

Artículo original

Análisis multitemporal y caracterización de la vegetación hidrófita y helófita de un cinturón de humedales urbanos en el altiplano del Oriente antioqueño

Multi-temporal analysis and characterization of hydrophyte and helophyte vegetation of a belt of urban wetlands in the highlands of the Eastern region of Antioquia

© Daniela Salazar-Suaza¹, © Mario Alberto Quijano-Abril^{2,*}

¹ Instituto de Biología, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

² Grupo de estudios florísticos, Herbario de la Universidad Católica de Oriente, Rionegro, Antioquia, Colombia

Resumen

Los humedales han sido catalogados como altamente diversos por su multiplicidad de ambientes y formas y constituyen ecosistemas únicos, de allí el interés por su conservación a nivel mundial. En el presente estudio se buscaba caracterizar la vegetación acuática en 13 humedales urbanos del altiplano del Oriente antioqueño estableciendo 15 cuadrantes aleatorios de 0,5 m de lado en cada humedal, con el fin de evaluar frecuencia y cobertura. Asimismo, se determinó la distribución de la vegetación acuática por hábitos de crecimiento ilustrada mediante un perfil. Por último, se hizo un análisis multitemporal para evaluar las presiones que estos ecosistemas han tenido a lo largo del tiempo. Se encontraron 81 especies de plantas acuáticas distribuidas en 39 géneros y 27 familias, de las cuales 41 son nativas de Antioquia. Las familias con mayor representación fueron Poaceae, Cyperaceae, Onagraceae y Juncaceae. El hábito de crecimiento que dominó fue el emergente, seguido del flotante enraizado y el flotante libre. Las presiones antrópicas observadas suponen que la urbanización, la minería y la contaminación han perjudicado seriamente estos ecosistemas en el territorio hasta el punto de que hoy están en riesgo de desaparición si no se los incluye en el plan de ordenamiento territorial.

Palabras clave: Hábitos de crecimiento; Presiones antrópicas; Humedales urbanos; Vegetación acuática.

Abstract

Wetlands have been classified as highly diverse ecosystems given their multiplicity of environments and forms and they constitute unique ecosystems whose conservation is of worldwide interest. In the present study, we sought to characterize the aquatic vegetation in 13 urban wetlands in the highlands of the Eastern region of Antioquia using 15 random quadrants of 0.5 m distributed in each wetland to evaluate the frequency and coverage. Besides, we studied the distribution of aquatic vegetation by growth habits illustrated in a vegetation profile. Finally, we conducted a multi-temporal analysis to evaluate the pressures these ecosystems have had over time. We found 81 species of aquatic plants distributed in 39 genera and 27 families where 41 species are native to the Department of Antioquia. The families with the highest representation were Poaceae, Cyperaceae, Onagraceae, and Juncaceae. The growth habit that dominated was the emerging one followed by the rooted floating and the free-floating. The anthropic pressures observed in the spatial analysis showed that urbanization, mining, and pollution have seriously damaged these ecosystems and that they are currently at high risk of disappearance if they are not included in the plans for territorial management.

Keywords: Anthropic pressures; Aquatic vegetation; Growth habits; Urban wetlands.

Citación: Salazar-Suaza D, Quijano-Abril MA. Análisis multitemporal y caracterización de la vegetación hidrófita y helófita de un cinturón de humedales urbanos en el altiplano del Oriente antioqueño. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat. 44(171):639-651, abril-junio de 2020. doi: <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1060>

Editor: Gabriel Roldán

***Correspondencia:**

Mario Alberto Quijano;
maquijano@uco.edu.co

Recibido: 31 de octubre de 2019

Aceptado: 23 de abril de 2020

Publicado: 30 de junio de 2020



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

Introducción

El altiplano del oriente antioqueño alberga una serie de humedales urbanos muy importantes en bienes y servicios para los habitantes de esta región por la mitigación de los eventos climáticos, la regulación y el almacenamiento de flujos hídricos, y la oferta de hábitats para diferentes especies, entre muchos otros (<https://www.ramsar.org/es/acercade/la-importancia-de-los-humedales>). Sin embargo, las presiones que históricamente se han ejercido sobre el territorio, la agricultura, la ganadería, la minería y, sobretudo, la expansión urbana, han generado en algunos casos el drenado parcial o total de estos ecosistemas. La región del Oriente antioqueño tiene un importante papel en el departamento por su gran desarrollo social y económico gracias a su ubicación geográfica, diversidad cultural, potencial humano y riqueza hídrica, biótica y paisajística (Zapata, *et al.*, 2017). La construcción del Aeropuerto Internacional José María Córdoba y de su zona franca, así como la construcción de la autopista Medellín-Bogotá, han sido factores contundentes en la concentración y jerarquización de poblaciones y ha producido un crecimiento acelerado y desordenado de la zona, lo que ha llevado a muchos ecosistemas al borde de la desaparición.

A pesar de la importancia biótica y ecológica de los humedales, las corporaciones autónomas regionales y las administraciones municipales no han generado estrategias para su manejo en el territorio (González, 2017; Cornare, 2014; Rionegro, 2018). Además, aún no se ha hecho un mapa de humedales en la región. La delimitación y caracterización de los humedales es una necesidad apremiante en la planificación del territorio, pues sin un estudio de línea de base, será muy complejo conocer cuáles son sus principales amenazas y cuáles las comunidades bióticas que los componen.

Un componente biológico de especial relevancia en estos ecosistemas es la vegetación acuática, la cual constituye el productor primario más importante de los humedales y es indispensable para el soporte de su biodiversidad (Camelo-Mendoza, *et al.*, 2016). En Colombia son pocos los estudios de caracterización de la vegetación acuática de humedales de zonas altas, y entre ellos se destacan los de Schmidt-Mumm (1988) y Ramos, *et al.* (2013). En este sentido, es crucial la identificación de estas comunidades vegetales para, además, tratar de entender la plasticidad fenotípica que les permite completar su ciclo vital en ambientes con inundaciones y sequías alternantes (Cortés-Duque & Estupiñán-Suárez, 2016).

Hay un número limitado de investigaciones sobre este importante componente biótico en el altiplano del Oriente antioqueño, lo que evidencia también la problemática en torno al conocimiento de las plantas acuáticas nativas, ya que estas son desplazadas fácilmente por especies invasoras exitosas en estos ecosistemas altamente contaminados y colmatados (Díaz-Espinosa, *et al.*, 2012). Este fenómeno puede llevar a la desaparición de especies propias de la zona que permiten el delicado equilibrio ecológico característico de estos ecosistemas, especialmente los ubicados en zonas urbanas.

Un aspecto complementario a la caracterización de estos ecosistemas es la observación y el análisis de los cambios en el uso del suelo a través de los años mediante herramientas de análisis multitemporal (Chuvieco, 1990; Ozesmi & Bauer, 2002; Otto, *et al.*, 2011; Ruiz, *et al.*, 2013), que pueden contribuir a discernir las presiones que han sufrido y demostrar que no se ha hecho una planeación territorial adecuada en las áreas de importancia ecológica.

