

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

**Evaluación de las condiciones bióticas y abióticas
sobre la variación espacial y temporal de las náyades
de *Miathyria marcella* (Odonata: Libellulidae) en
ciénagas del departamento del Atlántico**

María Inés Moreno Pallares

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias, Departamento de Biología
Bogotá, Colombia
2023

**Evaluación de las condiciones bióticas y abióticas
sobre la variación espacial y temporal de las náyades
de *Miathyria marcella* (Odonata: Libellulidae) en
ciénagas del departamento del Atlántico**

María Inés Moreno Pallares

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Doctor en Ciencias-Biología

Directora:

Ph.D., María Argenis Bonilla Gómez

Asesor:

Profesor, Gabriel Hernando Guillot Monroy

Línea de Investigación:

Ecología

Grupo de Investigación:

Biología de Organismos Tropicales - BIOTUN

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias, Departamento de Biología

Bogotá, Colombia

2023

A mis padres con todo mi amor por ser las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y creer en mí, a ustedes por siempre mi agradecimiento.

Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.

María Inés Moreno Pallares
Fecha 24/11/2022

Agradecimientos

Expreso mis sinceros agradecimientos a todos aquellos que contribuyeron en la elaboración y desarrollo de la investigación.

A mi directora María Argenis Bonilla por permitirme desarrollar la investigación, sus enseñanzas, tiempo y compañía en este proceso; por el apoyo incondicional y motivación para seguir adelante.

A Gabriel Guillot Monroy por asesorar el diseño y elaboración del trabajo de investigación, por el acompañamiento y guía en todo el desarrollo de la investigación.

A la Universidad Nacional por su apoyo académico e institucional, al laboratorio de Ecología y de Biología Vegetal.

Gabriel Antonio Pinilla, Rodulfo Ospina Torres, Jhon Donato por sus orientaciones y motivaciones a seguir esforzándome y continuar el aprendizaje en la ecología de odonatos.

Luis Carlos Gutiérrez Moreno (†), mi maestro y amigo por sus aportes y sugerencias en la investigación. Por facilitar la gestión ante el grupo Biodiversidad del Caribe Colombiano para el préstamo de los equipos de medición de las variables fisicoquímicas.

Ana Carolina Torregroza Espinosa, muchas gracias por los aportes, enseñanzas, tiempo y acompañamiento en la escritura de los artículos científicos.

A mis auxiliares de campo Máximo (ciénaga Luruaco), Jairo, Pochocho (Tocagua), Ever (Totumo), Darío (Mallorquín), Fernando (Palmar) y El flaco Morales (Sabanagrande), que me acompañaron y se entrenaron en la colecta de muestras de macroinvertebrados.

A la Corporación Regional Autónoma del Atlántico -CRA- por la vinculación en diferentes investigaciones en las ciénagas del departamento del Atlántico.

Adriana Tinoco por ser mi compañera en los muestreos de macrófitas acuáticas y ayudarme en la identificación de las muestras, Argelina Blanco por el apoyo y motivación para seguir adelante.

Resumen

Evaluación de las condiciones bióticas y abióticas sobre la variación espacial y temporal de las náyades de *Miathyria marcella* (Odonata: Libellulidae) en ciénagas del departamento del Atlántico

El objetivo general de este estudio fue evaluar las variables físico-químicas y la composición de macroinvertebrados como determinantes en la variación espacial y temporal de las larvas de *M. marcella* en seis ciénagas del departamento del Atlántico. Se utilizaron técnicas estandarizadas de toma de muestras de macroinvertebrados y variables físico-químicas en 29 puntos de muestreo. Se colectó un total de 2586 individuos de larvas de *M. marcella*; la abundancia fue mayor en los humedales con influencia del río Magdalena; les siguieron los humedales con influencia de escorrentía estacional y finalmente fue menor en los humedales con influencia del mar Caribe. Al comparar la abundancia de larvas de *M. marcella* se observaron variaciones similares durante los meses muestreados, con excepción del humedal Mallorquín; sin embargo, al contrastar los puntos muestreados, se encontraron diferencias significativas en los humedales Larga-Luisa y Luruaco. Se colectaron en total de 12925 individuos de macroinvertebrados; los órdenes más abundantes fueron Neotaenioglossa (26%), Odonata (15%) Calanoida (10%) y Diptera (8%). Las variables físico-químicas determinadas *in situ* fueron CE, OD, pH, NH₄, alcalinidad, transparencia y temperatura; la media de temperatura y pH oscilaron en rangos estrechos en los humedales, mientras que las concentraciones de amonio y conductividad variaron en un rango amplio. El análisis de componentes principales indicó que la abundancia de *M. marcella* está relacionada con la variable alcalinidad. Se encontró alta correlación positiva entre *M. marcella* con los órdenes Odonata ($R^2 = 0,84$, $p\text{-value} \leq 0,05$), Coleoptera ($R^2 = 0,52$, $p\text{-value} \leq 0,05$), Basommatophora ($R^2 = 0,60$, $p\text{-value} \leq 0,05$) y Hemiptera ($R^2 = 0,50$, $p\text{-value} \leq 0,05$). En conclusión, los resultados sugieren que la distribución de la abundancia *M. marcella* responde al tipo de influencia hídrica del humedal, a los macroinvertebrados acompañantes y principalmente a la conductividad, alcalinidad y transparencia de las ciénagas.

Palabras clave: humedales tropicales, insectos acuáticos, limnología, macroinvertebrados, macrófitas.

Abstract

Evaluation of the biotic and abiotic variables on the spatial and temporal variation of *Miathyria marcella* larvae (Odonata: Libellulidae) in wetlands in the Atlántico department

Physicochemical variables and the composition of macroinvertebrates were evaluated as determinants in the spatial and temporal variation of *M. marcella* larvae in six wetlands in the department of Atlántico. Monthly measurements were made at 29 sampling points during a year. Standardized techniques for collecting data on water physicochemical variables and macroinvertebrates were used. A total of 2586 individual *M. marcella* larvae were collected; abundance was greater in wetlands influenced by the Magdalena River, followed by wetlands influenced by local runoff, and lowest in wetlands with the influence of the Caribbean Sea. Abundances of *M. marcella* larvae exhibited similar variations at different months during the sampling period in all wetlands excepting Mallorquin. Among sampling points, significant differences were found between Larga-Luisa and Luruaco. A total of 12925 individual aquatic macroinvertebrates was found; the most abundant orders were Neotaenioglossa (26%), Odonata (15%), Calanoida (10%), and Diptera (8%). In situ physicochemical proxies of water quality were EC, DO, pH, NH₄, alkalinity, transparency, and temperature. Mean pH and temperature oscillated in narrow ranges within wetlands, whereas ammonium concentrations and conductivity exhibited a wide variation. A Principal Component Analysis indicated that the abundance of *M. marcella* is related to alkalinity. A high positive correlation was found between *M. marcella* and the orders Odonata ($R^2 = 0.84$, $p\text{-value} \leq 0.05$), Coleoptera ($R^2 = 0.52$, $p\text{-value} \leq 0.05$), Basommatophora ($R^2 = 0.60$, $p\text{-value} \leq 0.05$) and Hemiptera ($R^2 = 0.50$, $p\text{-value} \leq 0.05$). In conclusion, the results suggest that the distribution of *M. marcella* abundance responds to the wetland hydric influence types, macroinvertebrates, and mainly to the conductivity, alkalinity, and transparency.

Keywords: tropical wetlands, aquatic insects, limnology, macroinvertebrates, macrophytes.

Contenido

	Pág.
Resumen.....	IX
Lista de figuras	XIII
Lista de tablas	XVI
Lista de símbolos y abreviaturas	XVII
Introducción	1
1. Generalidades de las ciénagas estudiadas en el departamento del Atlántico....	5
1.1 Introducción	5
1.2 Área de estudio	6
1.3 <i>Descripción de las ciénagas estudiadas</i>	8
1.3.1 <i>Ciénagas influenciadas por el río Magdalena</i>	8
1.3.2 <i>Ciénagas influenciadas por el mar Caribe</i>	10
1.3.3 <i>Ciénagas influenciada por escorrentía estacional</i>	12
2. Distribución de larvas de <i>M. marcella</i> (Odonata: Libellulidae) y su relación con las variables fisicoquímicas en ciénagas del departamento del Atlántico.	15
2.1 Introducción	16
2.2 Métodos.....	18
2.3 Resultados.....	20
2.4 Discusión	28
2.5 Conclusión.....	31
3. Composición de macroinvertebrados como determinantes en la abundancia de larvas de <i>M. marcella</i> (Odonata: Libellulidae).....	33
3.1 Introducción	34
3.2 Métodos.....	35
3.3 Resultados.....	37
3.4 Discusión	41
3.5 Conclusión.....	42
4. Composición y estructura de macroinvertebrados y su relación con la diversidad de macrófitas en humedales al Norte de Colombia.....	45
4.1 Introducción	46
4.2 Métodos.....	48
4.3 Resultados.....	50
4.4 Discusión	57

4.5	Conclusión.....	60
5.	Conclusiones y recomendaciones	61
5.1	Conclusiones.....	61
5.2	Recomendaciones.....	62
Anexos	63
Bibliografía	97

Lista de figuras

	Pág.
Figura 0.1. A. Distribución de <i>Miathyria</i> (Garrison et al., 2006).; B. Adulto de <i>M. marcella</i> .; C. Setas palpales de larvas de <i>Miathyria</i> (Neiss et al., 2018).; D. Estructura abdominales de la larva de <i>Miathyria</i> (Neiss et al., 2018).; E. Vista general de la larva de <i>Miathyria</i> (Neiss et al., 2018).	2
Figura 1.1. Ubicación geográfica de las humedales y puntos muestreados en el departamento del Atlántico. A. Mallorcaín (MQ); B. Totumo (TM); C. Tocagua (TG); D. Luruaco (LU); E. Sabanagrande (SG); F. Larga-Luisa (LL).	7
Figura 1.2. Promedio mensual de precipitación (mm), temperatura ambiental (°C) y velocidad del viento ($m s^{-1}$) para el período 2013-2014.	8
Figura 1.3. Ciénaga de Sabanagrande en los meses secos. A) febrero, B) marzo, C) abril.	9
Figura 2.1. Precipitación de los meses muestreados, en las estaciones climatológicas más cercanas a los humedales muestreados (Hibacharo, E. Cortissoz y Flores).	21
Figura 2.2. Análisis de componentes principales (ACP) de las variables fisicoquímicas en las seis ciénagas muestreadas. Los puntos indican los meses de muestreo en las ciénagas: TM (●),MQ (●), SG (●), LL (●),TG (●) y LU (●).	22
Figura 2.3. Análisis de componentes principales (ACP) de las variables fisicoquímicas y meses de muestreo en la ciénaga Mallorcaín. I (jul 2013), II (ago-13), III (sep-13), IV (oct-13) V (nov-13), VI (dic-13), VII (ene 2014), VIII (feb-14), IX (mar-14), X (abr-14), XI (may 14), XII (jun 14).	23
Figura 2.4. Análisis de componentes principales (ACP) de las variables fisicoquímicas y las ciénagas Totumo, Tocagua y Luruaco. Los puntos indican los meses de muestreo de las ciénagas TM (●),TG (●) y LU (●).	23
Figura 2.5. Análisis de componentes principales (ACP) de las variables fisicoquímicas y las ciénagas Sabanagrande y Larga-Luisa. Los puntos indican los meses de muestreo de las ciénagas SG (●) y LL (●). I (jul 2013), II (ago-13), III (sep-13), IV (oct-13) V (nov-13), VI (dic-13), VII (ene 2014), VIII (feb-14), IX (mar-14), X (abr-14), XI (may 14), XII (jun 14).	24
Figura 2.6. Abundancia de las larvas de <i>M. marcella</i> en los humedales muestreados. Larga-Luisa (LL), Luruaco (LU), Mallorcaín (MQ), Sabanagrande (SG), Tocagua (TG) y Totumo (TM).	25
Figura 2.7. Variación intra-anual de la abundancia de las larvas de <i>M. marcella</i> en los humedales muestreados.	26

Figura 2.8. Variación espacial de la abundancia de las larvas de <i>M. marcella</i> en los humedales muestreados.	26
Figura 2.9. Análisis de conglomerado según Bray-Curtis de la abundancia de <i>M. marcella</i> en los humedales muestreados.	27
Figura 3.1. Abundancia de las larvas de <i>M. marcella</i> en los humedales muestreados. Totumo (TM), Mallorcaín (MQ), Sabanagrande (SG), Larga-Luisa (LL), Tocagua (TG) y Luruaco (LU).	37
Figura 3.2. Abundancia absoluta de los órdenes de macroinvertebrados. Se excluyeron los órdenes con abundancia menor al 1%. Las barras representan el error estándar. N: Neotaenioglossa (Mollusca: Gastropoda). O: Odonata (Arthropoda: Insecta). D: Diptera (Arthropoda: Insecta). Cl: Calanoida (Arthropoda: Maxillopoda). Dp: Diplostraca (Arthropoda: Branchiopoda). Dc: Decapoda (Arthropoda: Malacostraca). H: Hemiptera (Arthropoda: Insecta). Cp: Coleoptera (Arthropoda: Insecta). B: Basommatophora (Mollusca: Gastropoda). T: Tubificida (Annelida: Clitellata). Ac: Architaenioglossa (Mollusca: Gastropoda). Am: Amphipoda (Arthropoda: Malacostraca). Tb: Trombidiformes (Arthropoda: Euchelicerata). E: Ephemeroptera (Arthropoda: Insecta). V: Veneroida (Mollusca: Bivalvia). Hi: Hirudinida (Annelida: Clitellata).	38
Figura 3.3. Escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) basado en la distancia Bray-Curtis. La figura indica las diferencias de abundancias de los órdenes de macroinvertebrados y la composición taxonómica de cada muestra. Cada punto corresponde a un muestreo en un sitio específico de cada ciénaga.	38
Figura 3.4. Análisis de conglomerado según el análisis de coeficiente Bray-Curtis. El agrupamiento se basa en la abundancia total de macroinvertebrados en los humedales muestreados.	39
Figura 3.5. Matrix de correlación de Spearman entre la abundancia de los órdenes de macroinvertebrados y la abundancia de <i>M. marcella</i> (X: $p\text{-value} \geq 0,05$). Estas correlaciones se basan en el conjunto de datos de todos los muestreos en todas las ciénagas. Neo: Neotaenioglossa. Odo: Odonata. Dipt: Diptera. Cal: Calanoida. Dipl: Diplostraca. Dec: Decapoda. Hem: Hemiptera. Col: Coleoptera. Bas: Basommatophora. Tub: Tubificida. Arc: Architaenioglossa. Amp: Amphipoda, Tro: Trombidiformes. Eph: Ephemeroptera. Ven: Veneroida. Hir: Hirudinida. M.marc: <i>M. marcella</i>	40
Figura 4.1. Abundancia de las familias de macroinvertebrados distribuidas según la influencia hidrológica (excluidas familias con porcentajes menor a 1%) A) Mar Caribe, B) Río Magdalena, C) Escorrentía estacional.	51
Figura 4.2. Abundancia, riqueza (S), índice de diversidad (H) y el índice de Pielou (J) de los macroinvertebrados en los humedales muestreados (media \pm error estándar). TM: Humedal Totumo; MQ: Humedal Mallorcaín; SG: Humedal Sabanagrande; LL: Humedal Larga-Luisa; TG: Humedal Tocagua; LU: Humedal Luruaco.	52
Figura 4.3. Cobertura total de las macrófitas acuáticas en los seis humedales muestreados. Se excluyeron las especies con cobertura menor al 2%.	54
Figura 4.4. Análisis de correspondencia canónica (ACC) entre la abundancia de los órdenes de macroinvertebrados (Col: Coleoptera, Dip: Diptera, Hem: Hemiptera, Odo: Odonata, Dec: Decapoda, Bas: Basommatophora, Neo: Neotaenioglossa, Tro: Trombidiformes, Ven: Veneroida), la abundancia de las macrófitas (M.Sub: macrófitas	

sumergidas, M.Flo: macrófitas flotantes, M.Eme: macrófitas emergentes, M.Roo: macrófitas enraizadas) y las principales variables ambientales del área de estudio (Cond: conductividad, Temp: temperatura, DO: oxígeno disuelto, Trans: transparencia, Amm: amonio, Alk: alcalinidad). 56

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1.1. Descripción de las ciénagas estudiadas.	6
Tabla 2.1. Métodos para la determinación de las variables fisicoquímicas de los humedales.	19
Tabla 2.2. Variables fisicoquímicas en humedales con diferente tipo de influencia hídrica.	21
Tabla 2.3. Coeficientes y p-valores del modelo de regresión lineal múltiple.....	28
Tabla 4.1. Macrófitas acuáticas encontradas en los humedales muestreados. Biotopos: sumergida (S), flotante libre (F), Emergente (E), Enraizada (R). “x”: indica presencia de la especie.	53
Tabla 4.2. Matrix de correlación de Spearman entre los órdenes con mayor riqueza y los biotopos de macrófitas en los humedales muestreados.....	55

Lista de símbolos y abreviaturas

Símbolos

Símbolo	Descripción
%	porcentaje
°C	grado centígrado
±	signo más-menos
>	mayor que
≤	menor que o igual a
CaCO ₃	carbonato de calcio
cm	centímetro
km	kilómetro
km ²	kilómetro cuadrado
m	metro
m s ⁻¹	unidad de medida de velocidad del viento
m ²	metro cuadrado
mg L ⁻¹	unidad de medida
mm	milímetro
R ²	R-cuadrado
μm	unidad de longitud de micra
μS cm ⁻¹	unidad de conductividad

Abreviaturas

Abreviatura	Descripción
ACC	análisis de correspondencia canónica
Amp	amphipoda
Arc	architaenioglossa
Bas	basommatophora
Cal	calanoida
CE	conductividad eléctrica
Col	coleoptera
Dec	decapoda
Dipl	diplostraca
Dipt	diptera
Eph	ephemeroptera
H	diversidad de Shannon-Wiener
Hem	hemiptera

<i>Hir</i>	hirudinida
<i>Ind</i>	individuos
<i>J</i>	índice de uniformidad de Pielou
<i>LL</i>	ciénaga Larga-Luisa
<i>LU</i>	ciénaga Luruaco
<i>M. marcella</i>	<i>Miathyria marcella</i>
<i>MQ</i>	ciénaga Mallorquín
<i>msnm</i>	metro sobre nivel del mar
<i>N</i>	latitud norte
<i>Neo</i>	neotaenioglossa
NH_4^+	amonio
<i>NMDS</i>	escala multidimensional no métrica
<i>O</i>	longitude oeste
<i>OD</i>	oxígeno disuelto
<i>Odo</i>	odonata
<i>p-value</i>	significancia estadística
<i>P.M</i>	punto de muestreo
<i>pH</i>	potencial de hidrógeno
<i>S</i>	riqueza
<i>SG</i>	ciénaga Sabanagrande
<i>TG</i>	ciénaga Tocagua
<i>TM</i>	ciénaga Totumo
<i>Tro</i>	trombidiformes
<i>Tub</i>	tubificida
<i>Ven</i>	veneroida

Introducción

Los odonatos, tanto en estado de larva como de adulto, son depredadores secundarios, juegan un papel importante en el control biológico de otros organismos, son depredadores de otros insectos que pueden ser plagas en cultivos o vectores de enfermedades (Corbet, 1999; May, 2019). Además, son importantes en la red trófica de los ecosistemas, debido a que hacen parte de la dieta de otros organismos (Williams y Williams, 2017; Mariani-Ríos et al., 2022).

El orden Odonata se considera un agente útil en el monitoreo ambiental, debido que muchas especies muestran respuestas específicas a alteraciones ambientales (de Oliveira-Junior et al., 2015; Bowles y Kleinsasser, 2022). El ambiente biótico y abiótico influye en la ecología y comportamiento de los individuos del orden Odonata (Corbet, 1999; Hussain y Pandit, 2012). Las variables fisicoquímicas y la composición del sustrato muestran relación con la distribución y abundancia de las larvas a escala espacial y temporal (Alonso-Eguía, 2004); del mismo modo determinan la presencia de una especie en un hábitat (Power et al., 1988; Mariani-Ríos et al., 2022). Adicionalmente, los factores bióticos, como las interacciones depredador-presa y la competencia por los recursos, también pueden dar información sobre la distribución de una especie (Batzer et al., 2000; Hopper, 2001). Sin embargo, el conocimiento sobre la acción precisa de estos factores por separado es difícil y a menudo inapropiado debido a que estos interactúan entre sí y tienen efectos a largo plazo.

La variación temporal de las variables ambientales es un factor que influye en la dinámica de los organismos. En los trópicos, la estacionalidad de la precipitación es un componente temporal bien conocido que da como resultado épocas de lluvias mayores, menores y sequía (Mariani-Ríos et al., 2022). Los macroinvertebrados que habitan en las ciénagas están sujetos a aumentos en la precipitación que resultan en inundaciones o a épocas secas que causan bajo flujo del agua. En consecuencia, algunos grupos tienen un pico de emergencia durante la estación seca, mientras que otros tienen picos durante la época de lluvias (Tumwesigye et al., 2001). En humedales tropicales, la abundancia de algunos grupos de macroinvertebrados acuáticos aumenta durante la estación seca, mientras que disminuye durante la época de lluvia (Flecker y Feifarek, 1994). Las disminuciones en la abundancia podrían atribuirse a la alta mortalidad de los organismos después de las inundaciones (Keke et al., 2017). Por lo tanto, la estacionalidad de los factores ambientales es importante para determinar la abundancia de las especies tropicales.

Al género *Miathyria* pertenecen las especies *Miathyria marcella* (Selys in Sagra, 1857) y *Miathyria simplex* (Rambur, 1842) con distribución entre el sur este de Estados Unidos y el centro de Argentina y Uruguay (Figura 0.1A). Los adultos tienen un tamaño mediano (28-40 mm); parte frontal y vértice café que cambia a rojo o púrpura metálico en machos maduros; tórax marrón rojizo a marrón con una ligera capa púrpura en el mesepisternum en *M. marcella*; abdomen naranja a rojizo con línea negra mediodorsal. Lóbulo posterior del protórax más ancho en la base, su margen posterior doblado caudalmente; alas hialinas con venas mayormente rojas a anaranjadas y con una mancha anal marrón en HW ancho (Figura 0.1B) (Garrison et al., 2006). Las larvas de *M. marcella* se caracterizan por presentar generalmente 6 a 7 setas palpaes (Figura 1C); longitud del epiprocto \geq longitud del paraprocto (Figura 0.1D); el abdomen no es muy extendido en relación con el ancho (Figura 0.1E) (Neiss et al., 2018).

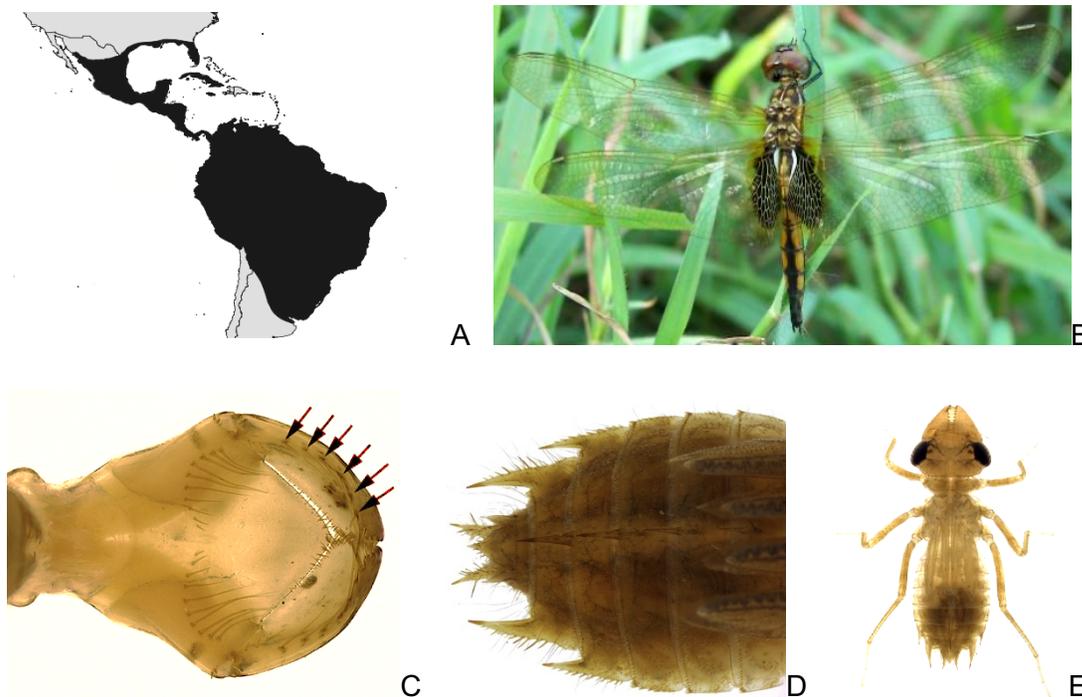


Figura 1.1. A. Distribución de *Miathyria* (Garrison et al., 2006).; B. Adulto de *M. marcella*.; C. Setas palpaes de larvas de *Miathyria* (Neiss et al., 2018).; D. Estructura abdominales de la larva de *Miathyria* (Neiss et al., 2018).; E. Vista general de la larva de *Miathyria* (Neiss et al., 2018).

Miathyria marcella, es una especie ampliamente distribuida en el Caribe colombiano (Pérez et al., 2010), presenta poblaciones adultas que forman enjambres y vuelan sobre campos y caminos; su larva es netamente acuática de ecosistemas lénticos y se ha encontrado en vegetación flotante como la lechuga de agua (*Pistia*) o el jacinto de agua (*Eichhornia*), entre cuyas raíces viven las larvas. Están bien documentada la descripción taxonómica de la larva de *M. marcella* (Costa y Assis, 1992; Neiss et al., 2018), de los imagos (Garrison et al., 2006; Von Ellenrieder y Garrison, 2007; González, 2007) y de algunos aspectos ecológicos como la distribución y el hábitat (Esquivel, 2006; Garrison et al., 2006;

Beckemeyer, 2009; Altamiranda et al., 2010; Amaya y Ledezma, 2010) y el comportamiento de los adultos (Von Ellenrieder y Garrison, 2007). Sin embargo, es necesario explicar las variaciones de las larvas de *M. marcella* en las ciénagas, en la medida que las condiciones del agua presentan características particulares.

En la región Caribe, las investigaciones que han incluido estudios con larvas de odonatos son escasas. Pérez-Gutiérrez (2003), realizó un estudio biotaxonomico en el distrito de Santa Marta y en ríos que descienden de la Sierra Nevada de Santa Marta; Tobías-Loaiza (2016), evaluó la diversidad de odonatos en la parte media del río Gaira; Tobias-Loaiza y Tamaris-Turizo (2019) compilaron la diversidad de odonatos registrados en ocho ríos de la Sierra Nevada de Santa Marta. En el departamento del Atlántico, las investigaciones sobre la ecología del orden Odonata incluyen la composición y preferencia de microhábitat de larvas de Odonata en la Ciénaga San Juan de Tocagua (Altamiranda et al., 2010) y la relación de las de larvas de odonatos con el volumen y talla de las raíces de *Eichhornia crassipes* en la ciénaga La Larga (Moreno y Lobo, 2008; Moreno-Pallares et al., 2022); en dicho estudio *M. marcella* presentó la mayor abundancia con el 83% del total muestreado, razón por la cual se escogió dicha especie para realizar la presente investigación.

Colombia es uno de los países más ricos en aguas continentales a nivel mundial; sin embargo, aún falta mucho por conocer sobre los ecosistemas acuáticos. La limnología en Colombia ha tenido un desarrollo constante en todo el país y el campo de conocimiento en el que más se ha avanzado es el de los macroinvertebrados acuáticos. El conocimiento de las ciénagas es parcial y se requieren muchos más estudios para comprender mejor su comportamiento (Roldán, 2020). Este estudio tiene gran relevancia porque es el primero en integrar la evaluación de variables fisicoquímicas, macroinvertebrados y macrofitas a una escala general de las ciénagas en el departamento del Atlántico; además, se tienen en cuenta los diferentes aportes hídricos hacia las ciénagas que incluyen al río Magdalena, el Mar Caribe y las lluvias estacionales.

Al considerar los elementos mencionados, se formularon los siguientes interrogantes: ¿Cuáles condiciones bióticas y abióticas regulan la variación temporal y espacial de la abundancia de las náyades de *M. marcella*?, ¿Cómo afectan los macroinvertebrados asociados a las macrófitas la distribución y abundancia de náyades de *M. marcella*?. Los estudios que incluyan estimativos de *M. marcella* y los macroinvertebrados acompañantes, contribuirán a la comprensión, uso y manejo de los cuerpos de agua del Caribe Colombiano. Del mismo modo, se contribuye a conocer las condiciones óptimas de las ciénagas en la conservación de la diversidad biológica asociada. La evaluación de la dinámica de las larvas de *M. marcella* tiene como fin proporcionar información de los cambios que experimentan las poblaciones a partir de la oferta alimenticia y las características fisicoquímicas del agua de algunos cuerpos lenticos de la cuenca del Caribe colombiano.

Con base al conocimiento de los sistemas lénticos, en particular las ciénagas, se plantearon las hipótesis (i) Las variables de amonio, oxígeno disuelto y pH en el agua de las ciénagas del departamento del Atlántico son componentes reguladores que se asocian

directamente con la densidad poblacional de larvas de *M. marcella* y restringen su área de distribución y (ii) la abundancia de la fauna de invertebrados asociada a las macrófitas de las ciénagas del departamento del Atlántico que representan oferta alimenticia para *M. marcella*, es un determinante de la distribución y abundancia de las larvas de esta especie.

En la presente investigación se planteó el objetivo general de evaluar los efectos de las condiciones fisicoquímicas y la oferta alimenticia sobre la variación espacial y temporal de las larvas de *M. marcella* en seis ciénagas del departamento del Atlántico. Los objetivos específicos fueron: (i) evaluar las variables fisicoquímicas que regulan la distribución y abundancia de las larvas de *M. marcella* y (ii) evaluar la composición de macroinvertebrados asociados a las macrófitas como determinantes en la distribución y abundancia de larvas de *M. marcella*. Los resultados de los objetivos planteados se encuentran publicados en revistas científicas ([Moreno et al., 2022](#); [Moreno et al., 2023](#)).

El presente documento se divide en cuatro capítulos: 1. Generalidades de las ciénagas estudiadas en el departamento del Atlántico. 2. Distribución de larvas de *M. marcella* (Odonata: Libellulidae) y su relación con las variables fisicoquímicas en ciénagas del departamento del Atlántico. 3. Composición de macroinvertebrados como determinantes en la abundancia de larvas de *M. marcella* (Odonata: Libellulidae). 4. Composición y estructura de macroinvertebrados y su relación con la diversidad de macrófitas en humedales al Norte de Colombia. El capítulo 4 es adicional a los objetivos planteados, incluye en los análisis un menor nivel taxonómico de los macroinvertebrados muestreados y las macrófitas que hicieron parte de la caracterización de las ciénagas.

1. Generalidades de las ciénagas estudiadas en el departamento del Atlántico.

1.1 Introducción

La región Caribe cuenta con una gran riqueza en humedales y contiene el 82% de las ciénagas del país. Las ciénagas son humedales de importancia ambiental por las funciones que cumplen; entre ellas, controlar inundaciones, regular los caudales de los ríos, retener los sedimentos, purificar el agua proveniente de las cuencas y de los asentamientos humanos adyacentes; estos sistemas son el hábitat de una alta biodiversidad de flora y fauna (IDEAM, 2001; Aguilera, 2011).

Las ciénagas son ecosistemas que se encuentran en las zonas inundables de las partes bajas de los ríos conectadas por canales estrechos unidos por un río o caños (Roldán y Ramírez, 2008). Estos ecosistemas se caracterizan por presentar depósitos fluvio lacustres que se componen primordialmente de materiales arcillo-limosos ricos en materia orgánica de consistencia muy plástica (IDEAM, 2001; Vargas, 2012). Estos humedales en Colombia no sobrepasan los 5 m de profundidad; se localizan sobre terrenos de baja altitud (0 a 1000 msnm) por lo que su temperatura es propia de climas cálidos (Ramírez y Viña, 1998). En Colombia las ciénagas se localizan principalmente en las cuencas de los ríos Magdalena, Bajo San Jorge, Bajo Cauca, Atrato y Sinú; son cuerpos de agua cuya extensión varía entre 0,01 y 120 km² (Himat, 1984; Roldán, 2020).

En Colombia se han realizado aproximaciones del estudio de balance hídrico en sistemas cenagosos fluviales y costero, compuestos por uno o más cuerpos de agua interconectados entre sí, e interactuando con el ríos o el mar. Los balances hídricos de las ciénagas permiten identificar las principales direcciones de comunicación entre los distintos cuerpos de agua y la magnitud de los volúmenes de intercambio resultantes (Díaz-Granados et al., 2014). Díaz-Granados et al. (2014), identificaron los elementos que caracterizan a una ciénaga o un conjunto de ciénagas interconectadas entre sí, los cuales incluyen la subcuenca de drenaje directo a través de ríos y caños que llegan a la ciénaga, el conjunto de cuerpos lagunares interconectados, los canales de conexión entre éstos, y los canales de interconexión con el río. En el caso de una ciénaga costera, un elemento adicional está constituido por el mar. Estos elementos están sujetos al clima (lluvia y sequía), escorrentía, evaporación, evo transpiración, el cual indica las entradas y pérdidas en el sistema. Las mediciones morfométricas como el volumen, tiempo de residencia,

profundidad, caudal, altura sobre el nivel del mar, longitud de línea costera y área, entre otras, son también importantes para la evaluación de la hidrobiología (Roldán, 1992).

Dada la importancia de las ciénagas y a los diferentes determinantes ecológicos que se presentan en el departamento del Atlántico, se estudiaron seis ciénagas con diferente aporte hídrico.

1.2 Área de estudio

Este estudio se realizó en el departamento del Atlántico, ubicado al norte de Colombia, específicamente en las ciénagas Totumo (TM), Mallorquín (MQ), Sabanagrande (SG), Larga-Luisa (LL), Tocagua (TG) y Luruaco (LU) (Tabla 1.1). Se escogieron dos ciénagas con influencia hídrica del río Magdalena, dos ciénagas influenciadas por escorrentías estacionales y dos con influencia del mar Caribe (lagunas costeras). En cada humedal se seleccionaron los puntos de muestreo teniendo en cuenta los afluentes, efluentes y distribución de las macrófitas (Figura 1.1, Anexo 1). El tipo de diseño muestral empleado fue probabilístico con selección aleatoria de las muestras en cada punto de muestreo. Se realizaron muestreos mensuales en el período comprendido entre julio de 2013 y junio de 2014.

Tabla 1.1. Descripción de las ciénagas estudiadas.

Ciénagas / Municipio	Influencia hidrológica	Área del espejo de agua (km ²)	Superficie de la ciénaga (km)	Profundidad max/ promedio (cm)	Altura (msnm)
Totumo/ Piojó (Atlántico) y Santa Catalina (Bolívar)	Mar Caribe	24,81	Perímetro: 24,80 Largo max: 6,9 Ancho max: 3,5	210/ 110	2
Mallorquín/ Barranquilla	Mar Caribe	7,24	Perímetro: 15,90 Largo max: 4,0 Ancho max: 3,1	170/ 55	2
Sabanagrande/ Sabanagrande	Río Magdalena	0,52	Perímetro: 3,15 Largo max: 1,12 Ancho max: 0,60	140/ 80	7
Larga-Luisa/ Palmar de Varela	Río Magdalena	0,82	Perímetro: 6,92 Largo max: 2,90 Ancho max: 0,38	110/ 60	7
Tocagua/ Luruaco	Escorrentía estacional	2,06	Perímetro: 6,81 Largo max: 2,63 Ancho max: 1,08	180/ 106	27
Luruaco/ Luruaco	Escorrentía estacional	2,63	Perímetro: 7,10 Largo max: 2,02 Ancho max: 1,70	220/ 84	27

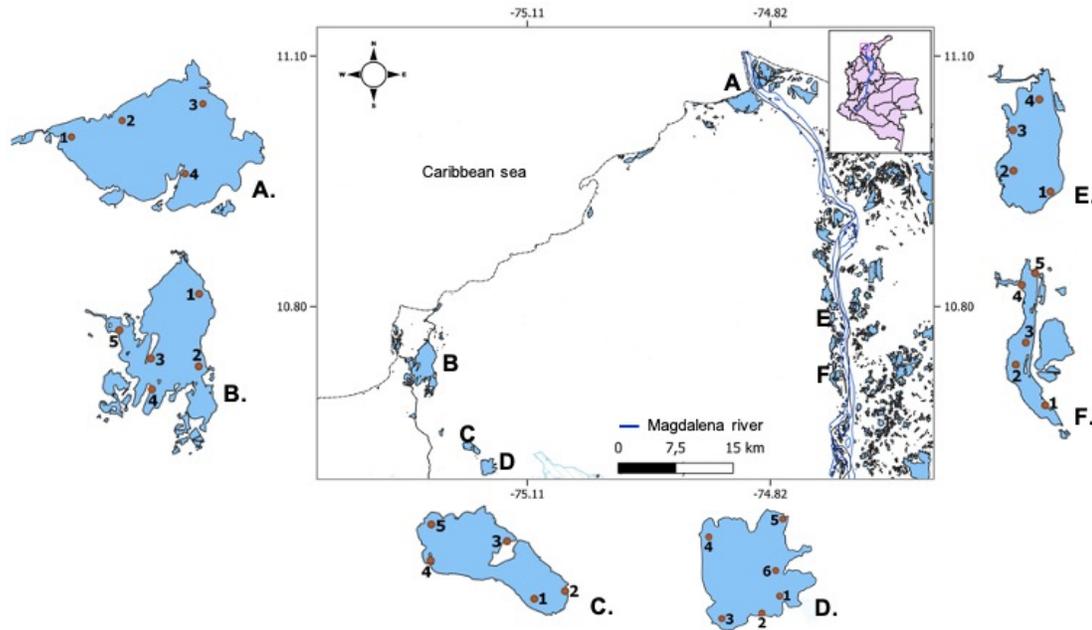


Figura 1.1. Ubicación geográfica de las humedales y puntos muestreados en el departamento del Atlántico. A. Mallorquín (MQ); B. Totumo (TM); C. Tocagua (TG); D. Luruaco (LU); E. Sabanagrande (SG); F. Larga-Luisa (LL).

Según los datos históricos (1980-2020) de las variables meteorológicas reportadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia -IDEAM- en el departamento del Atlántico, la media de precipitación fluctúa entre 0,5 mm a 237 mm; los meses más secos se encuentran entre enero a marzo y las lluvias mayores en mayo y de septiembre a noviembre ([Anexo 2A](#)). La humedad relativa es monomodal, las humedades mínimas se registran en el primer trimestre y luego se presenta un ascenso mínimo hasta alcanzar un máximo en los meses de octubre y noviembre, correspondiente a la segunda temporada de lluvia ([Anexo 2B](#)). Debido a las altas temperaturas, el departamento del Atlántico registra altas evaporaciones en sus temporadas secas. Los mayores valores se registran en los primeros cuatro meses del año y un segundo pico máximo en los meses de julio y agosto ([Anexo 2C](#)). La media de evapotranspiración potencial fluctúa entre 113,6 mm a 176.8 mm, los mayores valores se registraron en la estación E. Cortissoz que es la más cercana al río Magdalena ([Anexo 2D](#)); el método para el cálculo de esta variable, fue la fórmula Penman Monteith ([IDEAM, 2018](#)). El brillo solar es mayor en los meses de sequía y disminuye en los meses de lluvia ([Anexo 2E](#)). La temperatura media oscila entre los 26,6 °C y 29 °C; sin embargo se presentan fluctuaciones espaciales según las estaciones meteorológicas ([Anexo 2F](#)). En el [Anexo 2](#) se indica la ubicación de las estaciones meteorológicas escogidas.

Los valores de temperatura ambiental durante el período muestreado oscilaron entre 26°C y 29°C. Los menores valores se observaron entre los meses de enero a marzo; lo cual se relaciona con los meses de sequía y los vientos alisios ([Figura 1.2](#)). La velocidad del viento fluctuó entre 2,5 a 5 m s⁻¹ ([Figura 1.2](#)).

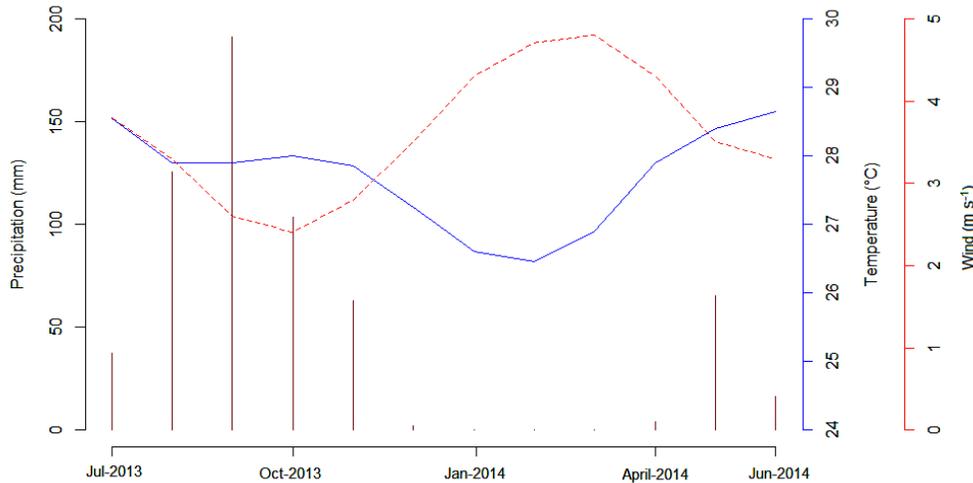


Figura 1.2. Promedio mensual de precipitación (mm), temperatura ambiental (°C) y velocidad del viento (m s⁻¹) para el período 2013-2014.

1.3 Descripción de las ciénagas estudiadas

En el departamento del Atlántico se encuentran cuatro grandes subzonas hidrográficas: mar Caribe, río Magdalena, Canal del Dique y Mallorquín (CRA, 2007; Oyaga, 2013; CRA, 2012a; CRA, 2012b) (Anexo 3, 4, 5, 6).

