

## DESARROLLO DE LA LIMNOLOGÍA EN COLOMBIA: CUATRO DÉCADAS DE AVANCES PROGRESIVOS

### COLOMBIAN LIMNOLOGY DEVELOPMENT: FOUR DECADES OF PROGRESSIVE ADVANCEMENTS

Gabriel Roldán-Pérez

#### Resumen

Se hace un recorrido del desarrollo histórico de la limnología en Colombia a partir de la década de los años setenta. Se analizan las características biológicas y fisicoquímicas de los diferentes ecosistemas acuáticos y se valora qué tanta información se tiene de cada uno de ellos. El conocimiento que se tiene de la limnología en Colombia se apoya en la información bibliográfica existente más relevante. Se llega a la conclusión, que sin duda en los últimos cuatro décadas se ha hecho un gran esfuerzo para conocer las características físicas y químicas de nuestros ecosistemas acuáticos y de su flora y fauna asociados a ellos. Sin embargo, aún falta mucho trabajo por realizar en todos campos de la limnología.

*Palabras clave:* ecosistemas acuáticos, limnología, macroinvertebrados, variables biológicas y fisico-químicas, Colombia, Isla Gorgona.

#### Abstract

An overview of the historical development of limnology in Colombia since the decade of the seventies was made. The biological and physicochemical characteristics of different aquatic ecosystems and the assessment of how much information have been gathered is analyzed. The knowledge of limnology in Colombia is based on information of the most relevant existing literature. It concludes, that certainly in the last four decades has made great efforts to know the physical and chemical characteristics of our aquatic ecosystems and their flora and fauna associated with them. However, still there are too much work to do in all fields of limnology.

*Key words:* aquatic ecosystems, limnology, macroinvertebrates, Colombia, biological and physicochemical variables

## INTRODUCCIÓN

El presente artículo no pretende ser exhaustivo en mencionar todos los trabajos realizados en las últimas cuatro décadas de limnología en Colombia; pero sí resaltar los principales hitos históricos que han llevado al conocimiento que actualmente se tiene en esta materia. Hasta la década de los años 70's del siglo XX, los estudios limnológicos en Colombia eran prácticamente inexistentes. Williamson (1918), profesor de la Universidad de Michigan, escribió un reporte titulado "*A Collecting Trip to Colombia, South*

*America*" donde relata sus experiencias de un viaje, en el que recorrió parte del río Magdalena desde Santa Marta hasta las poblaciones de Honda y La Dorada. Aunque el viaje estuvo orientado a la colección de odonatos adultos, por sus descripciones detalladas se pueden deducir las condiciones ambientales y de riqueza de fauna acuática del río Magdalena y sus tributarios en esa época.

El primer reporte limnológico para Colombia se debe a los trabajos realizados por el profesor Joaquín Molano Campuzano, quien

---

Recibido: octubre de 2009; aceptado: noviembre de 2009.

Director de Investigación y Desarrollo, Universidad Católica de Oriente. Rionegro (Antioquia), Colombia. Correo electrónico: <grolan@uco.edu.co>.

por contrato con el Ministerio de Agricultura realizó una serie de observaciones y estudios en varias lagunas y ríos de Colombia. Sus estudios se centraron en mediciones fisicoquímicas del agua y observación del plancton (Molano 1954). El mismo autor publicó un estudio sobre el lago La Tota (Molano 1960). Luego Roberto Galán Ponce, profesor de la Universidad de los Andes (Bogotá) y quien fuera colaborador del profesor Joaquín Molano Campuzano, inició una serie de estudios limnológicos de carácter aplicado al tratamiento biológico del agua y sobre el conocimiento del fitoplancton en lagunas y ríos en los alrededores de Bogotá. Debido a su temprana desaparición, se quedó una gran cantidad de material sin publicar. Una de sus pocas publicaciones se refiere al tratamiento biológico de aguas negras de la ciudad de Bogotá (Galán 1966). Roldán y Ruiz (2001) publican en el libro de la *Limnology in the Development Countries* un capítulo sobre el desarrollo de la Limnología en Colombia.

### Lagos y ciénagas

A partir de la década de los años 70's del siglo, comienzan a realizarse estudios limnológicos más detallados acerca de lagos, ciénagas, ríos y embalses en Colombia. En cuanto al estudio de lagos y ciénagas, a pesar de ser ecosistemas muy abundantes en Colombia, sus reportes aún son escasos. Ducharme (1975) lleva a cabo un estudio limnológico sobre varios ríos, lagos y ciénagas de Colombia y el mismo autor (1975), realiza una revisión bibliográfica del lago de La Tota. Arias (1977) efectúa estudios limnológicos en la ciénaga de Guarinocito y planicies inundables del río Magdalena. Flórez (1978) efectúa una revisión bibliográfica sobre el mismo lago. Ruiz et al. (1984) realizan un estudio en el lago de La Tota en relación con su eutrofización, calidad bacteriológica y composición planctónica. Narváez (1984) hace

estudios batimétricos y algunas relaciones ecológicas del lago Guamuéz (La Cocha), Nariño. Aspectos generales sobre el lago La Cocha son también tratados por Cabrera (1970) y Pérez (1976). Arias (1985) efectúa un extenso análisis acerca de las ciénagas en Colombia. Ramírez (1987) realiza un estudio de las condiciones limnológicas de la laguna del Parque Norte de Medellín y Moreno y Fonseca (1987) discuten el papel que desempeñan las ciénagas como polos de desarrollo. Moreno et al. (1987) discuten la importancia del bosque ripario en la productividad de las ciénagas.

En resumen, aunque se tiene un conocimiento relativamente bueno acerca de la fisicoquímica de lagos, lagunas y ciénagas al igual que de su flora y fauna, aún falta mucha investigación acerca del funcionamiento de estos ecosistemas, el grado de eutrofización en el cual se encuentran y modelos que garanticen la recuperación y conservación de los mismos.