Actualmente, los humedales del altiplano del Oriente antioqueño se encuentran fragmentados y degradados; sin embargo, conservan aspectos de gran importancia, como una abundante riqueza y diversidad taxonómica y funcional comparados con otros humedales urbanos del país, incluso con algunos de zonas bajas (Quijano, *et al.*, 2018), y por ello deben tenerse en cuenta en los planes de manejo ambiental, lo que representa un gran desafío por su alta vulnerabilidad, asociada, entre otras cosas, con la variabilidad de los fenómenos climáticos y los cambios en los usos del suelo (García-Duque, *et al.*, 2018). En el presente estudio se caracterizó la vegetación acuática de un cinturón de humedales urbanos en el altiplano del Oriente antioqueño, y se hizo un análisis multitemporal de las presiones que se han generado sobre este tipo de ecosistemas en el tiempo.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se hizo en el altiplano del Oriente antioqueño, también llamado valle de San Nicolás, localizado en la cordillera Central de los Andes, al oriente del departamento de Antioquia, Colombia. En este valle hay nueve municipios: Rionegro, Guarne, El Carmen de Viboral, El Retiro, El Santuario, Marinilla, La Ceja, La Unión, y San Vicente (**Figura 1**), con una extensión de 174.466,67 hectáreas. La zona de vida predominante corresponde a bosque húmedo premontano, tiene una altura promedio de 2.100 m s.n.m. y una temperatura media de 21 °C (**Alzate, et al., 2008**). Esta zona es una de las más importantes a nivel ecológico e hidrológico, puesto que en ella confluyen algunos de las principales fuentes hídricas de la región.

Selección de los humedales

Para la selección de los ecosistemas se tomó como base la propuesta de **García, et al. (2018)** de un modelo espacial como herramienta de delimitación teniendo en cuenta aspectos físicos y bióticos tales como la hidrología, la geología, la geomorfología y las coberturas de la tierra, entre otros (**Figura 2**). La compilación y ponderación de las variables físicas y bióticas se hizo mediante un análisis multicriterio. Una vez definidas las variables, un equipo técnico de expertos en las áreas de hidrología, hidráulica, limnología y ecología de la Universidad Católica de Oriente las calificó. Por último, se hizo la validación

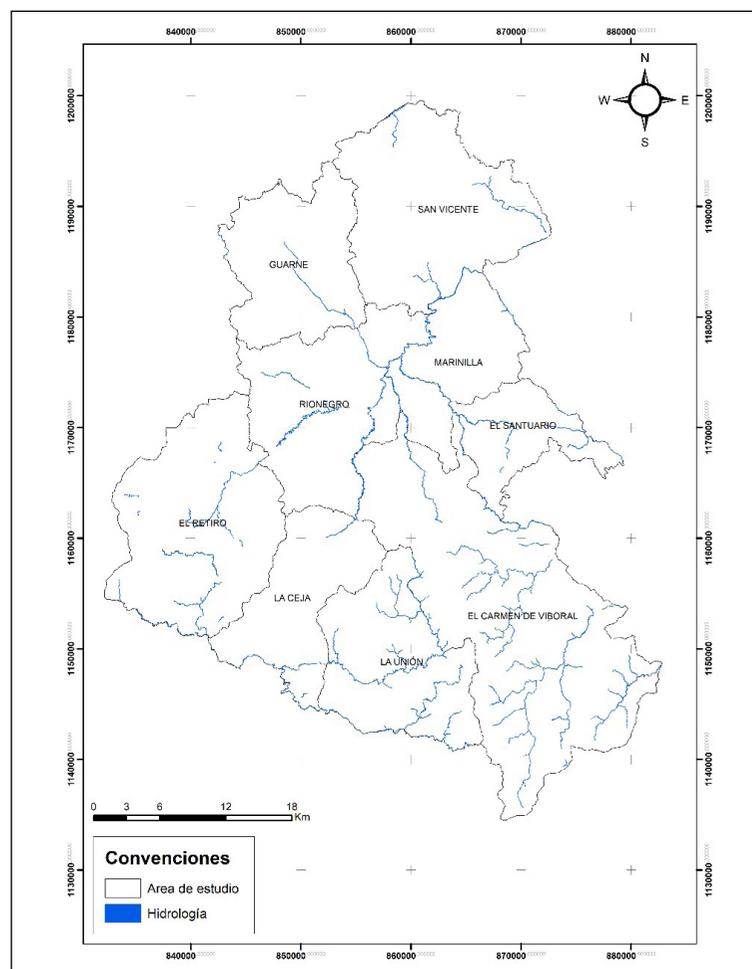


Figura 1. Mapa del altiplano del Oriente antioqueño y su hidrología. Fuente: **Quijano, et al. (2018)**

participativa en un taller con expertos locales y regionales (académicos, corporaciones autónomas regionales (CAR), alcaldías municipales y algunas ONG), el cual contó con la participación de 50 personas y 10 instituciones. En el taller cada grupo de trabajo analizó detalladamente el área de estudio determinando con base en su percepción y experiencia lo que podría considerarse un humedal. Como resultado, el presente análisis se hizo en los 13 humedales propuestos por dichos participantes.

Análisis multitemporal de los humedales seleccionados

Se hizo un estudio cartográfico de los años 2002, 2006, 2010, 2014 y 2018 (Figura 3). En cada humedal se evaluaron los cambios debidos a la presión antrópica ejercida por las construcciones, los llenos, las vías, la pérdida de cobertura vegetal, la agricultura, la minería y la ganadería. Asimismo, se determinó el origen del humedal teniendo en cuenta si ya