1.3.1 Ciénagas influenciadas por el río Magdalena

La ciénaga Sabanagrande y Larga-Luisa actúan como zonas de amortiguación cuando el río Magdalena presenta niveles altos de agua y durante los procesos de inundación; se encuentran ubicadas en zonas semisecas con temperaturas entre 24 a 29,8 °C (CRA, 2007) (Anexo 3). Estas ciénagas se ven afectas principalmente por la variación del caudal del río Magdalena que puede estar sujetos a variaciones en el año y a fenómenos climáticos como El Niño y La Niña. Generalmente entre los meses de enero a marzo el valor promedio del caudal desciende y de julio a septiembre se presenta un leve descenso, con un aumento del caudal en los meses de septiembre a noviembre (CRA, 2012b). Ambas ciénagas han sido sometidas a una serie de obras hidráulicas, para evitar inundaciones en la zona; adicionalmente, recientemente se construyó un malecón peatonal cerca a la ciénaga Sabanagrande y un puerto de embarque y desembarque que comunica al municipio de Sabanagrande con el departamento del Magdalena, específicamente el municipio de Sitionuevo.

- Ciénaga Sabanagrande

La ciénaga de Sabanagrande, tiene un origen proveniente de cauces abandonados por el río Magdalena, acompañado por la actividad morfológica de éste. Hace parte de las zonas o valles anchos de los depósitos aluviales del mismo río (CRA, 2007).

El río Magdalena es el mayor aportante de agua a la ciénaga; sin embargo está regulada por una compuerta y un Box Culvert (estructura para conducción de fluidos) para evitar inundaciones en épocas de fuertes lluvias. Esta ciénaga también recibe agua del arroyo Cañafístula y los afluentes del arroyo San Nicolás Fernández (CRA, 2012b). La ciénaga Sabanagrande está conectada con las pequeñas ciénagas o cuerpos de agua menores La Redonda y Guartinaja; en épocas de alto nivel del río Magdalena, la ciénaga empieza el llenado por la ciénaga de la Guartinaja, con la cual están fusionadas por un canal interceptor y en épocas de alto nivel conforman un solo cuerpo de agua. Sin embargo, el taponamiento de los caños en época seca, afecta a la ciénaga por la reducción del espejo de agua y la formación de playones o islas de arena donde emergen pastos, que son aprovechados por los ganaderos para alimentar el ganado en época de verano.

La ciénaga Sabanagrande, durante períodos secos extremos o durante el fenómeno El Niño, muestra un desequilibrio en la hidrodinámica de sus aguas debido a la disminución de volumen del espejo de agua, a causa de los bajos niveles del río Magdalena; adicionalmente, aumentan las concentraciones de nutrientes y disminuye el oxígeno disuelto. La escasa circulación del agua y poca profundidad de la ciénaga, ha llevado a la ciénaga a un estado de eutrofización de las aguas con un aumento de materia orgánica (Mancera, 2018). Durante el período de muestreo, la ciénaga se secó completamente en el mes de abril; mientras que en los meses de febrero, marzo y mayo los puntos S3 y S4 no presentaron agua (Figura 1.2).



Figura 1.3. Ciénaga de Sabanagrande en los meses secos. A) febrero, B) marzo, C) abril.

- Ciénagas Larga-Luisa

Estas ciénagas presentan temperatura ambiental anual de 27,5 °C, se localizan en una zona semi-seca, con valores de precipitaciones anuales entre 600 y 1200 mm, dependiendo las condiciones meteorológicas (CRA, 2016). Es un complejo cenagoso interconectado aguas arriba con la ciénaga del Paraíso y aguas abajo con la ciénaga Santo Tomas. La ciénaga la Larga es un ecosistema secundario que actúa como regulador de la ciénaga la Luisa, separadas por un cordón vegetal; sin embargo en época de lluvia éstas se unen y no se logran diferenciar.

La ciénaga Luisa, se caracteriza por presentar drenajes rápidos, lo cual hace que en época de lluvia se llene rápidamente y de esta manera se contribuye positivamente en el flujo hidrodinámico del complejo cenagoso de Palmar de Valera (CRA, 2007; CRA, 2016). Además en ella drenan arroyos del área urbana, producto de la escorrentía de aguas pluviales. En épocas de sequía se forman playones donde se desarrollan pastos naturales, que son aprovechados por los ganaderos; su principal fuente de agua es el río Magdalena a través de la ciénaga de Manatí (CRA, 2007).

Con respecto a la calidad de sus aguas, esta ciénaga presenta valores de DQO elevados, relacionados con los bajos niveles de oxígeno disuelto por efecto de la descomposición de la materia orgánica procedente de material autóctono y aloctóno (CRA, 2016). Este ecosistema ha presentado intervención antrópica, por el manejo inadecuado de agricultores, ganaderos y pescadores de la región, además de la ubicación de basureros a cielo abierto al norte de la ciénaga. En estas ciénagas la vegetación acuática predominante son las macrófitas flotantes y las coberturas aumentan en las orillas y en los caños de interconexión con los demás cuerpos de agua.

1.3.2 Ciénagas influenciadas por el mar Caribe

Según el Plan de Ordenamiento Territorial del departamento del Atlántico, la ciénaga del Totumo hace parte de la subcuenca hidrográfica relacionada con los arroyos que van hacia el mar Caribe y la ciénaga Mallorquín a la subcuenca con el mismo nombre (CRA, 2012b); todo en su conjunto se denomina la cuenca del mar Caribe (Anexo 4 y 5). Estas ciénagas también son denominadas lagunas costeras, dada la hidrodinámica que ejerce el mar Caribe en sus aguas. El aporte de agua dulce proveniente de arroyos, drenajes naturales y su mezcla con el agua marina, producen en estos ecosistemas características biológicas y ecológicas particulares (CRA, 2007). Sin embargo, son ecosistemas frágiles, debido a que han recibido amenazas y alteración en su morfología, ciclo hidrológico, fauna, flora y calidad del agua.

- Ciénaga del Totumo

La ciénaga del Totumo es un ecosistema costero que recibe fuentes de agua dulce por arroyos proveniente de colinas y cerros adyacentes en época de lluvia. Esta ciénaga presenta compuertas que la comunican con el mar Caribe, pero que interrumpen la

dinámica hídrica porque solo se abren para liberar el exceso de agua pero no cuando el nivel de agua es bajo en la ciénaga. Debido al cierre de las compuertas, se han presentado cambios en la composición de especies de manglar. Además, se ha aumentado la presencia de macrófitas flotantes indicadora de áreas antropizadas o perturbadas (INVEMAR, 2007).

Según los estudios de Gómez et al. (2016), en la ciénaga del Totumo se ha evidenciado la reducción progresiva del espejo de agua a través de imágenes satelitales. La mayoría de los arroyos han sido intervenidos por dueños de fincas para la utilización del recurso en sus predios, lo que ha ocasionado disminución en el volumen del agua. Además, en esta ciénaga persisten problemas de contaminación, utilización ilícitas de las tierras, deforestación, sedimentación y erosión costera (CRA, 2007; INVEMAR, 2007).

La calidad del agua se ve afectada principalmente por ingreso de aguas residuales, reportada en los niveles de coliformes fecales, la disminución de las concentraciones de oxígeno disuelto menores de 5 mg L^{-1} y aumentos en los valores de sólidos suspendidos totales. Estudios anteriores también registran valores mayores de amonio en sus aguas, relacionado con el ingreso de aguas servidas de la actividad agrícola y ganadera en la zona (CRA, 2012b).

- Ciénaga de Mallorquín

Esta ciénaga se considera la segunda laguna costera más importante del Caribe colombiano; fue declarada cuerpo Ramsar del Atlántico y lacustre del Distrito por el POMCA Mallorquín 2006 (CRA et al., 2006). Se ubica en el extremo norte del departamento del Atlántico, a la izquierda del tajamar occidental de Bocas de Ceniza, desembocadura del río Magdalena, por el sureste limita con el barrio Las Flores, por el suroeste con el barrio La Playa y por el noroeste con la barra de arena que la separa del Mar Caribe.

Esta ciénaga según las condiciones climatológicas se caracteriza por pertenecer a una zona cálida semi seca (CSS), caracterizada por la tendencia a pocas precipitaciones y a la aridez (UN y CRA, 2005). Este ecosistema perdió un área de 650 hectáreas, que corresponden a una disminución del 43%, debido principalmente a la construcción de los tajamares de bocas de cenizas, lo cual produjo gran pérdida del espejo de agua, ocasionando retroceso de la línea de costa por aumento de la erosión costera (Benavides, 2019).

La profundidad de la ciénaga de Mallorquín depende de las condiciones climatológicas (lluvia-sequía), así como de la apertura o cierre de la barra construida para controlar la entrada o salida de agua (Mangones-Cervantes y León-Luna, 2014). Esta ciénaga tiene poca profundidad, entre 0,6 a 1,5 m en épocas de descenso de la columna de agua, ocasionada por la alta sedimentación, procedente del Río Magdalena por los tubos de interconexión con la ciénaga (UN y CRA, 2005).

El balance hidrológico en la ciénaga depende principalmente del ingreso de las aguas del mar Caribe, el arroyo León y el río Magdalena; adicionalmente, del flujo de salida se da por procesos de evaporación, evapotranspiración, infiltración y régimen de mareas. Los estudios realizados por la [UN y CRA \(2005\)](#), consideraron que el mayor aporte hídrico a la ciénaga Mallorquín es el mar Caribe, donde los eventos de pleamar son mayores durante el año, mientras que la entrada de agua de los arroyos y del río Magdalena son muy pocas en el año. Además, este ecosistema ha presentado un déficit en el volumen de agua, con pérdida del espejo de agua, como también la hipersalinización en períodos prolongados de sequía ([CRA, 2007](#)).

La hidrodinámica en la ciénaga de Mallorquín se ha relacionado con las actividades humanas, tales como la construcción de tajamares, desviación de los arroyos, contaminación de los cauces de agua dulce, ingreso de aguas servidas, instalación de basureros en sus orillas, deforestación de bosque de manglar, crecimiento de la población urbana en sus orillas, entre otras ([CRA, 2007](#); [INVEMAR, 2007](#); [Benavides, 2019](#)). Todas estas alteraciones en el recurso hídrico han conllevado a categorizar sus aguas como pésimas a inadecuadas, según la implementación de los índices de calidad ([UN y CRA, 2005](#); [INVEMAR, 2007](#); [Benavides, 2019](#); [Torres-Bejarano et al., 2020](#)), por la incidencia principalmente del arroyo León, que arrastra sustancias contaminantes, sólidos suspendidos, nutrientes y material microbiológico que alteran la calidad de sus aguas; dichas concentraciones sobrepasan los límites establecidos por la legislación Colombiana para la preservación de la fauna y flora de ecosistemas acuáticos.

1.3.3 Ciénagas influenciada por escorrentía estacional

Las ciénagas de Luruaco y San Juan de Tocagua se encuentran ubicadas en la cuenca del mar Caribe correspondiente a la Subzona hidrográficas de los arroyos que van hacia al mar Caribe según el POT -Plan de Ordenamiento Territorial del departamento del Atlántico- ([CRA, 2012b](#)) ([Anexo 4](#)). Anteriormente estos ecosistemas se categorizaban en la cuenca del Canal del Dique ([CRA, 2007](#)); esta categorización se debía a que según [Angulo \(1954\)](#), las ciénagas San Juan de Tocagua y Luruaco fueron vestigios de otro brazo del río Magdalena y dichas ciénagas presentan conexión con el embalse del Guájaro, con varios caños de poca profundidad. Estas ciénagas actualmente se encuentran separadas por un ligero levantamiento de las tierras que quedan ubicadas en el occidente de la ciénaga de Luruaco ([Angulo, 1954](#)). Ambas ciénagas presentan temperaturas ambientales entre 21,4 °C y 22,6 °C, con unos períodos de lluvia típica en el departamento del Atlántico.

- Ciénaga de Luruaco

Esta ciénaga es de forma redondeada y su morfometría tiene que ver mucho con los drenajes subparalelos. Su origen se dio en los períodos terciario y cuaternario por antiguas deposiciones marinas ([CRA, 2007](#)). Los suelos de la ciénaga son de tres tipos: de planicie aluvial, lacustre y de colina ([CRA, 2014](#)). El sedimento que predomina es el basalto, el cual contiene sílice y generalmente es rico en hierro y magnesio ([Galvis y Huguett, 2008](#)).

La ciénaga de Luruaco depende principalmente de grandes tributarios como el arroyo Limón y el Arroyo Mateo, como también de otros arroyos menores y drenajes naturales que llevan allí sus aguas por gravedad. Todos estos arroyos son de aguas semipermanentes, sobre todo en épocas de altas precipitaciones. El tipo de drenaje de los arroyos es de tipo subparalelo, lo que indica que la velocidad de discurrimiento es rápida (CRA, 2007). Sus aguas han presentado eutrofización en especial en la zona donde desemboca el arroyo Limón que arrastra una gran carga de nutrientes, procedentes de los residuos sólidos y de aguas residuales del municipio de Luruaco.

- San Juan de Tocagua.

Esta ciénaga presenta un área más pequeña y menos profunda que la ciénaga de Luruaco, ubicada en la jurisdicción del mismo municipio. Sus principales tributarios son los arroyos Guayacán, Iraca y Platillal (CRA, 2016).

Esta ciénaga se caracteriza por depender principalmente del aporte de aguas de las precipitaciones, aunque en ella desembocan varios arroyos y caños; estos en época de sequía disminuyen su caudal hasta secarse y no aportan agua a la ciénaga (CRA, 2012b; CRA, 2016). La Ciénaga de San Juan de Tocagua se caracteriza por presentar inundaciones en las riberas y por el incremento de los sedimentos en las épocas de lluvia (Altamiranda et al., 2010).

Las aguas de este ecosistema se caracterizan por ser duras, con altos contenidos en sales carbonatas y turbias con niveles elevados de materia orgánica. Los valores altos de alcalinidad se deben posiblemente al aporte autóctono y geológico, debido a la influencia de yacimientos de cal y a los subproductos de la actividad agropecuaria (CRA 2012a). Los valores de materia orgánica van de 1,4 a 8,5% del peso total de una muestra de agua, lo cual evidencia gran contenido de biomasa en proceso de descomposición (Altamiranda et al., 2010). Este ecosistema está altamente perturbado debido a la poca profundidad, los altos niveles de turbiedad, la sedimentación, los procesos de eutrofización, la deforestación, los usos del agua para actividades agrícolas, los vertimientos de aguas servidas y la eliminación de desechos sólidos directamente en la ciénaga (CRA, 2007; CRA, 2012b).

2. Distribución de larvas de *M. marcella* (Odonata: Libellulidae) y su relación con las variables fisicoquímicas en ciénagas del departamento del Atlántico.

Resumen

El objetivo de este estudio consistió en evaluar las variables fisicoquímicas que regulan la distribución y abundancia de las larvas de *M. marcella* en seis humedales al norte de Colombia (Totumo, Mallorquín, Sabanagrande, Larga-Luisa, Tocagua y Luruaco), en el departamento del Atlántico. Se utilizaron técnicas estandarizadas de toma de muestras de macroinvertebrados y variables fisicoquímicas en 29 puntos de muestreos en un período intraanual. Los indicadores físico-químicos de la calidad de agua determinados *in situ* fueron CE, OD, pH, NH₄, alcalinidad, transparencia y temperatura. La media de temperatura y pH osciló en rangos estrechos en los humedales (28,1±0,29-32,8±0,17 °C; 7,7±0,09-8,6±0,07, respectivamente), mientras que las concentraciones de amonio y conductividad variaron en un rango amplio (0,2±0,03-2,8±0,54 mg NH₄ L⁻¹; 861±30,7-19254±1706 μS cm⁻¹, respectivamente). Se colectó un total de 2586 individuos de larvas de *M. marcella*. La abundancia fue mayor en los humedales con influencia del río Magdalena 19,4±1,7 individuos y 9,3±1,4 individuos (Larga-Luisa y Sabanagrande, respectivamente); seguido de los humedales con influencia de escorrentía locales 8,1±0,4 individuos y 6,4±0,4 individuos (Tocagua y Luruaco, respectivamente). Finalmente fue menor en los humedales con influencia del mar Caribe 3,9±0,3 individuos y 0,3±0,1 individuos (Totumo y Mallorquín, respectivamente). Al comparar la abundancia de larvas de *M. marcella* se observaron variaciones similares durante los meses muestreados, con excepción del humedal Mallorquín. Sin embargo, al contrastar los puntos muestreados, se encontraron diferencias significativas en los humedales Larga-Luisa y Luruaco ($p \leq 0,05$). Los resultados sugieren que la distribución y abundancia *M. marcella* depende principalmente de la conductividad, alcalinidad y transparencia en los ecosistemas acuáticos evaluados. Por lo tanto, este estudio evidencia que las larvas de odonatos son una herramienta valiosa para evaluar y monitorear los humedales.

Palabras clave: Macroinvertebrados, zonas tropicales, calidad del agua, bioindicadores, limnología.

Abstract

This study aims to assess the physicochemical characteristics regulating the distribution and abundance of *M. marcella* larvae in six wetlands in the northern Colombia. Standardized techniques for collecting invertebrate and physicochemical data were used in 29 sampling points in an intraannual period. Mean pH and temperature oscillated in narrow ranges within wetlands (7.7 ± 0.09 – 8.6 ± 0.07 ; 28.1 ± 0.29 – 32.8 ± 0.17 °C, respectively), whereas ammonium concentrations and conductivity exhibited a wide variation (0.2 ± 0.03 – 2.8 ± 0.54 mg NH₄ L⁻¹; 861 ± 30.7 – 19254 ± 1706 mS μS cm⁻¹, respectively). A total of 2586 individual *M. marcella* larvae were collected. Abundance was greater in wetlands influenced by the Magdalena River, with 19.4 ± 1.7 and 9.3 ± 1.4 individuals (Larga-Luisa and Sabanagrande, respectively); followed by wetlands hydrologically influenced by seasonal runoff, with 8.1 ± 0.4 and 6.4 ± 0.4 individuals (Tocagua and Luruaco, respectively); and lowest in wetlands with influence of the Caribbean Sea, with 3.9 ± 0.3 and 0.3 ± 0.1 individuals (Totumo and Mallorquín, respectively). Abundances of *M. marcella* larvae exhibited similar variations at different months during the sampling period. However, when contrasting the sampled points, significant differences were found in the Larga-Luisa and Luruaco wetlands ($p \leq 0.05$). Abundance and distribution of *M. marcella* larvae in wetlands of northern Colombia is strongly dependent on water conductivity, transparency and alkalinity. This study evidence that Odonata larvae are a valuable tool as bioindicators for wetland assessment and monitoring.

Keywords: macroinvertebrates, tropical zones, water quality, bioindicators, limnology.

2.1 Introducción

A lo largo de la historia, el agua ha sido un elemento fundamental para el sostenimiento de la humanidad no solo por estar presente en diversas funciones biológicas de los seres vivos, sino además por los múltiples beneficios y servicios ecosistémicos que aporta (Miguel et al., 2017). En las regiones tropicales, los cuerpos de agua dulce y las lagunas costeras se encuentran entre los ecosistemas más importantes por la gran variedad de servicios ecosistémicos que brindan (Newton et al., 2018; Campbell, 2020). Dentro de los servicios más relevantes se encuentra el uso para agua de consumo, para fines recreativos, para la extracción de recursos naturales, para la creación de asentamientos, para actividades como ganadería y agricultura, para el desarrollo de infraestructura y para uso doméstico e industrial (Lubanga et al., 2021). Sin embargo, los cuerpos de agua dulce y las lagunas costeras se encuentran entre los ecosistemas más amenazados del mundo (Esteves et al., 2008). Las actividades humanas representan una gran amenaza para la integridad ecológica de los ecosistemas ya que generan impactos y causan pérdidas irreparables de diversidad, contaminación, perturbación de los sustratos, deterioro en la calidad del agua, cambios en los ciclos de nutrientes y en el procesamiento de materia orgánica y la degradación de ecosistemas (García-García et al., 2016; Vanacker et al., 2018; Silva et al., 2021).

Adicionalmente, las especies más afectadas con el aprovechamiento del agua como recurso son las especies ribereñas y la fauna acuática, ya que sufren deterioros en su composición y estructura debido a los cambios fisicoquímicos en la calidad del agua (Vanacker et al., 2018). Por lo anterior, se ha hecho necesario reconocer la importancia de estos ecosistemas y considerar como prioridad el monitoreo de los cuerpos de agua y el uso de múltiples bioindicadores y organismos de diferentes niveles trófico de macroinvertebrados como recurso eficiente que mide la calidad del agua, la perturbación antropogénica y la integridad ecológica de las especies que allí habitan (García-García et al., 2016; Mendes et al., 2017; Adu et al., 2019; López-Díaz et al., 2021). Dentro de estos bioindicadores se encuentran los Odonatos (libélulas y caballitos del diablo), los cuales son un orden de insectos con aproximadamente 6500 especies descritas en todo el mundo (Kohli et al., 2021).

Los Odonatos se consideran un excelente modelo para evaluar la calidad del hábitat ya que diversas investigaciones han demostrado su alta sensibilidad a mínimas perturbaciones en el agua que son expresadas en cualquiera de sus etapas de vida a través de cambios en los rasgos físicos, en la estructura y composición de especies, en la distribución geográfica y en los tipos de presas que consumen (Adu et al., 2019). El uso de este tipo de bioindicadores ha tomado relevancia debido a su accesibilidad para el muestreo, a que responden rápidamente a los cambios ambientales, muestran diversos grados de tolerancia a la contaminación acuática y tienen características propias de cada ecosistema (García-García et al., 2016; Adu et al., 2019). Las investigaciones y aplicaciones de los Odonatos como indicadores de la calidad del agua se han desarrollado en todo el mundo y se han enfocado en el análisis de diferentes cuerpos de agua. Miguel et al. (2017), evaluó los efectos de las perturbaciones antropogénicas en los ecosistemas acuáticos a través del uso de bioindicadores, demostrando que la composición de especies, la diversidad taxonómica y la distribución de las comunidades permiten evaluar la integridad ecológica y las relaciones entre los Odonatos y los impactos ambientales.

Mendes et al. (2017), estudiaron los efectos de la variación ambiental en los ensambles de larvas de libélula (Odonata). Tomaron muestras de larvas de odonato en 12 arroyos en la cuenca del río Suiá-Miçú en Mato Grosso, Brasil, durante tres períodos diferentes del año. La variación en la riqueza, abundancia y composición de las especies Odonata estuvo relacionada con las variables ambientales analizadas, principalmente por las variables de conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y sólidos disueltos totales. Perron y Pick (2020), determinaron los efectos de la calidad del agua sobre las libélulas y los caballitos del diablo (Odonata) en estanques urbanos y estanques naturales en la Región de la Capital Nacional de Canadá; encontraron que los odonatos fueron menos abundantes en los estanques urbanos en comparación con los estanques naturales debido a que las concentraciones de cloruro presentes en la fuente excedieron los límites permisibles para la protección de la vida acuática. Lubanga et al. (2021), estudiaron la Cuenca del río Mara en Kenia para evaluar los cambios en la calidad del agua y los conjuntos de macroinvertebrados a lo largo de un gradiente de perturbación que surge de las actividades humanas rurales en 19 sitios. Este estudio demostró que el cambio de uso de la tierra de la silvicultura a la agricultura

tiene una fuerte influencia en la composición estructural y funcional de los macroinvertebrados en humedales tropicales.

Miathyria marcella es una especie ampliamente distribuida en el Caribe colombiano, de hábitats cenagosos o ambientes lénticos, presenta poblaciones adultas que forman enjambres, su larva es netamente acuática y ocupa variados microhábitats (González, 2007). Está bien documentada la descripción taxonómica de *M. marcella* (Costa y Assis, 1992; Von Ellenrieder y Garrison, 2007; González, 2007); algunos aspectos ecológicos como la distribución y hábitat (Esquivel, 2006; Altamiranda et al., 2010, Amaya y Ledezma, 2010); y el comportamiento de los adultos (Von Ellenrieder y Garrison, 2007). Existen varias referencias sobre la variación poblacional en ambientes lénticos, en las que se han postulados varias hipótesis, relacionadas con las variables fisicoquímicas del agua o el efecto del arrastre por el pulso de inundación (González, 2007). También se encuentran hipótesis sobre un efecto de disminución poblacional por el incremento del caudal (Poi y Bruquetas, 1989). Sin embargo, existe un vacío de conocimiento en cuanto a las variaciones poblacionales en las ciénagas, principalmente porque las condiciones del agua no presentan el mismo comportamiento.

Los humedales lénticos de la cuenca del Caribe colombiano, conocidos como ciénagas, se encuentran afectados por la agricultura, la ganadería extensiva, la sequía, el relleno para la construcción de viviendas y la contaminación. La sedimentación y la construcción interrumpen los flujos naturales y la comunicación entre los humedales (CRA, 2007). Las ciénagas están directamente influenciadas por la dinámica del pulso de inundación natural, que genera disturbios recurrentes (Neiff, 1999). El ambiente físico y biótico influye profundamente en la ecología y comportamiento de los individuos del orden Odonata (Corbet, 1999). Las variables fisicoquímicas muestran relación con la distribución y abundancia de las larvas a escala espacial y temporal (Alonso-Eguía, 2004). Es por ello que el uso los bioindicadores juegan un papel clave para la evaluación de la condición ecológica en cuerpos de agua. Teniendo en cuenta lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar las variables fisicoquímicas que regulan la distribución y abundancia de las larvas de *M. marcella* en ciénagas del departamento del Atlántico. Finalmente, la presente investigación contribuye a la comprensión, uso y manejo de los cuerpos de agua del Caribe Colombiano, y a la generación de conocimiento sobre las condiciones óptimas y los efectos del deterioro de las ciénagas en la conservación de la diversidad biológica asociada.

2.2 Métodos

Revisión de literatura

Según lo definido por Kitchenham (2004), una revisión de la literatura es un "medio para identificar e interpretar la información disponible relevante para una investigación en particular". En el presente capítulo se realizó una descripción de los artículos actuales relacionados con la variación de las comunidades acuáticas, principalmente los odonatos y su interacción con las variables fisicoquímicas en humedales.

Variables fisicoquímicas

Se tomaron registros de variables fisicoquímicas en cada uno de los humedales (Tabla 2.1). Se realizaron mediciones mensuales en los puntos establecidos entre julio de 2013 y junio de 2014. Este estudio se realizó en el departamento del Atlántico, ubicado al norte de Colombia, específicamente en las ciénagas Totumo (TM), Mallorquín (MQ), Sabanagrande (SG), Larga-Luisa (LL), Tocagua (TG) y Luruaco (LU) (Tabla 1.1) (Figura 1.1). Los registros de precipitación de los meses muestreados se obtuvieron del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM, <http://www.ideam.gov.co/>) a través de las estaciones climatológicas más cercanas a los humedales muestreados (Hibacharo, E. Cortissoz y Flores).

Tabla 2.1. Métodos para la determinación de las variables fisicoquímicas de los humedales.

Variables fisicoquímicas	Unidad	Método
Física		
Conductividad	$\mu\text{S cm}^{-1}$	Electrodo (Multiparámetro Hanna, modelo HI98199). <i>In situ</i> .
Transparencia	cm	Disco Secchi. <i>In situ</i>
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	Electrodo (Multiparámetro Hanna, modelo HI98199). <i>In situ</i> .
Química		
Oxígeno disuelto -OD-	mg L^{-1}	Electrodo (Multiparámetro Hanna, modelo HI98199). <i>In situ</i> .
pH	U	Electrodo (Multiparámetro Hanna, modelo HI98199). <i>In situ</i> .
Amonio - NH_4^-	$\text{mg NH}_4 \text{L}^{-1}$	Colorimétrico. Kit Aquamerck (0,5 - 10 $\text{mg L}^{-1} \text{NH}_4^+$)
Alcalinidad	$\text{mg CaCO}_3 \text{L}^{-1}$	Titulación. Kit Mol Labs (0-500 $\text{mg L}^{-1} \text{CaCO}_3$)

Recolección de muestras

Se utilizaron técnicas estandarizadas de colecta de macroinvertebrados (Correa-Araneda, 2016). El tipo de diseño muestral empleado fue probabilístico con selección aleatoria de las muestras en cada punto de muestreo. Las larvas de los odonatos asociados a las macrófitas se colectaron con una red circular con diámetro de 40 cm, red cónica de 65 cm con ojo de malla de 250 μm y mango de metal de 90 cm de largo. El método de colecta se estandarizó en todos los puntos de muestro: 5 minutos en un área de 1 m^2 (Correa-Araneda et al., 2021; Cortés-Guzmán et al., 2021). Las muestras se depositaron en bolsas de plástico resellables con alcohol al 70% para realizar su separación en el laboratorio.

Análisis de laboratorio

Las muestras se lavaron, se procesaron, se identificaron y se almacenaron en alcohol al 70%. Las larvas de Odonata se identificaron bajo microscopio estereoscópico, utilizando claves taxonómicas (Costa y Assis, 1992; Pérez-Gutiérrez, 2003; Heckman, 2006) y se cuantificó la abundancia por cada humedal monitoreado.

Análisis de los datos

Todos los datos biológicos y ambientales se resumieron y analizaron con estadística descriptiva. Se realizaron análisis de componentes principales (PCA) general y separados por ciénagas para explicar la variabilidad de los factores fisicoquímicos en los meses de muestreos; se utilizó el análisis de conglomerado como criterio para realizar la separación de las ciénagas. Se analizó la variabilidad por humedal e intra-anual de la abundancia de *M. marcella* empleando diagramas de caja. Se realizaron series temporales para comparar la abundancia de *M. marcella* en los puntos muestreados al extremo norte y sur de cada humedal. Adicionalmente, se evaluó la significancia con un Test-T Student. Por otro lado, se realizó un análisis de conglomerados (método UPGMA, Bray-Curtis) para evaluar la similitud de los humedales de acuerdo con la abundancia de *M. marcella*. Las variables fisicoquímicas y las abundancias de *M. marcella* se estandarizaron con el método *z-score*. La regresión lineal múltiple es un método utilizado para predecir una variable de respuesta Y en función de un predictor Xp, asignando un coeficiente para cada variable predictora (Fernández del Castillo et al., 2022). El coeficiente es una referencia de cuán significativa es la influencia del parámetro sobre la abundancia de *M. marcella*. Para desarrollar este modelo, la abundancia de *M. marcella* se consideró como Y; los parámetros fisicoquímicos se utilizaron como variables predictoras Xp. Todos los análisis estadísticos y gráficos se realizaron con el paquete “vegan” del software R (R Core Team, 2020).

2.3 Resultados

Revisión de literatura

Recientemente, se ha llevado a cabo un número creciente de estudios enfocados a la variabilidad espacial y temporal de los odonatos y las comunidades acuáticas en relación con las variables ambientales en humedales, los estudios se han realizado principalmente en ríos, arroyos, estanques urbanos, estanques piscícolas y humedales de montaña neotropicales. En el **Anexo 7**, se resume brevemente el conocimiento actual sobre la relación entre los macroinvertebrados y la calidad del agua.

Variables fisicoquímicas y ambientales

La temperatura y el pH oscilaron en rangos estrechos en los humedales, mientras que las concentraciones de amonio y conductividad variaron ampliamente. La profundidad osciló entre 0 y 223 cm, los valores de cero correspondieron a puntos que se secaron por efecto de la dinámica de las ciénagas en períodos de prolongada sequía. Los valores de transparencia variaron entre 7 y 122 cm; los valores mínimos fueron similares en todas las ciénagas muestreadas con un rango entre 7 y 15 cm, mientras que los valores máximos se encontraron en la ciénaga LU con 122 cm, seguido de TG y LL (**Tabla 2.2**).

La conductividad presentó fluctuaciones entre 346 y 37900 $\mu\text{S cm}^{-1}$, con el mayor valor promedio en el humedal MQ de 19254 $\mu\text{S cm}^{-1}$. La temperatura superficial del agua varió entre 24,1 y 38,5 °C. El pH osciló entre 6,99 y 9,98. El rango del oxígeno disuelto fue entre 0,25 y 14,68 mg L^{-1} con valores promedios entre 5,1 y 5,8 mg L^{-1} , a diferencia de MQ, que presentó el menor promedio de 3,8 mg L^{-1} . La alcalinidad en los humedales varió entre 40

y 380 mg L⁻¹, con mayores valores promedios en TG y LL (268,8 mg L⁻¹ y 230,6 mg L⁻¹, respectivamente). El amonio presentó un rango entre 0 y 10 mg L⁻¹ (Tabla 2.2). En el Anexo 8 se presenta la estadística descriptiva ampliada.

Tabla 2.2. Variables fisicoquímicas en humedales con diferente tipo de influencia hídrica.

Variables	Estadística descriptiva	Mar caribe		Río Magdalena		Escorrentía estacional	
		TM	MQ	SG	LL	TG	LU
Profundidad (cm)	Media±DE	118±7,19	55±5,05	80±6,14	60±4,07	106±4,68	84±5,96
	Max	213	170	141	113	180	223
	Min	10	20	0	0	37	0
Transparencia (cm)	Media±DE	36±2,26	27±1,99	31±2,31	45±3,26	46±3,36	59±3,58
	Max	78	70	73	104	117	122
	Min	7	13	9	8	15	10
Conductividad (μS cm ⁻¹)	Media±DE	2472±138,8	19254±1706	861±30,7	2257±115,7	1226±22,2	1507±15,1
	Max	5500	37900	1492	5220	1679	1802
	Min	1367	1330	346	1177	1044	1283
Temperatura (°C)	Media±DE	30,4±0,27	28,1±0,29	31,9±0,43	30,2±0,33	31,8±0,24	32,8±0,17
	Max	36,6	33,8	37,7	36,8	37,8	38,5
	Min	26,8	24,1	26,2	26	29,2	29,9
pH	Media±DE	8,1±0,06	7,8±0,07	7,7±0,09	8,1±0,09	8,6±0,07	8,6±0,03
	Max	9,36	9,01	9,26	9,98	9,31	9,1
	Min	7,21	7,1	6,99	7,06	7,18	7,7
OD (mg L ⁻¹)	Media±DE	5,2±0,21	3,8±0,25	5,1±0,4	5,1±0,47	5,2±0,32	5,8±0,13
	Max	9,44	8,66	11,81	14,68	13,5	10,08
	Min	1,77	0,41	1,92	0,25	0,36	3,62
Amonio (mg NH ₄ L ⁻¹)	Media±DE	0,5±0,04	2,8±0,54	0,6±0,04	0,9±0,11	0,2±0,03	0,4±0,2
	Max	2	10	1	3	0,5	0,5
	Min	0	0	0	0	0	0
Alcalinidad (MgCaCO ₃ L ⁻¹)	Media±DE	158,3±8,28	174,6±5,7	166,3±6,7	230,6±11,4	268,8±6,6	181,4±2,02
	Max	260	260	270	380	380	230
	Min	50	100	80	40	200	140

En el área de estudio se presentaron dos períodos de lluvias (agosto-noviembre y mayo). Durante el año muestreado la mayor precipitación fue en el trimestre agosto-octubre. En el año 2014 se reportó el fenómeno de El Niño con períodos secos y bajos volúmenes de precipitación, lo que provocó la disminución de los niveles de agua o el secamiento por completo de algunos puntos de muestreo entre febrero y junio (Figura 2.1).

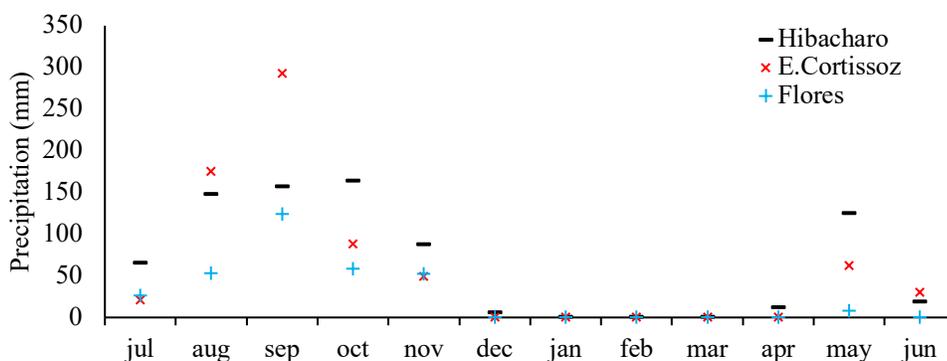


Figura 2.1. Precipitación de los meses muestreados, en las estaciones climatológicas más cercanas a los humedales muestreados (Hibacharo, E. Cortissoz y Flores).

El análisis de componentes principales (PCA) de las seis ciénagas muestreadas, indicó que los dos primeros componente explicaron el 52% de la varianza y estuvieron asociados principalmente al OD, pH y temperatura (Figura 2.2). El PCA de la ciénaga de Mallorquín indicó que el componente 1 (CP) explicó el 68% de la varianza total y el CP 2 explicó un 18% adicional; además que la relación más fuerte fue con el amonio y la conductividad (Figura 2.3). En el PCA de las ciénagas TM, TG y LU los dos primeros componentes explicaron el 62% y estuvieron asociados principalmente con la alcalinidad, el pH, el OD y la transparencia (Figura 2.4). Por otro lado, el PCA de las ciénagas SG y LL indicó que los primeros componentes explicaron el 69% y estuvieron asociados principalmente al OD, el pH, la temperatura y la alcalinidad (Figura 2.5). Las variables mostraron algún grado de asociación a escala temporal, debido que tendieron a agruparse los meses de muestreo con las variables más asociadas a los componentes. En el Anexo 9 se incluyen los puntajes de las variables con respecto a los dos primeros componentes.

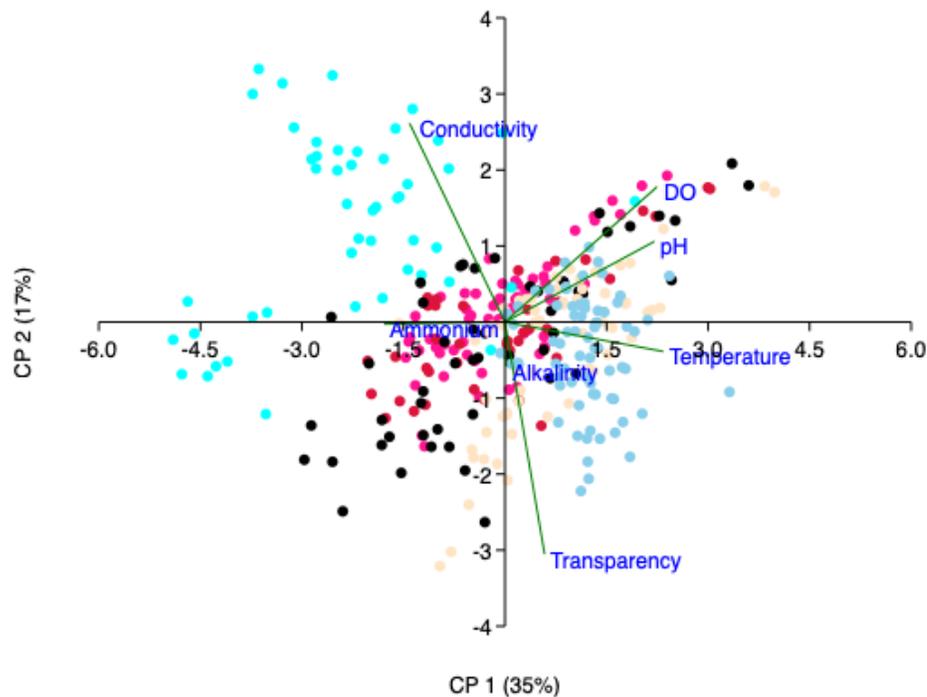


Figura 2.2. Análisis de componentes principales (ACP) de las variables fisicoquímicas en las seis ciénagas muestreadas. Los puntos indican los meses de muestreo en las ciénagas: TM (●), MQ (●), SG (●), LL (●), TG (●) y LU (●).

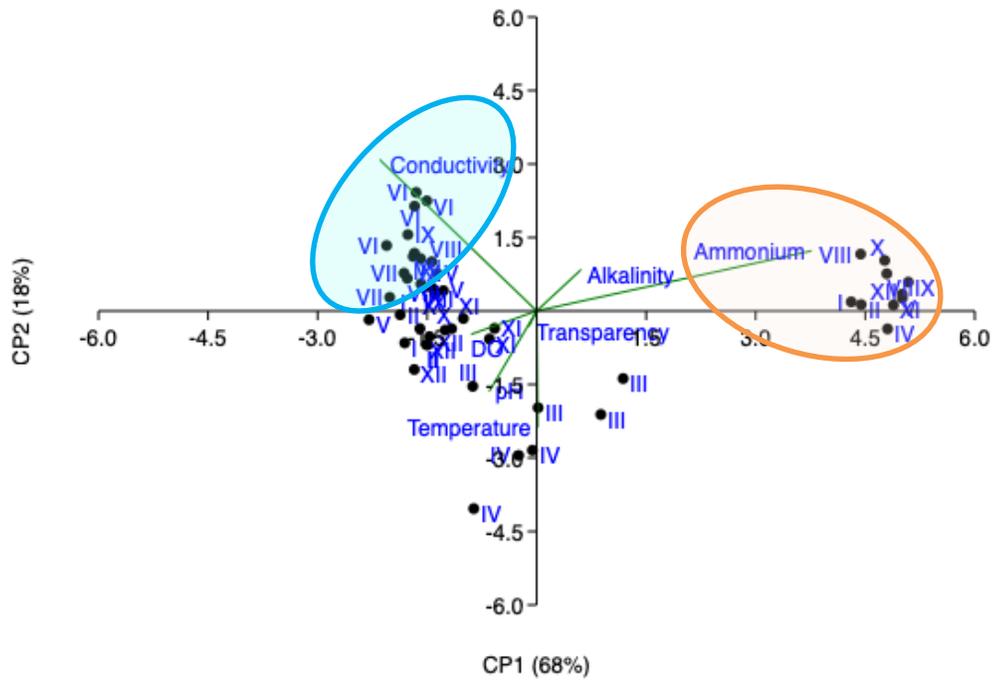


Figura 2.3. Análisis de componentes principales (ACP) de las variables fisicoquímicas y meses de muestreo en la ciénaga Mallorquín. I (jul 2013), II (ago-13), III (sep-13), IV (oct-13) V (nov-13), VI (dic-13), VII (ene 2014), VIII (feb-14), IX (mar-14), X (abr-14), XI (may 14), XII (jun 14).