### Ictiología

En cuanto a peces son numerosos los trabajos que se han realizado, sobre todo en las regiones andinas y costeras, basadas en los trabajos iniciales realizados en el río Magdalena. Miles (1947) publica un libro sobre los peces del río Magdalena. Dahl y Medem (1964) realizan un estudio sobre la fauna acuática del río Sinú y Dahl (1963, 1971) con sus publicaciones sobre la biología y ambiente del bocachico (*Prochilodus reticulatus magdalenae*) y peces del norte de Colombia, abre definitivamente la investigación ictiológica en el país. Caicedo y García (1971) hacen una evaluación del grado de contaminación del río Bogotá y Almeida (1972) recomienda el establecimiento de un programa de investigación hidrobiológica en dicho río. Existen numerosos trabajos aislados que se han quedado como trabajos de grado

en muchas universidades. Falta aún mucho conocimiento de las regiones de la Orinoquía y Amazonía. También la acuicultura es otro aspecto al cual le falta mucho desarrollo en el país. Varios programas ictiológicos se pusieron en marcha en algunos de los embalses ya establecidos. Beltrán (1978), Beltrán y Beltrán (1978), Magallanes (1989), Medina (1983), Mosquera y Valderrama (1980), Ramos (1982), Valderrama (1984) discuten los impactos ambientales causados por la construcción del embalse el Peñol-Guatapé.

### Macroinvertebrados acuáticos

A partir de la década de los 70's se da en la Universidad de Antioquia (Medellín) un fuerte impulso al estudio limnológico de ríos y quebradas de Antioquia, con un énfasis especial en la fauna de los macroinvertebrados acuáticos. Dentro de estos trabajos vale la pena resaltar los siguientes: Flint (1964, 1967, 1978a) con los tricópteros neotropicales, los trabajos de Álvarez y Roldán (1983), Alzate (1985), Arango y Roldán (1983), Aristizabal (2000), Bedoya y Roldán (1984), Correa et al. (1981), Gaviria (1993), Gómez et al. (2004), Hernández y Moreno (1982), Hogue y Bedoya (1989), Laverde (1982), Machado y Roldán (1981), Mathis y Hogue (1986), Matthias y Moreno (1983), Pérez y Roldán (1978), Posada y Roldán (2003), Ramírez (1981), Roldán (1980, 1985, 1988) y Roldán et al. (1973) constituyen la base para la elaboración de una guía taxonómica y ecológica sobre los macroinvertebrados acuáticos de Antioquia, la cual ha tenido gran aceptación en el Neotrópico, donde ha sido punto de partida para claves regionales en varios países.

Desde principios de la década de los 90's, época en la cual se publicó la primera edición del libro: "Fundamentos de Limnología Neotropical"

(Roldán 1992) el desarrollo de la limnología en Colombia ha sido verdaderamente prolífico. En el campo de los macroinvertebrados vale la pena resaltar los trabajos de Caicedo y Palacio (1998), Gómez y Velásquez (1999), Muñoz y Ospina (1999), Quiñónez y Ramírez (1998), Roldán (1997, 1999, 2002) y Zamora y Roesler (1995, 1997). Dentro de los estudios limnológicos están los de Asprilla et al. (1998), Posada et al. (1999), Ramírez (1995, 2000), Ramírez y Viña (1998) publican un libro titulado "Limnología Colombiana", Ramírez et al. (2000, 2001), Roldán et al. (2000), Sierra y Ramírez (2000). Roldán (2003) publica un libro sobre la Bioindicación de la calidad del agua en Colombia, aplicando el método del BMWP/Col. Campos (2005) elabora una clave para los cangrejos de agua dulce en Colombia. Roldán y Ramírez (2008) publican la segunda edición del libro "Fundamentos de Limnología Neotropical".

### Ríos y corrientes

En cuanto al estudio de ríos y corrientes, existen numerosos trabajos. Bunker (1931) realizó el primer estudio del río Medellín con el fin de proponer soluciones al problema de la contaminación que ya se observaba en él. Curiosamente son los trabajos de Fitkau (1964) y Sioli (1964, 1984) los que marcan el inicio de una copiosa información acerca de la limnología amazónica. Un avance importante ha sido el de los estudios en la Amazonía colombiana de los cuales los más significativos son los de Duque y Núñez (1997, 2000), Guisande et al. (2000), Sala et al. (1999), Viña y Duque (1999), Zúñiga de Cardozo (1997). Este solo tema tomaría varios volúmenes para ser consignada la información existente.

El río Magdalena, el más importante del centro del país, ha recibido una relativa atención

en los últimos años. En 1986 se llevó a cabo en Barranquilla un foro sobre el estado de contaminación y sus alternativas de solución. Los trabajos quedaron consignados en un documento titulado: “*Memoria del foro sobre contaminación del río Magdalena y sus alternativas de solución*”, (Universidad del Norte, Barranquilla, 1986). Ruiz y Gómez (1988) publican una extensa obra sobre calidad de agua en Colombia, en la cual se incluyen datos fisicoquímicos y biológicos de los ríos Cauca y Magdalena y otra serie de ríos de importancia secundaria. Sánchez et al. (2001) presentan un estudio del alto Magdalena en el Huila. Hay numerosa información dispersa por todo el país sobre la fisicoquímica y biota sobre los ríos colombianos que excede en mucho el alcance del presente artículo.

### **Embalses**

A mediados del siglo XX, la construcción de embalses recibe un fuerte impulso en el país. El propósito fundamental fue generar energía hidroeléctrica y agua potable para grandes ciudades. La formación de estos nuevos cuerpos de agua favoreció la realización de una serie de estudios, tanto de carácter ictiológico como limnológico.