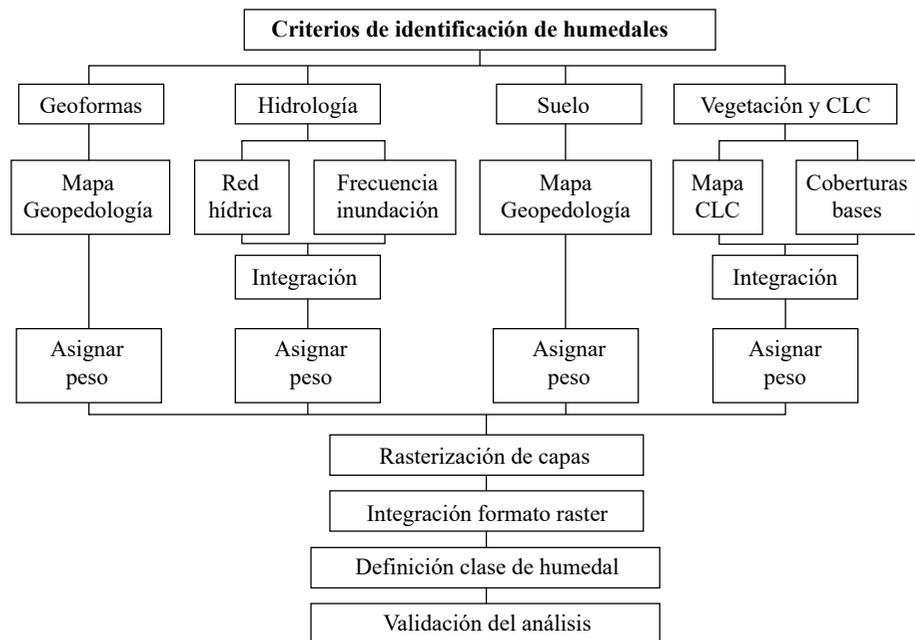


Figura 2. Proceso metodológico para la delimitación de humedales

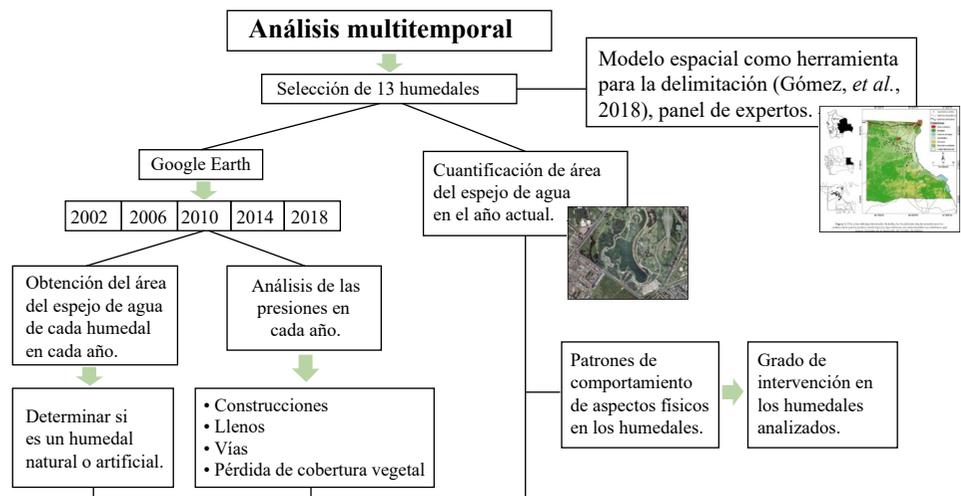


Figura 3. Proceso metodológico para el análisis multitemporal.

existía en el 2002 o si había sido creado por alguna intervención humana. Se cuantificó el área del espejo de agua de los humedales en cada año para obtener los patrones de comportamiento y los cambios en esta área y así evaluar los aspectos físicos de estos ecosistemas.

Fase de campo

Para los muestreos de vegetación acuática se utilizaron 15 cuadrículas aleatorias de 0,5 m de lado, divididas en 25 cuadrantes de 0,1 m. En cada cuadrante se registraron las especies halladas y el número de veces en que se encontraron para obtener la frecuencia en función de la totalidad de los cuadrantes (**Ramos, et al., 2013**). Los individuos muestreados se recolectaron tomando preferiblemente ramas con partes reproductivas que permitieron la identificación taxonómica en el herbario de la Universidad Católica de Oriente (HUCO) y en el de la Universidad de Antioquia (HUA). También se hicieron recolecciones generales para determinadas especies en estado fértil, con el objetivo de complementar la información florística del lugar y facilitar la determinación del material estéril de los cuadrantes.

Análisis de datos

Se elaboraron listas de especies representativas de cada humedal por cuadrantes y en la recolección general. Se elaboró una curva de acumulación de especies utilizando el programa EstimateS 9.0 y, por último, se calculó el índice de diversidad de Shannon (H'), el índice de dominancia de Simpson (D) y el estimador de diversidad beta Jaccard mediante el programa Past, versión 4.01 (**Hammer, et al., 2001**).

Hábitos de crecimiento

Mediante la observación de cada especie y su distribución en el humedal, se estableció el hábito de crecimiento de cada taxón con base en la clasificación de **Sculthorpe** (1967) adaptada por **Rial** (2009, 2014), distinguiendo hábitos flotantes libres, flotantes enraizados, enraizados emergentes y sumergidos.

Elaboración del perfil de vegetación acuática

En cada humedal estudiado se midió la profundidad de los cuadrantes con la ayuda de un mensajero. Con esta información, así como las profundidades obtenidas en campo y el hábito de crecimiento de cada especie, se elaboró un perfil de la estructura vegetal representativa de los 13 ecosistemas estudiados (**Ramos, et al., 2013**).

Resultados

Humedales seleccionados

Se encontró que los municipios de Rionegro, El Carmen de Viboral, La Unión, Marinilla, San Vicente y Guarne presentaban las mayores áreas de humedales. En estos municipios confluyen fuentes hídricas de gran importancia como el río Negro, y las quebradas La Cimarrona, La Mosca, La Pereira, La Marinilla, Santo Domingo y Buey Arma. Los humedales están asociados a las llanuras de inundación y a zonas anegadas que se generan por causa de la morfología meándrica propia de las fuentes hídricas de la región, lo que genera dinámicas hídricas y ecológicas de mucha relevancia en el área de estudio. Estos comportamientos se explican también porque sus llanuras de inundación suelen extraerse materiales de construcción y agregados, lo que después de un tiempo resulta en excavaciones que terminan por convertirse en cuerpos de agua en los cuales se establecen dinámicas hídricas y naturales (**García, et al., 2018**).

Se seleccionaron 13 sitios en los municipios de Guarne, Rionegro, Marinilla, El Carmen de Viboral y La Ceja (**Figura 4**) con características hidrológicas, geomorfológicas, bióticas y sociales específicas que diferencian en cada sitio el paisaje del altiplano con dinámicas ecológicas y ecosistémicas asociadas.

Análisis multitemporal de los humedales seleccionados

Los humedales del altiplano del Oriente antioqueño se han visto fuertemente afectados por diversos tipos de presión antrópica. De los 13 humedales estudiados, en siete se presentaba

afectación por procesos de urbanización y creación de vías, en seis, por agricultura y ganadería y en tres, por contaminación (escombros y basuras) y minería aluvial. En cuanto al origen de los humedales, quizá algunos surgieron en excavaciones mineras y han presentado sucesión natural con el establecimiento de poblaciones de especies nativas de plantas acuáticas como *Bacopa salzmännii* (Benth), *Eleocharis acutangula* (Roxb.) Schult, *Ludwigia peruviana* (L.) Hara, y *Proserpinaca palustris* (L.), entre otras. El análisis permitió detectar cuatro humedales artificiales y nueve que pueden ser naturales; sin embargo, son necesarios otros análisis para establecer con certeza su naturaleza.

En cuanto a los cambios en el área del espejo de agua, en siete de los humedales estudiados esta aumentó y en seis disminuyó (**Tabla 1, Figura 1S**, <https://www.raccefn.co/index.php/raccefn/article/view/1060/2763>). Estos cambios pueden deberse a los pulsos de inundación y, en algunos casos, a modificaciones antrópicas, como es el caso del humedal El Llanito (HLL), en el cual no existía un espejo de agua entre los años 2000 y 2006, pero en el 2010 se evidencia la remoción de la cobertura vegetal herbácea para la construcción de una urbanización. Se aprecian, asimismo, prácticas de minería aluvial en la zona, donde las excavaciones realizadas fueron abandonadas y con el tiempo se llenaron de agua gracias a los ciclos hidrológicos de los afluentes aledaños. En la **figura 5** se evidencian las modificaciones antrópicas más relevantes en ocho de los 13 humedales estudiados.