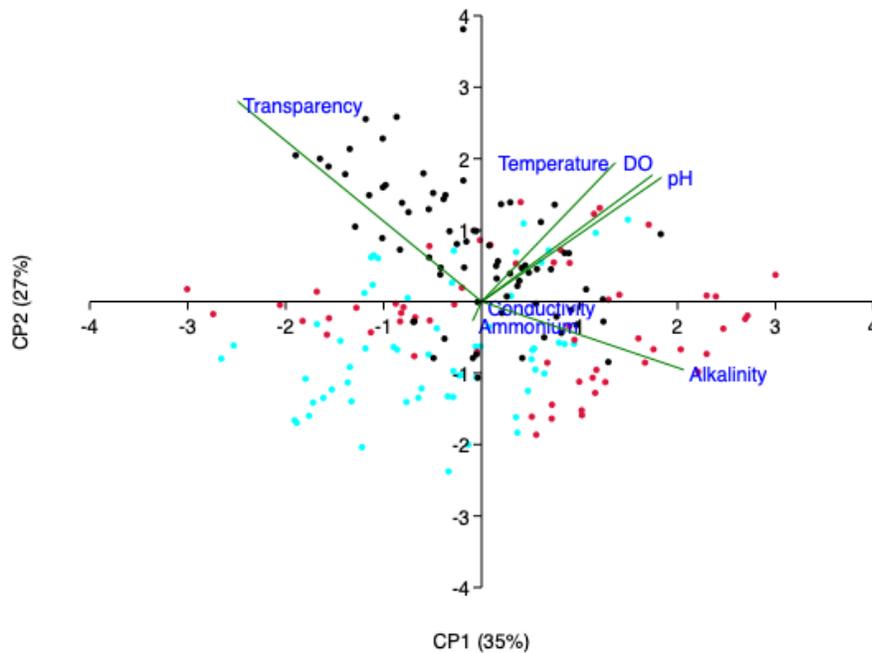


Figura 2.4. Análisis de componentes principales (ACP) de las variables fisicoquímicas y las ciénagas Totumo, Tocagua y Luruaco. Los puntos indican los meses de muestreo de las ciénagas TM (●), TG (●) y LU (●).

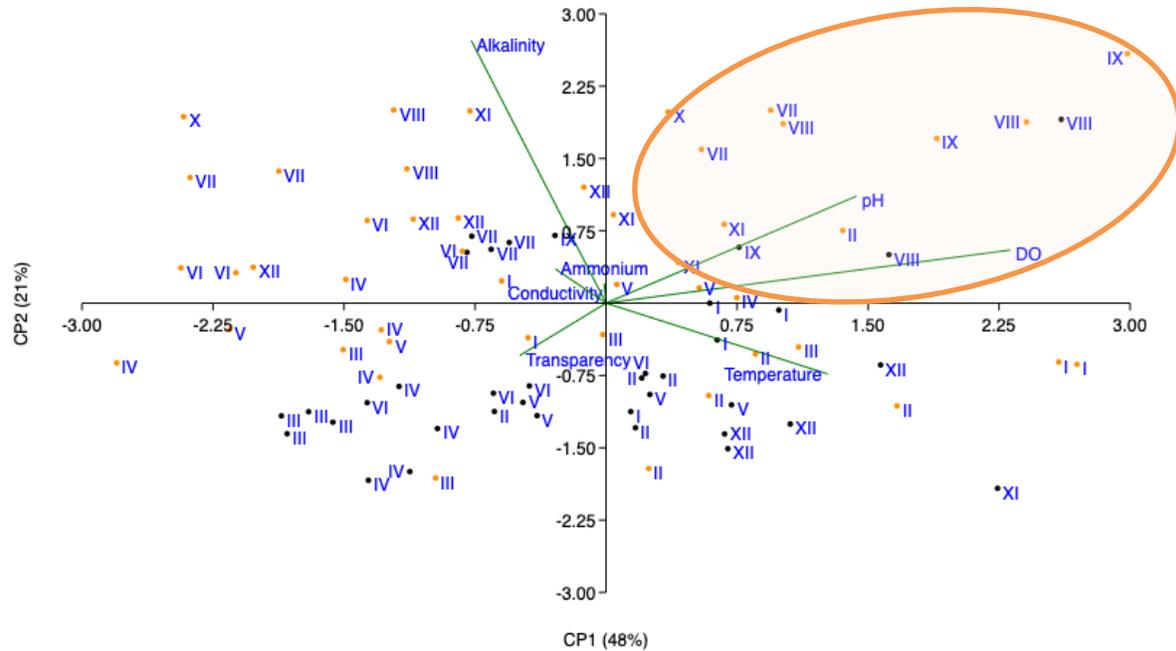


Figura 2.5. Análisis de componentes principales (ACP) de las variables fisicoquímicas y las ciénagas Sabanagrande y Larga-Luisa. Los puntos indican los meses de muestreo de las ciénagas SG (●) y LL (◐). I (jul 2013), II (ago-13), III (sep-13), IV (oct-13) V (nov-13), VI (dic-13), VII (ene 2014), VIII (feb-14), IX (mar-14), X (abr-14), XI (may 14), XII (jun 14).

Abundancia de larvas de *M. marcella*

Se colectó un total de 2586 individuos (ind) de larvas de *M. marcella*, distribuidos de la siguiente forma: 1011 ind en LL, 486 ind en TG, 465 ind en LU, 372 ind en SG, 239 ind en TM y 13 ind en MQ. Mallorquín presentó la menor abundancia y las larvas que se encontraron se colectaron de los puntos de muestreo MQ1 y MQ3, los cuales corresponden a la entrada de agua dulce al humedal. La media y desviación estándar fue mayor en las ciénagas con influencia del río Magdalena, con $19,4 \pm 1,7$ ind y $9,3 \pm 1,4$ ind (LL y SG, respectivamente), seguidas de las ciénagas con influencia de escorrentía local, con $8,1 \pm 0,4$ ind y $6,4 \pm 0,4$ ind (TG y LU, respectivamente). Finalmente, la abundancia fue menor en los humedales con influencia del mar Caribe: $3,9 \pm 0,3$ ind y $0,3 \pm 0,1$ ind (TM y MQ, respectivamente) (Figura 2.6).

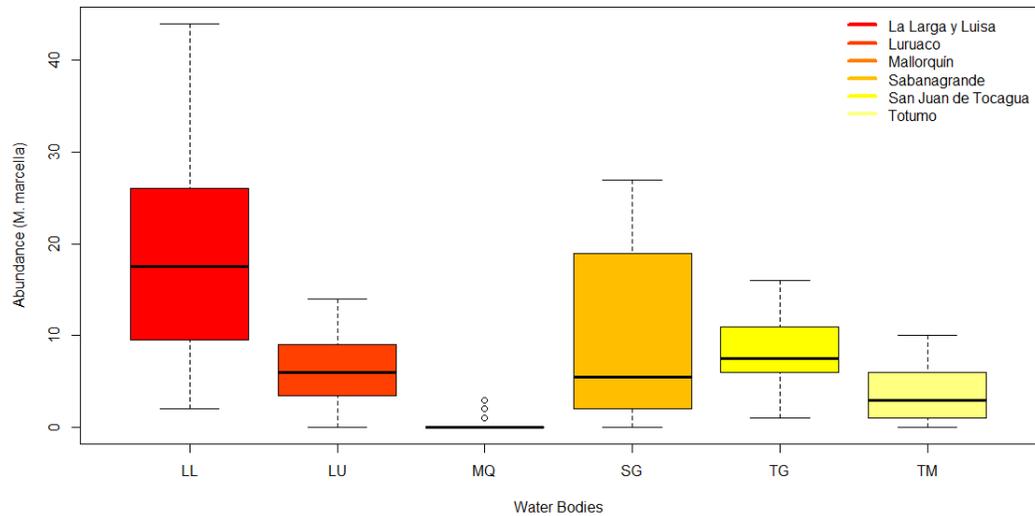


Figura 2.6. Abundancia de las larvas de *M. marcella* en los humedales muestreados. Larga-Luisa (LL), Luruaco (LU), Mallorquín (MQ), Sabanagrande (SG), Tocagua (TG) y Totumo (TM).

Variación intra-anual y espacial de las larvas de *M. marcella*

La abundancia de larvas de *M. marcella* mostró cambios similares durante los meses muestreados, con excepción del humedal MQ. En los meses con más precipitación (sept-nov), la abundancia fue menor y en los meses con datos de precipitación cero o cercanos a cero la abundancia se incrementó (Figura 2.7). Por otro lado, al comparar los puntos muestreados, la variación de la abundancia de las larvas de *M. marcella* fue similar en la mayoría de los humedales. Las mayores diferencias se encontraron entre los puntos de las ciénagas SG y LL, en las cuales la abundancia se concentró en los puntos con nivel más bajo de agua (Figura 2.8). Al realizar el Test-T de Student se encontraron diferencias significativas entre los puntos de muestreo de la ciénaga Larga-Luisa ($t = -2,31$, $df = 18,78$, $p = 0,03$) y Luruaco ($t = -2,13$, $df = 21,98$, $p = 0,04$). Cuando la sequía se prolongó en las ciénagas la columna de agua descendió rápidamente e incluso algunos puntos de muestreo desaparecieron en los humedales SG, LL y LU. En abril la ciénaga SG se secó completamente, por lo cual en esos puntos la abundancia de las larvas de *M. marcella* fue de cero.

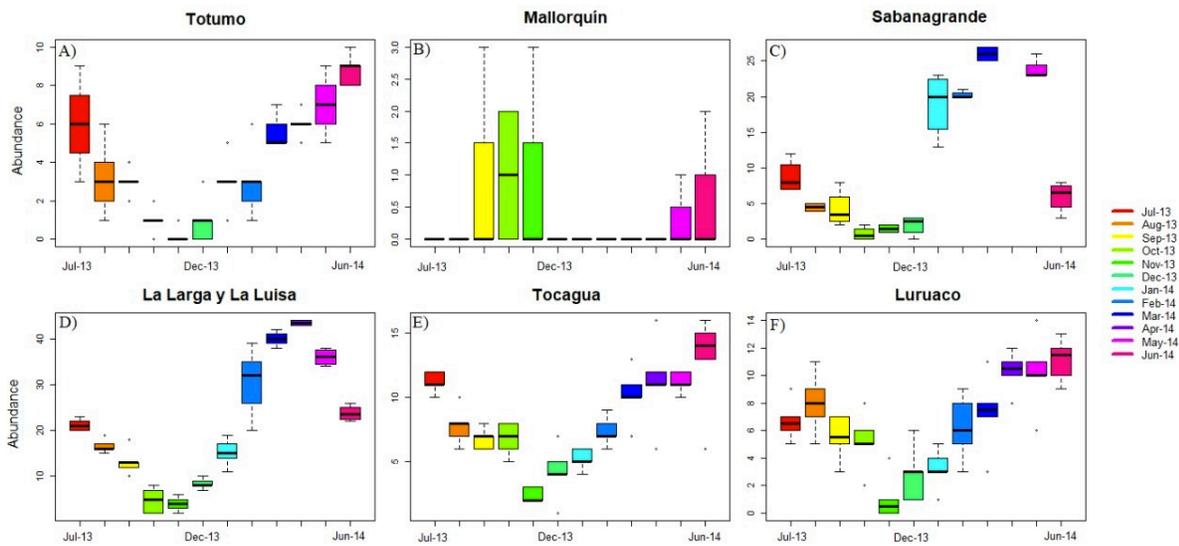


Figura 2.7. Variación intra-anual de la abundancia de las larvas de *M. marcella* en los humedales muestreados.

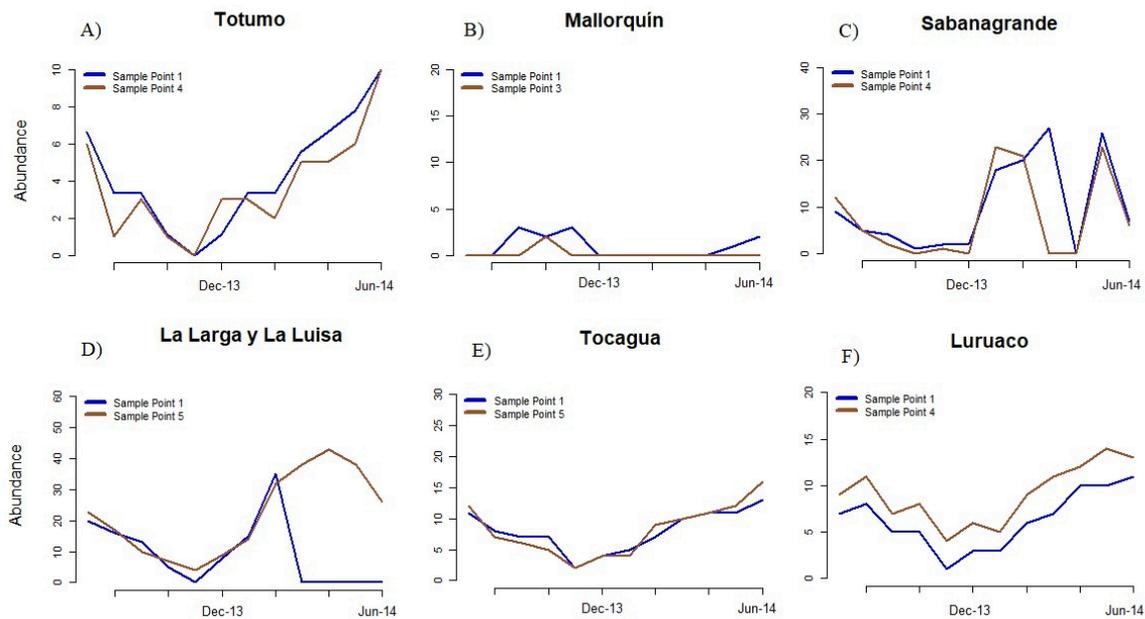


Figura 2.8. Variación espacial de la abundancia de las larvas de *M. marcella* en los humedales muestreados.

En el análisis de conglomerados basado en la abundancia de las larvas de *M. marcella* se encontraron dos grandes grupos, distribuidos de la siguiente forma: SG y LL; TG, TM y LU. Como se puede observar, el grupo 1 está conformado por los humedales que tienen influencia de agua del río Magdalena, mientras que el segundo grupo mezcla los

humedales que tienen influencia del Mar Caribe y de los arroyos locales, siendo en este caso el humedal más disímil Mallorquín (Figura 2.9).

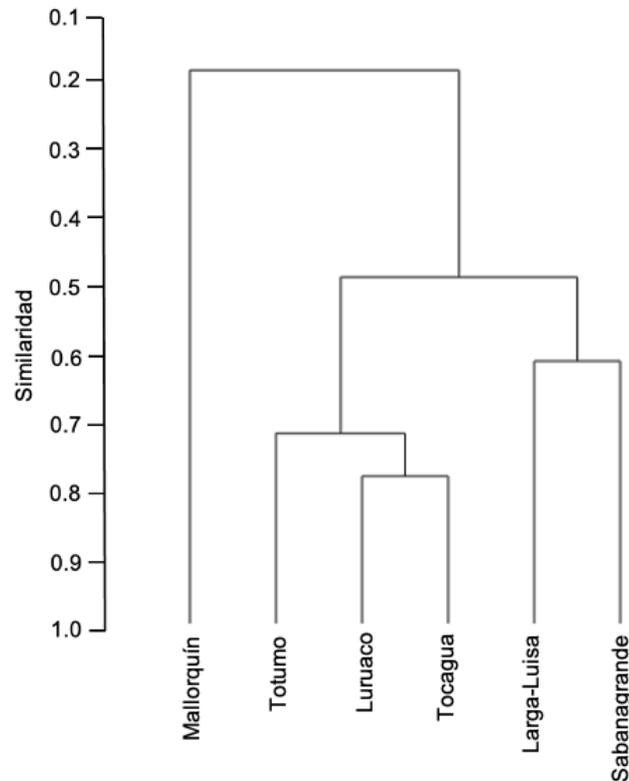


Figura 2.9. Análisis de conglomerado según Bray-Curtis de la abundancia de *M. marcella* en los humedales muestreados.

Relación entre las variables fisicoquímicas y la abundancia de larvas de *M. marcella*

El modelo de regresión lineal múltiple indicó que la abundancia de *M. marcella* se puede explicar con base en la transparencia, la conductividad, el pH, el OD y la alcalinidad. Sin embargo, hubo variación entre los humedales estudiados. Los coeficientes indicaron cuáles parámetros tienen mayor influencia en la abundancia de *M. marcella*. En los humedales TM, LL, TG y LU la conductividad presentó el mayor coeficiente. En el humedal SG, la transparencia presentó el mayor coeficiente. En MQ, los parámetros no explicaron la abundancia de *M. marcella* (Tabla 2.3).

Tabla 2.3. Coeficientes y p-valores del modelo de regresión lineal múltiple.

Variable	Humedal											
	TM		MQ		SG		LL		TG		LU	
	Coef.	p-valor	Coef.	p-valor	Coef.	p-valor	Coef.	p-valor	Coef.	p-valor	Coef.	p-valor
Constante	-0,08	0,538	-0,86	***	4,69	0,111	2,42	***	2,94	0,001	3,82	***
Transparencia	-0,15	0,008	-0,01	0,687	-0,51	0,029	-0,69	***	-0,18	0,029	-0,10	0,009
Conductividad	1,20	0,007	-0,02	0,121	10,12	0,134	3,67	0,017	7,61	***	8,49	0,001
Temperatura	0,11	0,113	0,01	0,841	-0,11	0,452	0,22	0,293	0,11	0,247	0,09	0,226
pH	-0,08	0,137	-0,02	0,507	0,14	0,390	0,40	0,020	-0,05	0,562	-0,41	***
DO	-0,06	0,331	0,02	0,488	0,47	0,015	-0,08	0,634	-0,04	0,588	0,08	0,344
Amonio	-0,22	0,180	0,01	0,443	0,13	0,178	0,27	0,460	0,35	0,238	0,06	0,110
Alcalinidad	0,24	***	-0,03	0,450	-0,14	0,626	0,24	0,055	0,22	0,006	0,17	0,294

*** p < 0,001

2.4 Discusión

En este estudio, la distribución de la abundancia de larvas de *M. marcella* respondió al tipo de influencia hídrica en cada humedal. Además, los patrones de distribución de *M. marcella* mostraron influencia de los cambios en la calidad del agua. La abundancia y distribución de larvas de *M. marcella* en humedales del norte de Colombia depende fuertemente de la conductividad, la transparencia y la alcalinidad del agua. En Colombia existen al menos 1900 ciénagas por debajo de los 1000 msnm, las cuales ocupan más de 7800 km² a lo largo de los grandes ríos (e.g. Cauca, Magdalena, Atrato y Sinú). A pesar de la abundancia y de la importancia de estos ecosistemas, el conocimiento generado sobre su funcionamiento es limitado (Roldán, 2020). La precipitación en Colombia está descrita en diversos trabajos (Mesa et al., 2000; Poveda, 2004; Hurtado y Mesa, 2014). La zona de convergencia intertropical marca las temporadas lluviosas de abril-mayo y septiembre-noviembre en la mayor parte del territorio y las temporadas con menor precipitación de diciembre-febrero y junio-agosto. En las ciénagas evaluadas la profundidad varió según las condiciones meteorológicas (períodos lluvioso y de sequía), la irradiación, la sedimentación, el aporte de fuentes hídricas y la modificación por el uso del recurso hídrico (Roldán y Ramírez, 2008; Torres y Pinilla, 2011). En este sentido las ciénagas estudiadas han experimentado disminución del espejo de agua por los aspectos antes mencionado. El humedal donde se redujo más la profundidad fue MQ, posiblemente por la alta sedimentación, la erosión costera y la intervención humana por rellenos sanitarios (Torres-Bejarano et al., 2020). Cabe mencionar que, en las ciénagas LU, LL y SG se presentaron puntos de muestreo totalmente secos, posiblemente relacionados con el fenómeno de El Niño del año 2014 (UNGRD, 2016). Muchas especies de odonatos son organismos altamente tolerantes a los cambios de hábitats y están ampliamente distribuidas, aún con los efectos de muchos eventos ENOS (El Niño, Oscilación del Sur) (Niba y Samways, 2006).

En cuanto a las variables fisicoquímicas, la conductividad tuvo una relación muy estrecha con la salinidad. Esta relación se debe a las distintas sales disueltas en los cuerpos de agua (Zheng, 2018). Los valores de conductividad mayores de $2000 \mu\text{S cm}^{-1}$ en aguas continentales indican una alta mineralización (Roldán y Ramírez, 2008; Ndong et al., 2022). Los valores promedio en MQ y TM sobrepasaron los $2000 \mu\text{S cm}^{-1}$, debido que estos ecosistemas son marino-costeros y la conductividad está fuertemente relacionada con la salinidad (NaCl). Así mismo, las aguas superficiales de las ciénagas estudiadas se consideran ligeramente cálidas (Lewis, 1995; García et al., 1998; Roldán y Ramírez, 2008), con temperaturas entre 24°C y 32°C . Este comportamiento cálido puede estar asociado con la poca profundidad, la alta radiación solar, los vientos y la poca entrada de aguas durante todo el año. Todas las anteriores, son características propias de ecosistemas tropicales (Roldán y Ramírez, 2008). Así mismo, el comportamiento de la temperatura está relacionado con los períodos de lluvia y sequía en el departamento del Atlántico. De esta forma, los valores elevados de temperatura se relacionan con períodos de sequía, la disminución de la profundidad y el aumento de la radiación solar. En particular, la ciénaga LU presentó en algunas estaciones valores superiores de 32°C . Temperaturas cercanas a los 32°C corresponden a valores poco aptos para la sobrevivencia de los organismos acuáticos (Roldán y Ramírez, 2008; Dallas y Ross-Gillespie, 2015).

El pH en las ciénagas y lagunas costeras presenta rangos entre 5 a 9, dependiendo de la alcalinidad y el estado de eutrofización (Roldán, 1992; Verspagen et al., 2014). Los humedales estudiados se encontraron dentro de este rango, con valores propios de dichos ecosistemas y donde sus aguas tienden a ser básicas. Los valores de pH reportados son óptimos para el desarrollo de fauna y flora (Dirisu et al., 2016; Dodds y Whiles, 2020). En el período seco se incrementó el pH, lo cual podría relacionarse con la inclusión de iones hidroxilos, como fuente principal del material erosionado de sales de carbonatadas (calcio y magnesio), como también por el consumo de CO_2 debido a la actividad fotosintética por la presencia de macrófitas sumergidas en algunas ciénagas (Sarmiento, 2017). Por otro lado, el oxígeno disuelto promedio fue $> 4\text{mg L}^{-1}$ en todos los humedales, con excepción del humedal MQ. Este valor, se encuentra dentro de los límites permisibles para la conservación de fauna y flora en los ecosistemas acuáticos (Minsalud, 1984; Gupta y Gupta, 2020). Las bajas concentraciones de OD encontradas en la ciénaga MQ se atribuyen al aporte de un arroyo de escorrentías locales de la ciudad de Barranquilla (Arroyo León). Este arroyo realiza continuas descargas de vertimientos de aguas residuales y entrada de altos niveles de sólidos suspendidos, lo que hace que disminuyan las concentraciones de oxígeno y se creen condiciones hipóxicas, a los cuales contribuye la continua descomposición de la materia orgánica (Mangones-Cervantes y León-Luna, 2014). Hutchins et al (2020) reportó que en los humedales es típico que se presenten variaciones en la concentración de OD debido a la hidrodinámica, las condiciones climáticas y las fuentes de contaminación.

El ion amonio NH_4 es una fuente de nitrógeno que actúa como nutriente para las plantas acuáticas y las algas (Lachmann et al., 2019). Sin embargo, cuando los niveles de amonio son elevados pueden ocasionar problemas en la calidad del agua (Fu et al., 2012; Rusydi

et al., 2021). En este estudio, el humedal MQ fue el ecosistema que reportó valores elevados de amonio (10 mg L^{-1}), en especial en las estaciones cercanas a la escorrentía de un arroyo local (Arroyo León). Los altos valores de amonio indican contaminación antropogénica de fuentes tales como fertilizantes, estiércol, tanques sépticos y aguas residuales (Koda et al., 2016; WHO, 2017). En ecosistemas tropicales como las ciénagas y lagunas costeras la alcalinidad puede alcanzar valores mayores a 100 mg L^{-1} (Roldán, 1992). Las ciénagas estudiadas presentaron valores de alcalinidad superiores a 100 mg L^{-1} . La alcalinidad en estos ecosistemas está asociada con los bicarbonatos, que pueden traer consigo un aumento en la productividad primaria (Kragh y Sand-Jensen, 2018; Khan et al., 2020).

En cuanto a la abundancia de larvas de *M. marcella*, ésta varió durante los meses muestreados. En los meses con más precipitación (julio - noviembre) la abundancia fue menor y en los meses con datos de precipitación cero o cercanos a cero (diciembre – abril) la abundancia se incrementó (época seca). Diversos estudios han demostrado que las especies de odonatos aumentan su población en los meses de lluvia, por mayor disponibilidad de agua y sustrato, para el establecimiento de sus poblaciones, al contrario de lo que ocurre en los meses de sequía (Barbán, 2015). Sin embargo, para los humedales estudiados las poblaciones de larvas de *M. marcella* mostró comportamiento opuesto, posiblemente relacionado con el hecho de que en la época seca la única oferta disponible para ovipositar es el espejo de agua que disminuye, lo cual facilitaría una mayor concentración de larvas (Altamiranda et al., 2010). Del mismo modo, la permanencia de macrófitas durante esta época les facilita un hábitat de refugio, alimento y desarrollo de las poblaciones (Barbán, 2015). Gómez-Tolosa et al. (2015), han señalado en sus estudios que *M. marcella* es una especie oportunista, ya que pueden adaptarse a distintos medios acuáticos y puede establecerse en ambientes perturbados por la acción humana o modificados por los cambios climatológicos del medio. Sin embargo, los resultados indicaron una diferencia espacial, marcada en humedales que tienen influencia del río Magdalena, seguidos de los humedales con escorrentías locales LU, TG y TM (la ciénaga TM tiene influencia del mar Caribe, pero en época de alta precipitación le llega agua de la ciénaga TG). MQ quedó excluida por sus características particulares de laguna costera y la alta intervención antrópica. Los pocos individuos encontrados se asocian posiblemente con la entrada al humedal a través de macrófitas flotantes en época de lluvia. En el modelo de regresión lineal múltiple se evidenció que los parámetros que tienen mayor influencia en la abundancia de *M. marcella* variaron según el humedal, lo cual puede deberse a que cada ciénaga presenta características particulares de las variables fisicoquímicas. Sin embargo, la distribución depende principalmente de la conductividad, la alcalinidad y la transparencia en los ecosistemas acuáticos evaluados.

La distribución y abundancia de los organismos acuáticos se relaciona con la cantidad de iones presentes en el agua. En este caso la especie *M. marcella* mostró baja abundancia en los sitios con altos niveles de conductividad. Este comportamiento lo describen también Altamiranda et al. (2010), Gómez-Anaya et al. (2011) y Rache (2015) con otras especies de odonatos. La relación con la alcalinidad probablemente se deba a la alta productividad

de estas aguas, lo que las hace favorables para la alimentación, el desarrollo larvario y el refugio (Khan et al., 2020). La relación entre la abundancia de *M. marcella* y la transparencia se presentó en la mayoría de los humedales. Raebel et al (2011) encontraron que a mayor transparencia aumenta la abundancia de los odonatos. Esto puede deberse a una mejor calidad del agua (Zhou et al., 2021) y a la presencia de macrófitas acuáticas, que proporcionan recursos para los odonatos y sus presas (Brito et al, 2020).

2.5 Conclusión

Los resultados sugieren que la distribución de la abundancia de larvas de *M. marcella* responde al tipo de influencia hídrica en el humedal. Esta especie, considerada como generalista, es más común en los humedales influenciados por el río Magdalena, seguida de los influenciados por escorrentía estacional. Se encontraron pocos individuos en aquellos humedales influenciados por el Mar Caribe. Los patrones de distribución de *M. marcella* mostraron influencia con los cambios en la calidad del agua, los cambios naturales debido a las diferentes concentraciones de sales y los cambios producidos por las variaciones climáticas e hidrológicas. La abundancia y distribución de larvas de *M. marcella* en los humedales del norte de Colombia depende fuertemente de la conductividad, la alcalinidad y la transparencia del agua. En el caso de MQ (humedal influenciado por el Mar Caribe) los resultados indican que la baja abundancia está relacionada con la alta conductividad, la alta concentración de amonio y el bajo OD, todo debido a la actividad antrópica. Por lo tanto, el estudio de las variables fisicoquímicas sobre las poblaciones de larvas de odonatos puede ser una herramienta útil para evaluar y monitorear los impactos antropogénicos en los humedales tropicales. Por último, el uso de los odonatos como bioindicadores es importante para la comunidad científica, los gobiernos y las políticas dirigidas al mejoramiento del manejo de los humedales.

3. Composición de macroinvertebrados como determinantes en la abundancia de larvas de *M. marcella* (Odonata: Libellulidae).

Resumen

Las larvas de odonatos desempeñan un papel importante en las redes alimentarias de los macroinvertebrados, además son excelentes indicadores de la calidad de los humedales. Sin embargo, a pesar de su importancia ecológica las investigaciones en torno a los odonatos y sus interacciones con el entorno y con otros macroinvertebrados son escasas. El objetivo del presente estudio consistió en evaluar la composición de macroinvertebrados como determinantes en la abundancia de larvas de *M. Marcella*. Se tomaron muestras en seis humedales con diferente influencia hídrica en el departamento del Atlántico, norte de Colombia. Se utilizaron técnicas estandarizadas de toma de muestras de macroinvertebrados en 29 puntos de muestreos. Con los datos obtenidos se analizó la abundancia de macroinvertebrados y se aplicó un análisis de escalamiento multidimensional no paramétrico. Finalmente, se realizó una análisis de correlación entre la composición de macroinvertebrados y la abundancia de larvas de *M. marcella*. Se colectaron un total de 2586 individuos de larvas de *M. marcella* y un total de 12925 individuos de macroinvertebrados, distribuidos en 25 órdenes y 58 familias. Los órdenes más abundantes fueron Neotaenioglossa (26%), Odonata (15%) Calanoida (10%) y Diptera (8%). El mapa de calor y el análisis de escalamiento indicaron diferencias en la composición de los macroinvertebrados según los humedales muestreados. Se encontró alta correlación positiva entre *M. marcella* con los órdenes Odonata ($R^2 = 0,84$, $p\text{-value} \leq 0,05$), Coleoptera ($R^2 = 0,52$, $p\text{-value} \leq 0,05$), Basommatophora ($R^2 = 0,60$, $p\text{-value} \leq 0,05$) y Hemiptera ($R^2 = 0,50$, $p\text{-value} \leq 0,05$). Los resultados sugieren que la abundancia *M. marcella* responde a los macroinvertebrados acompañantes y que la composición de macroinvertebrados depende del tipo de influencia hídrica. Los enfoques de evaluación y búsqueda de relaciones entre los macroinvertebrados son importantes herramientas de conservación, dirigidas a evaluar de biodiversidad.

Palabras clave: larvas de odonato, depredador, humedales tropicales, limnología.

Abstract

Odonate larvae play an important role in macroinvertebrate trophic networks and are excellent indicators of wetland quality. However, despite their ecological importance, research on odonates and how they interact with their environment is scarce. This study aims to assess macroinvertebrate composition as a determinant of larval abundance in *Miathyria marcella* (Odonata: Anizoptera: Libellulidae). Samples were collected from six wetlands with different types of hydrological influence using standardized invertebrate sampling techniques in Atlántico, a department located in northern Colombia. Standardized invertebrate sampling techniques were used at 29 sampling points. Obtained data were used to analyze invertebrate abundance and a nonmetric multidimensional scaling analysis was applied. In addition, a correlation analysis was conducted between macroinvertebrate composition and *Miathyria marcella* larval abundance. A total of 2586 larvae and 12925 individual macroinvertebrates were collected, distributed across 25 orders and 58 families. The most abundant orders were Neotaenioglossa (26%), Odonata (15%) Calanoida (10%) and Diptera (8%). Heatmap and scaling analysis indicated different macroinvertebrate compositions in the sampled wetlands. It was found a high positive correlation between *Miathyria marcella* and the orders Odonata ($R^2 = 0.84$, $p\text{-value} \leq 0.05$), Coleoptera ($R^2 = 0.52$, $p\text{-value} \leq 0.05$), Basommatophora ($R^2 = 0.60$, $p\text{-value} \leq 0.05$), and Hemiptera ($R^2 = 0.50$, $p\text{-value} \leq 0.05$). The results suggest that the abundance of *Miathyria marcella* responds to the accompanying macroinvertebrates, the composition of which depends on the type of hydrological influence. Assessment approaches that focus on the relationships between macroinvertebrate taxa are important conservation tools for biodiversity assessment. Results from this study will serve as a baseline to propose monitoring and follow-up strategies for environmental sustainability in wetlands in this region.

Keywords: odonata larvae, predator, tropical wetlands, limnology.

3.1 Introducción

Los Odonatos corresponden a uno de los grupos de insectos más conocidos popularmente; suelen señalarse como depredadores de gran tamaño en comparación con otros insectos, poseen una amplia distribución ligada a medios acuáticos y dentro de su clasificación han sido descritas más de 6300 especies que varían considerablemente dependiendo de cada hábitat, el tipo de presas que consumen y el conjunto de condiciones ecológicas necesarias para establecer su población (May, 2019; Bybee et al., 2021). Debido a su gran diversidad, su fácil identificación y su alta sensibilidad los odonatos, como comunidades, se han utilizado como bioindicadores claves para verificar la integridad ecológica de los ecosistemas acuáticos, dado que permiten evaluar los impactos ambientales y brindan herramientas para determinar medidas de conservación (Monteiro-Jr et al., 2015; Oliveira-Jr et al., 2017; Šigutová et al., 2019; Carvalho-Soares., 2022). Diversos autores han encontrado que este orden de insectos desarrolla adaptaciones a factores ambientales como la luz, la temperatura, la corriente del agua, el sustrato, la geografía, las temporadas de sequía o inundación, la alimentación disponible, la competencia entre especies, los

cambios bióticos y abióticos en el entorno y las variaciones generadas por la acción antropogénica (Corbet, 1999; Abdul et al., 2017; Seidu et al., 2018; Bowles y Kleinsasser, 2022). En este sentido, la integridad del hábitat es transcendental para definir su distribución y abundancia.

Las dinámicas poblacionales de un ecosistema están fuertemente determinadas por la cadena trófica y sus componentes, destacándose en el ecosistema acuático los macroinvertebrados que representan un papel importante para el equilibrio del entorno (Saha et al., 2009; Ramírez y Gutiérrez-Fonseca, 2014). Teniendo en cuenta lo anterior, diversos investigadores han analizado la eficiencia de los odonatos como agentes en el control biológico de plagas en varios ecosistemas (Corbet, 1999; Younes et al., 2015; Akram y Ali-Khan, 2016); además, son importantes en la red trófica de los ecosistemas, debido a que hacen parte de la dieta de aves, reptiles, peces y anfibios (McPeck, 1990; Abdul, 2017). Las libélulas se consideran importantes depredadores de varios macroinvertebrados (Mandal et al., 2008; Saha et al., 2012; Abdul, 2017; Vilenica, 2017). Diferentes autores han estudiado las relaciones de las libélulas con los macroinvertebrados acompañantes (Anexo 10). Younes et al. (2015), evaluó el potencial de la ninfa *Hemianax ephippiger* (Odonata-Aeshnidae) como depredadora del caracol de agua dulce *Lymnaea natalensis*, huésped intermedio de *Fasciola*, un trematodo hepático capaz de causar pérdidas a industrias ganaderas y de afectar la salud de los humanos. En esta investigación hallaron que las libélulas son depredadores ideales de plagas, ejercen un papel importante de control en los ecosistemas, y a su vez comprobaron que la ninfa Odonata *H. ephippiger* es una opción viable para la regulación de caracoles en humedales de agua dulce, contribuyendo a la conservación de estos ecosistemas a través del control biológico. Mandal et al. (2008), evaluaron la eficiencia de ninfas de odonatos como biocontrol para larvas del mosquito de *Culex quinquefasciatus*; encontraron que las ninfas, a pesar de que tenían diferentes tasas de consumo según cada especie y fase temporal, eran capaces de consumir larvas de mosquitos de forma sustancial y aumentar su capacidad para combatirlos, respaldando el hecho de que la introducción de ninfas de odonatos en humedales ayuda al control eficaz de plagas y vectores. Sin embargo, a pesar de su importancia ecológica las investigaciones en torno a los odonatos y sus interacciones con el entorno y con otros macroinvertebrados son escasas. La presente investigación plantea evaluar la composición de macroinvertebrados como determinantes en la abundancia de larvas de *M. marcella* en seis ciénagas del departamento del Atlántico, Colombia.

3.2 Métodos

Muestreo de macroinvertebrados

En cada humedal se seleccionaron puntos de muestreo teniendo en cuenta los afluentes, efluentes y distribución de las macrófitas (Figura 1). Se realizaron muestreos mensuales en el período comprendido entre julio de 2013 y junio de 2014. El tipo de diseño muestral empleado fue probabilístico con selección aleatoria de las muestras en cada punto de

muestreo. Se utilizaron técnicas estandarizadas de colecta de macroinvertebrados (Correa-Araneda et al., 2021). Los macroinvertebrados asociados a las macrófitas se colectaron con una red modificada para toma de muestra flotante. La red posee un área de 0,25 m², la cual consiste en un marco metálico de 90cm, que está unido a una red cónica con un poro de 0,2 mm. Se realizó la colecta de larvas en de 1m² en cada punto muestreado. Las muestras se depositaron en bolsas de plástico para realizar la separación en el laboratorio. La fauna colectada se introdujo en viales entomológicos plásticos con alcohol al 70% rotulado con los respectivos datos de campo.

Identificación de macroinvertebrados

El material colectado en cada uno de los puntos se depositó en bandejas plásticas y se lavó con agua para realizar la separación de la fauna con pinzas entomológicas. Se cuantificó la fauna encontrada en cada punto de muestreo y se identificó hasta el menor grupo taxonómico posible con claves taxonómicas (Gaviria, 1993; Springer, 2010; Cómbita-Heredia, 2013; Campos, 2014; Prat et al., 2014; Aristizábal-García, 2017; Laython, 2017; Hamada et al., 2018; Linares et al., 2018; Damborenea et al., 2020; González-Córdoba et al., 2020). Los macroinvertebrados se depositaron en viales con alcohol al 70% rotulado con datos de campo para su conservación.

Análisis de datos

Para evaluar la composición de macroinvertebrados como determinantes en la abundancia de larvas de *M. marcella* se realizó un análisis descriptivo de la composición de macroinvertebrados y la abundancia de larvas de *M. marcella*. Los macroinvertebrados se organizaron a nivel de órdenes. Se describió la distribución general por cada tipo de influencia hídrica. Posteriormente se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Adicionalmente, se realizó un análisis de escalamiento multidimensional no paramétrico (NMDS) empleando la distancia de Bray-Curtis. Se realizó un análisis de conglomerados (método UPGMA, Bray-Curtis) para evaluar la similitud de los humedales de acuerdo con la abundancia de macroinvertebrados. Se realizaron análisis de correlación de Spearman general y separado por ciénagas con el fin de determinar la asociación entre los macroinvertebrados y la abundancia de larvas de *M. marcella*; se utilizó el análisis de conglomerado como criterio para realizar la separación de las ciénagas. Finalmente, se realizó el test de Mantel para estimar la correlación entre las matrices de distancia de la abundancia de *M. marcella*, riqueza total, riqueza de la época seca y riqueza de la época de lluvia con la matriz de distancia de los 29 puntos de muestreo. En el test de Mantel se realizaron 9999 permutaciones para obtener los valores de significancia. Todos los análisis estadísticos y gráficos se realizaron con el paquete “vegan” del software R (R Core Team, 2020).

3.3 Resultados

Abundancia de *M. marcella*

Se colectó un total de 2586 individuos (ind) de larvas de *M. marcella*, distribuidos de la siguiente forma: 1011 ind en LL, 486 ind en TG, 465 ind en LU, 372 ind en SG, 239 ind en TM y 13 ind en MQ. La media y desviación estándar fue mayor en las ciénagas con influencia del río Magdalena, con $19,4 \pm 1,7$ ind y $9,3 \pm 1,4$ ind (LL y SG, respectivamente), seguidas de las ciénagas con influencia de escorrentía local, con $8,1 \pm 0,4$ ind y $6,4 \pm 0,4$ ind (TG y LU, respectivamente). Finalmente, la abundancia fue menor en los humedales con influencia del mar Caribe, con $3,9 \pm 0,3$ ind y $0,3 \pm 0,1$ ind (TM y MQ, respectivamente) (Figura 3.1).

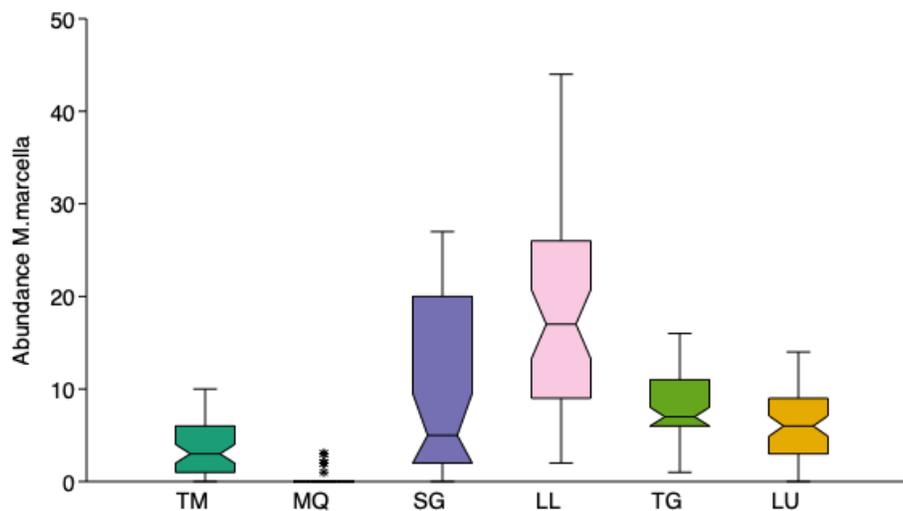


Figura 3.1. Abundancia de las larvas de *M. marcella* en los humedales muestreados. Totumo (TM), Mallorquín (MQ), Sabanagrande (SG), Larga-Luisa (LL), Tocagua (TG) y Luruaco (LU).