A partir de los años 70's, surgieron muchos trabajos relacionados con la fisicoquímica del agua y poblaciones de fito y zooplancton tales como Bernier (1981), Björk y Gelin (1980), Cárdenas (1977), Donato (2001), Gaviria (1989, 1994, 1994b), Hernani y Ramírez (2002), Horta (1985), ISA (1983, 1985), Márquez (1984), Márquez y Guillot (1987), Molina (1983), Moreno (1989), Ramírez (1989, 1996), Ramírez y Machado (1982), Roldán (1978, 1982), Roldán et al. (1984), Sánchez (1976), Saavedra (1984), Torres (1979), Uribe y Roldán (1975), Valderrama (1984), y Victoria y García (1983).

El trabajo en el fitoplancton y zooplancton ha sido uno de los más prolíficos en Colombia y ya se cuenta con claves bastante elaboradas para su identificación (Ramírez, 2000).

### **Estuarios**

En cuanto a los estudios sobre estuarios, se han centrado básicamente en la Ciénaga Grande de Santa Marta, donde el Instituto de Investigaciones Marinas (Invemar) ha venido realizando una serie de trabajos desde la década del setenta sobre fauna y acuicultura. Algunos de estos trabajos son los siguientes: Carmona (1979), Cosel (1973, 1978, 1986), Jeske (1976), Kaufmann y Hevert (1973), Palacio (1977, 1983), Pérez (1977), Rentería (1977), Pinzón (1978), Squires y Riveros (1971), Wedler (1973), Wedler et al. (1978), Wiedeman (1973). En el Golfo de Urabá también se han realizado algunos trabajos en la zona estuarina: Escobar (1981) y López (1981). Los estuarios constituyen un recurso invaluable en cuanto a la fauna y flora que presenta, pero también como potencial para la acuicultura, principalmente de la ostra. Los estuarios han sufrido en las últimas décadas impactos negativos desastrosos por la construcción de vías y por la deforestación del mangle.

### **Plantas acuáticas**

El conocimiento de las plantas acuáticas aún está poco desarrollado en Colombia. Mediante los estudios realizados por Schmidt-Mumm (1997) y Schmidt-Mumm y Posada (2000) se ha podido conocer un poco acerca de su diversidad y distribución en el país. Se han abordado algunos estudios sobre la presencia de las plantas acuáticas en los embalses, enfatizando fundamentalmente el problema que estas causan en su normal funcionamiento, como por ejemplo, pérdida de agua por transpiración,

desoxigenación por la cobertura del espejo de agua, entre otros Arboleda y Ramírez (2002). Se ha discutido igualmente las posibilidades de control utilizando herbicidas y peces fitófagos. Sobre este aspecto aún no hay resultados concretos. Roldán (2002) y Roldán y Alvarez (2002) proponen la utilización de el jacinto de agua o buchón de agua (*Eichhornia crassipes*) como descontaminadora de agua. Sobre este tema aún hay mucha investigación por realizar en el país y constituye un potencial inmenso para la descontaminación de ríos y embalses de origen industrial, agrícola y doméstico.

### **Características Físico-químicas**

En general los ríos de montaña son de baja dureza (> de 8,0 o 10,0 mg/l), oligotróficos y transparentes, con conductividades que fluctúan entre 10,0 y 20  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , los valores de fósforo varían entre 0,01 a 0,03 mg/l y los de nitrógeno entre 0,1 y 0,3 mg/l, los niveles de alcalinidad son también muy bajos [entre 10,0 y 40,0 mg/l (Roldán 1992, 2008)]. La oligotrofia es un reflejo de la pobreza de los suelos en las regiones tropicales, donde, debido a las altas temperaturas y la humedad la materia orgánica se descompone rápidamente, lo que inmediatamente se convierte en parte de la biomasa de los árboles, el fitoplancton y plantas acuáticas. Por el contrario, los ríos de las tierras bajas muestran una alta turbidez, la sedimentación de alta y un incremento de los valores fisicoquímicos.

### **Limnología del Parque Nacional Natural Gorgona**

Los estudios realizados por Blanco ( en este volumen) de las características fisicoquímicas de la aguas superficiales de la Isla Gorgona, muestran bajos contenidos de nitrógeno, ricas en fósforo total, cloruros relativamente altos debido

a aportes atmosféricos por medio de aerosoles y de naturaleza neutro alcalina. A pesar de ser una isla de origen volcánico, no hay evidencias de azufre atmosférico pero si submarino. Tampoco hay evidencia de coliformes totales en sus aguas, pues estas se consideran prístinas. Parece ser que la composición geológica de la isla podría influir sobre las comunidades lólicas costero marinas. Aparentemente la composición fisicoquímica de esta aguas insulares es muy semejante a las del continente, excepto en la salinidad.

Estudios realizados por Longo-Sánchez et al. (en este volumen) encontraron que se presentan diferencias en la composición y estructura del ensamble de insectos acuáticos en la isla Gorgona, tanto espacial como temporalmente. Gómez-Aguirre et al. (en este volumen) estudiando la composición de las comunidades de macroinvertebrados en las corrientes, encontraron que la geología y los elementos disueltos parecen ser los que juegan un mayor papel en la distribución de los macroinvertebrados. De acuerdo a estos estudios se puede presumir que la diversidad local depende de la diversidad regional, especialmente en el costado occidental de la isla, donde aún las condiciones del hábitat poco perturbado ofrecen condiciones ideales para la colonización y establecimiento de comunidades estables.