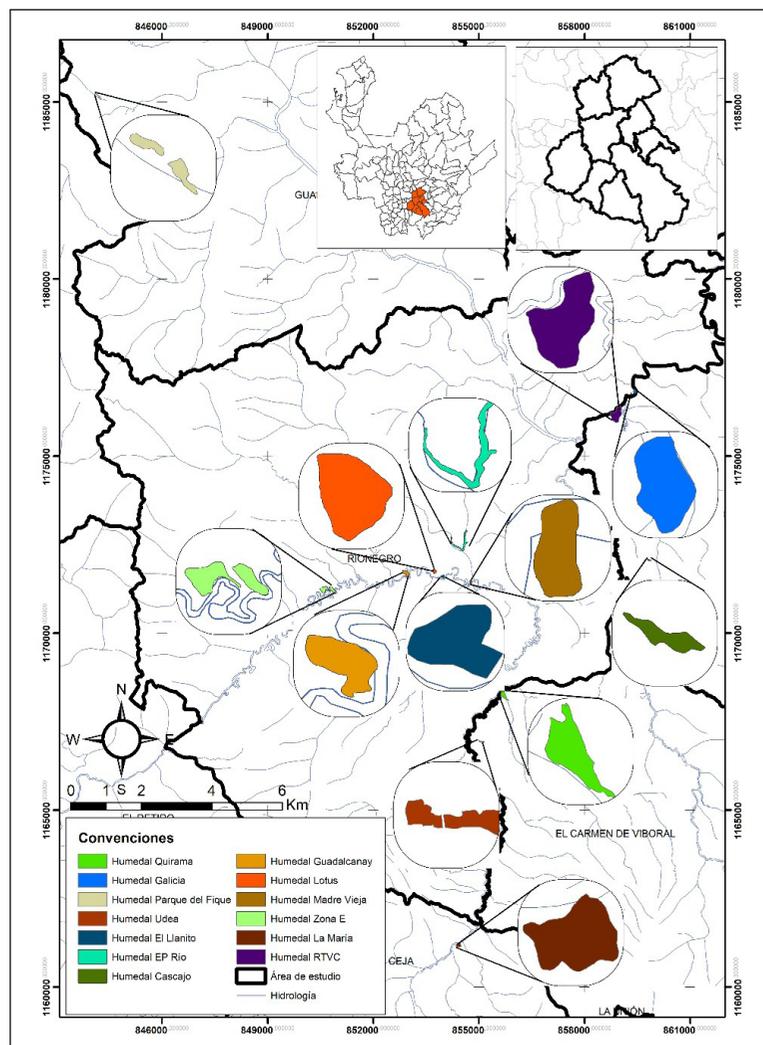


Figura 4. Humedales seleccionados en el área de estudio

Tabla 1. Cambios en el área del espejo de agua. Las casillas marcadas con * indican que no se pudo apreciar el área del espejo de agua por nubosidad en la imagen. Cada humedal se identifica con un código: humedal Lotus (HL), humedal Madre Vieja (H MV), humedal Guadalcanaí (HG), humedal EP Río (HEPR), humedal El Llanito (HLL), humedal Zona E (HZE), humedal La María (HM), humedal Quirama (HQ), humedal RTVC (HRTVC), humedal Parque del Fique (HPF), humedal Universidad de Antioquia (HUDA) y humedal Galicia (HG).

Área del espejo de agua en hectáreas (HA)					
Humedal	2002	2006	2013	2016	2018
Lotus (HL)	0,60	0,59	0,61	0,71	0,97
Madre Vieja (H MV)	1,49	1,56	1,84	1,84	1,91
Guadalcanaí (HG)	0,45	0,50	0,99	2,00	1,83
EP RÍO (HEPR)	3,15	3,53	3,30	3,57	2,84
El Llanito (HLL)	0	0	1,16	0,32	0,42
Zona E (HZE)	2,79	2,80	2,45	2,50	2,51
La María (HM)	1,00	1,00	0,98	1,00	0,94
Quirama (HQ)	1,97	1,89	1,90	1,90	1,89
Rtvc (HRTVC)	2,49	1,85	3,16	*	2,79
Parque Del Fique (Hpf)	*	0,61	0,49	0,56	*
U De A (Huda)	0,12	0,14	0,16	0,15	0,20
Galicia (Hg)	0,15	0,27	0,14	0,25	0,24
Cascajo (HC)	0,48	0,44	0,57	0,61	0,80

Composición florística

La vegetación acuática y palustre registrada en los humedales estudiados estaba conformada por 27 familias, 39 géneros y 81 especies. Las familias con mayor representación fueron: Poaceae (22 especies), Cyperaceae (20), Onagraceae (4), Juncaceae (4) y Polygonaceae (3) (**Figura 6**). Los géneros con mayor cantidad de especies fueron *Eleocharis* (9), *Cyperus* (5), *Juncus* (4), *Ludwigia* (4) y *Polygonum* (3). Gran parte de las especies registradas han sido reportadas en diferentes zonas de vida y están mayormente relacionadas con ecosistemas acuáticos o palustres. De las especies a las que pertenecen los 62 especímenes identificados hasta ese nivel, 41 son nativas, 11 son de amplia distribución, cinco son naturalizadas, cuatro introducidas y una cultivada (**Idárraga-Piedrahita, et al., 2011**). Las especies más representativas de estos ecosistemas se presentan en la **Figura 2S**, <https://www.raccefyfyn.co/index.php/raccefyfyn/article/view/1060/2764>.

Análisis de diversidad

En promedio, la riqueza de los sitios estudiados fue de 11 especies por sitio, con seis en los de menor riqueza y 18 en los de mayor cantidad de especies. El índice de diversidad de Shannon varió entre 1,58 y 2,42, con un promedio de 1,97. El índice de dominancia de Simpson varió entre 0,699 y 0,881, con un promedio de 0,818 (**Tabla 1S**, <https://www.raccefyfyn.co/index.php/raccefyfyn/article/view/1060/2766>). Las especies que más aportaron a la dominancia fueron *Nymphaea elegans* (L.), *Hydrocotyle umbellata* (L.), *Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verd., *Utricularia gibba* (L.) y *Polygonum punctatum* (Elliott) Small. En cuanto al análisis de diversidad beta, según el estimador Jaccard, la mayor similitud se presentó entre los humedales Galicia y La María, y los valores más bajos de similitud se registraron en el humedal Quirama y en RTVC (**Figura 3S**, <https://www.raccefyfyn.co/index.php/raccefyfyn/article/view/1060/2765>, **Tabla 2S**, <https://www.raccefyfyn.co/index.php/raccefyfyn/article/view/1060/2767>).