Composición de macroinvertebrados

Se recolectó un total de 12925 ind, distribuidos en 25 órdenes y 58 familias. Al comparar la abundancia en los humedales se encontraron más individuos en LU con 3496 ind, seguida de los humedales con influencia del río Magdalena, con 2378 ind y 2181 ind en LL y SG, respectivamente. La abundancia de los humedales TG, TM y MQ fue de 2142, 1854, y 874 individuos, respectivamente. Los órdenes más abundantes fueron Neotaenioglossa (26%), Odonata (15%) Calanoida (10%) y Diptera (8%) (Figura 3.2). Los órdenes con abundancia menor al 1% fueron Eunicida, Lepidoptera, Megaloptera, Mytiloidea, Neogastropoda, Neritopsina, Stylommatophora, Trichoptera y Unionoidea. La composición de los macroinvertebrados fue diferente entre humedales: en TM los órdenes más abundantes fueron Diptera con 340 ind y Calanoida con 369 ind, en MQ lo fue Neotaenioglossa con 292 ind, en SG Odonata con 404 ind, en LL Odonata con 545 ind y

Diplostraca con 433 ind, en TG Neotaenioglossa con 528 ind y Odonata con 526 ind y en LU Neotaenioglossa con 1511 ind. Del mismo modo, el NMDS indicó diferencias entre las abundancias de los macroinvertebrados según los humedales muestreados (Figura 3.3).

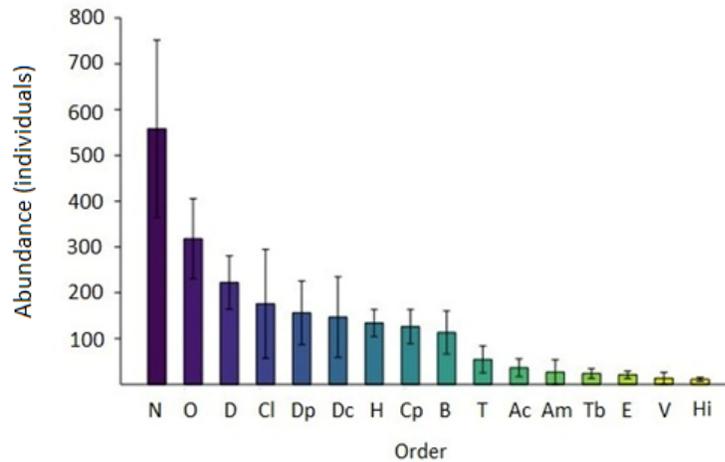


Figura 3.2. Abundancia absoluta de los órdenes de macroinvertebrados. Se excluyeron los órdenes con abundancia menor al 1%. Las barras representan el error estándar. N: Neotaenioglossa (Mollusca: Gastropoda). O: Odonata (Arthropoda: Insecta). D: Diptera (Arthropoda: Insecta). Cl: Calanoida (Arthropoda: Maxillopoda). Dp: Diplostraca (Arthropoda: Branchiopoda). Dc: Decapoda (Arthropoda: Malacostraca). H: Hemiptera (Arthropoda: Insecta). Cp: Coleoptera (Arthropoda: Insecta). B: Basommatophora (Mollusca: Gastropoda). T: Tubificida (Annelida: Clitellata). Ac: Architaenioglossa (Mollusca: Gastropoda). Am: Amphipoda (Arthropoda: Malacostraca). Tb: Trombidiformes (Arthropoda: Euchelicerata). E: Ephemeroptera (Arthropoda: Insecta). V: Veneroida (Mollusca: Bivalvia). Hi: Hirudinida (Annelida: Clitellata).

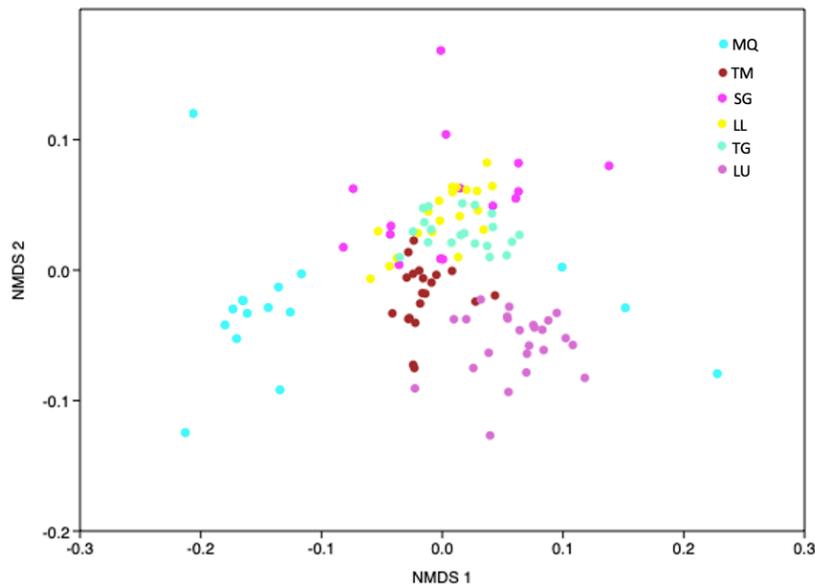


Figura 3.3. Escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) basado en la distancia Bray-Curtis. La figura indica las diferencias de abundancias de los órdenes de macroinvertebrados y la composición taxonómica de cada muestra. Cada punto corresponde a un muestreo en un sitio específico de cada ciénaga.

En el análisis de conglomerados basado en la abundancia total de macroinvertebrados se encontró que el grupo con más similitud es SG y LL, es decir humedales que tienen influencia de agua del río Magdalena. El segundo grupo lo conforman los humedales TM y LU que tienen influencia del Mar Caribe y de los arroyos locales. El humedal Mallorquín fue el más disímil (Figura 3.4).

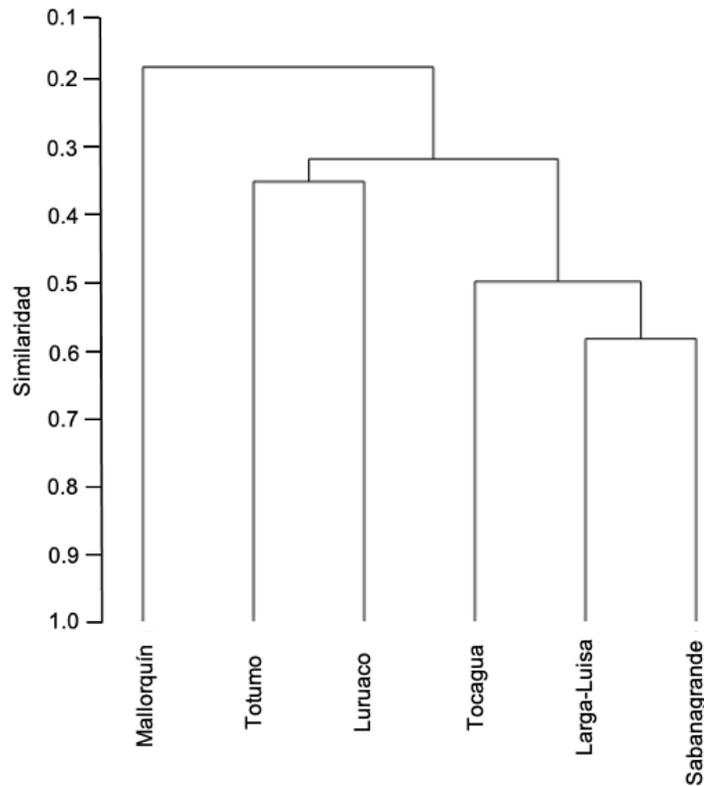


Figura 3.4. Análisis de conglomerado según el análisis de coeficiente Bray-Curtis. El agrupamiento se basa en la abundancia total de macroinvertebrados en los humedales muestreados.

Relación entre la abundancia de los macroinvertebrados con *M. marcella*

La correlación de Spearman basada en el conjunto de datos de todos los muestreos en todas las ciénagas, indicó correlaciones estadísticamente significativas entre algunas de las variables analizadas ($p\text{-value} \leq 0,05$). Se encontró alta correlación positiva entre *M. marcella* con los órdenes Odonata ($R^2 = 0,84$, $p\text{-value} \leq 0,05$), Coleoptera ($R^2 = 0,52$, $p\text{-value} \leq 0,05$), Basommatophora ($R^2 = 0,60$, $p\text{-value} \leq 0,05$) y Hemiptera ($R^2 = 0,50$, $p\text{-value} \leq 0,05$) (Figura 3.5) (Anexo 11).

Teniendo en cuenta el análisis de conglomerados (Figura 3.4), al agrupar las ciénagas LL y SG se encontró alta correlación positiva entre *M. marcella* con los órdenes Odonata ($R^2 = 0,89$, $p\text{-value} \leq 0,05$), Hemiptera ($R^2 = 0,62$, $p\text{-value} \leq 0,05$), Coleoptera ($R^2 = 0,52$, $p\text{-value} \leq 0,05$) y Basommatophora ($R^2 = 0,52$, $p\text{-value} \leq 0,05$) (Anexo 11A). Por otro lado, el

grupo de las ciénagas LU y TM presentaron alta correlación positiva entre *M. marcella* con los órdenes Odonata ($R^2 = 0,63$, $p\text{-value} \leq 0,05$) y Decapoda ($R^2 = 0,62$, $p\text{-value} \leq 0,05$) (Anexo 11B). La ciénaga TG se analizó por separado porque al agruparla con LL y SG las correlaciones daban muy bajas, los resultados indicaron que se encontró alta correlación positiva entre *M. marcella* con los órdenes Hemiptera ($R^2 = -0,62$, $p\text{-value} \leq 0,05$), Coleoptera ($R^2 = 0,61$, $p\text{-value} \leq 0,05$) y Diptera ($R^2 = -0,54$, $p\text{-value} \leq 0,05$) (Anexo 11C). Finalmente, la ciénaga MQ solo presentó alta correlación positiva entre *M. marcella* con el orden Odonata ($R^2 = 0,84$, $p\text{-value} \leq 0,05$) (Anexo 11D).

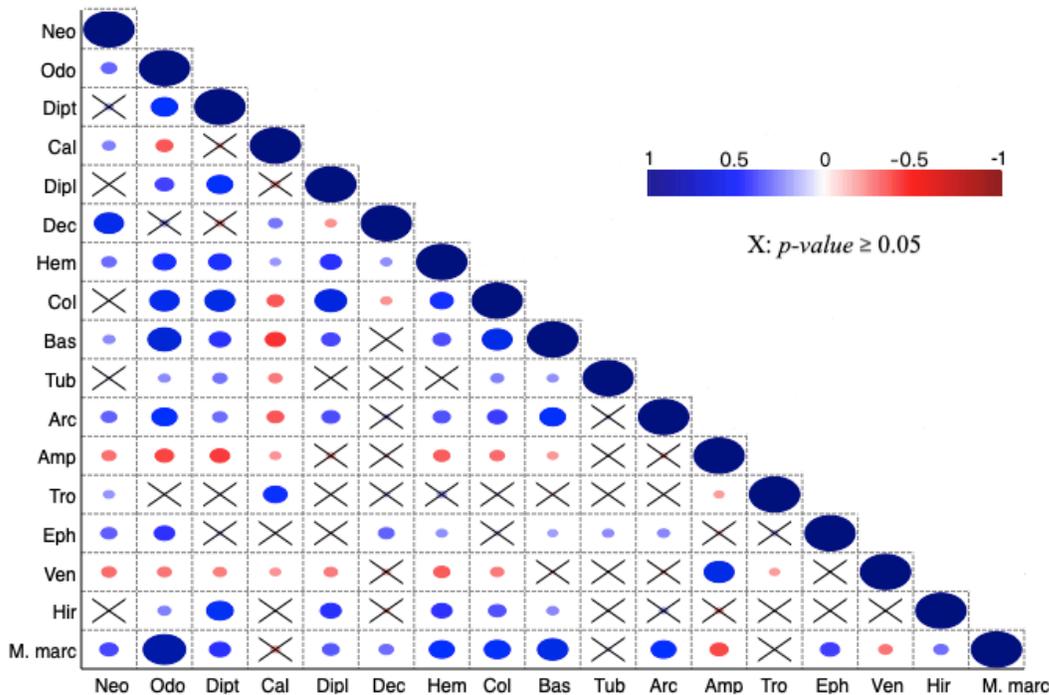


Figura 3.5. Matrix de correlación de Spearman entre la abundancia de los órdenes de macroinvertebrados y la abundancia de *M. marcella* (X: $p\text{-value} \geq 0,05$). Estas correlaciones se basan en el conjunto de datos de todos los muestreos en todas las ciénagas. Neo: Neotaenioglossa. Odo: Odonata. Dipt: Diptera. Cal: Calanoida. Dipl: Diplostraca. Dec: Decapoda. Hem: Hemiptera. Col: Coleoptera. Bas: Basommatophora. Tub: Tubificida. Arc: Architaenioglossa. Amp: Amphipoda, Tro: Trombidiformes. Eph: Ephemeroptera. Ven: Veneroida. Hir: Hirudinida. M.marc: *M. marcella*.

Correlación entre la abundancia de *M. marcella* y la riqueza de macroinvertebrados con la variación temporal

Los test de Mantel indicó que la abundancia de *M. marcella* y los puntos de muestreo se correlacionaron significativamente ($r = 0,35$; $p\text{-valor} < 0,001$); igual ocurrió con la riqueza total y los puntos de muestreo ($r = 0,46$; $p\text{-valor} < 0,001$). Se encontró una correlación más alta entre la riqueza de la época seca con los puntos de muestreo ($r = 0,43$; $p\text{-valor} < 0,001$), en comparación con la riqueza en la época de lluvia ($r = 0,32$; $p\text{-valor} < 0,001$).

3.4 Discusión

Abundancia de *M. marcella*

La abundancia de larvas de *M. marcella* varió entre los humedales muestreados. Los resultados indicaron que la abundancia fue mayor en los humedales con influencia del río Magdalena y en los humedales influenciados hidrológicamente por escorrentía estacional. La menor abundancia se presentó en los humedales con influencia del mar Caribe. La disminución de la abundancia en los humedales con influencia del mar Caribe concuerda con los resultados de [Rychla et al. \(2011\)](#), quienes evaluaron el efecto de la conductividad ($113 - 2620 \mu\text{S cm}^{-1}$) sobre la riqueza y abundancia de especies de libélulas. Los resultados de esa investigación mostraron que no encontraron ninguna especie en conductividad $> 1200 \mu\text{S cm}^{-1}$. Además, concluyeron que la alta conductividad tiene un efecto perjudicial sobre las libélulas. [Gómez-Tolosa et al. \(2015\)](#), señalaron que *M. marcella* es una especie que pueden adaptarse a distintos medios acuáticos. Se ha demostrado que la abundancia del orden Odonata está directamente relacionada con la calidad ambiental y esto se debe a que este orden es sensible a los cambios en el medio ambiente ([Lamprey et al., 2013](#); [Hecca et al., 2018](#)).

Composición de macroinvertebrados

En los sistemas lénticos generalmente se encuentran los órdenes Coleoptera, Diptera, Hemiptera y Odonata ([Batzer y Ruhí, 2013](#); [Rico-Sánchez et al., 2014](#); [Rivera-Usme et al., 2015](#); [Castillo y Huamantico, 2020](#)). Sin embargo, en el presente estudio se adicionaron entre los órdenes más abundantes Neotaenioglossa (moluscos), Diplostraca (crustáceos) y Calanoida (copépodo). En estudios de humedales costeros, los moluscos y copépodos se han encontrado entre los más abundantes ([Suárez-Morales, 2015](#); [Vizcardo y Gil-Kodaka, 2015](#)), lo cual se relaciona con los humedales TM y MQ. Por su parte, el orden Diplostraca es un elemento importante de los cuerpos de aguas temporales y su abundancia depende de la cantidad o frecuencia de las precipitaciones ([Hairston y Kearns et al., 2002](#); [Schwentner et al., 2015](#)), estando asociado con el pulso de inundación de los humedales LL y SG. El aumento del caudal durante los períodos lluviosos tiene una influencia significativa en la carga de sedimentos y nutrientes y esto promueve la rápida colonización de especies adaptadas a este tipo de humedales ([Cid et al., 2017](#)).

Se ha demostrado que la diferencia en la composición de los macroinvertebrados entre humedales se debe a la hidrología, la vegetación acuática, las perturbaciones antropogénicas y la fauna acompañante ([Rico-Sánchez et al., 2014](#); [Vizcardo y Gil-Kodaka, 2015](#); [Castillo y Huamantico, 2020](#)). Las diferencias de la composición entre humedales detectada mediante el NMDS obedece a dichos factores y a la diferencia en el suministro de agua a los humedales (río Magdalena, mar Caribe y escorrentía estacional). [Tonkin et al. \(2017\)](#) y [Guellaf et al. \(2021\)](#) también encontraron cambios estacionales en la composición y estructura de las comunidades de macroinvertebrados debido tanto a las fluctuaciones ambientales como a la estacionalidad y al régimen del caudal.

Relación entre la abundancia de los macroinvertebrados con *M. marcella*

La correlación encontrada entre *M. marcella* y los órdenes Odonata, Coleoptera y Hemiptera se debe a que estos son invertebrados acuáticos con una alta capacidad de dispersión en una gran variedad de hábitats acuáticos. Habitan prácticamente todo tipo de hábitats de agua dulce y salobre, desde los estanques más pequeños hasta lagunas, humedales y arroyos (Abellán et al., 2005), soportando una gran variedad de tensiones ambientales y antropogénicas a diferentes escalas espaciales y temporales (Touaylia et al., 2013; Abdul et al., 2017). Así mismo, la relación entre *M. marcella* con estos órdenes, puede deberse a que probablemente hacen parte de su dieta. Se ha demostrado a través de experimentación, que las larvas de Odonata son caníbales y consumen Coleoptera (Fulan y Anjos, 2015), Basommatophora (Lombardo, 1997; Younes et al., 2015) y Hemiptera (Kondo et al., 2015). Tanto los adultos como las larvas de los odonatos desempeñan un papel importante como depredadores y presas (Corbet, 1999; Samanmali et al., 2018). Es importante evaluar los macroinvertebrados que sirven de alimento a los odonatos, porque la depredación afecta la abundancia de las especies, la dinámica de la población y la estructura de la comunidad (Saha et al., 2009).

Los macroinvertebrados se han utilizado durante mucho tiempo como indicadores del estado ambiental, especialmente en el contexto de la contaminación del agua y la perturbación del hábitat (Chang et al., 2014; Buczynska y Buczynski, 2019). Los órdenes que se relacionan con *M. marcella* responden de manera diferente a dichos factores y perturbaciones. Sin embargo, se consideran tolerantes a la contaminación del agua (Chang et al., 2014; Silva et al., 2020). Los enfoques de evaluación y relaciones entre los macroinvertebrados son importantes herramientas de conservación, dirigidos a evaluar la biodiversidad. La evaluación de las larvas de *M. marcella* tiene como fin proporcionar información de los cambios en su distribución y abundancia a partir de la fauna acompañante. Los estudios que incluyan estimativos de la fauna acompañante de *M. marcella* contribuirán a la comprensión, uso y manejo de los humedales.

3.5 Conclusión

Los valores de abundancia de las larvas de *M. marcella*, junto con la composición de macroinvertebrados, difirieron entre los humedales muestreados. La influencia hidrológica tiene un efecto significativo en esta distribución, ya que su abundancia fue mayor en los humedales influenciados por el río Magdalena, seguidos de los influenciados por drenajes estacionales y con menor abundancia en los humedales influenciados por el mar Caribe. *M. marcella* es una especie que puede adaptarse a diferentes ambientes acuáticos. Se ha demostrado que la abundancia de odonatos está directamente relacionada con la calidad ambiental, debido a la sensibilidad de los miembros de este orden a los cambios ambientales. Las diferencias de composición entre los humedales, como lo indica el NMDS, se sugiere que están mediadas por la hidrología, la vegetación acuática, las perturbaciones antropogénicas y los elementos faunísticos acompañantes, junto con las diferencias en el suministro de agua de los humedales (río Magdalena, mar Caribe o

drenajes estacionales). Debido a su gran diversidad, fácil identificación y alta sensibilidad, las comunidades de odonatos se han utilizado como bioindicadores clave para verificar la integridad ecológica de los ecosistemas acuáticos y evaluar los impactos ambientales a los que están sometidos. Por otro lado, los resultados sugieren que la abundancia de *M. marcella* responde a los grupos de invertebrados que la acompañan, en particular a los órdenes Coleoptera, Basommatophora y Hemiptera. Esta relación puede estar asociada con la importancia de estos órdenes para las dietas de los odonatos. Sin el conocimiento adecuado de la distribución de estos grupos de invertebrados, no es posible orientar los esfuerzos de conservación. Por lo tanto, este tipo de estudios es cada vez más importante para proponer e implementar medidas de conservación efectivas.

4. Composición y estructura de macroinvertebrados y su relación con la diversidad de macrófitas en humedales al Norte de Colombia.

Resumen

Se evaluó la composición y estructura de macroinvertebrados y su relación con la diversidad de macrófitas en seis humedales con diferente influencia hídrica en el Norte de Colombia. Se realizaron mediciones mensuales en 29 puntos de muestreo durante un año y se utilizaron técnicas estandarizadas de colecta de macroinvertebrados, macrófitas y mediciones de variables fisicoquímicas del agua. La conductividad presentó un valor promedio de $4236 \pm 420 \mu\text{S cm}^{-1}$, el oxígeno disuelto de $5,1 \pm 0,1 \text{ mg L}^{-1}$, el pH de $8,2 \pm 0,03$, el amonio de $0,8 \pm 0,1 \text{ mg L}^{-1}$, la alcalinidad de $198 \pm 3,6 \text{ mg L}^{-1}$, la transparencia de $42,1 \pm 1,4 \text{ cm}$, la temperatura de $30,9 \pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ y la profundidad de $85,6 \pm 2,6 \text{ cm}$. Se muestreó un total de 12925 individuos de macroinvertebrados acuáticos. Los órdenes con mayor cantidad de individuos fueron Neotaenioglossa, Odonata, Diptera, Calanoida y Diplostraca. La correlación de Spearman indicó una alta correlación positiva entre el orden Coleoptera y las macrófitas flotantes ($R^2 = 0,73$, $p\text{-value} \leq 0,05$) y entre el orden Odonata y las macrófitas sumergidas ($R^2 = 0,70$, $p\text{-value} \leq 0,05$) y las macrófitas flotantes ($R^2 = 0,72$, $p\text{-value} \leq 0,05$). El Análisis de Componentes Principales indicó una relación entre la alcalinidad y los órdenes Basommatophora, Diptera, Odonata, Coleoptera y las macrófitas flotantes. Del mismo modo, la profundidad, la precipitación, la temperatura, el oxígeno disuelto y el pH se relacionaron con las macrófitas emergentes y con los órdenes Trombidiformes, Decapoda y Neotaenioglossa. En conclusión, los macroinvertebrados se estructuran de acuerdo con parámetros físicos, químicos y biológicos. Adicionalmente, su distribución está fuertemente influenciada por el tipo de macrófita acuática predominante. Esta investigación proporciona información para manejar y preservar humedales palustres del departamento del Atlántico, Colombia.

Palabras clave: insectos acuáticos, vegetación acuática, limnología, humedales tropicales.

Abstract

Composition and structure of macroinvertebrate communities and its relationship under macrophyte diversity were assessed for six wetlands, in northern Colombia. Monthly measurements were conducted at 29 sampling sites during one year. Data collection standardized techniques for water physicochemical variables, macroinvertebrates, and macrophytes were used. A total of 12925 individual aquatic macroinvertebrates was found. The orders with the highest number of individuals were Neotaenioglossa, Odonata, Diptera, Calanoida, and Diplostraca. Spearman correlation coefficients indicated a high positive correlation between coleopterans and floating macrophytes ($R^2 = 0.73$, $p\text{-value} \leq 0.05$) as well as between odonatans and macrophytes, both submerged ($R^2 = 0.70$, $p\text{-value} \leq 0.05$) and floating ($R^2 = 0.72$, $p\text{-value} \leq 0.05$). The CCA results indicated that the environmental characteristics that most influence the abundances of macroinvertebrates of the orders Coleoptera, Diptera, and Basommatophora are depth, alkalinity, and precipitations. Whereas the temperature, the pH, and the transparency influence in a more significant way on the order Hemiptera. Rooted macrophytes show a close relationship with conductivity. In conclusion, Significant relationships were found between floating macrophytes and macroinvertebrates, which can be attributed to a larger cover of this plant biotype in the sampled wetlands. This research contributes to the understanding and management of wetlands in the Colombian Caribbean, and to generate knowledge on the preservation of associated biological diversity.

Keywords: aquatic insects, macrophyte, limnology, tropical wetlands.

4.1 Introducción

Los humedales se consideran zonas de gran productividad y biodiversidad ([Abd Hamid et al., 2021](#)) capaces de proveer variados servicios ecosistémicos, como la producción de alimentos, la recreación y la disponibilidad de hábitat para muchos organismos; además, brindan funciones paisajísticas, contribuyen a la regulación hídrica y mitigan el cambio climático gracias a que actúan como sumideros de dióxido de carbono y de otros gases de efecto invernadero ([Lenis, 2019](#)). Del mismo modo, se encuentran entre los ambientes más amenazados del planeta debido a factores como el cambio climático y las múltiples presiones que ejerce el hombre sobre ellos, debido a actividades como la extracción de recursos naturales, la minería, la contaminación y las alteraciones en el paisaje para la urbanización y la industrialización ([Malmqvist yf Rundle, 2002](#); [Vörösmarty et al., 2010](#); [WWF, 2016](#); [Shanafiel et al., 2021](#)).

En Colombia, los humedales se han reconocido como sistemas estructurantes del territorio por su integridad ecológica, su biodiversidad y los servicios ecológicos y socioeconómicos asociados, mediante la Ley 357 de 1997, en la que se ratificó la Convención Ramsar de 1971. En este sentido, se han definido los humedales como extensiones de marismas, pantanos, turberas o aguas de régimen natural o artificial de baja profundidad, que pueden ser permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas

(Senhadji-Navarro et al., 2017). A pesar de lo anterior, las investigaciones de diversos autores dejan ver que el estado ecológico de los humedales es crítico y que los principales y más frecuentes problemas que los afectan son los procesos urbanísticos, el vertimiento de aguas residuales, la actividad agrícola, el vertimiento de residuos sólidos, la contaminación hídrica, los cambios en la dinámica hídrica, la sequía, la aparición de especies invasoras, la pérdida de fauna y flora, la pérdida de la biodiversidad y la anoxia en el humedal (Senhadji-Navarro et al., 2017; Shanafiel et al., 2021), las cuales, de no ser atendidas, pueden generar cambios irreversibles en el ambiente.

La biodiversidad y los patrones de distribución de las comunidades biológicas son afectados directamente por la estructura física y la heterogeneidad de los ecosistemas acuáticos. Es por ello que el interés en la restauración de los cuerpos de agua ha ido en aumento. Las investigaciones en cuanto a la mitigación de los efectos nocivos percibidos se han enfocado en proponer la implementación de caudales ambientales que ayuden a mantener la cantidad, el tiempo y la calidad del flujo que requieren los ecosistemas acuáticos para sostenerse (Acreman et al., 2009; Poff y Zimmerman, 2010; Horne et al., 2017); modificar la morfología estructural de los hábitats (Pander et al., 2019); determinar los elementos del hábitat y del paisaje requeridos para mantener las especies (Lepcsyk et al., 2017); estudiar las variaciones espaciales y temporales de la fauna susceptible a cambios (Mola y Gawad, 2014); comparar factores locales y de paisaje en la estructura de los ecosistemas (Perron et al., 2021); y hacer seguimiento a bioindicadores como las macrófitas acuáticas y los macroinvertebrados para entender cómo afectan los cambios en el ecosistema a la biodiversidad (Chambers et al., 2007; Walker et al., 2013; El-Sheekh et al., 2018; Zelnik et al., 2018; Shutoh et al., 2019; Son et al., 2021; Oszkinis-Golon et al., 2021; Vilenica et al., 2022).

Las macrófitas son elementos estructurales claves que sustentan la diversidad y la disponibilidad de hábitats en los humedales y proveen información sobre el estado y disponibilidad de los servicios ecosistémicos (El-Sheekh et al., 2018; Hilt et al., 2021). Las macrófitas proporcionan un importante sustrato para el perifiton y sirven de hábitat y refugio para los peces, los macroinvertebrados y otros organismos (Bowden et al., 2017). Estas plantas acuáticas aportan a la estabilización de sedimentos y son filtros naturales de los contaminantes, aunque su presencia en exceso puede llegar a ocasionar afecciones en la calidad del agua (Abd Hamid et al., 2021). Desde el punto de vista científico se han evaluado las relaciones de las macrófitas con otros organismos y se ha demostrado que las macrófitas contribuyen a disminuir la actividad de depredadores y aumentan la diversidad de organismos jóvenes (Kuczyńska-Kippen y Joniak, 2016).

Por otro lado, los macroinvertebrados son animales que habitan en el sustrato de ecosistemas acuáticos, contribuyen a la descomposición de la materia orgánica, participan en el reciclaje de nutrientes, cumplen un papel importante en las redes tróficas y de transferencia de energía y brindan una comprensión precisa de los cambios en las condiciones del agua (Mola y Gawad, 2014). Algunos de los impactos ambientales que alteran la comunidad de macroinvertebrados son la contaminación del agua, la

eutrofización, las alteraciones morfológicas del hábitat, las alteraciones en el régimen del caudal, la presencia de especies invasoras y los cambios en el bosque de ribera (Fernández, 2012). Las comunidades de macroinvertebrados se estructuran de acuerdo con parámetros físicos, químicos y biológicos que definen a cada hábitat, pero además se ha demostrado que su distribución está fuertemente influenciada por el tipo de vegetación predominante, específicamente de macrófitas acuáticas (Walker et al., 2013). Considerando lo anterior, la presente investigación evaluó algunos aspectos ecológicos relacionados con la composición y estructura de macroinvertebrados y la diversidad de macrófitas en seis humedales en el Norte de Colombia con diferente influencia hídrica. Específicamente: (i) se determinó la composición y estructura de comunidades de macroinvertebrados; (ii) se analizó la diversidad de macrófitas acuáticas; (iii) se determinaron las relaciones entre la composición y estructura de macroinvertebrados y la diversidad de macrófitas; y (iv) se relacionó la diversidad de macroinvertebrados y macrófitas encontrados con las principales variables ambientales de la zona de estudio.

4.2 Métodos

Fase de campo

Variables fisicoquímicas del agua

Se realizaron mediciones mensuales de las variables fisicoquímicas en cada uno de los puntos muestreados de seis ciénagas del departamento del Atlántico (Figura 1.1). Dentro de las variables físicas se midieron *in situ* la conductividad ($\mu\text{S cm}^{-1}$), la temperatura ($^{\circ}\text{C}$), el oxígeno disuelto (DO, mg L^{-1}) y el pH con una sonda Multiparameter Hanna, model HI98199. Así mismo, se midió la transparencia (cm) empleando un disco Secchi. Dentro de las variables químicas se monitoreó *in situ* el amonio ($\text{mg NH}_4 \text{L}^{-1}$) por medio de un kit colorimétrico Aquamerck 0,5 – 10 $\text{mg L}^{-1} \text{NH}_4^+$ y la alcalinidad ($\text{mg CaCO}_3 \text{L}^{-1}$) empleando titulación con un kit Mol Labs, 0-500 $\text{mg L}^{-1} \text{CaCO}_3$.

Colecta y conservación de macroinvertebrados

Se realizaron muestreos mensuales de macroinvertebrados en los puntos establecidos de muestreo y se utilizaron técnicas estandarizadas de colecta de macroinvertebrados (Roldán, 1992; Correa-Araneda, 2016). El tipo de diseño muestral empleado fue probabilístico con selección aleatoria de las muestras en cada punto de muestreo. Los macroinvertebrados asociados a las macrófitas se colectaron con una red circular con diámetro de 40 cm, red cónica de 65 cm con malla de 250 μm y mango de metal de 90 cm de largo (número de aprobación de la fase de campo: 00594, Autoridad de Licencias Ambientales de Colombia [ANLA]). El método de colecta se estandarizó para todos los puntos de muestreo así: 5 min en un área de 1 m^2 (Correa-Araneda et al., 2021; Cortés-Guzmán et al., 2021). Las muestras se depositaron en bolsas de plástico resellables con alcohol al 70% y se rotularon con los respectivos datos de campo para realizar su separación en el laboratorio.

Muestreo de macrófitas acuáticas

En cada punto de muestreo (Figura 1.1) se lanzó una cuerda de 10 m de largo, desde el agua hasta el borde del humedal (Shutoh et al., 2019); sobre el transecto, se realizaron cinco cuadrantes de 50 cm x 50 cm distribuidos cada dos metros, donde se identificaron las especies acuáticas y se estimó la cobertura de cada macrófitas con respecto al área muestreada (Matteucci y Colma, 1982; Kent y Coker, 1992).

Fase de laboratorio

Identificación y conservación de macroinvertebrados

Se cuantificó la fauna encontrada en cada punto de muestreo y se identificó hasta el menor grupo taxonómico posible con claves taxonómicas (Gaviria, 1993; Springer, 2010; Cómbita-Heredia, 2013; Campos, 2014; Prat et al., 2014; Aristizábal-García, 2017; Laython, 2017; Hamada et al., 2018; Linares et al., 2018; Damborenea et al., 2020; González-Córdoba et al., 2020). El material colectado en cada uno de los puntos se depositó en bandejas plásticas y se lavó con agua para realizar la separación de la fauna con pinzas entomológicas. Los macroinvertebrados se depositaron en viales con alcohol al 70% rotulados con los datos de campo.

Identificación y conservación de macrófitas

Para cada especie se registró su forma de vida según el sistema de Sculthorpe (1967): emergente, flotante (enraizadas y libres), sumergidas y enraizadas. La determinación de los ejemplares se realizó mediante revisión de literatura botánica especializada (Bernal et al., 2019). Además, las identificaciones se confirmaron mediante consulta con especialistas y comparaciones con reportes en el departamento del Atlántico del catálogo de Plantas y líquenes de Colombia (Bernal et al., 2019).

Información adicional: variables ambientales

Los registros de precipitación (mm) de 2013-2014 se obtuvieron del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM, <http://www.ideam.gov.co/>) a través, de las estaciones climatológicas más cercanas a los humedales muestreados (Hibacharo, E. Cortissoz y Flores).

Análisis de los datos

Con la información obtenida de los análisis de laboratorio, se estimó la frecuencia de la comunidad de macroinvertebrados a nivel de familia y se realizó un gráfico de barras apiladas porcentuales. La diversidad de la comunidad se cuantificó utilizando el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H) (Shannon, 1948), el índice de uniformidad de Pielou (J) (Pielou, 1969) y la riqueza taxonómica (S, número de taxones en la muestra) (Bobrowsky y Ball, 1989). Adicionalmente, se analizó la diversidad de macrófitas acuáticas. En este

sentido, la riqueza (S) estuvo representada por el número total de especies en cada humedal. Se utilizaron los estimadores de riqueza Chao2 (Chao, 1987) y Jackknife (Heltshe y Forrester, 1983) mediante matrices de presencia/ausencia y replicas usando Bootstrap (Colwell, 2019). En todos los casos, los índices de diversidad y los estimadores de riqueza se calcularon con el software EstimateS, 9.1.0 (Colwell, 2019). Se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Por otro lado, con todos los datos en conjunto se estimó la relación entre los órdenes de macroinvertebrados (abundancia total) con la diversidad de macrófitas a través de un análisis de correlación de Spearman. Las variables ambientales se estandarizaron con el método z-score. Finalmente, se realizó un análisis de correspondencia canónica (ACC) para analizar la relación entre la abundancia de macroinvertebrados y macrófitas con las principales variables ambientales. Los análisis de ACC y la correlación de Spearman se realizaron utilizando el paquete “vegan” y el software R (R Core Team, 2020).

4.3 Resultados

Variables ambientales y fisicoquímicas del área de estudio

La precipitación presentó dos períodos de lluvias (agosto-noviembre y mayo). Durante el año muestreado la mayor precipitación fue en el trimestre agosto-octubre. En el año 2014 se reportó el fenómeno de El Niño con temporadas secas y bajos volúmenes de lluvia, con lo cual algunos puntos de muestreo se encontraron con bajo nivel de agua o secos entre febrero y junio. La climatología de la zona de estudio está regulada por los vientos alisios del norte y noreste. Por consiguiente, el balance hídrico presentó un déficit global, donde las pérdidas por evapotranspiración fueron mayores que las precipitaciones.

En cuanto a las variables fisicoquímicas del agua, la conductividad presentó fluctuaciones entre 346 y 37900 $\mu\text{S cm}^{-1}$, con un valor promedio de $4236 \pm 420 \mu\text{S cm}^{-1}$. El rango de oxígeno disuelto (DO) fue de 0,25 – 14,68 mg L^{-1} , con un valor promedio de $5,1 \pm 0,1 \text{ mg L}^{-1}$. El pH osciló entre 6,99 y 9,98, con un valor promedio de $8,2 \pm 0,03$. El amonio presentó un rango entre 0 y 10 mg L^{-1} , con un valor promedio de $0,8 \pm 0,1 \text{ mg L}^{-1}$. La alcalinidad varió entre 40 y 380 mg L^{-1} , con un valor promedio de $198 \pm 3,6 \text{ mg L}^{-1}$. Los valores de transparencia variaron entre 7 y 122 cm, con un valor promedio $42,1 \pm 1,4 \text{ cm}$. La temperatura superficial del agua varió entre 24,1 y 38,5 °C, con un valor promedio de $30,9 \pm 0,1 \text{ °C}$. La profundidad osciló entre 0 y 223 cm (valor promedio $85,6 \pm 2,6 \text{ cm}$). Para la profundidad, los valores de cero correspondieron a puntos que se secaron por efecto de la dinámica de las ciénagas en períodos prolongados de sequía.

Composición y estructura de macroinvertebrados

Se muestreó un total de 12925 individuos de macroinvertebrados acuáticos, distribuidos en 9 clases, 25 ordenes, 59 familias y 117 unidades taxonómicas operativas (OTU), identificadas la mayoría a nivel de género y especie. Arthropoda fue el phylum más dominante (75%), mientras que Mollusca (20%) y Annelida (5%) presentaron los porcentajes más bajos. Los órdenes más diversos fueron Coleoptera, Hemiptera, Odonata

y Diptera. Mientras que los órdenes con mayor cantidad de individuos fueron Neotaenioglossa, Odonata, Diptera, Calanoida y Diplostraca, con 3349, 1909, 1334 1056 y 937 individuos, respectivamente (Anexo 12).

A nivel general la familia con mayor número de individuos fue Cochliopidae (Gastropoda) con un 17 %, seguida de Libellulidae (Odonata) con un 11 %, y Diaptomidae (Maxillopoda), Thiaridae (Gastropoda), Chironomidae (Diptera) con un 8 % cada una. Sin embargo, se encontraron diferencias en las familias dominantes al comparar los humedales según la influencia hidrológica (Figura 4.1).

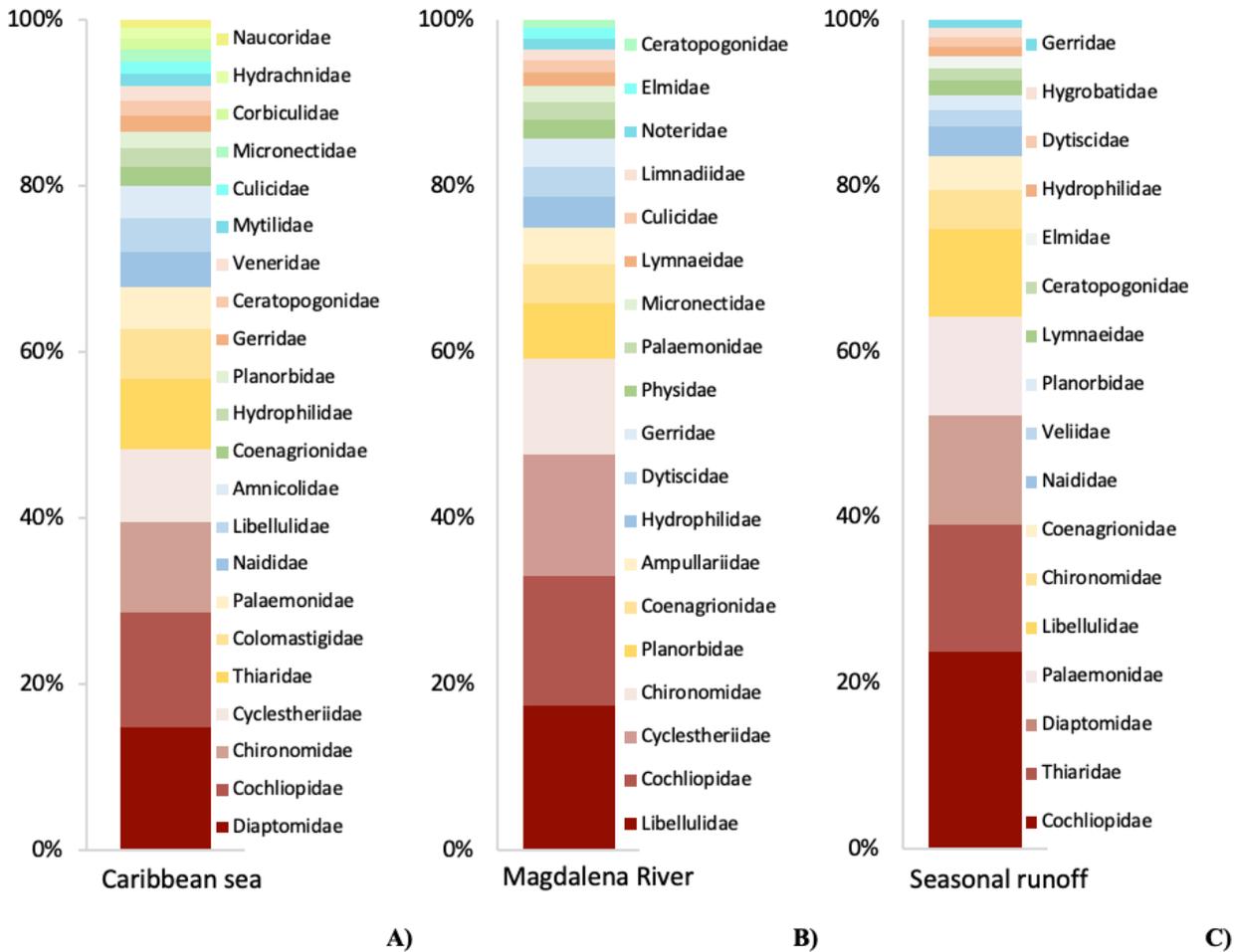


Figura 4.1. Abundancia de las familias de macroinvertebrados distribuidas según la influencia hidrológica (excluidas familias con porcentajes menor a 1%) A) Mar Caribe, B) Río Magdalena, C) Escorrentía estacional.