Por su parte, la alteración en el costado oriental de la isla se evidencia por la baja diversidad de insectos acuáticos y por el tipo de familias reportadas. Al aplicar el BMWP/Col en el costado oriental, las puntuaciones fueron entre 4 y 6, en tanto que el costado occidental, los puntajes estuvieron entre 9 y 10, lo que indica una buena calidad de los ecosistemas acuáticos. Como conclusión de lo anterior, se puede decir que la isla Gorgona es un ecosistema altamente

potencial para la especiación y endemismo y, por lo tanto, un importante referente para la conservación de ecosistemas lóticos insulares y continentales. La gran mayoría de la fauna de los macroinvertebres compartida por la isla y el continente.

Valencia-G. y Lizarazo-M. (en este volumen) mediante una caracterización de la composición microbiana de cuatro quebradas en la isla Gorgona, mostraron diferencias significativas entre las quebradas naturales y las perturbadas, por lo que al igual que en el continente, pueden utilizarse como indicadores de la calidad del agua. Es importante resaltar que los cloruros son los que más diferencia hacen en la composición de las comunidades microbianas. En el continente se presentan casos similares en regiones de aguas salobres.

Valencia-G. et al. (en este volumen) encontraron que los patrones de composición y distribución de las especies de hojarasca en el lecho de las quebradas pueden tener implicaciones importantes en el funcionamiento del ecosistema, alterando significativamente la composición de los macroinvertebrados.

Longo-Sánchez y Blanco (en este volumen) concluyen que no es posible generalizar patrones de distribución para todos los taxones en las diversas islas tropicales y templadas. La depredación, los represamientos y la extracción de agua, entre otros, además de la insularidad hacen que los organismos respondan de diferentes maneras. Aún no existe mucha claridad sobre los factores que influyen en la composición de las comunidades insulares a diferencia de los continentes.

## CONCLUSIONES

Gracias a su ubicación geográfica, Colombia tiene una variedad de pisos térmicos que le lleva

a tener una de las mayores reservas de agua en el mundo. Esta reserva está representada por miles de lagunas, pantanos, lagos artificiales, grandes ríos y arroyos desde el nivel del mar hasta las altas montañas cerca de los 5.000 m. Es sin duda, que en los últimas cuatro décadas se ha hecho un gran esfuerzo para conocer las características físicas y químicas de nuestros ecosistemas acuáticos y de su flora y fauna asociados a ellos. Sin embargo, todavía hay mucho por hacer, especialmente en la taxonomía y ecología de los principales grupos acuáticos.

Para finalizar se puede decir que Colombia necesita de un gran número de científicos entrenados en taxonomía y ecología de los organismos de agua dulce, tener mucha más cooperación entre universidades e instituciones, tanto en el país y el extranjero y fortalecer la Sociedad Colombiana de Limnología para que sea más protagonista en actividades y proyectos científicos que se aceleren el adelanto de la limnología en Colombia.

## REFERENCIAS

- Álvarez LF, Roldán G. 1983. Estudio del orden Hemiptera (Heteroptera) en el departamento de Antioquia a diferentes pisos altitudinales. *Actualidades Biológicas*, 12 (44): 31-45.
- Arango MC, Roldán G. 1983. Odonatos inmaduros del departamento de Antioquia a diferentes pisos latitudinales. *Actualidades Biológicas*, 12 (46): 91-105.
- Arboleda J, Ramírez JJ. 2002. Efecto de la presencia de macrófitas en la variación diaria de la biomasa, la producción primaria y la eficiencia fotosintética de la comunidad fitoplanctónica de la laguna Francisco José de Caldas. *Actualidades Biológicas*, 24: 49-58.
- Arias P. 1977. Evaluación limnológica de las planicies inundables de la cuenca norte del río Magdalena. Proyecto para el desarrollo de la pesca continental. Bogotá (Colombia): Inderena-FAO.
- Aristizabal GH. 2000. Los hemípteros de la película superficial del agua en Colombia. Parte 1. Familia Gerridae. Bogotá, Colombia: Academia Colombiana de Ciencias Exactas y Naturales (Colección Jorge Alvarez Lleras). p. 239.