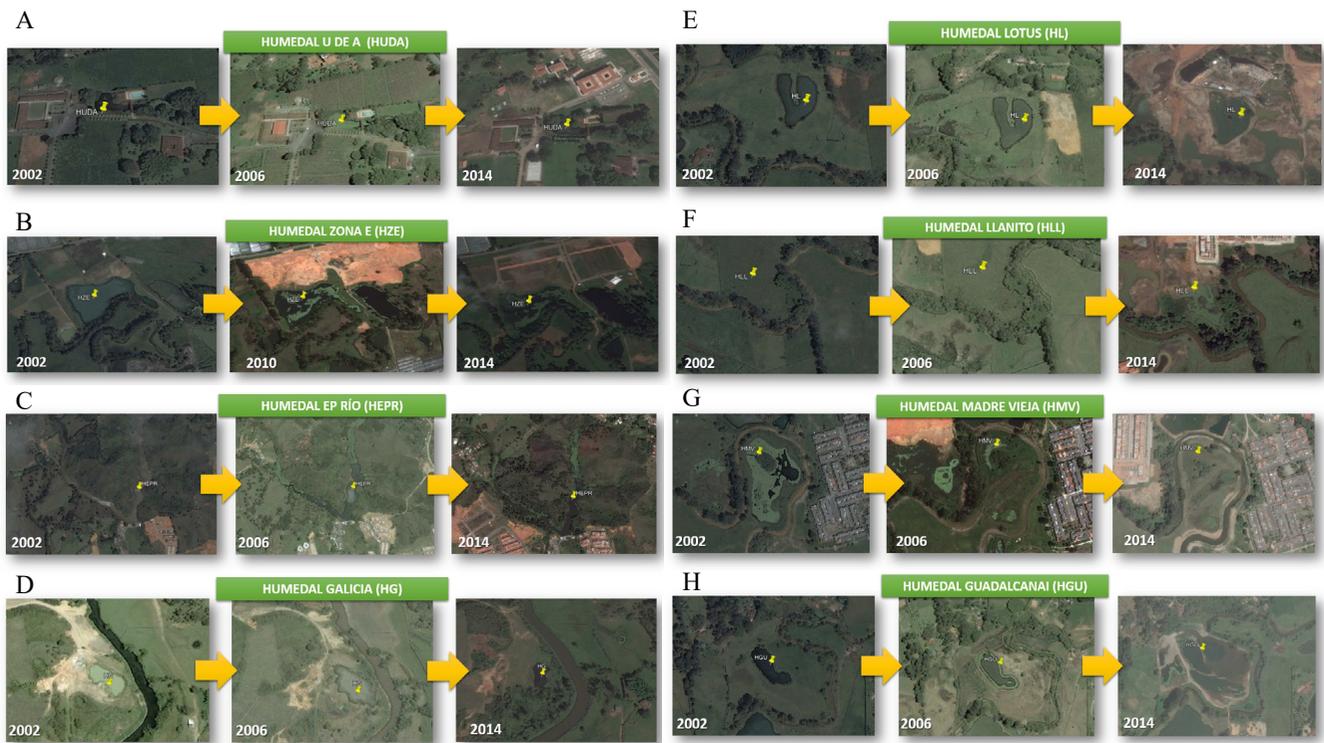


Figura 5. Afectaciones antrópicas en ocho humedales de los 13 estudiados. **5 A.** Humedal Universidad de Antioquia (HUDA). Agricultura en los años 2002 y 2006, luego inicia la construcción de los bloques de la Universidad de Antioquia, sede Carmen de Viboral. **5 B.** Humedal Zona E. Prácticas agrícolas en el 2002; en el 2010 se hace una remoción del suelo y en el 2014 se inicia una construcción. **5 C.** Humedal EP Río (HEPR). Construcción de urbanización en el 2014. **5 D.** Humedal Galicia (HG). Remoción de la cobertura vegetal alrededor del ecosistema probablemente por procesos de minería. **5 E.** Humedal Lotus (HL). Creación de unidad residencial en el 2014. **5 F.** Humedal El Llanito (HLL). Sin espejo de agua en el 2002; en el 2014, remoción de cobertura vegetal para la creación de un barrio y el espejo de agua como consecuencia de excavaciones. **5 G.** Humedal Madre Vieja (HMV). Construcción de viviendas muy cerca al ecosistema en el 2006; desaparece un humedal cercano por la construcción de un barrio. **5 H.** Humedal Guadalcanai (HGU). Modificaciones en el área del espejo de agua en el 2014 posiblemente por minería

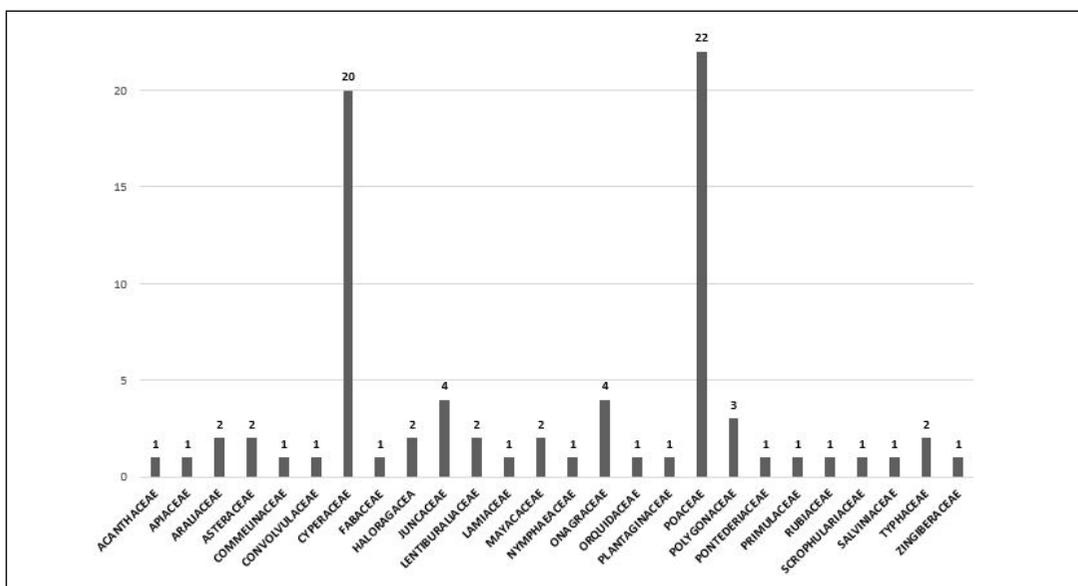


Figura 6. Número de especies por familia en los humedales estudiados

Hábitos de crecimiento

El mayor porcentaje de cobertura lo presentó el hábito emergente (E), seguido del hábito flotante enraizado (FE) y el flotante (F). La representación del hábito de crecimiento sumergido (S) fue casi nula. Las especies más dominantes según el hábito de crecimiento fueron: *H. umbellata*, *P. punctatum* y *Commelina diffusa* (emergente), *N. elegans* y *Bacopa salzmanii* (flotante enraizado), *Eichornia crassipes* y *U. gibba* (flotante), y *Mayaca fluviatilis* (sumergido).