Se presentaron variaciones en la abundancia e índices de diversidad de los macroinvertebrados entre los humedales muestreados; la mayor riqueza se presentó en los humedales con influencia del río Magdalena (SG: 56 taxones; LL: 58 taxones) y la más baja en el humedal Mallorquín (MQ: 31 taxones). El índice de diversidad de Shannon-Wiener (H)

fue mayor en los humedales con influencia hidrológica del río Magdalena (SG y LL), mientras que el índice de Pielou (J) indicó que las abundancias fueron semejantes en TM, SG y LU (Figura 4.2).

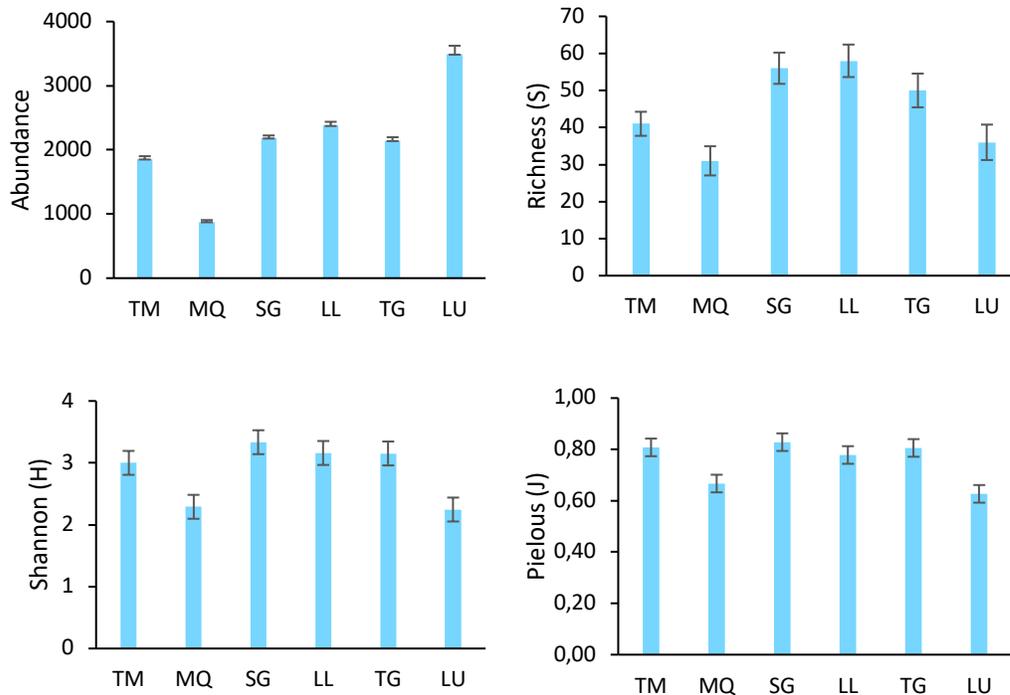


Figura 4.2. Abundancia, riqueza (S), índice de diversidad (H) y el índice de Pielou (J) de los macroinvertebrados en los humedales muestreados (media \pm error estándar). TM: Humedal Totumo; MQ: Humedal Mallorquín; SG: Humedal Sabanagrande; LL: Humedal Larga-Luisa; TG: Humedal Tocagua; LU: Humedal Luruaco.

Diversidad de macrófitas

Se registró un total de 37 especies, distribuidas en las clases Charophyceae, Magnoliopsida y Polypodiopsida, 24 familias y 31 géneros. Las familias con más riqueza fueron Araceae, Cyperaceae y Poaceae. De acuerdo con su biotopo, las macrófitas enraizadas representaron el 38%, las flotantes el 32%, las emergentes el 16% y las sumergidas el 14%. Las especies *Neptunia oleracea* e *Hydrocotyle umbellata* presentan diferentes biotopo según la época climática. En la Tabla 4.1 se incluyeron algunas herbáceas y arbustos que se encontraron en la zona de inundación de los humedales. La mayor riqueza se presentó en el humedal LL con 19 especies, seguido de los humedales TM y TG con 15 especies. El humedal MQ presentó la menor riqueza con 9 especies. Según el estimador de riqueza Chao2, se esperan encontrar 37 especies y según el estimador Jackknife, 40 especies.

Tabla 4.1. Macrófitas acuáticas encontradas en los humedales muestreados. Biotopos: sumergida (S), flotante libre (F), Emergente (E), Enraizada (R). “x”: indica presencia de la especie.

Familia	Especie	Ciénaga						Biotopo
		TM	MQ	SG	LL	TG	LU	
Characeae	<i>Chara</i> sp.						x	S
Acanthaceae	<i>Avicennia germinans</i>		x					R
Alismataceae	<i>Sagittaria lancifolia</i>				x			E
Araceae	<i>Lemna aequinoctialis</i>	x		x	x	x		F
	<i>Lemna valdiviana</i>				x			F
	<i>Pistia stratiotes</i>			x	x	x		F
	<i>Wolffia</i> sp.	x						F
Araliaceae	<i>Hydrocotyle umbellata</i>				x			F, E
Asteraceae	<i>Pacourina edulis</i>			x	x	x		R
Cabombaceae	<i>Cabomba aquatica</i>				x			S
Combretaceae	<i>Conocarpus erectus</i>	x						R
	<i>Laguncularia racemosa</i>	x	x					R
Convolvulaceae	<i>Ipomoea aquatica</i>	x		x	x	x	x	F
	<i>Ipomoea carnea</i>			x	x			R
Cyperaceae	<i>Cyperus articulatus</i>	x					x	R
	<i>Cyperus odoratus</i>					x	x	R
	<i>Eleocharis filiculmis</i>	x				x	x	E
	<i>Eleocharis mutata</i>					x	x	E
Fabaceae	<i>Neptunia oleracea</i>	x		x	x	x		F, R
Hydrocharitaceae	<i>Hydrilla verticillata</i>	x						S
	<i>Najas arguta</i>			x	x	x		S
Lentibulariaceae	<i>Utricularia foliosa</i>				x	x		S
Nymphaeaceae	<i>Nymphaea ampla</i>	x			x			E
	<i>Nymphaea jamesoniana</i>				x			E
Onagraceae	<i>Ludwigia helminthorrhiza</i>			x	x		x	F
Poaceae	<i>Echinochloa polystachya</i>		x	x		x	x	R
	<i>Hymenachne amplexicaulis</i>	x						E
	<i>Leersia hexandra</i>	x	x				x	R
	<i>Paspalum distichum</i>	x	x				x	R
	<i>Paspalum repens</i>		x	x		x	x	R
	<i>Urochloa mutica</i>			x			x	R
Pontederiaceae	<i>Eichhornia crassipes</i>		x	x	x	x		F
Rhizophoraceae	<i>Rhizophora mangle</i>		x					R
Typhaceae	<i>Typha domingensis</i>	x	x			x	x	R
Azollaceae	<i>Azolla filiculoides</i>				x			F
Pteridaceae	<i>Ceratopteris pteridoides</i>				x			F
Salviniaceae	<i>Salvinia auriculata</i>	x		x	x	x		F

Las especies con mayor porcentaje de cobertura fueron *Eichhornia crassipes*, con una cobertura total del 33% y distribución principalmente en los humedales SG y LL con influencia del río Magdalena, *Typha domingensis* con una cobertura total del 12% y mayor distribución en LU, *Ipomoea aquatica* con un 9,2 % y amplia distribución; y *Laguncularia racemosa* con un 8,7 %, distribuida en los humedales TM y MQ con influencia del mar Caribe (Figura 4.3).

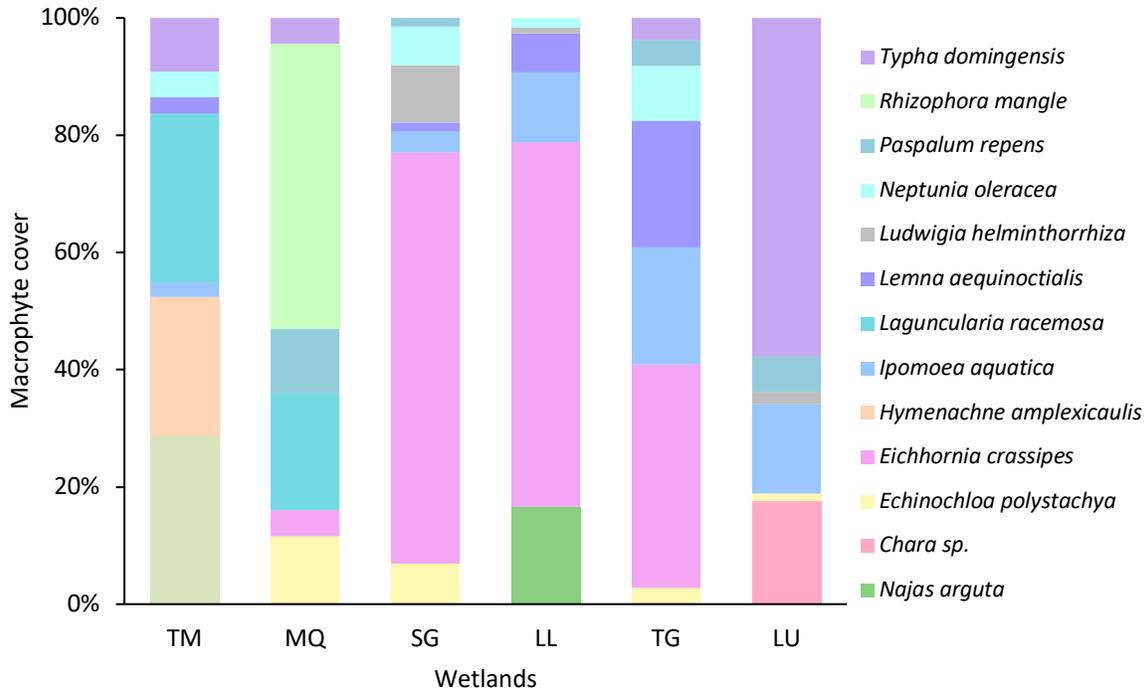


Figura 4.3. Cobertura total de las macrófitas acuáticas en los seis humedales muestreados. Se excluyeron las especies con cobertura menor al 2%.

Relación entre la composición y estructura de macroinvertebrados y la diversidad de macrófitas

La correlación de Spearman indicó correlaciones estadísticamente significativas entre algunas de las variables analizadas ($p\text{-value} \leq 0,05$). Una alta correlación positiva se observó entre el orden Coleoptera y las macrófitas flotantes ($R^2 = 0,73$, $p\text{-value} \leq 0,05$), entre Odonata y las macrófitas sumergidas ($R^2 = 0,70$, $p\text{-value} \leq 0,05$) y las macrófitas flotantes ($R^2 = 0,72$, $p\text{-value} \leq 0,05$) y entre Basommatophora y las macrófitas flotantes ($R^2 = 0,60$, $p\text{-value} \leq 0,05$). Así mismo, se presentó una alta correlación negativa entre los órdenes Odonata, Basommatophora y las macrófitas enraizadas ($R^2 = -0,78$, $p\text{-value} \leq 0,05$ y $R^2 = -0,62$, $p\text{-value} \leq 0,05$ respectivamente) (Tabla 4.2).

Tabla 4.2. Matrix de correlación de Spearman entre los órdenes con mayor riqueza y los biotopos de macrófitas en los humedales muestreados.

Variable	Col.	Dip.	Hem.	Odo.	Dec.	Bas.	Neo.	Tro.	Ven.	M.Sub	M.Flo	M.Eme	M.Roo
	<i>p - value</i>												
Col.		<0,001	<0,001	<0,001	0,02	<0,001	0,81	0,36	0,01	<0,01	<0,001	0,13	<0,001
Dip.	0,59		<0,001	<0,001	0,06	<0,001	0,08	0,44	0,01	0,29	<0,001	<0,001	<0,001
Hem.	0,45	0,44		<0,001	0,02	<0,01	<0,01	0,07	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01	<0,001
Odo.	0,58	0,52	0,45		0,07	<0,001	<0,01	0,55	<0,01	<0,001	<0,001	0,75	<0,001
Dec.	-0,21	-0,18	0,22	0,17		0,56	<0,001	0,19	0,08	<0,001	0,01	0,18	0,71
Bas.	0,59	0,42	0,34	0,65	0,05		0,01	0,35	0,32	<0,001	<0,001	0,21	<0,001
Neo.	0,02	0,17	0,29	0,30	0,57	0,23		0,02	<0,01	<0,001	0,93	0,17	0,03
Tro.	0,09	0,07	0,17	0,06	0,12	-0,09	0,21		0,04	0,92	0,51	<0,001	0,35
Ven.	-0,26	-0,25	-0,32	-0,27	-0,16	-0,09	-0,28	-0,19		0,00	0,00	0,00	<0,01
M.Sub	0,28	0,10	0,31	0,70	0,43	0,53	0,48	0,01	-0,26		<0,001	0,06	<0,001
M.Flo	0,73	0,56	0,41	0,72	-0,23	0,60	0,01	-0,06	-0,29	0,54		0,34	<0,001
M.Eme	0,14	0,42	0,33	0,03	-0,13	-0,12	0,13	0,37	-0,28	-0,18	0,09		0,33
M.Roo	-0,59	-0,38	-0,39	-0,78	-0,04	-0,62	-0,20	0,09	0,29	-0,82	-0,91	0,09	

Col: Coleoptera, Dip: Diptera, Hem: Hemiptera, Odo: Odonata, Dec: Decapoda, Bas: Basommatophora, Neo: Neotaenioglossa, Tro: Trombidiformes, Ven: Veneroida, M.Sub: macrófitas sumergidas, M.Flo: macrófitas flotantes, M.Eme: macrófitas emergentes, M.Roo: macrófitas enraizadas.

Relación entre la diversidad de macroinvertebrados y macrófitas con las principales variables ambientales de la zona

El ACC utilizó como variables independientes las variables fisicoquímicas del agua y como variable dependiente la abundancia de los principales órdenes de macroinvertebrados y los biotipos de las macrófitas. Los resultados indicaron que las variables ambientales que más se relacionan con las abundancias de macroinvertebrados de los órdenes Coleoptera, Diptera y Basommatophora son la profundidad, la alcalinidad y la precipitación. Mientras que la temperatura, el pH y la transparencia influyen de manera más significativa en el orden Hemiptera. Los macrófitas enraizados muestran una estrecha relación con la conductividad (Figura 4.4).

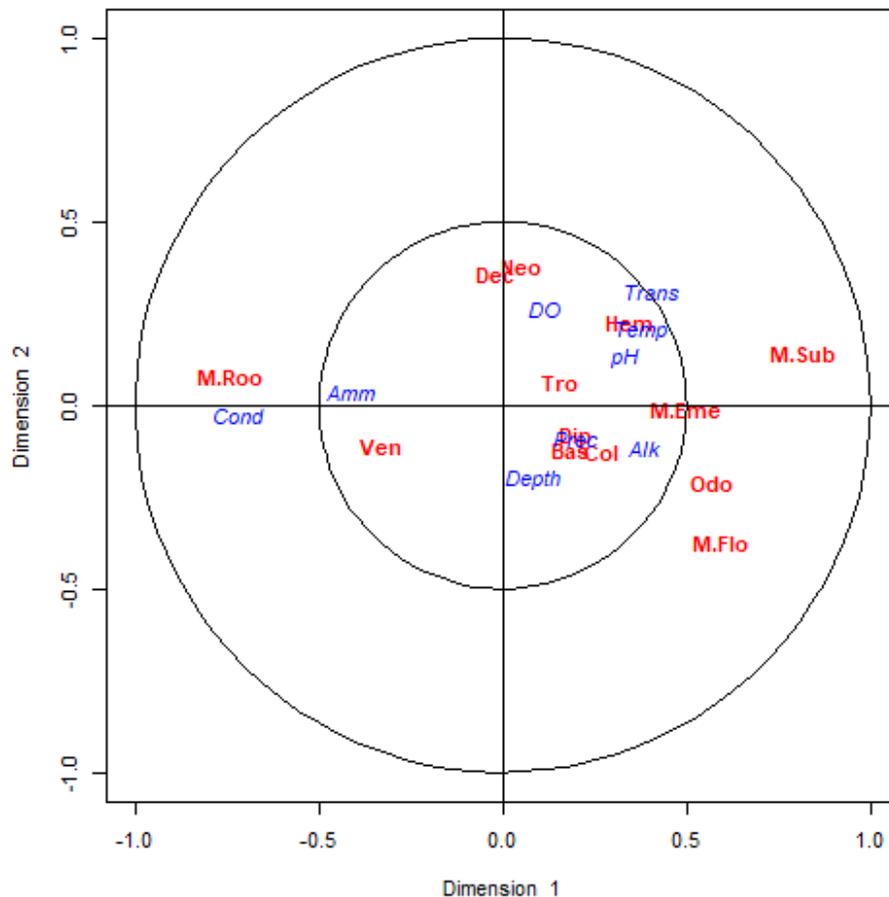


Figura 4.4. Análisis de correspondencia canónica (ACC) entre la abundancia de los órdenes de macroinvertebrados (Col: Coleoptera, Dip: Diptera, Hem: Hemiptera, Odo: Odonata, Dec: Decapoda, Bas: Basommatophora, Neo: Neotaenioglossa, Tro: Trombidiformes, Ven: Veneroida), la abundancia de las macrófitas (M.Sub: macrófitas sumergidas, M.Flo: macrófitas flotantes, M.Eme: macrófitas emergentes, M.Roo: macrófitas enraizadas) y las principales variables ambientales del área de estudio (Cond: conductividad, Temp: temperatura, DO: oxígeno disuelto, Trans: transparencia, Amm: amonio, Alk: alcalinidad).

4.4 Discusión

Variables ambientales del área de estudio

Los resultados de la precipitación en la zona de estudio son típicos de la región Caribe, donde se generan épocas climáticas de meses lluviosos y secos con una regularidad intra-anual, que puede variar de acuerdo a las condiciones de la época. El régimen de distribución de la precipitación es bimodal con dos períodos de lluvia entre mayo - junio, y entre agosto - noviembre, alternados con un período seco comprendidos entre diciembre - abril y un período de transición, con baja precipitación entre junio y julio conocido como “Veranillo de San Juan”. La precipitación aumenta de norte a sur, al igual que la humedad, debido a la evaporación del agua de las ciénagas y a la dirección e intensidad de los vientos (Sarmiento-Devia et al., 2013; Dagua et al., 2018).

Los meses de mayores precipitaciones están relacionados con los de mayor temperatura ambiental. Este comportamiento, según Vázquez y Castro (2017), está directamente relacionado por la acción de aumento de las temperaturas que incentivan los movimientos ascendentes del aire y con ello la formación de nubes y la permanencia del vapor de agua en la atmósfera en mayores cantidades, lo que incluye la disminución del viento, generando así precipitaciones más fuertes en el área. Otra característica importante de la temperatura ambiental en el departamento del Atlántico es que a medida que nos alejamos del mar las temperaturas son más altas y aumenta la amplitud de las mismas (Angulo, 1954).

Los vientos alisios del noreste son los más influyentes en el área de estudio, con una dirección predominante del norte (Andrade, 2001). Se ha demostrado que los cambios estacionales en la magnitud y dirección del viento provocan cambios a gran escala en la circulación de los humedales tropicales (Torres-Bejarano et al., 2020). La dirección del viento influye sobre las propiedades fisicoquímicas del agua (Panda et al., 2015) y el movimiento de las macrofitas acuáticas flotantes.

Según los reportes de Roldán y Ramírez (2008) sobre las variables fisicoquímicas en humedales en regiones tropicales, los valores de amonio y pH presentaron promedios dentro de lo esperado, pero la alcalinidad y la conductividad presentaron valores promedio por encima de los reportados. Los humedales presentan pocas profundidades y variaciones diarias de temperatura ambiente mayores que las del agua, lo que ocasiona un amplio espectro de temperaturas en el agua por la entrada de energía calórica. Las concentraciones de OD están influenciados por la temperatura y por las poblaciones densas de macrófitas (Vilas et al., 2017; Rameshkumar et al., 2019). La transparencia está influenciada por la precipitación, debido a la tendencia de disminuir en los meses secos y aumentar en los meses lluviosos; también se asume el efecto de los vientos porque aumentan la resuspensión de sólidos en la columna de agua. Otros factores son el aumento de la materia orgánica y los nutrientes provenientes de fuentes alóctona y autóctonas (Sarmiento, 2017).

Composición y estructura de macroinvertebrados

La familia Cochliopidae fue la más abundante en este estudio; corresponde a caracoles considerados abundantes en todo el mundo (Koch et al., 2015). La familia Libellulidae también se ha registrado entre las familias más abundantes en estudios de biodiversidad de macroinvertebrados acuáticos por Dalu et al. (2017), Lamelas-López et al. (2021) y Oppong et al. (2021). A nivel mundial, la familia de libélulas más diversa es Libellulidae, con aproximadamente 1037 especies descritas (Dijkstra et al., 2013). La alta abundancia de la familia Diptomidae (Maxillopoda) se debe a que los copépodos se encuentran entre los micro crustáceos más diversos en los hábitats acuáticos; son abundantes en los ecosistemas de agua dulce y pueden ser un componente importante de la mayoría de las comunidades planctónicas y bentónicas (Boxshall y Defaye, 2008). Por otro lado, al comparar los resultados con estudios en el departamento del Atlántico, las familias Thiaridae (Gastropoda) y Chironomidae (Diptera), concordaron con los registros de mayor abundancia descritos por Castellanos et al. (2017).

La mayor riqueza y diversidad de Shannon-Wiener (H) en los humedales con influencia del río Magdalena (SG y LL), está relacionado con que son áreas de alta productividad biológica; las zonas de inundación son zonas de alta productividad por depositos de nutrientes durante la época de altos niveles del agua (Roldán y Ramírez, 2008). La productividad de estos cuerpos de agua y la dinámica de las comunidades hidrobiológicas están relacionadas con el ciclo hidrológico. Durante la época de lluvias se produce la fertilización de las aguas por el aporte de una gran cantidad de nutrientes y sedimento por parte del río Magdalena y por la extensión del espejo de agua (Torres-Bejarano et al., 2020). Durante la época seca se aprovechan los nutrientes atrapados por la vegetación acuática, la fauna asociada, el bentos y los sedimentos durante el período de lluvia, lo cual disminuye las concentraciones de los nutrientes en el agua (Pinilla y Duarte, 2006). Con el índice de Pielou, se infiere que en los humedales MQ y LU las especies presentan abundancias diferentes porque corresponden a lagunas costeras y la relación con el mar Caribe ejerce una influencia diferente en la composición de sus macroinvertebrados.

Diversidad de macrófitas

La vegetación acuática encontrada es típica de sistemas lénticos dulceacuícolas, los cuales se ven afectados por los niveles de inundación, con variaciones en MQ y TM con presencia de especies tolerantes a altos niveles de conductividad del agua. Las diferencias en la riqueza de macrofitas en los humedales se relaciona con el área del litoral, sus condiciones topográficas y el estado de eutrofización del agua. Normalmente, los lagos muy eutroficados con litorales poco profundos son los medios más adecuados para el desarrollo de extensas zonas de vegetación acuática (Pinilla y Duarte, 2006).

La vegetación acuática mantiene una relación con el ciclo hidrológico y es fundamental en los procesos ecológicos de gran importancia para los cuerpos hídricos, al ser parte de la cadena trófica y aportar materia orgánica al sistema (Roldán, 1992). Las macrofitas sumergidas y flotantes dependen de un buen nivel de agua, por lo que se ven reducidas

durante la época seca. Dependiendo de la época climática se desarrollan diferentes comunidades (Pinilla y Duarte, 2006). En época de lluvias se encontró *Eichhornia crassipes* en MQ, la cual entra al humedal por los canales que la conectan con el río Magdalena y por el arroyo León, pero no tolera las altas concentraciones salinas, lo cual afecta su desarrollo. *E. crassipes* es la especie que presenta mayor cobertura en SG y LL, posiblemente por su amplia tolerancia a distintas condiciones del medio (You et al., 2014).

Relación entre la composición y estructura de macroinvertebrados y la diversidad de macrófitas

Las comunidades de plantas acuáticas desempeñan un papel primordial en los ecosistemas lénticos, ya que constituyen el mayor aportante de materia orgánica a las aguas y generan un hábitat que alberga una variada y abundante fauna asociada. Los macroinvertebrados comprenden un grupo comúnmente encontrado en ecosistemas acuáticos continentales asociado con las macrófitas (Ferreiro, 2014; da Silva y Henry, 2019).

Se encontraron correlaciones entre las macrófitas flotantes y los órdenes de macroinvertebrados, lo cual se relaciona con que tienen mayor superficie de colonización. Algunos estudios han demostrado que la biomasa y el volumen de las raíces de las macrófitas se correlacionan positivamente con la riqueza y abundancia de los macroinvertebrados acuáticos (Lopes et al., 2011; Pierre y Kovalenko, 2014; Saulino y Trivinho-Strixino, 2014). El orden Odonata se encuentra correlacionado con las macrófitas flotantes, sumergidas y enraizadas. En otros estudios las comunidades de macroinvertebrados estaban dominadas por insectos acuáticos, y Odonata se registró como uno de los órdenes más abundantes (Diarra et al., 2018). La alta correlación entre el orden Coleoptera y las macrófitas flotantes puede deberse a que algunos géneros son habitantes comunes de hábitats lénticos, especialmente asociados con las macrófitas, o porque prosperan en el sedimento de humedales poco profundos (Jäch y Balke, 2008). El orden Basommatophora se correlacionó con las macrófitas flotantes y enraizadas. Martínez-Rodríguez y Pinilla (2015) realizaron muestreos en *E. crassipes* en humedales al norte de Colombia y encontraron que dicho orden fue uno de los más representativos en cuanto a abundancia.

Relación entre la diversidad de macroinvertebrados y macrófitas con las principales variables ambientales de la zona de estudio

La relación entre la alcalinidad con los órdenes de macroinvertebrados más abundantes (e.g. Diptera, Basommatophora y Coleoptera), se atribuye a que en los ecosistemas acuáticos tropicales como las ciénagas y lagunas costeras la alcalinidad puede alcanzar valores $>$ de 100 mg L^{-1} ; desde el punto de vista biológico, las aguas con altos valores de alcalinidad (carbonato y bicarbonato) son más productivas (Roldán, 1992; Roldán y Ramírez, 2008). Asimismo, los órdenes Coleoptera, Diptera y Basommatophora mostraron relación con la precipitación y profundidad. Por otro lado, la relación entre el orden

Hemiptera, Coleoptera, Diptera, Trombidiformes y Basommatophora con las macrófitas emergentes puede explicarse por la presencia de taxones que prefieren este biotipo. [Sigutová et al. \(2021\)](#) y [Sabater et al. \(2022\)](#), encontraron que existe evidencia de que la estructura vegetal proporcionada por macrófitas de diferentes formas de crecimiento muestra una composición taxonómica y funcional específica de los macroinvertebrados. La mayor riqueza del orden Veneroidea se encontró en el humedal MQ, su relación con las variables de conductividad y amonio indican una alta tolerancia de este orden a los mayores valores de estos factores que se encuentran en dicho humedal.

El orden Hemiptera mostró afinidad por las variables fisicoquímicas pH, temperatura, transparencia y OD, las cuales son parámetros de calidad muy importantes relacionados con la vida de los organismos acuáticos y con los procesos ecológicos de los cuerpos de agua ([Leidonald et al., 2019](#)). El OD es indispensable para la respiración, el crecimiento, la reproducción y los procesos metabólicos de todos los organismos acuáticos ([Prasad et al., 2014](#)). La temperatura de un cuerpo de agua varía con la profundidad, el tipo de circulación del aire, la hora del día, la nubosidad y el flujo de agua ([Chapman, 2021](#)). Los cambios en la calidad del agua pueden afectar significativamente la salud de los hábitats acuáticos y a menudo dan como resultado una disminución en el número y la diversidad de las comunidades de plantas y animales. La calidad del agua puede comprometer el crecimiento de las macrófitas ([Barbosa et al., 2020](#)). El crecimiento denso de esas plantas reduce la mezcla natural del agua por el viento y provoca un aumento de la temperatura del agua superficial, lo cual es perjudicial para los macroinvertebrados. La mezcla reducida por un menor efecto de viento también restringe la entrada de gases atmosféricos, es decir, oxígeno y dióxido de carbono al agua. El crecimiento denso de las macrófitas también provoca amplias fluctuaciones diarias en el pH ([Gettys et al., 2009](#) , [Boros et al., 2011](#)).

4.5 Conclusión.

Las comunidades de macroinvertebrados están estructuradas según parámetros físicos, químicos y biológicos. Además, su distribución está fuertemente influenciada por el tipo predominante de macrófitas acuáticas. Se encontraron relaciones significativas entre las macrófitas flotantes y los macroinvertebrados, lo que puede atribuirse a una mayor cobertura de este biotipo en los humedales muestreados. La composición y estructura de los macroinvertebrados y las macrófitas está influenciada por el tipo de aporte hidrológico. Los humedales influenciados por el río Magdalena presentan mayores valores de riqueza y diversidad, tanto de macroinvertebrados como de macrófitas, probablemente porque se trata de zonas de inundación altamente productivas influenciadas por el ciclo hidrológico. Las mayores variaciones en la composición y estructura de macroinvertebrados se encontraron en los humedales con influencia hidrológica del Mar Caribe, con presencia de especies tolerantes a altos niveles de conductividad del agua. Los humedales son sistemas importantes para la conservación biológica porque sustentan una rica biodiversidad y presentan una alta productividad. Las relaciones encontradas por esta investigación son una herramienta importante en el diseño de estrategias de manejo de humedales.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

1. Los resultados sugieren que la distribución de la abundancia de larvas de *M. marcella* responde al tipo de influencia hídrica del humedal. Esta especie, considerada generalista, es más común encontrarla en humedales que tienen influencia del río Magdalena, seguido de los humedales con escorrentías locales, mientras que presentan pocos individuos en los humedales con influencia marina.
2. Los patrones de distribución de *M. marcella* mostraron cómo los cambios en la calidad del agua influyen en su distribución. La abundancia y distribución de larvas de *M. marcella* en los humedales del norte de Colombia depende fuertemente de la conductividad, la alcalinidad y la transparencia del agua. En la ciénaga MQ (humedal con influencia del mar Caribe) los resultados llevan a concluir que la baja abundancia de *M. marcella* se relaciona con la alta conductividad, el elevado NH_4L^{-1} y el reducido OD por acción antrópica.
3. Las dos primeras conclusiones corresponden parcialmente con la hipótesis: las variables de amonio, oxígeno disuelto y pH en el agua de las ciénagas del departamento del Atlántico son componentes reguladores que se asocian directamente con la densidad poblacional de larvas de *M. marcella* y restringen su área de distribución. Los resultados de este trabajo indican que la abundancia y distribución de *M. marcella* si responde al tipo de influencia hídrica del humedal; sin embargo las variables que más influyen son diferentes a las planteadas en la hipótesis.
4. La composición de macroinvertebrados y macrófitas difirió entre los humedales muestreados. La influencia hidrológica tiene un efecto significativo en esta distribución. Las diferencias de composición de macroinvertebrados entre los humedales están mediadas por la vegetación acuática y por las perturbaciones antropogénicas, junto con las diferencias en el suministro de agua de los humedales (río Magdalena, mar Caribe o drenajes estacionales). Por otro lado, los resultados sugieren que las abundancias de *M. marcella* responden a los grupos de invertebrados acompañantes, en particular a los órdenes Coleoptera, Basommatophora y Hemiptera. Esta relación puede estar asociada con la importancia de estos ordenes para la dieta de los odonatos. Los resultados

soportan la hipótesis planteada, la cual indica que la abundancia de la fauna de macroinvertebrados asociada a las macrófitas de las ciénagas del departamento del Atlántico que representan oferta alimenticia para *M. marcella*, es un determinante de la distribución y abundancia de las larvas de esta especie. Esta hipótesis deberá comprobarse con experimentos para determinar la dieta de *M. marcella* y la preferencia de las presas que consume.

5. La distribución de los macroinvertebrados está fuertemente influenciada por el tipo de macrófitas acuática predominante. Se encontraron relaciones significativas entre las macrófitas flotantes y los macroinvertebrados, lo cual se atribuye a que las macrófitas flotantes tienen mayor cobertura en los humedales muestreados, representadas principalmente por la especie *Eichhornia crassipes*.
6. Las mayores variaciones en la composición y estructura de las comunidades de macroinvertebrados se presentaron en los humedales con influencia marina, con presencia de especies tolerantes a altos niveles de conductividad del agua.

5.2 Recomendaciones

Las recomendaciones presentadas a continuación se pueden convertir en nuevas líneas de investigación, del mismo modo se propone plantear nuevas hipótesis a partir de ellas:

1. Se recomienda realizar experimentos para determinar la dieta de *M. marcella*, para estimar la preferencia y determinar las presas que consume. El conocimiento de las interacciones tróficas y de la fauna acompañante juegan un papel clave en la comprensión de la biología de la especie.
2. Se sugiere evaluar los efectos de las condiciones fisicoquímicas y la oferta alimenticia sobre la variación espacial y temporal con otras especies de larvas de odonatos para comparar los resultados y determinar si influyen las mismas variables.
3. Se propone ampliar el área espacial de muestreo, replicando la metodología en otros departamentos de la región Caribe o cuencas de Colombia.
4. Debido a las relaciones encontradas entre las variables fisicoquímicas y los macroinvertebrados, se recomienda aplicar los índices de calidad propuestos para este tipo de humedales. Los humedales son sitios importantes para la conservación biológica porque sustentan una rica biodiversidad y presentan una alta productividad, las relaciones encontradas en la presente investigación son una herramienta importante en la planificación de estrategias de manejo de humedales. Finalmente, el uso de macroinvertebrados como bioindicadores es importante para la comunidad científica, los gobernantes y las políticas dirigidas a mejorar la gestión de los humedales.

Anexos

Anexo 1. Descripción de los puntos de muestreo.

Ciénaga	P.M	Nombre/ Coordenadas	Fotografía	Descripción
TOTUMO	TM1	Calabrisa 10°44'49,70"N 75°13'31,10"O		En este punto desemboca el arroyo Calabrisa. Las muestras se tomaron en los costados y entre las herbáceas <i>Hymenachne amplexicaulis</i> ; entre ellas se encontraban parches de <i>Typha domingensis</i> .
	TM2	Perdí 10°43'11,20"N 75°13'28,50"O		En este punto desemboca el caño Perdí. Las muestras se tomaron en los costados y entre las herbáceas <i>Hymenachne amplexicaulis</i> .

<p>TM3 Isla grande 10°43'29,00"N 75°14'27,20"O</p>		<p>El punto de muestreo se encuentra a un costado de la Isla que se encuentra en el centro de la ciénaga. Las muestras se tomaron en las raíces de <i>Conocarpus erectus</i> y a un costado de los parches aislados de <i>Typha domingensis</i></p>
<p>TM4 Periquito 10°42'47,60"N 75°14'22,80"O</p>		<p>En este punto desemboca el arroyo Periquito. Las muestras se tomaron en los costados y entre las herbáceas <i>Hymenachne amplexicaulis</i>; entre ellas se encontraban las macrófitas <i>Salvinia auriculata</i> y parches de <i>Typha domingensis</i></p>
<p>TM5 Isla del difunto Concho 10°44'3,50"N 75°15'5,90"O</p>		<p>De los puntos muestreados, este es el más cercano a las compuertas que comunican a la ciénaga con el agua marina. Las muestras generalmente se tomaron en <i>Ipomoea aquatica</i>; las cuales en algunas ocasiones se encontraban asociadas con <i>Lemna valdiviana</i>, <i>Lemna aequinoctialis</i> y <i>Salvinia minima</i>.</p>

	<p>MQ1 Salida de arroyo León 11° 2'46,40"N 74°52'2,60"O</p>		<p>El punto de muestreo fue ubicado cerca a la desembocadura del arroyo León, en este lugar se encontraban muchos residuos y olores fuertes de aguas residuales. Generalmente las muestras se tomaron al costado de los pastos <i>Leersia hexandra</i> y en las macrófitas <i>Ipomoea aquatica</i> o <i>Eichhornia crassipes</i> cuando se encontraban disponibles por el arrastre de agua en el período de lluvia. En algunas ocasiones también se encontró asociada la especie <i>Batis maritima</i>.</p>
<p>MALLORQUIN</p>	<p>MQ2 Peña 11° 2'59,80"N 74°51'23,70"O</p>		<p>Cerca al punto de muestreo se encuentra la entrada de agua de mar a la ciénaga en un lugar conocido como "los cuervos". Las muestras se tomaron alrededor de las raíces de <i>Laguncularia racemosa</i>.</p>
	<p>MQ3 Tubos del río 11° 3'13,80"N 74°50'26,70"O</p>		<p>A 100 m aproximadamente del punto de colecta se encuentran los tubos que comunican la ciénaga con el río Magdalena. Las muestras se tomaron al costado de los pastos <i>Paspalum repens</i> y en las macrófitas <i>Typha domingensis</i> o <i>Eichhornia crassipes</i> cuando se encontraban disponibles por el arrastre de agua en época de lluvia.</p>

	<p>MQ4 Punta de Félix 11° 2'22,80"N 74°50'44,00"O</p>		<p>Este punto se considera el menos intervenido de la ciénaga porque se encuentra aislado de la actividad antrópica. Las muestras se tomaron alrededor de las raíces de <i>Rhizophora mangle</i>.</p>
<p>SABANAGRANDE</p>	<p>SG1 Salida a Ciénaga Espinal 10°46'59,80"N 74°44'40,80"O</p>		<p>Este punto se comunica con la ciénaga Espinal; la cual le pasa agua a la ciénaga Sabanagrande en época de creciente y lluvias mayores. Generalmente las muestras se tomaron en las macrófitas <i>Eichhornia crassipes</i>, <i>Neptunia oleracea</i> asociadas con los pastos <i>Leersia hexandra</i>.</p>
	<p>SG2 Centro de la ciénaga 10°47'8,00"N 74°44'49,90"O</p>		<p>Cerca al punto de muestreo desemboca el arroyo Caño Fístola. Se encontraron con mayor cobertura las macrófitas <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Neptunia oleracea</i>; las cuales se encontraban asociadas con pequeños parches de <i>Salvinia auriculata</i> y pastos de <i>Leersia hexandra</i>.</p>

<p>SG3 Frente al puente 10°47'21,10"N 74°44'52,00"O</p>		<p>Este punto se encuentra cerca al puente que se encuentra entre el municipio de Sabanagrande y el Puerto del río Magdalena. La ciénaga de Sabanagrande le pasa agua a la ciénaga El convento a través del canal del puente. Generalmente las muestras se tomaron en las macrófitas <i>Eichhornia crassipes</i>, asociadas con <i>Neptunia oleracea</i> y pastos <i>Leersia hexandra</i>. Algunas veces se encontraron parches aislados y pequeños de <i>Pistia stratiotes</i>.</p>	
<p>SG4 Entrada de agua del puerto 10°47'27,20"N 74°44'41,80"O</p>		<p>En este lugar la cobertura y especies de las macrófitas se modifican constantemente, cerca de este punto se encuentra el caño que se comunica la ciénaga con el río Magdalena. Generalmente las muestras se tomaron en las macrófitas <i>Eichhornia crassipes</i>, que se encontraba asociada con <i>Ludwigia helminthorrhiza</i> y <i>Salvinia auriculata</i>. En algunos meses las macrófitas que se encontraron en el lugar de muestreo fueron <i>Neptunia oleracea</i> y <i>Neptunia plena</i>.</p>	
<p>LA LARGA (P1, P2 y P3), LA LUISA (P4 y P5)</p>	<p>LL1 Entre Larga y el Asiento 10°42'29,10"N 74°44'35,60"O</p>		<p>Este punto se encuentra cerca de un cuerpo de agua menor o una ramificación de la ciénaga que los pescadores llaman el asiento. En este lugar se encontraron las macrófitas sumergidas <i>Nymphaea jamesoniana</i> y <i>Najas arguta</i>, hasta la llegada de la época de sequía. Se encontraron parches aislados de <i>Eichhornia crassipes</i> asociada con <i>Salvinia auriculata</i> y <i>Neptunia oleracea</i>. En algunos muestreos se encontró <i>Azolla filiculoides</i>. La cobertura cambió temporalmente en todos los puntos de la ciénaga por acción del viento.</p>

LL2 Diagonal al peaje
10°42'51,80"N
74°44'44,90"O



El agua en este punto se extiende hasta la carretera principal "La Oriental" en época de lluvias mayores. En este lugar se encontraron las macrófitas sumergidas *Nymphaea jamesoniana*, *Nymphaea pulchella* y *Najas arguta* hasta la llegada de la época de sequía; estas macrófitas son las más sensibles a las altas temperaturas y descenso de la columna de agua.

Las muestras generalmente se tomaron en las macrófitas *Eichhornia crassipes* que se encontraba asociada con *Salvinia auriculata* y *Neptunia oleracea*. En algunos muestreos se encontró *Azolla filiculoides*.

LL3 Salida de Larga a
Luisa
10°43'9,10"N
74°44'40,40"O



Este punto se encuentra entre la ciénaga Larga y Luisa, solo en época seca se separan las dos ciénagas por un terraplén de sedimentos. Cerca a este punto se encuentra el caño que conecta con la ciénaga Manatí.

Las muestras generalmente se tomaron en las macrófitas *Eichhornia crassipes* que se encontraba asociada con *Salvinia auriculata* y *Neptunia oleracea*.

LL4 Caño Leandro
10°43'47,60"N
74°44'45,70"O



Este punto recibe las aguas del caño Leandro, en este lugar generalmente se encontraron *Najas arguta*.

Las muestras se tomaron en las macrófitas *Eichhornia crassipes* que se encontraba asociada con *Salvinia auriculata*, *Neptunia oleracea* y *Pistia stratiotes*.

