, A.M.; SERRATO, C. 1994. Interrelación de indicadores ambientales de calidad en cuerpos de aguas superficiales del Valle del Cauca. *Revista Colombiana de Entomología*, **20**(2):124-130.
- ZUÑIGA, M.D.C.; CARDONA, W. 2009. Bioindicadores de calidad de agua y caudal ambiental. In: J.R. CANTERA-KINTZ; Y. CARVAJAL-ESCOBAR; L.M. CASTRO-HEREDIA (eds.), *Caudal ambiental: conceptos, experiencias y desafíos*. Cali, Universidad del Valle, p. 167-198.