Perfil de vegetación

Se elaboró el perfil de vegetación de los humedales estudiados con el fin de ilustrar las especies más representativas y su distribución en el humedal, resaltando también los diversos hábitos de crecimiento de las especies (**Figura 7**). En todos los ecosistemas se logró apreciar que el espejo de agua estaba dominado por vegetación acuática flotante y emergente y no había especies sumergidas en 11 de los 13 estudiados.

Discusión

Análisis multitemporal

Desde hace ya varios siglos, el recurso hídrico del valle de San Nicolás ha sido la fuente de desarrollo social del altiplano del Oriente antioqueño. Gracias a él se ha dispuesto de una gran cantidad de recursos económicos enfocados en servicios de abastecimiento hídrico, pesca, minería de oro, extracción de materiales para construcción y sistemas de riego (**Quijano, 2016**), lo que ha resultado en la transformación de los humedales de la región desde la época de la colonia. En el análisis multitemporal se evidenció un crecimiento urbanístico importante alrededor de estos ecosistemas estratégicos, específicamente a partir del desarrollo vial de la autopista Medellín-Bogotá, la construcción del Aeropuerto Internacional José María Córdoba y de los embalses de La Fe y Guatapé.

En algunos municipios del Oriente antioqueño, más específicamente en el municipio de Rionegro, es obvia la transición de lo rural a lo urbano. Frente a esta transformación del uso del suelo, sobre todo entre el 2006 y el 2014, los humedales han estado sujetos al efecto del cambio de la producción agrícola por el establecimiento de zonas urbanas, en su mayoría muy cerca del río, sin que haya importado el riesgo que esto conlleva.

Otro proceso evidente en los cambios a través del tiempo de estos ecosistemas es la minería de aluvión. Aunque poco se ha documentado en el valle de San Nicolás (**Hermelín, 1992**), hay grupos empresariales dedicados a la explotación de materiales de construcción,

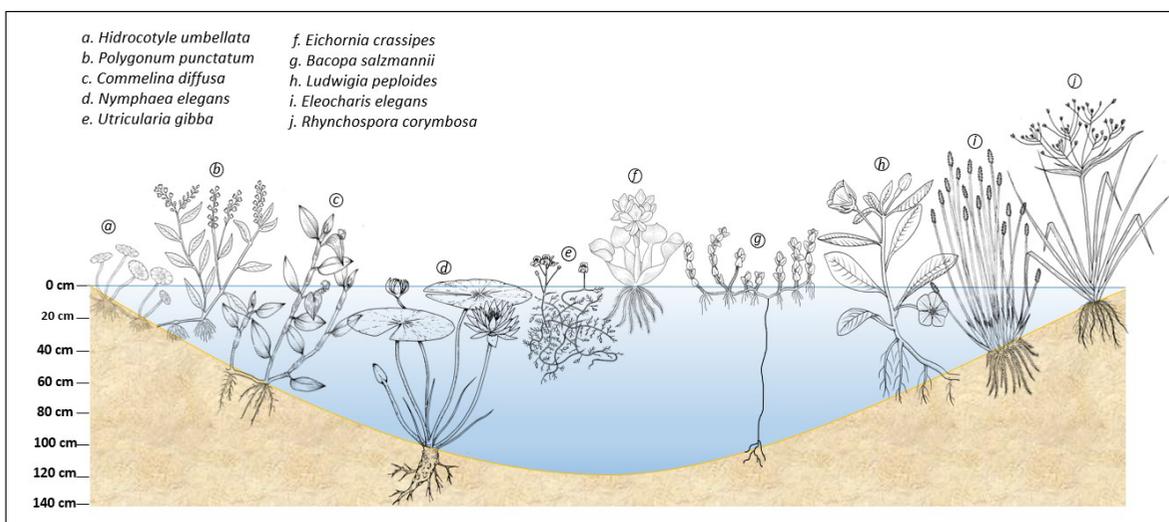


Figura 7. Perfil de vegetación de los humedales del altiplano del Oriente antioqueño

caolín y arcilla, que ha producido daños ambientales en las aguas y los suelos. En el presente estudio, especialmente en el periodo del 2002 al 2006, se observó este proceso a lo largo del río Negro y la quebrada La Marinilla. La demanda de materiales de construcción en este periodo fue en aumento y alcanzó su máxima producción en el 2007, con más de 17 millones de toneladas producidas para la región (**Posada & Franco-Sepúlveda, 2012**). El abandono de algunas de estas excavaciones ha generado humedales artificiales; específicamente en el área de estudio los humedales Galicia, Llanito y Guadalcanai se crearon o fueron modificados por esta actividad. En ellos, después de un abandono prolongado, se presenta una importante diversidad biológica de organismos ampliamente utilizados en la delimitación y caracterización de humedales.

También en la ciudad todavía son comunes los potreros con ganado bovino y equino. Algunos propietarios de estos animales utilizan las rondas de los humedales para que beban agua y se alimenten buscando mayor beneficio y disminución de costos. El problema radica en que la vegetación litoral del humedal puede verse muy afectado por el pastoreo de los animales y por sus excretas, lo que atrae moscas y malos olores. Esto podría explicar el incremento en los valores de coliformes totales y *Escherichia coli* según el análisis de **García, et al.**, en el 2018, sin dejar de lado también los tubos de vertimientos que se observaron en algunos humedales.

Por último, se observó el depósito de escombros y la contaminación por residuos sólidos en algunos de los humedales, principalmente los que se encuentran en la zona urbana del municipio de Rionegro. Hay interés en secar estos ecosistemas para convertirlos en zonas urbanas o, simplemente, por el concepto equivocado de que son reservorios de mosquitos y enfermedades.

Composición florística

La riqueza total de especies de vegetación acuática en los humedales estudiados fue muy representativa. Con 81 especies, la riqueza es abundante comparada con la registrada en el estudio de **Posada-García JA y López-Muñoz MT, 2011**, en el cual se reportaron 92 especies, no solo en humedales sino también en ríos y quebradas en el Oriente antioqueño.

En cuanto a la diversidad de especies, en el humedal EP Río se registró la mayor. Este es un embalse que constituye el humedal de mayor tamaño y es dragado constantemente para evitar la colonización excesiva de especies como *N. elegans* y *Salvinia minima*. El humedal Lotus fue el que presentó mayor dominancia de especies; este humedal se caracteriza por poseer pastos introducidos en su composición florística posiblemente desde los potreros que existen en la zona y como respuesta al depósito de escombros y la presión que ejerce la contaminación en el ecosistema que incrementarían la dominancia en ciertas especies. Por último, en el humedal Zona E también se registró una alta dominancia; por su gran tamaño, registró una buena riqueza de especies, pero las perturbaciones causadas por los vertimientos determinan la dominancia de especies invasoras como *E. crassipes* y de especies nativas que dominan el ecosistema como *M. aquaticum* y *Leersia hexandra*.