	<p>LL5 Cerca al puente 10°43'56,10"N 74°44'33,20"O</p>		<p>Este punto se comunica con la ciénaga de Santo Tomás a través del caño Grande, es el punto más cercano al municipio de Palmar de Varela.</p> <p>Las muestras generalmente se tomaron en las macrófitas <i>Eichhornia crassipes</i> que se encontraba asociada con <i>Salvinia auriculata</i> y <i>Neptunia oleracea</i>.</p>
<p>TOCAGUA</p>	<p>TG1 Iraca 10°37'27,90"N 75°10'16,60"O</p>		<p>Desembocan los arroyos Las Lajitas, Guayacán, Iraca y otros más pequeños. Los predios alrededor del punto de muestreo corresponden a grandes extensiones de tierra de ganaderos del municipio. Generalmente se tomaron las muestras en las macrófitas <i>Eichhornia crassipes</i> y en algunos meses se encontró <i>Najas guadalupensis</i> (sumergida).</p>
	<p>TG2 La frontera 10°37'33,70"N 75°10'1,70"O</p>		<p>En este lugar hay tubos que conectan la ciénaga de Tocagua con la ciénaga de Luruaco.</p> <p>Las muestras generalmente se tomaron en las macrófitas <i>Eichhornia crassipes</i>; la cual en algunos meses se encontraron acompañadas de <i>Ipomoea aquatica</i> y <i>Salvinia</i> sp.</p>

<p>TG3 María Jacinta 10°37'59,30"N 75°10'30,90"O</p>		<p>Se encuentra a un costado de la Isla que se encuentra en el centro de la ciénaga. Algunos ganaderos llevan las vacas a comer a la isla y las dejan por períodos prolongados. Las muestras se tomaron en <i>E. crassipes</i> y <i>Salvinia minima</i>.</p>
<p>TG4 El Caño 10°37'47,80"N 75°11'9,30"O</p>		<p>Cerca al punto de muestreo hay una compuerta que regula la entrada de agua al sistema y en época de lluvias mayores se comunica con la ciénaga de Totumo. Se tomaron las muestras en las macrófitas <i>E. crassipes</i>.</p>
<p>TG5 Puerto 10°38'8,20"N 75°11'7,80"O</p>		<p>A su alrededor se encuentran las viviendas del corregimiento San Juan de Tocagua, es el lugar donde los pobladores realizan actividades recreativas, lavado de ropa y desembarcan las canoas (transporte acuático). Se tomaron las muestras en las macrófitas <i>E. crassipes</i> o alrededor de los tallos de <i>Eleocharis mutata</i>.</p>

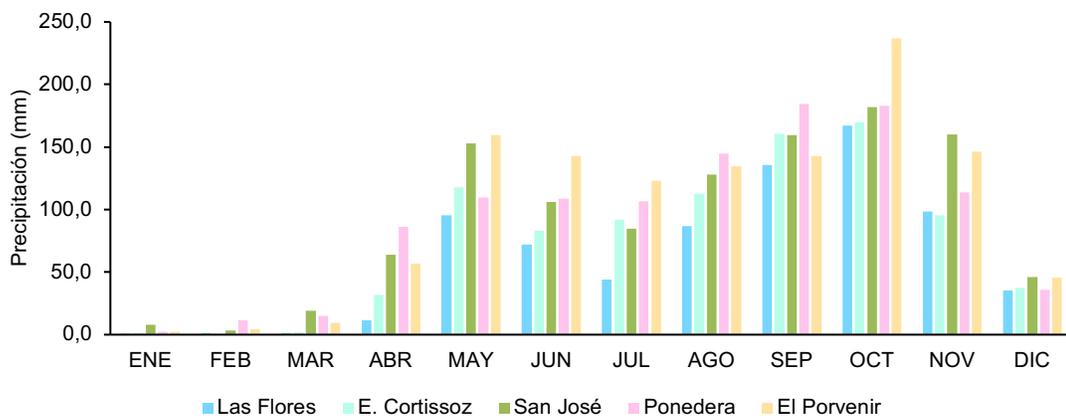
	LU1 Arroyo negro 10°36'11,40"N 75° 8'56,10"O		Este punto es la desembocadura del Arroyo Negro que recorre las colinas cercanas y arrastra sedimentos a la ciénaga. En período seco quedan expuestas islas de arena. Las muestras se tomaron alrededor de los tallos de <i>Typha domingensis</i> .
LURUACO	LU2 Flor del baile 10°36'1,00"N 75° 9'11,80"O		Cerca a este punto se encuentran fincas y una carretera secundaria que comunica a los predios. Las muestras se tomaron alrededor de los tallos de <i>Typha domingensis</i> .
	LU3 Arroyo Mateo 10°35'60,00"N 75° 9'49,30"O		En este punto desemboca el Arroyo Mateo. Las muestras se tomaron alrededor de los tallos de <i>Typha domingensis</i> . En algunas ocasiones se encontraron las macrófitas sumergidas <i>Chara</i> sp.

<p>LU4</p> <p>La puntica 10°36'49,70"N 75° 9'55,70"O</p>		<p>Es el punto más cercano a la ciénaga de San Juan de Tocagua, en este lugar hay tubos que comunican la ciénaga de Luruaco con dicha ciénaga.</p> <p>Las muestras se tomaron alrededor de los tallos de <i>Eleocharis elegans</i> y <i>Ipomoea aquatica</i>.</p>
<p>LU5</p> <p>Lavaderos 10°36'59,50"N 75° 9'5,00"O</p>		<p>En este lugar anteriormente se lavaban autos a la orilla de la carretera Cordialidad, vía Cartagena-Barranquilla. En este lugar se encontraron grandes rocas expuestas y tiene la particularidad que en todos los meses muestreados se encontraron muestras de macrófitas sumergidas <i>Chara</i> sp. También se encontraron asociadas las macrófitas <i>Ipomoea aquatica</i> y <i>Eleocharis interstincta</i>.</p>
<p>LU6</p> <p>Arroyo Limón 10°36'27,50"N 75° 9'5,30"O</p>		<p>En este punto desemboca el Arroyo Limón, que recorre el casco urbano del municipio de Luruaco; en épocas de lluvia aporta gran cantidad de sedimentados a la ciénaga y residuos que los habitantes arrojan al arroyo.</p> <p>Las muestras se tomaron alrededor de los tallos de <i>Eleocharis elegans</i> y <i>Typha domingensis</i>.</p>

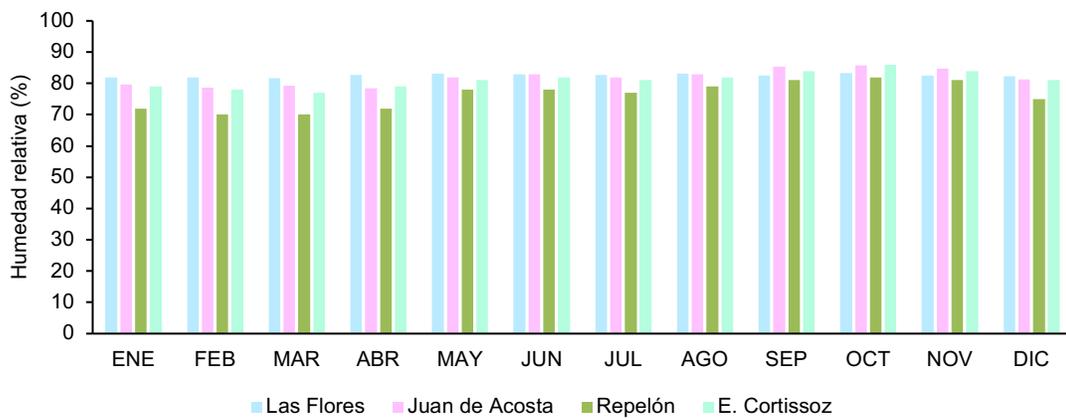
P.M: punto de muestreo

Anexo 2. Detalle de las estaciones meteorológicas utilizadas en la descripción del departamento del Atlántico.

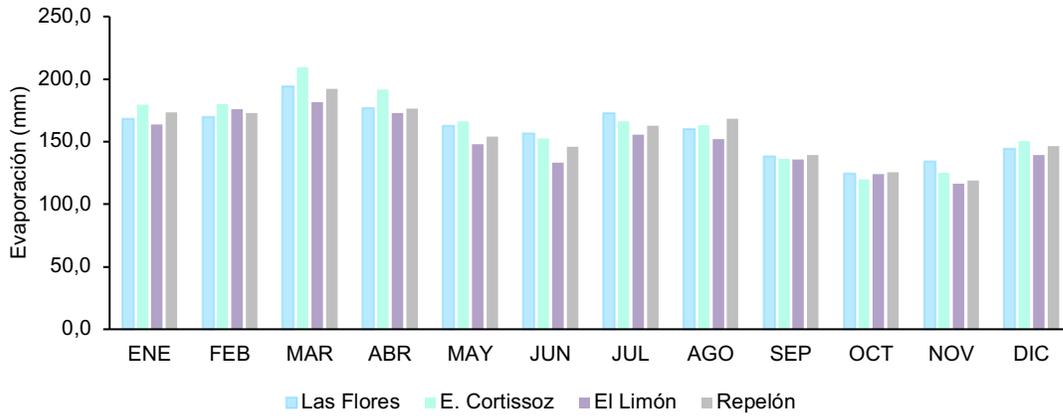
CODIGO	CAT	NOMBRE	MUNICIPIO	DEPARTAMENTO	ELEV	LONGITUD	LATITUD
29045120	CP	Las Flores	Barranquilla	Atlántico	2	74°49'25,0"W	11°2'34,0"N
29045110	CO	Juan de Acosta	Juan de Acosta	Atlántico	20	75°2'56,2"W	10°50'47,5"N
29035080	CP	Normal Manatí	Manatí	Atlántico	10	74°57'16,7"W	10°27'12,9"N
29035070	CP	Repelón	Repelón	Atlántico	10	75°7'9,0"W	10°30'1,0"N
29045020	SP	E. Cortissoz	Soledad	Atlántico	14	74°46'47,2"W	10°53'0,01"N
29035120	CO	El Limón	Manatí	Atlántico	7	75°4'0"W	10°25'0"N
29040230	PM	Pto Colombia	Puerto Colombia	Atlántico	5	74°58'10,8"W	10°59'18"N
29040070	PM	Ponedera	Ponedera	Atlántico	8	74°46'14,6"W	10°38'30,4"N
29030140	PM	San José	Luruaco	Atlántico	20	75°6'30,2"W	10°36'22,4"N



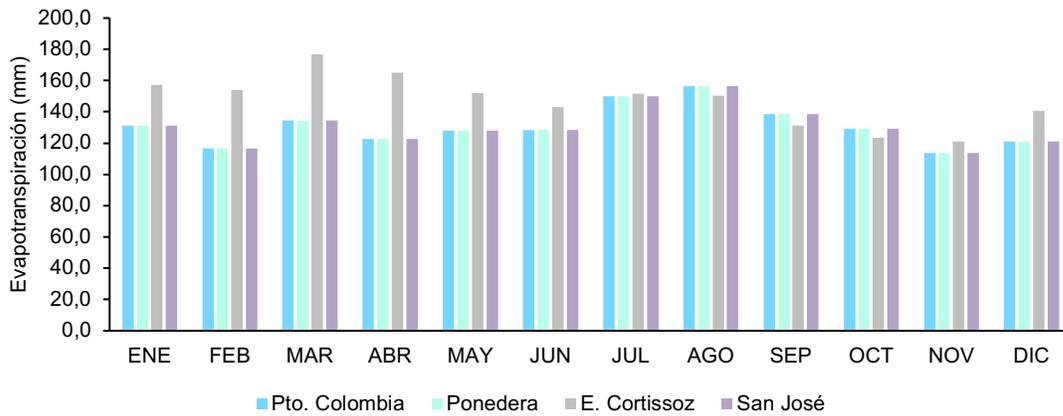
Anexo 2A. Media de precipitación (mm) en el departamento del Atlántico.



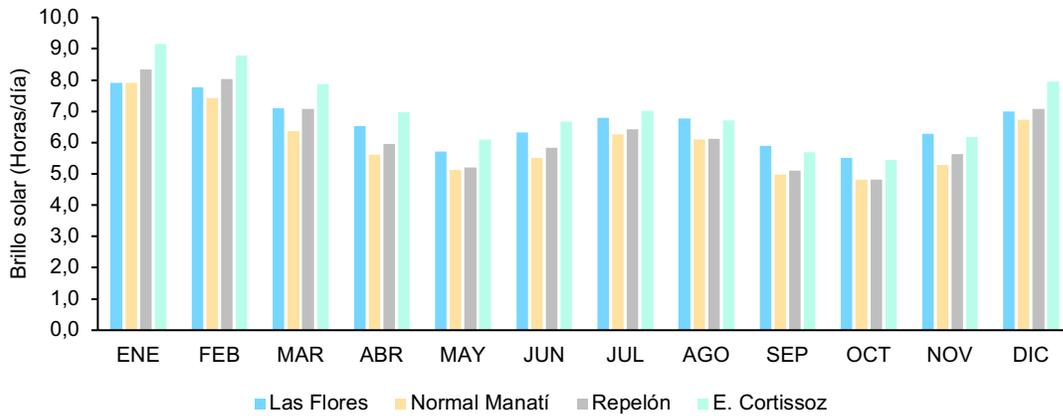
Anexo 2B. Media de humedad relativa (%) en el departamento del Atlántico.



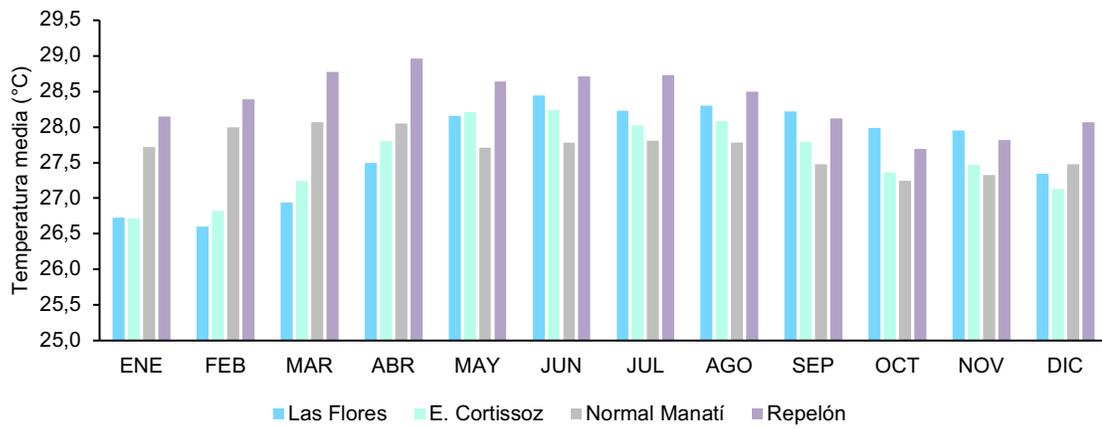
Anexo 2C. Media de evaporación (mm) en el departamento del Atlántico.



Anexo 2D. Media de evapotranspiración potencial (mm) en el departamento del Atlántico.

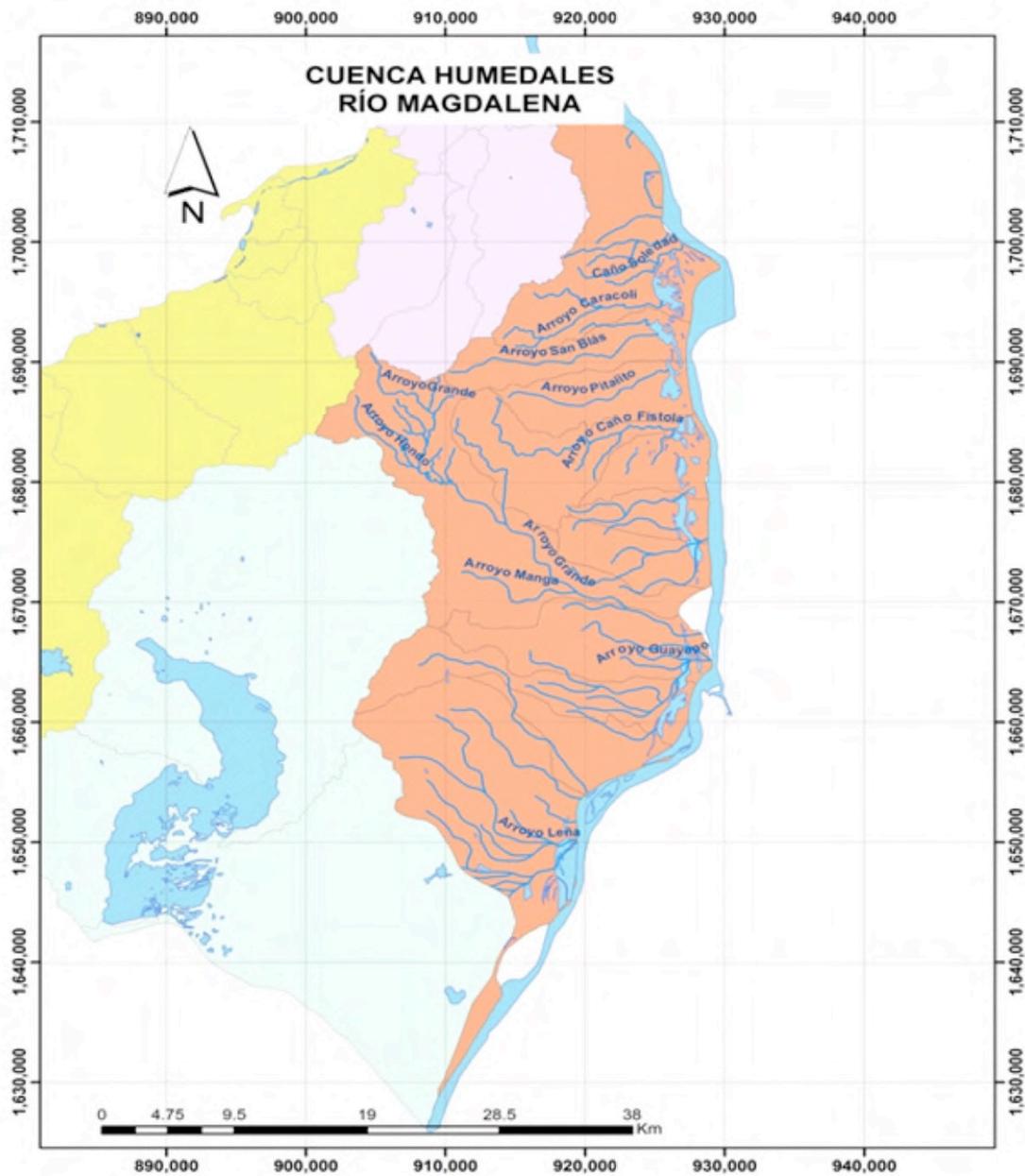


Anexo 2E. Media de brillo solar (horas/día) en el departamento del Atlántico.

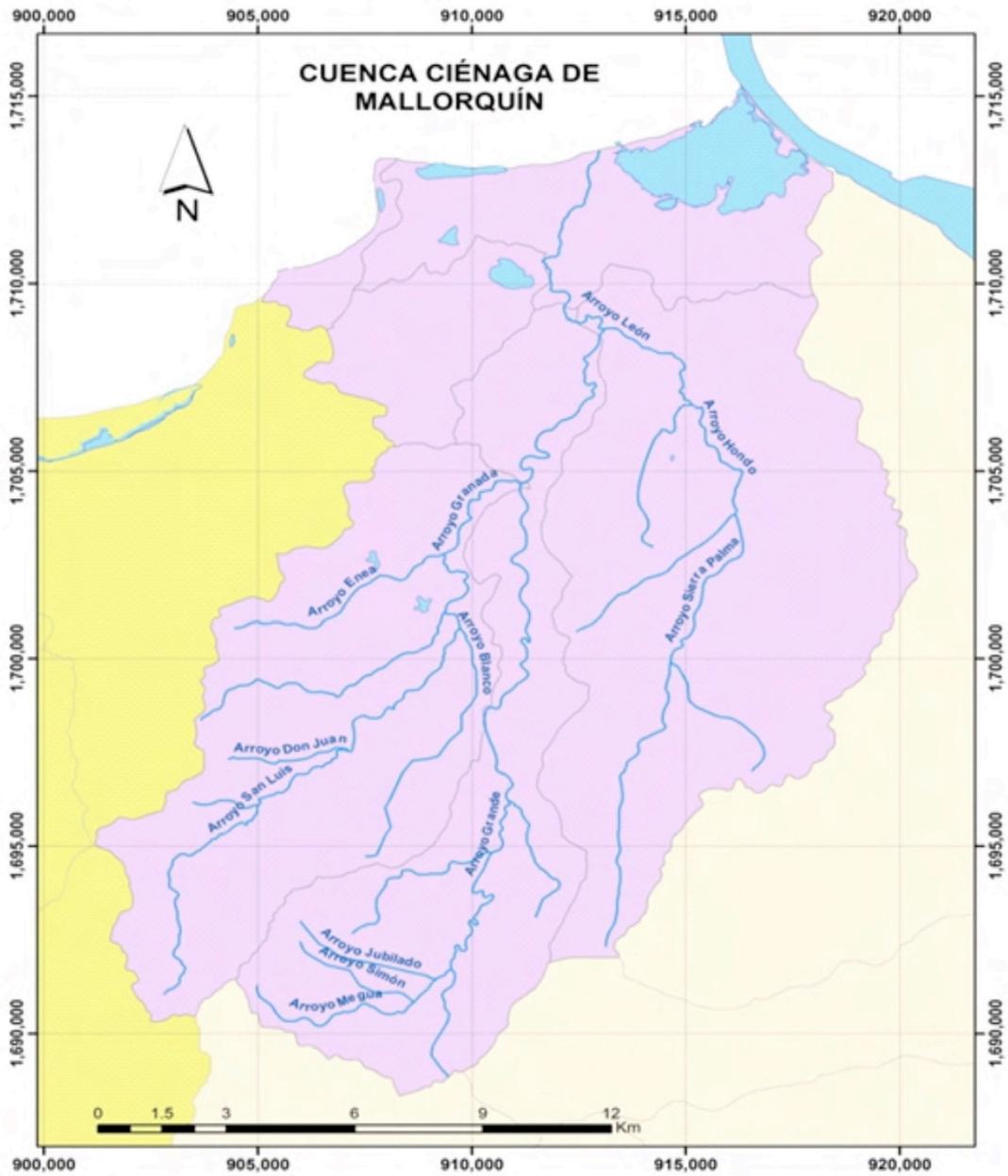


Anexo 2F. Media de temperatura (°C) en el departamento del Atlántico.

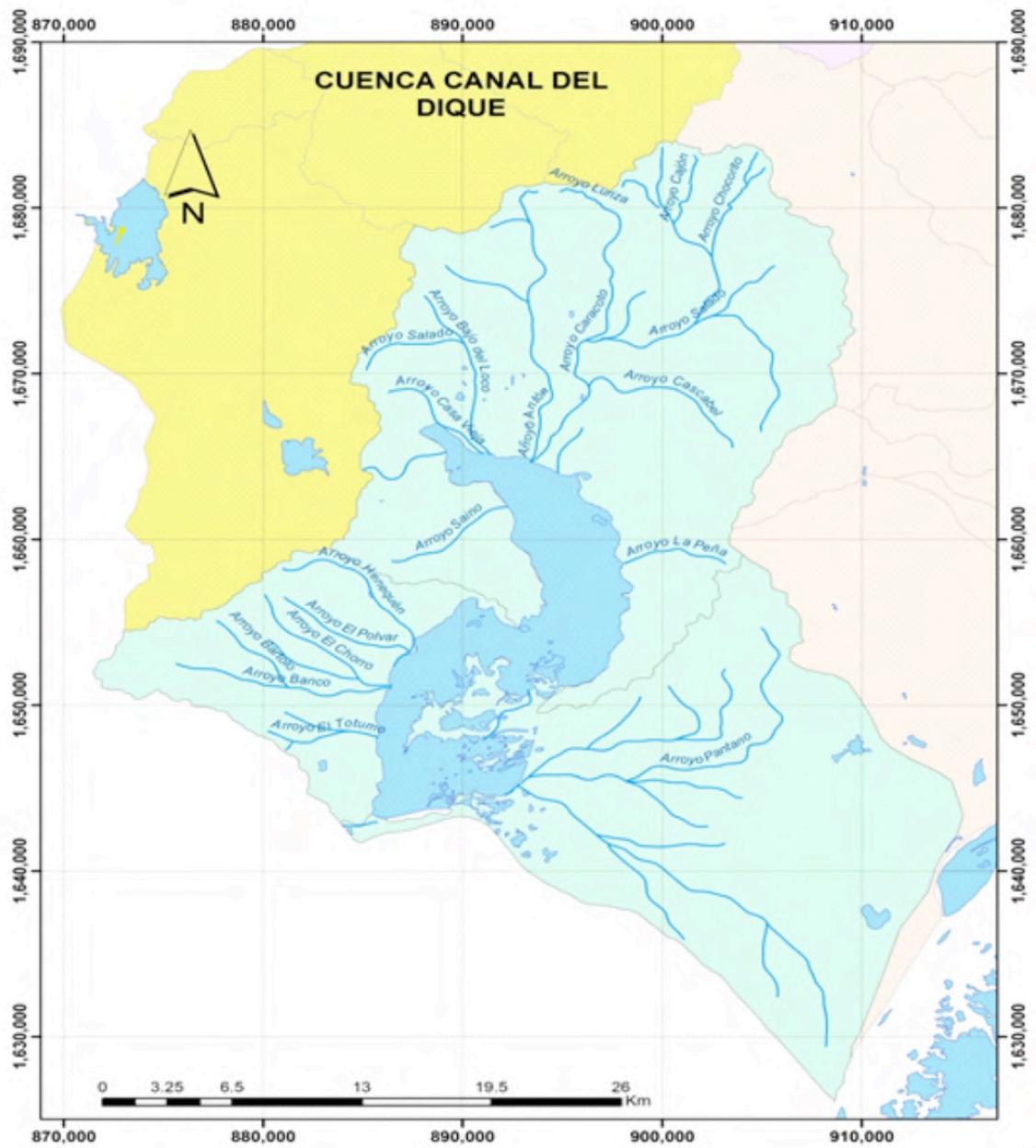
Anexo 3. Cuenca y humedales del río Magdalena. Ubicación geográfica de las ciénagas Sabanagrande y Larga-Luisa. Tomado de PGAR- CRA (2012b).



Anexo 5. Cuenca Ciénaga de Mallorquín. Ubicación geográfica de la ciénaga de Mallorquín. Tomado de PGAR- CRA (2012b).



Anexo 6. Cuenca del Canal del Dique. Tomado de PGAR- CRA (2012b).



Anexo 7. Revisión de literatura de temas relacionados con los odonatos y su interacción con variables fisicoquímicas en humedales.

Título	Aspectos relevantes	Lugar	Referencias
<i>Respuestas de las comunidades acuáticas a los parámetros físicos y químicos en los sistemas fluviales costeros afectados por la agricultura.</i>	Se caracterizó la distribución espacial y temporal de las comunidades de macroinvertebrados en dos ríos costeros influenciados por la agricultura. Los resultados mostraron que los sitios menos afectados estaban asociados con macroinvertebrados sensibles a la contaminación; con zonas de baja conductividad eléctrica, pH y alcalinidad. Se encontraron relaciones entre el nitrógeno, el fósforo y el régimen de caudales de los ríos en las zonas estudiadas. Concluyeron que los macroinvertebrados puede usarse como bioindicadores para evaluaciones de integridad ecológica en ríos costeros.	Sudáfrica (Breede-Gouritz).	Petersen et al. (2018)
<i>Odonata (Insecta) como herramienta para el biomonitoreo de la calidad ambiental.</i>	Uno de los medios más efectivos para evaluar los efectos de las perturbaciones antropogénicas en los ecosistemas acuáticos es el uso de bioindicadores; los insectos del orden Odonata se consideran entre los más eficientes debido a su sensibilidad a los cambios ambientales. El objetivo de este estudio fue verificar cuáles parámetros de la comunidad de odonato son más efectivos para la evaluación de la pérdida de integridad ambiental. El estudio se llevó a cabo en 50 arroyos en el estado brasileño de Pará durante la estación seca. Las características físicas de cada arroyo se evaluaron utilizando un índice de integridad del hábitat. La composición de especies, la diversidad y distinción taxonómica permitieron evaluar la integridad ecológica, las relaciones evolutivas entre taxones odonados y detectar impactos ambientales.	Brasil (Pará).	Miguel et al. (2017)
<i>Efectos de la calidad del agua en las comunidades de ninfas de libélulas y caballitos del diablo: una comparación de estanques urbanos y naturales.</i>	Este estudio determinó los efectos de la calidad del agua sobre las libélulas y los caballitos del diablo (Odonata) en estanques urbanos y naturales en la Región de la Capital Nacional de Canadá. En cada estanque se muestrearon 38 variables físico-químicas de la calidad del agua, la abundancia de ninfas de Odonata y la composición taxonómica. Las especies fueron menos abundantes en los estanques urbanos en comparación con los estanques naturales.	Canada (Ottawa, Ontario).	Perron y Pick (2020)
<i>Variabilidad espacial de la calidad del agua y macroinvertebrados a lo largo de un gradiente de perturbación en la cuenca del río Mara, Kenia.</i>	En los ecosistemas afrotropicales, las actividades humanas están modificando cada vez más los regímenes naturales de flujo, carga y procesamiento de nutrientes y materia orgánica en arroyos y ríos con implicaciones para la estructura del ecosistema. Este estudio se llevó a cabo en la cuenca del río Mara y evaluó los cambios en la calidad del agua y los conjuntos de macroinvertebrados a lo largo de un gradiente de perturbación que surge de las actividades humanas rurales. Predominaron los taxones de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT) (70% de la abundancia total) en sitios no perturbados, mientras que Diptera dominó (48% en abundancia total) en sitios perturbados. Además, se registraron mayores índices de diversidad y riqueza en sitios no perturbados. Los forrajeadores dominaron en todos los sitios y la abundancia de trituradores fue mayor en los sitios no perturbados.	Kenia.	Lubanga et al. (2021)

<i>Respuestas funcionales de las larvas de Odonata a las perturbaciones humanas en los arroyos de cabecera de la sabana neotropical.</i>	Las corrientes se enfrentan a perturbaciones cada vez mayores debido a las presiones humanas en todo el mundo, por lo que se necesita con urgencia un mejor conocimiento de los bioindicadores, en particular las respuestas de los insectos acuáticos a diversas presiones y factores estresantes. El objetivo del estudio fue comprender cómo la estructura de Odonata se ensambla en los arroyos de la sabana neotropical. Encontraron fuertes relaciones entre las variables ambientales y los conjuntos de rasgos biológicos de Odonata. El uso de larvas de Odonata puede ser una herramienta valiosa para evaluar y monitorear los impactos antropogénicos en los arroyos de la sabana neotropical.	Brasil.	Silva et al. (2021)
<i>Parámetros de calidad del agua y puntos de inflexión de la diversidad y abundancia de libélulas en estanques piscícolas.</i>	Los estanques de peces a menudo se enriquecen con nutrientes para aumentar las poblaciones de fitoplancton y zooplancton para apoyar la producción de peces. Esta eutrofización a menudo conduce a una disminución global de la biodiversidad. Este cambio en la biodiversidad se puede identificar mediante un punto de inflexión, el valor de un parámetro ambiental por encima del cual se produce un cambio significativo en la riqueza y abundancia de especies. En este estudio, se evaluaron 110 estanques piscícolas eutróficos a altamente eutróficos para investigar los parámetros que rigen la riqueza de especies de libélulas y la abundancia de especies mediante la determinación de puntos de inflexión. Los parámetros investigados fueron clorofila a, transparencia del agua, N total, P total, riqueza y cobertura de plantas acuáticas, riqueza y abundancia de libélulas adultas y cosecha de peces. Se encontró que la riqueza y abundancia de libélulas se ven influenciadas negativamente por grados más altos de eutrofización. La cobertura baja de plantas acuáticas y la presencia de un mínimo de 9 especies de plantas acuáticas parecen promover la riqueza y abundancia de libélulas. Con base en los puntos de inflexión, se podrían determinar 19 especies de libélulas como especies indicadoras de la calidad del agua en los estanques piscícolas.	Francia.	Vanacker et al. (2018)
<i>Los factores abióticos y las interacciones tróficas afectan la comunidad de macroinvertebrados en bromelias de un área Neotropical.</i>	Las comunidades de macroinvertebrados acuáticos dependen de las características ambientales intrínsecas y de las interacciones biológicas en los microhábitat. En este estudio se investigaron las relaciones especie-área, la contribución del contenido de detritus y las interacciones tróficas de la fauna de macroinvertebrados. Descubrieron que los factores abióticos (principalmente el volumen de agua) y las interacciones tróficas (abundancia de depredadores) favorecen a la comunidad de macroinvertebrados de las bromelias en el área neotropical estudiada.	Brasil (Santa Catarina)	Rezende et al. (2020)
<i>Efectos del uso del suelo en los ensambles de larvas de Odonata en arroyos del centro de Veracruz, México.</i>	Este estudio examina el efecto de la calidad del agua de los arroyos y su relación con las características del hábitat en los ensambles de larvas de Odonata. Los principales factores que influyeron en los ensamblajes de larvas de Odonata en los arroyos del bosque fueron las bajas temperaturas y los altos niveles de oxígeno en el agua, junto con una gran diversidad de sustrato y vegetación ribereña; en pastizales y cultivos de café, la sedimentación afectó fuertemente la composición de los ensambles de larvas de Odonata.	México.	García-García et al. (2016)

<i>Evaluación de la calidad del agua y ensamblajes de Odonata en tres cuerpos de agua en Ilara-Mokin, suroeste de Nigeria</i>	Este estudio investigó la calidad biológica del agua y los ensamblajes de Odonata en tres cuerpos de agua en Ilara-Mokin, con el objetivo de determinar la integridad ecológica de los ecosistemas. También se investigaron algunos parámetros fisicoquímicos del agua, como el oxígeno disuelto, la conductividad eléctrica, la temperatura, el caudal, el pH y la profundidad del agua. En este estudio se registraron un total de 41 especies de odonatos y esto estuvo representado por 29 especies de libélulas y 12 caballitos del diablo. El análisis del índice biótico (DBI) indicó que el río Omifunfun representaba la mejor condición de hábitat en el área de estudio, mientras que el río Isokun se consideró el sitio muestreado más perturbado en el área de estudio.	Nigeria (Ondo).	Adu et al. (2019)
<i>¿Cómo afecta la variación ambiental la distribución de larvas de libélula (Odonata) en la zona de transición Amazonia-Cerrado en el centro de Brasil?</i>	Este estudio investigó los efectos de la variación ambiental en los ensamblajes de larvas de libélula (Odonata). Se tomaron muestras de larvas de odonato en 12 arroyos en la cuenca del río Suiá-Miçú en Mato Grosso, Brasil, durante tres periodos diferentes del año. La variación en la riqueza, abundancia y composición de las especies de Odonata estuvo relacionada con las variables ambientales analizadas, principalmente por los factores abióticos pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales y potencial de oxidación-reducción.	Brasil.	Mendes et al. (2017)
<i>Odonata (Insecta) como indicador de calidad ambiental en humedales de montaña neotropicales.</i>	En este estudio se evaluó la diversidad del orden Odonata y se relacionó con la calidad del ambiente, en cuatro humedales en Chiapas, México. Se encontraron un total de 14 especies, distribuidas en cinco familias y 10 géneros. Se encontró que el grado de alteración de la vegetación acuática, como uno de los parámetros evaluados, fue muy importante en las diferencias encontradas, en la diversidad y abundancia de Odonata en los humedales muestreados.	México (Chiapas)	López-Díaz et al. (2021)

Anexo 8. Estadística descriptiva de las variables físico químicas a nivel general y en cada una de las ciénagas.

Estadística descriptiva general:

	Prof (cm)	Transp (cm)	Cond ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	pH	OD (mg L^{-1})	Amonio ($\text{mg NH}_4 \text{L}^{-1}$)	Alc ($\text{MgCaCO}_3 \text{L}^{-1}$)
N	332	332	332	332	332	332	332	332
Min	0	0	346	24,1	6,99	0,25	0	40
Max	223	122	37900	38,5	9,98	14,68	10	380
Media	85,6	42,1	4236,2	31,0	8,2	5,1	0,8	197,9
Error. est	2,6	1,4	420,5	0,1	0,0	0,1	0,1	3,6
Varianza	2331,3	630,0	586918	6,5	0,4	5,2	3,0	4349,4
Des. est	48,3	25,1	7661,1	2,6	0,6	2,3	1,7	66,0
Mediana	79	35	1565	31,15	8,23	4,98	0,5	190
Coef. var	56,38	59,59	180,85	8,23	7,35	44,67	229,98	33,32

Estadística descriptiva de la ciénaga Totumo:

	Prof (cm)	Transp (cm)	Cond ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	pH	OD (mg L^{-1})	Amonio ($\text{mg NH}_4 \text{L}^{-1}$)	Alc ($\text{MgCaCO}_3 \text{L}^{-1}$)
N	60	60	60	60	60	60	60	60
Min	10	7	1367	26,8	7,21	1,77	0	50
Max	213	78	5500	36,6	9,36	9,44	2	260
Media	118,08	36,08	2472,28	30,40	8,11	5,19	0,51	158,33
Error. est	7,19	2,26	138,84	0,27	0,06	0,21	0,04	8,28
Varianza	3103,80	307,77	115661	4,26	0,24	2,69	0,10	4109,04
Des. est	55,71	17,54	1075,46	2,06	0,48	1,64	0,32	64,10
Mediana	116	30,5	2220	30	8,09	5,13	0,5	170
Coef. var	47,18	48,61	43,50	6,78	6,04	31,62	64,00	40,48

Estadística descriptiva de la ciénaga Mallorcaín:

	Prof (cm)	Transp (cm)	Cond ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	pH	OD (mg L^{-1})	Amonio ($\text{mg NH}_4 \text{L}^{-1}$)	Alc ($\text{MgCaCO}_3 \text{L}^{-1}$)
N	48	48	48	48	48	48	48	48
Min	20	13	1330	24,1	7,1	0,41	0	100
Max	170	70	37900	33,8	9,01	8,66	10	260
Media	55,15	26,75	19253,71	28,11	7,84	3,75	2,84	174,58
Error. est	5,05	1,99	1706,23	0,29	0,07	0,25	0,54	5,66
Varianza	1225,23	190,53	139738	4,17	0,24	3,09	14,19	1535,99
Des. est	35,00	13,80	11821,11	2,04	0,49	1,76	3,77	39,19
Mediana	47	21,5	22200	28,4	7,7	3,52	1	175
Coef. var	63,47	51,60	61,40	7,27	6,23	46,85	132,48	22,45

Estadística descriptiva de la ciénaga Sabanagrande:

	Prof (cm)	Transp (cm)	Cond ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	pH	OD (mg L^{-1})	Amonio ($\text{mg NH}_4 \text{L}^{-1}$)	Alc ($\text{MgCaCO}_3 \text{L}^{-1}$)
N	40	40	40	40	40	40	40	40
Min	20	9	346	26,2	6,99	1,92	0	80
Max	141	73	1492	37,7	9,26	11,81	1	270
Media	79,73	30,60	860,73	31,89	7,72	5,11	0,55	166,25
Error. est	6,14	2,31	30,67	0,43	0,09	0,40	0,04	6,66
Varianza	1505,74	213,32	37618	7,45	0,35	6,47	0,06	1772,76
Des. est	38,80	14,61	193,96	2,73	0,59	2,54	0,25	42,10
Mediana	85	27	883	32,15	7,59	4,68	0,5	160
Coef. var	48,67	47,73	22,53	8,56	7,62	49,81	45,10	25,33

Estadística descriptiva de la ciénaga Larga-Luisa:

	Prof (cm)	Transp (cm)	Cond ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	pH	OD (mg L^{-1})	Amonio ($\text{mg NH}_4 \text{L}^{-1}$)	Alc ($\text{MgCaCO}_3 \text{L}^{-1}$)
N	52	52	52	52	52	52	52	52
Min	8	8	1177	26	7,06	0,25	0	40
Max	113	104	5220	36,8	9,98	14,68	3	380
Media	59,90	44,81	2257,31	30,20	8,05	5,12	0,92	230,58
Error. est	4,07	3,26	115,65	0,33	0,09	0,47	0,11	11,38
Varianza	861,81	551,88	69555	5,69	0,47	11,62	0,67	6738,88
Des. est	29,36	23,49	834	2,38	0,68	3,41	0,82	82,09
Mediana	60	45	2020	29,55	8	4,93	0,5	235
Coef. var	49,01	52,43	36,95	7,90	8,47	66,53	88,70	35,60

Estadística descriptiva de la ciénaga Tocagua:

	Prof (cm)	Transp (cm)	Cond ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	pH	OD (mg L^{-1})	Amonio ($\text{mg NH}_4 \text{L}^{-1}$)	Alc ($\text{MgCaCO}_3 \text{L}^{-1}$)
N	60	60	60	60	60	60	60	60
Min	37	15	1044	29,2	7,18	0,36	0	200
Max	180	117	1679	37,8	9,31	13,5	0,5	380
Media	106,18	46,12	1226,32	31,80	8,57	5,21	0,16	268,83
Error. est	4,68	3,36	22,17	0,24	0,07	0,32	0,03	6,60
Varianza	1314,36	678,17	29502	3,52	0,26	6,09	0,06	2613,87
Des. est	36,25	26,04	171,76	1,88	0,51	2,47	0,23	51,13
Mediana	99,5	39,5	1179	31,7	8,75	4,86	0	255
Coef. var	34,14	56,47	14,01	5,90	5,99	47,41	148,14	19,02

Estadística descriptiva de la ciénaga Luruaco:

	Prof (cm)	Transp (cm)	Cond ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	pH	OD (mg L^{-1})	Amonio ($\text{mg NH}_4 \text{L}^{-1}$)	Alc ($\text{MgCaCO}_3 \text{L}^{-1}$)
N	72	72	72	72	72	72	72	72
Min	0	0	1283	29,9	7,7	3,62	0	140
Max	223	122	1802	38,5	9,1	10,08	0,5	230
Media	83,72	58,92	1506,93	32,83	8,58	5,81	0,04	181,39
Error. est	5,96	3,58	15,10	0,17	0,03	0,13	0,02	2,02
Varianza	2556,63	925,26	16410	2,16	0,08	1,18	0,02	293,82
Des. est	50,56	30,42	128,11	1,47	0,29	1,09	0,14	17,14
Mediana	75,5	54	1458	32,55	8,7	5,68	0	180
Coef. var	60,39	51,63	8,50	4,48	3,38	18,67	333,99	9,45

Anexo 9. Puntajes de las variables con respecto a los dos primeros componentes principales. Se resaltan en color aquellas variables que presentan más relación con el respectivo eje.