- Asprilla S, Ramírez JJ, Roldán G. 1998. Estudio limnológico de la Ciénaga de Jotaudó, Chocó. *Actualidades Biológicas*, 20 (69): 87-107.
- Barón MM, Gavilán RA. 2004. Zooplankton de un lago de alta montaña neotropical (Aguas claras, Santander, Colombia). En: Varios, editores. Resúmenes del VI Seminario colombiano de Limnología y I Reunión Internacional sobre embalses tropicales. Montería (Colombia).
- Bedoya I, Roldán G. 1984. Estudio de los dípteros acuáticos (Diptera) en diferentes pisos altitudinales en el departamento de Antioquia. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 2 (2): 113-134.
- Beltrán I. 1978. Aporte al estudio biológico-pesquero del embalse Troneras (Antioquia) y alternativas para su manejo. Medellín (Colombia): Inderena Regional Antioquia. p. 107
- Beltrán CE, Beltrán I. 1978. Selectividad de trasmallos, como alternativa de manejo en reservorios de piscicultura extensiva (embalses) en la extracción de especies de sabaleta *Brycon henni*, carpa *Cyprinus* y tilapia *Tillapia mossambica*. Medellín (Colombia): Inderena Regional Antioquia.
- Bernier I. 1981. Contaminación en el embalse del Muña. Universidad Jorge Tadeo Lozano. *Revista La Tadeo*, 2: 23-25.
- Björk S, Gelin C. 1980. Limnological function and management of the El Peñol reservoir. Sweden: Inst. of Limnology, University of Lund.
- Bunker G. 1931. Informe sobre el aprovechamiento del río Medellín para abastecimiento de agua de la ciudad de Medellín. Medellín (Colombia): Empresas Públicas Municipales.
- Cabrera W. 1970. La Cocha, un lago andino en el sur de Colombia. *Sociedad Geográfica de Colombia*, 27 (101): 37-52.
- 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.
- Caicedo PE, García DG. 1971. Evaluación del grado de contaminación del río Bogotá. 1er. Foro Nacional sobre el Medio Ambiente. Bogotá (Colombia).
- Campos MR. 2005. Freshwater crabs from Colombia. Bogotá (Colombia): Academia Colombiana de Ciencias Exactas y Naturales (Colección Jorge Alvarez Lleras, N.º 24): 1-363.
- Cárdenas G. 1977. Estudios de la macrofauna bentónica en los embalses de Neusa, Sisga, Tominé y Muña [Tesis de Grado]. [Bogotá (Colombia)]: Universidad de los Andes.
- Correa M, Machado T, Roldán G. 1981. Taxonomía y ecología del orden Trichoptera. en el departamento de Antioquia en diferentes pisos altitudinales. *Actualidades Biológicas*, 10 (36): 35-48.
- Cosel R von. 1973. Lista preliminar de los moluscos de la Ciénaga Grande de Santa Marta (Colombia). *Mitteilungen des Institute Colombo-Alemán. Investigaciones Científicas*, 7: 47-56.
- Cosel R von. 1986. Moluscos de la región de la Ciénaga Grande de Santa Marta (Costa del Caribe de Colombia). *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta de Betín*, 16: 79-370.
- Dahl G. 1963. "El bocachico": contribución al estudio de su biología y su ambiente. Ciudad (Colombia): CVM Departamento de Investigaciones Ictiológicas y Faunísticas. p. 144.
- Dahl G. 1971. Los peces del norte de Colombia. Bogotá (Colombia): Inderena. p. 391.
- Dahl G, Medem F. 1964. Informe sobre la fauna acuática del Sinú. (Colombia): CVM Departamento de Investigaciones Ictiológicas y Faunísticas. p. 160.
- Díaz de AR, Gil H, Vega E, Puerta A, Loaiza A. 1985. Control de crecimiento de plantas acuáticas en el embalse La Fe. Medellín (Colombia): Empresas Públicas de Medellín-Universidad Nacional.
- Donato JC. 2001. Fitoplancton de los lagos andinos del norte de Sudamérica (Colombia). Bogotá (Colombia): Academia Colombiana de Ciencias Exactas y Naturales (Colección Jorge Alvarez Lleras, N.º 19). p. 232.
- Ducharme A. 1975. Estudio fisicoquímico y biológico del lago de La Tota. Revisión bibliográfica de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Bogotá (Colombia).
- Ducharme A. 1975. Informe técnico de biología pesquera (Limnología). Publicación N° 4. Proyecto Inderena-FAO. Bogotá (Colombia): Inderena-FAO.
- Duque S, Núñez M. 1997. Ficoflora de algunos ambientes acuáticos de la Amazonía Colombiana. *Caldasia*, 19 (1-2): 279-284.
- Duque S. 2000. Microalgas acuáticas de la amazonía colombiana. *Biota Colombiana*, 1 (2): 208-216.
- Escobar JG. 1981. Métodos y posibilidades para el cultivo de la ostra de mangle en el Golfo de Urabá. *Revista Corpourabá*.
- Fittkau EJ. 1964. Remarks on Limnology of Central Amazon rain forest streams. En: Fittkau EJ. On the ecology of Amazonian rain-forest streams. XX Simposio sobre la biota amazónica, 3: 97-108.
- Flint OS. 1967. Studies of Neotropical Caddis-flies, IV: New species from México and Central América. *Proceedings of United States Natural Museum*, 123 (3608): 1-24.
- Flint OS. 1978. Studies of Neotropical Caddis-flies, XXII: Hydropsychidae of the Amazon Basin (Trichoptera). *Amazoniana*, 6: 373-421.
- Flint OS. 1991. Studies of Neotropical Caddis-flies, XLV: Taxonomy, Phenology, and Faunistics of the Trichoptera of Antioquia, Colombia. *Contribution to Zoology (Smithsonian Institution)*, 520: 1-113.