En general, se evidenció un desequilibrio en los ecosistemas debido a la presencia de especies de hábitos de crecimiento flotante y emergente, cuya naturaleza dominante y plasticidad ecológica las convierten en malezas acuáticas tanto en su medio natural como en hábitats que han sido muy alterados por el ser humano en cuanto a la calidad y la cantidad de agua (**Rial, 2013**), lo que impide el crecimiento de especies de hábito sumergido. La especie *N. elegans*, por ejemplo, se encontró en 12 de los 13 humedales estudiados, lo que demuestra su éxito reproductivo y de colonización, probablemente por el estado eutrófico e hipertrófico de estos sistemas acuáticos. Sin embargo, esta especie es importante porque brinda refugio a peces y anfibios y permite que las aves obtengan alimento de sus hojas y creen sus nidos, lo cual se pudo observar en diversos humedales. La especie *P. punctatum*, planta nativa que ha generado una colonización importante en los humedales del Oriente antioqueño, también fue muy dominante en estos ecosistemas. En Bogotá se la ha considerado como especie potencialmente invasora (**Díaz-Espinoza, et al., 2012**), pues la sedimentación y el exceso de nutrientes producido por la contaminación

favorecen su proliferación en estos ecosistemas (Stevens, *et al.*, 2001). También tiene la capacidad de invadir bosques húmedos perturbados por ser una planta helófito (Wagner, *et al.*, 1999).

La familia Poaceae registró la mayor cantidad de especies, seguida de Cyperaceae, Juncaceae y Onagraceae. Como ya se mencionó, hay gran cantidad de zonas de potreros alrededor de estos ecosistemas y muchas de las coberturas vegetales arbóreas se han perdido, lo que favorece el establecimiento de algunas especies de pastos y ciperáceas. Se hallaron, por ejemplo, algunos pastos utilizados para la ganadería cuyas adaptaciones les permiten soportar zonas anegadas con profundidades importantes. Es el caso de *Cynodon nlemfuensis*, originaria de África central, que fue introducida y naturalizada en Colombia con fines alimenticios para ganado bovino. Por otro lado, las familias Juncaceae y Onagraceae registraron especies nativas en todos los ecosistemas, aunque no se observó una colonización invasora por parte de ellas. Por último, de la familia Lentibulariaceae se registraron las especies *U. gibba*, presente en la mayoría de los humedales estudiados, y *Utricularia pusilla*, las cuales se caracterizan por su hábito flotante libre y sus utrículos especializados para la carnivoría y de cuya ecología poco se sabe.

Hábitos de crecimiento y perfil de vegetación

Las plantas emergentes fueron las más dominantes en los ecosistemas, como se puede apreciar en el perfil. Si bien los humedales pueden presentar dominancia de ciertos hábitos según las estaciones hidrológicas (Rial, 2006), se deduce que la ausencia de especies acuáticas sumergidas se debe a que la luz no llega suficientemente al fondo del humedal debido a los sedimentos presentes en el agua y a las grandes comunidades de plantas acuáticas que han colonizado el ecosistema. Es importante evaluar la zonación y estratificación en los diversos picos del hidropereodo para obtener datos más precisos sobre el comportamiento de las especies y sus hábitos de crecimiento.

Conclusiones

Las metodologías empleadas permitieron evidenciar que el crecimiento poblacional, los procesos de minería aluvial, la ganadería y la expansión de los centros urbanos han sido las principales causas de la reducción y desaparición de los humedales.

En casos particulares, como en los municipios de Rionegro y Marinilla, las zonas de explotación minera abandonadas han generado espacios que favorecieron procesos de sucesión natural, con fauna y flora asociadas cuya diversidad, conservación y servicios ecosistémicos son significativos. Sin embargo, no hay una buena gestión por parte de las autoridades ambientales para su cuidado.

Con base en estos resultados se pueden establecer estrategias tendientes al mejoramiento de la calidad de los humedales del altiplano del Oriente antioqueño, pues se incrementó la colección de referencia de la flora acuática o asociada con fuentes hídricas del sector.

Se espera que con este proyecto se pueda extrapolar la metodología a otras ciudades y municipios como herramienta de conservación y cuidado de la calidad de los humedales.

Información Suplementaria

Figura 1S. Cambios en el área del espejo de agua de cada uno de los humedales estudiados en diferentes años. Ver figura 1S en <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/1060/2763>

Figura 2S. especies de plantas acuáticas más representativas de los humedales del Altiplano del Oriente Antioqueño. Ver figura 2S en <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/1060/2764>

Tabla 1S. Diversidad de Shannon (H'), dominancia de Simpson (D) y riqueza de especies (R) en los trece humedales estudiados. Ver tabla 1S en <https://www.raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/1060/2766>

Figura 3S. Cluster de agrupamiento para la composición de especies Jaccard. Ver figura 3S en <https://www.raccefyfyn.co/index.php/raccefyfyn/article/view/1060/2765>

Tabla 2S. Análisis de similitud según el estimador Jaccard. Ver tabla 2S en <https://www.raccefyfyn.co/index.php/raccefyfyn/article/view/1060/2767>

Agradecimientos

A la Alcaldía de Rionegro y a la Corporación Autónoma Regional de los Ríos Negro y Nare por su apoyo económico; a la Dirección de investigación y desarrollo de la Universidad Católica de Oriente, y a los herbarios HUCO y HUA, en especial a su curador Francisco Javier Roldán, por su ayuda en la identificación taxonómica.

Contribución de los autores

DSS y MAQA participaron activamente en cada una de las fases del proyecto, incluyendo fases de campo, gestión, análisis y discusión de resultados.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Referencias

- Alzate Guarín, F., Gómez, S., Rodríguez, M.** (2008). Especies vegetales del altiplano del oriente antioqueño en peligro de extinción (No. Doc. 22227) CO-BAC, Bogotá.
- Chuvieco, E.** (1990). Fundamentos de teledetección espacial. Madrid: Unigraf. p. 23.
- Alcaldía Municipal de Rionegro.** (2018). Acuerdo 002 (25 de enero de 2018). Por medio del cual se modifican excepcionalmente normas urbanísticas del plan del ordenamiento territorial (POT) del municipio de Rionegro – Antioquia.
- Camelo-Mendoza, L.M., Martínez-Peña, M.L., Ovalle-Serrano, H., Jaimes, V.I.** (2016). Conservación *ex situ* de la vegetación acuática de humedales de la sabana de Bogotá. *Biota Colombiana*. 17 (Suplemento 1 - Humedales): 3-26. Doi: 10.21068/c2016s01a01
- Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare - CORNARE.** (2014). Informe de tasas por utilización del recurso hídrico año 2013. Fecha de consulta: 10 de marzo de 2020. Disponible en: <http://www.cornare.gov.co/tramitesyservicios/instrumentos-economicos/tasas-por-uso>
- Cortés-Duque, J. & Estupiñán-Suárez, L. M.** (Editores). (2016). Las huellas del agua. Propuesta metodológica para identificar y comprender el límite de los humedales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Fondo Adaptación. Bogotá D. C., Colombia. 340 pp.
- Díaz-Espinosa A.M., Díaz-Triana J.E., Vargas, O.** (Editores). (2012). Catálogo de plantas invasoras de los humedales de Bogotá. Grupo de Restauración Ecológica de la Universidad Nacional de Colombia y Secretaría Distrital de Ambiente. Bogotá, D.C., Colombia. 248 p.
- García-Duque, J.J. & Gómez, A., Quijano-Abril, M.** (2018). Análisis espacial como una herramienta para la delimitación de humedales urbanos. En: Quijano Abril, MA, Villabona González, S, García Duque JJ y Gómez Hoyos AC. Los humedales del Altiplano del Oriente Antioqueño y su conceptualización. Rionegro: Fondo Editorial Universidad Católica de Oriente. p. 53-71.
- García-Duque, J.J. & Gómez, A., Quijano-Abril, M.** (2018). Área de estudio y selección de los humedales urbanos del Altiplano del Oriente antioqueño. En: Quijano Abril, MA, Villabona González, S, García Duque JJ y Gómez Hoyos AC. Los humedales del Altiplano del Oriente Antioqueño y su conceptualización. Rionegro: Fondo Editorial Universidad Católica de Oriente. p. 75-94.
- García-Duque, J.J., Benjumea-Hoyos, C., Quijano-Abril, M.** (2018). Caracterización fisico-química y microbiológica de los humedales del Altiplano del Oriente antioqueño. En: Quijano Abril, MA, Villabona González, S, García Duque JJ y Gómez Hoyos AC. Los humedales del Altiplano del Oriente Antioqueño y su conceptualización. Rionegro: Fondo Editorial Universidad Católica de Oriente. p. 97-115.
- González-Builes, N.** (2017). Hacia la gobernanza del agua: Implicaciones de la gestión integral del recurso hídrico en el departamento de Antioquia. Escuela de Ciencia Política. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. p. 120.
- Hammer, Ø., Harper, D. A., Ryan, P. D.** (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia electrónica*. 4 (1): 9.