	General (6 ciénagas)		MQ		Ciénagas TM, TG, LU		SG, LL	
	PC1	PC2	PC 1	PC 2	PC 1	PC 2	PC 1	PC 2
Transp (cm)	0,200	-0,731	-0,024	-0,071	-0,575	0,647	-0,156	-0,172
Cond ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	-0,482	0,626	-0,475	0,683	-0,006	-0,004	-0,003	0,065
Temp ($^{\circ}\text{C}$)	0,800	-0,092	0,003	-0,526	0,315	0,448	0,402	-0,233
pH	0,757	0,253	-0,144	-0,363	0,424	0,401	0,455	0,352
OD (mg L^{-1})	0,768	0,426	-0,199	-0,105	0,403	0,409	0,734	0,175
Amonio ($\text{mg NH}_4 \text{L}^{-1}$)	-0,611	-0,006	0,834	0,271	-0,021	-0,063	-0,092	0,112
Alc ($\text{MgCaCO}_3 \text{L}^{-1}$)	0,006	-0,140	0,135	0,187	0,477	-0,221	-0,245	0,863

Anexo 10. Resumen de estudios recientes sobre la relación de los odonatos con los macroinvertebrados.

Lugar	Aspectos relevantes	Referencias
Puerto Rico	Los macroinvertebrados de agua dulce juegan un papel importante en el mantenimiento de las redes alimentarias. Los odonatos (libélulas y caballitos del diablo) son importantes depredadores principales en de estas comunidades y sirven como indicadores de salud. Las interacciones depredador-presa y la competencia por los recursos también pueden ser responsables de la distribución de una especie. Por ejemplo, la abundancia de macroinvertebrados a menudo se ve afectada por la depredación de peces.	Mariani-Ríos <i>et al.</i> (2022)
Poland	Se estudió la composición, diversidad y heterogeneidad de las comunidades de macroinvertebrados. Se encontró que la heterogeneidad del hábitat influyó en los macroinvertebrados bentónicos más que los parámetros del agua. Otros factores, como la depredación de peces, pueden haber desempeñado un papel principal en la configuración de la comunidad.	Czerniawska-Kusza <i>et al.</i> (2022)
Singapore	Se evaluó el potencial de control biológico de larvas de libélulas. Se realizaron experimentos de respuesta funcional utilizando larvas de <i>Aedes albopictus</i> como presa, destacando su eficiencias depredadoras a bajas densidades de presa y demostrando que los odonatos pueden consumir cantidades sustanciales de larvas de mosquito (hasta 44 por día) en condiciones experimentales. Sin embargo, los experimentos de campo mostraron poco impacto de la depredación de las larvas de odonato en la composición general de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos que colonizan naturalmente, pero revelaron una depredación sustancial selectiva por tamaño de las larvas de odonato en las larvas de mosquito.	Choo <i>et al.</i> (2021)
South Kores	Se identificaron las preferencias de hábitat y el nivel trófico de las larvas de <i>Brachydiplax chalybea</i> . El análisis de isótopos estables mostró que es probable que <i>B. chalybea</i> consuma otras especies de larvas de Odonata.	Choi <i>et al.</i> (2020)
USA	Los servicios ecosistémicos indican que los odonatos (libélulas y caballitos del diablo) tienen cierto impacto como depredadores de vectores de enfermedades y plagas agrícolas. Además, sus larvas son muy importantes como depredadores intermedios o tope en muchos ecosistemas acuáticos.	May (2019)
Cuba	Se estudiaron las larvas de Odonata asociadas a las raíces de <i>Eichhornia crassipes</i> . Fue determinante la composición taxonómica y la estructura trófica. La relación entre las variables climáticas, el volumen de raíces y la densidad de individuos sugiere que la precipitación influyen en la abundancia de ciertos taxones y que las raíces de <i>Eichhornia crassipes</i> son un hábitat importante para las larvas de libélulas y un gran lugar para encontrar comida para ellos.	Barbán (2015)

Anexo 11. Matrix de correlación de Spearman entre la abundancia de los órdenes de macroinvertebrados y la abundancia de *M. marcella* (X : p -value $\geq 0,05$). Estas correlaciones se basan en el conjunto de datos de todos los muestreos en todas las ciénagas.

Variable	Neo	Odo	Dipt	Cal	Dipl	Dec	Hem	Col	Bas	Tub	Arc	Amp	Tro	Eph	Ven	Hir	<i>M. marcella</i>
	<i>p</i> -valor																
Neo		<0,01	0,08	0,01	0,71	<0,01	<0,01	0,81	0,01	0,40	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	0,90	<0,01
Odo	0,30		<0,01	<0,01	<0,01	0,07	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	0,55	<0,01	<0,01	0,01	<0,01
Dipt	0,17	0,52		0,14	<0,01	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,44	0,22	0,01	<0,01	<0,01
Cal	0,25	-0,33	-0,14		0,07	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,03	<0,01	0,45	0,03	0,81	0,06
Dipl	-0,04	0,36	0,50	-0,17		0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,54	<0,01	0,08	0,61	0,37	0,01	<0,01	<0,01
Dec	0,57	0,17	-0,18	0,26	-0,21		0,02	0,02	0,56	0,44	0,14	0,28	0,19	<0,01	0,08	0,17	<0,01
Hem	0,29	0,45	0,44	0,20	0,41	0,22		<0,01	<0,01	0,78	<0,01	<0,01	0,07	0,02	<0,01	<0,01	<0,01
Col	0,02	0,58	0,59	-0,32	0,62	-0,21	0,45		<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,36	0,20	0,01	<0,01	<0,01
Bas	0,23	0,65	0,42	-0,40	0,36	0,05	0,34	0,59		0,02	<0,01	0,03	0,35	0,04	0,32	0,01	<0,01
Tub	0,08	0,22	0,27	-0,26	-0,06	-0,07	-0,03	0,25	0,21		0,26	0,53	0,93	0,02	0,77	0,41	0,30
Arc	0,30	0,50	0,28	-0,33	0,35	0,14	0,34	0,38	0,50	0,11		0,14	0,56	0,01	0,24	0,08	<0,01
Amp	-0,27	-0,36	-0,38	-0,21	-0,16	-0,10	-0,32	-0,28	-0,20	-0,06	-0,14		0,04	0,19	<0,01	0,08	<0,01
Tro	0,21	0,06	0,07	0,46	0,05	0,12	0,17	0,09	-0,09	-0,01	-0,06	-0,19		0,14	0,04	0,76	0,81
Eph	0,31	0,40	0,11	0,07	-0,08	0,31	0,21	0,12	0,19	0,22	0,23	-0,12	0,14		0,47	0,95	<0,01
Ven	-0,28	-0,27	-0,25	-0,21	-0,26	-0,16	-0,32	-0,26	-0,09	0,03	-0,11	0,59	-0,19	-0,07		0,45	<0,01
Hir	-0,01	0,25	0,52	0,02	0,41	-0,13	0,40	0,34	0,23	-0,08	0,16	-0,16	0,03	0,01	-0,07		<0,01
<i>M. marcella</i>	0,36	0,84	0,41	-0,18	0,33	0,28	0,50	0,52	0,60	0,10	0,49	-0,35	-0,02	0,37	-0,26	0,28	

Neo: Neotaenioglossa. Odo: Odonata. Dipt: Diptera. Cal: Calanoida. Dipl: Diplostraca. Dec: Decapoda. Hem: Hemiptera. Col: Coleoptera. Bas: Basommatophora. Tub: Tubificida. Arc: Architaenioglossa. Amp: Amphipoda. Tro: Trombidiformes. Eph: Ephemeroptera. Ven: Veneroida. Hir: Hirudinida.

Anexo 11A. Matrix de correlación de Spearman entre la abundancia de los órdenes de macroinvertebrados y la abundancia de *M. marcella*. Estas correlaciones se basan en el conjunto de datos de todos los muestreos en las ciénagas Sabanagrande y Larga-Luisa.

Variable	Neo	Odo	Dipt	Dipl	Dec	Hem	Col	Bas	Tub	Arc	Amp	Tro	Ephe	Hir	<i>M. marcella</i>
	<i>p</i> -valor														
Neo		0,01	<0,01	0,09	0,09	0,02	0,01	0,01	0,51	<0,01	0,24	0,97	0,88	<0,01	0,01
Odo	0,43		0,02	0,16	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,72	0,07	0,38	0,38	0,09	<0,01	<0,01
Dipt	0,62	0,39		0,06	0,10	<0,01	0,01	0,01	0,99	0,01	0,18	0,06	0,94	<0,01	<0,01
Dipl	0,29	0,24	0,33		0,07	0,04	0,03	0,30	0,84	0,17	0,24	0,37	0,96	0,08	0,13
Dec	0,29	0,54	0,28	0,31		<0,01	0,01	0,01	0,51	0,01	0,88	0,94	0,20	0,01	0,02
Hem	0,39	0,53	0,54	0,34	0,52		<0,01	<0,01	0,25	0,00	0,85	0,20	<0,01	<0,01	<0,01
Col	0,41	0,54	0,46	0,38	0,46	0,57		<0,01	0,12	0,02	0,92	0,49	0,02	0,02	<0,01
Bas	0,43	0,51	0,45	0,18	0,41	0,61	0,58		0,44	<0,01	0,77	0,05	0,06	<0,01	<0,01
Tub	-0,11	0,06	0,00	0,04	-0,12	0,20	0,27	0,13		0,82	0,05	0,73	0,01	0,70	0,44
Arc	0,65	0,31	0,44	0,24	0,46	0,61	0,38	0,55	0,04		0,92	0,65	0,74	<0,01	0,06
Amp	-0,20	-0,15	-0,23	0,20	0,03	0,03	-0,02	0,05	0,33	-0,02		0,30	0,18	0,44	0,44
Tro	-0,01	-0,15	-0,33	0,16	-0,01	-0,22	-0,12	-0,34	0,06	0,08	0,18		0,73	0,19	0,20
Ephe	0,03	0,29	-0,01	0,01	0,22	0,47	0,40	0,32	0,43	0,06	0,23	-0,06		0,03	0,02
Hir	0,47	0,49	0,55	0,30	0,43	0,61	0,40	0,54	0,07	0,47	-0,13	-0,23	0,36		<0,01
<i>M. marcella</i>	0,45	0,89	0,50	0,26	0,39	0,62	0,52	0,52	0,13	0,32	-0,14	-0,22	0,39	0,47	

Neo: Neotaenioglossa. Odo: Odonata. Dipt: Diptera. Dipl: Diplostraca. Dec: Decapoda. Hem: Hemiptera. Col: Coleoptera. Bas: Basommatophora. Tub: Tubificida. Arc: Architaenioglossa. Amp: Amphipoda. Tro: Trombidiformes. Eph: Ephemeroptera. Hir: Hirudinida.

Anexo 11B. Matrix de correlación de Spearman entre la abundancia de los órdenes de macroinvertebrados y la abundancia de *M. marcella*. Estas correlaciones se basan en el conjunto de datos de todos los muestreos en las ciénagas Totumo y Luruaco.

Variable	Neo	Odo	Dipt	Cal	Dipl	Dec	Hem	Col	Bas	Tub	Arc	Tro	Ephe	Hir	<i>M. marcella</i>
	<i>p</i> -valor														
Neo		0,04	<0,01	0,83	<0,01	<0,01	0,78	<0,01	0,18	0,34	<0,01	0,50	0,01	<0,01	<0,01
Odo	0,31		0,99	0,72	0,18	0,01	0,63	0,09	0,43	0,59	0,61	0,37	<0,01	0,15	<0,01
Dipt	-0,54	0,00		0,44	<0,01	<0,01	0,82	0,00	0,19	0,14	0,02	0,54	0,15	<0,01	0,01
Cal	0,03	0,06	-0,12		0,08	0,51	0,25	0,32	0,56	0,92	0,12	0,14	0,40	0,32	0,28
Dipl	-0,43	-0,21	0,63	-0,27		<0,01	0,39	<0,01	0,29	0,63	0,13	0,87	0,01	<0,01	<0,01
Dec	0,61	0,41	-0,70	0,10	-0,57		0,78	<0,01	0,36	0,42	<0,01	0,49	<0,01	<0,01	<0,01
Hem	0,04	0,08	0,04	-0,18	0,13	-0,04		0,02	0,72	0,10	0,89	0,72	0,61	0,34	0,36
Col	-0,53	-0,26	0,56	-0,15	0,57	-0,64	0,36		0,84	0,08	<0,01	0,12	0,04	<0,01	<0,01
Bas	0,20	-0,12	-0,20	-0,09	-0,16	0,14	0,06	0,03		0,25	1,00	0,35	0,42	0,19	0,49
Tub	-0,15	-0,08	0,22	-0,02	0,07	-0,13	0,25	0,26	-0,18		0,80	0,90	0,22	0,33	0,20
Arc	0,50	0,08	-0,36	0,24	-0,23	0,45	0,02	-0,42	0,00	-0,04		0,08	0,08	0,02	0,19
Tro	0,10	0,14	0,10	0,22	-0,02	0,11	0,06	0,24	0,14	-0,02	0,26		0,09	0,80	0,79
Ephe	0,41	0,50	-0,22	0,13	-0,39	0,49	-0,08	-0,32	-0,13	-0,19	0,26	0,26		0,03	0,01
Hir	-0,52	-0,22	0,66	-0,15	0,49	-0,65	-0,15	0,44	-0,20	-0,15	-0,34	-0,04	-0,32		0,03
<i>M. marcella</i>	0,49	0,63	-0,40	0,17	-0,45	0,62	-0,14	-0,50	0,11	-0,20	0,20	0,04	0,41	-0,33	

Neo: Neotaenioglossa. Odo: Odonata. Dipt: Diptera. Cal: Calanoida. Dipl: Diplostraca. Dec: Decapoda. Hem: Hemiptera. Col: Coleoptera. Bas: Basommatophora. Tub: Tubificida. Arc: Architaenioglossa. Tro: Trombidiformes. Eph: Ephemeroptera. Hir: Hirudinida.

Anexo 11C. Matrix de correlación de Spearman entre la abundancia de los órdenes de macroinvertebrados y la abundancia de *M. marcella*. Estas correlaciones se basan en el conjunto de datos de todos los muestreos en la ciénaga Tocagua.

Variable	Neo	Odo	Dipt	Dipl	Dec	Hem	Col	Bas	Tub	Arc	Tro	Ephe	Ven	Hir	<i>M. marcella</i>
	<i>p</i> -valor														
Neo		0,71	0,36	0,13	0,96	0,95	0,68	0,36	0,03	0,69	0,31	0,87	0,93	0,71	0,22
Odo	-0,09		0,08	0,48	0,79	0,78	0,09	0,08	0,45	0,10	0,05	0,63	0,96	0,26	0,52
Dipt	0,22	0,40		0,99	0,50	0,03	0,22	0,39	0,48	0,56	0,43	0,44	0,79	0,35	0,01
Dipl	-0,35	0,17	0,00		0,56	0,45	0,78	0,38	0,50	0,34	0,47	0,40	0,15	0,29	0,99
Dec	0,01	-0,06	-0,16	-0,14		0,69	0,64	0,28	0,17	0,86	0,93	0,30	0,98	0,72	0,40
Hem	0,01	0,07	0,50	-0,18	0,09		0,13	0,88	0,75	0,52	0,97	0,96	0,62	0,13	<0,01
Col	0,10	-0,38	-0,29	-0,07	-0,11	-0,35		0,78	0,78	0,57	0,68	0,56	0,97	0,56	<0,01
Bas	0,22	0,40	0,20	0,21	0,25	-0,04	-0,07		0,31	0,61	0,37	0,13	0,38	0,95	0,43
Tub	0,49	-0,18	0,17	-0,16	-0,32	-0,08	0,07	0,24		0,50	0,46	0,87	0,31	0,45	0,93
Arc	0,10	-0,38	-0,14	-0,22	0,04	-0,15	-0,13	-0,12	0,16		0,11	0,06	0,80	0,26	0,73
Tro	0,24	0,44	0,19	-0,17	-0,02	0,01	0,10	0,21	-0,17	-0,37		0,27	0,83	0,39	0,80
Ephe	0,04	0,11	0,18	0,20	0,25	-0,01	-0,14	0,35	-0,04	0,43	-0,26		0,55	0,47	0,57
Ven	-0,02	0,01	0,06	-0,34	0,01	0,12	-0,01	0,21	0,24	0,06	-0,05	0,14		0,08	0,44
Hir	-0,09	0,26	0,22	-0,25	0,09	0,35	-0,14	-0,02	0,18	-0,26	0,20	-0,17	0,40		0,91
<i>M. marcella</i>	-0,29	-0,15	-0,54	-0,004	0,20	-0,62	0,61	0,19	-0,02	-0,08	0,06	-0,13	0,18	-0,03	

Neo: Neotaenioglossa. Odo: Odonata. Dipt: Diptera. Dipl: Diplostraca. Dec: Decapoda. Hem: Hemiptera. Col: Coleoptera. Bas: Basommatophora. Tub: Tubificida. Arc: Architaenioglossa. Tro: Trombidiformes. Eph: Ephemeroptera. Ven: Veneroidea. Hir: Hirudinida.

Anexo 11D. Matrix de correlación de Spearman entre la abundancia de los órdenes de macroinvertebrados y la abundancia de *M. marcella*. Estas correlaciones se basan en el conjunto de datos de todos los muestreos en las ciénaga Mallorquín.

Variable	Neo	Odo	Dipt	Dec	Hem	Col	Bas	Tub	Amp	Ven	<i>M. marcella</i>
	<i>p-valor</i>										
Neo		0,65	0,15	<0,01	0,29	0,88	0,17	0,43	0,88	0,29	0,93
Odo	0,12		0,96	0,17	0,50	0,40	0,64	0,31	0,12	0,17	<0,01
Dipt	0,37	-0,01		0,31	0,27	0,08	0,31	0,22	0,06	0,10	0,42
Dec	0,67	-0,36	0,27		0,93	0,93	0,17	0,32	0,57	0,40	0,29
Hem	-0,28	-0,18	0,30	-0,02		0,31	0,50	0,42	0,62	0,29	0,60
Col	-0,04	0,23	0,45	-0,02	0,27		0,53	0,74	0,12	0,17	0,17
Bas	-0,36	0,13	-0,27	-0,36	-0,18	0,17		0,31	0,60	0,54	0,37
Tub	0,21	-0,27	0,32	0,26	-0,22	0,09	-0,27		0,24	0,40	0,42
Amp	0,04	-0,40	-0,48	0,15	0,14	-0,40	-0,14	-0,31		0,06	0,23
Ven	-0,28	-0,36	-0,43	-0,23	-0,28	-0,36	0,17	-0,22	0,48		0,29
<i>M. marcella</i>	0,02	0,84	-0,22	-0,28	-0,14	0,36	0,24	-0,22	-0,32	-0,28	

Neo: Neotaenioglossa. Odo: Odonata. Dipt: Diptera. Dec: Decapoda. Hem: Hemiptera. Col: Coleoptera. Bas: Basommatophora. Tub: Tubificida. Amp: Amphipoda. Ven: Veneroidea.

Belostomatidae	<i>Belostoma</i> sp.	15	5	17			37
Gerridae	<i>Brachymetra</i> sp.		14	25		20	59
Gerridae	<i>Eurygerris</i> sp.	13		19			32
Gerridae	<i>Rheumatobates</i> sp.	12	8	12		36	68
Gerridae	<i>Tachygerris</i> sp.		14	34			48
Gerridae	<i>Trepobates</i> sp.	22	18				40
Hydrometridae	<i>Hydrometra</i> sp.		2				2
Micronectidae	<i>Tenagobia</i> sp.	36	39	39	17	16	147
Naucoridae	<i>Cryphocricos</i> sp.	9		12			21
Naucoridae	<i>Limnocoris</i> sp.		11		30		41
Naucoridae	<i>Pelocoris</i> sp.	19	2	17	12		50
Notonectidae	<i>Buenoa</i> sp.	1				29	30
Pleidae	<i>Neoplea</i> sp.					14	14
Pleidae	<i>Paraplea</i> sp.	18	27	15			60
Veliidae	<i>Microvelia</i> sp.				21		21
Veliidae	<i>Rhagovelia</i> sp1.	26	1	10	12	16	59
Veliidae	<i>Rhagovelia</i> sp2.		3				3
Veliidae	<i>Steinovelia</i> sp.				7		7
Lepidoptera							
Crambidae	<i>Petrophila</i> sp.		4	6			10
Crambidae	<i>Paraponyx</i> sp.			3			3
Megaloptera							
Corydalidae	<i>Corydalus</i> sp.					2	2
Odonata							
Aeshnidae	<i>Coryphaeschna adnexa</i>		9	13	21	3	46
Aeshnidae	<i>Triacanthagyna</i> sp.			4		4	8
Coenagrionidae	<i>Ischnura ramburii</i>	18	44	48	27	15	152
Coenagrionidae	<i>Neoerythromma</i> sp.	23		10		17	50
Coenagrionidae	<i>Telebasis filiola</i>	16	50	44	81	31	222
Coenagrionidae	<i>Telebasis salva</i>				23	20	43
Libellulidae	<i>Brachymesia</i> sp.	22	2	29	35		88
Libellulidae	<i>Dythemis sterilis</i>			97		173	270
Libellulidae	<i>Erythemis</i> sp.	23			22	7	59
Libellulidae	<i>Erythrodiplax fervida</i>				19	3	22
Libellulidae	<i>Erythrodiplax umbrata</i>				2	18	20
Libellulidae	<i>Miathyria marcella</i>	51	4	158	335	136	819
Libellulidae	<i>Miathyria simplex</i>			17		9	26
Libellulidae	<i>Perithemis</i> sp.				15	18	33
Libellulidae	<i>Tramea onusta</i>					44	51
Trichoptera							
Hydroptilidae	<i>Oxyethira</i> sp.		2				2
Hydroptilidae	<i>Neotrichia</i> sp.			3		6	9
Malacostraca							
Amphipoda							
Melitidae	<i>Quadrimaera</i> sp.	10					10
		15					
Colomastigidae	<i>Colomastix</i> sp.	1					151
Decapoda							
Paguridae	Paguridae ind.	1					1
Palaemonidae	<i>Macrobrachium</i> sp.	8	11	84	4	43	576
		5					830
Trichodactylidae	<i>Bottiella medemi</i>			8			8
Trichodactylidae	<i>Trichodactylus quinquedentatus</i>		21	13			34
Pseudothelphusidae	Pseudothelphusidae ind.	9					9
Maxillopoda							
Calanoida							
Diaptomidae	Diaptomidae indet.	369				687	1056
MOLLUSCA							
Bivalvia							
Mytiloida							
Mytilidae	<i>Brachidontes domingensis</i>	32					32
Mytilidae	<i>Modiolus modiolus</i>	6					6
Unionoida							
Mycetopodidae	<i>Mycetopoda pittieri</i>	15					15
Veneroida							
Veneridae	<i>Anomalocardia</i> sp.	21					21
Corbiculidae	<i>Neocorbicula</i> sp.	35					35
Corbiculidae	<i>Polymesoda arctata</i>					3	3
Veneridae	<i>Protothaca</i> sp.	21					21

Gastropoda**Architaenioglossa**

Ampullariidae	<i>Marisa cornuarietis</i>			65	16	21	9	111
Ampullariidae	<i>Pomacea flagellata</i>			5				5
Ampullariidae	<i>Pomacea paludosa</i>			46	56			102

Basommatophora

Lymnaeidae	<i>Pseudosuccinea columella</i>			38	31	68	23	160
Physidae	<i>Physella acuta</i>			96				96
Planorbidae	<i>Drepanotrema anatinum</i>	44	1	53	21	31	13	163
Planorbidae	<i>Drepanotrema cimex</i>			112				112
Planorbidae	<i>Drepanotrema sp.</i>		5		57	25		87
Planorbidae	<i>Gundlachia radiata</i>			13				13
Planorbidae	<i>Hebetancylus moricandi</i>			8	13	29		50

Neogastropoda

Melongenidae	<i>Melongena sp.</i>		1					1
Neotaenioglossa								
Amnicolidae	<i>Amnicola rhombostoma</i>	74	24					98
Cochliopidae	<i>Pyrgophorus platyrachis</i>	81	26	290	359	528	713	2239
Thiaridae	<i>Melanooides tuberculatus</i>	214	8				798	1012

Neritopsina

Neritidae	<i>Neritina virginea</i>		5					5
-----------	--------------------------	--	---	--	--	--	--	---

Stylommatophora

Subulinidae	<i>Lamellaxis goodalli</i>		3					3
-------------	----------------------------	--	---	--	--	--	--	---

Total		1854	874	2181	2378	2142	3496	
--------------	--	------	-----	------	------	------	------	--

Bibliografía

Abd Hamid, M.; Ismail, S. N.; Mansor, M., (2021). An Overview of Macrophytes in The Tropical Wetland Ecosystem. *Indonesian Journal of Limnology*. 2(1): 25-34. <https://doi.org/10.51264/inajl.v2i1.12>.

Abdul, N.H.; Rawi, C.S.M.; Ahmad, A.H.; Al-Shami, S.A., (2017). Effect of environmental disturbances on odonata assemblages along a tropical polluted river. *Ekología*. 36(4): 388-402. <https://doi.org/10.1515/eko-2017-0030>.

Abellán, P.; Sánchez-Fernández, D.; Velasco, J; Millán, A., (2005). Assessing conservation priorities for insects: status of water beetles in southeast Spain. *Biol. Conserv.* 121(1): 79-90. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.04.011>.

Acreman, M.; Aldrick, J.; Binnie, C.; Black, A.; Cowx, I.; Dawson, H.; Dunbar, M.; Extence, C.; Hannaford, J.; Harby, A.; Holmes, N.; Jarritt, N.; Old, G.; Peirson, G.; Webb, J.; Wood, P., (2009). Environmental flows from dams: the water framework directive. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. *Engineering Sustainability*. 162(1): 13-22. <https://doi.org/10.1680/ensu.2009.162.1.13>.

Adu, B.W.; Amusan, B.O.; Oke, T.O., (2019). Assessment of the water quality and Odonata assemblages in three waterbodies in Ilara-Mokin, south-western Nigeria. *International Journal of Odonatology*. 22(2): 101-114. <https://doi.org/10.1080/13887890.2019.1593889>.

Aguilera, M., (2011). *Habitantes del agua: El complejo lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta*. Banco de la Republica: Bogotá, Colombia.

Akram, W.; Ali-Khan, H.A., (2016). Odonate nymphs, generalist predators and their potential in the management of dengue mosquito *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *J. Arthropod-Borne Dis.* 10(2): 252-257.

Alonso-Eguía, P.E., (2004). Estudio de las asociaciones ecológicas de los odonatos de la cuenca del río Moctezuma. Tesis de Doctorado. Ciencias Manejo de Recursos Bióticos Facultad de Ciencias Naturales: Universidad Autónoma de Querétaro, México.

- Altamiranda, M.; Pérez, L.A.; Gutiérrez, L.C., (2010). Composición y preferencia de microhábitat de larvas de Odonata , en la Ciénaga San Juan de Tocagua (Atlántico, Colombia). *Caldasia*. 32(2): 399-410.
- Amaya, V.; Ledezma, J., (2010). Libélulas (Odonata: Anisoptera) de la colección entomológica del museo De Historia Natural Noel Kempff Mercado, Santa Cruz de La Sierra, Bolivia. *Kempffiana*. 6(2): 40-47.
- Andrade, C.A., (2001). Las corrientes superficiales en la cuenca de Colombia observadas con boyas de deriva. *Revista Acad. Colomb. Ci. Exact.* 25(96): 321-335.
- Angulo, C., (1954). El departamento del Atlántico y sus condiciones físicas. *Boletín de la Sociedad Geográfica de Colombia*. 1(12): 1-23.
- Aristizábal-García, H., (2017). *Hemípteros acuáticos y semiacuáticos del Neotrópico*. Editorial Gente Nueva: Bogotá, D. C., Colombia.
- Barbán, L., (2015). Larvas de odonatos asociadas a las raíces de *Eichhornia crassipes* (Pontederiaceae), en la represa Halons, Santiago de Cuba, Cuba. *Revista Colombiana de ciencia animal*. 7(2): 130-138. <https://doi.org/10.24188/recia.v7.n2.2015.242>.
- Barbosa, V.V.; Severiano, J.d.S.; Oliveira, D.A.; Barbosa, J.E., (2020). Influence of submerged macrophytes on phosphorus in a eutrophic reservoir in a semiarid region. *Journal of Limnology*. 79(2): 138-150. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2020.1931>.
- Batzer, D.P.; Pusateri, C.R.; Vetter, R., (2000). Impacts of fish predation on marsh invertebrates: direct and indirect effects. *Wetlands*. 20(2): 307-312.
- Batzer, D.P.; Ruhí, A., (2013). Is there a core set of organisms that structure macroinvertebrate assemblages in freshwater wetlands? *Freshw. Biol.* 58(8): 1647-1659. <https://doi.org/10.1111/fwb.12156>.
- Beckemeyer, R.J., (2009). First record of the dragonfly *Miathyria marcella* (Selys) for Kansas (Odonata: Anisoptera: Libellulidae). *Trans Kans Acad Sci.* 112(1/2): 130-132. <https://www.jstor.org/stable/40588232>.
- Benavides L.J., (2019). *Análisis de la influencia de la calidad del agua del arroyo León en la calidad del agua de la ciénaga de Mallorquín*. Proyecto de grado Maestría en Ingeniería Ambiental. Departamento de ingeniería civil y ambiental. Universidad del Norte: Barranquilla, Colombia.
- Bernal, R.; Gradstein, S.R.; Celis, M., (2019). *Catálogo de plantas y líquenes de Colombia*. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia: Bogotá. <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co>.

Bobrowsky, P.; Ball, B., (1989). *The theory and mechanics of ecological diversity in archaeology*. Cambridge University Press: Cambridge, Reino Unido.

Boros, G.; Søndergaard, M.; Takács, P.; Vári, Á.; Tátrai, I., (2011). Influence of submerged macrophytes, temperature, and nutrient loading on the development of redox potential around the sediment–water interface in lakes. *Hydrobiologia*. 665(1): 117-127. <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0609-4>.

Bowden, W.B.; Glime, J.M.; Riis, T., (2017). Chapter 13 - Macrophytes and bryophytes. In: Hauer, F.R.; Lamberti, G.A., (Eds.) *Methods in stream ecology*, volume 1 (third edition) (pp. 243-271). Boston: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416558-8.00013-5>.

Bowles, D.E.; Kleinsasser, L.J., (2022). Environmental determinants of distribution for dragonfly nymphs (Odonata: Anisoptera) in urban and no-urban East Texas streams, USA. *Hydrobiology*. 1(1): 76-88. <https://doi.org/10.3390/hydrobiology1010006>.

Boxshall, G.A.; Defaye, D., (2008). Global diversity of copepods (Crustacea: Copepoda) in freshwater. *Hydrobiologia*. 595: 195–207. <https://doi.org/10.1007/s10750-007-9014-4>.

Brito, J. S.; Michelan, T. S.; Juen, L., (2020). Aquatic macrophytes are important substrates for Libellulidae (Odonata) larvae and adults. *Limnology*. 22(1): 139-149. <https://doi.org/10.1007/s10201-020-00643-x>.

Buczynska, E.; Buczynski, P., (2019). Survival under anthropogenic impact: the response of dragonflies (Odonata), beetles (Coleoptera) and caddisflies (Trichoptera) to environmental disturbances in a two-way industrial canal system (central Poland). *PeerJ*. 6: e6215. <https://doi.org/10.7717/peerj.6215>.

Bybee, S.M.; Kalkman, V.J.; Erickson, R.J.; Fradsen, P.B.; Breinholt, J.W.; Suvorov, A.; Dijkstra, K.B.; Cordero-Rivera, A.; Skevington, J.H.; Abbott, J.C.; Sanchez, M.; Lemmon, A.R.; Moriarty, E.; Ware, J.L., (2021). Phylogeny and classification of Odonata using targeted genomics. *Mol. Phylogenet. Evol.* 160: 107115. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2021.107115>.

Campbell, D., (2020). Wetlands. In: Goldstein, M.I.; DellaSala D.A. (Eds.), *Encyclopedia of the world's biomes* (pp. 99-113). Oxford: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11810-X>.

Campos, M.R., (2014). *Crustáceos decápodos de agua dulce de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencias Naturales: Bogotá, Colombia.

Carvalho-Soares, A.A.; Ferreira, K.G.; Sousa, K.S.; Nascimento, A.C.L.; Mendoza-Penagos, C.C.; Vieira, T.B.; Salcedo, A.K.M.; Oliveira-Junior, J.M.B.; Calvão, L.B.; Dias-Silva, K., (2022). Checklist and New Occurrences of Odonata (Insecta) from Volta Grande do Xingu, Pará, Brazil. *Hydrobiology*. 1(2): 183-195. <https://doi.org/10.3390/hydrobiology1020014>.

Castellanos, K.; Pizarro, J.; Cuentas, K.; Costa, J.C.; Pino, Z.; Gutiérrez, 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>.

Castillo, R.M.; Huamantínco, A.A., (2020). Variación espacial de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la zona litoral del humedal costero Santa Rosa, Lima, Perú. *Rev. Biol. Trop.* 68(1): 50-68.

Chambers, P.A.; Lacoul, P.; Murphy, K.J.; Thomaz, S.M., (2007). Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater. In: *Freshwater animal diversity assessment* (pp. 9-26). Springer: Dordrecht, Holanda.

Chang, F.H.; Lawrence, J.E.; Rios-Touma, B.; Resh, V.H., (2014). Tolerance values of benthic macroinvertebrates for stream biomonitoring: assessment of assumptions underlying scoring systems worldwide. *Environ. Monit. Assess.* 186(4): 2135-2149. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3523-6>.

Chao, A., (1987). Estimating the population size for capture–recapture data with unequal catchability. *Biometrics*. 43: 783-791. <https://doi.org/10.2307/2531532>.

Chapman, D.V., (2021). *Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. CRC Press: Cambridge, United Kingdom.

Choi, J.; Kim, S.; Kim, J.; Kwon, S., (2020). Habitat Preferences and Trophic Position of *Brachydiplax chalybea flavovittata* Ris, 1911 (Insecta: Odonata) Larvae in Youngsan River Wetlands of South Korea. *Insects*. 11(5): 1-18. <https://doi.org/10.3390/insects11050273>.

Choo, M.Z.J.; Low, B.W.; Ngiam, R.W.J.; Yeo, D.C.J., (2021). Predation of mosquitos by odonates in a tropical urban environment: insights from functional response and field mesocosm experiments. *Biological Control*. 161(104702): 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104702>.

Cid, N.; Bonada, N.; Carlson, S.M.; Grantham, T.E.; Gasith, A.; Resh, V.H., (2017). High variability is a defining component of Mediterranean-climate rivers and their biota. *Water*. 9(52): 1-24. <https://doi.org/10.3390/w9010052>.

Colwell, R.K., EstimateS 9.1.0 [software], (2019). <https://www.robertkcolwell.org/pages/estimates>.

Cómbita-Heredia, J.O., (2013). *Ácaros acuáticos (Acari: Hydrachnidia) de Colombia*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/49856>.

Corbet, P.S., (1999). *Dragonflies, Behaviour and Ecology of Odonata*. Harley Books, Colchester. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2001.00664.x>.

Corporación Autónoma Regional del Atlántico -CRA-; Cormagdalena; Damab; Conservación Internacional Colombia., (2006). *Plan de Ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica de la ciénaga de Mallorquín*. CRA: Barranquilla, Colombia.

Corporación Autónoma Regional Del Atlántico -CRA-. (2007). *Documentación del estado de las cuencas hidrográficas en el departamento del Atlántico*. CRA: Barranquilla, Colombia.

Corporación Autónoma Regional Del Atlántico -CRA-. (2012a.) *Caracterización fisicoquímica de los vertimientos de aguas residuales hacia los cuerpos de agua del Departamento del Atlántico y monitoreo fisicoquímico, microbiológico e hidrobiológico sobre la calidad y estado actual de las fuentes hídricas del departamento*. CRA: Barranquilla, Colombia.

Corporación Autónoma Regional Del Atlántico -CRA-. (2012b.) *Plan de Gestión ambiental regional del departamento del Atlántico*. PGAR 2012-2022. Diagnóstico ambiental. CRA: Barranquilla, Colombia.

Corporación Autónoma Regional Del Atlántico -CRA-. (2014). *Diagnóstico inicial para el ordenamiento del embalse del Guájaro y la Ciénaga de Luruaco*. CRA: Barranquilla, Colombia.

Corporación Autónoma Regional Del Atlántico -CRA-. (2016). *Plan de Acción Cuatrienal PAC 2016-2019*. Atlántico frente al cambio climático. Ediciones e impresos Amaranta LTDA: Bogotá, Colombia.

Correa-Araneda, F., (2016). Diseño muestral y métodos de muestreo en ríos, lagunas y humedales para el estudio de bioindicadores de calidad de agua. In: Chatata, B., Talavera, C., Villasante, F. (Eds.), *Estudio de Comunidades Biológicas Como Bioindicadores de Calidad de Agua*. Universidad Nacional de San Agustín-CONCYTEC: Arequipa, Perú.

Correa-Araneda, F.; Núñez, D.; Díaz, M. E.; Gómez-Capponi, F.; Figueroa, R.; Acuña, J.; Boyero, L.; Esse, C., (2021). Comparison of sampling methods for benthic macroinvertebrates in forested wetlands. *Ecological Indicators*. 125: 107551. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107551>.

Cortés-Guzmán, D.; Alcocer, J.; Cummins, K.W., (2021). Benthic macroinvertebrates of tropical streams: Functional and trophic diversity of the Lacantún river, Mexico. *Limnology*. 22(3): 313-328. <https://doi.org/10.1007/s10201-021-00658-y>.

Costa, J.M.; Assis, C.V., (1992). Estudo morfológico da larva de último ínstar de *Miathyria simplex* (Rambur) (Odonata, Libellulidae). *Revista Brasileira De Zoologia*. 9(3-4): 329-336. <https://doi.org/10.1590/S0101-81751992000200020>.

Czerniawska-Kusza, I., (2022). Assessing Benthic Macroinvertebrates in Relations to Environmental Variables and Revitalisation Works. *Ecol Chem Eng S.* 29(1): 99-110. <https://doi.org/10.2478/eces-2022-0009>.

da Silva, C.V.; Henry, R., (2019). Aquatic macroinvertebrate assemblages associated with two floating macrophyte species of contrasting root systems in a tropical wetland. *Limnology.* 21: 107-118. <https://doi.org/10.1007/s10201-019-00588-w>.

Dagua, C.; Torres, R.; Monroy, J., (2018). Condiciones oceanográficas de la reserva de biosfera Seaflower 2014–2016. *Boletín Científico CIOH.* 37: 53-74. <https://doi.org/10.26640/22159045.2018.449>.

Dallas, H. F.; Ross-Gillespie, V.; Dallas, H. F., (2015). Sublethal effects of temperature on freshwater organisms, with special reference to aquatic insects: review. *Water S. A.*, 41(5): 712-726. <http://dx.doi.org/10.4314/wsa.v41i5.15>.

Dalu, T.; Wasserman, R.J.; Tonkin, J.D.; Mwedzi, T.; Magoro, M.L.; Weyl, O.L.F., (2017). Water or sediment? Partitioning the role of water column and sediment chemistry as drivers of macroinvertebrate communities in an austral South African stream. *Sci. Total Environ.* 607-608: 317-325. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.267>.

Damborenea, C.; Rogers, D. C.; Thorp, J. H., (Eds.), (2020). Keys to Neotropical and Antarctic Fauna. Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates (Volume 5). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804225-0.00001-0>.

de Oliveira-Junior, J.M.; Shimano, Y.; Gardner, T.A.; Hughes, R.M.; de Marco Júnior, P.; Juen, L., (2015). Neotropical dragonflies (Insecta: Odonata) as indicators of ecological condition of small streams in the eastern Amazon. *Austral Ecology.* 40(6): 733-744. <https://doi.org/10.1111/aec.12242>.

Diarra, B.; Konan. K.J.; Yapo, L.M.; Kouassi, K.P., (2018). Aquatic macroinvertebrates associated with free-floating macrophytes in a marginal lentic ecosystem (Ono Lagoon, Côte d'Ivoire). *J Entomol Zool Stud.* 6: 1432–1441.

Díaz-Granados O, M.; Camacho, L.; Maestre, A., (2014). Modelación de balances hídricos de ciénagas fluviales y costeras colombianas. I: Fundamentos técnicos. *Revista De Ingeniería.* 13(1): 12-20.

Dijkstra, K. B.; Bechly, G.; Bybee, S. M.; Dow, R. A.; Dumont, H. J.; Fleck, G.; Garrison, R. W.; Hämäläinen, M.; Kalkman, V. J.; Karube, H.; May, M. L.; Orr, A. G.; Paulson, D. R.; Rehn, A. C.; Theischinger, G.; Trueman, J. W. H.; Van Tol, J.; Von Ellenrieder, N.; Ware, J., (2013). The classification and diversity of dragonflies and damselflies (Odonata). In: Zhang, Z.Q., (Ed.) Animal Biodiversity: An Outline of Higher-level Classification and Survey of Taxonomic Richness. *Zootaxa.* 3703(1): 36-45. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3703.1.9>.

- Dijkstra, K.-D.B.; Bechly, G.; Bybee, S.M.; Dow, R.A.; Dumont, H.J.; Fleck, G., et al., (2013). The classification and diversity of dragonflies and damselflies (Odonata). In: Animal biodiversity: an outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness. Edited by Z.-Q. Zhang. *Zootaxa*. 3703: 36–45. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3703.1.9>.
- Dirisu, C.G.; Mafiana, M.O.; Dirisu, G.B., (2016). Level of pH in drinking water of an oil and gas producing community and perceived biological and health implications. *European Journal of Basic and Applied Sciences*. 3(3): 53–60.
- Dodds, W. K.; Whiles, M. R., (2020). *Freshwater ecology*. Academic Press: Elsevier, USA.
- El-Sheekh, M.M.; Haroon, A.M.; Sabae, S., (2018). Seasonal and spatial variation of aquatic macrophytes and phytoplankton community at El-Quanater El-Khayria River Nile, Egypt. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*. 7(3): 344-352. <https://doi.org/10.1016/j.bjbas.2018.03.002>.
- Esquivel, C., (2006). *Libélulas de Mesoamérica y el Caribe* (1. ed.). Santo Domingo de Heredia, C.R: INBio, Inst. Nac. de Biodiversidad, Costa Rica.
- Esteves, F.A.; Caliman, A.; Santangelo, J.M.; Guariento, R.D.; Farjalla, V.F.; Bozelli, R. L., (2008). Neotropical coastal lagoons: An appraisal of their biodiversity, functioning, threats and conservation management. *Brazilian Journal of Biology*. 68(4): 967-981. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842008000500006>.
- Fernández del Castillo, A.; Yebra-Montes, C.; Verduzco, M.; de Anda, J.; Garcia-Gonzalez, A.; Gradilla-Hernández, M.S., (2022). Simple Prediction of an Ecosystem-Specific Water Quality Index and the Water Quality Classification of a Highly Polluted River through Supervised Machine Learning. *Water*. 14(8): 1-24. <https://doi.org/10.3390/w14081235>.
- Fernández, R.L., (2012). Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos. *Páginas de información ambiental*. 39: 24-29.
- Ferreiro, N., (2014). Evidence on night movements of macroinvertebrates to macrophytes in a Pampean stream. *Open J Mod Hydrol*. 4: 95-100. <http://dx.doi.org/10.4236/ojmh.2014.43009>.
- Flecker, A.S.; Feifarek, B., (1994). Disturbance and the temporal variability of invertebrate assemblages in two Andean streams. *Freshwater Biol*. 31(2): 131-142. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1994.tb00847.x>.
- Fu, Q.; Zheng, B.; Zhao, X.; Wang, L.; Liu, C., (2012). Ammonia pollution characteristics of centralized drinking water sources in China. *Journal of Environmental Sciences*. 24(10): 1739-1743. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(11\)61011-5](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(11)61011-5).