- Galán R. 1966. Investigación sobre el tratamiento biológico de las aguas negras de la ciudad de Bogotá. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Bogotá (Colombia).
- Galeano L. 1987. Estudio Hidrobiológico del río Bogotá. Empresas de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Laboratorio de Aguas Negras, Bogotá. Bogotá (Colombia):.
- Gaviria E. 1993. Claves para las especies colombianas de las familias Naidae y Tubificidae (Oligochaeta, Annelida). *Caldasia*, 17 (2): 237-248.
- Gaviria G. 1989. The calanoid fauna (Crustacea, Copepoda) of the cordillera Oriental of the colombian Andes. *Hydrobiologia*, 178: 113-134.
- Gaviria S. 1994. Los copépodos (Arthropoda, Crustacea) de vida libre de las aguas continentales de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 19 (73): 361-385.
- Gaviria S. 1994. Copépodos de vida libre (Arthropoda, Crustacea) de las aguas continentales de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 19 (73): 361-385.
- Gómez M, Velásquez LE. 1999. Estudio de los moluscos de agua dulce de la reserva ecológica Cerro de San Miguel (Caldas, Antioquia, Colombia). *Actualidades Biológicas*, 21 (71): 151-161.
- Gómez MI, Barbosa dos Santos S, Roldán G. 2004. Ancyliidae from department of Antioquia – Colombia, with new records (Pulmonata, Basommatophora). *Caldasia*, 26 (2): 439-444.
- Guisande C, Andrade C, Granado-Lorencio C, Duque SR, Núñez-Avellaneda M. 2000. Effects of zooplankton and conductivity on tropical *Utricularia foliosa* investment in carnivory. *Aquatic Ecology*, 34: 137-142.
- Hensen V. 1897. Über die Bestimmung des Planktons oder des im Meere treibenden Materials an Pflanzen und tieren 5. *Ber. Kommiss. Wiss. Unters. Dt. Meere* 12-16, 1-108.
- Hernani A, Ramírez JJ. 2002. Aspectos morfométricos y teóricos de un embalse tropical de alta montaña: represa La Fe, El Retiro, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias*, 26: 511-518.
- Hogue CL, Bedoya I. 1989. The net-winged midge fauna (Diptera: Blephariceridae) of Antioquia Department, Colombia. Los Angeles County Museum. *Contributions to Sciences*, 413:1-57.
- ISA. 1983. Estudio Limnológico Integrado del Sistema Guatapé-Nare. Estructura y Programación-Sección Medio Ambiente. Documento ABRN-044, Medellín (Colombia).
- ISA. 1985. Calidad de Aguas en el Sistema Chivor-Informe resumen de los muestreos de 1983 a 1985. Documento N° ABRNMA-094, ISA, Sección Medio Ambiente, Medellín (Colombia).
- Jeske R. 1976. Estudios bacteriológicos de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Mitteilungen des Institute Colombo-Alemán. Investigaciones Científicas*, 8: 17-31.
- Kaufmann R, Hevert F. 1973. El régimen fluviométrico del río Magdalena y su importancia para la Ciénaga Grande de Santa Marta. *Mitteilungen des Institute Colombo-Alemán. Investigaciones Científicas*, 7: 121-137.
- Laverde HA. 1982. Datos sobre colección, inventario y cría artificial de bivalvos de agua dulce en Colombia. *Scientiae*, 1 (2): 165-172.
- Löffler H. 1960. Limnologische Untersuchungen an chilenischen und peruvianischen Binnengewässern. I. *Ark. f Geofysik*, 3: 155-254.
- Machado T, Roldán G. 1981. Estudio de las características fisicoquímicas y biológica del río Anorí y sus principales afluentes. *Actualidades Biológicas*, 10 (35): 3-19.
- Marcus E. du BR. 1953. Bryozoa from lake Titicaca. *Bol. Fac. Cienc. Letr. Univ. São Paulo. Zool.*, 18: 149-163.
- Márquez G. 1984. Ecología de embalses tropicales con referencia a dos casos colombianos: Chivor y Prado. *ÁGID. Primer Simposio Latinoamericano de Presa y Embalses. Tomo II. Bogotá (Colombia)*. p. 8-15.
- Márquez G, Guillot G. 1987. Proyecto: Estudios ecológicos de embalses colombianos, etapa prospectiva. Bogotá (Colombia): Fondo para la Protección del Medio Ambiente “José Celestino Mutis”-FEN-Colombia. p. 242.
- Mathis WN, Hogue CL. 1986. Description of a new species of the shorefly genus *Diedrops* Diptera: Ephydriidae from Colombia. *Contri. Science. Nat. Hist. Mus.*, 377: 21-26.
- 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.
- Medina H. 1983. Problemas de operación de origen ambiental en la Central Hidroeléctrica de Guatapé. *Revista EE.PP. MM.*, 5 (1): 53-77.
- Miles CB. 1947. Los peces del río Magdalena. Bogotá (Colombia): Ministerio de Economía Nacional, Sección de Piscicultura, Pesca y Caza. p. 214.
- Molano J. 1954. Limnología colombiana: lagos, lagunas, represas, ríos y quebradas de Colombia. Bogotá (Colombia): División de Recursos Naturales del Ministerio de Agricultura de Colombia.
- Molano J. 1960. El lago de Tota. Bogotá (Colombia): Ediciones Universidad de Bogotá. p. 204.
- Moreno LF. 1989. Colonización del perifiton en tres embalses del oriente antioqueño. [Tesis de Magister]. [Medellín (Colombia)]: Universidad de Antioquia.
- Moreno LF, Fonseca C. 1987. Las Ciénagas: Polos potenciales para el desarrollo. *Actualidades Biológicas*, 16 (60): 57-68.
- Mosquera A, Valderrama J. 1980. Piscicultura, en el embalse de Neusa, Bogotá. Bogotá (Colombia):