- Hermelin, M.** (1992). Los suelos del oriente antioqueño un recurso no renovable. *Bull. Inst. fr. études andines*. **21** (1): 25-36.
- Idárraga-Piedrahita, A., Ortiz, R. D. C., Callejas-Posada, R., Merello, M.** (2011). Flora de Antioquia. *Catálogo de las plantas vasculares*. **2**: 9-939.
- Li, J., Lin, Q., Zhang, X., Yan, Y.** (2009). Kinetic parameters and mechanisms of the batch bio-sorption of Cr (VI) and Cr (III) onto *Leersia hexandra* Swartz biomass. *Journal of Colloid and Interface Science*. **333** (1): 71-77.
- Otto M., Scherer D., Richters J.** 2011. Hydrology differentiation and spatial distribution of high altitude wetlands in a semi-arid Andean region derived from satellite data. *Hydrology and Earth System Sciences*. **15**: 1713-1727.
- Ozesmi S. L. & Bauer M. E.** 2002. Satellite remote sensing of wetlands. *Wetland Ecology and Management*. **10** (5): 381-402.
- Panyakhan, S., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P., Soonthornsarathoon, V., Suchart. U.** (2006). Toxicity and Accumulation of Cadmium and Zinc in *Hydrocotyle umbellata*. *Science Asia*. **32**: 323-328.
- Posada, J. A. & López, M. T.** (2011). Plantas acuáticas del altiplano del oriente antioqueño, Colombia. Rionegro: Universidad Católica de Oriente. p. 121.
- Posada, V.V. & Franco-Sepúlveda, G.** (2012). Extracción de recursos minerales en el oriente antioqueño: sostenibilidad y repercusión en el medio ambiente. *Boletín de Ciencias de la Tierra*. **31**: 97-106.
- Quijano-Abril, M.A.** (2016). Flora del Oriente antioqueño. Biodiversidad, ecología y estrategias de conservación. Colección Jorge Álvarez Lleras No. 32. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Fondo Editorial Universidad Católica de Oriente, Grupo Argos, Bogotá, D.C. 267 p.
- Quijano Abril, M. Alberto.** (2018). (Editor). Los humedales del Altiplano del Oriente antioqueño y su conceptualización. Mario Alberto Quijano Abril, Silvia Lucía Villabona González, Juan José García Duque y Andrés Camilo Gómez Hoyos, editores académicos. Rionegro: Fondo Editorial Universidad Católica de Oriente. p. 211.
- Ramos., M., C., Cárdenas-Avella, N. M., Herrera Martínez, Y.** (2013). Caracterización de la comunidad de macrófitas acuáticas en lagunas del Páramo de La Rusia (Boyacá-Colombia). *Ciencia en desarrollo*. **4** (2): 73-82.
- Rial, A.** (2006). Variabilidad espacio-temporal de las comunidades de plantas acuáticas en un humedal de los Llanos de Venezuela. *Revista de Biología Tropical*. **54** (2): 403-413.
- Rial, A.** (2009). Plantas acuáticas de los llanos inundables del Orinoco Venezuela. Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Caracas, p. 392.
- Rial, A.** (2013). Plantas acuáticas: aspectos sobre su distribución geográfica, condición de maleza y usos. *Biota Colombiana*. **14** (2): 78-90.
- Rial, A.** (2014). Plantas acuáticas: utilidad para la identificación y definición de límites en humedales de la Orinoquia. Pp. 63-94. En: Lasso, C. A., A. Rial, G. Colonnello, A. Machado-Allison y F. Trujillo (Editores). XI. Humedales de la Orinoquia (Colombia- Venezuela). Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C., Colombia.
- Rial, A.** (2014). Diversity, bioforms and abundance of aquatic plants in a wetland of the Orinoco floodplains, Venezuela. *Biota colombiana*. **15** (1): 1-9.
- Rodríguez, C.H.O.** (2015). Conflictos socio-ambientales en el Oriente antioqueño. *Revista Kavilando*. **7** (1): 15-21.
- Ruiz, V., Savé, R., Herrera, A.** (2013). Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflores Moropotente, Nicaragua, 1993-2011. *Revista Científica de FAREM-Estelí*. **11**: 57-68.
- Schmidt-Mumm, U.** (1998). Vegetación acuática y palustre de la sabana de Bogotá y plano del río Ubaté: ecología y taxonomía de la flora acuática y semiacuática. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. p. 197.
- Sculthorpe, C.D.** (1967). *Biology of aquatic vascular plants*. London. Edward Arnold. 610 p.
- Stevens, W. D., Ulloa U., C., Pool, A., Montiel, O. M.** (Editores). (2001). Flora de Nicaragua. Vol. 85, tomos I, II y III. Missouri Botanical Garden Press. St. Louis, Missouri. p. 943.
- Wagner, W. L., Herbst, D. R., Sohmer, S. H.** (1999). *Manual of the flowering plants of Hawaii*. Revised edition. Bernice P. Bishop Museum special publication. University of Hawaii Press/ Bishop Museum Press, Honolulu. 1942 p.
- Zapata D., Barrera M., Gómez R., L. Naranjo.** (Editores). (2017). Plan de crecimiento verde y desarrollo compatible con el clima en el oriente antioqueño. Alianza Clima y Desarrollo, Corporación Autónoma Regional de las cuencas de los ríos Negro y Nare, Fundación Natura, WWF. 176 pp. Cali, Colombia.