- Fulan, J.Â.; Anjos, M., (2015). Predation by *Erythemis* nymphs (Odonata) on Chironomidae (Diptera) and Elmidae (Coleoptera) in different conditions of habitat complexity. *Acta Limnol. Bras.* 27(4): 454-458. <http://dx.doi.org/10.1590/S2179-975X2415>.
- Galvis Vergara, J; Huguett Granados, A., (2008) Rocas volcánicas basálticas en la región de Luruaco. Departamento del Atlántico - Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 32(124): 353-359.
- García-García, P.L.; Vázquez, G.; Novelo-Gutiérrez, R.; Favila, M.E., (2016). Effects of land use on larval Odonata assemblages in cloud forest streams in Central Veracruz, Mexico. *Hydrobiologia.* 785(1): 19-33. <https://doi.org/10.1007/s10750-016-2900-x>.
- García, M.; Sánchez, F.; Marín, R.; Guzmán, H.; et al. (1998). El agua. In: P. Leyva (Ed.), *El medio ambiente en Colombia* (pp. 115-189). IDEAM: Bogotá, Colombia.
- Garrison, R.W.; von Ellenrieder, N.; Louton, J.A., (2006). *Dragonfly Genera of the New World*. Johns Hopkins University Press. Maryland: Washington D.C., EE.UU.
- Gaviria, E.A., (1993). Claves para las especies colombianas de las familias Naididae y Tubificidae (Oligochaeta, Annelida). *Caldasia.* 17(81): 237-248. <https://www.jstor.org/stable/23641296>.
- Gettys, L.A.; Haller, W.T.; Bellaud, M., (2009). *Biology and control of aquatic plants: A Best Management Practices Handbook*. Aquatic Ecosystem Restoration Foundation: Marietta GA, USA.
- Gómez-Anaya, J.A.; Novelo-Gutiérrez, R.; Campbell, W.B., (2011). Diversity and distribution of Odonata (Insecta) larvae along an altitudinal gradient in Coalcomán mountains, Michoacán, Mexico. *Revista De Biología Tropical.* 59(4): 1559-1577. <https://doi.org/10.15517/rbt.v59i4.3420>.
- Gómez-Tolosa, M.L.; Mendoza-Cuenca, L.F.; Rioja-Paradela, T.M.; Espinoza-Medinilla, E.E.; Alonso-Eguía, P.E.; Rivera-Velázquez, G.; Penagos-García, F.E.; Pérez-Munguía, R.M.; Ortega-Salas, H.; Gómez-Cristiani, M.; Gómez-Gutiérrez, R.B., (2015). Odonata (Insecta) de tres cuencas en la costa de Chiapas: lista de especies y registro nuevo. *Rev Mex Biodivers.* 86(1): 1-7. <https://doi.org/10.7550/rmb.48665>.
- Gómez, L.C.; Gómez, R.O.; Monsalve, C.M., (2016). Gestión ambiental en humedales costeros como estrategia de prevención de enfermedades. Especies invasoras acuáticas y salud. Memorias del II seminario sobre especies invasoras en humedales, calidad de agua y desarrollo de vectores de enfermedades (InvaWet): Barranquilla, Colombia.
- González-Córdoba, M.; Zúñiga, M.; Manzo, V., (2020). La familia Elmidae (Insecta: Coleoptera: Byrrhoidea) en Colombia: riqueza taxonómica y distribución. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 44(171): 522-553. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1062>.

González, B., (2007). *Los Odonata (Insecta) del Río San Pedro, Parque Nacional Laguna del Tigre (San Andrés, Petén): Taxonomía, Diversidad e Historia Natural*. Tesis de pregrado. Universidad de San Carlos de Guatemala: Ciudad de Guatemala, Guatemala.

Guellaf, A.; Bennis, N.; El Haissoufi, M.; L'Mohdi, O.; Kettani, K., (2021). New data on the biodiversity and chorology of aquatic insects (Odonata, Coleoptera and Hemiptera) of Martil Basin (northwestern Morocco). *Graellsia*. 77(2): 1-23. <https://doi.org/10.3989/graellsia.2021.v77.311>.

Gupta, S.K.; Gupta, I.C., (2020). *Drinking Water Quality Assessment and Management*. Scientific Publishers: Jodhpur, India.

Hairston, N.G.; Kearns, C.M., (2002). Temporal dispersal: ecological and evolutionary aspects of zooplankton egg banks and the role of sediment mixing. *Integr. Comp. Biol.* 42(3): 481-491. <https://doi.org/10.1093/icb/42.3.481>.

Hamada, N.; Thorp, J.H.; Rogers, D.C., (2018). Keys to Neotropical Hexapoda. Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates. Elsevier Science & Technology. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804223-6.09001-6>.

Hecca, D.; Arinafril, A.; Novia, N., (2018). Diversity of odonata and aquatic environmental conditions in lake area (Water Ski and OPI) Jakabaring Palembang-South Sumatra. *Biovalentia*. 4(2): 1-6.

Heckman, C.W., (2006). Encyclopedia of South American Aquatic Insects: Odonata Anisoptera (1. Aufl. ed.). Springer: Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4802-5>.

Heltshel, J.F.; Forrester, N.E., (1983). Estimating Species Richness Using the Jackknife. *Biometrics*. 39: 1-11. <http://dx.doi.org/10.2307/2530802>.

Hilt, S.; Vermaat, J.E.; van de Weyer, K., (2021). Macrophytes. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819166-8.00043-8>.

Hopper, K.R., (2001). Flexible antipredator behavior in a dragonfly species that coexists with different predator types. *Oikos*. 93(3): 470-476. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2001.930312.x>.

Horne, A.; Webb, A.; Stewardson, M.; Richter, B.; Acreman, M., (Eds.), (2017). Water for the environment: From policy and science to implementation and management. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2015-0-00163-0>.

Hurtado-Montoya, A.; Mesa-Sánchez, O., (2014). *Reconstrucción de los campos de precipitación mensual en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín: Facultad de Minas. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/49574>.

Hussain, Q.A.; Pandit, A.K., (2012). Macroinvertebrates in streams: a review of some ecological factors. *Int J Fish Aquaculture*. 4(1): 114-123.

Hutchins, M.G.; Harding, G.; Jarvie, H.P.; Marsh, T.J.; Bowes, M.J.; Loewenthal, M., (2020). Intense summer floods may induce prolonged increases in benthic respiration rates of more than one year leading to low river dissolved oxygen. *Journal of Hydrology*. X(8): 100056. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2020.100056>.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras -HIMAT-, (1984). Inventario Nacional de cuerpos de agua. División Distrito de Riego, Ministerio de Agricultura: Bogotá. En: Roldan, G., (1992). Fundamentos de Limnología Neotropical. Editorial Universidad de Antioquia: Medellín, Colombia.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM-, (2001). Geomorfología susceptibilidad a la inundación del valle fluvial del Magdalena. Sector Barrancabermeja - Bocas de Ceniza. IDEAM: Bogotá, Colombia.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM-, (2018). Validación de las fórmulas de evapotranspiración de referencia (ET_o) para Colombia. IDEAM: Bogotá, Colombia.

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras -INVEMAR-, (2007). Ordenamiento Ambiental de la Zona Costera del Departamento del Atlántico. Informe Final. Editado por: López, A., INVEMAR – CRA: Santa Marta, Colombia.

Jäch, M.A.; Balke, M., (2008). Global diversity of water beetles (Coleoptera) in freshwater. *Hydrobiologia*. 595: 419-442. <https://doi.org/10.1007/s10750-007-9117-y>.

Keke, U.N.; Arimoro, F.O.; Auta, Y.I.; Ayanwale, A.V., (2017). Temporal and spatial variability in macroinvertebrate community structure in relation to environmental variables in Gbako River, Niger State, Nigeria. *Trop Ecol*. 58 (2): 229-240.

Kent, M.; Coker, P., (1992). *Vegetation description and analysis. A practical approach*. Ed. Jhon Wiley y Sons: Chichester, England.

Khan, H.; Laas, A.; Marcé, R.; Obrador, B., (2020). Major effects of alkalinity on the relationship between metabolism and dissolved inorganic carbon dynamics in lakes. *Ecosystems*. 23(8): 1566-1580. <https://doi.org/10.1007/s10021-020-00488-6>.

Kitchenham, B., (2004). *Procedures for Performing Systematic Reviews*. Volume 33. Keele University: Keele, Inglaterra.

Koch, E.; Martin, S.M.; Ciocco, N.F., (2015). A molecular contribution to the controversial taxonomical status of some freshwater snails (Caenogastropoda: Risssoidea,

Cochliopidae) from the Central Andes desert to Patagonia. *Iheringia Série Zoologia*. 105(1): 69-75. <https://doi.org/10.1590/1678-4766201510516975>.

Koda, E.; Siczka, A.; Osinski, P., (2016). Ammonium concentration and migration in groundwater in the vicinity of waste management site located in the neighborhood of protected areas of Warsaw, Poland. *Sustainability*. 8(12): 1253. <https://doi.org/10.3390/su8121253>.

Kohli, M.; Letsch, H.; Greve, C.; Béthoux, O.; Deregnaucourt, I.; Liu, S.; Zhou, X.; Donath, A.; Mayer, C.; Podsiadlowski, L.; Gunkel, S.; Machida, R.; Niehuis, O.; Rust, J.; Wappler, T.; Yu, X.; Misof, B.; Ware, J., (2021). Evolutionary history and divergence times of Odonata (dragonflies and damselflies) revealed through transcriptomics. *iScience*. 24(11): 103324. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.103324>.

Kondo, T.; Palacino-Rodriguez, F.; Pena-Cuellar, R.D., (2015). Report of *Erpetogomphus sabaleticus* Williamson, 1918 feeding on *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae). *Boletín del Museo de entomología*. 16(1): 17-26.

Kragh, T.; Sand-Jensen, K., (2018). Carbon limitation of lake productivity. *Proceedings of the Royal Society B, Biological Sciences*. 285: 20181415. <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.1415>.

Kuczyńska-Kippen, N.; Joniak, T., (2016). Zooplankton diversity and macrophyte biometry in shallow water bodies of various trophic state. *Hydrobiologia*. 774(1): 39-51. <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2595-4>.

Lachmann, S. C.; Mettler-Altmann, T.; Wacker, A.; Spijkerman, E., (2019). Nitrate or ammonium: Influences of nitrogen source on the physiology of a green alga. *Ecology and Evolution*. 9(3): 1070-1082. <https://doi.org/10.1002/ece3.4790>.

Lamelas-López, L.; Borges, P.A.V.; Serrano, L.; Gonçalves, V.; Florencio, M., (2021). Biodiversity Patterns of Macroinvertebrate Assemblages in Natural and Artificial Lentic Waters on an Oceanic Island. *Front. Ecol. Evol.* 8:605176. <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.605176>.

Lampzey, A.D.; Kyerematen, R.; Owsu, O.E., (2013). Dragonflies (Odonata: Anisoptera) as tools for habitat quality assessment and monitoring. *J. Agric. Res.* 2(8): 178-182.

Laython, M., (2017). Los Coleópteros Acuáticos (Coleoptera: Insecta) en Colombia, Distribución y Taxonomía. Universidad Nacional de Colombia: Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/62323>.

Leidonald, R.; Muhtadi, A.; Lesmana, I.; Harahap, Z.A.; Rahmadya, A., (2019). Profiles of temperature, salinity, dissolved oxygen, and pH in Tidal Lakes. *IOP Conference Series*:

Earth and Environmental Science. 260(1): 12075. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/260/1/012075>.

Lenis V.D., (2019). *Importancia de los humedales naturales y artificiales en el ámbito socio-ambiental*. Una revisión bibliográfica Universidad Santiago de Cali: Cali, Colombia.

Lepczyk, C.A.; Aronson, M.F.; Evans, K.L.; Goddard, M.A.; Lerman, S.B.; MacIvor, J.S.; (2017). Biodiversity in the city: fundamental questions for understanding the ecology of urban green spaces for biodiversity conservation. *BioScience*. 67(9): 799-807. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix079>.

Lewis, W., (1995). Tropical lakes: How latitude makes a difference. In: F. Schiemer and K. T. Boland (Eds.), *Perspectives in Tropical Limnology* (pp. 43-64). SPB Academic Publishing: Amsterdam, Netherlands.

Linares, E.L.; Lasso, C.A.; Vera-Ardila, M.L.; Morales-Betancourt, M.A., (Eds.), (2018). *Moluscos dulceacuícolas de Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt: Bogotá, D.C., Colombia.

Lombardo, P., (1997). Predation by *Enallagma* nymphs (Odonata, Zygoptera) under different conditions of spatial heterogeneity. *Hydrobiologia*. 356(1): 1-9. <https://doi.org/10.1023/A:1003038717605>.

Lopes, A.; Paula, J.D.; Mardegan, S.F.; Hamada, N.; Piedade, M.T.F., (2011). Influência do hábitat na estrutura da comunidade de macroinvertebrados aquáticos associados às raízes de *Eichhornia crassipes* na região do Lago Catalão, Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica*. 41: 493-502. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672011000400007>.

López-Díaz, J. A.; Gómez, B.; González-Soriano, E.; Gómez-Tolosa, M. (2021). Odonata (Insecta) como indicador de la calidad ambiental en humedales de montaña neotropicales. *Acta Zoologica Mexicana*. 37(1): 1-17. <https://doi.org/10.21829/azm.2021.3712379>.

Lubanga, H.L.; Manyala, J.O.; Sitati, A.; Yegon, M.J.; Masese, F.O., (2021). Spatial variability in water quality and macroinvertebrate assemblages across a disturbance gradient in the Mara River Basin, Kenya. *Ecohydrology & Hydrobiology*. 21(4):718-730. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2021.03.001>.

Malmqvist, B.; Rundle, S., (2002). Threats to the running water ecosystems of the world. *Environmental conservation*. 29(2): 134-153. <https://doi.org/10.1017/S0376892902000097>.

Mancera-Quevedo, P., (2018) *Eichhornia crassipes* y calidad ambiental en la Ciénaga de Sabanagrande. 376-318 pp. En: INVAWET. 2018. Humedales tropicales, especies invasoras y salud. Red temática. InvaWet: Barranquilla, Colombia.

Mandal, S. K.; Ghosh, A.; Bhattacharjee, I.; Chandra, G., (2008). Biocontrol efficiency of odonate nymphs against larvae of the mosquito, *Culex quinquefasciatus* Say, 1823. *Acta Tropica*. 106(2): 109-114. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2008.02.002>.

Mangones-Cervantes, A.; León-Luna, I., (2014). Elementos nutritivos la clorofila a y su relación con las variables físico químicas en la Ciénaga Mallorquín, Colombia. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*. 53(2): 127-141.

Mariani-Ríos, A.; Maldonado-Benítez, N.; Ramírez, A., (2022). Natural history of Odonata assemblages in tropical streams in Puerto Rico. *Neotropical Biodiversity*. 8(1): 112-123. <https://doi.org/10.1080/23766808.2022.2043699>.

Martínez-Rodríguez, M.D.Á.; Pinilla, G.A., (2015). 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>.

Matteucci, S.; Colma, A., (1982). *Metodología para el estudio de la vegetación*. Universidad de Buenos Aires: Buenos Aires, Argentina.

May, M.L., (2019). Odonata: Who They Are and What They Have Done for Us Lately: Classification and Ecosystem Services of Dragonflies. *Insects*. 10(62): 1-17. <https://doi.org/10.3390/insects10030062>.

McPeck, M.A., (1990). Determination of species composition in the *Enallagma* damselfly assemblages of permanent lakes. *Ecology*. 71(1): 83-98. <https://www.jstor.org/stable/1940249>.

Mendes, T.P.; Luiza-Andrade, A.; Cabette, H.; Juen, L., (2017). How Does Environmental Variation Affect the Distribution of Dragonfly Larvae (Odonata) in the Amazon-Cerrado Transition Zone in Central Brazil?. *Neotropical entomology*. 47(1): 37-45. <https://doi.org/10.1007/s13744-017-0506-2>.

Mesa, Ó.; Poveda, G.; Vélez J.; Mejía, J.; Hoyos, C.; Mantilla, R.; Barco, O.; Cuartas, L.; Botero, B.; Montoya, M., (2000). Distribución espacial y ciclos anual y semianual de la precipitación en Colombia. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín Facultad de Minas Escuela de Geociencias y Medio Ambiente: Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/12102>.

Miguel, T.B.; Oliveira-Junior, J.M.B.; Ligeiro, R.; Juen, L., (2017). Odonata (Insecta) as a tool for the biomonitoring of environmental quality. *Ecological Indicators*. 81: 555-566. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.06.010>.

Minsalud – Ministerio de Salud., (1984). Decreto 1594. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI – Parte III

- Libro II y el Título III de la Parte III – Libro I – del Decreto – Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. MINSALUD: Bogotá, Colombia.

Mola, H.R.A.; Gawad, S.S.A.; 2014. Spatio-temporal variations of macrobenthic fauna in Lake Nasser khors, Egypt. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*. 40(4): 415-423. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejar.2014.12.001>.

Monteiro-Jr, C.; Juen, L.; Hamada, N., (2015). Analysis of urban impacts on aquatic habitats in the central Amazon basin: adult odonates as bioindicators of environmental quality. *Ecol. Indic.* 48: 303-311. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.08.021>.

Moreno-Pallares, M. I.; Lobo-Hernández, M.; Gutiérrez-Moreno, L.C.; Pérez-Gutiérrez, L., (2022). Relación de las larvas de Odonata con las raíces de *Eichhornia crassipes* en la ciénaga La Larga, Atlántico, Colombia. *Intropica*. 12(2): 192-201.

Moreno, M.; Bonilla, M.A.; Guillot, G.; Torregroza-Espinosa, A.C., (2022). Distribution of *Miathyria marcella* larvae (Odonata: Libellulidae) and water quality of wetlands in Northern Colombia. *Journal of Freshwater Ecology*. 37(1): 569-581. <https://doi.org/10.1080/02705060.2022.2134220>.

Moreno, M.I.; Bonilla, M.A.; Guillot, G.H.; Torregroza-Espinosa, A.C., (2023). Macroinvertebrates composition as determinants of larval abundance in the dragonfly *Miathyria marcella* in tropical wetlands. *Global Journal of Environmental Science and Management*. 9(1): 129-140. <https://doi.org/10.22034/gjesm.2023.01.10>.

Moreno, M.I.; Lobo, M., (2008). Evaluación de la asociación del ensamblaje de náyades de odonatos con las raíces de *Eichhornia crassipes* en la ciénaga La Larga (departamento del Atlántico, Colombia). Tesis de pregrado para optar el título de Biólogo. Universidad del Atlántico, Facultad de Ciencia Básica: Barranquilla, Colombia.

Ndong, S.; Ngom, B.; Ndao, S.; Ly, A.; Ngom, S.; Tamba, S. (2022). Contribution to the Hydrochemical Study of Groundwater from the Continental Terminal in Saloum. *Journal of Water Resource and Protection*. 14:51-71. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2022.142004>.

Neiff, J.J., (1999). El régimen de pulsos en ríos y grandes humedales de Sudamérica. In: Malvárez, A.I., Kandus, P. (Eds.). Tópicos sobre grandes humedales sudamericanos ORCYT-UNESCO: Montevideo, Uruguay.

Neiss, U. G.; Fleck, G.; Pessacq, P.; Tennessen, K. J. (2018). Chapter 14.3 - Odonata: Superfamily Libelluloidea. In: N. Hamada, J. H. Thorp & D. C. Rogers (Eds.), *Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates (Fourth Edition)* (pp. 399-447). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804223-6.00017-2>.

Newton, A.; Brito, A. C.; Icely, J. D.; Derolez, V.; Clara, I.; Angus, S.; Schernewski, G.; Inácio, M.; Lillebø, A. I.; Sousa, A. I.; Béjaoui, B.; Solidoro, C.; Tosic, M.; Cañedo-Argüelles, M.; Yamamuro, M.; Reizopoulou, S.; Tseng, H.; Canu, D.; Roselli, L.; Khokhlov, V., (2018).

Assessing, quantifying and valuing the ecosystem services of coastal lagoons. *Journal for Nature Conservation*. 44: 50-65. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2018.02.009>.

Niba, A.S.; Samways, M.J., (2006). Remarkable elevational tolerance in an African Odonata larval assemblage. *Odonatologica*. 35(3): 265-280.

Oliveira-Jr, J.M.; De Marco, P.; Dias-Silva, K.; Leitão, R.; Leal, C.G.; Pompeu, P.; Gardner, T.A.; Hughes, R.M.; Juen, L., (2017). Effects of human disturbance and riparian conditions on Odonata (Insecta) assemblages in eastern Amazon basin streams. *Limnologia*. 66: 31-39. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2017.04.007>.

Opong, S.K.; Nsor, C.A.; Buabeng, G.K., (2021). Response of benthic invertebrate assemblages to seasonal and habitat condition in the Wewe River, Ashanti region (Ghana). *Open Life Sciences*. 16(1): 336-353. <https://doi.org/10.1515/biol-2021-0040>.

Oszkinis-Golon, M.; Frankowski, M.; Pukacz, A., (2021). Macrophyte Diversity as a Response to Extreme Conditions in the Post-Mining Lakes of the Muskau Arch (West Poland). *Water*. 13(20): 2909. <https://doi.org/10.3390/w13202909>.

Oyaga, R.F., (2013). Realidades Ambientales de los Cuerpos de Agua del departamento del Atlántico, Colombia. *INGENIARE Universidad Libre-Barranquilla*. 14: 43-62.

Panda, U.S.; Mahanty, M.M.; Rao, V.R.; Patra, S.; Mishra, P., (2015). Hydrodynamics and Water Quality in Chilika Lagoon-A Modelling Approach. *Procedia Engineering*. 116: 639-646. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.337>.

Pander, J.; Knott, J.; Mueller, M.; Geist, J., (2019). Effects of environmental flows in a restored floodplain system on the community composition of fish, macroinvertebrates and macrophytes. *Ecological Engineering*. 132: 75-86. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.04.003>.

Pérez-Gutiérrez, L.A., (2003). Estudio biotaxonómico de los odonatos (Insecta: Odonata Fabricius.1793) del distrito de Santa Marta (Magdalena-Colombia). Tesis de pregrado para optar el título de Biólogo. Universidad del Magdalena, Facultad de Ciencia Básica: Santa Marta, Colombia.

Pérez, L.; Montes, J.; Moreno, M.I.; Gutiérrez, L.C., (2010). *Libélulas de Colombia. Una guía de campo para su identificación*. Sello editorial Universidad del Atlántico: Atlántico, Colombia.

Perron, M.A.C.; Pick, F.R., (2020). Water quality effects on dragonfly and damselfly nymph communities: A comparison of urban and natural ponds. *Environmental Pollution*. 263: 114472. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114472>.

- Perron, M.A.C.; Richmond, I.C.; Pick, F.R., (2021). Plants, water quality and land cover as drivers of Odonata assemblages in urban ponds. *Science of The Total Environment*. 773: 145467. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145467>.
- Petersen, C.R.; Jovanovic, N.Z.; Grenfell, M.C.; Oberholster, P.J.; Cheng, P., (2018). Responses of aquatic communities to physical and chemical parameters in agriculturally impacted coastal river systems. *Hydrobiologia*. 813(1): 157-175. <https://doi.org/10.1007/s10750-018-3518-y>.
- Pielou, E.C., (1969). An Introduction to Mathematical Ecology. *Biometrische Zeitschrift*. 13(3): 219-220. <http://doi.wiley.com/10.1002/bimj.19710130308>.
- Pierre, J.I.S.; Kovalenko, K.E., (2014). Effect of habitat complexity attributes on species richness. *Ecosphere*. 5(2): 1-10. <http://dx.doi.org/10.1890/ES13-00323.1>.
- Pinilla, G.; Duarte, C.,J., (2006). La importancia ecológica de las ciénagas del Canal del Dique y la determinación de su estado limnológico. Colombia: Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7164>.
- Poff, N.L.; Zimmerman, J.K., (2010). Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows. *Freshwater biology*. 55(1): 194-205. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02272.x>.
- Poi, A.; Bruquetas, I.Y., (1989). Efecto de las crecidas sobre las poblaciones de invertebrados que habitan macrófitas emergentes en islas del río Paraná. *Revue d'hydrobiologie tropicale*. 22(1): 13-20.
- Poveda, G., (2004). La hidroclimatología de Colombia: Una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diurna. *Rev. Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*. 28(107): 201-222.
- Power, M.E.; Stout R.J.; Cushing, C.E.; Harper, P.P.; Hauer, R.; Matthews, W.; Moyle, P.; Statzner, B.; Wais De Badgen, I.R., (1988). Biotic and abiotic controls in river and stream communities. *J North Am Benthological Soc*. 7(4): 456-479. <https://doi.org/10.2307/1467301>.
- Prasad, B.S.R.V.; Srinivasu, P.D.N.; Varma, P.S.; Raman, A.V.; Ray, S., (2014). Dynamics of Dissolved Oxygen in Relation to Saturation and Health of an Aquatic Body: A Case for Chilka Lagoon, India. *Journal of Ecosystems*. 526245: 1-17. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/526245>.
- Prat, N.; González-Trujillo, J.D.; Ospina-Torres, R., (2014). Clave para la determinación de exuvias pupales de los quironómidos (Diptera: Chironomidae) de ríos altoandinos tropicales. *Revista de Biología Tropical*. 62(4): 1385-1406.

R Core Team., (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing.

Rache, L., (2015). Caracterización de hábitat y morfología de algunas especies del género *Perithemis* (Odonata:Anisoptera) presentes en la cordillera oriental. Tesis de maestría. Facultad de ciencias. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia: Bogotá, Colombia.

Raebel, E. M.; Merckx, T.; Feber, R. E.; Riordan, P.; Macdonald, D. W.; Thompson, D. J., (2011). Identifying high-quality pond habitats for Odonata in lowland England: implications for agri-environment schemes. *Insect Conservation and Diversity*. 5(6): 422-432. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4598.2011.00178.x>.

Rameshkumar, S.; Radhakrishnan, K.; Aanand, S.; Rajaram, R., (2019). Influence of physicochemical water quality on aquatic macrophyte diversity in seasonal wetlands. *Applied Water Science*. 9(1): 1-8. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0888-2>.

Ramírez, A.; Gutiérrez-Fonseca, P.E., (2014). Functional feeding groups of aquatic insect families in Latin America: a critical analysis and review of existing literature. *Rev. Biol. Trop*. 62(2): 155-167.

Ramírez, A.; Viña. G., (1998). Limnología colombiana: aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano: Bogotá, Colombia.

Rezende, R.d.S.; Kroth, N.; Capitanio, B.M.; Lima-Rezende, C.A.; Cassol, A.S.; Cozzer, G.D.; Baldissera, R.; Breaux, J.A.; Albeny-Simões, D., (2020). Abiotic factors and trophic interactions affect the macroinvertebrate community of bromeliad tanks in a Neotropical Restinga. *Limnology*. 21(3): 275-285. <https://doi.org/10.1007/s10201-020-00614-2>.

Rico-Sánchez, A.; Rodríguez-Romero, A.; López-López, E.; Sedeño-Díaz, J., (2014). Patrones de variación espacial y temporal de los macroinvertebrados acuáticos en la Laguna de Tecocomulco, Hidalgo (México). *Rev. Biol. Trop*. 62(2): 81-96.

Rivera-Usme, J.; Pinilla, G.; Rangel-Churio, J.; Castro, M.; Camacho-Pinzón, D., (2015). Biomass of macroinvertebrates and physicochemical characteristics of water in an Andean urban wetland of Colombia. *Braz. J. Biol.* 75(1): 180-190. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.10613>.

Roldán, G., (1992). *Fundamentos de limnología neotropical*. Editorial Universidad de Antioquia: Medellín, Colombia.

Roldán, G., (2020). Revisión histórica de la limnología en Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 44(171): 303-328. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1056>.

Roldán, G.; Ramírez, J.J., (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Segunda Edición. Universidad de Antioquia: Medellín, Colombia.

Rusydi, A.F.; Onodera, S.I.; Saito, M.; Hyodo, F.; Maeda, M.; Sugianti, K.; Wibawa, S., (2021). Potential sources of ammonium-nitrogen in the coastal groundwater determined from a combined analysis of nitrogen isotope, biological and geological parameters, and land use. *Water*. 13(25): 1-15. <https://doi.org/10.3390/w13010025>.

Rychla, A.; Benndorf, J.; Buczynski, P., (2011). Impact of pH and conductivity on species richness and community structure of dragonflies (Odonata) in small mining lakes. *Fundam. Appl. Limnol.* 179(1): 41-50. <https://doi.org/10.1127/1863-9135/2011/0179-0041>.

Sabater, L.M.; Franceschini, M.C.; Gallardo, L.I.; Coronel, J.M., Pérez, A.P. (2022). Disentangling vegetation structure effect on invertebrate communities in contrasting growth periods in subtropical protected wetlands of Argentina. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 94(4), 1-17. <https://10.1590/0001-376520220210965>.

Saha, N.; Aditya, G.; Banerjee, S.; Saha, G.K., (2012). Predation potential of odonates on mosquito larvae: Implications for biological control. *Biol. Control*. 63(1): 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2012.05.004>.

Saha, N.; Aditya, G.; Saha, G.K., (2009). Habitat complexity reduces prey vulnerability: an experimental analysis using aquatic insect predators and immature dipteran prey. *J Asia Pac Entomol.* 12(4): 233-239. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2009.06.005>.

Samanmali, C.; Udayanga, L.; Ranathunge, T.; Perea, S.; Hapugoda, M.; Weliwitiya C., (2018). Larvicidal potential of five selected dragonfly nymphs in Sri Lanka over *Aedes aegypti* (Linnaeus) larvae under laboratory settings. *BioMed Res Int.* 8759459: 1-10. <https://doi.org/10.1155/2018/8759459>.

Sarmiento-Devia, R.A.; López-Escobar, Á.; Mejías, M.B.; Dávila, P.M.; Franco-Herrera, A., (2013). Variabilidad Intra-anual del régimen climático en sectores de surgencia en el sudeste del Mar Caribe, usando ERA Interim. *Revista de biología marina y oceanografía*. 48(3): 471-485. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572013000300006>.

Sarmiento, M.L., (2017). *Microalgas como indicadores biológicos del estado trófico de las ciénagas de Malambo y Santo Tomás, en el departamento del Atlántico*. Tesis de la Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería Maestría: Ciencias Ambientales. Universidad Jorge Tadeo Lozano: Bogotá, Colombia.

Saulino, H.H.L.; Trivinho-Strixino, S., (2014). Macroinvertebrados acuáticos asociados às raízes de *Eichhornia azurea* (Swartz) Kunth (Pontederiaceae) em uma lagoa marginal no Pantanal, MS. *Biotemas*. 27(3): 65–72. <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7925.2014v27n3p65>.

Schwentner, M.; Timms, B.V.; Richter, S., (2015). Spinicaudata (Branchiopoda: Diplostraca) in Australia arid zone: unparalleled diversity at regional scales and within water bodies. *J Crust Biol.* 35(3): 366-378. <https://doi.org/10.1163/1937240X-00002339>.

Sculthorpe, C.D., (1967). *The Biology of Aquatic Vascular Plants*. London: Edward Arnold.

Seidu, I.C.; Nsor, A.; Danquah, E.; Lancaster, J.T., (2018). Odonata assemblages along an anthropogenic disturbance gradient in Ghana's Eastern Region. *Odonatologica.* 47(1/2): 73-100.

Senhadji-Navarro, K.; Ruiz-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. <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.2.a07>.

Shanfield, M.; Bourke, S.A.; Zimmer, M.A.; Costigan, K.H., (2021). An overview of the hydrology of non-perennial rivers and streams. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water.* 8(2): e1504. <https://doi.org/10.1002/wat2.1504>.

Shannon, C.E., (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal.* 27: 379–423. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>.

Shutoh, K.; Yamanouchi, T.; Kato, S.; Yamagishi, H.; Ueno, Y.; Hiramatsu, S.; Nishihiro, J.; Shiga, T., (2019). The aquatic macrophyte flora of a small pond revealing high species richness in the Aomori prefecture, Japan. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity.* 12(3): 448-458. <https://doi.org/10.1016/j.japb.2019.02.006>.

Šigutová, H.; Harabiš, F.; Šigut, M.; Vojar, J.; Choleva, L.; Dolný, A., (2021). Specialization directs habitat selection responses to a top predator in semiaquatic but not aquatic taxa. *Scientific Reports.* 11(1): 18928. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98632-2>.

Šigutová, H.; Šipoš, J.; Dolný, A., (2019). A novel approach involving the use of Odonata as indicators of tropical forest degradation: When family matters. *Ecol. Indic.* 104: 229-236. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.05.001>.

Silva, E.; Rocha, A.; Leal, M.; Santos, O.; Sousa, J.; Viana, A.R.; Silva, K.K.; Matos, E.; Santos, E.; Landim, A.; Gimenez, T., (2020). Freshwater mollusks from three reservoirs of Piauí, northeastern Brazil. *Biota Neotropica.* 20(1): 1-8. <http://dx.doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2019-0868>.

Silva, L.F.R.; Castro, D.M.P.; Juen, L.; Callisto, M.; Hughes, R.M.; Hermes, M.G. (2021). Functional responses of odonata larvae to human disturbances in neotropical savanna headwater streams. *Ecological Indicators.* 133: 108367. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108367>.

- Son, S.H.; Kwon, S.J.; Im, J.H.; Kim, S.K.; Kong, D.; Choi, J.Y., (2021). Aquatic Macrophytes Determine the Spatial Distribution of Invertebrates in a Shallow Reservoir. *Water*. 13(11): 1455. <https://doi.org/10.3390/w13111455>.
- Springer, M., (2010). Capítulo 7, Trichoptera. *Rev. Biol. Trop.* 58 (4): 151-198.
- Suárez-Morales, E., (2015). Chapter 29 - Class Maxillopoda, In: Thorp, J. H., Rogers, D. C. (Eds.), Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates (Fourth Edition). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385026-3.00029-2>.
- Tobías-Loaiza, M., (2016). Comunidades del orden Odonata en la parte media del río Gaira, Sierra Nevada De Santa Marta, Colombia. Tesis de pregrado para optar el título de Biólogo. Universidad del Magdalena. Facultad de Ciencia Básica: Santa Marta, Colombia.
- Tobias-Loaiza, M.; Tamaris-Turizo, C.E., (2019). Odonatos de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia: una lista preliminar. *Rev Acad Colomb Cienc Ex Fis Nat.* 43(167): 212-218. <http://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.832>.
- Tonkin, J.D.; Bogan, M.T.; Bonada, N.; Rios-Touma, B.; Lytle, D., (2017). Seasonality and predictability shape temporal species diversity. *Ecology*. 98(5): 1201-1216. <https://doi.org/10.1002/ecy.1761>.
- Torres-Bejarano, F.M.; Torregroza-Espinosa, A.C.; Martinez-Mera, E.; Castaneda-Valbuena, D.; Tejera-Gonzalez, M.P., (2020). Hydrodynamics and water quality assessment of a coastal lagoon using environmental fluid dynamics code explorer modeling system. *Global J. Environ. Sci. Manage.* 6 (3): 289–308. <https://doi.org/10.22034/gjesm.2020.03.02>.
- Torres, J; Pinilla G., (2011). *Revisión de las características limnológicas de los sistemas acuáticos de la región de la Mojana*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9310>.
- Touaylia, S.; Garrido, J.; Boumaiza, M., (2013). Abundance and diversity of the aquatic beetles in a Mediterranean stream system (Northern Tunisia). *Ann Soc Entomol Fr.* 49(2): 172-180. <https://doi.org/10.1080/00379271.2013.815033>.
- Tumwesigye, C.; Yusuf, S.K.; Makanga, B., (2001). Structure and composition of benthic macroinvertebrates of a tropical forest stream, River Nyamweru, western Uganda. *Afr J Ecol.* 38(1):72–77. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2028.2000.00212.x>.
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. UNGRD., (2006). Fenómeno El Niño, análisis comparativo 1997-1998 / 2014-2016. UNGRD: Bogotá, Colombia.

Universidad del Norte -UN-; Corporación Autónoma Regional Del Atlántico -CRA-, (2005). Análisis sobre el manejo integrado del recurso hídrico de la ciénaga de Mallorquín. Grupo de investigación en tecnología del agua. Universidad del Norte: Barranquilla, Colombia.

Vanacker, M.; Wezel, A.; Oertli, B.; Robin, J. (2018). Water quality parameters and tipping points of dragonfly diversity and abundance in fishponds. *Limnology*. 19(3): 321-333. <https://doi.org/10.1007/s10201-018-0549-z>.

Vargas, G., (2012). Geología, Geomorfología y Dinámica Fluvial Aplicada hidráulica de Ríos. XX Seminario nacional de hidráulica e hidrología: Barranquilla, Colombia.

Vásquez, N.; Castro, Z. (2017). Análisis del comportamiento de variables meteorológicas en el departamento del Atlántico en los últimos 30 años. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD): Barranquilla, Colombia.

Verspagen, J. M. H.; Van de Waal, D. B.; Finke, J. F.; Visser, P. M.; Van Donk, E.; Huisman, J., (2014). Rising CO₂ levels will intensify phytoplankton blooms in eutrophic and hypertrophic lakes. *PLoS ONE*. 9(8): e104325. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0104325>.

Vilas, M.P.; Marti, C.L.; Adams, M.P.; Oldham, C.E.; Hipsey, M.R., (2017). Invasive macrophytes control the spatial and temporal patterns of temperature and dissolved oxygen in a shallow lake: A proposed feedback mechanism of macrophyte loss. *Frontiers in Plant Science*. 8: 2097. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02097>.

Vilenica, M., (2017). Ecological traits of dragonfly (Odonata) assemblages along an oligotrophic Dinaric karst hydrosystem. *Ann Limnol*. 53: 377-389. <https://doi.org/10.1051/limn/2017019>.

Vilenica, M.; Rebrina, F.; Matoničkin, R.; Šegota, V.; Rumišek, M.; Ružanović, L.; Brigić, A., (2022). Aquatic Macrophyte Vegetation Promotes Taxonomic and Functional Diversity of Odonata Assemblages in Intermittent Karst Rivers in the Mediterranean. *Diversity*. 14(1): 31. <https://doi.org/10.3390/d14010031>.

Vizcardo, C.; Gil-Kodaka, P., (2015). Estructura de las Comunidades Macrozoobentónicas de los Humedales de Ventanilla, Callao, Perú. *Anales Científicos*. 76(1): 1-11. <https://doi.org/10.21704/ac.v76i1.702>.

Von Ellenrieder, N.; Garrison, R., (2007). Dragonflies and Damselflies (Insecta: Odonata) of the Argentine Yungas: species composition and identification. *Scientific Reports*. 7: 1-103.

Vörösmarty, C.J.; McIntyre, P.B.; Gessner, M.O.; Dudgeon, D.; Prusevich, A.; Green, P.; Glidden, S.; Bunn, S.E.; Sullivan, C.A.; Reidy, C.; Davies, P.M., (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*. 467: 555-561. <https://doi.org/10.1038/nature09440>.

Walker, P.D.; Wijnhoven, S.; van der Velde, G., (2013). Macrophyte presence and growth form influence macroinvertebrate community structure. *Aquatic Botany*. 104: 80-87. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2012.09.003>.

WHO., (2017). *Guidelines for Drinking-Water Quality: Fourth Edition Incorporating the First Addendum*. World Health Organization: Geneva, Switzerland.

Williams, D.D.; Williams, S.S., (2017). Aquatic Insects and their Potential to Contribute to the Diet of the Globally Expanding Human Population. *Insects*. 8(3): 1-20. <https://doi.org/10.3390/insects8030072>

World Wildlife Fund -WWF-, (2016). *Living planet report 2016*. Risk and Resilience in a New Era. Technical Report. WWF International: Gland, Switzerland.

You, W.H.; Yu, D.; Xie, D.; Yu, L.F.; Xiong, W.; Han, C.M., (2014). Responses of the invasive aquatic plant water hyacinth to altered nutrient levels under experimental warming in China. *Aquat. Bot.* 119: 51–56. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2014.06.004>.

Younes, A.; El-Sherif, H.; Gawish, F.; Mahmoud, M., (2015). Potential of *Hemianax ephippiger* (Odonata-Aeshnidae) nymph as predator of *Fasciola* intermediate host, *Lymnaea natalensis*. *Asian Pac Trop Biomed.* 5(8): 671-675. <https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2015.04.008>.

Zelnik, I.; Gregorič, N.; Tratnik, A., (2018). Diversity of macroinvertebrates positively correlates with diversity of macrophytes in karst ponds. *Ecological Engineering*. 117: 96-103. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.03.019>.

Zheng, Z.; Fu, Y.; Liu, K.; Xiao, R.; Wang, X.; Shi, H. (2018). Three-stage vertical distribution of seawater conductivity. *Scientific Reports*. 8(1): 9916-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-27931-y>.

Zhou, Y.; Yu, D.; Yang, Q.; Pan, S.; Gai, Y.; Cheng, W.; Liu, X.; Tang, S., (2021). Variations of Water Transparency and Impact Factors in the Bohai and Yellow Seas from Satellite Observations. *Remote Sens*. 13(514), 1-19. <https://doi.org/10.3390/rs13030514>.