- Corporación Autónoma Regional de los Valles de Ubaté y Chiquinquirá (CAR), Bogotá.
- Muñoz D, Ospina R. 1999. Guía para la identificación genérica de los Ephemeroptera de la Sabana de Bogotá, Colombia. Ninfas y algunos géneros de adultos. *Actualidades Biológicas*, 21 (70): 47-60.
- Narváez A. 1984. Estudio batimétrico y algunas relaciones ecológicas del lago Guamuez (La Cocha). Pasto (Colombia): Universidad de Nariño.
- Palacio J. 1983. Die benthische Makroinvertebranten Fauna der Tropischen Astuarregion Ciénaga Grande de Santa Marta (Kolumbien) und ihre activität im Wechsel zwischen trocken-und regenzeit. Diss. Dr. rer. nat. Universität Bochum, Alemania Federal. p. 248.
- Pérez AP. 1976. Tota más que un lago un conflicto. Bogotá (Colombia): Editorial Stella.
- Posada JA, Roldán G. 2003. Clave ilustrada y diversidad de las larvas de Trichoptera en el Nor-occidente de Colombia. *Caldasia*, 25 (1): 169-192.
- Quiñonez ML, Ramírez JJ. 1998. Estructura numérica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos derivadores en la zona ritral del río Medellín. *Actualidades Biológicas*, 20: 61-73
- Ramírez A, Viña G. 1998. *Limnología Colombiana*. Bogotá (Colombia): Editorial Panamericana. p. 292.
- Ramírez JJ. 1981. Estudio limnológico de los ríos Turbo, Apartadó y Chigorodó. *Revista Corpourabá*, 2 (4): 28-75.
- Ramírez JJ. 1987. Contribución al conocimiento de las condiciones limnológicas de la laguna del Parque Norte, Medellín. *Actualidades Biológicas*, 16 (59): 12-30.
- Ramírez JJ. 1995. Cambios de temperatura y variables químicas en un ciclo de 24 horas en la columna de agua del embalse Punchiná, Antioquia, Colombia. *Acta Limnologica Brasiliensis*, 7: 23-34.
- Ramírez JJ. 1996. Autoecology of *Cyanotecca bicudo* sp. nova, a new Cyanophyceae from Parque Norte lagoon, Colombia. *Algological Studies*, 80: 21-34.
- Ramírez JJ. 2000. Fitoplancton de agua dulce: aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios. Medellín (Colombia): Editorial Universidad de Antioquia. p. 207.
- Ramírez JJ, Alcaráz H. 2002 Dinámica de la producción primaria fitoplanctónica en un sistema eutrófico tropical: laguna del Parque Norte, Medellín, Colombia. *Caldasia*, 24: 411-423.
- Ramírez JJ, Díaz A. 1996-1997. Fluctuación estacional del zooplancton en la laguna el Parque Norte, Medellín, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 44/45: 549-563.
- Ramírez JJ, Díaz CA. 1995. Cambios diurnos de temperatura y variables físicas y químicas en dos épocas del año en la Laguna del Parque Norte, Colombia. *Acta Limnológica Brasiliensis*, 7: 87-104.
- Ramírez JJ, Machado T. 1982. Influencia de la precipitación y los ortofosfatos sobre el fitoplancton en la represa La Fe. *Actualidades Biológicas*, 11 (39): 3-21.
- Ramírez JJ, Bicudo C, Roldán G, García LC. 2000. Temporal and vertical variations in Phytoplankton community structure and its relation to some morphometric parameters of four Colombian reservoirs. *Caldasia*, 22 (1): 108-126.
- Ramírez JJ, Bicudo C, Roldán G, García LC. 2001. Variación vertical de parámetros físicos y químicos en cuatro embalses tropicales y su relación con el área, la altitud y el tiempo de retención hidráulica. *Acta Limnol Bras.*, 13 (2): 19-34.
- Ramírez JJ, Roldán G, Cano W, Machado T. 1989. Primer reporte de Chaoborus en Colombia. *Actualidades Biológicas*, 18: 122-127.
- Ramos A. 1982. La ictiofauna frente al desarrollo hidroeléctrico: El Proyecto Cañafisto. *Revista Universidad de Caldas*, 3 (2-3): 122-134.
- Rentería B. 1977. Fauna planctónica de la Ciénaga Grande de Santa Marta y su relación con el medio. N.os 4-5. Ciudad (Colombia): Divulgación Pesquera.
- Richerson PJ, Widmer C, Kittel T, Landa A. 1974. A survey of the physical limnology of lake Titicaca. *Verh. Intern. Verein. Limnol.*, 19: 1498-1503.
- Roldán G. 1978. Problemas de eutroficación en lagos y embalses colombianos. *Revista Contaminación Ambiental*, 2 (3): 51-56.
- Roldán G. 1980. Estudios limnológicos de cuatro ecosistemas neotropicales diferentes con especial referencia a su fauna de efemerópteros. *Actualidades Biológicas*, 9 (34): 103-117.
- Roldán G. 1982. Algunas consideraciones ecológicas acerca de los embalses. *Revista Contaminación Ambiental*, 6 (10): 13-20.
- Roldán G. 1985. Contribución al conocimiento de las ninfas de los efemerópteros (Clase: Insecta, Orden: Ephemeroptera) en el departamento de Antioquia. *Actualidades Biológicas*, 14 (51): 3-13.
- Roldán G. 1988. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Bogotá (Colombia): Fondo FEN-Colombia, Editorial Presencia Ltda. p. 217.
- Roldán G. 1992. *Fundamentos de limnología neotropical*. Medellín (Colombia): Editorial Universidad de Antioquia. p. 529.
- Roldán G. 1997. Development of limnology in the Neotropics. In: *Wissenschaftlertausch und Entwicklungszusammenarbeit vor der Jahrtausendwende*. Nomos Verlagsgesellschaft, Baden, p. 367-370.
- Roldán G. 1999. Los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 88: 375-387.
- Roldán G. 2002. Treating industrial wastes in Colombia using water hyacinth. *Waterlines*, 21 (1): 6-8.

- Roldán G. 2002. Limnología y eutrofización de embalses en Colombia. En: Fernández A, Chalar G, editores. El agua en Iberoamérica: de la limnología a la gestión en Sudamérica. Ciudad (País): CYTED XVII. p. 107-122.
- Roldán G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia-Uso del método BMWP/Col. Medellín (Colombia): Editorial Universidad de Antioquia. p. 170.
- Roldán G, Álvarez LF. 2002. Aplicación del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para el tratamiento de aguas residuales y opciones de recuso de la biomasa producida. Revista Universidad Católica de Oriente, 15: 56-71.
- Roldán G, Álvarez LF. 2002. Aplicación del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para el tratamiento de aguas residuales y opciones de reuso de la biomasa producida. Revista Universidad Católica de Oriente, 15: 56-57.
- Roldán G, Ramírez JJ. 2008. Fundamentos de limnología Neotropical. 2da. Ed. Medellín (Colombia): Editorial Universidad de Antioquia, Universidad Católica de Oriente y Academia Colombiana de Ciencias-ACCEFYN. p. 440.
- Roldán G, Ruiz E. 2001. Development of limnology in Colombia. In: Wetzel RG, Gopal B, editors. Limnology in developing countries. Vol. 3. International Association of Theoretical and Applied Limnology. New Delhi, India: International Scientific Publications. p. 69-119.
- Roldán G, Bohorquez A, Ardila JL. 2000. Estudio limnológico del embalse de El Guavio. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 24 (90): 73-84.
- Roldán G, Builes J, Trujillo CM, Suárez A. 1973. Efectos de la contaminación industrial y doméstica sobre la fauna béntica del río Medellín. Actualidades Biológicas, 2 (5): 54-64.
- Roldán G, Posada JA, Gutiérrez JC. 2001. Estudio limnológico de los recursos hídricos del Parque de Piedras Blancas. Bogotá (Colombia): Academia Colombiana de Ciencias Exactas y Naturales (Colección Jorge Alvarez Lleras, N.º 18). p. 137.
- 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.
- Ruiz E, Gómez J. 1988. Calidad de agua en Colombia. Bogotá (Colombia): Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (HIMAT)-Ministerio de Agricultura.
- Ruiz JE, Molina JA, Saavedra GE, Contreras M, Mojica JI. 1984. Incidencia de la precipitación, eutrofización y calidad bacteriológica en la composición planctónica del lago La Tota. Bogotá (Colombia): HIMAT, División de Hidrobiología.
- Salas S, Duque S, Nuñez SM, Lamaro A. 1999. Nuevos registros de diatomeas (Bacillariophyceae) de la amazonia colombiana. Caldasia, 21: 26-37.
- Sánchez G. 1976. Estudio limnológico de los embalses de Muña, Neusa, Sisga y Tominé [Tesis de magíster]. [Bogotá (Colombia)]: Universidad de los Andes.
- Sánchez JJ, Ramírez JJ. 2000. Dinámica de la comunidad zooplanctónica (excepto Protozoa) en las zonas limnética y litoral de la laguna del Parque Norte, Medellín, Colombia. Actualidades Biológicas, 22 (72): 65-82.
- Sánchez M, Olaya A, Rojas J, Zambrano HI. 2001. Aproximación al ecosistema acuático del alto Magdalena en el Huila. Neiva (Colombia): Universidad Surcolombiana-Cormagdalena. p. 108.
- Schmidt-Mumm U. 1997. Vegetación acuática y palustre de la Sabana de Bogotá y plano del río Ubaté. Bogotá (Colombia): Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia. p. 171.
- Schmidt-Mumm U, Posada JA. 2000. Adiciones a las Haloragaceae de Colombia: Proserpinaca palustres. Caldasia, 22 (1): 146-149.
- Sioli H. 1964. General features of the Limnology of Amazonia. Verh. Internat. Verein. Limnol., XV: 1053-1058.
- Sioli H. 1984. Introduction: History of the discovery of the Amazon and of Research of Amazonian Waters and Landscapes. En: Sioli H, editor. Amazon: Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. The Hague: Dr. W. Junk. p. 1-13.
- Squires HJ, Riveros G. 1971. Algunos aspectos de la biología del ostión (*Crassostrea rhizophorae*) y su producción potencial en la Ciénaga Grande de Santa Marta. Estudios e Investigaciones [Bogotá (Colombia)], 6: 1-16.
- Universidad del Norte. 1986. Memoria del Foro sobre Contaminación del río Magdalena y sus alternativas de solución. Colección Archivo. Barranquilla (Colombia): Ediciones Uninorte.
- Uribe A, Roldán G. 1975. Estudio comparativo de algunas características fisicoquímicas y biológicas del embalse El Peñol (Nare). Actualidades Biológicas, 4 (11): 2-12.
- Valderrama M. 1984. Análisis de la situación actual y perspectivas de desarrollo pesquero en embalses de Colombia. Divulgación Pesquera, INDERENA (Bogotá), XXII (2, 3, 4): 72-91.
- Victoria G, García L. 1983. Efectos del desarrollo hidroeléctrico sobre las poblaciones de peces de ríos con planicie inundable. En: Ramos A, Corredor G, editores. Sistemas de acuicultura para Colombia. Simposio Universidad de Caldas, Manizales. Ciudad (Colombia): Publ. IFCES. p. 99-114.
- Viña MS, Duque S. 1999. Silica-scaled chrysophytes from the Amazonian region in Colombia. Nova Hedwigia, 69 (1, 2): 151, 162.
- Wedler E. 1973. Die Hydroiden der Ciénaga de Santa Marta (Kolumbien) und einiges zu ihrer ökologie. Mitteilungen des Institute Colombo-Alemán. Investigaciones Científicas, 7: 31-39.

- Wedler E, Pérez L, Palacio J, Pinzón E. 1978. Ostricultura en la Ciénaga Grande de Santa Marta. Santa Marta (Colombia): INVEMAR. p. 64.
- Wiedeman UH. 1973. Reconnaissance of the Ciénaga Grande de Santa Marta. Colombia: Physical Parameters and Geological History. Mitteilungen des Institute Colombo-Alemán. Investigaciones Científicas, 7: 85-119.
- Williamson EB. 1918. A collecting trip to Colombia, South America. Museum of Zoology. Miscellaneous Publications (University of Michigan), 3: 1-24.
- Wolf M, Matthias U, Roldán G. 1989. Estudio del desarrollo de los insectos acuáticos su emergencia y ecología en tres ecosistemas diferentes en el departamento de Antioquia. Actualidades Biológicas, 17 (63): 2-27.
- Zamora H, Roesler E. 1995. Descripción morfológica y taxonómica de una nueva especie de Anacroneuria (Insecta – Plecoptera). Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas, 9 (4-2): 85-98.
- Zamora H, Roesler E. 1997. Número de estadios nayadales, ciclo biológico y patrón de to de Anacroneuria caucana (Insecta, Plecoptera). Unicauca Ciencia, 2: 15- 24.
- Zúñiga de Cardozo MC, Rojas M, Caicedo G. 1997. Indicadores ambientales de calidad del agua en la cuenca del río Cauca. En: Varios, editores. Bioindicadores ambientales de la calidad del agua. Cali (Colombia): Universidad del Valle.